

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de  
La Recherche Scientifique

Ecole Nationale Supérieure Polytechnique  
Département de génie de l'environnement



Projet de fin d'études pour l'obtention du titre d'ingénieur d'état  
en génie de l'environnement.

**Thème:**

Traitement des cuttings de forage de Hassi  
Messaoud avec des solutions tensioactives

Réalisé par :  
M<sup>r</sup> BENSEGHIER Rachid.

Proposé par :  
M<sup>r</sup> A.Aarroussi

Dirigé par :  
M<sup>me</sup> S.Zebouj  
M<sup>r</sup> A.Aarroussi

Soutenue le 12.10.2009 devant le jury :

Mlle D.Arrar	Maître de conférences, ENSP	Présidente
Mme S.Zebouj	Maître de conférences, ENSP	Promotrice
Mr T.Ahmed Zaïd	Maître de conférences, ENSP	Examineur
Mr A.Aarroussi	Chef de département, SONATRACH	Invité

Année Universitaire 2008/2009  
ENSP: 10, Avenue Hacén Badi, El-Harrach, Alger.

## Remerciements

*Je remercie le bon dieu de m'avoir donné du courage afin que ce mémoire vous soit présenté aujourd'hui.*

*Ce travail a été réalisé au laboratoire d'analyses de la division forage, direction Mud logging de Hassi Messaoud.*

*J'exprime ma reconnaissance à Monsieur Arroussi Arroussi, chef de département analyses, pour avoir proposé et diriger ce travail et pour la confiance qu'il m'a témoignée en m'accueillant au sein de son département pendant ces mois de travail.*

*Je remercie vivement Madame Zebouj Saliha, pour avoir accepté d'encadrer ce travail et pour tous les conseils qu'elle m'a donnés, ainsi que Les membres de jury, merci d'avoir accepté d'examiner et juger Mon travail.*

*Je tiens également à remercier M<sup>rs</sup> Ayadhi et Karim de m'avoir aidé, conseillé et encouragé.*

*Mes remerciements s'adressent au personnel du département analyses, plus particulièrement Messieurs Taouzinet, Zerrouk, Larbi, Ben Si Yakoub, Djari, Messouni, Khechine, pour leurs précieux conseils et pour m'avoir mis à l'aise dès le premier jour.*

*Mes remerciements aussi Mesdames, Ait-Soura, Samia, Ferial, Badra, Mesbah Amel, Karima, Feiza, Johar et Selma, pour leur aide précieuse afin de réaliser ce mémoire.*

*Je ne pourrais terminer mes remerciements sans y associer mes camarades de laboratoire Messieurs, Belakbane Abdelkrim, Hamitouche Slimane, Cherifi Khalef, et Mesdemoiselles Krim fatma Zohra, Chahrazed, wafa, et samira.*

*Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont je suis redevables se voient ici vivement remerciés.*

## *Dédicaces*

Je dédie ce travail

*A ma mère en témoignage de mon affection et mon admiration pour son courage et sa dignité et à qui je ne saurai jamais exprimer toute ma reconnaissance...*

*A mon père qui m'a tout donné et qui a su de ses précieux conseils m'inspirer le sens de la dignité du courage et du travail, qu'il trouve ici l'accomplissement de tous ses vœux...*

*A ma seule et unique sœur Radja, et mes frères Riadh, Rafik à qui je souhaite beaucoup de réussite.*

*A tout les enseignants qui ont participés de loin ou de prêt à ma formation.*

*A tous mes amis, amies et camarades en témoignages de mes plus profondes amitiés et ma sincère sympathie.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Rachid.*

# Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

## **Etude bibliographique**

<b>I. Les opérations et boues de Forage.....</b>	<b>4</b>
--	----------

I.1. La préparation d'un site de forage.....	4
I.1.1. La localisation et la préparation d'un site de forage .....	4
I.1.2. L'installation des équipements de forage.....	5
I.2. Le forage pétrolier.....	5
I.3. La boue de forage.....	7
I.3.1. Les caractéristiques de la boue de forage.....	7
I.3.2. Les fonctions principales des boues de forage.....	7
I.3.3. Le cycle de la boue de forage dans le système de forage.....	8
I.3.4. Les systèmes de boue de forage.....	9
Les boues à l'eau.....	9
Les boues à l'huile.....	9
I.3.5. Le choix des boues de forage.....	10
I.3.6. La composition des boues de forage.....	10

<b>II. Les déblais de forage (cuttings).....</b>	<b>12</b>
--	-----------

II.1. Caractérisation des déblais de forage.....	12
II.2. Les sources de contamination des déblais de forage.....	13
Les polluants issus des formations rocheuses.....	13
Les polluants issus de la boue de forage.....	13
II.3. La contamination par les hydrocarbures.....	14
II.4. La contamination par les métaux lourds.....	14
II.5. La contamination par les sels.....	14
II.6. Le devenir des contaminants des déblais dans l'environnement.....	14
II.7. Risques environnementaux et toxicité des déblais de forage.....	15
II.8. Législation et normes.....	16

<b>III. La gestion des déblais de forage.....</b>	<b>17</b>
---	-----------

III.1. Le prétraitement et le stockage.....	17
Le tamisage.....	17
La centrifugation.....	17
La décharge dans les bourbiers.....	18
III.2. Les modes de traitement.....	18
III.3. Les techniques de traitement.....	18
Le traitement thermique.....	19
La stabilisation solidification.....	19
D'autres méthodes existantes dans le monde.....	19
III.4. Facteurs financiers de la gestion.....	21

## **IV. L'amélioration du lavage des cuttings à l'eau par des agents tensioactifs et des additifs.....22**

<i>IV.1. Les tensioactifs.....</i>	<i>22</i>
<i>IV.1.2. Définition.....</i>	<i>23</i>
<i>IV.1.3. Classification.....</i>	<i>23</i>
<i>IV.1.4. Propriétés des tensioactifs.....</i>	<i>24</i>
<i>L'adsorption aux interfaces.....</i>	<i>24</i>
<i>L'autoagrégation ou micellisation.....</i>	<i>25</i>
<i>La solubilité.....</i>	<i>26</i>
<i>IV.1.5. Caractéristiques des tensioactifs.....</i>	<i>27</i>
<i>La tension superficielle.....</i>	<i>27</i>
<i>La concentration micellaire critique (CMC).....</i>	<i>27</i>
<i>La balance lipophile-hydrophile (HLB).....</i>	<i>28</i>
<i>Le point de KRAFT.....</i>	<i>28</i>
<i>IV.1.6. Fonctions.....</i>	<i>29</i>
<i>Le moussage.....</i>	<i>29</i>
<i>La dispersion solide-liquide.....</i>	<i>29</i>
<i>Le mouillage.....</i>	<i>29</i>
<i>L'émulsion.....</i>	<i>29</i>
<i>La détergence.....</i>	<i>29</i>
<i>IV.2. La solution détergente.....</i>	<i>31</i>
<i>IV.2.1. L'eau.....</i>	<i>31</i>
<i>IV.2.2. Le surfactant.....</i>	<i>31</i>
<i>Le choix de surfactant.....</i>	<i>31</i>
<i>La CMC.....</i>	<i>31</i>
<i>Le HLB.....</i>	<i>31</i>
<i>La température de KRAFT.....</i>	<i>31</i>
<i>IV.2.3. Les additifs de lavage.....</i>	<i>31</i>
<i>Les agents de PH.....</i>	<i>32</i>
<i>Les silicates.....</i>	<i>32</i>
<i>Les hydroxydes.....</i>	<i>32</i>
<i>Les phosphates.....</i>	<i>32</i>
<i>Les agents de séquestration spécifiques.....</i>	<i>32</i>
<i>IV.3. Les facteurs déterminants du lavage.....</i>	<i>33</i>
<i>IV.3.1. Les caractéristiques des cuttings.....</i>	<i>33</i>
<i>IV.3.2. Les caractéristiques de la solution détergente.....</i>	<i>33</i>
<i>IV.3.3. Le rapport quantitatif cuttings/solution détergente.....</i>	<i>33</i>
<i>IV.3.4. L'énergie mécanique.....</i>	<i>33</i>
<i>IV.3.5. La durée de lavage.....</i>	<i>34</i>
<i>IV.3.6. La température.....</i>	<i>34</i>
<i>IV.3.7. La succession de lavages.....</i>	<i>34</i>
<i>IV.4. Le recyclage de la solution de lavage.....</i>	<i>34</i>

## ***Etude expérimentale***

<b>I. Matériels et méthodologie expérimentale.....</b>	<b>37</b>
I.1. Matériels.....	37
Produits.....	37
Appareillage.....	37
I.2. Normes et méthodologies.....	38
L'échantillonnage.....	38
La conservation des échantillons.....	38
La préparation des échantillons.....	38
Caractérisation des déblais.....	38
La granulométrie.....	38
Le PH.....	38
Caractérisation de l'eau de la solution de lavage.....	38
La température.....	38
Le PH.....	39
Caractérisation du surfactant.....	39
Le lavage.....	39
La préparation des solutions de lavage.....	39
L'agitation.....	39
La centrifugation.....	39
L'analyse quantitative des hydrocarbures.....	39
L'analyse quantitative des métaux lourds.....	40
<b>II. Résultats et discussions.....</b>	<b>41</b>
II.1. Lavage à l'eau.....	41
II.2. Influence de l'ajout de surfactant dans le lavage (AVA).....	42
II.3. Influence du nombre de lavage.....	43
II.4. Influence de la concentration en surfactant (AVA).....	44
Conclusion : Lavage à l'eau amélioré par surfactant.....	44
II.6. Le comportement des surfactants.....	45
Comportement du surfactant CONDET E.....	45
Comportement du surfactant BARACLEAN.....	47
Comportement du surfactant AVA.....	48
Comportement du surfactant BJSP.....	49
Conclusion : Influence de la nature du surfactant.....	49
II.7. Influence des silicates de sodium.....	50
II.8. Influence des sels minéraux.....	52
II.9. Le lavage des métaux lourds.....	53
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>55</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>57</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>58</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>61</b>

## *Liste des figures*

<i>Figure I : Molécule tensioactif.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure II : Comportement du tensioactif autour de la CMC .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure III : Types de micelles.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure IV : Point de Kraft.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure V : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume d'eau utilisée.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure VI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume de la solution de lavage.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure VII : Aspect des solutions de lavage a volume différents après centrifugation.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure VIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du nombre de lavages successifs.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure IX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant AVA.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure X : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant CONDET E.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure XI : Aspect des solutions de lavage de CONDET E après centrifugation.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure XII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant BARACLEAN.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure XIII : Aspect des solutions de lavage de BARACLEAN après centrifugation.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure XIV : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant AVA.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure XV : Aspect des solutions de lavage de AVA après centrifugation.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure XVI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant CONDET E avec une concentration en silicate de sodium <math>C_s=4\%v</math>.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure XVII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant BARACLEAN avec une concentration en silicate de sodium <math>C_s=4\%v</math>.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure XVIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à <math>C_d=4\%v</math>.....</i>	<i>51</i>

<i>Figure XIX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à Cd=8%v.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure XX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant AVA.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure XXI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant BARACLEAN.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure XXII : Rendement d'extraction des métaux lourds.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure A.I : Sonde de forage rotatif.....</i>	<i>64</i>
<i>Figure A.II : L'architecture d'un site de forage.....</i>	<i>65</i>
<i>Figure A.III : Conception d'un bourbier .....</i>	<i>65</i>
<i>Figure A.IV : Circuit de la boue de forage.....</i>	<i>66</i>
<i>Figure A.V : La colonne stratigraphique du champ de Hassi Messaoud.....</i>	<i>67</i>
<i>Figure A.VI : Schéma simplifié de l'unité de traitement Thermique.....</i>	<i>68</i>
<i>Figure A.VII : Schéma simplifié de l'unité de traitement par solidification stabilisation... </i>	<i>68</i>
<i>Figure A.VIII : Schéma simplifié du distillateur à retord .....</i>	<i>70</i>
<i>Figure A.IX : Agitateur Hamilton Beach.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure A.X : Balance analytique.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure A.XI : Agitateur chauffant.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure A.XII : Distillateur à retord.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure A.XIII : Capacitaires .....</i>	<i>71</i>
<i>Figure A.XIV : Centrifugeuse Heraeus.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure A.XV : Conception de bourbier de forage.....</i>	<i>72</i>
<i>Figure A.XVI : Bourbier de forage.....</i>	<i>72</i>
<i>Figure A.XVII : Pré-traitement online par tamisage et centrifugation.....</i>	<i>72</i>
<i>Figure A.XVIII : Tamis vibrant.....</i>	<i>72</i>

## *Liste des tableaux*

<i>Tableau I : Les techniques de traitement existantes à travers le monde.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau II : Les types de tensioactifs.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau III : Propriétés de l'agent tensioactif en fonction de sa valeur HLB.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau A.I : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant AVA.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau A.II : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume de la solution de lavage.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau A.III : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du nombre de lavages successifs.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau A.IV : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume d'eau utilisée.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau A.V : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant CONDET E.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau A.VI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant BARACLEAN.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau A.VII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant AVA.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau A.VIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant CONDET E avec une concentration en silicate de sodium <math>C_{ss}=4\%v</math>.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau A.IX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant BARACLEAN avec une concentration en silicate de sodium <math>C_{ss}=4\%v</math>.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau A.X : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à <math>C_s=4\%v</math>.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau A.XI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à <math>C_s=8\%v</math>.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau A.XII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant AVA.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau A.XIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant BARACLEAN.....</i>	<i>63</i>

<i>Tableau A.XIV : Teneurs des métaux lourds avant et après traitement par lavage.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau A.XV : valeurs limites pour la mise en décharge des déblais de forage.....</i>	<i>69</i>
<i>Tableau A.XVI : Classement des groupements en fonction de leur Affinité.....</i>	<i>69</i>

## *Liste des abréviations*

*PED petroleum engineering division*

*WBM Water based mud*

*OBM Oil based mud*

*HMD Hassi Messaoud*

*BTEX benzène, toluène, éthyl-benzène et xylène*

*API American petroleum institut*

*SAA spectroscopie d'absorption atomique*

*CMC concentration micellaire critique*

*HLB Balance hydrophile-lipophile*

*$\gamma$  tension superficielle*

*G travail*

*S surface*

*$\rho_m$  masse volumique moyenne*

*Cd concentration volumique en surfactant*

*Cs concentration volumique en silicates de sodium*

*Ccs concentration massique en chlorure de sodium*

*AT l'échantillon avant traitement.*

*APT l'échantillon après traitement.*

*Hr% teneur massique des hydrocarbures résiduels*

*%m Pourcentage massique*

*%v pourcentage volumique*

## **Introduction:**

La gestion des déchets pétroliers ainsi que des sites contaminés par des hydrocarbures et des métaux lourds est un des enjeux majeurs de L'industrie pétrolière.

Chaque année, le secteur de l'industrie de forage (200 puits forés/an) produit plus de 200 bourbiers/an (à raison de 3400m<sup>3</sup> de cuttings /puits) en Algérie et on compte beaucoup plus que ce chiffre à travers le monde. [1]

Si les fluides de forage sont un élément indispensable à la réussite d'un forage pétrolier, ils peuvent également constituer l'un des aspects les plus complexes d'une opération de forage.

Les déblais contaminés par la boue de forage qui sont charriés hors du puits doivent être évacués, tout comme le fluide de forage qui les accompagne.

L'impact des fluides de forage sur l'environnement (nappe phréatique, nappes de surface et sols à perméabilité élevée) dépend du type de boue utilisée et des principales conditions environnementales. Les rejets des déblais sur terre ont différents types d'effets et la teneur en hydrocarbures de la boue entraîne davantage de problèmes.

Donc, la pollution par les cuttings est liée au risque majeur de contamination du milieu récepteur suite à une migration des hydrocarbures vers les couches souterraines, engendrant ainsi un risque potentiel pour les nappes phréatiques.

Dans le contexte d'une réglementation de plus en plus exigeante pour la protection de l'environnement que ça soit la faune ou la flore proche du lieu de forage ou ces déblais sont rejetés, il est nécessaire de trouver une technique de gestion écologique, efficace et peu coûteuse de ces déchets. Dans ce but plusieurs traitements ont été mis en œuvre, entre autre : le traitement thermique, traitement biologique et le traitement chimique.

Cette étude vise à apporter des informations complémentaires afin de mettre en place un procédé de traitement capable de réduire la teneur des hydrocarbures de ces cuttings et d'optimiser les différents paramètres de traitement, du fait une méthode alternative sera disponible pour le traitement des déblais de forage afin éliminer les constituants des boues de forage, et ainsi éviter la contamination du milieu récepteur.

Le procédé envisagé repose sur la méthode de lavage des cuttings avec une solution composée d'eau, de surfactants, et des additifs, soit le transfert de la pollution du milieu solide vers un milieu liquide en vue d'obtenir des cuttings ayant des teneurs en huile conformes aux normes de rejet en vigueur. La présence des huiles dans un milieu liquide présente l'avantage d'offrir des moyens de traitement plus efficaces et moins encombrants que ceux pratiqués sur les solides.

Le but du travail entrepris au cours de ce mémoire de fin d'études est de fournir de nouveaux adjuvants qui ont pour rôle l'amélioration de l'efficacité de cette technique pour quelle puisse :

- Répondre aux nouvelles exigences environnementales, et économiques.

- Etre applicable dans les cas extrêmes : teneurs élevées en hydrocarbures (Sonatrach envisage d'appliquer le traitement on-line).
- être applicable avec les moyens présents déjà sur le site de forage.

Ce rapport est subdivisé en deux parties. La première est consacrée à une étude bibliographique sur ce thème. Elle est présentée en quatre chapitres, le premier présente une brève description des opérations et boues de forage des puits de pétrole et de gaz.

Le second chapitre décrit les impacts environnementaux dus à l'activité de forage, Le troisième présente les différentes méthodes de traitement appliquées aux cuttings contaminés par les hydrocarbures tout en développant celles utilisées actuellement en Algérie, et le quatrième est consacré à une approche théorique à la méthode traitée dans ce rapport.

Ensuite, dans la deuxième partie sont présentés les essais réalisés au laboratoire ainsi que les discussions des différents résultats obtenus.

# *Etude bibliographique*

---

*L'étude bibliographique a été présentée en quatre chapitres*

*Le premier chapitre présente une brève description des opérations et boues de forage des puits de pétrole et de gaz. A fin de connaître mieux l'activité qui pose la problématique de ce sujet.*

*Le second chapitre décrit les impacts environnementaux dus à l'activité de forage, les différentes caractéristiques des cuttings de forage ainsi que leurs principaux contaminants et leurs impacts sur l'environnement.*

*Le troisième présente les différentes modes de gestion des déblais de forage, et les techniques de traitement appliquées a travers le monde tout en développant celles utilisées actuellement en Algérie,*

*Le quatrième est consacré à une approche théorique à la méthode de lavage par l'eau amélioré par surfactant, et a la détermination des différents facteurs déterminant une application performante de cette méthode.*

---

## ***Chapitre I:***

### ***Les opérations et boues de forage***

---

Un forage est une cavité, approximativement tubulaire, ayant un diamètre nominal défini par l'outil de forage.

L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, mais elles ne peuvent pas préciser la présence d'hydrocarbures. Seuls les forages pourront confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches. [2]

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 potentiel ou non d'un gisement d'hydrocarbures. Les forages de développement incluent les opérations de forage une fois qu'un gisement d'hydrocarbure a été découvert et délimité. [3]

---

#### **I.1. La préparation d'un site de forage:**

Le forage constitue la dernière étape de l'exploration des hydrocarbures. Le développement du champ commence si la taille de l'accumulation s'avère suffisante pour une exploitation commerciale. Le processus de forage est généralement semblable pour chaque puits.

Les étapes suivantes sont nécessaires pour l'organisation et la gestion du site de forage afin d'installer la plate forme de forage et ses accessoires. (voir annexe Figure A.II)

##### **I.1.1. La localisation et la préparation d'un site de forage:**

Le site est situé par les coordonnées envoyées par le PED de Sonatrach. Une fois que le site est localisé, la terre est dégagée et nivelée pour créer une surface plate. Après que la terre ait été préparée, une cave souterraine est excavée, c'est là que le trou principal doit être foré.

L'endroit de l'installation de l'appareil de forage sera bétonné. La taille dépendra du type de l'appareil et couvrira une surface d'environ 60 m x de 30 m. Durant la phase de préparation, des rigoles autour de l'appareil seront construites et cela pour faciliter l'écoulement des eaux vers le bournier.

Un bournier, employé pour le dépôt des déblais et rejets de forages, est également excavé et garni par un plastique pour empêcher l'infiltration des fluides. [4]

### **I.1.2. L'installation des équipements de forage:**

Les plates-formes de forage et les équipements de soutien sont coupés en modules pour faciliter leurs déplacements. Une fois sur site, les installations sont alors assemblées. Les modules de la plate-forme comprennent un mât, des bacs et pompes à boue, des générateurs d'énergie, des réservoirs pour l'eau et le carburant, ainsi que divers autre matériel.

## **I.2. Le forage pétrolier:**

Le forage pétrolier est 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. Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements. Les objectifs des forages pétroliers sont donc toujours les mêmes :

- atteindre la profondeur souhaitée par les géologues
- avoir la possibilité de tester ou de mettre en production le réservoir.

Pour y parvenir, on va creuser un trou. Le derrick (ou mât) est utilisé comme support du système de forage. C'est une tour métallique d'une trentaine de mètres de hauteur, qui sert à introduire verticalement les tiges de forage.

Au bout de la première tige, il y a l'outil de forage, en général un tricône (trépan) muni de dents ou de pastilles en acier ou diamant très dur.

Le trépan attaque la roche en appuyant mais surtout en tournant à grande vitesse : il la broie en petits morceaux. A mesure que l'on s'enfonce dans le sous-sol, on ajoute une nouvelle tige de 9 m en la vissant à la précédente et ainsi de suite. L'ensemble des tiges avec son trépan qui creuse au bout s'appelle le train de tiges.

En atteignant des profondeurs déterminées par les géologues, on doit diminuer le diamètre du puits pour éviter l'effondrement de ses parois, et il sera nécessaire de les maintenir en les couvrant avec du ciment, cette procédure est appelée le casing. (voir annexe Figure A.I)



### **I.3. La boue de forage:**

Les fluides de forage sont des fluides injectés dans les puits en cours de forage. C'est un système composé de différents constituants liquides (eau, huile) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, ...). [5]

La composition du fluide de forage dépend des conditions particulières du forage correspondant. Etant donné que les trous traversent un grand nombre de formations différentes, des modifications des caractéristiques du fluide de forage sont faites au fur et à mesure de l'avancement du trou, afin de répondre aux conditions rencontrées. [6]

#### **I.3.1. Les caractéristiques de la boue de forage:**

Un fluide de forage, pour être efficace, doit présenter de nombreuses caractéristiques, dont les propriétés rhéologiques adéquates (par exemple, la viscosité plastique), la prévention des pertes de fluides, la stabilité sous diverses conditions de température et de pression, la stabilité contre la contamination des fluides par l'eau salée, par le sulfate de calcium, etc. Pour cela, l'on ajoute une grande variété d'additifs à la composition des fluides de forage. Il s'agit notamment d'espèces inorganiques et organiques solubles ou insolubles, et solubles dans l'eau ; il s'agit aussi d'argiles gonflantes et de polymères.

La boue ne doit pas altérer les cuttings forés afin de permettre un examen géologique correct. Elle ne doit pas masquer les indices d'huile, par la présence d'extincteurs de fluorescences par exemple. La boue doit aussi être compatible avec le carottage électrique et ne pas endommager les formations productives.

La boue doit favoriser la vitesse de pénétration de l'outil, en conservant de faibles teneurs en solides. Bien entendu, ces caractéristiques devront être compatibles avec la sécurité et le prix de revient du forage ; signalons que dans certains terrains forés à l'aide d'outils à « jet », c'est la boue qui fore, l'outil ne fournissant qu'un travail de calibrage du trou. La présence de boue dans le puits diminue le poids apparent des tubages.

La boue ne doit pas être corrosive pour le matériel. Il existe un certain nombre d'inhibiteurs de corrosion surtout employés dans les boues salées saturées et dans les boues de packer.

Enfin la boue ne doit pas être abrasive ni toxique et ni présenter des risques d'incendie.

#### **I.3.2. Les fonctions principales de la boue de forage:**

L'environnement difficile des opérations de forage a rendu nécessaire la conception des fluides de forage pour donner plusieurs fonctions importantes:

- a) La suspension des déblais:** L'épaisseur ou la viscosité du fluide augmente au fur et à mesure que la circulation du fluide ralentit dans son cycle. Lorsqu'elle s'arrête, il se transforme en un gel épais qui suspend les déblais rocheux et les empêche de retomber au fond du puits. Lorsque le fluide recommence à circuler, il se fluidifie et retrouve sa forme initiale. [1]
- b) Le refroidissement et la lubrification du trépan et de train de sonde:** pour prolonger la vie des outils, du train de forage et de toutes les pièces métalliques en mouvement. [7]
- c) Le contrôle de la pression:** en maintenant la pression à l'intérieur du trou foré supérieure à celle des fluides et gaz contenus dans les roches traversées pour qu'il n'ait pas infiltration, tout en se limitant d'atteindre une pression pour laquelle la boue s'infiltrera dans les roches
- d) Le maintien des parois du trou foré :** en isolant les formations perméables du trou foré et limite la déstabilisation des terrains.
- e) La flottabilité:** pour réduire le poids de la tige de forage.
- f) La remontée des informations géologiques :** Par sa circulation, la boue de forage est porteuse des sources principales d'informations pour le géologue en analysant:
- Les débris recueillis à la goulotte (débris recueillis grâce au tamis vibrant)
  - L'évolution des caractéristiques physiques et /ou chimiques de la boue ;
  - Les gaz ou autres fluides mélangés à la boue
- g) Le nettoyage du trou de forage:** Le fluide de forage doit débarrasser le puits des formations forées qui se présentent sous forme de débris en les remontant en surface dans son cycle.[7]

### **I.3.3. Le cycle de la boue de forage dans le système de forage:**

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

1. La boue de forage est préparée et conservée dans le bac à boue sur le site de forage.
2. Une pompe achemine la boue dans la tige de forage. La pression d'injection et la gravité lui permettent de descendre jusqu'au bout de la tige.
3. Elle sort dans l'espace annulaire du trou à travers les ports du trépan qui est en train de forer la formation rocheuse et de générer des déblais.
4. La boue de forage, collecte ces déblais et les remonte à la surface
5. La boue emprunte ensuite 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, le puits peut mesurer 20 centimètres (8 pouces) de diamètre.

6. Elle remonte à la surface les morceaux de roche en suspension arrachés par le trépan, appelés cuttings.

7. A la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue, une tige qui mène au tamis vibrant.

8. 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.

9. 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 stockage. 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. (voir annexe Figure A.IV)

#### **I.3.4. Les systèmes de boues:**

Les boues de forage peuvent être subdivisées en deux groupes principaux :

- les boues à l'eau (WBM).
- les boues à l'huile (OBM).

##### **I.3.4.1. Les boues à l'eau (WBM):**

L'eau, constituant la phase continue des « boues à l'eau », peut contenir plusieurs substances dissoutes. Il s'agit notamment des alcalis, des sels, des gouttelettes d'émulsion de pétrole et de diverses substances insolubles, comme la barytine, de l'argile ou des déblais en suspension. La composition de boue choisie pour l'utilisation dépend souvent des substances dissoutes dans l'eau de fabrication de la boue le plus économiquement disponible, et dépend également des matières solubles ou dispersives dans les formations à forer.

##### **I.3.4.2. Boues à l'huile (OBM):**

Les boues à l'huile comprennent une base « huile » formée par le pétrole brut ou une coupe hydrocarbonée, dans laquelle sont ajoutés un certain nombre d'additifs permettant d'améliorer leurs propriétés rhéologiques, leurs pouvoirs réducteurs de filtrat et leur basicité. On peut citer les huiles de type "Diesel" ou les huiles minérales à teneur en composés aromatiques faible.

Les boues à base d'huile sont constituées par trois phases distinctes :

- l'huile qui peut être une huile raffinée ou du brut et l'eau d'émulsion qui peut être douce, salée ou salée saturée ;

- les savons et argiles organophiles qui confèrent la viscosité et du corps à la boue et qui réduisent le filtrat ;
- les produits inertes : argiles (les argiles sont généralement lipophobes), barytine, carbonate de calcium, sables, dolomies, etc.

Ces boues sont classées en :

- boues à émulsion inverse (contient plus de 5% d'eau);
- boues à l'huile (contient moins de 5% d'eau).

### **I.3.5. Le choix des boues de forage:**

Le choix des fluides de forage est basé sur les conditions géologiques et les contraintes de forage. Notons aussi que les boues utilisées dans le forage Onshore diffèrent de celles utilisées dans le forage off-shore.

Chaque phase de forage doit consommer un type de fluide de forage avec une densité différente. La boue à base d'eau (boue bentonitique) est employée dans la première phase de forage, tandis que la boue à base d'huile est utilisée dans les phases suivantes mais avec un rapport huile/eau différent d'une phase à l'autre.

### **I.3.6. La composition des boues de forage:**

Les compositions des boues de forage sont multiples. Elles dépendent essentiellement des propriétés exigées. En plus de l'eau et du gasoil utilisés comme phase continue ou émulsionnée, de nombreux composants multifonctions sont ajoutés à la boue pour lui conférer les propriétés désirées. Ces produits sont classés par familles.

#### **1. Colloïdes argileux**

- Les bentonites
- Les attapulgites

#### **2. Colloïdes organiques**

- Amidons
- CMC (Carboxy Méthyl Cellulose)

#### **3. Fluidifiants ou défloculants**

- Les polyphosphates
- Les tanins
- Les lignosulfonates
- Les lignines chromées

#### **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)<sub>2</sub>
- Bicarbonate de sodium NaHCO<sub>3</sub>

**5. Produits organiques spéciaux**

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

**6. Les alourdissant**

- Barytine ou sulfate de baryum  $\text{BaSO}_4$ ,  $d=4.3$
- Le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ ,  $d=2.7$
- La galène  $\text{PbS}$ ,  $d=7$
- Hématite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $d=5.2$

**7. Les colmatant**

- Colmatant organiques
- Colmatant fibreux
- Colmatant lamellaires
- Colmatant gonflants
- Colmatant à prise (liants hydrauliques).

Les composants indésirables du point de vue environnemental, et qui sont les plus présents dans les fluides de forage sont les hydrocarbures, les métaux lourds, et les sels.

## ***Chapitre II:***

### ***Les déblais de forage (cuttings)***

---

La pollution de l'environnement par les déchets de forage présents dans les bourbiers représente à la fois une préoccupation pour les sociétés de forage et un défi technique pour les organismes de recherche dans le domaine, étant donné les propriétés physico-chimiques particulières des contaminants et leur interaction complexe avec l'environnement.

Cette partie décrit les déblais de forage, leurs contaminants, leurs impacts environnementaux, et développe les différentes techniques de décontamination des sols pollués par les opérations de forage.

---

#### **II.1. Caractérisation des cuttings de forage:**

Les cuttings sont des petits fragments de roches asymétriques, de diamètre allant de quelques dizaines de microns jusqu'à 1-2 cm, générés par l'action du trépan lors du forage des formations rocheuses pour atteindre les réservoirs d'huile ou de gaz.

Ils diffèrent dans leurs tailles et textures, et leurs types varient de celui des grains de sables jusqu'au gravier selon la formation rocheuse atteinte et le type de boue utilisée, pour éviter l'entassement des cuttings au fond du puits foré, ils sont remontés en surface par la boue de forage. [8]

Les déblais de forages ont des caractéristiques variables et elles diffèrent selon :

##### **a) La boue de forage utilisée:**

La composition de la boue de forage est modifiée selon la formation rocheuse atteinte, et cette modification intervient essentiellement dans le type de l'émulsion, le rapport gasoil/eau, et la composition des additifs. Plus la concentration en un composé est élevée dans la boue plus on en retrouve dans les déblais extraits. Donc ces ajustements changeront les taux de contamination des cuttings par les éléments utilisés dans la composition de la boue de forage.

**b) La formation géologique atteinte:**

La nature de la formation est aussi importante parce qu'elle est la source de ces déblais, et de leurs contaminants. Donc les caractéristiques à un moment précis du forage proviennent aussi des informations connus sur la formation atteinte.

Le réservoir de Hassi Messaoud est du type granuleux. Il comprend plusieurs séries sablonneuses d'âge Cambrien. Le Cambrien de Hassi Messaoud est composé à sa base d'argile. La granulométrie diminue vers le haut et la teneur en argile augmente en se dirigeant vers le bas. le réservoir producteur est localisé à 3.300 m et consiste en quatre formations distinctes (R1, Ra, R2, R3).

Le réservoir sablonneux de Hassi Messaoud est constitué de quartz à l'origine; cet élément représente plus que 2/3 formé de roc, et est généralement accompagné par d'autres minéraux à savoir le silico-aluminates.

La série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud est représentée de haut en bas par les formations suivantes. (voir annexe Figure A.V)

**II.2. Les sources de contamination des déblais de forage:**

La toxicité entre de trois manières dans les déchets de forage : dans la composition chimique de la boue, dans son stockage et dans les déblais de forage issus des formations rocheuses traversées.

**II.2.1. Les formations rocheuses**

Aucune information n'est disponible sur la toxicité des matières solides issues des formations rocheuses forées vu la non homogénéité de leurs répartition dans le sol ainsi que leurs contenances en matières toxiques. Mais il est clair qu'il existe un potentiel de contribution des métaux lourds, ainsi que (dans certains cas) la contamination les hydrocarbures issus du réservoir. Et des sels contenus dans les dômes de sel. [9]

**II.2.2. La boue de forage**

La composition de la boue est le contribuant le plus important parce qu'elle inclut des produits intentionnellement ajoutés aux fluides de forage pour maintenir ses propriétés.

Cette contamination est liée en grande partie à la faculté qu'ont ces cuttings à fixer les matières hydrophobes (essentiellement le gasoil) suite au traitement de la boue par des agents mouillants à l'huile.

Cette source inclut le baryum, le chrome (des réducteurs de viscosité et inhibiteurs de corrosion), le mercure et le cadmium (des impuretés de la barytine), le plomb et le diesel (des déblais des boues à base d'huile) et l'arsenic. La toxicité de divers produits

chimiques utilisés pendant les activités de forage change de manière significative, de non toxique à extrêmement toxique.

### **II.3. La contamination par les hydrocarbures**

Les sources principales de ces contaminants par les hydrocarbures sont diverses:

- La boue de forage
- Les hydrocarbures contenus dans les formations rocheuses
- Autres huiles utilisées lors du forage) [10]

Cette diversité de source induit une contamination des déblais de forage par différents types d'hydrocarbures ce qui rend leur analyse qualitative difficile

### **II.4. La contamination par les métaux lourds:**

Les métaux lourds peuvent contaminer les déblais de forage selon deux cas :

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

### **II.5. La contamination par les sels**

La concentration des sels, comme le chlorure de sodium ou de potassium dans les déblais de forage est considérable. Ces sels apparaissent essentiellement quand les puits forés traversent des dômes de sel ou des formations ayant de l'eau très salée. La seconde source est le fluide de forage utilisé, elle dépend de la concentration du traitement de ce dernier en vue d'avoir le bon fonctionnement dans la phase atteinte.

### **II.6. Le devenir des contaminants des déblais dans l'environnement**

Les impacts environnementaux des activités de forage seraient minimales si les contaminants des déchets demeuraient à leurs points de dégagement. Malheureusement, ces déchets ou leurs contaminants peuvent être transportés d'un point à un autre selon certaines voies de migration tel que définies ci-dessous:

**a) Évaporation:**

Les polluants chimiques notamment les hydrocarbures contenus dans le borbier s'évaporent à des taux divers et sont transportés et dilués par les processus atmosphériques. L'évaporation est généralement le principal processus de migration au cours des premiers jours qui suivent le déversement des déblais.

**b) Solubilisation:**

La plupart des contaminants des déblais sont soluble dans l'eau. Ainsi quand des volumes élevés d'eaux usées sont déchargés sur le sol ou quand les eaux des pluies s'abattent sur le site. Ces liquides se déplacent selon le drainage naturel et topographique jusqu'à ce qu'ils se mélangent avec les eaux de surface existantes dans la région. Ils sont difficiles à éliminer et sont absorbés par la faune et la flore.

**c) l'infiltration:**

Quand les déchets sont vidés dans le borbier, la fraction liquide y compris tous les produits chimiques dissous, risquent de pénétrer dans le sol en cas d'abiment de la géo membrane isolatrice, et à se déplacer de trois manières :

- Une phase liquide non aqueuse peut traverser les pores,
- Des contaminants peuvent se dissoudre dans les eaux souterraines et être transportés par ses eaux,
- Des solides très petits peuvent également être transportés avec de l'eau.

**d) Les voies entropiques:**

Cette voie de migration du site contaminé se fait essentiellement lors du transport des déblais vers les sites de traitement pour un traitement ex-situ.

**II.7. Risques environnementaux et toxicité des déblais de forage**

L'impact des déblais sur l'environnement dépend du type de boue utilisée et des principales conditions environnementales. En mer, les boues à base d'eau sont généralement moins nuisibles que les boues à base d'huile. En revanche, les rejets des déblais dans les borbiers ou sur terre ont différents types d'effets. Un sol pollué représente trois types de risques environnementaux:

- mise en contact direct des polluants avec l'occupant du sol.
- lessivage des polluants par les eaux d'infiltration et transfert des polluants vers les eaux souterraines et superficielles (pollution possible des ressources en eaux).
- réintroduction des polluants dans la chaîne alimentaire par les végétaux et les organismes vivants du sol environnant le lieu de décharge des cuttings. [11]

L'impact primaire des déchets de forage sur l'environnement est l'exposition des organismes à la toxicité de ces déchets. La toxicité d'une substance est rapportée comme étant sa concentration dans l'eau résultant en la mort de la moitié des organismes en une durée donnée.

La toxicité de divers produits chimiques utilisés pendant les activités de forage change de manière significative, de non toxique à extrêmement toxique.

La contamination du sol par les contaminants cités avant peut engendrer le changement de ces caractéristiques physico-chimiques 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.

Le risque de contamination des aquifères dépend de leur profondeur et des caractéristiques du sol (perméabilité, porosité, etc...). Pour des aquifères plus profondes, le risque de contamination est réduit selon la longueur du chemin à parcourir par le polluant. Cependant, les eaux souterraines sont très près de la surface d'où un très haut risque de contamination.

## **II.7. Législation et normes**

En Algérie les grands principes qui régissent la réglementation en matière de protection du sol et du sous-sol sont formulés par les textes suivants :

- La loi n°83-03 du 05/02/1993, prend en considération la pollution du sol. Le législateur définit les déchets et pose les principes et les règles générales de leur gestion.

Concernant cette dernière, la loi fait obligation à tout détenteur ou producteur de déchets d'assurer ou de faire assurer leur élimination en évitant seulement, et non en supprimant, les effets néfastes sur le sol, la faune, la flore, etc...

- Le décret exécutif n°93-160 du 10/07/1993, régit le déversement des huiles et lubrifiants aussi bien dans le milieu naturel que dans le réseau d'assainissement.
- Le décret exécutif n°93-162 du 10/07/1993, fixe les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées.
- Le décret exécutif n°94-43 du 30/01/1994, fixe les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères.
- Le Décret du : 18/12/1992, agissant en tant que norme européenne, publiée au Journal officiel de la République Française le 30/03/1993, est la norme suivie par SONATRACH, pour le traitement des déblais de forage. Ce décret définit les paramètres qui devraient être analysés et leurs limites maximales à ne pas excéder pour que les déblais puissent être rejetés dans la nature. Ces valeurs limites sont données dans le tableau suivant, en cas de non respect de ces valeurs il convient de traiter ces déblais avant leurs rejets. (voir annexe Tableau A.XI)

## ***Chapitre III:***

### ***La gestion des déblais de forage***

---

Comme nous l'avons cité précédemment, les rejets présents dans le bournier, générés par le forage présentent un risque potentiel pour la santé humaine et les écosystèmes.

Pour éviter la diffusion des contaminants vers les profondeurs des sols, des mesures doivent être prises. Beaucoup de paramètres sont à considérer avant de faire le choix d'une méthode de dépollution particulière: diversité des conditions locales (nature du sol, de la nappe, accessibilité, disponibilité de surface utilisable à proximité, zone urbaine ou non), pollution récente ou ancienne, étendue ou non. De plus, des exigences économiques et administratives sont à prendre en compte.

---

#### **III.1. Le prétraitement et le stockage:**

##### **III.1.1. Le tamisage:**

Les cuttings remontés en surface par la boue de forage, sont dans un premier temps mélangés avec elle, et pour séparer la phase solide (les déblais) de la phase liquide (boue de forage), on fait passer le mélange sur un tamis vibrant qui par ses vibrations va séparer la boue dans le bac à boue, et piéger les solides à sa surface.

Le passage par le tamis vibrant est un double prétraitement. D'un coté pour la boue de forage en vu de la régénérer pour continuer son cycle, et d'un autre pour les cuttings que leurs teneur en composants de la boue de forage auraient considérablement diminué après leurs passage.(voir annexe Figure A.XVIII)

##### **III.1.2. La centrifugation:**

La centrifugation est une opération de séparation mécanique, par action de la force centrifuge, de deux à trois phases entraînées dans un mouvement de rotation. Elle permet de séparer la phase liquide restante après passage par le tamisage des cuttings pour décharger cette dernière dans le bournier en attendant son traitement.

Ainsi ces deux moyens de prétraitement s'avèrent intéressants du point de vue environnementale parcequ'ils ne génèrent pas d'effluents, et du point de vue financier vu qu'ils ne nécessitent aucun apport de produits de traitement et leur consommation en énergie est modérée.

### **III.1.3. La décharge dans les bourbiers:**

Pour stocker les déblais de forage momentanément avant leur traitement final, des fosses sont conçues dans le site de forage appelées bourbiers de forage.

Le bourbier est construit de telle sorte qu'il occupe une surface aussi réduite que possible et qu'il puisse contenir tous les déchets rejetés sans engendrer de risques de pollution par contact avec les eaux souterraines.

Les bourbiers utilisés à Hassi Messaoud comportent deux compartiments recouverts d'un plastique pour empêcher l'infiltration des contaminants dans le sous sol. Le premier compartiment est conçu pour contenir les déblais générés par l'opération de forage. Le deuxième compartiment est conçu pour la récupération d'eaux décantées dans le premier.

Le problème lié aux bourbiers est qu'ils présentent un volume élevé de rejets qui peut avoir comme conséquence directe l'endommagement des plastiques de recouvrement d'où l'échec du maintien des déblais ce qui provoque la migration verticale des polluants induisant la contamination d'une large zone du sous sol pouvant inclure les réserves d'eau. (voir annexe Figure A.III/A.XV/AXVI)

### **III.4. Les modes de traitement:**

Les traitements des sols pollués sont classés en trois grandes catégories:

- Les méthodes *ex situ* qui consistent en l'excavation des sols contaminés. On parlera de méthode "hors site" si le sol est évacué vers un centre de traitement spécialisé, ou de méthode "sur site" si le sol excavé est redéposé sur le site pour être traité.
- Les méthodes *in situ* pour lesquelles l'opération de dépollution s'effectue sans excavation du sol. Cette option est souvent choisie pour traiter des sites en activité ou lorsque la zone polluée est trop étendue pour avoir recours à l'excavation.

### **III.3. Les techniques de traitement:**

En Algérie deux procédés sont mis en œuvre pour traiter les déblais de forage le premier est thermique, le second est chimique.

**III.3.1. Le traitement thermique :**

Les techniques de traitement thermique emploient des températures élevées pour reprendre ou détruire les hydrocarbures qui souillent les rejets. Le traitement thermique est le traitement le plus efficace pour détruire les produits organiques, et il réduit 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 la technique thermique de traitement. Une unité de traitement thermique est généralement une installation fixe d'où la difficulté de son utilisation en online pendant le déroulement des opérations de forage. (voir annexe Figure A.VI)

**III.3.2. La solidification-stabilisation :**

La solidification-stabilisation s'applique principalement sur des sols excavés. La solidification consiste à mélanger un liant et de l'eau au sol pollué afin d'obtenir un matériau dur, très peu perméable et stable dans le temps, au sein duquel le polluant sera piégé. La stabilisation consiste à réduire la mobilité d'un polluant dans le sol. Avec ces deux techniques, les polluants ne sont pas détruits mais les risques pour l'environnement sont réduits. (voir annexe Figure A.VII)

**III.3.3. D'autres méthodes existantes a travers le monde:**

Il existe à travers le monde, d'autres techniques de traitements des déblais résumées dans le tableau suivant:

**Tableau I : Les techniques de traitement existantes à travers le monde**

Traitement		Procédés	Inconvénients	Avenir
Traitements physiques	Confinement	isoler la source de pollution à l'aide de matériaux argileux et/ou synthétiques.  le site est recouvert de manière à éviter le lessivage	- N'est pas un procédé de traitement - Des risques de transport	
	Excavation	Creuser des fosses dans la terre		

<b>Traitement chimique</b>	Solvants volatils	-Toluène -Chlore de méthylène.	-Produit inflammable. -Produit toxique. -Difficile de travailler en flux tendu. -Dimensionnement et poids.	Etude en cours . Les dimension nécessaire semblent rédhitoires dans le contexte actuel car l'efficacité est fonction de la pression ,d'où dimensionnement des équipements.
	Fluides supercritiques	-Fréon . -CO2 à 73.9bar et 32°C.		
<b>Injection</b>	injection	Mise au point d'un laitier avec les déblais broyés et un fluide pour injection dans la formation. La formation réceptrice est souvent située dans les grés du créacé ou dans des argiles sous dôme de sel.	Evolution dans le temps inconnue : risque de pollution d'une nappe phréatique. Modélisation des cheminements verticaux aléatoires . Coût du citérnage sur site isolé ou surcoût du puit si utilisation de laminaire.	Lié à l'optimisation des migrations in situ.
<b>Traitement biologiques</b>	Landfarming	les déchets sont dispersés au-dessus d'un secteur de traitement puis  mécaniquement labouré avec le sol labourage du sol permet une biodégradation plus rapide après une application des micro-organismes sur des surfaces contaminées	Très lent. Nécessite beaucoup d'espace.	
	Compostage	les déchets sont mélangés à des agents d'entassement (tels que des morceaux de bois) pour augmenter la porosité et ainsi l'aération pour l'amélioration du rendement de la biodégradation naturelle		
<b>Stockage</b>	Décharge	Stockage des déblais dans des sites répertoriés et homologués. Enfouissage des déblais sur le site même du forage après inertage.	Coût. Fiabilité du service inertage. Réaction entre résidus.	Le système devra se coupler avec métabolisation

### **III.4. Facteurs financiers de la gestion :**

Le traitement le plus répandu en Algérie actuellement est le traitement par solidification/stabilisation. Ce traitement qui se fait par le biais de sociétés sous-traitantes coûte énormément aux entreprises de forage. Ainsi le prix s'élève à 100 US\$/m<sup>3</sup> de cuttings.

Sachant que le nombre de puits forés annuellement est au minimum 200 puits/an, et chaque opération de forage produit en moyenne 3000 m<sup>3</sup>, on peut estimer les dépenses annuelles pour le traitement des déblais forage à 60 millions US\$ qui équivaut à 4,32 milliards de DA. La Solidification/Stabilisation quant à elle doit ramener cette teneur à une valeur inférieure à 2 % en poids.

Dans le cas du rejet des déblais sans traitement, ou bien leur confinement avant le traitement, la loi exige le paiement d'une taxe fixée à 1000 DA/m<sup>3</sup> par mois.

D'où la nécessité de chercher une autre méthode de traitement qui nécessite le moins possible de matériels, de produits, et qui s'effectuera online sans confinement des déblais.

## ***Chapitre IV:***

# ***L'amélioration du lavage des cuttings à l'eau par des agents tensioactifs et des additifs.***

---

Le lavage des cuttings de forage amélioré par des surfactant est une technologie émergente qui va être une méthode bénéfique du point de vue environnementale et économique, Actuellement il n'y a pas beaucoup de recherches sur cette technologie, mais plusieurs organismes de gestion des déblais de forage sont intéressés par son développement et sa mise en fonctionnement, notamment les entreprises de forage off-shore pour lesquelles ces déblais représentent une source de contamination considérable pour le milieu marin environnant, et où leurs gestion est beaucoup plus compliquée et coûteuse qu'en forage on-shore.

Cette technique permet de transférer les contaminants, essentiellement de nature hydrocarbonée, du milieu solide vers un milieu liquide ce qui facilitera ensuite leur traitement. L'intérêt dans l'utilisation des agents de surface vient de leur capacité à réduire la tension interfaciale entre les contaminants et le système de lavage. Cela facilite la désorption ou la mobilisation de contaminants du milieu solide vers un milieu liquide. De plus l'utilisation des surfactant pourra donner, éventuellement, des rendements de traitement meilleurs que ceux des méthodes utilisées actuellement que ça soit du point de vue quantitatif que qualitatif parce que le traitement ne sera pas pour un seul contaminant mais pour les principaux contaminants des cuttings qui sont: les hydrocarbures, les métaux lourds, et les sels.

Dans ce chapitre nous allons procéder a une approche théorique des différents phénomènes qui se produisent lors de l'utilisation d'un tensioactif dans une solution détergente pour des surfaces solides d'une manière générale, classifier les additifs qui améliorent son fonctionnement, et voir quel sont les facteurs déterminants dans un lavage.

---

### **IV.1. Les tensioactifs:**

L'action des tensioactifs sur les systèmes porte des noms différents suivant les phases mises en jeu. Ainsi entre deux liquides on observera des phénomènes de solubilisation ou d'émulsification. Il y aura mouillage d'un solide par un liquide ou

dispersion de particules solides dans un liquide. Le moussage résultera de l'action des tensioactifs à l'interface eau / gaz. Suivant la nature des tensioactifs utilisés et leur concentration, ces différents phénomènes seront plus ou moins prépondérants dans le système nettoyant étudié, en particulier le type de microstructure qui aura tendance à se former (micelles plus ou moins grandes, émulsion...). Parmi les différentes caractéristiques physico-chimiques des tensioactifs, la CMC, le HLB, ainsi que la température de Kraft et le point trouble présentent un intérêt particulier à cet égard. [12]

#### IV.1.1. Définition:

Les composés tensioactifs ou agents de surface, appelés en anglais surfactants (abréviation de SURFace ACTive AgeNTS) ont, du fait de leur structure, la propriété de s'adsorber aux interfaces et donc de diminuer les tensions interfaciales.

Le terme de composés amphiphiles s'applique aux molécules comportant deux parties de polarités différentes. Un tensioactif est toujours amphiphile ; par contre, un composé amphiphile n'est pas forcément tensioactif.

Une substance amphiphile possède une double affinité, que l'on définit du point de vue physico-chimique comme une dualité polaire- apolaire. La molécule typique d'un composé amphiphile comprend deux parties : d'une part un groupe polaire qui contient des hétéroatomes comme O, S, P, ou N, qui se trouvent dans des groupes alcool, thiol, acide, sulfate, sulfonâtes, amine, amide... etc. ; d'autre part, un groupe apolaire ou peu polaire qui est en général un groupe hydrocarboné de type alkyle ou alkyl benzènes, et qui peut contenir éventuellement des atomes. [13]

Le terme de détergent est parfois employé abusivement pour désigner les composés tensioactifs : par définition, un détergent possède un pouvoir nettoyant (élimination des impuretés) ; il s'agit donc d'un composé tensioactif ou le plus souvent d'un mélange de composés tensioactifs (formulation détergente) avec d'autres additifs qui ont un rôle complémentaire à la fonction de détergence. Par contre, un composé tensioactif peut ne pas présenter de propriétés détergentes.

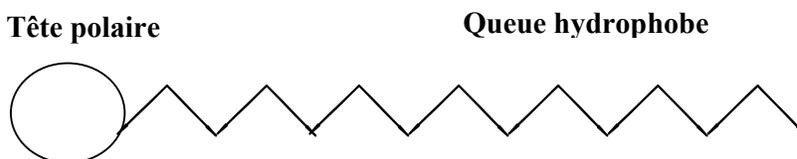


Figure I : Molécule tensioactif

#### IV.1.2. Classification:

Les agents tensioactifs sont classés en fonction de la nature de la partie hydrophile puisque celle-ci gouverne leurs propriétés

Selon la charge de leurs parties hydrophiles, les tensio-actifs sont divisés en deux groupes : ioniques et non ioniques :

- Les ioniques s'ionisent dans l'eau. Ils sont eux-mêmes divisés en trois groupes : anioniques, cationiques et zwitterioniques.
- Les non ioniques ne s'ionisent pas dans l'eau. Ils sont généralement classés selon la nature de la liaison qui unit la partie hydrophile à la partie lipophile (ester, éther, amide) [7]. (voir annexe Tableau A.XII)

**Tableau II : Les types de tensioactifs**



Partie lipophile	Tête hydrophile
apolaire chaîne hydrocarbonée C <sub>4</sub> - C <sub>30</sub>	polaire ionique ou non ionique
Aliphatique : - linéaire - ramifiée - insaturée Aromatique Alkylaromatique Origine : - pétrochimie - huiles végétales - graisses animales	Anionique - CO <sub>2</sub> <sup>-</sup> M <sup>+</sup> - OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> M <sup>+</sup> - SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> M <sup>+</sup> - (RO) <sub>n</sub> PO <sub>4-n</sub> <sup>(3-n)-</sup> (3-n) M <sup>+</sup>
	Cationique - (R) <sub>n</sub> NH <sub>(4-n)</sub> <sup>+</sup> , X <sup>-</sup> - R <sub>4</sub> N <sup>+</sup> , X <sup>-</sup>
	Zwitterionique - N <sup>+</sup> ~~~ CO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N <sup>+</sup> ~~~ SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	Non ionique - OR, -OH, -CO <sub>2</sub> R, -CONHR - (CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -O) <sub>n</sub> - polyol

#### IV.1.3. Propriétés des tensioactifs:

Afin de définir quelques critères de choix des tensioactifs pour une utilisation donnée, il est nécessaire de rappeler quelques concepts de base concernant les propriétés des composés tensioactifs.

##### a) L'adsorption aux interfaces:

Les molécules de tensioactifs comportant une partie hydrophile et une partie lipophile ont tendance à s'orienter, à se concentrer, aux interfaces de façon à accroître les interactions attractives (partie hydrophile/eau et partie lipophile/phase lipophile). Ce phénomène d'adsorption (concentration plus importante à la surface qu'à l'intérieur de la phase liquide) apparaît aussi bien aux interfaces liquide-liquide (eau-hydrocarbure ou huile), liquide-solide (eau-surface apolaire, huile-surface polaire) qu'aux interfaces liquide-gaz (eau-air). [4]

L'adsorption des tensioactifs aux interfaces et la diminution consécutive de la tension interfaciale sont responsables des deux phénomènes qui suivent :

- **la dispersion** est favorisée puisque l'énergie nécessaire à l'augmentation de l'aire de l'interface est d'autant plus faible que la tension interfaciale est faible. Ce concept s'applique aussi bien aux dispersions liquide-liquide (émulsions), aux dispersions solide-liquide (suspensions) qu'aux dispersions air-liquide (mousses) ;
- **le mouillage** est favorisé par la diminution de la tension interfaciale solide-liquide. Ce concept s'applique au mouillage d'une surface hydrophile par une huile. L'isotherme d'adsorption et la valeur minimale de la tension interfaciale constituent donc des critères de choix fondamentaux du tensioactif à utiliser pour deux phases données.

### b) L'autoagrégation ou micellisation:

Pour des concentrations en tensioactifs supérieures à la CMC, les molécules de tensioactif en excès s'autoassocient en solution sous forme d'agrégats appelés micelles : les chaînes hydrophobes constituent le cœur de la micelle et les têtes polaires sont au contact de l'eau. La forme des agrégats (micelles sphériques, cylindriques, bicouches, etc.) est fonction de la nature du tensioactif et de sa concentration, Et il existe deux types de micelles : Les micelles directes et les micelles inverses. [14]

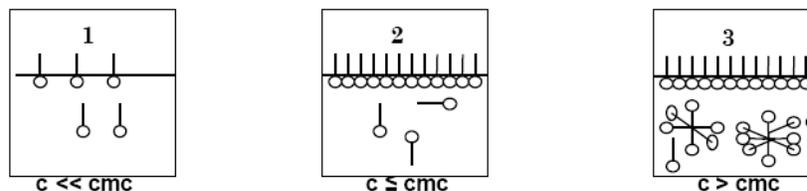


Figure II : Comportement du tensioactif autour de la CMC

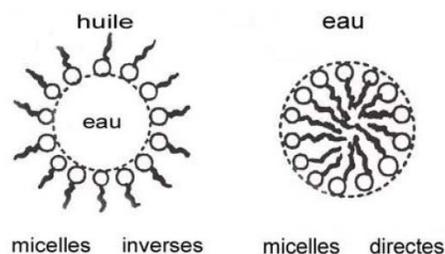


Figure III : Types de micelles

Cette propriété de micellisation des tensioactifs est responsable du phénomène de solubilisation : un composé hydrophobe (huile) peut être solubilisé à l'intérieur du cœur hydrophobe des micelles : on parle alors de micelles gonflées. [4]

**c) La solubilité:**

Lorsqu'elle a lieu, la formation de micelle permet de rendre plus favorable la dissolution dans l'eau des amphiphiles, en réduisant l'air de contact entre les chaînes hydrocarbonées et l'eau. Effectivement, on constate que les solubilités sont parfois extraordinairement élevées. [14]

La solubilité des tensioactifs dans l'eau ou dans les hydrocarbures (couramment appelés huiles) varie en fonction de l'importance relative de leurs parties hydrophobe et hydrophile (*hlb, hydrophile lipophile balance*).

En ce qui concerne la variation de la solubilité des tensioactifs dans l'eau avec la température, deux cas particuliers doivent être mentionnés. [4]

- La solubilité dans l'eau des tensioactifs ioniques croît brusquement à partir d'une certaine température appelée point de Kraft ou température critique de micellisation.
- La solubilité dans l'eau des tensioactifs non ioniques diminue lorsque la température augmente.

#### IV.1.4. Caractéristiques des tensioactifs:

##### a) La tension superficielle:

###### Généralités:

L'origine de la tension superficielle réside dans la distribution anisotrope de forces d'attraction subies par les molécules d'un liquide à sa surface de contact avec l'air. Au sein du liquide, toute molécule est soumise de la part des autres à des forces attractives dont la résultante est nulle.

La tension superficielle est aussi le travail à fournir pour augmenter la surface d'un liquide d'une unité d'aire, de façon isotherme et réversible, et elle s'exprime en Newtons par mètre

$$\gamma = \left( \frac{\Delta G_s}{\Delta S} \right)_{T,P}$$

Où

$\gamma$  : tension superficielle  
G : le travail  
S : surface de liquide  
T : la température

##### b) Concentration micellaire critique (CMC)

La concentration micellaire critique (CMC) est par définition, la Concentration en solution d'un agent de surface au dessus de laquelle, une partie des molécules dispersées au sein de la solution se rassemblent sous forme des micelles.

Pour un système donné, si la Concentration de l'agent de surface augmente jusqu'à la CMC, la tension superficielle baisse jusqu'à sa valeur limite.

En plus de la température, la concentration micellaire critique varie en fonction de la structure des tensioactives. [13], [15]

- Les CMC des tensioactifs non ioniques (de l'ordre de 10<sup>-5</sup> M) sont inférieurs aux CMC des tensioactifs ioniques (de l'ordre de 10<sup>-3</sup> M).
- Pour une même classe de tensioactifs, la valeur de la CMC diminue lorsque le caractère hydrophobe augmente (augmentation du nombre d'atomes de carbone).
- La CMC des tensioactifs ioniques diminue en présence de sels.
- La CMC des tensioactifs non ioniques est peu affectée par la présence d'électrolytes.

**c) La balance hydrophile-lipophile (HLB) :**

La balance hydrophile-lipophile (HLB) est une caractéristique des tensioactifs. Elle est étroitement liée à la structure de la molécule, elle est sensée représenter l'équilibre entre les groupements hydrophile et lipophile. Cette notion a été proposée par GRIFFIN.

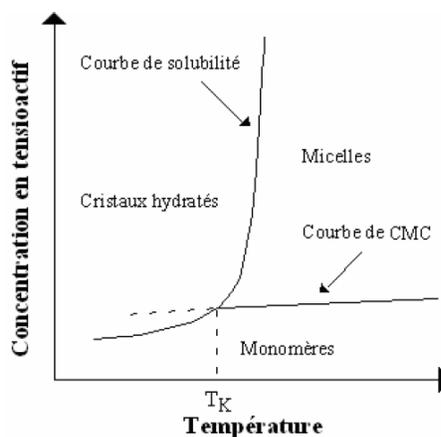
Elle permet de classer les tensioactifs selon leur pouvoir émulsifiant, donc de guider au mieux le choix de l'utilisateur afin d'éviter de nombreux essais préliminaires. [5]

**Tableau III : Propriétés de l'agent tensioactif en fonction de sa valeur HLB**

Propriété de l'agent tensioactif	HLB <sub>min</sub>	HLB <sub>max</sub>
Antimoussant	1,5	3
Emulsifiant eau dans l'huile	3	6
Mouillant	7	9
Emulsifiant huile dans l'eau	8	13
Détergent	13	15
Solubilisant	15	20

**d) Point de KRAFT**

La solubilité des agents de surface est fonction de leur constitution mais aussi de la température. Pour les savons et certains agents de surface, le point de KRAFT est la température à laquelle le composé devient soluble dans l'eau, c'est en fait la température critique de dissolution. [15]



**Figure IV : Point de Kraft**

#### IV.1.5. Les fonctions des tensioactifs:

**a) Le moussage:** La formation de mousses, dispersions d'un gaz (air) dans un liquide (eau), requiert la présence d'agents tensioactifs qui s'adsorbent à l'interface eau-air. Le choix du tensioactif et des additifs est primordial pour contrôler le niveau de mousse et sa stabilité. [4]

**b) La dispersion :** C'est le pouvoir permettant de fixer les molécules hydrophobes pour les mélanger avec des molécules hydrophiles. [4]

**d) Le mouillage:** c'est la tendance que possède un liquide à s'étaler sur une surface solide et il est estimé par l'angle de contact entre le solide et le liquide. En diminuant la tension superficielle, les agents mouillants permettent un plus grand étalement du liquide.

**c) L'émulsion:** c'est une répartition de deux liquides non miscibles, ou à peine soluble l'un dans l'autre. Suivant le cas on distingue les émulsions eau dans l'huile, et les émulsions huile dans l'eau. Dans le cas d'une émulsion instable l'huile se sépare et se rassemble à la partie supérieure en une couche homogène. On dit que l'émulsion casse ou claque. [13] [16]

**e) La détergence:** c'est un processus de nettoyage durant lequel des salissures sont séparées d'un milieu solide par mise en suspension ou en solution dans un bain de nature aqueuse. Le substrat est mis en présence de la solution de nettoyage et l'air est chassé de l'interface substrat / solution.

Il y a ainsi mouillage du substrat [17]. On peut distinguer deux étapes ou phénomènes principaux dans le processus : enlèvement des salissures du substrat et stabilisation des salissures dans la solution de nettoyage (pour prévenir une redéposition sur le substrat). [18]

L'action détersive met en jeu de nombreux phénomènes physico-chimiques [19] :

- Solubilisation
- Mouillage
- Émulsification
- Saponification

Qui définissent les interactions entre les différents composants du système [18] :

- Le substrat, qui dans le cadre de cette étude est des cuttings de forage pollués par des hydrocarbures, des sels, et des métaux lourds.
- Les salissures, qui se présentent sous forme d'hydrocarbures liquides.
- La solution de nettoyage dont l'action détersive résulte du mélange de la préparation et des caractéristiques chimiques de la solution utilisée.

- L'équipement employé qui fournit au système de l'énergie mécanique ou thermique favorisant le nettoyage.

Parmi ces différents composants, la nature de la préparation chimique utilisée (plus particulièrement l'action des agents tensioactifs), et l'énergie mécanique fournie qui améliore la séparation et la dispersion des salissures, sont les déterminants majeurs des performances du système détersif. [20]

### **Le nettoyage des salissures liquides d'une surface solide**

Les salissures liquides solubles dans l'eau sont nettoyées par simple solubilisation dans la solution de nettoyage. Les salissures insolubles, comme les huiles et graisses, sont enlevées par différents mécanismes qui nécessitent la présence dans la solution de nettoyage d'agents tensioactifs (le « rolling up », émulsification, solubilisation), et de sources alcalines (saponification).

## **IV.2. La solution détergente:**

### **IV.2.1. L'eau:**

L'eau est historiquement considérée comme un solvant polaire universel capable de dissoudre un grand nombre de composés polaires organiques et inorganiques. Le paramètre déterminant la qualité de l'eau pour la détergence est la dureté, qui reflète la quantité de calcium et de magnésium dissous, le plus souvent sous forme de bicarbonate [21]. En effet, les ions calcium et magnésium présents dans l'eau, ainsi que d'autres cations présents en moindre quantité, ont des effets négatifs sur les performances de la solution détergente.

### **IV.2.2. Le surfactant:**

Le type du surfactant doit être choisi selon plusieurs critères:

- Présente une bonne performance détergente
- Les molécules du tensioactif n'interagissent pas dans d'autres mécanismes autres que ceux de la détersion. Par exemple les tensioactifs anioniques leur utilisation est favorable dans un milieu de concentration faible en éléments cationiques et de PH acide, cela évitera la précipitation de molécules tensioactives. Et inversement pour les tensioactifs cationiques.
- Eviter qu'il y ait dispersion solide-liquide dans la solution de lavage.
- Inhiber l'adsorption de molécules tensioactives sur les solides, dans le cas où elles présentent une grande affinité avec la surface des particules solides.
- En cas de sa présence dans les eaux rejetées après traitement, il ne sera pas nocif pour le milieu récepteur.

### **IV.2.3. Les additifs de lavages:**

Les adjuvants, ou « builders » sont définis comme les sels inorganiques dissous de métaux alcalins (sodium ou potassium) présents dans les préparations de détergent [22]. Ils possèdent les propriétés suivantes :

- capacité tampon
- adoucissement de l'eau
- saponification des graisses et huiles naturelles
- capacité dispersante des huiles

Les différents composés répondant à cette définition ont été classés dans trois groupes :

- les agents de pH
- les phosphates
- les agents de séquestration spécifiques.

**a) Les agents de PH:****Les silicates:**

Ils sont utilisés dans les nettoyants aqueux comme réserve alcalines. L'alcalinité possède plusieurs fonctions dans la solution de nettoyage :

- elle permet de neutraliser les salissures de type acide
- elle favorise la solubilité et l'efficacité des tensioactifs (plus particulièrement les anioniques)

**Les hydroxydes:**

Les hydroxydes de sodium NaOH et de potassium KOH constituent les agents de pH les plus alcalins. Ces composés sont également capables de:

- saponifier les huiles naturelles
- provoquer l'hydrolyse des esters présents dans le système de lavage.

**b) Les phosphates:**

Ils sont des composés possédant les caractéristiques des adjuvants. Ainsi ils sont particulièrement reconnus pour : [21] [23]

- leurs propriétés de séquestration des ions durs (calcium, magnésium, métaux lourds), qui deviennent alors inactifs dans la solution nettoyante
- ils fournissent une réserve d'alcalinité à la solution
- agissent comme véhicule des agents actifs
- ils fournissent une forte action dispersante
- ils exercent enfin une action nettoyante synergique avec les tensioactifs.

**c) Les agents de séquestration spécifiques:**

Plusieurs composés organiques complexants sont utilisés dans les préparations détergentes pour adoucir l'eau, c'est-à-dire se lier aux cations métalliques en solution pour prévenir leur action nuisible à la détergence. Les composés rencontrés fréquemment sont le gluconate de sodium et les sels alcalins des acides tartrique et citrique.

### **IV.3. Les facteurs déterminants du lavage:**

#### **a) Les caractéristiques des cuttings:**

Plusieurs paramètres propres aux caractéristiques des cuttings ont une influence sur le rendement du lavage citons:

- Le PH des cuttings influe sur l'action du surfactant selon le type de ce dernier
- La concentration en ions dures
- La teneur en hydrocarbures
- La nature et la granulométrie

#### **b) Les caractéristiques de la solution détergente :**

La solution de nettoyage, constituée d'eau et de la préparation détergente, doit avoir une concentration faible en ions dures car ces ions sont capables d'inactiver les tensioactifs anioniques en formant des liaisons ioniques avec eux. Ils peuvent également former des précipités avec des composés présents dans la solution de nettoyage, particulièrement les carbonates et les savons [18].

Elle doit aussi être adaptée d'une part au type de salissures à nettoyer et d'autre part à l'équipement employé. Ainsi, la dilution du concentré doit être optimisée pour offrir le meilleur compromis coût / efficacité, c'est-à-dire que l'on doit s'assurer d'une part que la nature ( ses caractéristiques) et la concentration des tensioactifs utilisés soient adaptées aux mécanismes que l'on désire mettre en jeu, et d'autre part que les adjuvants soient également présents en quantité suffisante pour soutenir l'activité des tensioactifs.

#### **c) Le rapport quantitatif cuttings/solution détergente:**

Les émulsions ayant des concentrations en phase dispersée importante sont généralement plus stables que les émulsions diluées. Donc l'action détergente est d'autant plus performante que le volume en solution de lavage est grand par rapport à celui des cuttings lavés, mais il faut déterminer une quantité maximale en prenant en compte le facteur économique en utilisant le moins d'eau et des produits de la solution détergente pour une meilleure détersion.

#### **d) L'énergie mécanique:**

Le mécanisme de la détergence nécessite en général un apport d'énergie externe en plus des processus chimiques provoqués par les agents actifs de la préparation. Cette énergie peut provenir de divers procédés mécaniques employés dans les différents équipements.

On souligne aussi que tout supplément d'énergie mécanique apportée à un système détersif permet de réduire la température de fonctionnement ainsi que la durée du cycle de nettoyage [19].

**e) La durée de lavage:**

L'efficacité du nettoyage dépend du temps alloué au contact entre les cuttings et la solution de nettoyage. En effet les processus d'émulsion, de dissolution, et de saponification, qui possèdent tous des caractéristiques cinétiques propres, sont d'autant plus complets que leur temps de contact avec les contaminants est long. Cependant, pour consommer le moins d'énergie dans les procédés industriels utilisés, il faut déterminer une durée de lavage maximale, dont la courte durée peut être contrebalancée par un apport supplémentaire d'énergie mécanique ou l'augmentation de la température de nettoyage.

**f) La température:**

L'augmentation de la température améliore l'adsorption des tensioactifs aux interfaces, accélère la cinétique de réactions chimiques comme la saponification et facilite l'action séquestrante de certains adjuvants, notamment les phosphates [24]. Les températures d'opération optimales se situent entre 40 et 80°C.

Une efficacité détergente optimale du surfactant utilisé est généralement obtenue juste en dessous du point trouble, les micelles possédant à ce moment leur taille maximale et étant le plus aptes à émulsifier les huiles en grande quantité.

**g) la succession de lavages:**

La succession de lavage avec des solutions identiques permet de rendre le rendement de lavage meilleur mais il faut tout de même se limiter par un facteur financier en vu d'utiliser le moins possible les produits de détercion et minimiser l'énergie apportée aux équipements de lavage.

**IV.4. La séparation des cuttings de la solution de lavage:**

La centrifugation est une opération de séparation mécanique, par action de la force centrifuge, de deux à trois phases entraînées dans un mouvement de rotation. On peut séparer deux phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide, voire deux phases liquides contenant une phase solide.

Le meilleur moyen de séparation des cuttings de la solution détergente après le lavage est la centrifugation vu la courte durée et la meilleure efficacité que donne ce procédé par rapport aux autres (filtration, séchage), et la présence du matériel adéquat (centrifugeuses utilisées dans le prétraitement) sur le site de forage rend cette méthode plus accessible et moins coûteuse à mettre en œuvre.

**IV.5. Le recyclage de la solution de lavage:**

La solution de lavage est constituée en majorité d'eau dans laquelle se retrouvent, en concentrations plus ou moins importantes, des huiles insolubles, des huiles émulsifiées, des matières solides en suspension ainsi que divers sels inorganiques comprenant des

phosphates, des chlorures, des métaux, soit en solution sous forme de complexes ioniques, soit sous forme de particules.

Le recyclage des effluents de nettoyage (la séparation des agents actifs et de l'eau du reste des contaminants avant le rejet dans l'environnement) constitue donc un objectif prioritaire, d'une part du point de vue financier mais aussi, et surtout, du point de vue environnemental.

# *Etude expérimentale*

---

*Pour prouver la faisabilité de cette technique avec quatre surfactants déjà utilisés dans l'industrie pétrolière et déterminer l'effet de certains adjuvants sur l'efficacité du traitement, différentes expériences ont été réalisées dans le laboratoire d'analyse de Sonatrach à Hassi Messaoud.*

*L'étude expérimentale est présentée en deux parties :*

*Dans la première sont cités les différents produits et matériels utilisés dans les expériences, ainsi que les méthodologies expérimentales et normes suivies afin de réaliser les expériences et analyses requis pour atteindre les buts de cette étude.*

*Dans la deuxième partie sont présentés les résultats obtenus et leurs interprétations et discussions, suivis des conclusions atteintes d'après les observations réalisées.*

---

## I. Matériels et méthodologies expérimentales

### I.1. Matériels:

#### I.1.1. Produits:

- Surfactant CONDET E, solution à 10% (solution commerciale).
- Surfactant BARACLEAN (solution commerciale)
- Surfactant AVA (solution commerciale)
- Surfactant BJSP (solution commerciale)
- Silicate de sodium en solution,  $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $M=296$  g/mole, point d'ébullition : 102 °C, solubilité dans l'eau : < 50 % à 20 °C, solution à 40%.
- Chlorures de Sodium.

#### I.1.2. Appareillage:

- **Agitateur à hélice (voir annexe figure A.IX)** : l'équipement de mixage est un agitateur électrique de marque Hamilton Beach. Il est muni d'un axe porteur d'une hélice et permet d'atteindre des vitesses de rotation de 18000 tours/minutes.
- **Centrifugeuse (voir annexe figure A.XIV)**: la séparation solide/liquide est obtenue à l'aide d'une centrifugeuse de type Megafuge 2.0, marque Heraeus. L'appareil permet d'atteindre des vitesses de 3500 tours/minutes pendant des durées de 45 minutes.
- **Distillateur à Retord (voir annexe figure A.VIII, figure A.XII)**: l'extraction des hydrocarbures des échantillons est effectuée à l'aide de l'appareil de distillation à pression atmosphérique par paliers de températures. il permet de distiller dix échantillons à la fois.

Il est composé des éléments énumérés ci-dessous :

- Le four (Oven)
- Capacitaires (porte échantillon).
- Epprouvettes graduées
  
- Agitateur magnétique chauffant
  
- Balance analytique
  
- Thermomètre
  
- Verreries de laboratoire

## **I.2. Normes et méthodologies:**

### **I.2.1. L'échantillonnage:**

L'échantillon (cuttings), a été prélevé de différents points d'un bournier de forage pétrolier avec boue à émulsion non aqueuse (à base d'huile).

### **I.2.2. La conservation des échantillons:**

L'échantillon a été conservé dans un seau en plastique protégé par un sachet en plastique et stocké dans un endroit d'une température ambiante de 26°.

### **I.2.3. La préparation des échantillons:**

Avant le prélèvement des échantillons d'expériences, les cuttings sont bien homogénéisés sur une surface solide afin d'en prélever un échantillon représentatif.

### **I.2.4. Caractérisation des déblais:**

#### **a) La nature et la granulométrie:**

Etant donné que le forage passe par différentes formations rocheuses, la nature et la granulométrie des cuttings n'est pas définie du moment que les déblais sont tous mélangés en surface mais on peut avoir des caractéristiques générales. Les caractéristiques les plus importants à déterminer dans le cadre de ce travail sont la teneur en hydrocarbures et en métaux lourds.

#### **b) Le pH:**

Pour déterminer le pH des cuttings, 25gr de cuttings sont lixiviés dans 250cc d'eau distillée dans un bécher. Le contenu sera mélangé à l'aide d'un agitateur magnétique.

En utilisant du papier pH on détermine la valeur du pH des déblais.

La valeur trouvée est de l'ordre de : 10,5

### **I.2.5. Caractérisation de l'eau de la solution de lavage:**

#### **a) La température:**

La moyenne des températures ambiantes de l'eau qui ont été prises à différents moments durant le travail à l'aide d'un thermomètre est de : 26°c

**b) Le pH:**

Le pH de l'eau a été mesuré avec le ph-mètre et sa valeur est de : 7,52

**I.2.6. Caractérisation du surfactant:**

Les surfactants utilisés sont des solutions de tensioactif commerciales sans fiche technique. Ils sont utilisés couramment dans l'industrie pétrolière dans différents domaines (lavage du puit, raffinage, fabrication de boue de forage).

**I.2.7. Le lavage****a) La préparation des solutions de lavage**

Les solutions de lavage sont préparées en un volume constant de 100ml pour tous les essais avec différentes concentrations de surfactant et d'additifs de lavage. Elles sont préparées en utilisant de l'eau de robinet.

**b) L'agitation (voir annexe figure A.IX)**

100gr de cuttings sont introduites dans la solution de lavage, et agités avec l'agitateur à hélices durant 10 minutes

L'agitation est une opération mécanique qui a comme principale fonction l'apport d'énergie mécanique nécessaire au moyen d'un agitateur à hélices pour les différents mécanismes de détersion.

**c) La centrifugation (voir annexe figure A.XIV)**

Après l'agitation, en vue de séparer les cuttings de leurs solutions de lavage, plusieurs techniques ont été essayées afin de séparer la phase liquide de la phase solide notamment la filtration par pression d'air et par filtre Buchner mais la meilleure séparation a été réalisée par centrifugation, ainsi les échantillons lavés ont été mis dans la centrifugeuse durant 10 minutes, et à la fin la phase solide a été séparée de la phase liquide en se compactant au fond des flacons de centrifugation.

**d) La séparation :**

La séparation a été faite en versant et en égouttant la phase liquide qui surnage la phase solide compactée au fond des flacons de centrifugation, ensuite la phase solide a été déposée dans des boîtes de pétris, et les observations ont été notées sur les deux phases.

**I.2.8. L'évaluation quantitative des hydrocarbures (voir annexe figure A.VIII, A.XII)**

L'évaluation quantitative des hydrocarbures résiduels est déterminée par calcul après leur extraction au moyen du distillateur à Retord.

Les phases solides obtenues après centrifugation sont versées dans les capacitaires du distillateur, on les pèse avant et après y avoir mis les échantillons et en faisant la différence entre les deux on obtient la masse de l'échantillon distillé.

La distillation se fait par paliers de températures, c'est-à-dire que les liquides contenus dans les échantillons vont s'évaporer l'un après l'autre suivant la température d'évaporation propre à chaque liquide atteinte par le distillateur qui est chauffé au moyen d'une résistance électrique qui peut augmenté la température de distillation jusqu'à 650°C.

Quant la température d'évaporation d'un liquide est atteinte, il s'évapore en sortant par la partie inférieure des capacitaires qui est en forme de tube qui sont émergés dans un bac rempli d'eau agissant comme condensateur dans la partie inférieure du distillateur.

Les vapeurs sont condensées en liquides et sont récupérées dans des éprouvettes (pesées préalablement) placées au dessus de chaque capacitaire, et on laisse la phase aqueuse se séparer de la phase organique par décantation.

Pour calculer le taux d'huile résiduelle dans les échantillons il y a deux méthodes selon le type de distillat récupéré:

1. Si la séparation des deux phases dans l'éprouvette est claire et ne contient pas de boue:

Masse d'huile = (masse éprouvette pleine - masse éprouvette vide) - masse de l'eau

Sachant que  $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ gr/cm}^3$  et masse de l'eau = volume d'eau

$$\%Hr = (m \text{ huile} / m \text{ échantillon}) * 100$$

Les mesures des volumes et les masses des hydrocarbures distillés ont permis le calcul de leurs masse volumique moyenne  $\rho_m$  en se basant sur 20 résultats.

2. Si l'éprouvette contient de la boue entraînée a travers le filtre lors de la distillation. La masse volumique moyenne des hydrocarbures extraits  $\rho_m$  a été utilisée dans le calcul des masses des hydrocarbures extraits en ayant leurs volumes, et on a:

$$m_h = \rho_m \times V_h$$

La valeur de  $\rho_m$  calculée est:

$$\rho_m = 0,79 \text{ gr/cm}^3$$

### I.2.9. L'analyse quantitative des métaux lourds

Lixiviation faite sur 25 g de solide dans 250 ml d'acide acétique à PH =3, le tout mis dans l'étuve rotative à 150 tours/ minutes pendant 24 heures. L'analyse quantitative et qualitative des métaux lourds se fait par spectroscopie d'absorption atomique effectuée sur l'eau récupérée de la filtration du mélange lixivié.

## II. Résultats et discussions

A fin de mettre en évidence la possibilité du transfert des huiles contaminants de la phase solide (cuttings) vers la phase liquide (solution de lavage) ainsi que l'influence de certains paramètres de lavage sur le rendement du lavage plusieurs séries d'expériences ont été réalisées dans le laboratoire d'analyse du CRD de Hassi Messaoud.

Les résultats obtenus et qui sont tabulés dans l'annexe de ce document ont permis de constater certains phénomènes dus à l'utilisation des surfactants dans le traitement des cuttings. Ces constatations ont été faites après avoir refait à maintes reprises les expériences pour avoir les résultats les plus précis et significatifs vu les erreurs de mesures expérimentales inévitables dues aux matériels utilisés et aux méthodes de manipulation.

Des observations ont été faites sur les solutions de lavage séparées après leurs utilisations afin de déterminer l'influence du surfactant sur leurs qualités, ce qui serait nécessaire pour prévoir, dans un autre cadre de travail, un traitement de ces solutions pour l'élimination des hydrocarbures, et de choisir le surfactant qui donnera des solutions de lavage facilement traitables.

L'échantillon utilisé a été récupéré du borbier d'un chantier de forage à Hassi Messaoud, sa teneur initiale en hydrocarbures a été mesurée par distillation dans le distillateur à Retord d'un échantillon de 100gr et a été évaluée à 9,76%.

### I. Lavage à l'eau :

Cette série d'expériences a été réalisée pour voir l'influence du volume de la phase liquide sur le rendement du lavage.

Le lavage a été fait uniquement avec de l'eau. La quantité des cuttings lavés est constante et de 100g d'une teneur d'huiles résiduelles de 9,76 % tout en variant le volume d'eau utilisée. Les résultats de cette série sont représentés dans la figure suivante.

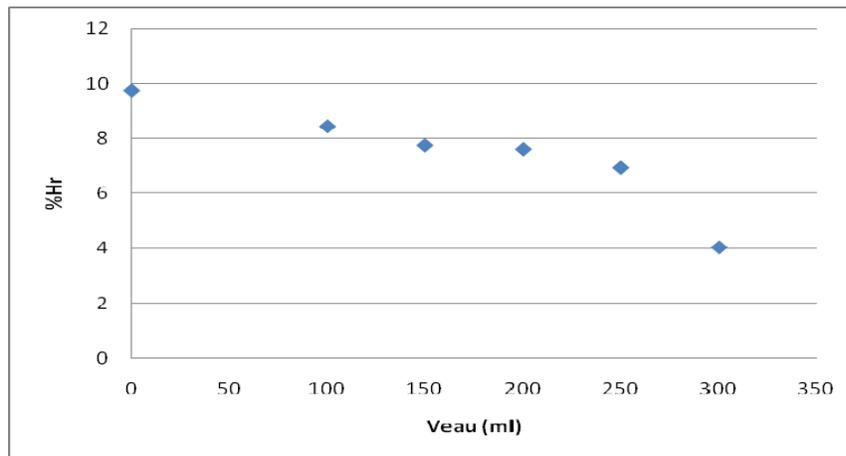


Figure V : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume d'eau utilisée

D'après les résultats obtenus, on constate que le taux des huiles résiduelles dans la phase solide diminue avec l'augmentation du volume d'eau utilisée pour le lavage, et ceci est dû au transfert des contaminants huileux de la phase solide vers la phase liquide qui augmente avec la capacité qu'a la phase liquide pour solubiliser ces contaminants huileux du fait que l'eau est considérée comme un solvant polaire, et cette capacité augmente avec le volume d'eau utilisée.

Etant donné que les hydrocarbures contenus dans les cuttings sont de différentes natures, leurs caractéristiques diffèrent ainsi que leur comportement dans des solutions aqueuses, de fait, la présence d'hydrocarbures à caractère tensioactifs est possible, ce qui a permis probablement l'amélioration du rendement de lavage.

## II. Influence de l'ajout de surfactant dans le lavage : (AVA)

Cette série a été réalisée dans le but de déterminer l'effet de l'utilisation des surfactants dans la phase liquide (solution de lavage). Et pour cela, les mêmes étapes opératoires de la première série ont été refaites mais la phase liquide est composée de l'eau plus un surfactant (le surfactant utilisé est AVA avec une concentration de 4%v pour tout les volumes d'eau). Les résultats de cette série sont représentés dans la figure suivante.

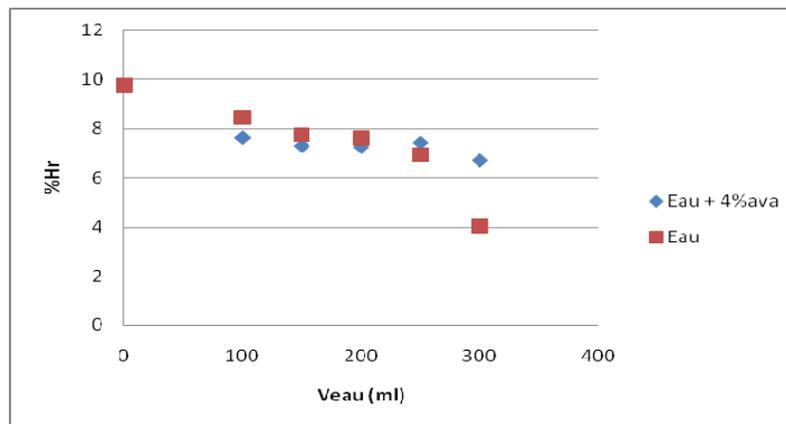


Figure VI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume de la solution de lavage



Figure VII : Aspect des solutions de lavage à volume différents après centrifugation

Les résultats obtenus semblent montrer que le lavage avec une solution contenant de l'eau et du surfactant est plus efficace qu'avec de l'eau uniquement. Ceci est dû à l'abaissement de la tension interfaciale entre la solution de lavage (eau+surfactant) et les contaminants huileux des cuttings ce qui facilitera leur détachement par le mécanisme rolling-up. L'ajout du surfactant augmente aussi la capacité de la phase liquide à émulsionner les contaminants huileux détachés.

Il faut noter aussi que plus le volume de la solution de lavage est élevé plus le rendement de lavage augmente mais il faut tout de même se limiter par le facteur financier qui se traduit à l'échelle industrielle par l'utilisation d'une quantité de solution minimale pour un lavage efficace.

### III. Influence du nombre de lavage:

Dans cette série il a été proposé d'effectuer trois lavages successifs afin de déterminer l'efficacité du traitement par des lavages successifs et cela avec de l'eau uniquement ensuite avec une solution contenant des proportions identiques en surfactant. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure suivante:

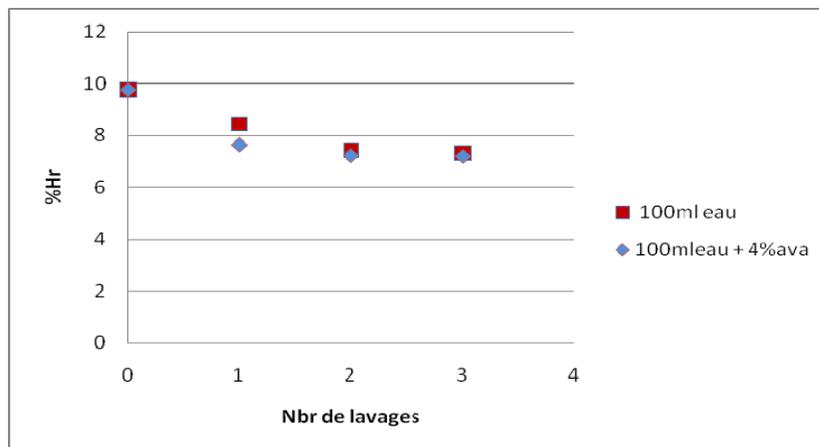


Figure VIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du nombre de lavages successives

Les résultats obtenus semblent montrer que la teneur en huiles résiduelles diminue en augmentant le nombre de lavages successifs, et les teneurs obtenues après l'utilisation d'une solution de surfactant sont moins élevées que celles obtenues avec de l'eau uniquement et ceci est dû à l'efficacité du lavage avec un surfactant qui a été montrée dans la série précédente.

L'efficacité du lavage avec une solution de surfactant par rapport au lavage à l'eau uniquement est sensiblement remarquable dans le 1<sup>er</sup> lavage. Dans le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> lavage les teneurs en huiles résiduelles après le lavage avec les deux solutions sont faiblement inférieures à celle du 1<sup>er</sup> lavage (presque les mêmes), d'où on constate l'inutilité d'effectuer plusieurs lavages sauf probablement dans les cas où les teneurs atteintes restent très élevées.

#### IV. Influence de la concentration en surfactant : (AVA)

Après avoir constaté l'efficacité du lavage avec une solution contenant de l'eau et un surfactant par rapport au lavage avec de l'eau uniquement, la série d'essais suivante a été réalisée dans le but de déterminer l'influence de la concentration en surfactant dans la solution de lavage sur l'efficacité de ce dernier.

100gr de cuttings lavée avec 100ml d'une solution de surfactant AVA avec différentes concentrations. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure suivante :

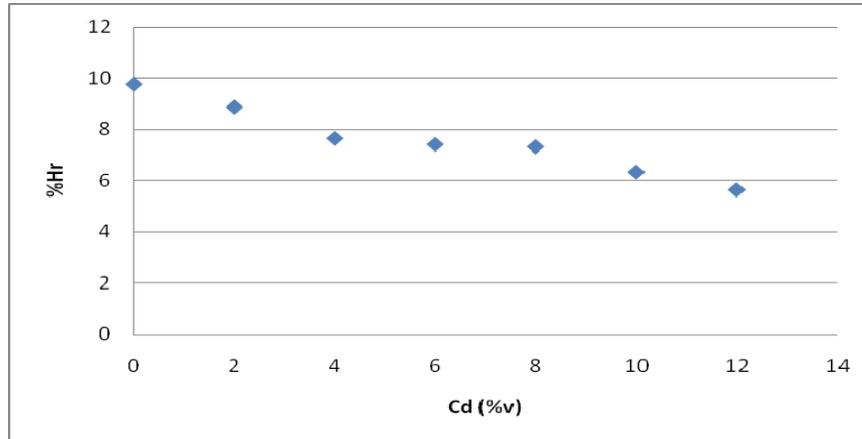


Figure IX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant AVA

D'après les résultats obtenus, on constate que la teneur d'huiles résiduelles diminue avec l'augmentation de la concentration en surfactant puisque plus la solution de lavage est concentrée en surfactant plus les mécanismes de l'émulsification et de la solubilisation se manifestent ce qui augmente la capacité de la solution à émulsionner plus de contaminants huileux transférés de la phase solide jusqu'à une valeur limite à partir de laquelle, cette teneur commence à diminuer avec l'augmentation de la concentration.

#### Conclusion : Lavage à l'eau amélioré par surfactant :

Les premières séries d'expériences ont permis de mettre en évidence la possibilité de traiter les cuttings par lavage pour abaisser leurs teneurs d'huiles résiduelles, ainsi l'utilisation d'une solution aqueuse pour le lavage a donné des résultats positifs, et l'ajout d'un tensioactif (surfactant) a encore amélioré le lavage et a donné des résultats meilleurs. Il faut noter aussi que le rendement du lavage augmente avec le volume de solution utilisée ainsi que la concentration du surfactant. Mais il faut se limiter par un facteur économique qui consiste à éviter l'utilisation excessive de l'eau et de la solution tensioactive.

#### V. Le comportement des surfactants:

Le comportement du surfactant dans le lavage se traduit par deux aspects différents. Le premier étant l'amélioration du transfert des contaminants huileux de la phase solide

vers la phase liquide avec des solutions aqueuses, et le second est la qualité des solutions de lavages obtenues après leurs utilisations.

La détermination de la qualité des solutions de lavages utilisées est aussi nécessaire dans cette étude en vue de déterminer le surfactant qui donnera des solutions faciles à traiter, ainsi le choix du surfactant dépendra aussi de ce paramètre, et l'utilisation des surfactants qui donneront des solutions difficilement traitables est à éviter.

Pour la suite des expériences et après avoir utilisé complètement le premier échantillon, un nouvel échantillon a été récupéré d'un autre chantier de forage. Et l'évaluation de la teneur en huiles résiduelles a été refaite par distillation avec le distillateur à Retord et a été évaluée à 5,56 %m, et le choix des paramètres a été fixé comme suite ;

- La prise d'essai est de 100gr cuttings,
- Le volume de la solution de lavage est de 100cc,
- Le nombre de lavage un seul lavage
- La durée du mixage est de 10min
- La durée de la centrifugation est de 10min

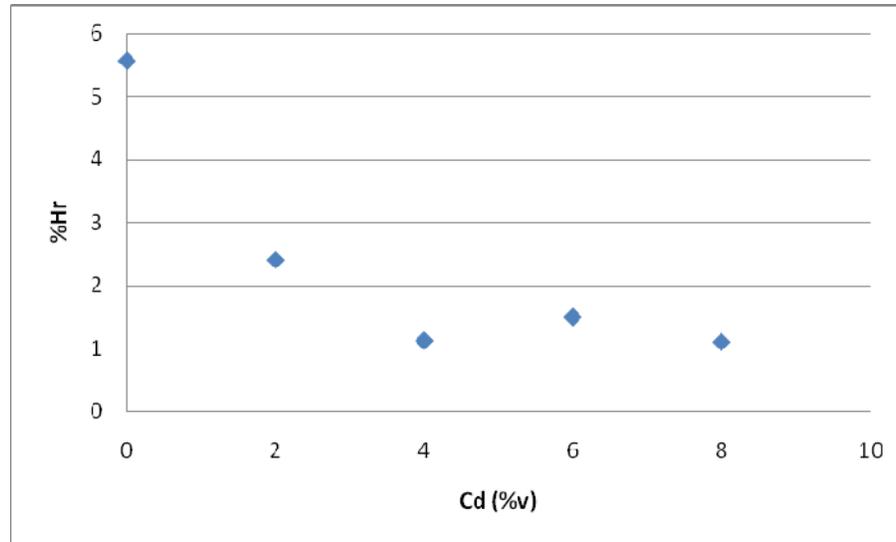
Pour voir le comportement de chaque surfactant et son rendement d'extraction dans le lavage, plusieurs systèmes de lavage sont préparés avec les quatre surfactants en variant leurs concentrations. Des solutions de lavage de 100cc sont préparées pour laver des échantillons de 100gr.

Après les avoir mélangés pendant 10 minutes le tout est mis dans la centrifugeuse pendant 10 minutes afin de séparer la phase liquide de la phase solide.

Ensuite on récupère la phase aqueuse sur laquelle on note les différentes observations après les avoir laissées un moment pour se stabiliser, et la teneur en hydrocarbures résiduels dans les phases solides récupérées est déterminée à l'aide du distillateur à retord.

### **V.1. Comportement du surfactant CONDET E:**

La première série d'expériences a été réalisée avec le surfactant CONDET E. La variation des teneurs en hydrocarbures résiduels en fonction de la concentration en surfactant sont représentées dans la figure suivante:



**Figure X : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant CONDET E**

La figure révèle que la teneur en hydrocarbures résiduels Hr diminue lorsque la concentration en surfactant augmente. Elle a considérablement diminué par rapport à la teneur initiale et elle a baissé en dessous de 2% en masse à la concentration 4% en volume en surfactant, ce qui représente la norme des taux d'hydrocarbures résiduel après traitement dans le cas où la teneur initiale est légèrement supérieure à 5% en masse. Ce qui est conforme aux exigences fixées par les normes utilisées.

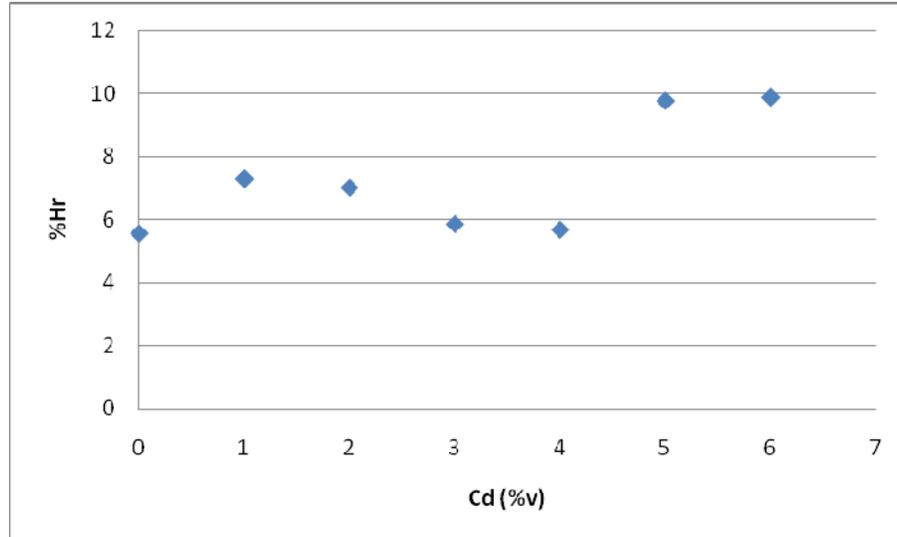
Les phases liquides sont surmontées par des phases huileuses qui se sont décantées et elles contiennent des dispersions solide-liquide d'argile, ces observations sont d'autant plus remarquables que la concentration en surfactant utilisé est élevée, par contre les couleurs des solutions de lavage n'ont pas beaucoup changées par rapport aux couleurs initiales, elles sont devenues un peu plus foncées et leur volume augmente avec la concentration, ces deux dernières observations sont dues au phénomène de l'émulsification des huiles dans la solution aqueuse de lavage.



**Figure XI : Aspect des solutions de lavage de CONDET E après centrifugation**

**V.2. Comportement du surfactant BARACLEAN:**

La deuxième série d'expériences a été réalisé avec le surfactant BARACLEAN. la variation des teneur en hydrocarbures résiduels en fonction de la concentration en surfactant sont représentés dans la figure suivante:



**Figure XII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant BARACLEAN**

Les résultats obtenus montrent que les teneurs après traitement à différentes concentrations sont supérieures à celle de l'échantillon témoin et ceci est du probablement aux erreurs de manipulation ou de mesure qui étaient inévitable malgré la réalisation des essais à plusieurs reprises.

Cependant en ce qui concerne les phases liquides récupérées après la centrifugation, elles se séparent par décantation en deux phases une huileuse surmontant une autre aqueuse claire dont la turbidité augmente avec la concentration du surfactant utilisé. Contrairement aux solutions obtenues avec CONDET E celles-ci ne contiennent pas des particules solides en dispersion.



**Figure XIII : Aspect des solutions de lavage de BARACLEAN après centrifugation**

### V.3. Comportement du surfactant AVA:

La troisième série d'expériences a été réalisée avec le surfactant AVA. la variation des teneurs en hydrocarbures résiduels en fonction de la concentration en surfactant sont représentés dans la figure suivante:

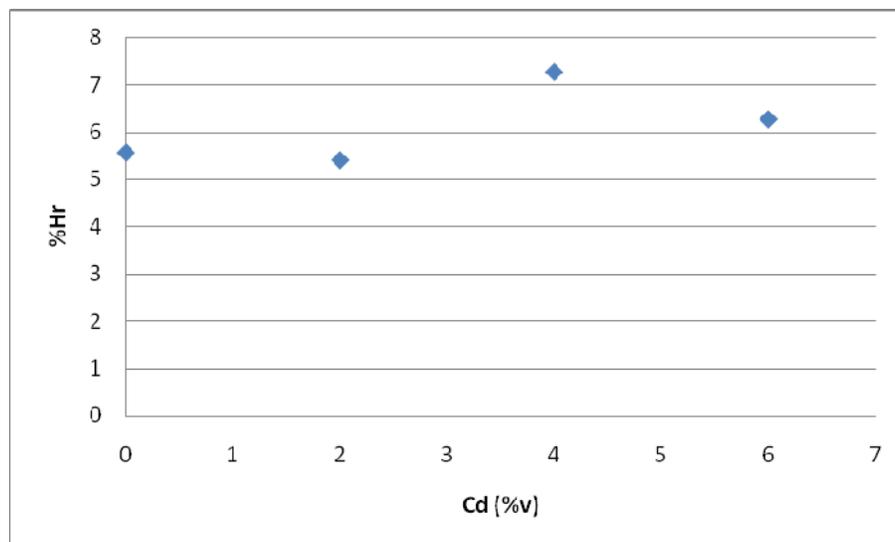


Figure XIV : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant AVA

La teneur optimale atteinte (inférieure à 2% en masse) est lorsque la concentration en surfactant est de 8% en volume.

Les solutions récupérées après le lavage sont surmontées par de fines couches d'huile et la turbidité augmente avec la concentration en surfactant et qui est plus forte en la comparant avec celle observée en utilisant CONDET E.



Figure XV : Aspect des solutions de lavage de AVA après centrifugation

Cette turbidité est due au phénomène d'émulsification, et cela a été prouvé par une réaction de saponification

3cc de silicates de sodium ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sont ajoutées à la solution récupérée, le tout agité et chauffé à une température de  $40^\circ\text{C}$  avec un agitateur magnétique chauffant durant 5 minutes. Après centrifugation du mélange, une phase solide se décante et se sépare d'une phase liquide plus claire que la solution initiale, cela est dû à la saponification des huiles émulsionnées et des molécules du tensioactif solubilisées dans la solution de lavage.

#### **V.4. Comportement du surfactant BJSP:**

Lors de l'utilisation de ce surfactant, une forte dispersion solide liquide a été remarquée dans la phase aqueuse récupérée après centrifugation et une diminution de la quantité de l'échantillon (la phase solide). Et cela est dû à la très grande affinité qu'ont les tensioactifs cationiques à la surface solide qui sont généralement chargées négativement, ce qui fait qu'il a un très grand pouvoir dispersant des particules solides dans la solution de lavage ce qui réduit ces propriétés détergentes.

#### **Conclusion : Influence de la nature du surfactant**

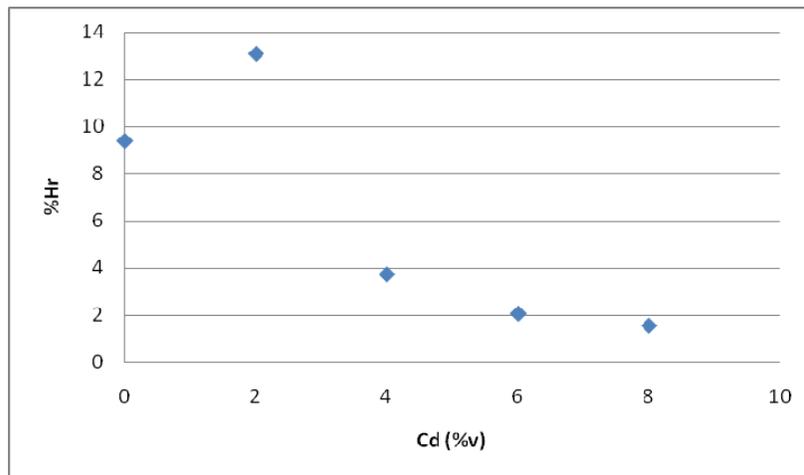
Les séries d'expériences précédentes ont permis de réaliser des constatations d'après deux aspects de l'utilisation des surfactants dans le lavage, ainsi il s'avère nécessaire de prendre en compte la qualité des solutions de lavage obtenues après utilisation, et le meilleur surfactant ne doit pas donner seulement des résultats de rendement remarquables, mais aussi des solutions de lavages d'une qualité de contamination facilement traitable c'est-à-dire contenant des hydrocarbures en émulsion facile à casser en vue d'un traitement par des désémulsifiants, ou bien séparés par décantation se qui permettra ensuite leur séparation d'une manière mécanique.

Le surfactant ne doit pas aussi avoir une grande affinité envers les particules solides pour éviter leur dispersion ce qui compliquera encore plus le traitement des solutions de lavages utilisées.

**VI. Influence des silicates de sodium :**

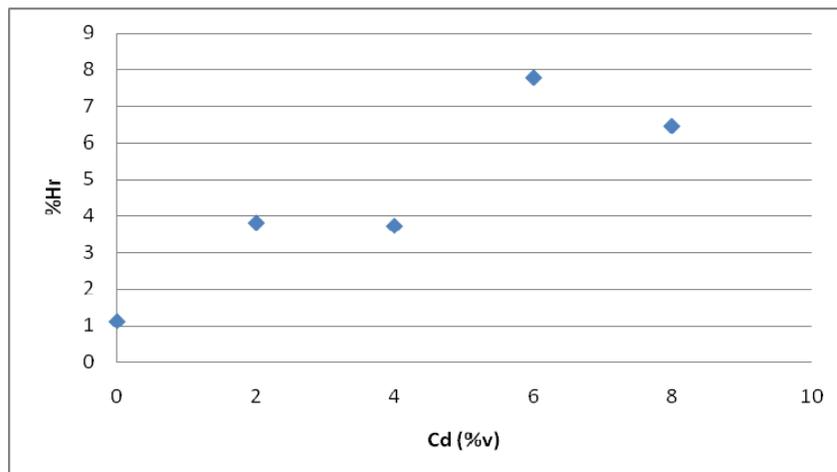
Comme cité dans l'étude bibliographique les silicates de sodium ont un rôle d'adjuvant dans le système de lavage. Ils sont une réserve d'alcalinité pour la réaction de saponification des hydrocarbures extraits, et ils ont des propriétés séquestrantes des ions durs qui peuvent nuire l'action des molécules du tensioactif. Pour prouver leur rôle quelques séries d'expériences ont été réalisées.

Dans la première série le surfactant utilisé est CONDET E. la concentration en silicates de sodium est maintenue constante et égale a 4%v tout en variant la concentration en surfactant. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante suivant:



**Figure XVI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant CONDET E avec une concentration en silicate de sodium Cs=4%v**

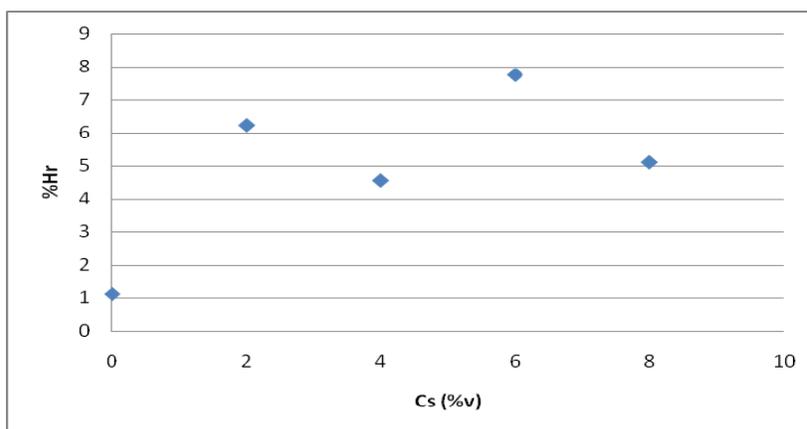
La série a été refaite avec le surfactant BARACLEAN en gardant la concentration en silicates de sodium constante et égale à 4%v. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante:



**Figure XVII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant BARACLEAN avec une concentration en silicate de sodium Cs=4%v**

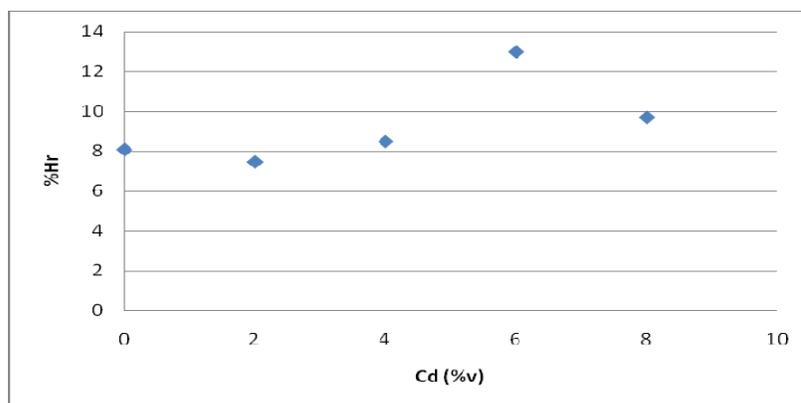
D'après les essais de la première série, après l'ajout des silicates de sodium les teneurs en hydrocarbures résiduels ont légèrement augmenté par rapport aux teneurs du traitement sans ajout de silicates de sodium. Cette augmentation est considérablement remarquable dans le cas de l'utilisation de BARACLEAN comme surfactant. Pour déterminer l'effet de l'augmentation de la concentration en silicates de sodium sur le rendement de lavage une deuxième série d'expériences a été réalisée.

Dans la deuxième série, pour voir l'effet de l'augmentation de la concentration en silicates de sodium, la concentration en surfactant CONDET E est maintenue constante égale à 4%v tout en variant la concentration en silicates de sodium. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante:



**Figure XVIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à Cd=4%v**

Pour confirmer les résultats, la série a été refaite mais avec une concentration plus élevée en surfactant égale à 8%v en CONDET E. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante:



**Figure XIX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à Cd=8%v**

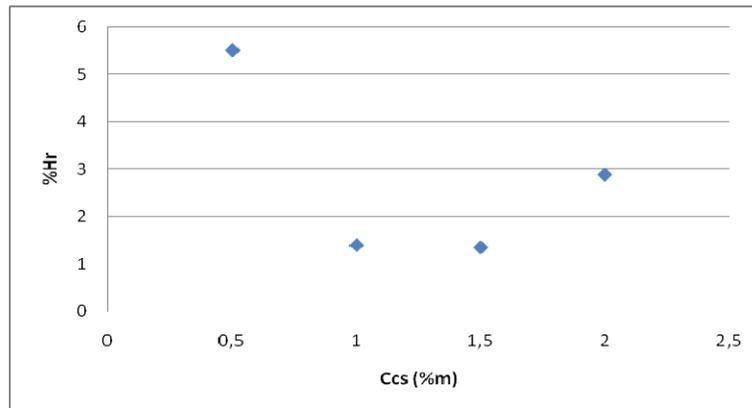
D'après les résultats obtenus, plus la concentration en silicate de sodium est grande plus le rendement de lavage diminue (la teneur en hydrocarbures résiduels augmente). Donc les silicates de sodium n'ont joué aucun rôle améliorateur du lavage mais au contraire

on observe qu'il y a augmentation de la teneur par rapport a la teneur initiale. Ceci est probablement du aux type des tensioactifs utilisés, car dans le cas ou ce sont des molécules tensioactifs cationiques ils vont être précipité par les ions  $SiO_3^-$  Ce qui va nuire leur efficacité de lavage.

**VII. Influence des sels minéraux:**

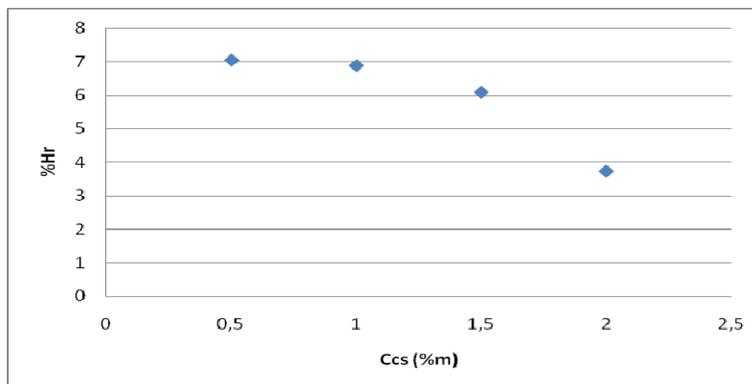
Pour voir l'influence des sels minéraux en général sur le lavage avec les surfactant, des concentrations différentes en chlorures de sodium ont été ajouté dans le système de lavage (cuttings + solution de lavage) comme substituant aux sels minéraux. La série d'expériences suivante a été réalisée. La concentration du surfactant a été fixée à 8%v tout en variant la concentration en NaCl.

La première série a été réalisée avec le surfactant AVA pour des concentrations en NaCl allant de 0,5 à 2 %m en pourcentage massique par rapport a 100gr d'eau (100cc d'eau). Les résultats obtenus sont représentés dans la figure suivante :



**Figure XX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant AVA**

La deuxième série a été réalisée avec le surfactant BARACLEAN avec les mêmes concentrations en NaCl. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure suivante:



**Figure XXI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant BARACLEAN**

D'après les résultats obtenus dans la première série et confirmés dans la deuxième une nette amélioration du lavage est observée après ajout des chlorures de sodium au système de lavage.

Donc les eaux salines peuvent être utilisées pour la formulation de solutions de lavage, que ça soit des solutions de lavage recyclées contenant des sels extraits par solubilisation dans des lavages antérieurs, ou bien des eaux de rejets industriels issus des différents procédés existants sur chantier (eaux de lavage de sonde particulièrement) contenant des sels minéraux en solution.

### VIII. Le lavage des métaux lourds:

Dans le but de vérifier si, après traitement par lavage des cuttings, non seulement de l'huile a été récupérée mais aussi les métaux lourds ont été solubilisés, une lixiviation d'un échantillon a été faite avant et après traitement suivi par une analyse par spectroscopie d'absorption atomique.

Lixiviation faite sur 25 g de solide dans 250 ml d'acide acétique à PH =5.5, le tout mis dans l'étuve rotative à 150 tours/ minutes pendant 24 heures. Les résultats de l'analyse spectroscopique d'absorption atomique effectuée sur l'eau récupérée de la filtration du mélange lixivié sont enregistrés dans le tableau suivant :

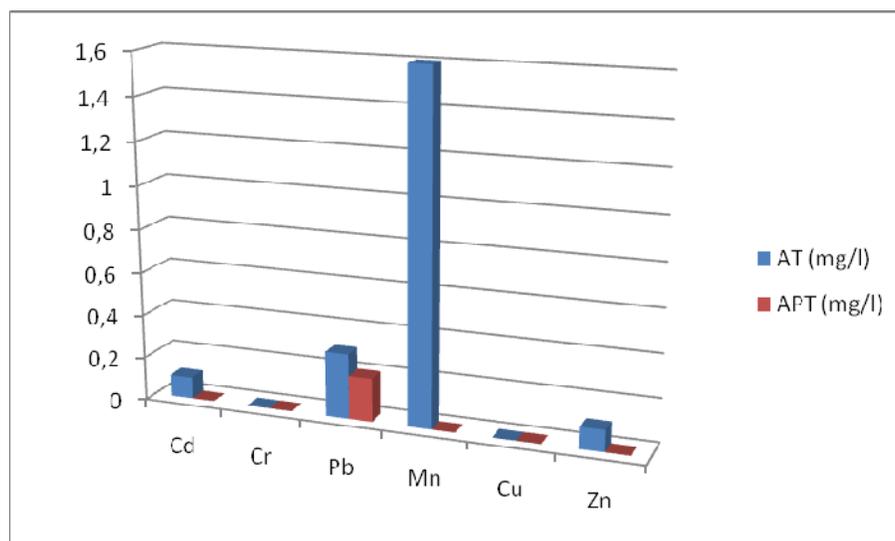


Figure XXII : Rendement d'extraction des métaux lourds

AT représente l'échantillon avant traitement.

APT représente l'échantillon après traitement.

Les résultats prouvent que le procédé de traitement par lavage est efficace non seulement pour la récupération de l'huile mais également pour l'extraction des métaux lourds issus de la contamination des cuttings par les composants de la boue de forage et des roches géologiques forées.

D'après les résultats obtenus dans les différentes expériences réalisées dans l'étude expérimentale, on conclut que:

1. Le transfert des salissures hydrocarbonées des surfaces solides vers des solutions liquides est faisable avec les mécanismes de la détergence.
2. Le surfactant qui donne les meilleurs résultats est le CONDET E, mais il crée une émulsion plus stable que les autres surfactants et une dispersion solide-liquide des argiles plus importante, ce qui rend le traitement de la solution de lavage plus difficile, mais d'un autre côté cette stabilité est favorable pour les mécanismes de solubilisation et émulsification dans la détergence ce qui permettra la rétention des huiles extraites des surfaces solides dans la solution de lavage et éviter qu'elles se redéposent sur les particules.
3. La solubilisation des huiles dans la phase aqueuse augmente avec la concentration en surfactant dans la solution de lavage. Ceci est observé visuellement par le degré de turbidité des solutions de lavage et les teneurs en hydrocarbures résiduels qui diminuent avec l'augmentation de la concentration en surfactant.
4. Le comportement des surfactants dans les systèmes de lavage diffère selon les caractéristiques du surfactant.
5. Les silicates de sodium n'ont aucun effet améliorateur du rendement de lavage : d'après les résultats obtenus dans les séries d'essais réalisées, ceci est dû probablement à la qualité du silicate de sodium utilisé.
6. La présence des sels extraits par solubilisation dans la solution de lavage récupérée représente un facteur favorable et ne nuit à une éventuelle réutilisation de cette même eau pour d'autres cycles de lavage.
7. Les métaux lourds peuvent être éliminés par solubilisation dans la solution de lavage.
8. Et Enfin, une optimisation de la concentration du détergent utilisé est nécessaire car tout excès peut provoquer l'effet inverse.

## 9. *Conclusion générale*

A l'issue de cette étude nous pouvons conclure que :

- La teneur en huile dans les déchets solides peut être réduite par simple lavage à l'eau traitée au surfactant à des valeurs conformes aux normes en vigueur.
- L'efficacité du lavage dépend essentiellement de la nature du surfactant et de sa concentration.
- L'action du surfactant peu être améliorée par ajout d'additifs empêchant la redéposition des gouttelettes d'huile tels que les polyphosphates et certains silicates.
- La présence de sels minéraux renforce l'action du détergent d'où la possibilité de réutiliser les eaux de lavage ainsi les eaux de rejet industriels récupérées sur les chantiers, d'où la diminution de la quantité globale d'eau nécessaire à cette opération de lavage.
- La procédure de nettoyage des déblais de forage par lavage à l'eau et surfactant peut être envisagée. Cette option est justifiée aussi bien sur le plan efficacité que sur le plan coût du traitement. Ce dernier doit être moins élevé que celui des autres méthodes (100\$/m<sup>3</sup> pour la solidification/stabilisation et plus de 250\$/m<sup>3</sup> pour la désorption thermique) étant donné que tous les équipements nécessaires à cette opération sont disponibles sur la sonde de forage, et les surfactants sont déjà largement utilisés dans l'industrie pétrolière. Donc ce coût est lié uniquement à la quantité d'eau utilisée ainsi qu'à celles des additifs (surfactants). La valorisation des liquides de lavage (récupération des huiles et réutilisation des eaux de lavage) sont également des facteurs qui jouent en faveur d'une réduction du prix de traitement.
- L'avantage de ce procédé de lavage est le temps de réalisation très court donc sa capacité de prendre en charge en temps réel (traitement on-line) la totalité des cuttings produits. Ceci nous évite le recours à des lieux de pré-stockage spécialement aménagés (aménagement des bourbiers et pose de géomembrane) qui

augmenteront les couts de la gestion des déblais dans leurs aménagements et les taxes exigées par la loi pour la décharge des déchets industriels.

- Un autre avantage réside dans le fait que les autres types de polluants (sels minéraux et métaux lourds) peuvent être également éliminés par simple solubilisation.
  
- L'opération de traitement complémentaire par le procédé de Solidification/Stabilisation peut être éliminée, et remplacée par le procédé de lavage à l'eau traitée au surfactant, chose qui diminuera les coûts de traitement des déblais de forage.

## *Perspectives*

Comme complément à cette étude, nous recommandons les essais suivants :

- Etude l'influence du type du surfactant utilisé sur le lavage
- Etude de l'efficacité du lavage selon la HLB des surfactants utilisés.
- Etude de l'effet des autres additifs utilisés généralement pour améliorer le pouvoir des détergents industriels ; Nous citerons à titre d'exemple les polyphosphates, et les silicates.
- Etude du pouvoir nettoyant de cette solution sur les métaux lourds et les sels minéraux. Etant donné que la solubilité de ces éléments dans l'eau est déjà prouvée, cette étude aura comme objectif uniquement l'optimisation des conditions de lavage (durée de mixage).
- Etude de l'influence des surfactant sur la solution de lavage utilisée

## *Références bibliographiques*

- [1] Aarroussi A. (2009), **Manuel du stage**, Département analyse Sonatrach.
- [2] Ryaen, C., G. et Chillingar, V. (1996), **Drilling fluids: state of the art**, Journal of petroleum science and engineering vol 14, pp.221- 230
- [3] Abid D. (1994), **Etude de synthèse sur les fluides de forage** 1<sup>er</sup> partie du rapport (CRD Boumerdes).
- [4] Larpent C. (2001), **Les tensioactifs**, techniques de l'ingénieur
- [5] Khoja M. (2008), **Les fluides de forage : Etude des performances et considerations environnementales**, Institut national polytechnique de Toulouse.
- [6] **Forage rotary, La boue de forage** (1982), Groupe II leçon 2 éditions technip.
- [7] Garcia(1984), **le fluide de forage**, éditions technip.
- [8] Niall B. , Simon J. Cripps, Troels J. , Grethe K., Gordon B. Picken (1998), **Review of drill cuttings piles in the north sea**. Final Report, a Report for the Offshore Decommissioning Communications Project.
- [9] UKOOA Drill Cuttings Initiative Research and Development Programme Project 1.2 : Cuttings Pile Toxicity Environment & Resource Technology Ltd RF – Rogaland Research
- [10] Marcon L. (2001), **Méthode d'étude des agents de surface**, Technique de l'ingénieur A 7610
- [11] Belouchrani R. (2008), **traitement biologique d'un sol contaminé par les HAP, Mémoire de Magister**, ENSP.
- [12] Lavoué J. , Bégin D. et Gérin M. , **La substitution des solvants par les nettoyants aqueux**, Université de Montréal, Faculté de médecine, Département de santé environnementale et santé au travail
- [13] Chitour (1992), **Physico-chimie des surfaces**, OPU. Alger, Vol 1.
- [14] Teixeira Da Silva De La Salles K. , **approche thermodynamique et cinétique de l'extraction a deux phases aqueuses a l'aide de tensioactifs ioniques**, thèse doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse.
- [15] Poré J. , **émulsion, micro émulsion, émulsion multiple**, Les éditions techniques des industries des corps gras.
- [16] Broze, G. (1994) *Mechanisms of Soil Removal. In: Detergents and Cleaners: A handbook for formulators*, R.K. Lange, Ed. Hanser Gardner Publications Inc, Munich pp.29-43.

- [17] Lynn J.L. (1996) **Detergency**. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology** (Fourth edition), J.I. Kroschwitz, Ed. John Wiley & Sons, New York, NY pp.1072-1117.
- [18] Jakobi G. ; Lohr A. ; Schwuger M.J. ; Jung D. ; Fischer W.K. ; Gerike P. ; Kunstler, K. (1985) **Detergents**. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry** (Fifth, completely revised edition), W. Gerhartz, Ed. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim pp.315-448.
- [19] McLaughlin M.C. ; Zisman, A.S. (1998) **The Aqueous Cleaning Handbook**. The Morris-Lee Publishing Group, Rosemont, NJ
- [20] Peterson D.S. (1997) **Practical Guide to Industrial Metal Cleaning**. Hanser Gardner Publication, Cincinnati, OH
- [21] Ho Tan Tai L. (1999) **Détergents et produits de soins corporels**. Dunod, Paris
- [22] Peterson D.S. (1997) **Practical Guide to Industrial Metal Cleaning**. Hanser Gardner Publication, Cincinnati, OH
- [23] Joubert B.; Gresser R.; Cuif J.P. (1999) **Properties of builders, Non phosphate Builders**. In: **Handbook of detergents**, G. Broze, Ed. Marcel Dekker Inc., New York, NY, pp.511-558.
- [24] Gouvernement du Québec (1997) **Règlement sur la qualité de l'atmosphère (Q-2, r.20)**. Éditeur officiel, Québec, QC
- [25] Zhang L. , Somasundaran P. , Ososkov V. and Chou C.C. (2001). **Flotation of Hydrophobic Contaminants from Soil**. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 177 (2-3), pp.235–246.
- [26] Childs J. , Acosta E. , Scamehorn J. F. and Sabatini D. A. (2005). **Surfactant-Enhanced Treatment of Oil- Based Drill Cutting**. *Journal of Energy Resources Technology*. 127 (2), pp.153-162.
- [27] Laurier L. & Scharm M. (1996), **Suspension Fundamentals and application in the petroleum industry**, édition American chemical society, washington, DC.
- [28] Djahieche A. (2001), **Synthèse in situ de particules polyuréthane par polyaddition interfaciale**. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [29] Kaler E.W. (1994) **Basic Surfactant Concepts**. In: **Detergents and Cleaners: A handbook for formulators**, R.K. Lange, Ed. Hanser Gardner Publications Inc, Munich pp.1-28.
- [30] Berry K. A. T. , Burton D. L. (1997), **Natural attenuation of diesel fuel in heavy clay soil** Canadian Journal of soil science.

- [31] Brinkmann D. , Röhrs J. and Schügerl K. (1998), **Bioremediation of diesel fuel contaminated soil in a rotating bioreactor**, Chem. Eng. Technol, vol. 21, pp168-172 .
- [32] Budzinski H. K. , LeMenech K. , Bellocq J. , Garrigues P. (1995), **Problématique de l'analyse des contaminants organiques semi volatils dans les matrices environnementales: approches qualitatives et quantitatives**, Université Bordeaux.
- [33] Cerniglia C. E., (1992), **Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons**, Biodegradation, vol. 3, pp 351-368.
- [34] Wauquier J. P. , (1994). **Pétrole brut : produits pétroliers, schémas de fabrication**.
- [35] Vandecasteele J. P., Ballerini D. (2001), **Biodégradation des hydrocarbures et xenobiotiques et biorestoration des eaux et des sols pollués**, Bull.Soc.Fr.Microbio., Vol. 16, pp 183.
- [36] Chekir N. (2005), **Bioremediation d'un sol pollué par les hydrocarbures (Gasoil) dans un bioréacteur fluidisé à jet**, mémoire de magistère, ENSP.
- [37] Abul-Kassim T. A. T. , Simoneit B. R. T. (2001), **Pollutant-solid phase interaction, Mechanisms, chemistry and modeling**.
- [38] Huang G. Li, W. , Lerner D. N. and Zhang X. (2000),**Enrichment of degrading microbes and bioremediation of petrochemical contaminants in polluted soil**, Water Research vol. 34, pp 3845-3853.
- [39] Chaplin B. P. , Delin G. N. , R. J. Baker, and Lahvis M. A. (2002), **Long-term evolution of biodegradation and volatilization Rates in crude oil contaminated aquifer** Bioremediation Journal, vol. 6, pp 237-255.
- [40] Neff J. M. , Anderson J. W. , Cox B. A. , Laughlin R. B. , Rossi S. S. , and Tatem H. E. . (1976) . **Effects of petroleum on survival, respiration and growth of marine animals**. Proceedings, Sources, Effects and Sinks of Hydrocarbon in the Aquatic Environment, Washington, D. C., USA.

# *Annexe*

**Tableau A.I : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume d'eau utilisée**

Veau (ml)	0	100	150	200	250	300
Hr (%m)	9,76	8,45	7,76	7,62	6,94	4,04

**Tableau A.II : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du volume de la solution de lavage**

Veau (ml)	0	100	150	200	250	300
Hr (%m)	9,76	7,65	7,32	7,27	7,45	6,72

**Tableau A.III : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction du nombre de lavages successives**

Nbr de lavage	0	1	2	3
Hr (%m) 100ml eau	9,76	8,45	7,43	7,32
Hr (%m) 100ml eau + 4%ava	9,76	7,65	7,24	7,21

**Tableau A.IV : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant AVA**

Cd (%v)	0	2	4	6	8	10	12
Hr (%m)	9,76	8,87	7,65	7,42	7,33	6,34	5,65

**Tableau A.V : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant CONDET E**

Cd (%v)	2	4	6	8
Hr (%m)	2.401	1.121	1.496	1.1

**Tableau A.VI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant BARACLEAN**

Cd (%v)	1	2	3	4	5	6
Hr (%m)	7,295	7,012	5,857	5,679	9,77	9,88

**Tableau A.VII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration surfactant AVA**

Cd (%v)	2	4	6
Hr (%m)	5,398	7,2739	6,2684

**Tableau A.VIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant CONDET E avec une concentration en silicate de sodium Cs=4%v**

Cd (%v)	0	2	4	6	8
Hr (%m)	9,381	13,066	3,732	2,072	1,557

**Tableau A.IX : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en surfactant BARACLEAN avec une concentration en silicate de sodium Cs=4%v**

Cd (%v)	0	2	4	6	8
Hr (%m)	1,121	3,815	3,732	7,788	6,462

**Tableau A.X : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à Cd=4%v**

Cs (%v)	0	2	4	6	8
Hr (%m)	1,1	6,236	4,557	7,757	5,106

**Tableau A.XI : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en silicate de sodium avec le surfactant CONDET E à Cd=8%v**

Cs (%v)	0	2	4	6	8
Hr (%m)	8,08	7,462	8,487	12,996	9,698

**Tableau A.XII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant AVA**

C <sub>NaCl</sub> (%m)	0,5	1	1,5	2
Hr (%m)	5,503	1,401	1,355	5,886

**Tableau A.XIII : Variation de la teneur en huiles résiduelles en fonction de la concentration en NaCl en utilisant le surfactant BARACLEAN**

C <sub>NaCl</sub> (%m)	0,5	1	1,5	2
Hr (%m)	7,049	6,89	6,095	3,744

**Tableau A.XIV : Teneurs des métaux lourds avant et après traitement par lavage**

	Cd	Cr	Pb	Mn	Cu	Zn
AT (mg/l)	0.1	00	0.3	1.6	00	0.1
APT (mg/l)	00	00	0.2	00	00	00

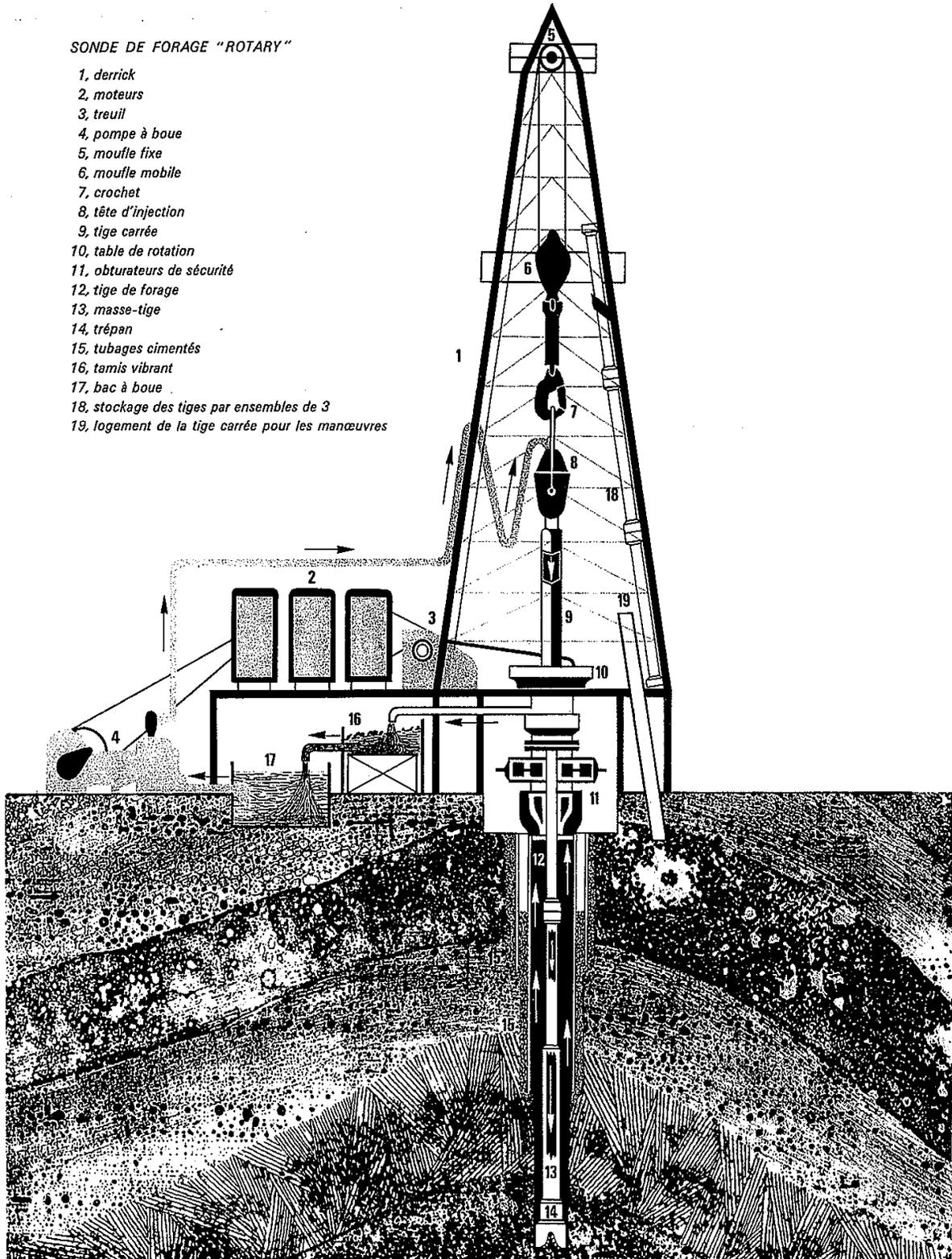


Figure A.I : Sonde de forage rotatif

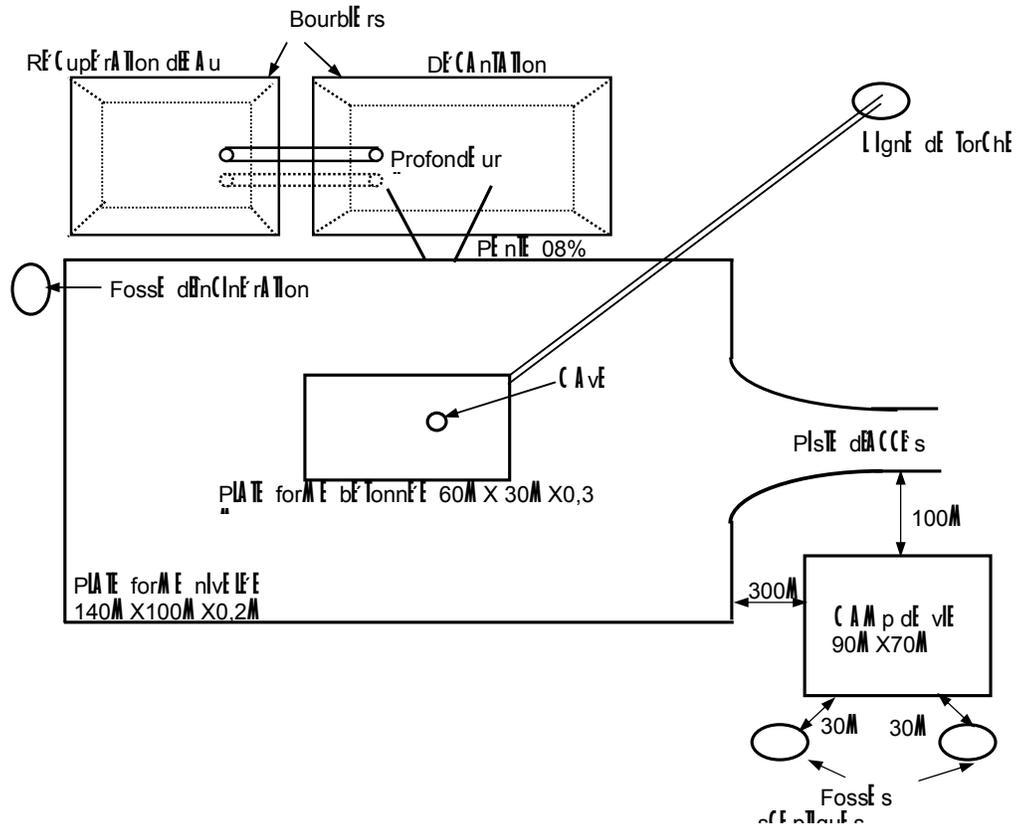


Figure A.II : L'architecture d'un site de forage

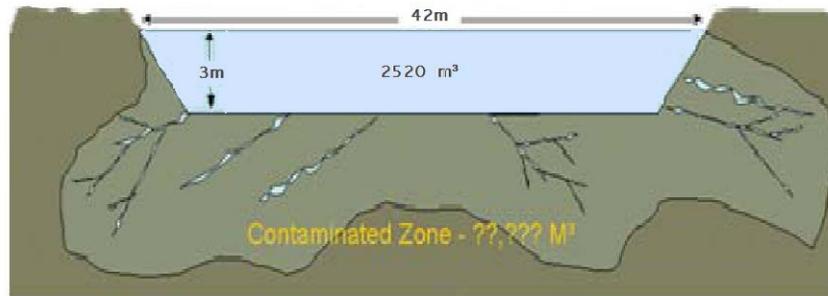


Figure A.III : Conception d'un bourbier

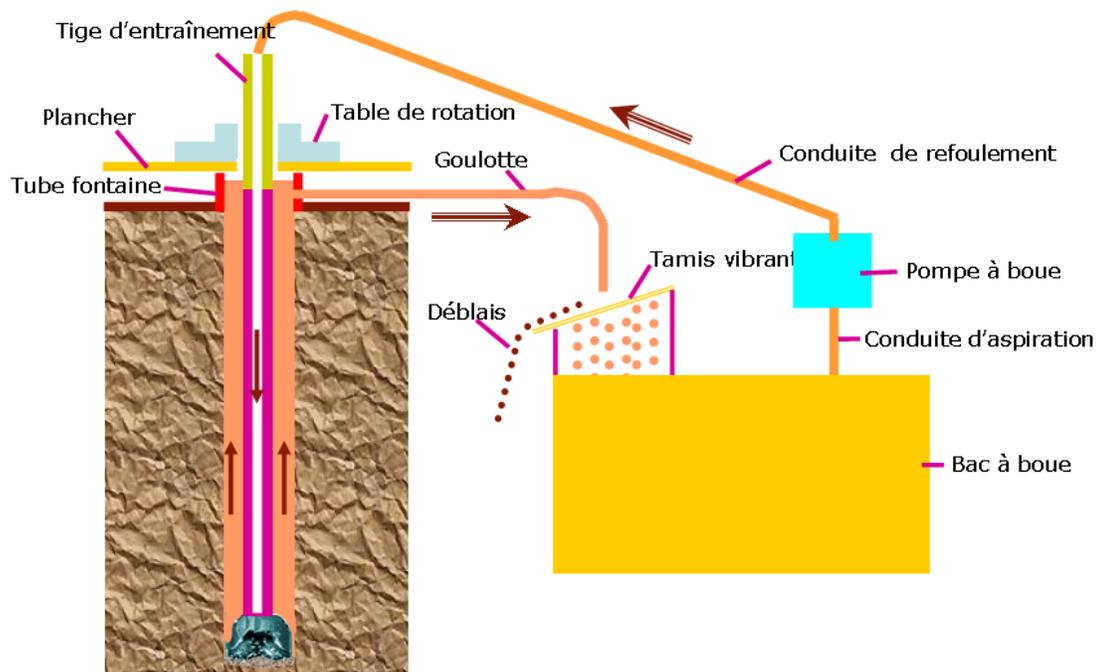


Figure A.IV : Circuit de la boue de forage

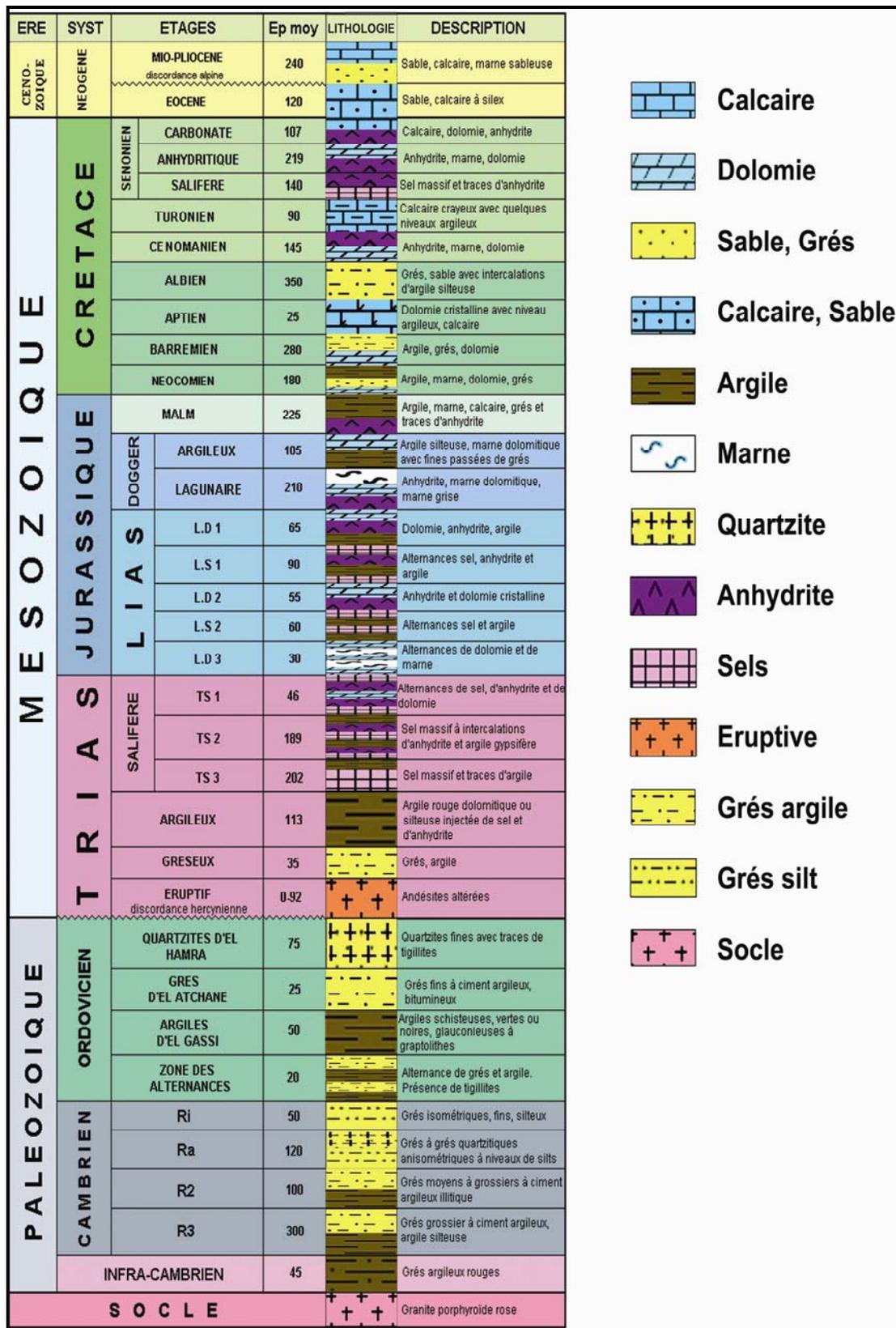


Figure A.V : La colonne stratigraphique du champ de Hassi Messaoud

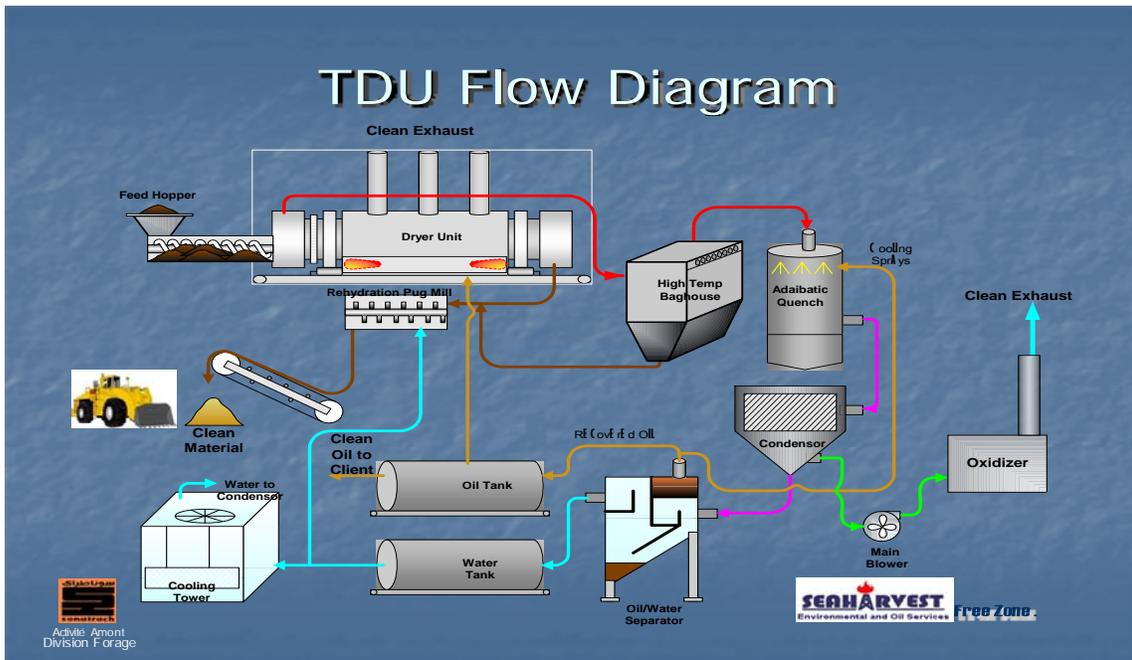


Figure A.VI : Schéma simplifié de l'unité de traitement Thermique

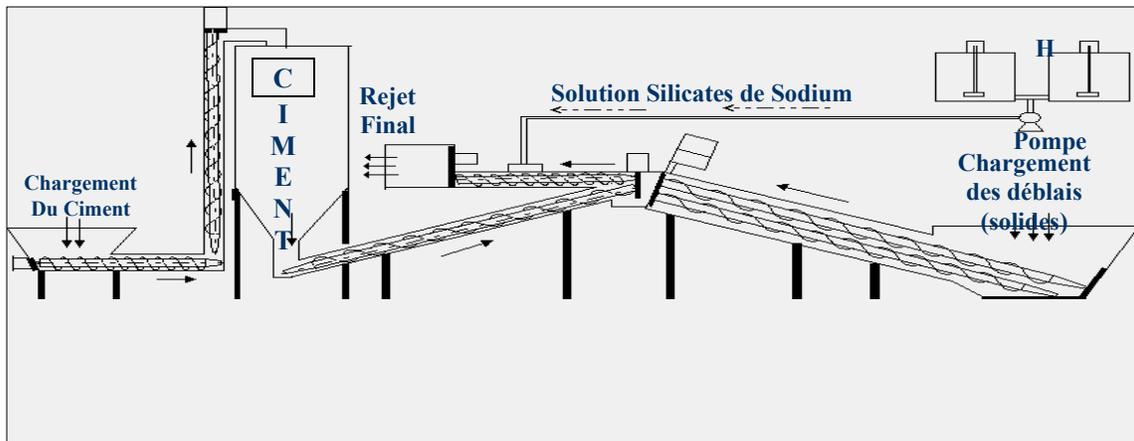


Figure A.VII : Schéma simplifié de l'unité de traitement par solidification stabilisation

éléments	abréviation	Standard européen
Les hydrocarbures totaux	Hc	<5%(massique)
Chrome hexa valent	Cr+6	<10mg/Kg ou 1mg/l
Total chrome	Cr	<100mg/Kg ou 10mg/l
plomb	Pb	<100mg/Kg ou 10mg/l
Zinc	Zn	<500mg/Kg ou 50 mg/l
cadmium	Cd	50mg/Kg ou 5mg/l
cyanure	CN	10mg/Kg ou 1mg/l
nickel	Ni	<100mg/Kg ou 1mg/l
arsenic	As	10mg/Kg ou 1mg/l
mercure	Hg	<10mg/Kg ou 1mg/l

Tableau A.XV : valeurs limites pour la mise en décharge des déblais de forage.

Affinité très faible	Affinité faible	Affinité forte	Affinité très forte
- CH <sub>3</sub>	- CH <sub>2</sub> - O- CH <sub>3</sub> -	- CH <sub>2</sub> OH - COOH	- C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
- CH <sub>2</sub>	- C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> - O- CH <sub>3</sub> -	-CN - CONH <sub>2</sub>	- SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
- CH <sub>2</sub> B <sub>r</sub>	- COOCH <sub>3</sub> -	-CH=N-OH - C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH	-O- SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
- CH <sub>2</sub> Cl		- CH <sub>2</sub> - CO-CH <sub>2</sub>	-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> -
-NO <sub>3</sub>		NHCONH <sub>2</sub>	-O-PO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		- NHCOCH <sub>3</sub>	

Tableau A.XVI : Classement des groupements en fonction de leur Affinité

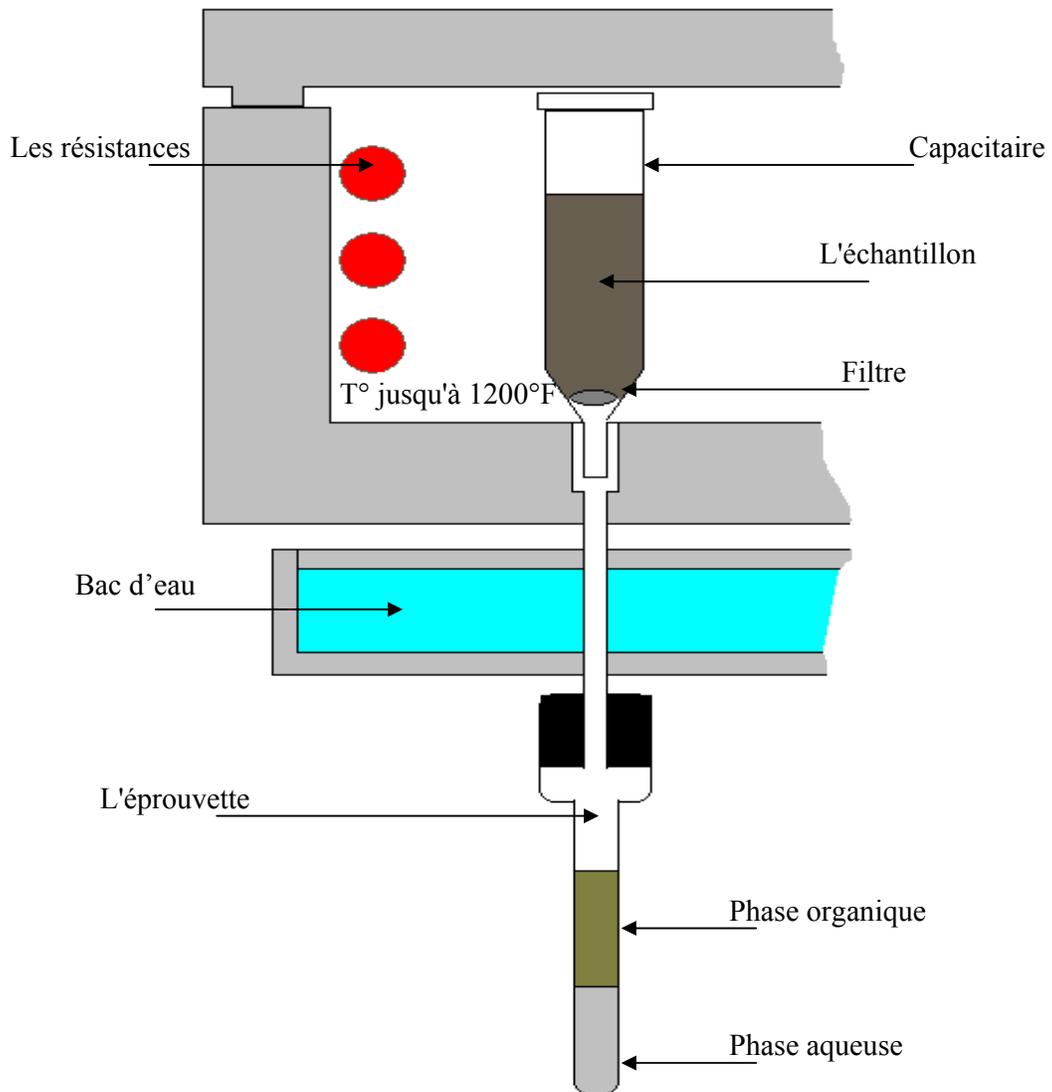


Figure A.VIII : Schéma simplifié du distillateur à retord



Figure A.IX : Agitateur Hamilton Beach



Figure A.X : Balance analytique



Figure A.XI : Agitateur chauffant



Figure A.XII : Distillateur à retord



Figure A.XIII : Capacitaires



Figure A.XIV : Centrifugeuse Heraeus



**Figure A.XV : Conception de borbier de forage**



**Figure A.XVI : Bourbier de forage**



**Figure A.XVII : Pré-traitement online  
par tamisage et centrifugation**



**Figure A.XVIII : Tamis vibrant**

**ملخص:**

هذه الدراسة تهدف إلى استخلاص معلومات إضافية من أجل تحديد تقنية تمكن من تخفيض نسبة الزيوت الملوثة لبقايا عملية الحفر للتنقيب عن البترول و تحديد نسب مختلف العوامل المؤثرة على فعاليتها، و من هذا توفير تقنية بديلة لمعالجة بقايا عملية الحفر للتنقيب عن البترول و التخلص من مكونات سائل الحفر التي تحتوي عليها تقاديا لتلوث المحط المستقبل لها.

التقنية المدروسة تعتمد على غسل بقايا عملية الحفر للتنقيب عن البترول بمحلول يتكون من ماء، مواد خافضة للتوتر السطحي، و مواد إضافية محسنة. إذا نقل الملوثات من المادة الصلبة إلى المادة السائلة من أجل تخفيض نسبة الزيوت و باقي المكونات الملوثة في المادة الصلبة إلى نسبة نظامية. احتواء المادة السائلة على هته الملوثات يوفر عملية أسهل و أفضل مما هي في المادة الصلبة للتخلص منها.

الكلمات المفتاحية : غسل، بقايا عملية الحفر، مواد خافضة للتوتر السطحي.

**Résumé:**

Cette étude vise à apporter des informations complémentaires afin de mettre en place un procédé de traitement capable de réduire la teneur des hydrocarbures des cuttings et d'optimiser les différents paramètres de traitement, du fait une méthode alternative sera disponible pour le traitement des déblais de forage afin éliminer les constituants des boues de forage, et ainsi éviter la contamination du milieu récepteur.

Le procédé envisagé repose sur la méthode de lavage des cuttings avec une solution composée d'eau, de surfactants, et des additifs, soit le transfert de la pollution du milieu solide vers un milieu liquide en vue d'obtenir des cuttings ayant des teneurs en huile conformes aux normes de rejet en vigueur. La présence des huiles dans un milieu liquide présente l'avantage de nous offrir des moyens de traitement plus efficaces et moins encombrants que ceux pratiqués sur les solides.

Mots clé : surfactant, cuttings, déblais de forage, lavage.

**Abstrat:**

This study aims to provide information to develop a treatment process capable of reducing the hydrocarbon content of these cuttings and optimize the processing parameters, so an alternative be available for the treatment of excavated drilling waste to remove the constituents of drilling mud, thus avoiding contamination of the receiving environment.

The process envisaged is based on the method of washing the cuttings with a solution made of water, surfactants, and additives, or the transfer of pollution from solid to a liquid medium to obtain cuttings with a lower content of oil. The presence of oil in a liquid medium has the advantage that we provide means for more efficient and less cumbersome than those in solids.

Keywords: Surfactant, cuttings, the drill cuttings, wash.