



**UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA  
INSTITUT DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT GENIE APPLIQUEE  
HYGIENE, SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT**

**Mémoire**

**Pour l'obtention du diplôme de Licence professionnel**

**Spécialité : Hygiène, Sécurité et Environnement**

**Présent par :**

**KHERFI Aissa  
GANOUNE Laid**

**Thème :**

---

**Etude de l'efficacité des méthodes de traitement de boue  
de forage appliquée  
-méthode Solidification/Stabilisation(S/S) sur le borbier de forage  
MD660-**

---

**Soutenu devant le jury :**

<b>Nom &amp; Prénom</b>	<b>Qualité</b>
Mr ABDELBARI Abes	Encadreur
Mr BOULAAJOUL Younes	Président
M <sup>me</sup> KEBDI Soumia	Examineur

**Année universitaire : 2017/2018**

# Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre DIEU, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements à mon professeur consultant le Mr ABDELLBARI Abess pour m'avoir diligenté tout au long de ce travail, pour sa compréhension, sa patience, sa compétence et ces remarques qui m'ont été précieuses,

Je présente mes chaleureux remerciements aux enseignants du département de génie appliquée pour leurs aides et orientations durant ma formation.

Mes derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

# Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices,

Pour me voir réussir dans la vie :

Les deux personnes les plus chères à mon coeur,

mon père et ma mère,

qui m'ont apporté soutien et confort tout au long de mes études.

Mon frère « MOHAMED ALI »

Mes Soeur « ROKAIA, RAZIKA »

ainsi qu'a toute la famille KHERFI.

A mes Amis étudiant avec moi en classe.

Tous mes amis sans exception

Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant toutes  
mes années d'études

Aissa

# Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices,

Pour me voir réussir dans la vie :

Les deux personnes les plus chères à mon coeur,

mon père et ma mère,

qui m'ont apporté soutien et confort tout au long de mes études.

Mon frère «ahmed et abdikrim et al »

Mes Soeur «fatima et bouchra »

ainsi qu'a toute la famille GANJONE.

A mes Amis étudient avec moi en classe.

Tous mes amis sans exception

Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant toutes  
mes années d'études

Laid

## **Résumé:**

La gestion et les méthodes de traitement des déchets de pétrole est l'un des sujets relatives à la protection de l'environnement d'une part et les entreprises pétrolières d'autre part, donc l'objectif de cette étude est de savoir comment se débarrasser de déchets de forage pétroliers et d'autres dans le domaine de l'industrie pétrolière dans le champ de Hassi Messaoud à être considéré comme le plus grande de champ de pétrole en Algérie, et la connaissance des méthodes les plus importants de traitement ces déchets sur le champ Hassi Messaoud.

Pour tester la validité des hypothèses et discuter du sujet en utilisant la méthode expérimentale et théorique à travers la recherche bibliographique, on peut empêcher la formation de déchets et de réduire et de les limiter et de leurs sources (boue de forage, borbier de forage et les déversements, etc ...) ceci est fait en utilisant des différentes méthodes de traitement comme: méthode traitement désorption thermique indirecte et méthode solidification / stabilité.

**Mot clés : boue de forage, borbier de forage, déchets, méthodes de traitement, l'environnement.**

## **Abstract:**

The management and the methods of treatment of petroleum waste is one of the subject related to the protection of the environment on the one hand and the oil companies in the other hand, however the objective of this study is to know how to get rid of drilling oil and other waste in the field of the oil industry in Hassi Messoud field to be considered the largest oil field in Algeria, and the most important method of treating these waste on Hassi Messoud field.

To test the validity of the hypotheses and discuss the subject using the experimental and theoretical method through bibliographic research, we can prevent the formation of waste and reduce and limit them and their sources (drilling mud, drill quagmire and spills, etc...) this is done using different treatment methods such as: indirect thermal desorption method and solidification / stability method.

**Key word: drilling mud, drill quagmire and spills, waste, methods of treatment, environment**

## Liste des abréviations

**SONATRACH** : Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures.

**HMD** : Hassi Messaoud.

**DP** : Devisions Production.

**Méthode S/S** : Méthode Solidification/ Stabilisation.

**MESP** : Mediterranean Environmental Service Pétroliers.

**ISO**: international standard organisation.

**WBM** : Water Based Mud.

**OBM** : Oil Based Mud.

**EPI** : American Petroleum Institute.

**PH** : Potentiel Hydrogène .

**ESA** : Environnemental Solution Alegria SARL.

# Sommaire

Introduction générale : .....	1
-------------------------------	---

## Chapitre I : Généralités sur les fluides de forage

I.1 Présentation de la région de Hassi Messaoud .....	3
I.1.2 Introduction .....	3
I.1.2 Situation géographique de HMD .....	3
I.1.3 Activités industrielles de la région de Hassi Messaoud .....	6
I.1.4 Différentes opérations sur puits dans le champ de HASSI MESSAOUD .....	6
A) Opération Snubbing .....	6
B) Opération Work-Over .....	7
C) Opérations Spéciales .....	8
I.2 Présentation de la société MESP (Mediterranean Environmental service Pétroliers ) ....	9
I.3 Définition des fluides de forage .....	10
I.4 Le cycle de la boue sur un site de forage .....	10
I.5 Rôle de la boue de forage.....	12
I.6 Types des fluides de forage.....	13
I.6.1 Boues à base d'eau .....	13
I.6.2 Boues à base d'huile .....	13
I.7 Composition des boues .....	14
I.7.1 Colloïdes argileux .....	14
I.7.2 Colloïdes organiques ou Réducteur de filtrat .....	14
I.7.3 Fluidifiants ou réducteur de viscosité.....	14
I.7.4 Les additifs minéraux .....	14
I.7.5 Produits organiques spéciaux .....	14
I.7.6 Alourdissant .....	15
I.7.7 Les colmatant .....	15
I.7.8 Composants indésirable.....	15
I.8 Les caractéristiques physiques de la boue de forage .....	16
I.8.1 Densité et poids volumique .....	16
a) Rôle de la densité.....	16
b) Matériel de contrôle.....	17
I.8.2 Rhéologie .....	17

a) Rôle de rhéologie .....	18
b) Matériel de contrôle .....	18
I.8.3 Filtration .....	18
a) Rôle de la filtration .....	19
b) Matériel de contrôle .....	19
I.9 Définition des borbier .....	19
I.9.1 Influences des borbiers sur l'environnement .....	21
I.10 Stratégies d'état Algériens dans le domaine environnemental .....	22

## **Chapitre II: Méthodes & moyens utilisés**

II.1 Introduction .....	24
II.2 Pollution des sols et classement.....	24
II.2.1 pollution diffuse .....	25
II.2.2 pollution ponctuelle .....	25
II.3 Principaux contaminants.....	26
II.4 Méthodes de traitement de la boue .....	27
II.4.1 Traitements thermiques.....	27
A) Procédés de traitement .....	28
A.1) Désorption thermique par chauffage direct .....	28
A.2) Désorption thermique par chauffage indirect .....	29
B) Fonctionnement de l'unité du procédé thermique .....	30
II.4.2 Traitements physico-chimique.....	33
A) Traitements ON-LINE.....	33
A.1) Mode de fonctionnement de la machine .....	34
B) Traitements OFF-LINE.....	34
B.1) Solidification.....	35
B.2) Stabilisation.....	36

## **Chapitre III: Les résultats d'analyse**

III.1 Avantages et inconvénients des procédés de traitement de la boue .....	39
III.2 Analyses laborantines de méthode de traitement S/S.....	40
III.2.1 métaux lourd .....	42
III.2.2 Matières organiques.....	43
III.2.3 Interprétation des résultats d'analyse de méthode de traitement S/S .....	44

III.3 Résultats d'analyse traitement thermique .....	45
III.3.1 métaux lourd.....	45
III.3.2 Matière organique.....	45
III.3.3 Interprétation des résultats d'analyse de la méthode de traitement désorption thermique indirect.....	46
III.4 Comparaison entre deux méthodes .....	47
Conclusion générale .....	48
Bibliographie	

## Liste des figures:

Figure1 : Situation géographique de HMD. ....	4
Figure2 : Bassins structuraux de Sahara septentrional.....	5
Figure 3: Opération snubbing sur puit producteur .....	7
Figure 4 : Opération coiled tubing .....	8
Figure 5 : unité de traitement S/S MESP .....	9
Figure6 : La circuit de boue de de forage.....	11
Figure 7: mesure la densité - blance à boue .....	17
Figure8 : Mesure de la viscosité.....	18
Figure9 : mesure du filtrat.....	19
Figure10 : Bourbiers étanche avant le forage.....	20
Figure11 : bourbiers après un opération de forage.....	20
Figure 12: Action des polluants dans le sol.....	21
Figure 13: un désorbeur à chauffage direct .....	29
Figure 14: un désorbeur à chauffage indirect.....	30
Figure15 : présentation d'un unité de traitement thermique.....	32
Figure 16: unité de traitement on-line .....	34
Figure 17: phénomène d'encapsulation .....	36
Figure 18 : Schéma fonctionnel d'une unité de Stabilisation/Solidification.....	37
Figure 19 : bourbier de forage MD660 après traitement in site .....	38
Figure 20 : rejet après traité par désorption thermique indirect .....	38
Figure 21 : Le distillateur à boue .....	41

## Liste des tableaux:

Tableau 1 : Réalisations de MESP dans différents entreprises .....	9
Tableau 2: Les types Rôle de la boue de forage.....	12
Tableau3 : législations sur l'environnement en Algérie .....	22
Tableau 4 : Produits inorganiques .....	26
Tableau 5 : Produits organiques par famille de produits.....	26
Tableau 6: Représentation des avantages et les inconvénients de chaque méthode. ....	39
Tableau 7 : Les résultats d'analyses des métaux lourds avant et après traitement des borbiers de forage par la méthode S/S (03/01/2018) .....	42
Tableau8 : Les résultats d'analyses des matière organique avant et après traitement des borbiers de forage par la méthode S/S (03/01/2018) .....	43
Tableau 9 : Les résultats d'analyses des métaux lourds avant et après traitement par désorption thermique indirecte de borbier de forage MD 518 .....	45
Tableau 10 : Teneur en hydrocarbures totaux avant et après traitement par la désorption thermique indirect de borbier MD518.....	45

### Introduction générale :

« Le développement de l'industrie pétrolière a engendré beaucoup des problèmes environnementaux qui contribuent ainsi à la dégradation de quelques écosystèmes naturels, à savoir les nappes des eaux souterraines. Les lois de l'environnement exigent des traitements adéquats de ces déchets industriels afin d'éviter une éventuelle dégradation.

En Algérie, l'industrie pétrolière de la région de Hassi Messaoud est très développée ce qui produit des déchets industriels avec des éléments 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, ces derniers provoquent des problèmes qui menacent l'homme, les animaux et les plantes.

Dans ce cadre justement le groupe pétrolier public Sonatrach qui agit pour le compte de l'Etat investira à moyen terme 91 milliards de dinars algériens dans la prévention, la sécurité et la protection de l'environnement et 120 millions de dinars que dans le traitement des déchets industriels, liquides et détritiques de forages. » [1]

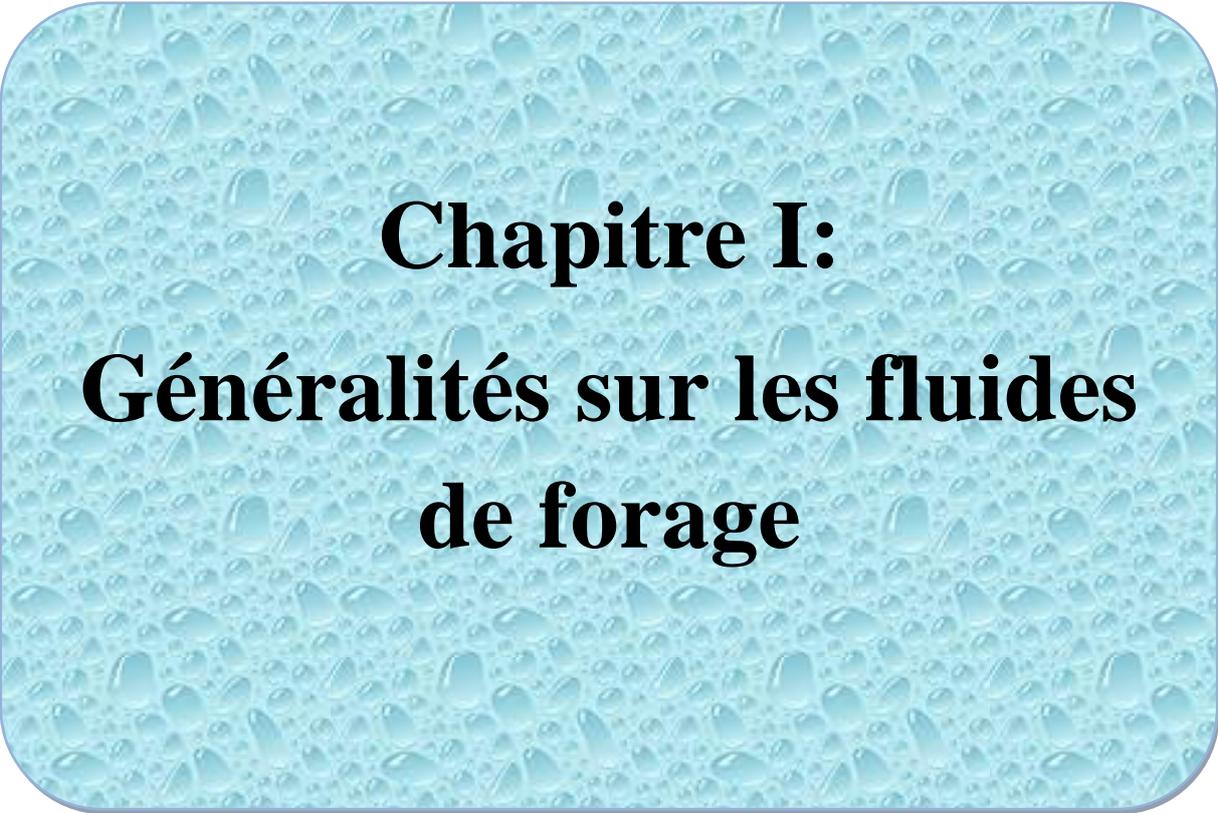
Le rôle de la boue est primordial dans la conduite d'un forage. L'amélioration continue de la technique des boues ainsi que celle du forage permet de forer plus profond et plus rapidement chaque année. La boue est un outil indispensable au forage, ses rôles sont multiples et son maniement délicat. Au même titre que le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit, la boue est un paramètre de forage. Il est donc indispensable d'apporter aux boues tous les soins nécessaires à leur fabrication, leur contrôle et à leur entretien en cours d'utilisation. La boue de forage nécessite dans sa préparation l'utilisation des produits chimiques, à savoir toxiques pour la santé et génère en fin de cycle des déchets ayant des effets négatifs sur l'environnement, la réglementation algérienne est très sévère en ce qui concerne le traitement de ces déchets et cela pour minimiser leurs nuisances environnementales, Il existe donc plusieurs méthodes de traitement pour l'élimination de ces déchets (bourbiers, déblais, ... etc. ).

C'est dans ce contexte ci - dessus, que se focalise notre problématique de recherche au sein de SONATRACH et plus particulièrement dans le domaine de la production .

Sur le terrain, nous avons pu observer que le traitement de la boue de forage peut se faire par au moins 3 procédés :

- ✚ le traitement chimique grâce au procédé solidification/stabilisation,
- ✚ le traitement Mécanique, dit aussi « on line » qui se fait par tamisage, dégazage etc.
- ✚ le traitement thermique en dehors du circuit (offline)

Pour la présentation de notre mémoire, nous débuterons notre travail par une partie théorique, formulée dans le chapitre I, généralités sur des boues de forage comme Rôle de la boue de forage et circuit de la boue de forage, ses caractéristiques, composants et ses types. En suite, dans la deuxième partie pratique, dans le chapitre II, Nous donnerons les méthodes et moyens utilisé dans cette étude. Par la suite, dans le chapitre III nous exposerons et discuterons les résultats de cette recherche. Après avoir étudié leur borbier et plus précisément la boue de forage, nous passerons en revue le cadre réglementaire que les opérateurs se doivent de respecter. Nous illustrons les principes des trois méthodes de traitement de la boue de forage. Nous exposerons les circonstances d'analyse en élaborant des grilles de comparaisons de résultats de méthode appliquée par autre méthode de traitement et enfin nous présenterons nos conclusions de cette analyse et on présentera nos recommandations.



**Chapitre I:  
Généralités sur les fluides  
de forage**

## I.1 Présentation de la région de Hassi Messaoud :

### I.1.2 Introduction :

L'activité et la vocation de Hassi-Messaoud est la production et l'exploitation du brut, secteur très convoité de part ses avantages. Les pollutions générées par l'activité industrielle sont plus qu'évidentes. Des mètres cubes de différents fluides contenant des produits dangereux sont rejetés dans des grandes excavations, réalisées à cet effet, appelées : « **Bourbiers** »

Si cette situation perdure, on risque d'avoir non seulement la contamination des sols mais aussi celle de la nappe phréatique, d'où la nécessité d'une prise en charge immédiate pour préserver les eaux souterraines qui représentent dans les zones arides la principale source hydrique.

### I.1.2 Situation géographique de HMD :

La région de HMD se situe à 830 Km au Sud-est d'Alger et couvre une superficie d'environ 2250 Km<sup>2</sup> (**Figure 1**). Repérée par les latitudes 31°30' et 32°00' Nord et les longitudes 5°40' et 6°20' Est.

Par rapport aux gisements, le champ de HMD est limité (**Figure 1**) :

- Au Nord-Ouest par les gisements d'Ouargla (Guellela, Ben kahla et Haoud Berkaoui).
- Au Sud-ouest par les gisements d'HI Gassi, Zotti et El Agreb.
- Au Sud- Est par les gisements Rhourde El Baguel et Mesdar.

Le champ de HMD fait partie du sous bassin versant de Messaïed (sous bassin du grand Erg Oriental), ce dernier est considéré comme un sous bassin de l'Oued Mya (**Figure 2**). [2]



Figure1 : Situation géographique de HMD.

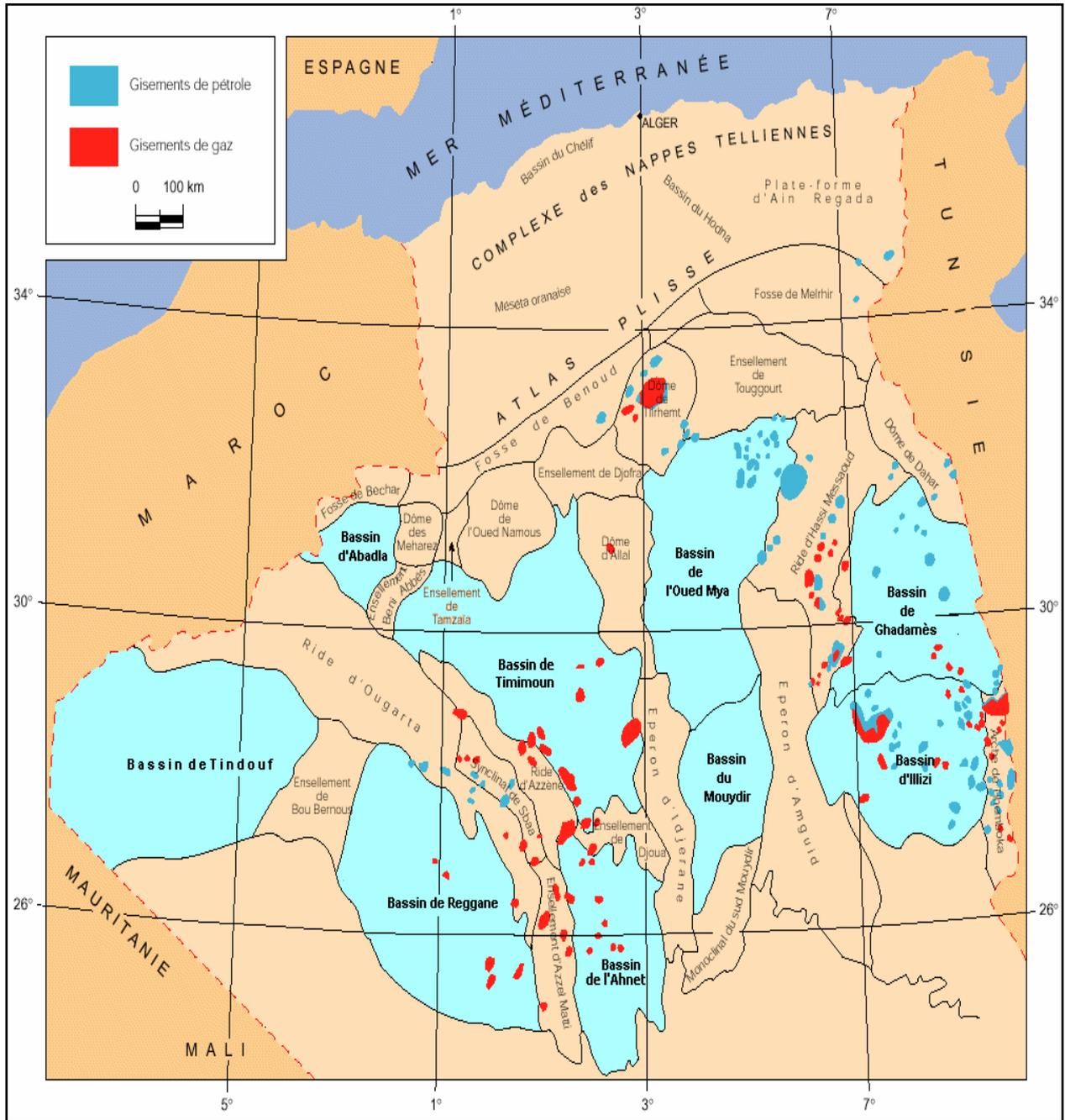


Figure2 : Bassins structuraux de Sahara septentrional.

### I.1.3 Activités industrielles de la région de Hassi Messaoud :

Le champ pétrolier de HMD, considéré comme l'un des dix plus grands champs pétroliers au monde, produit actuellement plus de 400 000 barils par jour, il compte actuellement (jusqu'au 10/09/2009) 1393 puits de différents types, à savoir : [2]

- 921 Puits producteurs de brut.
- 62 Puits producteurs d'eau.
- 57 puits injecteur d'eau.
- 115 Puits injecteur de gaz.
- 112 Puits abandonnés (huile+gaz+eau)
- 85 puits inexploitable
- 41 puits secs

### I.1.4 Différentes opérations sur puits dans le champ de HASSI MESSAOUD :

#### A) Opération Snubbing :

L'appareil Snubbing est une unité d'intervention par tubing concentrique dont le premier objectif est de réaliser à travers le tubing de production des différentes opérations sous pression.

Les opérations les courantes réalisées avec cet appareil sont :

- ❖ Nettoyage du tubing.
- ❖ Instrumentations diverses dans le tubing de production (poisson Wire-Line ou Coiled-tubing).
- ❖ Changement des concentriques 1''660 (colonne d'injection d'eau de dessalage) puits salés.
- ❖ Descente du 1''660 pour le gas-lift.
- ❖ Descente du 1''660 pour les puits salés nouvellement forés.



**Figure 3: Opération snubbing sur puit producteur**

### **B) Opération Work-Over :**

De nombreux problèmes peuvent surgir au cours de la vie d'un puits, se caractérisant par une chute de sa productivité ou un risque pour sa sécurité.

Le Work-Over a pour objectif d'intervenir sur les puits pour palier ces problèmes et rétablir la productivité et la sécurité initiale.

La mise en place d'un appareil Work-Over nécessite impérativement la neutralisation du puits par pompage d'un fluide (boue). Ce fluide doit avoir une densité telle que la pression hydrostatique dépasse celle de gisement.

Les travaux effectués lors d'une opération de Work-over sont :

- Changement de l'équipement de fond (tubing de production surdimensionné d'où la chute de potentiel).
- Descente liner cimenté pour réduire la production excessive de gaz ou empêcher la remontée des cailloux.
- Equipement du puits pour fracturation ou gas-lift.
- Etat mécanique du puits

- Fuite dans le tubing
- Corrosion dans le tubage.

### C) Opérations Spéciales :

#### Coiled tubing :

C'est une technique d'intervention sur les puits en pression.

Le coiled tubing est utilisé principalement pour :

- ❖ Démarrer et redémarrer les puits.
- ❖ Nettoyage du fond et du tubing.
- ❖ Neutralisation des puits en vue d'une reprise.
- ❖ Acidification.
- ❖ Mise en place des bouchons de ciment ou sable.
- ❖ Petits reforages à tubing avec une turbine.



**Figure 4 : Opération coiled tubing**

## I.2 Présentation de la société MESP (Mediterranean Environmental service Pétroliers) :

Depuis sa création en 1998, le groupement M.E.SP opère dans le champ HASSI MASSOUD Sonatrach –division forage et production, en traitant les bourbiers de forage par la méthode off-line.

L'organisation de MESP Spa a été certifiée ISO 9001:2008 et 14001:2004



**Figure 5 : unité de traitement S/S MESP**

### Réalisations :

Les réalisations dans les traitements des rejets des hydrocarbures depuis 1998 à ce jour sont synthétisées comme suit :

**Tableau 1** : Réalisations de MESP dans différents entreprises [3]

Désignation	Volumes en M3
SONATRACH Division Production	816 545
SONATRACH Division Forage	699 655
GROUPEMENT SH – AGIP	111 621
Groupement SH – FCP	22 776
Groupement SH- SINOPEC	42 982
Volume Total Traité à fin Juillet 2014	1 693 597
Bourbiers Traités à fin Juillet 2014	667
CTH et CP Traités à fin Juillet 2014	07

### I.3 Définition des fluides de forage :

Le fluide de forage, appelé aussi boue de forage, est un système composé de différents constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, ...). Le fluide de forage était déjà présenté en 1933 lors du premier Congrès Mondial du Pétrole, où il a fait l'objet de cinq communications (Darley et Gray, 1988). Le premier traité sur les fluides de forage a été publié en 1936 par Evans et Reid. En 1979, l'American Petroleum Institute (API) définit le fluide de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée du forage, aussi bien dans le sondage qu'en surface. Le fluide est préparé dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille. A la sortie du puits, il subit différents traitements, tamisage, dilution, ajout de produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico chimiques à leurs valeurs initiales. Il est ensuite réutilisé (Landriot, 1968). [4]

### I.4 Le cycle de la boue sur un site de forage :

La majeure partie de la boue utilisée dans une opération de forage est recyclée en continu :

1. La boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation.
2. Une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits.
3. 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.
4. 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.
5. La boue remonte jusqu'à l'espace annulaire, entre la tige de forage et les parois du puits.
6. A la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue, une tige qui mène au tamis vibrant.
7. Les tamis vibrants se composent d'un ensemble de crépines métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les crépines et est renvoyée vers le bassin de décantation. [5]

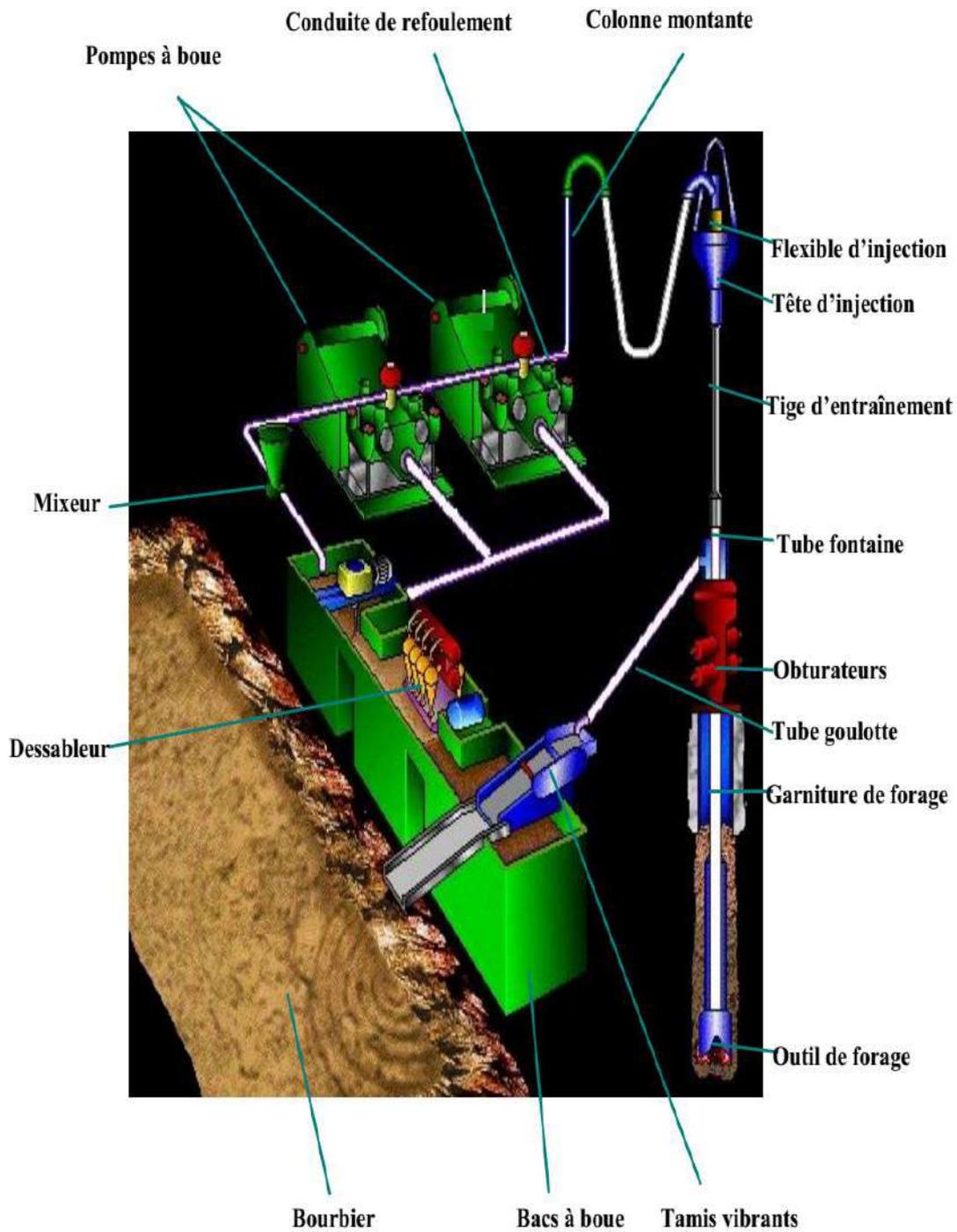


Figure6 : La circuit de boue de de forage

## I.5 Rôle de la boue de forage :

La boue est un outil de forage, elle influe sur la vitesse d'avancement et les conditions de tenue du trou, Les fluides de forage doivent avoir des propriétés telles qu'ils facilitent, accélèrent le forage, favorisent ou tout au moins ne réduisent pas d'une manière sensible et permanente les possibilités de production des sondages.

**Tableau 2:** Les types Rôle de la boue de forage.

Rôle positif de la boue	Rôle négatif de la boue
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nettoyage du puits</li> <li>- Maintien des déblais en suspension.</li> <li>- sédimentation des déblais fins en surface</li> <li>- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde.</li> <li>- Maintien des parois du puits.</li> <li>- Dépôt d'un cake imperméable.</li> <li>- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile</li> <li>- Augmentation de la vitesse d'avancement</li> <li>- Entraînement de l'outil</li> <li>- Diminution du poids apparent du matériel de sondage</li> <li>- Apport de renseignements sur le sondage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La boue peut être abrasive ou corrosive, si elle contient plus ou moins de sable, ou des agents chimiques susceptibles de dégrader le matériel de forage (pompes, tiges de forage, etc..)</li> <li>- Trop visqueuse, elle empêche la sédimentation des déblais en surface, elle provoque des surpressions dans le puits et elle se dégage difficilement</li> <li>- Trop fluide, elle n'assure pas une bonne remontée des déblais</li> <li>- Sa nature ne convient pas toujours aux conditions d'un carottage électrique.</li> <li>- Peut être toxique.</li> </ul>

## I.6 Types des fluides de forage :

Plusieurs classifications des types de boue peuvent être adoptées. Il est cependant habituel de présenter les boues en fonction de la phase continue. Nous allons donc rencontrer :

- Fluide ou boue à base d'eau (WBM).
- Fluide ou boue à base d'huile (OBM).

### I.6.1 Boues à base d'eau :

Les boues à base d'eau sont des boues dont la phase continue est l'eau, éventuellement chargée en NaCl. Elles sont généralement utilisées pour forer les sections supérieures d'un puits. Pendant le forage, les matériaux des formations traversées s'incorporent dans la boue et peuvent ainsi changer sa composition et ses propriétés. Elles se présentent essentiellement comme suit:

- Les boues douces dont la teneur en NaCl ne dépasse pas quelques g/l. Ces boues douces (bentonitiques) sont principalement constituées par une suspension colloïdale d'argiles, plus précisément de la bentonite sodique dans l'eau. La concentration en bentonite varie généralement de 30 à 70 kg/m<sup>3</sup> selon le rendement de la bentonite et les caractéristiques de la boue désirées. Cependant, occasionnellement, des traitements supplémentaires pourront être faits avec des phosphates.
- Les boues salées dont la teneur en NaCl peut être comprise entre quelques dizaines de g/l et la saturation. Ces boues sont utilisées pour la traversée des zones salifères pour éviter le cavage et elles sont constituées d'eau, de sel (généralement NaCl), de colloïdes minéraux (attapulgite ou sépiolite), de colloïdes organiques (amidon), d'un fluidifiant minéral ou organique (chaux, soude).[5]

### I.6.2 Boues à base d'huile :

La phase de ces fluides est une huile minérale (pétrole brut, gaz oil, etc.) et la phase dispersée (discontinue) est de l'eau, dont la proportion peut atteindre 50% ou plus en un volume. Tout en gardant l'avantage d'une phase externe contenant plus de 50% d'eau sont appelés boue de forage à émulsion inverse et au-dessous on a des boues à huile.

## I.7 Composition des boues :

En plus de l'eau et du gasoil utilisés comme phase continue ou émulsionnée, un très grand nombre de produits entrent dans la fabrication et le traitement des fluides de forage dont certains ont un rôle spécifique et d'autres ont des actions multiples. Ces produits sont classés par familles.

### I.7.1 Colloïdes argileux

- ✓ Les bentonites
- ✓ Les attapulgites

### I.7.2 Colloïdes organiques ou Réducteur de filtrat

- ✓ Amidons
- ✓ CMC (Carboxy Methyl Cellulose)

### I.7.3 Fluidifiants ou réducteur de viscosité

- ✓ Les polyphosphates
- ✓ Les tanins
- ✓ Les lignosulfonates
- ✓ Les lignines chromées
- ✓ L'eau

### I.7.4 Les additifs minéraux

- ✓ Soude caustique (NaOH)
- ✓ Carbonate de soude (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- ✓ Le gypse (CaSO<sub>4</sub>)
- ✓ Chaux éteinte (Ca (OH) 2)
- ✓ Bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>)

### I.7.5 Produits organiques spéciaux

- ✓ Les anti-ferments
- ✓ Les anti-mousses
- ✓ Les anti-coincements
- ✓ Les anti-corrosions
- ✓ Les anti-bourrants

### I.7.6 Alourdissant

- ✓ Barytine ou sulfate de baryum ( $\text{BaSO}_4$ )
- ✓ Le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ )
- ✓ La galéne ( $\text{PbS}$ )
- ✓ Hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

### I.7.7 Les colmatant

- ✓ Colmatants organiques
- ✓ Colmatants fibreux
- ✓ Colmatants lamellaires
- ✓ Colmatants gonflants
- ✓ Colmatants a prise (liants hydrauliques).

### I.7.8 Composants indésirable

Les composants indésirables les plus présents dans les fluides de forage sont les hydrocarbures, les métaux lourds, et les sels. Une brève description est donnée ci dessous:

#### a. Hydrocarbures

Quand une formation traversée contient des hydrocarbures, le fluide de forage se trouve contaminé par l'huile de la formation. L'huile de certaines formations est un composant indésirable car il contamine les déblais.[5]

#### b. Métaux lourds :

Les métaux lourds peuvent se mélanger avec les fluides de forage selon deux cas:

- Les formations forcées contiennent l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le plomb et mercure.
- Les additifs des fluides de forage contiennent du baryum qui vient des agents alourdissant de la baryte et du chrome qui vient des défloculants chrome-lignosulfonate. Baryte minéral, utilisée pour le contrôle de la densité, peut avoir de grandes quantités naturelles de cadmium et de mercure. [5]

### c. 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 ayant de l'eau très salée. [6]

## I.8 Les caractéristiques physiques de la boue de forage :

### I.8.1 Densité et poids volumique :

La densité est le rapport de la masse volumique d'un corps de référence dans des conditions qui doivent être spécifiées pour les deux corps (l'eau à 4° C pour les liquides et les solides, et l'air pour les gaz). Elle s'exprime par un nombre sans dimension. Le poids volumique est le rapport du poids d'un corps à son volume dans des conditions définies de pression et température. Il s'exprime en dynes par  $\text{cm}^3$  ou en newton par  $\text{m}^3$ .

#### a) Rôle de la densité:

La densité est une caractéristique très importante des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour que la pression hydrostatique exercée par la boue sur les formations et les fluides qu'elles contiennent empêche l'éboulement des formations et les venues de fluides. Elle ne doit pas être trop élevée pour que la pression hydrostatique soit supérieur à la résistance des roches en tout point du découvert, afin de ne pas créer des fractures dont une des conséquences est la perte de circulation puis la venue possible d'un fluide.

En conséquence nous serons amenés à augmenter ou diminuer la densité des boues pour satisfaire ces impératifs. Alors qu'aucun traitement de boue en cours ne peut affecter la densité :[7]

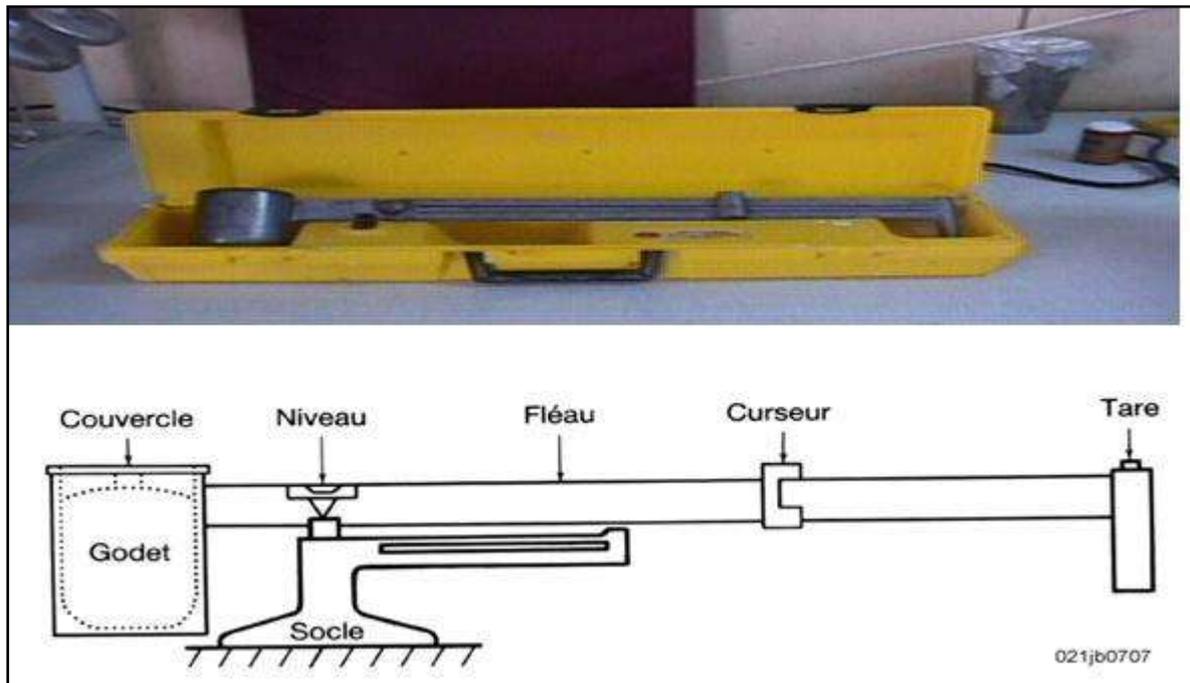
- **Un accroissement en cours de forage est l'indice :**

- D'un enrichissement de la boue en particules solides (actives ou inertes) en provenance de la formation.
- D'une venue de fluide de densité supérieure à celle de la boue (eau salée saturée en Na Cl et / ou autres chlorures).

- Une diminution en cours de forage est l'indice :

- d'une venue de fluide de densité inférieure à celle de la boue (eau, huile, gaz).  
 - d'un bullage de la boue causé par une prise d'air accidentelle dans le circuit de surface ou par une action secondaire d'un des additifs en présence dans la boue (dérivée ligneux en particuliers).

**b) Matériel de contrôle :**



**Figure 7: mesure la densité - balance à boue [8]**

### I.8.2 Rhéologie :

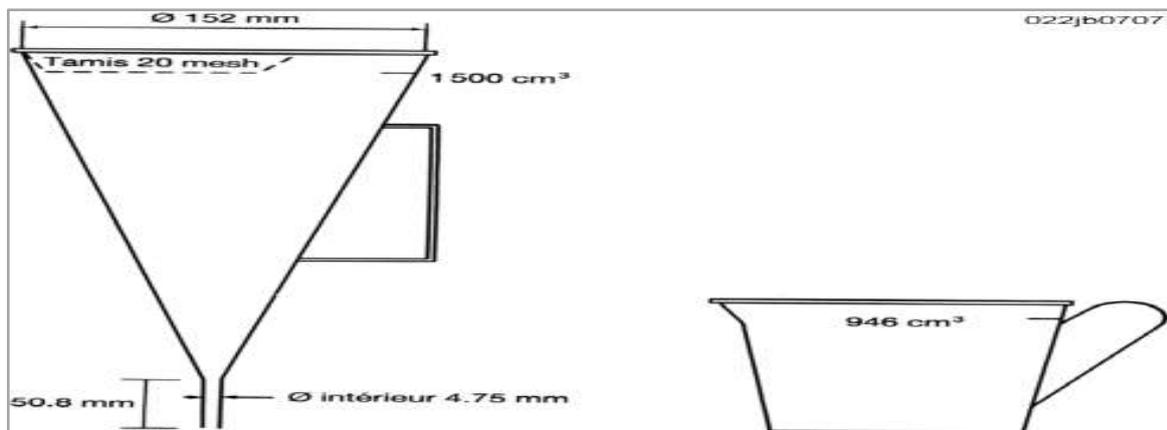
La rhéologie étudie la déformation des matériaux (cas des solides) ou leur écoulement (cas des liquides) sous l'effet d'une contrainte. Une force appliquée à un corps lui fait subir une déformation. Pour un solide, il y aura déformation élastique si le corps revient à son état premier dès qu'on cesse d'appliquer cette force (c'est le cas de l'élastique que l'on étire) ou déformation plastique s'il revient à son état premier sous l'action d'autres forces (c'est le cas de la boule de mastic que l'on déforme). Pour un fluide, l'action d'une force donne un écoulement.

**a) Rôle de rhéologie :**

pour transporter les déblais et gels pour les maintenir en suspension lorsque la circulation est arrêtée,

**b) Matériel de contrôle :**

C'est un appareil du type statique on mesure le temps en secondes que met une certaine quantité de boue pour s'écouler à travers l'ajutage de l'appareil qui n'est autre normalisé. La boue s'écoule dans une qu'un entonnoir godet gradué.



**Figure8 : Mesure de la viscosité**

**I.8.3 Filtration :**

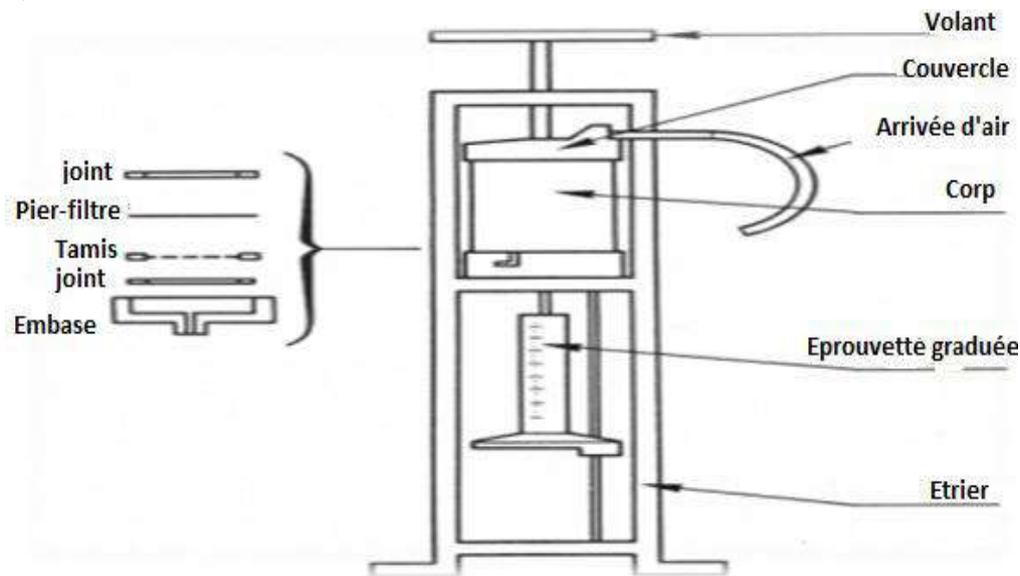
- Forage avec la pression dans le puits supérieure à la pression de pores de la couche traversée  $\Rightarrow$  pénétration du filtrat (phase liquide) de boue dans la formation,
- Ajout de produits dans la boue pour réduire cette filtration afin de minimiser l'endommagement des couches poreuses perméables par le fluide de forage,
- Filtration de quelques cm à quelques mètres autour du puits,
- Très important de contrôler la filtration, si elle est trop importante, impossibilité de "voir" les hydrocarbures avec les logs.

### a) Rôle de la filtration :

Les phénomènes de filtration de la boue sont extrêmement importants car ils conditionnent en partie :

- La vitesse d'avancement du forage.
- La tenue des terrains forés.
- L'envahissement des couches perméables

### b) Matériel de contrôle :



**Figure9 : mesure du filtrat**

### I.9 Définition des bourbier :

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



**Figure10 : Bourbiers étanche avant le forage**

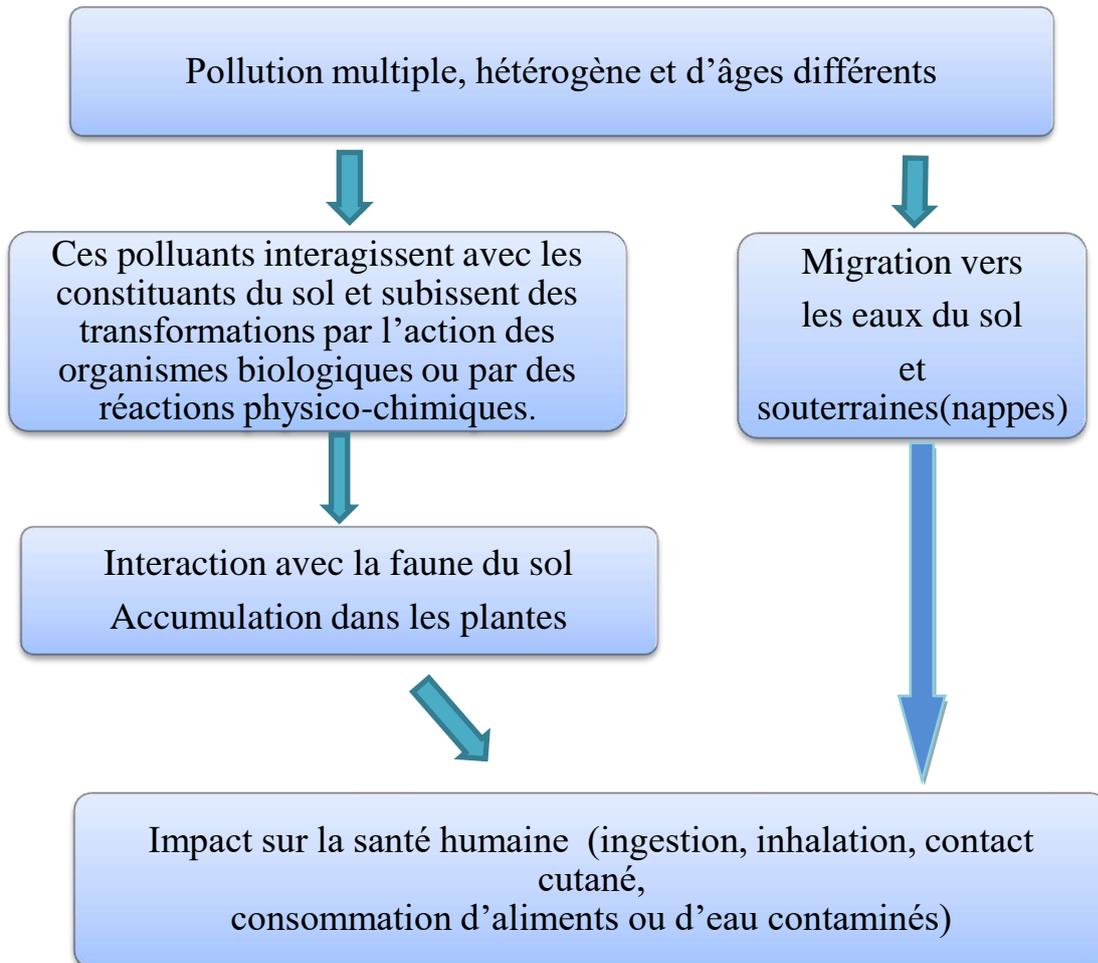


**Figure11 : bourbiers après un opération de forage**

### I.9.1 Influences des bourbiers sur l'environnement :

Les bourbiers (déblais) sont principalement contaminés par des hydrocarbures (gasoil ou pétrole, provenant de la boue à base d'huile) et des métaux lourds (provenant principalement des additifs de la boue).

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



**Figure 12: Action des polluants dans le sol**

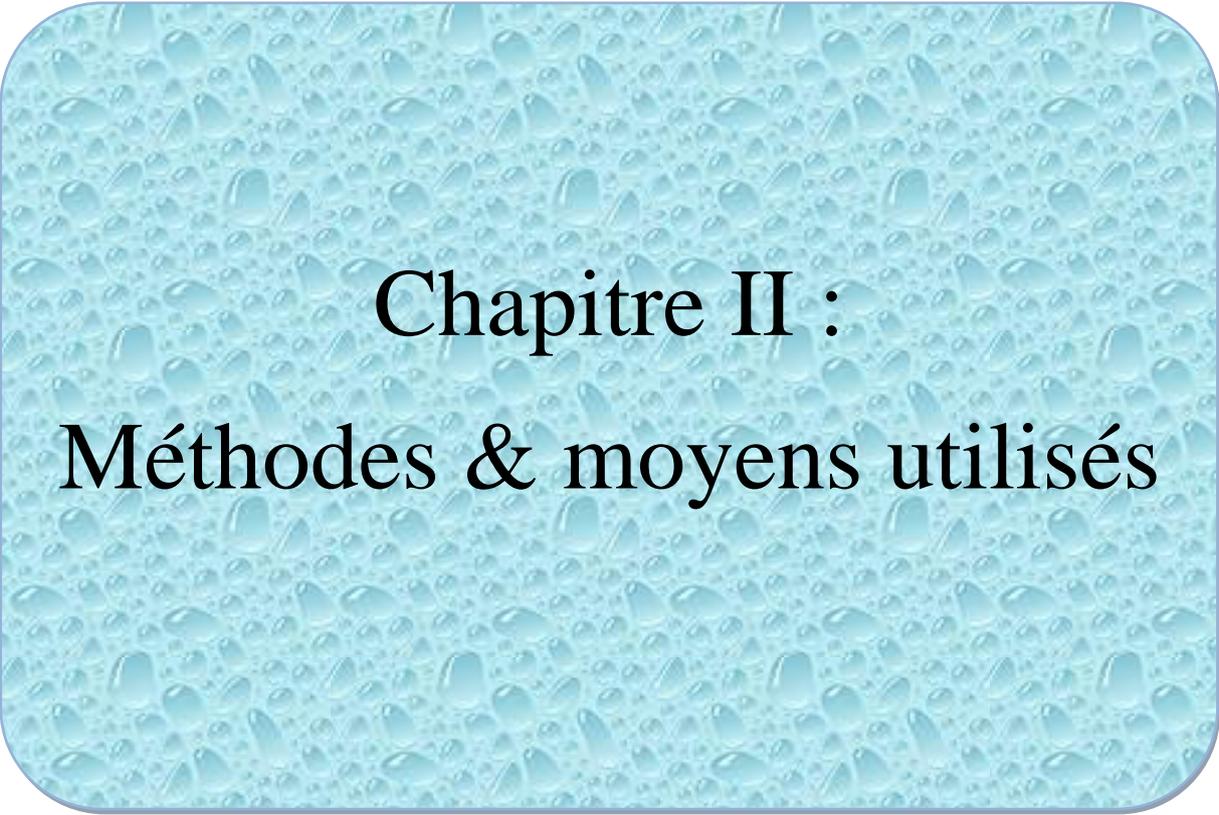
## I.10 Stratégies d'état Algériens dans le domaine environnemental

A propos de l'augmentation de l'activité industrielle en Algérie sur tout les industries pétrolières qui provoquent un grand problème sur l'écosystème d'état algérien et SONATRACH soulignent une stratégie pour la protection de l'environnement à partir de législations nationales. [9]

**Tableau3** : législations sur l'environnement en Algérie

Loi N°	Loi	Date de promulgation	Signé
Décret n°81-267	Relatif aux attributions du président de communal en matière de voirie de salubrité et de tranquillité publique	10/10/1981	C.Benjedid
Décret n°83-03	Relatif à la protection de l'environnement	05/02/1983	C.Benjedid
Décret n°83-580	Portant obligation de signalement aux capitaines de navires transportant des marchandises dangereuses toxiques ou polluantes en cas d'événement en mer	22/10/1983	C.Benjedid
Décret n°84-378	Fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement des déchets solides urbains	15/12/1984	C.Benjedid
Décret n°88-228	Définissant les conditions, procédures et modalités d'immersion des déchets susceptibles de polluer la mer, effectuées par les navires ou aéronefs.	05/11/1988	C.Benjedid
Décret n°90-78	Relatif Aux études l'impact sur l'environnement	27/02/1990	M.hamrouche
Décret n°93-68	Relatif aux modalités d'application de texte sur les activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement	01\03\1993	B.Abdesslem

2000-73	10/07/1993 Règlement Les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes		
Décret exécutif n° 01-09	Portant organisation de l'administration centrale de ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.	07/01/2001	A.Boutiflika
Loi n° 01/19	Relatif à la gestion, au control et à l'élimination des déchets	12/12/2001	A.Boutiflika
Décret exécutif n° 05-314	Fixant les modalités d'agrément de groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux.	10/09/2005	A.OUYAHIA
Décret exécutif n° 05-315	Fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux.	10/09/2005	A.OUYAHIA
Décret exécutif n° 07-144	Fixant la nomenclature de l'installation classée pour la protection de l'environnement	19/05/2007	A.Belkhadem
Décret exécutif n° 07-145	Déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement	19/05/2007	A.Belkhadem



Chapitre II :  
Méthodes & moyens utilisés

## II.1 Introduction :

Chaque jour des dizaines de torches brûlent des gaz et dégagent des polluants toxiques et néfaste dans l'atmosphère, des différents fluides contenant des produits chimiques hautement toxiques, sont déversés dans le milieu naturel, que ce soit dans les bourbiers ou directement sur site.

Devant une telle situation alarmante, SONATRACH a fait des efforts considérables pour éviter toute pollution en développant des méthodes de traitement efficace. Dans ce chapitre consacré aux méthodes de traitement des sites et sols pollués, on va mettre en exergue les traitements qui sont utilisés actuellement à Hassi-Messaoud ainsi que ceux pouvant être envisagés pour ce genre de pollution.

## II.2 Pollution des sols et classement

Les capacités régulatrices des sols peuvent être affectées par la dégradation de leurs propriétés physiques, chimiques ou biologiques. Ces dégradations résultent, dans la plupart des cas, de l'activité humaine : on parle alors de pollution. La pollution d'un sol peut se présenter :

- ❖ Sous forme diffuse
- ❖ Sous forme ponctuelle

La pollution des sols est tout particulièrement liée celle des eaux souterraines, et celle-ci résulte de l'industrie, de l'agriculture, ou d'autres sources liées aux activités humaines. Ainsi, un temps plus ou moins long peut s'écouler avant de pouvoir constater l'arrivée d'un polluant dans la nappe phréatique.

Pour chacun de ces types, on distingue deux origines de pollution :

- **Les pollutions accidentelles** (déversement ou dépôts ponctuel de polluants), où une grande quantité de polluant est déversée en fonction du temps.
- **Les pollutions chroniques** (apport continu de contaminants par fuite ou lessivage), dont les effets cumulés peuvent être plus importants que ceux d'une pollution accidentelle.

Qu'elle soit diffuse ou ponctuelle la pollution d'un sol peut être caractérisée par son influence dans le temps et dans l'espace et peut être dite :

- ✓ **Inertielle** : longtemps cachée ou ignorée, elle s'installe dans le milieu durant de nombreuses années et de ce fait, elle est plus dure à traiter qu'une pollution des eaux.
- ✓ **Ignorée** : dans bien des cas, elle découverte trop tard et peut mettre en danger la santé humaine (pollution de nappe phréatique)
- ✓ **Influente** : elle peut être constatée sur de très grandes zones.

### II.2.1 pollution diffuse

Ce type de pollution peut provenir de retombées ou de certaines pratiques agricoles :

- Retombées de polluants sur une grande surface, par exemple lors de précipitation.
- Epanchage d'un produit sur le sol.

Exemple :

- Présence d'isotopes radioactifs dans le sol suite aux retombées atmosphériques des explosions nucléaires atmosphériques ou d'accidents dans des centrales nucléaires (Tchernobyl).
- Acidification des sols entraînant une baisse du pH. Ceci accroît la dissolution des minéraux et augmente leurs mobilités. L'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote sont des gros contributeurs.
- Métaux lourds type plomb ou cadmium entraînant la mort des systèmes racinaires.
- Epanchages de produits phytosanitaires ou d'engrais lessivés par les pluies (par exemple en Bretagne).

### II.2.2 pollution ponctuelle

Généralement, on se trouve en présence de pollution accidentelle dont l'origine peut être :

- Le déversement de produits polluants sur une zone restreinte (débordement, fuites....)
- Lessivage d'une zone de stockage de déchets
- Dépôts.

### II.3 Principaux contaminants

Les principaux contaminants sont des substances chimiques organiques (hydrocarbures, solvants, phytosanitaires....) ou inorganiques (métaux lourds, nitrates....).

Les tableaux ci-dessous présentent les principales familles de produits polluants.

**Tableau 4** : Produits inorganiques

Produits	Polluants types
Métaux lourds	V Cr Mn Ni Cu Zn Ag Cd Sn Hg
Non-métaux et metalloïdes associés	Tl Pb Bi As Se Sb Te
Anioniques et autres	Nitrates, sulfates, Nitrites, fluorures – Chlorures – Cyanures

**Tableau 5** : Produits organiques par famille de produits

Familles de produits	Polluants types	Molécule chimiques types
Hydrocarbures ou huiles minérales  Type carburant, combustibles	Essence, diesel, fuel, naphtha, Guédron...	- Alcanes (hydrocarbures aliphatiques) - Cyclane (hydrocarbures aliphatiques cycliques) - hydrocarbures aromatiques monocycliques -Aromatiques polycycliques (HAP)
Produits organiques industriels	Base de chimie de synthèse  Solvants Traitements	Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques halogénés (chlorés, fluorés, bromés, iodés)  Aromatiques monocycliques, substitués (halogénés, phénolés, nitrates) ou non  Aromatiques polycycliques (HAP)  Composés phénoliques, phtalates  PCB, PCT, Dioxines, Furanes
Phytosanitaires	Herbicides, Insecticides, acaricides, raticides et fongicides	Amides, urées, sulfonylurées, triazines, acides aryloxyalkanoïques, diphényl-éther, carbonates... Organophosphorés, organochlorés et pyréthroides, azotes, carbonates,

Autres	Tensioactifs	dithio-carbamates....
	Militaires	Détergents anioniques et cationiques Substances à usage militaire, explosifs

## II.4 Méthodes de traitement de la boue :

Pour résoudre un problème de décontamination d'un sol, il n'y a pas de solution exclusive. Le traitement à mettre en œuvre est souvent une combinaison de plusieurs techniques.

Le choix est fonction principalement de la nature du sol, des polluants présents, des objectifs de dépollution à atteindre, des délais imposés, de l'espace disponible, du contexte économique et réglementaire et de la destination future du site.

Il existe plusieurs techniques classiques pour les cas de pollution les plus courants.

On peut les classer en quatre familles principales :

- ❖ **Traitements hors site** : on procède alors à l'excavation et à l'évacuation des déchets, terres et eaux polluées vers un centre de traitement adapté (incinérateur, centre d'enfouissement technique, centre de traitement de terres ou d'eaux polluées)
- ❖ **Traitements in site** : le sol est laissé en place. Le polluant est soit extrait et traité en surface, soit dégradé dans le sol ou encore fixé dans le sol. Les eaux peuvent être également traitées in situ.
- ❖ **Traitements sur site** : la terre et les eaux polluées sont extraites et traitées sur le site même. La terre traitée peut être laissée sur le site ou éventuellement évacuée après traitement.
- ❖ **Confinement** : la terre et les eaux polluées ou les déchets sont laissés sur le site. Les travaux consistent à empêcher la migration des polluants et limiter le risque

### II.4.1 Traitements thermiques

Les techniques de traitement thermiques emploient les températures élevées (de l'ordre de 500°C) pour récupérer les hydrocarbures qui souillent les rejets.

Le traitement thermique est le traitement le plus efficace pour détruire les produits organiques, réduire également le volume et la mobilité des produits inorganiques tels que les métaux et les sels. Un traitement additionnel peut être nécessaire pour les métaux et les sels,

selon la destination finale des rejets. Les rejets à forte teneur en hydrocarbures (en général 10 à 40%), comme la boue à base d'huile, sont de bons candidats pour le traitement thermique. Celui-ci peut constituer une étape préliminaire pour réduire la toxicité et le volume des rejets et de les préparer à un traitement final avant leur stockage ou réutilisation (par exemple comme matériaux de remblai).

### **A) Procédés de traitement :**

Les techniques de traitement thermiques peuvent être groupées dans deux catégories :

- ❖ Désorption thermique par chauffage direct
- ❖ Désorption thermique par chauffage indirect

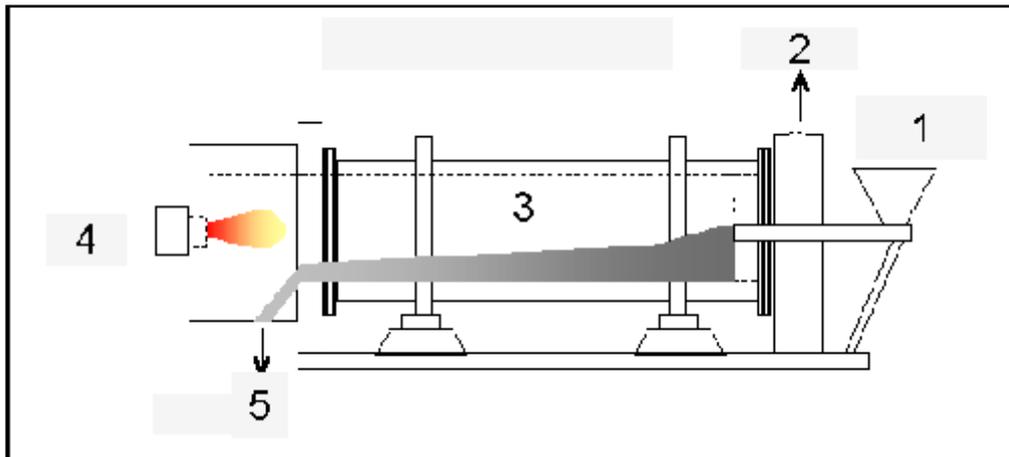
#### **A.1) Désorption thermique par chauffage direct**

Le procédé consiste à apporter l'énergie calorifique par contact direct (convection et radiation) vers le sol à traiter (**Figure 13**). L'énergie parvient grâce à un brûleur (propane ou gaz naturel) placé dans la chambre de désorption. Les contaminants en phase gazeuse sont emportés avec les gaz chauds de combustion (brûleur) vers un procédé complémentaire de traitement des gaz.

Ce type de procédé, à grande capacité de traitement et assez simple d'installation, est plutôt adapté pour :

- ✚ des sols aux pouvoirs calorifiques modérés,
- ✚ des sols à humidité inférieure ou égale à 25%.

L'inconvénient majeur de ce procédé réside dans les grands volumes de gaz à traiter par unité de masse de solide.



**Figure 13: un désorbeur à chauffage direct**

Légende du schéma :

1. alimentation solide
2. sortie gaz
3. tambour rotatif
4. brûleur
5. solide traité

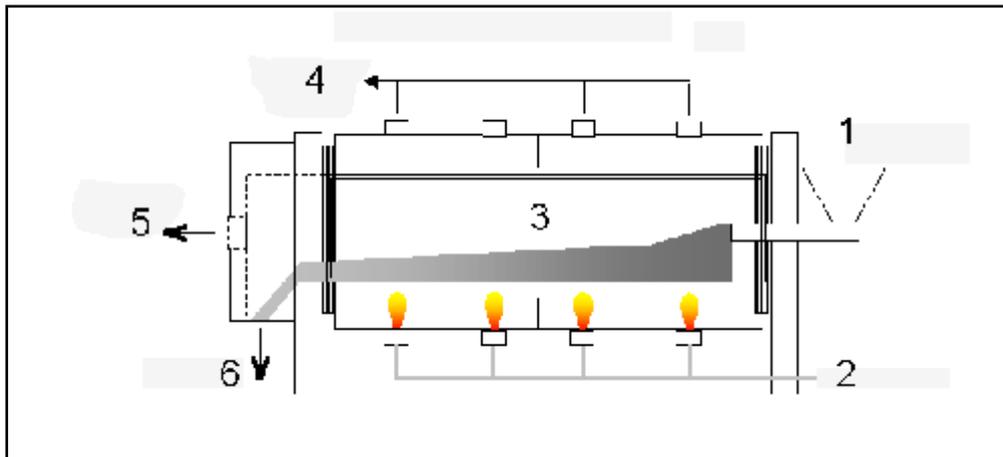
### **A.2) Désorption thermique par chauffage indirect**

Le procédé consiste à apporter l'énergie calorifique par conduction à travers une paroi (double enveloppe chaude, résistances électriques,...) et par radiation à partir de la paroi chaude (**Figure 14**). Les contaminants en phase gazeuse sont emportés par un gaz de purge vers un procédé de traitement.

Ce type de procédé permet :

- ✚ de traiter les sols quelque soit leur contenu calorifique
- ✚ de traiter des sols même avec un fort pourcentage d'humidité
- ✚ d'avoir un minimum de gaz à traiter (les gaz de combustion n'étant pas mélangés avec les vapeurs désorbées) et de limiter les envols de particules

L'inconvénient majeur de ce procédé réside dans la limite en terme de capacité de traitement.



**Figure 14: un désorbeur à chauffage indirect**

Légende du schéma :

1. alimentation solide
2. rampe brûleurs
3. tambour rotatif
4. sortie fumées brûleurs
5. sortie gaz désorbés
6. solide traité

### **B) Fonctionnement de l'unité du procédé thermique :**

Le procédé utilisé à Hassi Messaoud est le chauffage indirect. Il est simple et coûteux en même temps, mais plus efficace, il est considéré comme un traitement définitif.

Le prétraitement des déblais consiste à le tamiser pour enlever les grands éléments et les débris étrangers, à l'aide de visse convoyeurs. Les Cuttings seront transportés vers l'unité de séchage où ils seront chauffés à une température de 250 - 650°C pour les sécher et l'évaporation permettra la séparation solide liquide.

Après la désorption, on aura un gaz propres et recyclé dans des conduites d'évaporation.

La vapeur sera filtrée de ses impuretés qui vont être recyclées par la suite dans le filtre où elles seront évacuées vers le système de convoyeurs.

La température de la vapeur diminuera avec les ombrelles d'eau dans le refroidisseur adiabatique (condensation primaire).

Par la suite, il y aura une condensation secondaire qui transformera la vapeur en liquide (huile, eau).

Une partie des gaz sera brûlée et le gaz inerte résiduel sera évacué dans l'air.

La phase liquide restante sera transportée dans un séparateur qui fonctionne par différences de densité. **(Figure 15)**

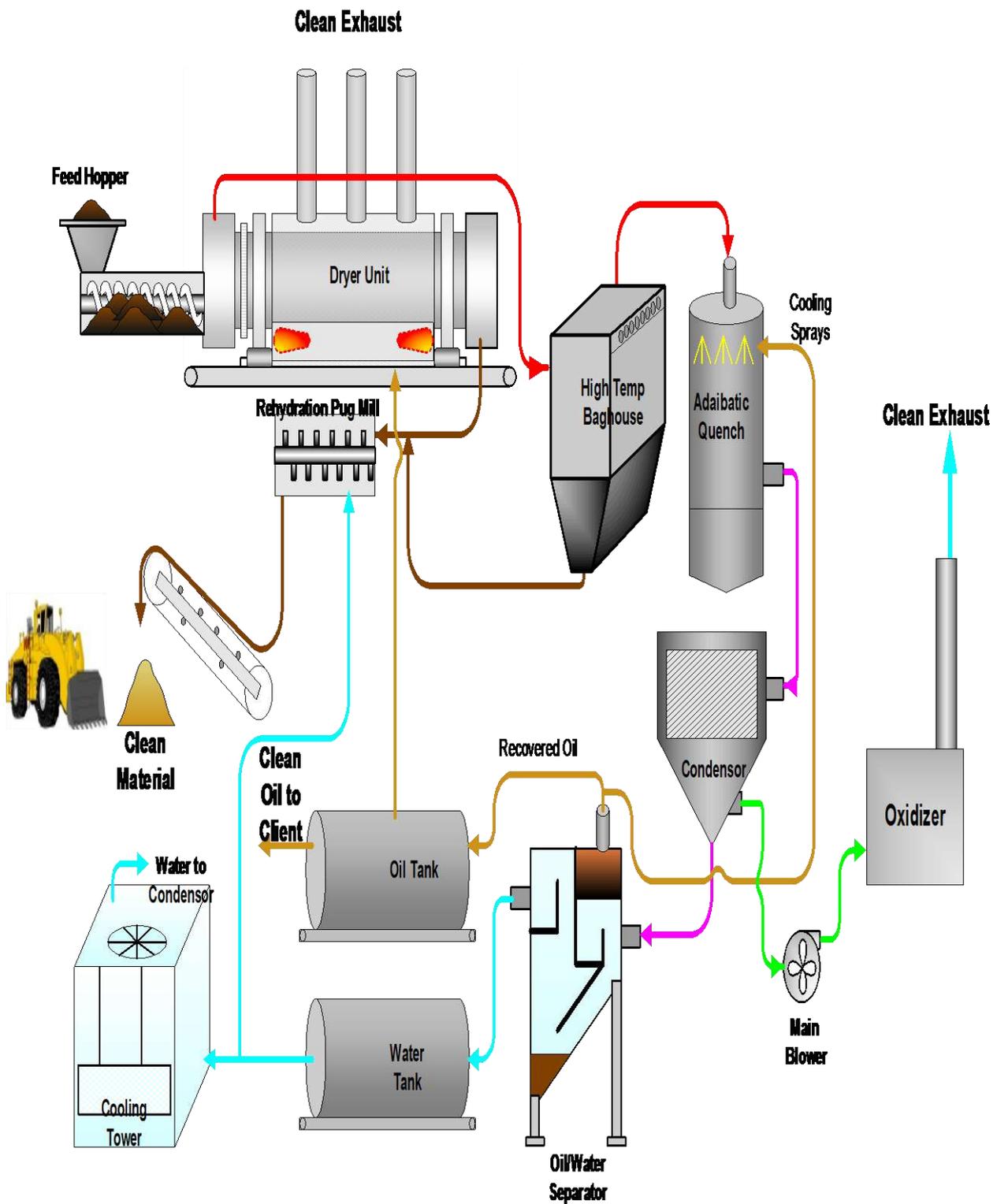


Figure15 : présentation d'un unité de traitement thermique [10]

## II.4.2 Traitements physico-chimique

Il existe plusieurs procédés physico-chimiques de décontamination des sols, le procédé appliqué actuellement par SONATRACH est celui de l'**Inertage**. Cette technique consiste à traiter les cuttings contaminées par des produits chimiques spécifiques dans le but de les rendre inerte chimiquement (piégeage des contaminants). De même, la partie liquide peut être traitée de la même façon qu'une eau usée.

L'inertage peut s'effectuer selon deux méthodes :

### A) Traitements ON-LINE

Le traitement des solides appelé communément traitement mécanique est le processus basique effectué pour l'épuration des boues de forages à base d'huile qui seront par la suite réutilisées (la boue à base d'eau usée n'étant pas réutilisée, et directement rejetée dans le borbier).

Selon l'emplacement, le système de boue et la géométrie du puits, on aura besoin d'un ou plusieurs tamis vibrants, dessableur, Mud Cleaner et centrifugeuses.

L'épuration mécanique consiste en une batterie d'équipement avec des principes de fonctionnement plus au moins similaires :

1. En premier lieu, les tamis vibrants qui constituent le premier maillon de la chaîne de traitement. Les Cuttings passent au travers de toiles de façon à lui soustraire les particules les plus grosses qui seront acheminées vers le borbier. L'efficacité des tamis vibrants dépend de la fréquence et de l'amplitude de vibration, des grosseurs des mailles ainsi que du débit des Cuttings arrivant sur les toiles.
2. La boue récupérée passe après dans le dessableur qui est un hydrocyclone. Le fluide pompé sous pression, est envoyé tangentiellement sur une partie cylindrique fixe ou sa vitesse  $V$  se transforme en vitesse angulaire  $W$ . Cette partie cylindrique est raccordée à une partie conique, l'effluent lourd se déversent au bas du cône, le léger vers le haut.
3. Du dessableur la boue passe au Mud Cleaner, il s'agit d'un appareil combinant l'hydrocyclonage et le tamisage.
4. La dernière étape d'épuration mécanique est le passage de la boue à travers la centrifugeuse, elle se dirigera ensuite vers les bassins de circulation pour être réutilisée.

### A.1) Mode de fonctionnement de la machine :

La boue s'infiltré à travers les tamis et rejoint les réservoirs du circuit de la boue, les déblais tombent dans les convoyeur à élises et rejoint la vertigineuse (machine tourne 1000 tours à la minute) par la suite, les déblais enrobés par la boue seront récupérés, et le reste sera calciné et devient une poudre. La boue sera récupérée dans un bac et sera traitée par une centrifugeuse pour éliminer les solides (les silts). Après ces opérations, la boue rejoint le circuit à boue.

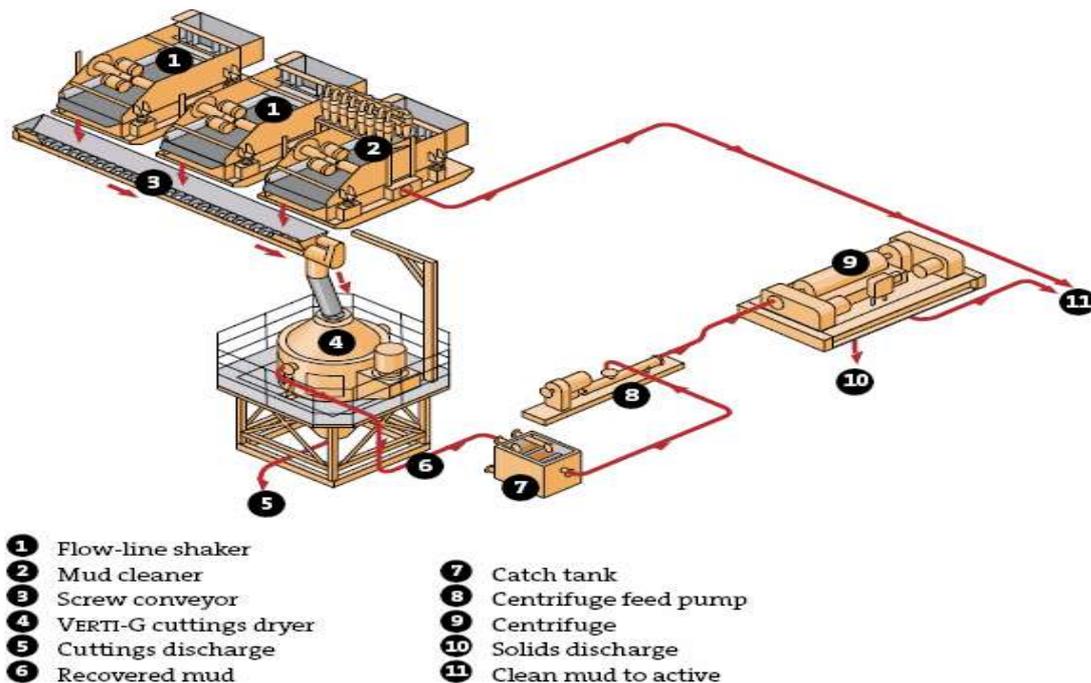


Figure 16: unité de traitement on-line [11]

### B) Traitements OFF-LINE

Les rejets (boues à base d'eau, déblais contaminés, boue à base d'huile et l'eau) se retrouvent dans le borbier à la fin des opérations Forages, Work-Over subissent un traitement selon le procédé stabilisation et solidification qui consiste à rendre inerte tout rejet pétrolier solide ou semi liquide par effet d'encapsulation avec l'ajout d'un produit chimique et d'un liant hydraulique (Figure 17 ci-dessous). Le rejet traité sera sous forme d'une matrice solidifiée.

Les processus de la solidification et de la stabilisation peuvent être définis comme suit.

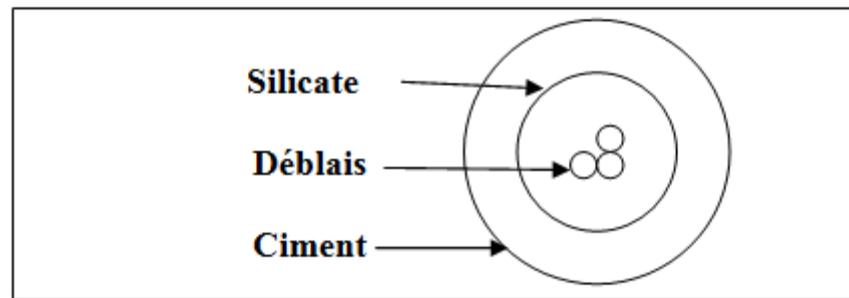
## B.1) Solidification :

Elle se rapporte aux techniques d'encapsulation des déblais de forage par un liant hydrauliques pour les transformer en une forme consolidée ayant de bonnes propriétés mécaniques.

Les liants hydrauliques utilisés à HMD sont :

- Silicate de sodium ( $\text{SiO}_2 \text{Na}_2\text{O}$ ).
- Silicate de potassium ( $\text{SiO}_2 \text{K}_2\text{O}$ ).
- Ciment.
- ◆ **Silicate**: il donne un précipité insoluble en présence des métaux lourds et lorsqu'il réagit avec un cation polyvalent tel que : Calcium et magnésium, ces derniers forment un film imperméable autour des particules du solide.
- ◆ **Ciment** : (lie 2 éléments ensemble, réaction chimique avec  $\text{H}_2\text{O}$ )
  - hydraulique car il durcit au contact de l'eau (par hydratation) avec laquelle ils sont mélangés
  - liant car il agglomère fortement les autres matières incorporées au mélange.

Il enrobe et renforce la qualité du film du silicate suite à la réaction chimique avec le calcium libéré, le ciment utilisé réagit avec le calcium pour obtenir un produit silicate insoluble à la fin de cette opération et avec le temps ce mélange devient solide et dur, c'est ce qui forme un produit stable et inerte.



**Figure 17: phénomène d'encapsulation**

L'encapsulation peut se faire sur des petites particules de rejets (micro encapsulation) ou sur un grand bloc ou conteneur de rejets (macro encapsulation).

La solidification n'implique pas nécessairement une interaction chimique entre les rejets et les produits de solidification mais peut mécaniquement lier les rejets dans le solide monolithe. La migration des contaminants est limitée en diminuant énormément la surface exposée à la lixiviation et/ou en isolant les rejets dans une capsule imperméable.

### **B.2) Stabilisation :**

Elle se rapporte aux techniques qui réduisent le potentiel de risque d'un rejet en convertissant les contaminants en leur moindre forme soluble, mobile, ou toxique. La nature physique et les caractéristiques de manipulation des rejets ne sont pas nécessairement changées par la stabilisation. Les produits les plus fréquemment employés pour assurer la solidification et la stabilisation des rejets solides sont : le ciment, les cendres volcaniques (pouzzolane), la chaux et l'oxyde de calcium.

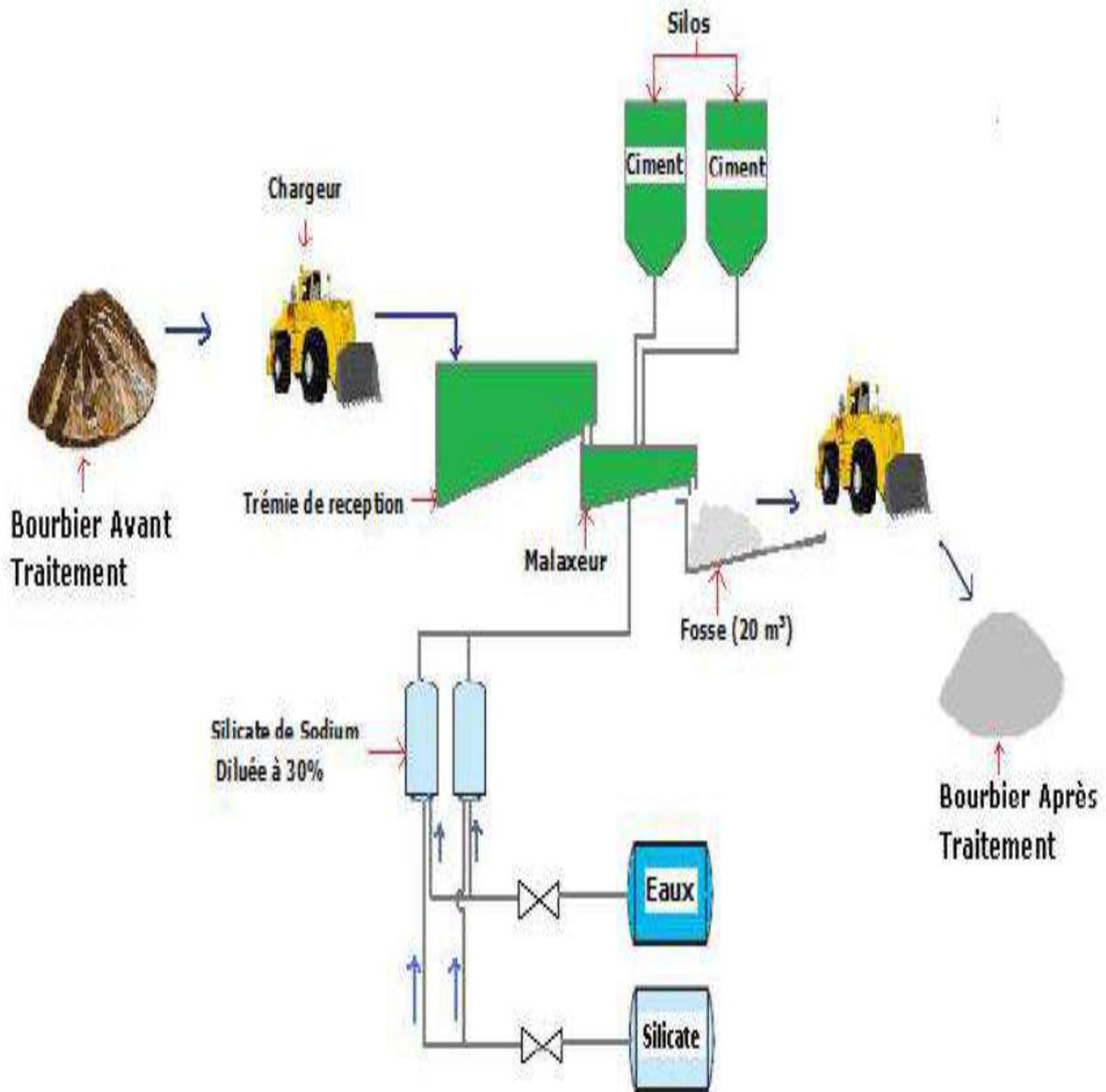
Ce n'est pas tous les déblais de forage qui sont favorables aux traitements chimiques de fixation et de stabilisation.

La solidification/stabilisation devrait être adaptée selon la destination des déblais et leur usage final et selon leur nature chimique.

Donc, des tests de laboratoire sont indispensables pour déterminer le meilleur mélange des produits d'encapsulation à utiliser en vue d'obtenir un produit final ayant des propriétés conformes aux exigences et recommandations de la réglementation en vigueur.

Il y a des restrictions pour l'application des procédés de stabilisation/solidification. Par exemple les systèmes basés sur le ciment ne sont pas applicables dans les cas suivants :

- La teneur des matières organiques dépassant 45%,
- Le rejet contenant moins de 15% de solide.



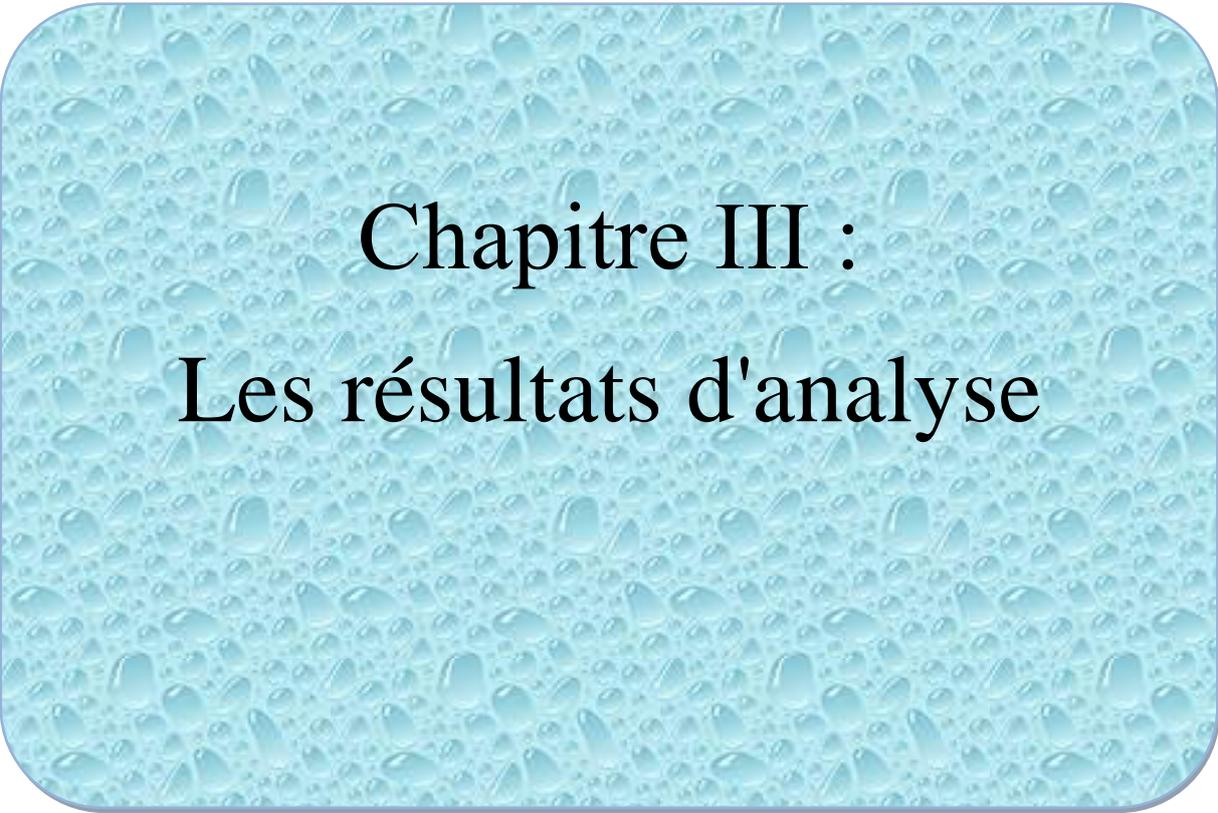
**Figure 18 : Schéma fonctionnel d'une unité de Stabilisation/Solidification[1]**



**Figure 19 : bourbier de forage MD660 après traitement in site**



**Figure 20 : rejet après traité par désorption thermique indirect[12]**



Chapitre III :  
Les résultats d'analyse

### III.1 Avantages et inconvénients des procédés de traitement de la boue :

**Tableau 6:** Représentation des avantages et les inconvénients de chaque méthode.

<b>Méthodes du traitement</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>thermique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de séparation des produits organiques des déblais de forage pétrolier .</li> <li>- Des températures plus basses exigent moins de carburant que d'autres méthodes de traitement.</li> <li>- Equipements capables de traiter jusqu'à dix tonnes de déblais par heure.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La désorption thermique ne serait pas un bon procédé pour traiter des contaminants tels que les métaux lourds puisqu'il ne se sépare pas facilement du sol.</li> <li>- Craquage thermique des hydrocarbures et autres huiles.</li> <li>- Corrosion importante des installations.</li> <li>- Les installations sont de véritables bombes donc dangereuse.</li> <li>- Les installations encombrantes et coûteuses.</li> </ul>
<b>Mécanique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le traitement "On-line " commence et se termine avec le forage et permet de forer un puits sans borbier.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Malgré l'adaptation de la plate forme pour l'installation des équipements de traitement, l'encombrement fait encore défaut, vu qu'il y a un engin qui ramasse les déblais rejetés par les tamis; ce qui implique que l'application de ce traitement dans un</li> </ul>

		<p>puits directionnel serait plus difficile, cars il y a plus de cabines et du personnel.</p> <p>- Ne pas couvrir la terre de Bourbier avant le début de forage petrolier</p>
<b>S/S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facile à pratiquer étant donné les températures utilisées</li> <li>- Technique peut couteuse</li> <li>- Facile a mettre en œuvre</li> <li>- Traitement de grande quantité de boue en peut de temps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne donne pas une identification de tous les éléments chimiques qui sont contenu dans la boue</li> <li>- Risque produits chimique (ciment) , incendie</li> <li>- Il faut un suivi méthodique des déchets traités</li> <li>- Parfois, le traitement ne sera pas efficace après les résultats de l'analyse</li> </ul>

### III.2 Analyses laborantines de méthode de traitement S/S :

Au cours de notre stage pratique nous avons observé les analyses chimiques réalisées pour contrôler la boue de forage à partir de mesures d'émulsion, de filtrat et la rhéologie et le rapport huile-eau pour forer en toute sécurité.

On a procédé à quelques analyses avant et après le traitement solidification/stabilisation pour évaluer l'efficacité de cette méthode par la Société privée environnemental solution Alegria SARL (ESA) . (Tableau : 7, 8 )

Avant d'obtenir les résultats de l'analyse en laboratoire, Nous prenons un échantillon et l'étudions par un appareil appelé le distillateur à boue selon l'explication suivante :

On désaccouple la cellule, du godet qu'on remplit de notre échantillon à distillateur d'autre part, on remplit a celle avec la laine de fer, En suite on visse le godet sur cette dernière. Une fois le couple godet monté, on place le condenseur.

Après cette étape, on met le couple godet-cellule à l'intérieur de la chambre de chauffage ( $900^{\circ}\text{C}$ ) et le condenseur à l'extérieur. Sous le tube de sortie du condenseur on place une éprouvette graduée pour récupérer le distillateur et on relie le distillateur à une source de courant appropriée. Lorsqu'il ne sort plus de liquide du condenseur, après 60 minutes environ, on coupe le courant et lisons le volume d'eau et d'huile.



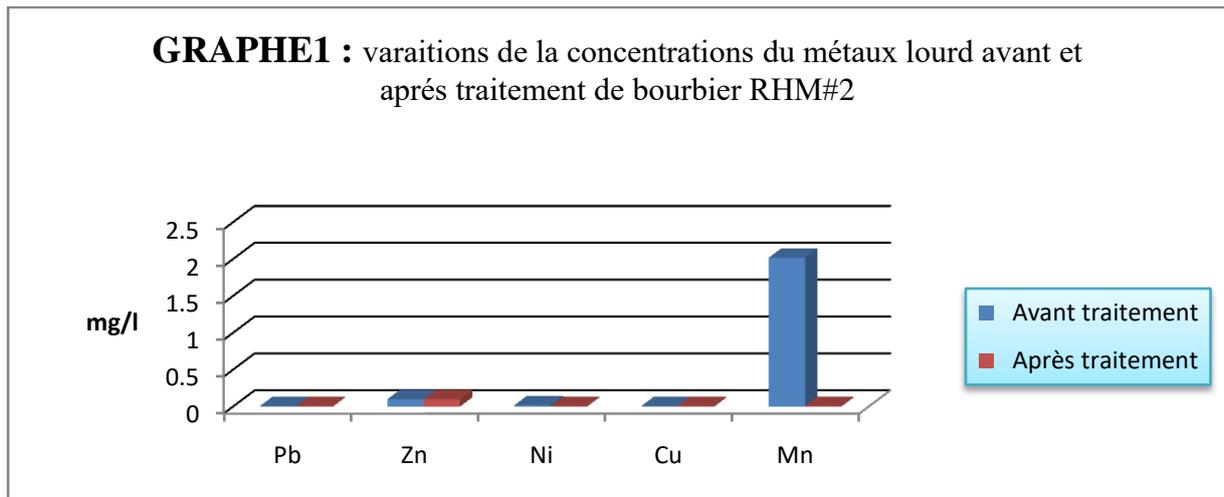
**Figure 21 : Le distillateur à boue**

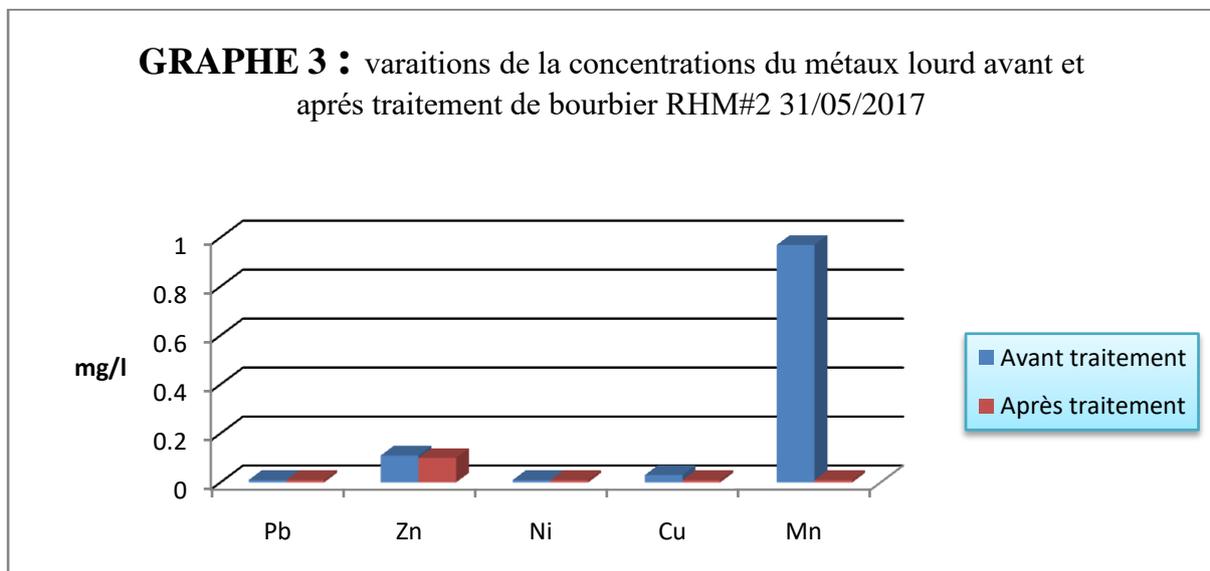
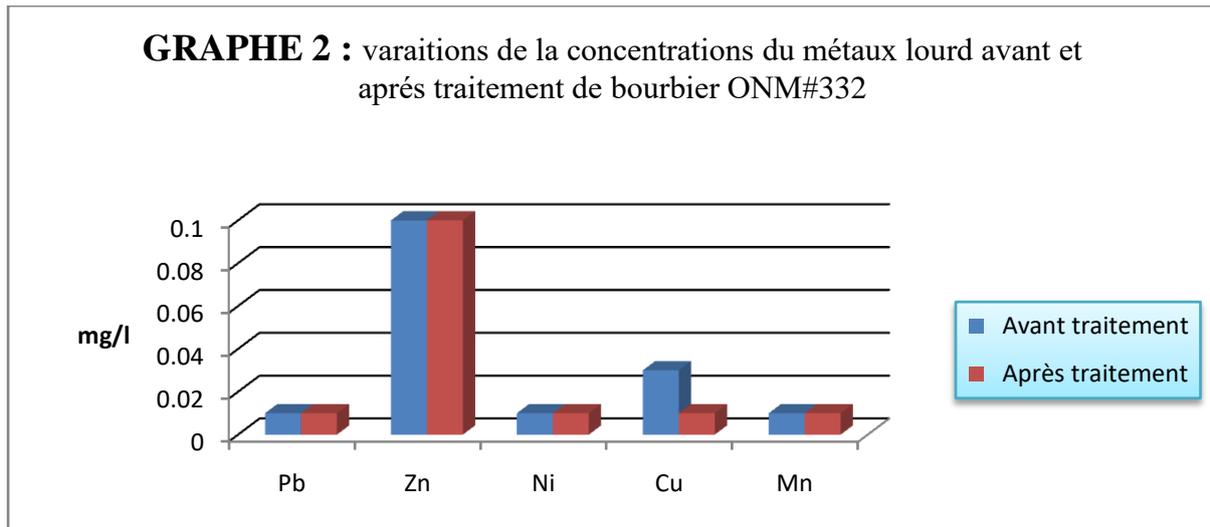
Les tableaux suivants montrent les résultats d'analyse de laboratoire de trois (3) échantillons de bourniers de Forage. La concentration des différents éléments est exprimée en mg/l.

**III.2.1 métaux lourd :**

**Tableau 7 :** Les résultats d'analyses des métaux lourd avant et après traitement des bourbiers de forage par la méthode S/S (03/01/2018) [13].

Eléments (mg/l)	Pd	Zn	Cu	Mn
RHM#2 Avant trait	0.01	0.1	0.01	2.02
RHM#2 après trait	0.01	0.1	0.01	0.01
ONM#332 Avant trait	0.01	0.1	0.03	0.01
ONM#332 après trait	0.01	0.1	0.01	0.01
RHM#2 31\05\2017 Avant trait	0.01	0.11	0.03	0.97
RHM#2 31\05\2017 Après trait	0.01	0.1	0.01	0.01



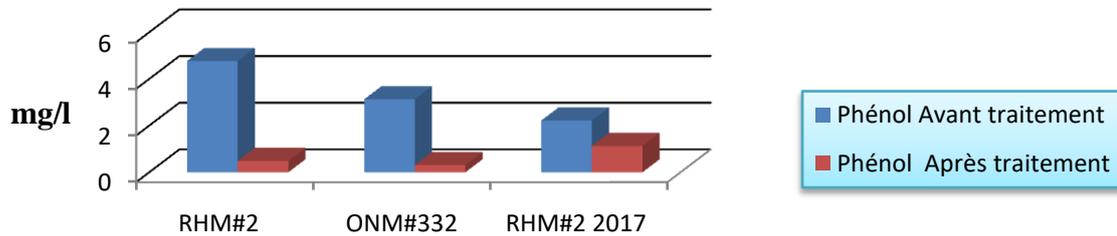


### III.2.2 Matières organiques :

**Tableau8 :** Les résultats d'analyses des matière organique avant et après traitement des bourbiers de forage par la méthode S/S (03/01/2018) [13].

bourbiers de forage	Phénols Avant trait (mg/l)	Phénols Après trait (mg/l)
RHM#2	4.77	0.49
ONM#332	3.13	0.31
RHM#2 31\05\2017	2.22	1.13

**GRAPHE 4:** variations de la concentrations de phénol avant et après traitement des borbiers de forage



### III.2.3 Interprétation des résultats d'analyse de méthode de traitement S/S

D'après les graphes obtenus après l'étude d'analyse des échantillons de borbier de forage, ce qui nous montre les variations de concentration en métaux lourds avant et après le traitement de ces échantillons, nous notons que avant que les échantillons traités était la concentration de métaux lourds est élevée dans un domaine particulier, et après le traitement par la méthode stabilisation/solidification nous a montré les résultats de faible concentration comme une faible concentration en manganèse 2,02 mg / l à 0,01 mg / l et concernant le traitement de matières organiques on note une diminution de la concentration comme indiqué dans les tableaux 8 et Graphe 4.

D'après des interprétations précédentes, nous concluons que la méthode de traitement solidification /stabilisation est plus efficace en réduisant et en éliminant le risque des métaux lourds et des matières organiques sur le sol et les eaux souterraines.

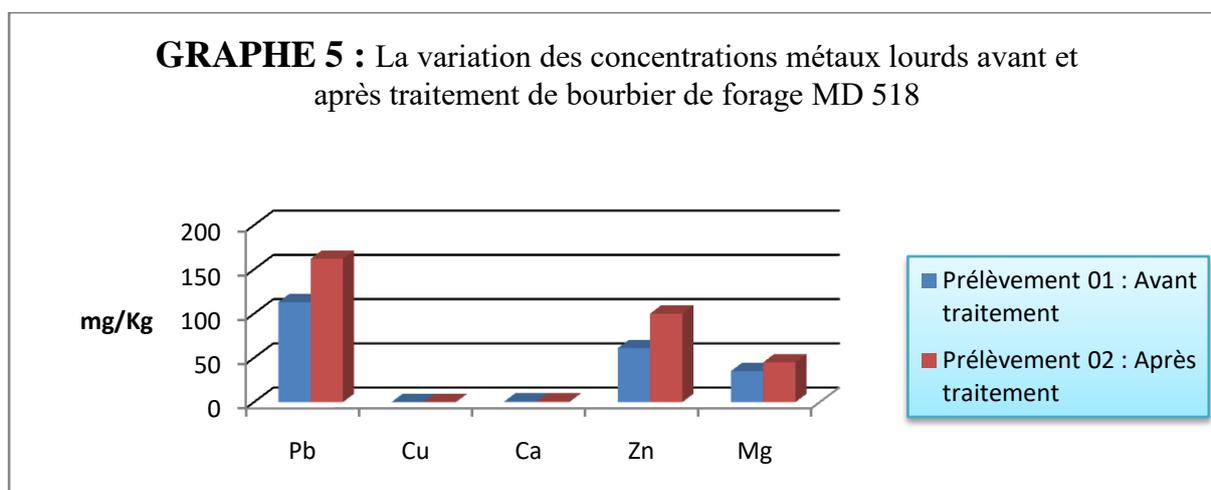
### III.3 Résultats d'analyse traitement thermique :

#### III.3.1 métaux lourds :

**Tableau 9 :** Les résultats d'analyses des métaux lourds avant et après traitement par désorption thermique indirecte de borbier de forage MD 518 [11]

borbier de forage MD 518		Prélèvement 01 : Avant traitement (mg/kg)	Prélèvement 02 : Après traitement (mg/kg)
	Pb	113.00	162.00
	Cu	00	00
	Ca	1.00	1.00
	Zn	61.00	100.00
	Mg	35.00	45.00

**GRAPHE 5 :** La variation des concentrations métaux lourds avant et après traitement de borbier de forage MD 518

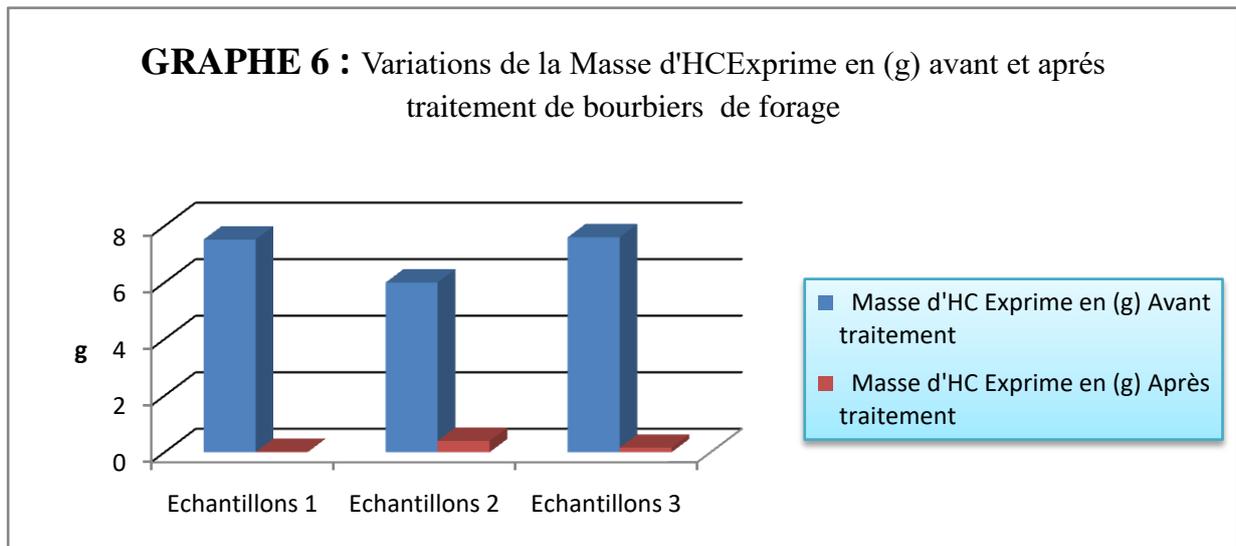


#### III.3.2 Matière organique :

**Tableau 10 :** Teneur en hydrocarbures totaux avant et après traitement par la désorption thermique indirect de borbier MD518 [14].

Echantillons	Masse d'HC Exprime en (g) Avant traitement	Masse d'HC Exprime en (g) Après traitement
Echantillons 1	7.52	0.01

	Echantillons 2	6	0.4
	Echantillons 3	7.6	0.16



### III.3.3 Interprétation des résultats d'analyse de la méthode de traitement désorption thermique indirect:

A travers le graphe obtenu après avoir étudié l'analyse de l'échantillon de borbier de forage MD 518, qui nous montre les variations de concentration en métaux lourds avant et après le traitement de cette échantillon par la méthode désorption thermique indirect, on remarque une augmentation de la concentration des métaux lourds après cet de traitement de l'échantillon. Exemple: augmentation de la concentration de plomb de 113 mg / kg à 162 mg / kg et concernant les autres métaux on Remarque une augmentation des concentrations finales par rapport à celle primaire.

En ce qui concerne les matières organiques des trois échantillons indiqués dans le graphe n° 6, on note une diminution très significative de la concentration de celui-ci après le procédé de traitement thermique Exemple: la concentration du première échantillon était 7,58 mg / l et après le traitement est devenu 0,01 mg / l et ainsi que le reste des échantillons.

D'après l'interprétation des graphes précédents, nous concluons que la méthode traitement désorption thermique indirecte est efficace dans le traitement du matière organique et non efficace dans le traitement des métaux lourds en raison du manque d'énergie thermique

nécessaire pour le éliminer ou réduire la concentration de métaux lourds il faut une température supérieure à 1000° C.

### III.4 Comparaison entre deux méthodes :

A travers l'étude analytique et l'interprétation des graphes de méthodes de traitement, nous notons que le traitement par la désorption thermique indirect est plus efficace dans l'élimination des matières organique et d'hydrocarbures (parfois complètement éliminés).

D'autre part, on a trouve les inconvénients de cette méthode de traitement qui consiste à augmenter la concentration des métaux lourds après traitement.

En ce qui concerne la méthode solidification /stabilisation plus efficacité dans l'élimination de concentration des métaux lourds et matières organiques présentes dans l'échantillon après le traitement, Le seul problème est que dans cette méthode les propriétés de l'encapsulation peuvent être affectées par les limitations physiques de l'environnement, et à l'heure, celui-ci perd de retenir les métaux lourds.

Bien que la comparaison entre ces deux méthodes en termes de coût, la méthode de traitement désorption thermique indirect avec le coût de plus que le coût de la méthode de traitement solidification/ stabilisation (200 Voire 250 dollars américains / m<sup>3</sup> de déblai Pour la désorption thermique indirecte, et 100 dollars American / m<sup>3</sup> de déblai pour la solidification - stabilisation). [15]

La réhabilitation du sol par la méthode solidification/ stabilisation est plus rapide par rapport à la désorption thermique indirecte à cause de la facilité d'utilisation de la méthode de solidification/stabilisation.

## Conclusion générale

D'après notre étude et à nos recherches bibliographiques et aux informations obtenues par l'entreprise Sonatrach DP, la méthode de solidification / stabilisation est plus largement utilisée dans le champ Hassi Masoud en raison de sa facilité d'utilisation, de son faible coût et de sa rapidité de traitement, mais il existe une autre méthode désorption thermique indirecte elle n'est pas utilisable à cause de leur coût qui est très élevé ainsi que la détérioration de leur équipements favorise un arrêt de travail influant sur l'efficacité du traitement.

A travers l'étude analytique et la comparaison entre les deux méthodes de traitement, chaque méthode a un rôle important dans la protection de l'environnement et du sol en réduisant et en éliminant les déchets du forage pétrolier (bourbier).

En conclusion, la protection d'environnement est primordiale dans toute industrie polluante.

Ces rejets polluants doivent subir un traitement par solidification / stabilisation pour éviter toute contamination du sol et sous-sol.

Pour remédier à ce problème, l'application des lois nationales et internationales concernant l'environnement et le traitement des rejets (solides et liquides) doit être respectée avec rigueur.

Pour le cas de l'Algérie, un transfert technologique à travers le partenaire étranger est très essentiel pour réussir cette nouvelle politique de protection d'environnementale.

D'après les résultats d'analyses effectuées au laboratoire (Graphes 01 à 04), le procédé de traitement Solidification / Stabilisation par le ciment et le silicate de sodium est avéré très efficace.

## Recommandations

1. Le procédé Stabilisation/Solidifications doit être généralisé pour tous les bourbiers issus de l'activité forage pétrolier.
2. Le procédé Stabilisation/Solidifications est le mieux adapter pour le traitement des rejets issus des centres de traitement des hydrocarbures, des centrales a boues et autres activités pétrolières.
3. Le mode de traitement On-Line (Traitement en cours de la production) est une nécessité actuelle pour atteindre l'approche de production sans borbier et ceci pour éviter toute contamination pollution possible.
4. Etudier toutes les possibilités pour valoriser le déchet après traitement (ex. piste, route, construction (fondation), bordures de trottoir, dalles, etc.).
5. La formation du personnel est très nécessaire pour mieux cerner le problème de pollution par les déchets ultimes et pour généraliser ce procédé en Algérie.
6. Fournir un spécialiste dans le domaine de la prévention, la sécurité et l'environnement, en particulier le responsable environnementale dans le centre de l'unité de traitement.
7. Fournir des équipements de protection individuelle (EPI) pour les travailleurs de l'unité de traitement.
8. Le partenaire de Sonatrach devrait prendre des mesures moins coûteuses pour protéger l'environnement et l'environnement économique
9. -La méthode de traitement thermique indirect avec un coût important dans la mise en œuvre et pour cela il faut que l'entreprise Sonatrach recourir à d'autres méthodes de traitement moins coûteuses

---

## Bibliographie

[1]: BOUKHALFA Zahra : "Etude des méthode traitement des boues de forage; considération environnemental " , Mémoire master, Spécialité Management de la qualité; Université M'Hamed Bougara - Boumerdes ; Année , 2016/2017.

[2] : Document intern SONATRACH DP.

[3]: <http://www.mesp-spa.dz/fr/traitemnts2.html>.

[4]: <https://petroattitude.wordpress.com/tag/boue-de-forage/>

[5]: Abbas Hadj Abbas: " Les bourbiers des forages petroliers et des unités de production Impact sur l'environnement et technique de traitement" ; mémoire Magister Spécialité : Génie pétroliers, Université Kasdi Merbah Ouargla, Année : 2010/2011.

[6]: Mohammed CHERIFI "Drilling Waste Management for Environmental Protection in Hassi Messaoud Field", Faculty of Design and Technology, School of Engineering, the Robert Gordon University, Aberdeen, June 2006"

[7]: Document intern SONATRACH division de forage RHU

[8]: ENSPM( Ecole national supérieur du pétrole et des moteurs)

[9]: journal official Alegria.

[10]: SLIMANI Hanan " mémoie master; etude périliminaire sur la valorisation d'un déblai de forage polluant par incorporation dans un matrice cimentaire ; département: génie de procédés industriels ; Université M'Hamed Bougara - Boumerdès; Année 2016/2017 "

[11]: BELHABIB Abdelouhab: " Les fluides de forage a base d'huile; impacts sur l'environnement et technique de traitement", Université Kasdi Merbah Ouargla, Mémoire master professionnel, Spécialité: Forage , Année 2012/2013.

[12]: LABRAG Youcef et al: " Les boues de forage pétrolier et leurs considérations sur environnemental" , Mémoire master, université Kasdi Merbah Ouargla, Département hydrocarbures, Année: 2012/2013.

[13]: laboratoire de la société Environnemental solution Alegria SARL (ESA).

[14]: MISWACO Algeria 2012.

---

## Annexe

### مخطط إخلاء الطوارئ في الوحدة 5 SOL

#### صافرة الإنذار :

- سماع صافرة إنذار طويلة :  إخلاء الموقع
- سماع صافرة الإنذار ثلاث مرات متتالية :  حريق
- سماع صافرة الإنذار مرتين متتاليتين :  وجود إصابات

#### تعليمات عامة في حالة الطوارئ :

- لا تصب بالارتباك و الهلع .
- إبلاغ المسئول المراقب أو المشرف عن الموقع بالحالة الطارئة.
- لا تسرع ولا تجري أثناء النزول من الوحدة .
- لا تسرع في التوجه الى نقطة التجمع.
- عند القيام بعملية إخلاء الموقع توجه مباشرة إلى نقطة التجمع.
- لا تحاول إخماد الحريق بنفسك الا اذا كنت مدربا من قبل على إخماد الحرائق الصغيرة.

### الحريق

#### في حالة اندلاع حريق :

##### (1) في الوحدة :

- إذا لحضت اي شرارة تخرج من الأسلاك / محركات الوحدة / وحدات التصليب / الخلاط / غرفة التحكم ... رأيت او شممت رائحة دخان في اي مكان حول الوحدة :
- عزل الحريق عن إغلاق الباب اذا كان يمكنك القيام بذلك بأمان .
  - توقيف الوحدة باستخدام زر التوقيف في حالة الطوارئ .
  - إرسال تنبيه بتشغيل اقرب جهاز إنذار من موقعك .
  - إبلاغ مسؤول المشروع / المراقب او المسؤول عن الموقع .
  - في حالة ما كان المكان مليء بالدخان استخدم منشفة او منديل مبلولين بوضعه على الأنف و المشي منخفضا.
  - لا تحاول اخماد الحريق بنفسك ما لم تكن مدربا جيدا على استخدام طفاية الحريق بأمان.
  - ابق متيقظا للتنبيهات و الإجراءات اللازمة لحالات الطوارئ. و طبعا تعليمات المشرف

## الطوارئ الطبية

### في حالة الطوارئ الطبية :

- لا تاخذ الدواء بدون وصفة الطبيب.
- تحقق بعناية اسم وتاريخ انتهاء الصلاحية.
- توجه الى المكان الذي يوجد في اقرب صندوق للإسعافات الأولية.
- اذا كنت تواجه حالة طوارئ طبية ، توجه الى اقرب زميل او مشرف الموقع.

### في حالة ما احد زملائك يواجه حالة طوارئ طبية :

- الذهاب اليه مباشرة.
- إبلاغ المشرف، شخص آخر، مع ذكر الموقع، الحالة و صف ذلك ( نوبة قلبية، مرض خطير، اصابة، وفاة ... الخ )
- الاتصال باي شخص يتقن الاسعافات الأولية.
- لا ترتبك، حاول رفع الثقل من اعلى الضحية، و مواسته لجعله يرتاح نفسيا.
- لا تحرك الضحية او أطرافه.
- ازالة اي شيء يتقل جسم الضحية، او يسبب له الازعاج.

### في حالة الاختناق :

- أسأل الشخص المصاب : هل انت تختنق؟
- لا تفعل اي شيء اذا كان المصاب يسعل، يتحدث او يتنفس.
- إبلاغ بالحالة الطارئة لمشرف الموقع، تقني الموقع و مسؤول الموقع.

### في حالة النزيف :

- قم بارتداء القفازات ، وقم بالضغط على الجرح النازف باستعمال قطعة قماش نظيفة، استمر في الضغط و غير الضمادة او أضف ضمادة جديدة فوق القديمة.
- لا تقم بإزالة الضمادة القديمة.

### في حالة الصدمة الكهربائية :

- قم بعزل المصاب عن مصدر التيار باستعمال قطعة خشبية أو قم باغلاق القاطع.
- تأكد ان يديك جافتين و انك تقف على اضية جافة.
- إبلاغ بالحالة الطارئة لمشرف الموقع، تقني الموقع و مسؤول الموقع.

### في حالة إصابة العين :

- قم بغسل العين من كل الشوائب باستعمال ماء نظيف / علبة تنظيف العين، اذا كانت العين مصابة قم بتغطيتها بضمادة معقمة أو قماش نظيف و تضميدها باستعمال علبة الإسعافات الأولية
- ابق مع المصاحب حتى وصول المساعدة الطبية.