

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme Master II en Hydrogéologie

Thème

***TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES DEBLAIS DE
FORAGE ET IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT***

Réalisé par M. LASFRI Said

Soutenu le 22/12//2019 :

Membre du jury :

Président : M .DROUCHE A/M.

Promoteur : M.KARDACHE R.

Examinatrice : M^{elle} YAHIAOUI S.

Invité : M.BOUADJELA M.

MACA (UMMTO)

MCA (UMMTO)

MACA (UMMTO)

Ingénieur ANRH T O

Promotion : 2018/2019

REMERCIEMENT

A Dieu tout le merci.

Ce mémoire, ne pourrait exister sans l'aide et l'engagement d'un certain nombre de personnes qui ont décidé de nous accompagner résolument dans notre parcours. Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leurs encouragements et leur assistance à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression ma profonde gratitude.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon promoteur; Monsieur KARDACHE, pour les efforts qu'il n'a cessé de ménager pour m'aider et m'orienter, jusqu'à la finalisation de ce modeste travail. Je tiens aussi à remercier Chacun des membres du jury pour m'avoir fait l'insigne honneur d'accepter d'examiner mon travail. (MAKHLOUF A. DAROUICHE A/M.

M^{elle} YAHIAOUI S. BOUADJELA M).

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur MEZIZENE Zahir, ingénieur hydrogéologue, j'adresse mes remerciements au personnel du Sonatrach division Forage/exploration 24 février à Hassi-Messaoud pour leur aide indispensable.

Enfin, Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont nous sommes redevables se voient vivement remerciés.

▣ DÉDICACE ▣

Je dédie ce modeste travail et ma sincère gratitude :

*A mon défunt père Mokrane, que dieu ait son âme que je
chérie tellement ;*

A mon adorable et joyeuse mère Baya ;

*A mes frères et mes sœurs bien aimés, au quels sans eux
ma vie n'aura pas de sens pour leurs patiences, Leurs
encouragements et leurs soutiens inconditionnel;*

A toute la famille LASFRI;

A tous mes amis (es) sans exception;

*A mes camarades de classe: Safia, Radia,
Dyhia (R.S.D.S) ;*

A celle qui a cru et croix en moi Siham.

Saïd.

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire porte essentiellement sur l'évaluation des impacts de l'activité de forage dans la région de Hassi Messaoud . Ce mémoire est un essai de solution aux problèmes environnementaux, afin d'éviter la contamination d'écosystème.

Les procédés de traitement des boues et des déblais de forage utilisés sont multiples: Le traitement physique, le traitement thermique, le traitement biologique et le traitement chimique.

Le procédé par traitement mécanique a fait l'objet de cette étude, afin de résoudre les problèmes afférents à l'environnement qui ne cesse de causer des infractions à la réglementation en vigueur. Ce procédé s'avère plus adapté s'il respectera la réglementation Algérienne concernant la gestion des déchets toxiques et dangereux.

L'utilisation des deux méthodes de traitement: désorption thermique et stabilisation/solidification nous a permis une évaluation par rapport à leur efficacité, le taux de traitement, consommation d'énergie, recyclage et récupération, le coût de traitement et les émissions atmosphériques.

Liste des figures

Figure I.1 :	Situation géographique de HMD (sonatrach/exploration)
Figure I.2 :	Carte de situation du puits pétrolier OMK-572 (sonatrach/Division forage)
Figure I.3 :	Coupe litho-stratigraphique de la région Hassi Messaoud (Sonatrach/forage).....
Figure I.4:	Carte des ressources en eau souterraines (CT et CI) (extrait de recueil des communications, 2002).....
Figure I.5 :	Coupe hydrogéologique du SASS (UNESCO, 1972).....
Figure I.6 :	Carte piézométrique de la nappe moi-pliocène du bassin HMD (sonatrach/ forage).
Figure I.7 :	Histogramme des températures moyennes mensuelles (2002-2006).....
Figure I.8 :	Histogramme des vitesses moyennes mensuelles du vent (2002-2006)
Figure I.9 :	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (2002-2006).....
Figure II.1 :	Description simplifiée d'un appareil de forge.....
Figure II.2 :	Système de puissance
Figure II.3 :	Système de levage
Figure II.4 :	Système de circulation.....
FigureII.4 :	Système de rotation
Figure II.5 :	Système d'obturateur.....
Figure IV.1 :	Les cinq principes de la gestion de déblais de forage
FigureIV.2:	Principe de fonctionnement de Verti-G
FigureIV.3:	Installation de fonctionnement de vortex (verti-G).....
FigureIV. 4 :	Schéma simplifié de l'unité de la centrifugeuse.....
FigureIV.5:	Bourbier wetpit.....
FigureIV.6 :	Bourbierdraypit

Liste des figures

FigureIV .7 : Phénomène d'encapsulation	
FigureIV.8 : Schéma simplifié de l'unité de traitement par solidification stabilisation	
FigureIV.9 : Schéma simplifié de l'unité de traitement par désorption thermique.....	
Figure V.1 : Photo Montage de la cellule avec le godet	
FigureV.2: Spectrophotomètre d'adsorption atomique	
FigureV.3 : Bourbieravant traitement	
FigureV.4: Bourbier aprèstraitemnt.	
FigureV.5 : Histogramme des résultats d'analyse sur OOC% (bourbier 1 et 2)	
FigureV.6 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bourbier 1).....	
FigureV.7 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bourbier 2)	
FigureV.8 : Bourbieravanttraitement	
FigureV.9 : Bourbier aprèstraitemnt.	
FigureV.10 : Rejet traité par la désorption thermique.....	
FigureV.11 : Histogramme des résultats d'analyse sur OOC% (bourbier 1 et 2).....	
FigureV.12 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bourbier 1)	
FigureV.13 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bourbier 2)	
FigureV.14 : Unité de traitement TCC.....	

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Données du forage	
Tableau I.2 : Coordonnées d'implantation	
Tableau I.3 : Températures moyennes mensuelles, interannuelles Période (2002-2006) Station de Hassi Messaoud.....	
Tableau I.4 : Les vitesses du vent moyennes mensuelles, interannuelles Période (2001-2006) Station de Hassi Messaoud.....	
Tableau I.5 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm), interannuelles Période (2002- 2006) Station de Hassi Messaoud	
Tableau II.1 : Valeurs limites pour la mise en décharge des déblais de forage selon le standard européen.....	
Tableau IV.1: Chaîne de traitement mécanique	
Tableau IV.2 : Réactifs utilisés dans le traitement de solidification	
Tableau V.1: Résultats d'analyses des 2 échantillons de bourbiers avant et après le traitement stabilisation/solidification	
Tableau V.2 : Résultats d'analyses des 2 échantillons de bourbiers avant et après le traitement désorption thermique.....	
Tableau V.3 : Comparaison de performance entre s /s et désorption thermique	
Tableau V.4 : Paramètres de TCC	

Introduction générale.....	
-----------------------------------	--

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

I.1 Situation géographique de la zone d'étude	
I. 2 Situation géologique de la zone d'étude	
I.3 Généralités sur le forage étudié.....	
I.3.1 Situation géologique du forage	
I.3.2 Repères de forage OMK-572	
I.4 Aperçu géomorphologique.....	
I.4.1 Situation géomorphologique et climat	
I.4.2 Réseau Hydrographique.....	
I.4.3 Géologie de la région de Hassi-Messaoud.....	
I.4.3.1 Introduction.....	
I.4.3.2 Aperçu structural de la région d'étude	
I.5 Hydrogéologie.....	
I.5.1 Introduction	
I.5.2 Définition des ressources en eau du Sahara septentrional	
I.5.3 Relations hydrogéologiques entre les différentes nappes	
I.6 Climatologie	
I.6.1 Introduction.....	
I.6.2 Les températures de l'air	
I.6.3 Le vent	

Sommaire

I.6.4 Les Précipitations	
I.6.5 Conclusion	

Chapitre II : Foration

II.1 Introduction	
II.2 Histoire de Forage rotary	
II.3 Définition de forage pétrolier	
II.4 Principe de forage rotary.....	
II.5 Description d'un appareil de forage	
II.6 Présentation des différents systèmes de l'appareil de forage	
II.6.1 Système de puissance	
II.6.2 Système de Levage	
II.6.3 Système de circulation.....	
II.6.4 Système de rotation	
II.6.5 Système obturateurs.....	
II.7 Usages d'eau et de gasoil pendant les activités de forage	
II.8 Définition de la boue de forage	
II.9 Le fonctionnement de la boue de forage	
II.10 Type des boues de forage	
II.10.1 La boue à base d'eau	
II.10.2 La boue à base d'huile.....	
II.11 Choix de la boue	

Sommaire

II.12 Caractéristiques des fluides de forage	
II.13 Déroulement du forage	
II.13.1 Procédures générales, sécurité et environnement	
II.13.2 Programme de forage.....	
II.13.3 Phase 16" X 13 3/8"	
II.14 Le borbier	
II.14.1 Définition.....	
II.14.2 Sources des borbiers	
II.14.3 Déblais de forage	
II.14.4 Caractérisation des déblais	
II.15 La législation et les déblais.....	
II.16 Conclusion.....	

Chapitre III : Impact

III.1 Introduction	
III.2 Impacts des boues sur l'environnement	
III.2.1 Pollution engendrées par les boues	
III.3 Pollution due au forage	
III.3.1 En surface	
III.3.2 Dans le sous-sol	
III.4 Les métaux lourds	
III.5 Infiltration des hydrocarbures	
III.5.1 Infiltration des hydrocarbures selon la répartition géographique	

Sommaire

III.5.2 Infiltration des hydrocarbures selon la répartition dans le temps	
III.6 Mécanismes de transport et d'atténuation du polluant en milieu souterrain	
III.6.1 Mécanismes de transport et d'accumulation	
III.6.2 Les mécanismes d'atténuation	
III.7 Concept de vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines	
III.8 CONCLUSION.....	

Chapitre IV : Méthodes utilisées dans le traitement des déblais de forage

IV.1 Introduction	
IV.2 Méthodologie de travail	
IV.3 Principes de traitement des rejets(bourbiers)	
IV.4 Procédé ON-LINE (traitement mécanique durant le forage)	
IV.4.1 Le tamisage	
IV.4.2 La centrifugeuse verticale (VERTI-G)	
IV.4.3 La centrifugeuse horizontale	
IV.4.4 La décharge dans les bourbiers	
IV.4.5 Quelques bénéfices du traitement online	
IV.5 Traitement Offline (à la fin du forage).....	
III.5.1 Procédé de traitement par Stabilisation / Solidification :	
III.5.2 Descriptions du processus d'opérations	
IV.6 Le procédé par Traitement thermique (thermal phase séparation TPS).....	
IV.6.1 Traitement thermique	
IV.6.2 L'incinération	

Sommaire

IV.6.3 Désorption thermique.....	
IV.7 Conclusion.....	

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1 Introduction	
V.2 Procédure de mesure du La teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%))	
V.3 Procédure de mesure les métaux lourds	
V.3.1 Principe de fonctionnement	
V.3.2 Appareillage	
V.3.3 Mode opératoire	
V.4 Contrôle de conformité des deux traitements « stabilisation/solidification, désorption thermique»	
V.4.1 Contrôle de conformité du traitement par stabilisation/solidification.....	
V.4.2 Contrôle de conformité du traitement par désorption thermique.....	
V.5 Interprétation des résultats d'analyse	
V.6 Comparaison de performance entre les deux traitements stabilisation/solidification et désorption thermique.....	
V.7 Les impacts relevés non traités et les mesures proposés pour le traitement.....	
V.7.1 Impacts relevés non traités	
V.7.2 Techniques ou méthodes proposées	
V.8 Concussion.....	
Conclusion générale	
Références bibliographiques	

Introduction générale

Introduction générale

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

L'industrie pétrolière de la région de Hassi Messaoud est très développée ce qui produit des déchets industriels avec des éléments néfastes. Les opérations de forage des puits pétroliers génèrent des quantités importantes des déblais (fragments fins de roche de la formation de différentes natures). Ces déblais sont contaminés par du gasoil ainsi que par des métaux provenant de la boue de forage.

La pollution par les déblais 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 d'eaux souterraines.

Ces déchets sont inadaptés au stockage selon la législation Algérienne et nécessitant au préalable un traitement pour réduire leur teneur en hydrocarbures (Gasoil) et les métaux lourds afin de les rendre conformes aux normes des déchets spéciaux.

Ce travail consiste à protéger l'environnement contre l'influence des éléments toxiques. Ce mémoire est organisé en cinq chapitres, dans le premier chapitre nous présentons une synthèse bibliographique sur la zone d'étude et les caractéristiques géologiques et géographiques de cette région. Dans le deuxième chapitre nous présentons un catalogue théorique concernant le forage pétrolier, les fluides de forage et les bourbiers. Le chapitre trois présente l'impact de ces déchets sur l'environnement, le quatrième présente la méthodologie de travail et tous les moyens et les appareils utilisés pour le traitement des déblais et les équipements de laboratoire pour faire les analyses de l'évaluation de l'efficacité de ces techniques de traitements et le cinquième résultat et discussions.

Chapitre I

Généralités sur la zone d'étude

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

I.1_Situation géographique de la zone d'étude

Le champ de Hassi Messouad est considéré comme l'un des plus grands gisements dans le monde. Il fait partie d'un ensemble de structures formant la partie Nord de la province Triasique, se situe à environ 850 km au Sud-est d'Alger et à 350 km de la frontière tunisienne et à 80 km au Sud-est du chef-lieu de la wilaya de Ouargla. L'altitude moyenne de la région est de 128 m par rapport au niveau de la mer.

- **En coordonnées Lambert**

X : 790. 000-840. 000 Est

Y: 110. 000-150.000 Nord

- **En coordonnées géographiques**

Au Nord, par la latitude 3215.

Au Sud, par la latitude 3130.

A l'Ouest 'par la longitude 540.

A l'Est, par la longitude 635.

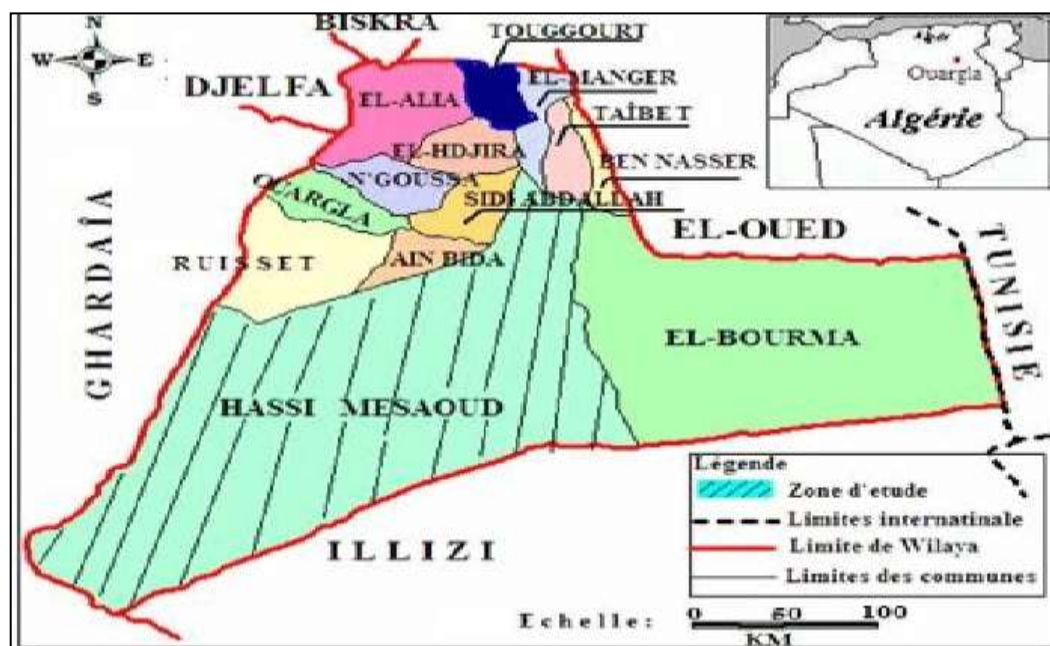


Figure I.1 : Situation géographique de HMD (Sonatrach/Exploration).

I. 2 Situation géologique de la zone d'étude

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

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

Le Môle de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléo tectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod de plus de 800 Km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale.[2]

Géologiquement, il est limité :

- À l'Ouest par la dépression d'Oued Mya ;
- Au Sud par le môle d'Amguid El Biod ;
- Au Nord par la structure Djammâa-Touggourt ;
- À l'Est par les hauts-fonds de Dahar, Rhoude El Baguel et la dépression de Ghadamès.

I.3 Généralités sur le forage étudié

I.3.1 Situation géologique du forage

Le sondage pétrolier OMK-572 est un puits de développement localisé au Nord du bassin d'Amguid Messaoud, situé entre les deux forages pétroliers OMG-601 et OMK-573. L'objectif principal de ce puits est d'exploiter le réservoir Cambrien (80 m d'épaisseur), la profondeur finale de ce forage est de 3455 m, et se trouve sur le territoire de la wilaya de Ouargla. [1]

Tableau I.1 : Données du forage

Nom du puits	OMK-572
Chantier	F21
Bassin	Amguid Messaoud
Classification	Forage développement
Bloc	439
Wilaya	Ouargla

Tableau I.2 : Coordonnées d'implantation

Coordonnées		
Géographiques	UTM zone (31)	
E 06°02' 22.47"		X = 787506.024
N 31°53' 35.26"		Y = 3532352.022
Z=162.7 m		

Début de a réalisation de forage : 09/02/2019

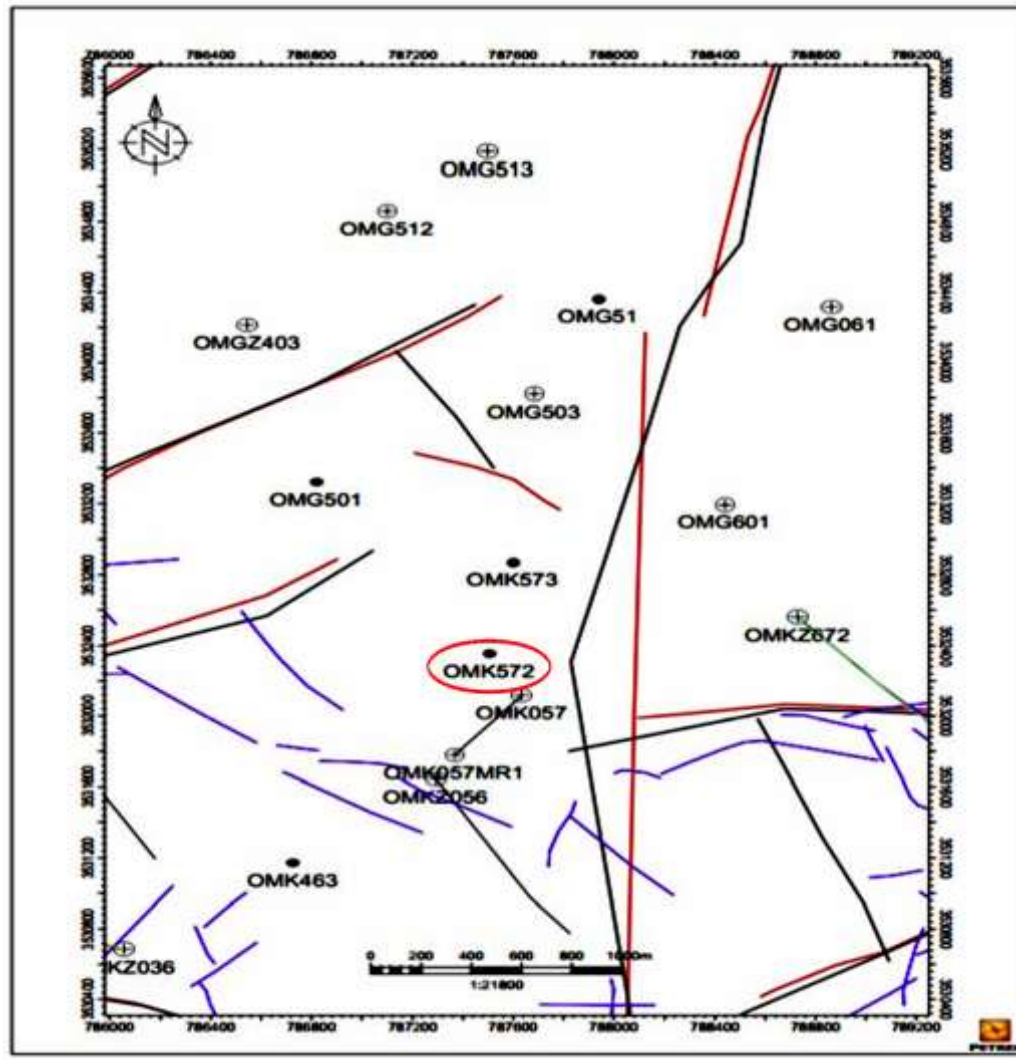


Figure I.2 : Carte de situation du puits pétrolier OMK-572 (Sonatrach / Division forage).

I.3.2 Repères du forage OMK-572

Le forage pétrolier est situé à :

- 0,5 km au Sud du puits pétrolier OMK-573
- 1,2 km au Sud Est du puits pétrolier OMK-601
- 6,2 km à l'Est du puits d'eau OMKZ-56

I.4 Aperçu géomorphologique

I.4.1 Situation géomorphologique et climat

La région de Hassi Messaoud fait partie du bas Sahara qui se présente comme un vaste bassin sédimentaire subsident. Le champ de Hassi Messaoud couvre une superficie de 2000 Km² avec une altitude moyenne de 128 m, et une géomorphologie plus au moins plaine dominée par des massifs dunaires.[2]

Le climat est désertique, l'aridité est due au manque de précipitation, le régime thermique très contrasté et des vents de sable peuvent atteindre une vitesse de 100 Km/h en Automne et au Printemps.

La région de Hassi-Messaoud présente trois zones :

- Les zones basses :

Elles sont caractérisées par une topographie peu marquée par des dépôts alluvionnaires.

- Les zones de chotts :

Ce sont les régions les plus basses en dépression, dont les altitudes se situent entre -10 et +10 mètres.

- Les zones des dunes de sable :

Ces zones sont les plus élevées de la région, leur hauteur est supérieure à 150 m.

I.4.2 Réseau Hydrographique

Du fait de l'aridité du climat, le réseau hydrographique saharien s'est dégradé au fil du temps depuis le Quaternaire récent. Dans notre secteur d'étude, il a complètement disparu.

I.4.3 Géologie de la région de Hassi-Messaoud

I.4.3.1 Introduction

La région de Hassi-Messaoud fait partie du bas Sahara, elle est caractérisée par un remplissage sédimentaire plus ou moins circulaire ayant un diamètre de 600 Km. Elle est considérée comme un grand anticlinal séparant le bassin de Berkine à l'Est de celui d'Oued Mya à l'Ouest.

I.4.3.2 Aperçu structural de la région d'étude

Le champ de Hassi-Messaoud est considéré comme un grand dôme compartimenté en blocs (Horsts et Grabens) affecté par un réseau de failles de directions Subméridiennes SW-NE et NW-SE, héritées des événements anté-hercyniens dont l'origine est le socle.

Le dôme de Hassi-Messaoud a favorisé l'érosion d'un dépôt d'âge Paléozoïque où les termes Mésozoïques reposent directement sur les formations cambriennes.

On note qu'aucune influence tectonique n'affecte les formations du Tertiaire, les seules influences connues dans le complexe terminal, concernent les formations du Mésozoïque.

I.4.3.2.1 Caractéristique sismiques

La région de Hassi Messouad est une zone de moyenne sismicité. depuis des siècles, la région a fait preuve de stabilité tellurique, aucune secousse de grande intensité n'a été enregistrée

I.4.3.2.2 Stratigraphie

La colonne litho-stratigraphie de Hassi-Messaoud est occupée essentiellement par des dépôts Mésozoïques reposant en discordance majeure sur le paléozoïque (discordance hercynienne). Enfin des dépôts Tertiaires reposent en discontinuité sur le Mésozoïque.

La discordance Hercynienne est particulièrement située au centre de la structure et les premiers dépôts argilo-gréseux du Trias reposent directement sur le Cambrien qui est limité à sa base par la discordance panafricaine.

1. Socle

De constitution granitique il a été rencontré à une profondeur supérieure à 4000 m (en moyenne).

2. Infra-Cambrien

Au Nord de la structure, les formations sont représentées par des grès argileux rouges.

3. Cambrien

Essentiellement constitué de grès hétérogènes fins à moyens, entrecoupés de passées de silt stones argilo-calcaires.

On y distingue trois termes "Ri, Ra, R2, R3" présentant les uns par rapport aux autres des différences pétrographiques fondamentales.

Ils sont connus sous la dénomination de grès de Hassi-Messaoud. Ou grès de Hassi leila

R3 : Le cambrien débute par une série de comblement formée de grès fins mal classées, avec présence d'argile

R2 : Constitué de grès blanc fin avec présence d'argile.

Ri : (zone isométrique), représenté par des grès moyens bien classés siliceux, et d'argiles, la granulométrie est régulière. Le Ri est essentiellement connu sur les flancs de la structure.

4. Ordovicien

Il comprend la zone des alternances et les argiles d'El-Gassi :

- **La zone des alternances :**

Elle est désignée ainsi en raison de la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternant avec des bancs de quartzites fins isométriques.

- **Argiles d'El-Gassi**

Argiles grises à gris-foncées.

5. Trias

Il repose en discordance sur le cambrien au centre et sur l'ordovicien sur les flancs de la structure. Il comprend deux ensembles distincts :

A la base : Une série argilo-gréseuse, avec parfois des intercalations andésitiques dans lesquelles sont inter stratifiés des bancs de grès cambriens remaniés.

Au sommet : Une série lagunaire essentiellement salifère.

6. Jurassique

Alternance de faciès marins et lagunaires au cours du lias, Dogger et Malm, il se termine par un épisode argilo- salifère.

7. Crétacé

Argileux gréseux à la base, il devient lagunaire et carbonaté au sommet, il est composé de :

- Néocomien

D'épaisseur moyenne de 160 m, il est représenté par des argiles gris-verdâtres avec des passées de grès blancs fins.

- Barrémien :

D'épaisseur moyenne de 280 m, il est représenté par des grès brun-rouges et sables blancs à translucide avec passées d'argiles

- Aptien :

D'épaisseur moyenne de 30 m, il est représenté par des dolomies cristallines.

- Albien :

D'épaisseur moyenne de 350 m, il est constitué de sable blanc à translucide, fin à moyen, avec des niveaux de grès blanc fin argileux.

- Céomanien :

D'épaisseur moyenne de 150 m constitué d'argile grise avec tracés de calcaire gris.

- Turonien :

D'épaisseur moyenne de 90m, il est Constitué de calcaire dolomitique avec présences d'argile grise carbonatée

- Sénonien :

Il est composé de :

- Sénonien Salifère : d'épaisseur moyenne de 130 m, sel blanc à translucide avec passées d'argile brun- rouge.
- Sénonien Anhydritique : d'épaisseur moyenne de 220 m, anhydrite calcaire et dolomie.
- Sénonien carbonaté: d'une épaisseur moyenne de 100 m, constitué de calcaire gris argileux avec présence d'argile brune.

8. Le Paléogène

L'Eocène :

D'épaisseur moyenne de 120 m, constitué de calcaire dolomitique et silex.

9. Le Néogène :

Miopliocène :

D'épaisseur moyenne de 230 m, constitué de sables blancs à translucide avec passées de calcaire crayeux et argile brun-rouge.

10. Quaternaire

Les dépôts Quaternaire sont formés d'une couche de sable d'épaisseurs variable (0-20m).

Les formations hydrogéologiques dans le cadre de cette étude seront détaillées dans le chapitre hydrogéologie.

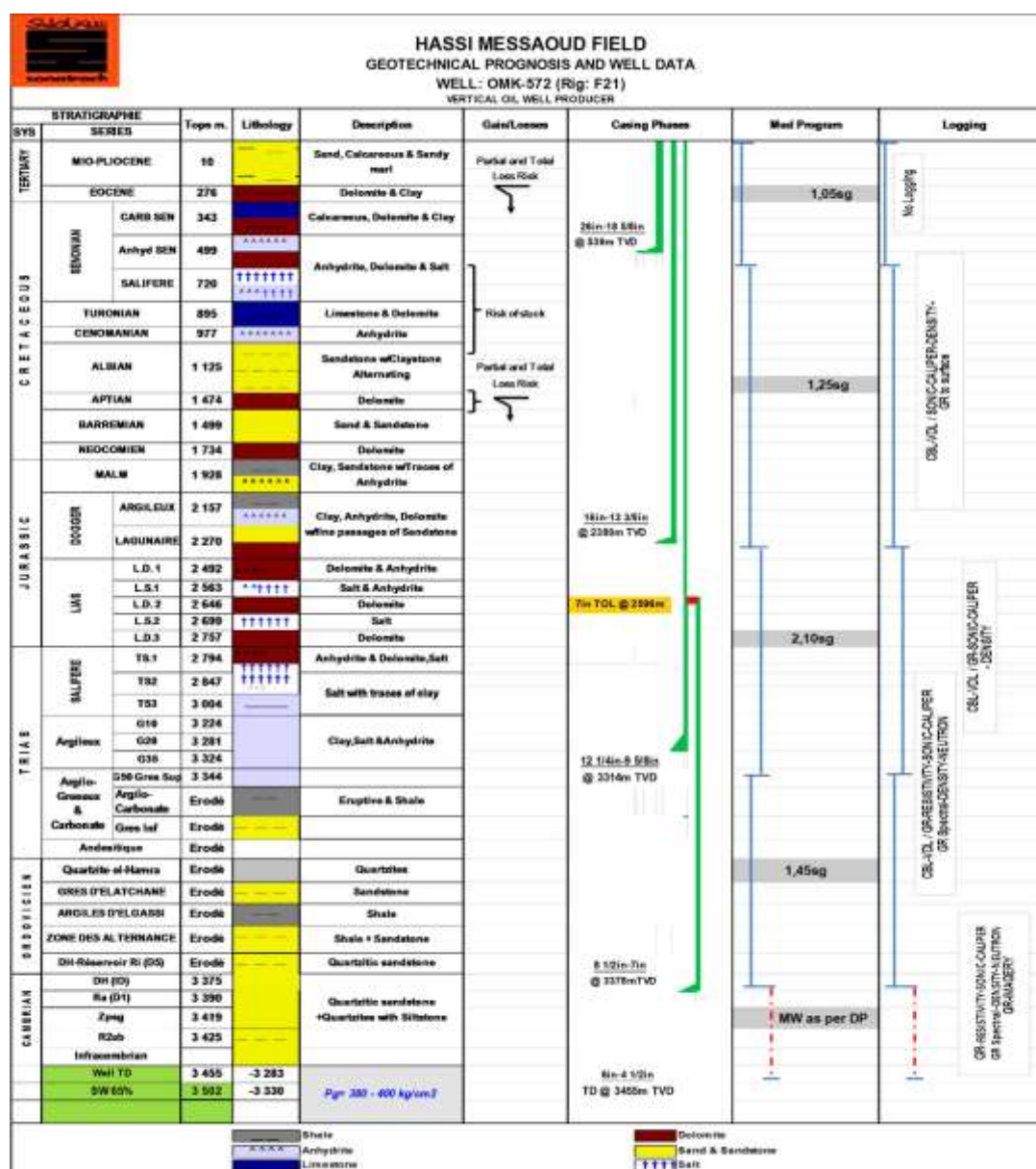


Figure I.3 : Coupe litho-stratigraphique de la région Hassi Messaoud (Sonatrach/forage).

I.5 Hydrogéologie

I.5.1 Introduction

L'eau au Sahara est un facteur primordial pour tout développement d'activité industrielle.

Les ressources en eaux souterraines au Sahara sont essentiellement constituées par :

- Les ressources renouvelables localisées dans les versants Sud des Aurès dans la région Nord de Biskra et du Hoggar-Tassili à l'Est et dans la région de Béchar à l'Ouest.

- Les ressources non renouvelables ou peu renouvelables représentées par les deux grands réservoirs des deux bassins sédimentaires : le *Complexe Terminal*(CT) et le *Continental Intercalaire* (CI).

I.5.2 Définition des ressources en eau du Sahara septentrional

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780.000 km², il est limité : [3]

- Au Nord par la flexure sud atlasique ;
- Au Sud par l'alignement des Hamadas du Tinhert et du Tademaït ;
- A l'Ouest par la chaîne de l'Ougarta – Béchar ;
- Au Nord-Est par les reliefs Crétacés du Dahar, la Dorsale Subméridienne – Idjerane – M'zab, subdivise ce bassin en deux sous-bassins hydrogéologiques :
- Le sous-bassin hydrogéologique occidental.
- Le sous-bassin hydrogéologique oriental, il est occupé en grande partie par le grand Erg-oriental.

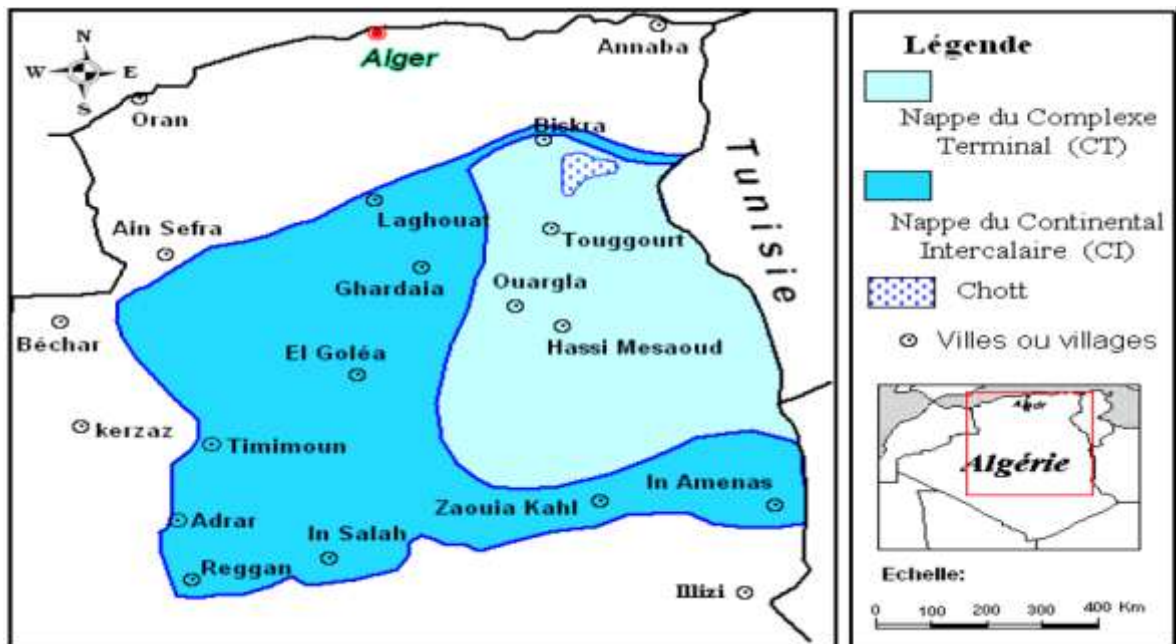


Figure 1.4: Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), (extrait du recueil des communications, 2002).

Les ressources en eau souterraine du Sahara septentrional sont contenues dans deux grands aquifères, qui s'étendent au-delà des frontières Algériennes, qui sont ceux du *Complexe Terminal* (CT) et le *Continental Intercalaire* (CI), (**Figure I.4**).

Ces formations sont constituées par une série de dépôts alternativement marins et continentaux déposées dans un vaste bassin sédimentaire.

Cette série renferme deux grands ensembles séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses soit :

- L'ensemble inférieur (anté-cénomaniens) contient de puissantes séries continentales argilo-gréseuses d'âge essentiellement crétacé inférieur (continental intercalaire).
- L'ensemble supérieur débuté au Sénonien inférieur et contient plusieurs niveaux marins et se termine par une épaisse série continentale sableuse d'âge Mio-pliocène (complexe terminal).

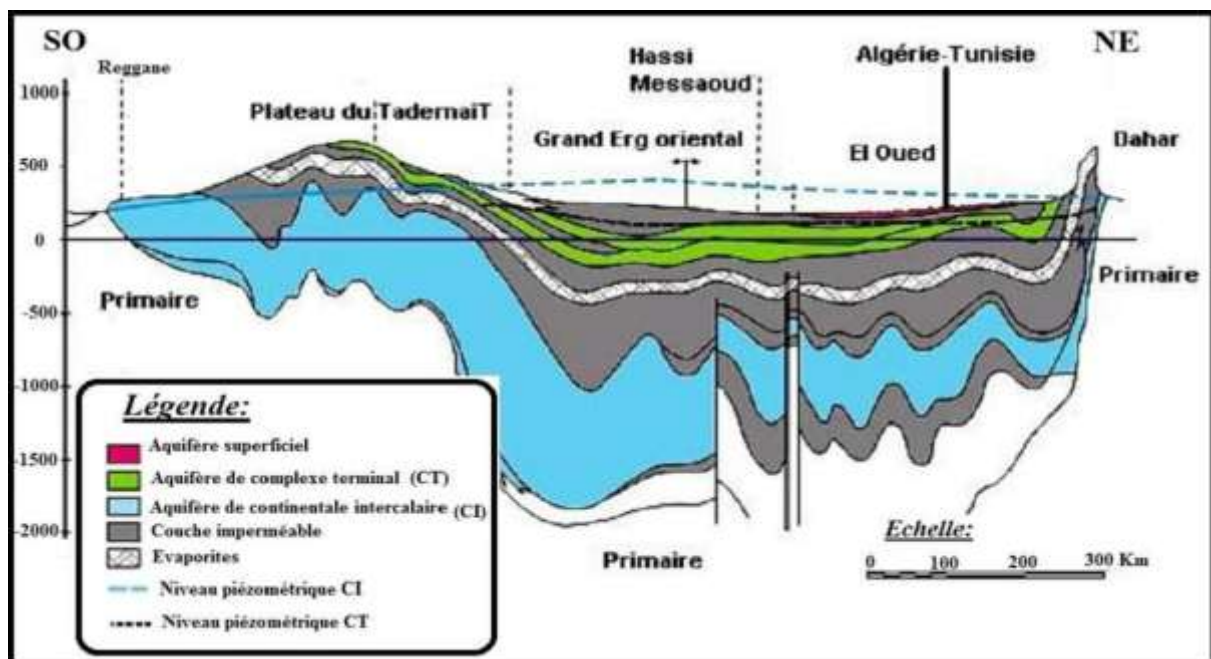


Figure I.5: Coupe hydrogéologique du SASS (UNESCO, 1972).

I.5.2.1 Aquifère du continental intercalaire

Il occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du trias et le sommet de l'Albien.

La nappe du continental intercalaire est un réservoir à eau douce, dont la plus grande partie de la réserve a été constituée pendant les périodes humides du Quaternaire, Les eaux du CI sont caractérisées par :

- Une température qui dépasse les 60° C sauf aux endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol (bassin occidental) et chargées en H₂S et CO₂ qui lui donne un caractère corrosif.
- La minéralisation de l'eau varie entre 1 et 2 g/l de résidu sec et peut atteindre les 7g/l (Gassi-Touil).
- L'alimentation de la nappe, bien que relativement faible, se fait par ruissellement à la périphérie du réservoir, tout en long et à l'extrémité des oueds, qui descendent des monts de l'Atlas saharien, du Dahar Tunisien, du plateau de Tadmait et Tihert et des pluies exceptionnelles sur les grands ergs.
- L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie) et du Sud vers le Nord

Le continental intercalaire dans la région de Hassi-Messaoud

Il est représenté à Hassi-Messaoud par une série détritique essentiellement constituée d'argile plus ou moins sablo-silteuse admettant quelques passées calcaires. Les forages captant l'Albien présentent des pressions en tête qui peuvent atteindre 18 à 20 bars ce qui se traduit par un jaillissement d'eau qui peut dépasser 200 mètres ; à titre d'exemple, l'eau jaillit à 212.2 m au-dessus du sol au forage MDH101. Le niveau piézométrique de la nappe se situe entre les cotes 340 m et 380 m, l'écoulement général se faisant toujours vers le Sud-est. [3]

I.5.2.2 Aquifère du complexe terminal

La nappe du complexe terminal (CT) se localise dans le Sahara septentrional et s'étend sur une superficie de 350.000 km² avec une profondeur qui varie entre 100 et plus de 600 m.

Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères, qui sont appelés nappe des sables et nappe des calcaires.

Le C.T est constitué par des formations d'âge et de lithologie différents, à la base il y a le Sénono-eocène carbonaté et au sommet on trouve le Mio-pliocène sablo-argileux.

La nappe du C.T est en charge sous les formations argileuses du Mio-pliocène dans la partie Nord et libre dans la partie Sud.

L'écoulement général se fait vers les chotts et vers le golf de Gabes.

Les eaux de cet aquifère se caractérisent par une température peu élevée (35°C). Cette eau est moins chargée en sel sur les bordures et relativement élevée au centre (plus de 3g/l).

Le complexe Terminal dans la région de Hassi-Messaoud :

Il regroupe dans la région de Hassi-Messaoud trois (03) formations aquifères :

- La nappe de Mio-pliocène
- La nappe du Sénono-Eocène carbonaté
- La nappe du Turonien.

La nappe du Turonien captive est séparée des deux nappes Sus-jacentes par la formation du Sénonien lagunaire qui constitue un écran imperméable entre-elles. Les deux premières nappes quant à elles, semblent être en continuité hydraulique.

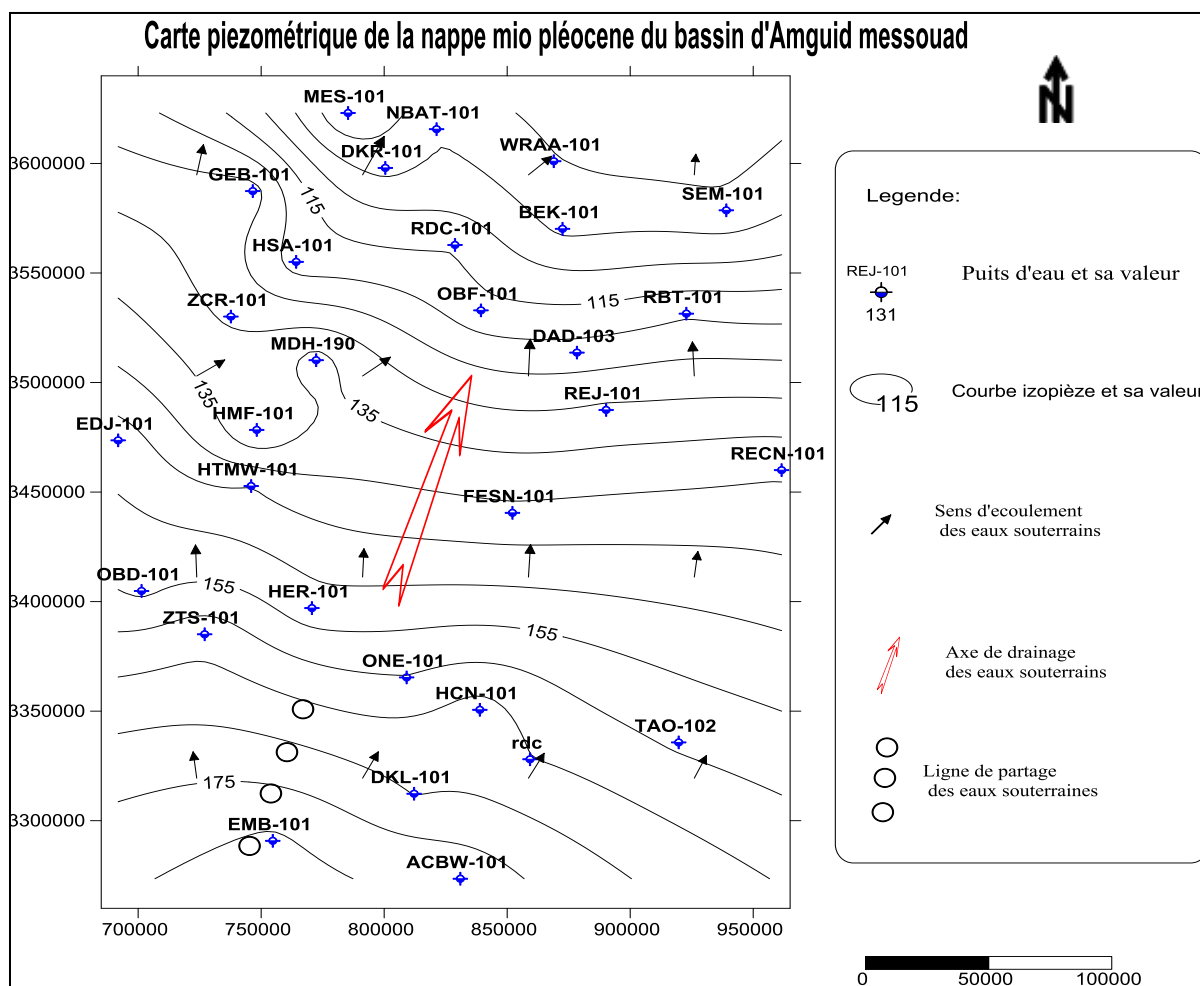


Figure I.6 : Carte piézométrique de la nappe moi-pliocène du bassin HMD (sonatrach/ forage)

L'hydrogéologie de la région d'étude nous a permis de définir un écoulement général des eaux du Sud-ouest vers le Nord Est

Une ligne de partage des eaux souterraines de direction Sud-Nord on passant par le puits EMB-101.

Un axe de drainage des eaux souterraines orienté Sud-Nord au niveau des puits HER-101 ET OBF-101.

I.5.3 Relations hydrogéologiques entre les différentes nappes

I.5.3.1 Relations entre le Sénonien carbonaté et le mio-pliocène

Les sondages réalisés dans les carbonates du sénonien ont mis en évidence une série de calcaire, de grès de 100 m d'épaisseur sous-jacente à la formation Mio-pliocène. Cette série de calcaire présente des zones fissurées déterminées par des pertes de boue, ce qui laisse penser qu'il pourrait exister une communication hydraulique entre ces deux formations.

I.5.3.2 Relations entre l'Albien et les nappes sus et sous-jacente

Cette nappe est limitée dans ses parties inférieures et supérieures par deux horizons imperméables :

Au sommet, le Cénomaniens argileux.

A la base, l'Aptien, constitué de dolomies cristallines.

I.6 Climatologie

I.6.1 Introduction

L'analyse des paramètres climatologiques réalisée pour cette étude est basée sur les données de l'office national de la météorologie (O.N.M) recueillies sur une période allant de 2002 à 2006 de la station la plus proche successivement, seront présentées, sous forme de tableaux et de graphes à savoir la température, le vent, les précipitations et l'évaporation. [4]

I.6.2 Températures de l'air

La température de l'air est un facteur fondamental ayant une grande influence sur le bilan hydrologique du fait qu'il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réelle de toute la région. Le climat de Hassi Messaoud est chaud et sec. L'histogramme des températures moyennes mensuelles (2002-2006) est le résultat du traitement des données météorologiques sur le champ de Hassi Messaoud.

Tableau I.3 : Températures moyennes mensuelles, interannuelles Période (2002-2006) Station de Hassi Messaoud.

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOY
2002	10.4	14.7	18.6	24.5	30	41.5	38.1	45.8	31.1	24	17.4	12.9	27.44
2003	12.6	12.4	17.1	25.3	30.7	39.4	39.1	46.3	30.6	27.6	17.6	11.6	23.78
2004	12.1	12.4	18.7	24.8	27.6	40.5	40.2	46.4	29	27.3	15.7	13.3	23.33
2005	9.6	10.5	19.6	24.6	31.5	39.7	41.5	47.3	30.5	26.1	18.3	11.4	23.72
2006	10.2	11.5	19.9	27.6	31.3	41.6	42	42.5	28.7	25.2	17.5	12.6	23.8
MOY	10.98	12.3	18.78	25.36	30.22	40.54	40.18	45.66	29.98	26.04	17.3	12.36	23.78

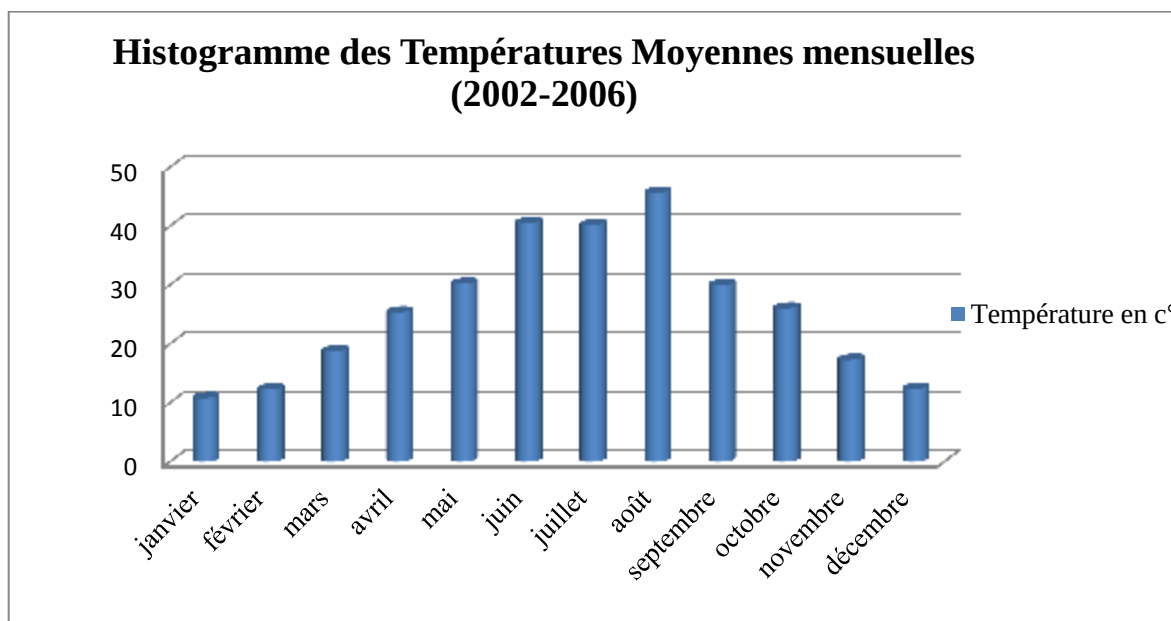


Figure I.7 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (2002-2006).

Les variations mensuelles moyennes de la température montrent deux périodes distinctes :

-Une période chaude qui s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre avec des valeurs variant de 26,04°C à 45,66°C, Le mois le plus chaud est le mois d'Août 45,66°C.

-Une période froide qui s'étend du mois de Novembre au mois d'Avril avec des valeurs variant de 10,98 °C à 19°C, Le mois le plus froid est le mois de janvier.

La température maximale correspond au mois d'Aout avec une température de 45,66°C ;

La température minimale correspond au mois de janvier avec une température de 10,98°C.

I.6.3 Le vent

Le vent est l'un des paramètres les plus caractéristiques du climat, il est déterminé par sa vitesse et sa direction.

Vitesse du vent :

Le graphe des vitesses moyennes mensuelles du vent, est obtenu à partir des données météorologiques sur le champ de Hassi Messaoud.

Tableau I.4 : Vitesses du vent moyennes mensuelles, interannuelles Période (2001-2006)
Station de Hassi Messaoud.

Années	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
2001	2.9	3	3.9	4.2	5.6	3.2	4.2	2.8	4	2.5	2.6	2.4	3.44
2002	1.7	2.2	2.9	4.5	4.5	3	4.3	4.2	3.7	3	3.3	1.8	3.4
2003	3.2	3.6	2.5	3	4.3	3.1	1.8	1.8	2.9	2.8	2.5	3.5	2.91
2004	2	3.4	4.4	3.3	5.6	4.1	2	3.7	3.5	3.3	3.2	3.6	3.5
2005	2.8	4.4	4.8	4.6	3.5	3.2	2.7	3.3	3.5	2.4	1.9	2	3.25
2006	2.1	3.2	3.2	4	4.9	4.7	4.4	4.9	5.3	3.4	2.6	2.6	3.77
Moy	2.45	3.3	3.62	3.93	4.73	3.55	3.23	3.45	3.81	2.9	2.68	2.65	

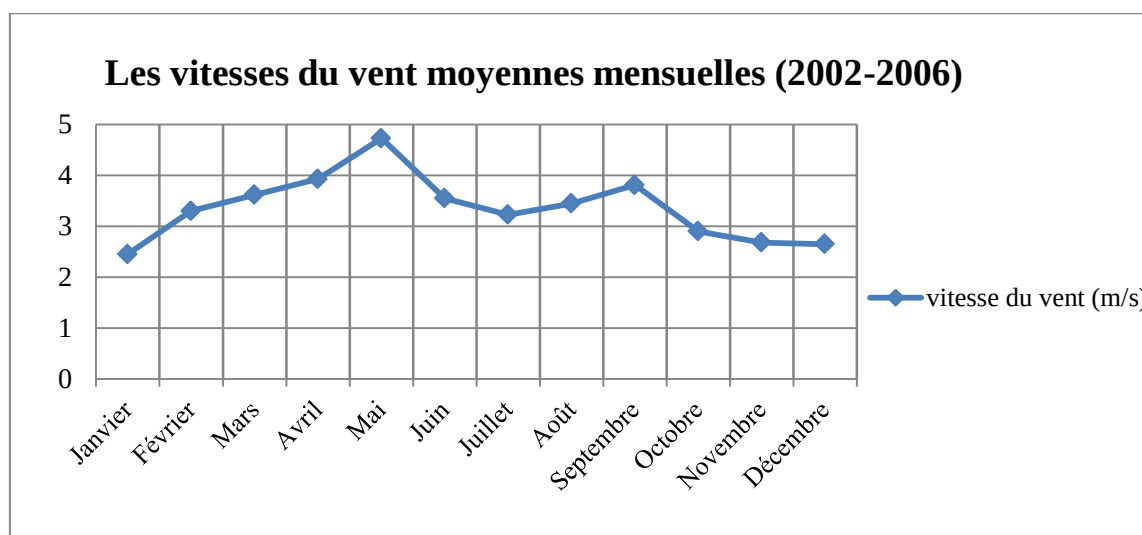


Figure I.8 : Histogramme des vitesses moyennes mensuelles du vent (2002-2006)

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen et maximal montrent :

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent à la station de Hassi Messaoud pour la période (2001-2006) montrent un maximum au mois de Mai (4.73 m/s) et un minimum au mois de janvier (2.45 m/s) et une moyenne annuelle de (3.3 m/s).

I.6.4 Les précipitations

Tableau I.5 : Précipitations moyennes mensuelles, interannuelles (mm), Période (2002-2006) Station de Hassi Messaoud.

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
2002	0.1	0	0	0	3	0	0	1	4	20	2.3	0.1	2.54
2003	18	4.5	3.1	0.9	0	0	0	9.8	0	0.4	2	9.6	4.03
2004	0	2.1	1.6	6.1	0.1	0	0	0.1	0	5	22.3	5.1	3.53
2005	0	2.3	0.1	0.1	0	0	0	0	1.2	0	35.4	1.8	3.41
2006	4.7	0	0	1	0.2	0	0	0.1	2	18.7	0	2.1	2.40
Moy	4.56	1.78	0.96	1.62	0.66	0	0	2.2	1.44	8.82	12.4	3.74	3.18

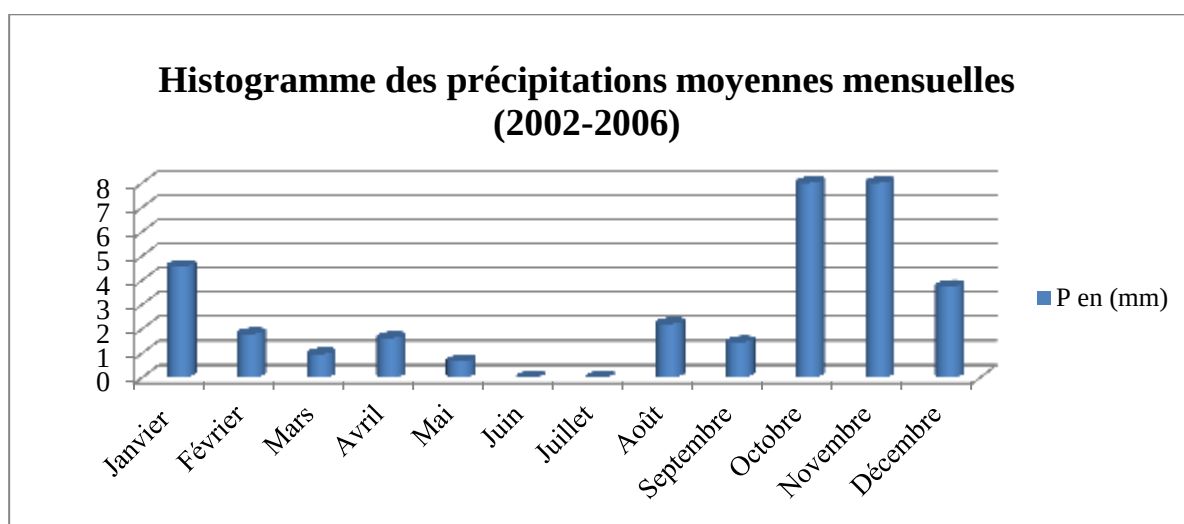


Figure I.9 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (2002-2006)

Une des caractéristiques principales des précipitations à Hassi Messaoud est sa variabilité annuelle. Cette variabilité consiste à la fois en une distribution irrégulière des événements de pluie tout au long de l'année et entre les années. On constate que le mois de Novembre est le plus arrosé avec 12.4 mm, et les mois de Juin et Juillet sont secs avec 00mm.

Dans les aires très arides, le microclimat local est très important puisque l'humidité relative de l'air, le peu d'eau présente à cause de la rosée ou des minces précipitations, constitue la seule base pour la présence végétale et animale, même si les stations météorologiques sont incapables d'enregistrer cette eau en termes de précipitations. Entre ces types non mesurables de précipitation, le brouillard est probablement le plus important (fournissant typiquement moins de 1mm de précipitation).

I.6.5 Conclusion

Notre secteur d'étude fait partie du bassin versant septentrional dont le réseau hydrographique est moins développé avec un climat pratiquement saharien, ce climat désertique possède une aridité remarquable exprimée par des faibles précipitations et des températures élevées dont l'écart entre les minimas et les maximas sont élevés. D'après les données hydroclimatologiques, on distingue que seules les très rares pluies torrentielles peuvent intervenir dans l'alimentation directe des nappes par infiltration (la nappe la plus exposée à la pollution, est celle du Mio-pliocène).

Chapitre II

Formation

Chapitre II : Foration

II.1 Introduction

Un forage est une cavité cylindrique verticale creusée dans la terre ayant un diamètre défini par l'outil de forage. On parle de forage à petit diamètre pour des diamètres allant jusqu'à 250 mm puis de forages à gros diamètres. Le forage est généralement de grande profondeur (plusieurs centaines de mètres).

II.2 Histoire de Forage rotary

Les premiers essais de cette technique semblent avoir été faits sur le champ de Corsicana (Texas) ; elle se développa rapidement à la suite de la découverte, en 1901, du champ de Spindletop près de Beaumont (Texas) où fut employé un appareil de forage rotary.

La méthode consiste à utiliser des trépan à molettes dentées ou des trépan diamantés, sur lesquels on appuie et que l'on fait tourner. L'action combinée du poids et de la rotation permet aux dents des trépan à molettes d'écailler la roche ou aux trépan diamantés de strier et de détruire celle-ci. La rotation du trépan est obtenue en faisant tourner l'ensemble des tiges de forage qui relient le trépan à la surface. [5]

Pour éliminer les déblais de roches détachés du fond par le trépan, on emploie la technique de la circulation des fluides, inventée par Fauvelle en 1845. Elle consiste en l'injection d'une boue (mélange d'eau et d'argile) à l'intérieur des tiges de forage. Celle-ci, passant par les orifices du trépan, remonte dans l'espace annulaire en entraînant les déblais jusqu'à la surface .

II.3 Définition de forage pétrolier

On appelle "forage pétrolier" l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux, L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ceci nous permet de nous faire une idée de la constitution de sous-sol et des possibilités de gisements, sans pour autant préciser la présence d'hydrocarbures. L'opération de forage peut alors confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches. [5]

II.4 Principe de forage rotary

La méthode rotary consiste à utiliser des trépan à dents tricône ou des trépan monoblocs comme les outils à diamant, sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation. L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface la sonde de forage rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions suivantes : Poids sur l'outil, rotation de l'outil, injection d'un fluide.

Ce sont les masses tiges qui vissées au-dessus de l'outil, appuient sur celui-ci ; ces masses tiges prolongées jusqu'en surface par des tiges, constituent la garniture de forage La totalité de la garniture de forage est percée en son centre afin de canaliser le fluide de forage vers l'outil, un joint rotatif étanche "tête d'injection" doit couronner la tige d'entraînement et permettre la liaison entre la conduite de refoulement des pompes de forage et l'intérieure de la garniture Un appareil de forage est nécessaire pour soutenir le poids de la garniture et manœuvrer celle-ci : c'est le rôle du derrick, du crochet de forage et du treuil.[5] **modifié**

II.5 Description d'un appareil de forage

L'appareil de forage, ou plus globalement le chantier de forage est constitué d'un ensemble d'équipements, des techniques opératoires et un personnel très qualifié. La figure (II.1) montre les différents organes constituant un appareil de forage standard.

L'ensemble de l'appareil qui sert au forage est constitué des éléments suivants :

- Une tour appelée « derrick » qui sert à supporter et manœuvrer le « train de tiges » par l'intermédiaire d'un câble passant dans des poulies fixes et dans des poulies mobiles (moufle).
- Une table de rotation qui permet le mouvement de rotation de l'outil, fixé à l'ensemble du train de tiges.
- Un treuil qui permet l'enroulement du câble auquel est fixé le train de tiges.
- Des bacs à boue de forage permettant de préparer cette boue en vue de son injection

dans le puits de forage et de la recueillir à sa sortie.

- Des pompes à boue permettant son pompage sous pression.
- Un ensemble de moteurs diesel qui délivrent l'énergie nécessaire à toutes les machines.

On classe généralement les appareils de forage rotary en quatre catégories qui sont définies par les profondeurs limites qu'ils peuvent atteindre avec des tiges 4 1/2". On distingue :

-  Les appareils légers : pour les profondeurs inférieures à 1200 m. ces appareils sont le plus souvent portables ou semi-portables.
-  Les appareils moyens : pour les profondeurs comprises entre 1200 et 2500 m.
-  Les appareils lourds : pour les profondeurs comprises entre 2500 et 4000 m.
-  Les appareils ultras- lourds : pour les profondeurs supérieures à 4000 m.

Ces performances de profondeur se traduisent par un poids et une puissance qui caractérisent le critère de choix d'un appareil de forage. [6]

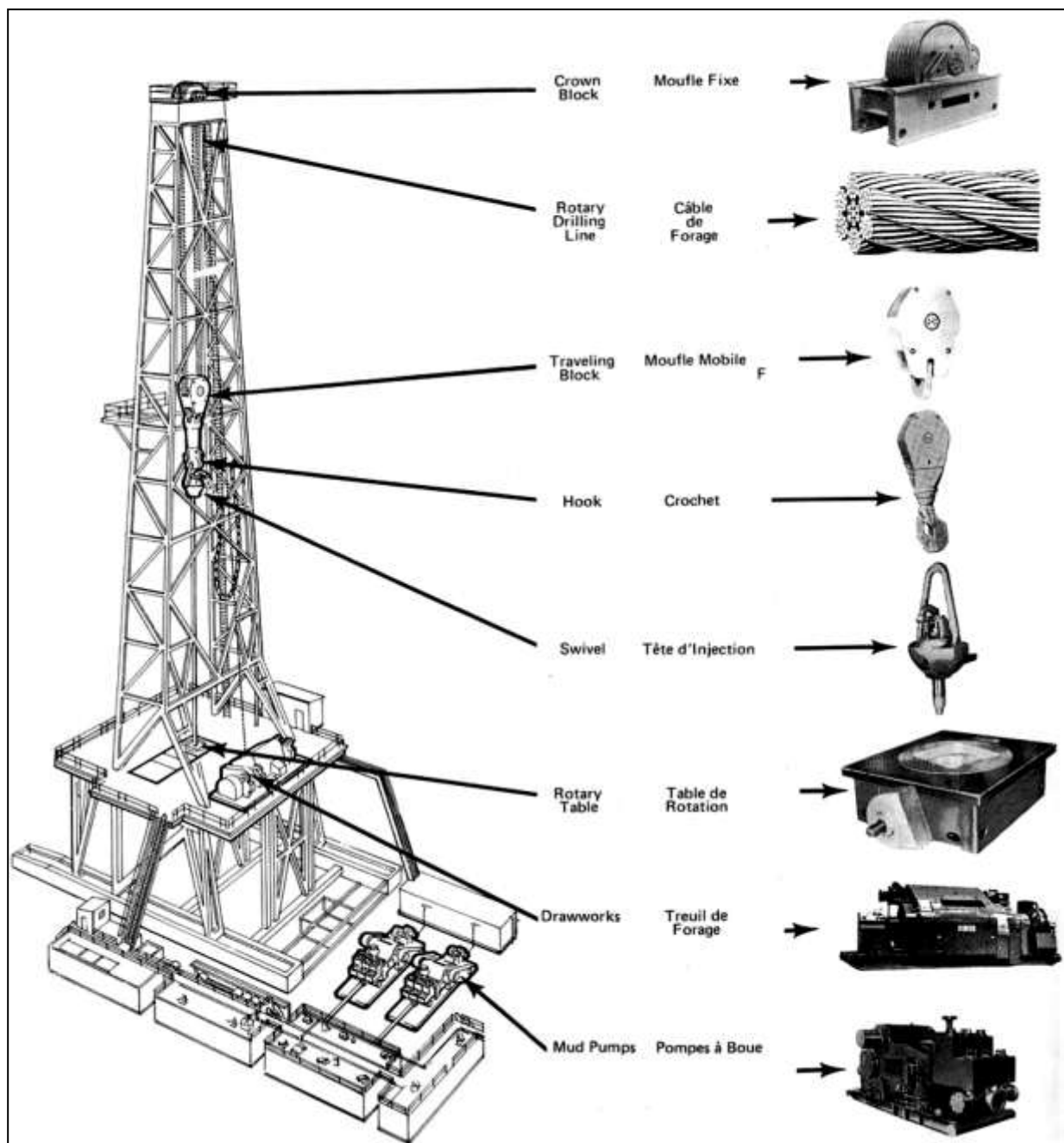


Figure II.1 : Description simplifiée d'un appareil de forage. [5]

II.6 Présentation des différents systèmes de l'appareil de forage

L'appareil de forage est composé de cinq systèmes :

- ✓ Système de puissance
- ✓ Système de levage

- ✓ Système de rotation
- ✓ Système de circulation
- ✓ Système obturateurs.

II.6.1 Système de puissance

Pour le fonctionnement de différents composants, une source d'énergie est indispensable. Elle est produite par le système de puissance.

- La puissance électrique est générée par des moteurs.
- Cette puissance est transformée en courant électrique par des générateurs de courant.
- Le courant généré est distribué sur les différentes parties de la sonde par des centres appelés SCR.



Figure II.2 : Système de puissance.

II.6.2 Système de Levage

Cette fonction comprend essentiellement les éléments suivants

Le mât de forage (Derrick)

Système de mouflage (Le moufle fixe, Le moufle mobile, Le câble de forage)

Le treuil de forage et Le Matériel de Manœuvre

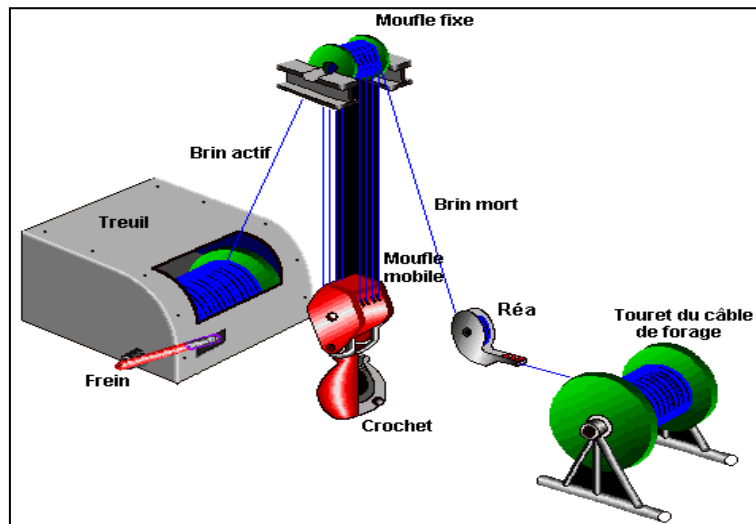


Figure II.3 : Système de levage.

II.6.3 Système de circulation

La circulation de la boue de forage est assurée à l'aide d'un ensemble comprenant essentiellement des :

- Bacs à boue
- Pompes de forage

Afin d'assurer la circulation de la boue, les installations de forage sont équipées d'un système de circulation qui est destiné à amener le liquide de forage sous pression à partir des pompes vers la tête d'injection se déplaçant de haut en bas et vice versa, à renvoyer le liquide de tête de puits dans les réservoirs de recueil des pompes, à éliminer les déblais du liquide et à préparer un nouveau liquide de forage.

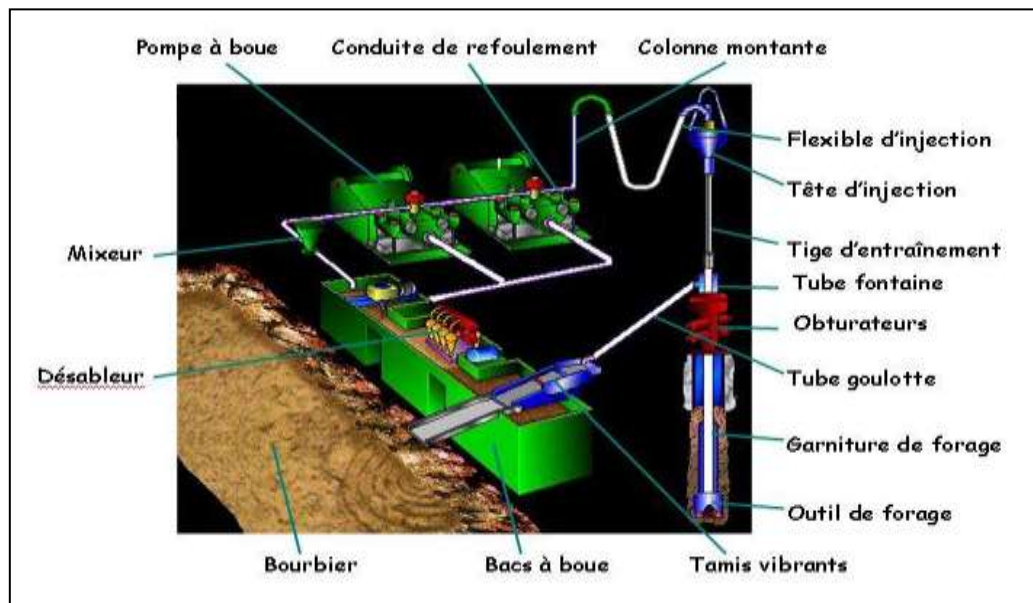


Figure II.4 : Système de circulation.

II.6.4 Système de rotation

La fonction rotation est assurée par la table de rotation (ou le système top drive) qui fait tourner la tige d'entraînement et le train de sonde par l'intermédiaire de fourrures et du carré d'entraînement.

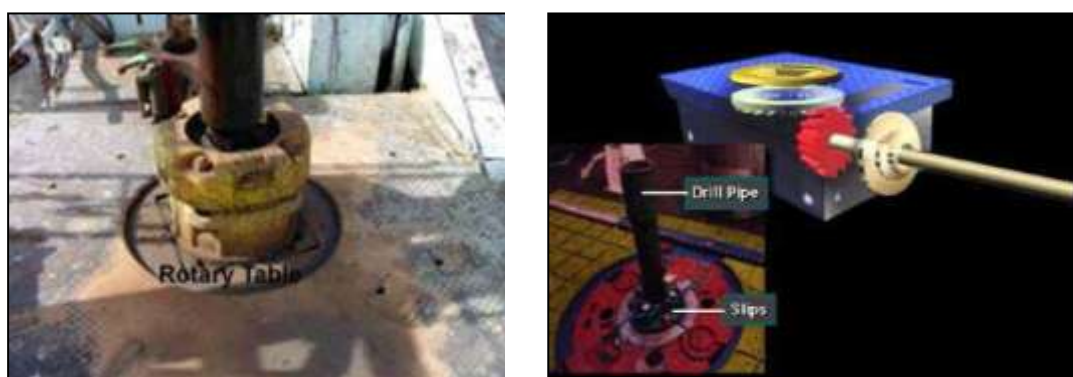


Figure II.4 : Système de rotation.

II.6.5 Système d'obturbateurs

La boue est la première barrière de sécurité sur un puits, elle assure le contrôle primaire, nécessité d'avoir une seconde barrière de sécurité en cas de défaillance de la première barrière, les obturbateurs sont la deuxième barrière, ils assurent le contrôle secondaire, dans le cas des venues de gaz.

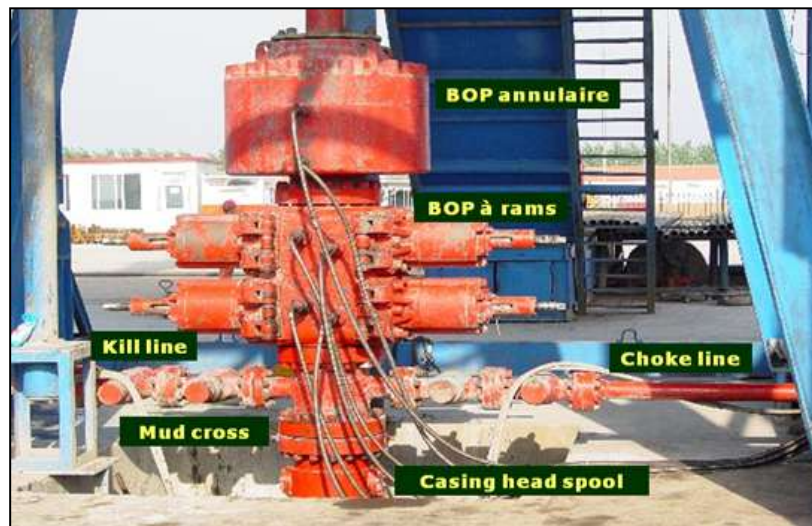


Figure II.5 : Système d'obturbateur.

II.7 Usages d'eau et de gasoil pendant les activités de forage

Pendant les activités de forage l'eau sera extraite d'un puits d'eau situé aux alentours. L'eau sera stockée à côté de l'emplacement de forage dans des bacs. (La plus grande quantité d'eau s'utilise pour la préparation de WBM (la boue à base d'eau), mais l'eau s'utilisera aussi pour nettoyer, arroser et pour lutter contre incendies.

La quantité d'eau utilisée pendant le forage avec des WBM est d'environ 180 m³/jour. Si on considère que les activités de forage avec des WBM auront une durée de 10 jours, le volume total d'eau nécessaire aux activités de forage WBM sera de 1800 m³. par contre durant le forage Par OBM (la boue à base d'huile) la consommation sera réduite à 40 m³/jour. Cette eau viendra d'aquifères situés à profondeurs d'entre 200 et 400 m. (parfois on utilise des camions à citernes pour alimenter le chantier et le camp).

Les activités de forage avec des boues à base aqueuse consomment environ 5 m³/jour de gasoil. La consommation de gasoil pendant le forage OBM sera plus élevée, étant donné que le

gasoil est le composant principal des OBM. Les déblais de forage auront un peu d'OBM y attachée, et des pertes d'OBM dans les formations contribueront à la consommation de gasoil aussi.

II.8 Définition de la boue de forage

Le fluide de forage appelé aussi boue de forage, est un système composé de différents constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments...etc). [7]

L'American Petroleum Institute (API) définit le fluide de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée du forage, aussi bien dans le sondage qu'en surface.

Le fluide est préparé dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille. A la sortie du puits, il subit différents traitements, tamisage, dilution, ajout des produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques à leurs valeurs initiales. Il est ensuite réutilisé.

La composition du fluide de forage dépend des conditions particulières du forage correspondant. Etant donné que les trous traversent un grand nombre des formations géologiques différentes, des modifications des caractéristiques du fluide de forage sont faites au fur et mesure de l'avancement du trou, afin de répondre aux conditions rencontrées. **(Blair, 1945)**

II.9 Fonctionnement de la boue de forage

Les boues de forage doivent avoir des propriétés permettant d'optimiser plusieurs fonctions, auxquelles les plus importantes, c'est d'évacuer les déblais trou foré d'un de forage, et les maintenir en suspension pendant que la boue est en circulation.

La boue en circulation permet aussi de réduire le réchauffement de la garniture de forage et de l'outil, ainsi le cake formé par la boue qui permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits.

Afin d'éviter le débit important dans le puits de forage, où les fluides contenus dans les réservoirs rencontrés en cours de forage, la boue doit donc exercer une pression hydrostatique suffisante pour équilibrer les pressions du gisement, et elle conditionne les vitesses d'avancement instantanées.

La présence d'un fluide d'une certaine densité dans le puits permet de diminuer le poids apparent du matériel de sondage, tel que, garniture de forage, tubage...

La boue permet donc d'obtenir des renseignements permanents sur l'évolution de la roche de la formation et les fluides rencontrés. Ces renseignements sont obtenus par les déblais remontés avec la circulation du fluide, l'évolution des caractéristiques physiques et/ou chimiques de la boue et la détection de gaz ou autres fluides mélangés à la boue.

Le fluide peut être corrosif par effet d'usure mécanique ou une action électrolytique qui ne peut présenter de danger pour la santé humaine.

II.10 Type des boues de forage

La classification des boues de forage dépend de la nature des réactions souhaitées entre la boue et l'argile. Plusieurs classifications des types de boue peuvent être adoptées. Il est cependant habituel de présenter les boues en fonction de la phase continue. [8]

II.10.1 La boue à base d'eau

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

Les boues douces dont la teneur en NaCl ne dépasse pas quelques g/l.

Les boues salées dont la teneur en NaCl peut être comprise entre quelques dizaines de g/l et jusqu'à la saturation. Elles sont utilisées pour la traversée des zones salifère.

Avantages de la boue à base d'eau :

-Sécurité, santé et environnement.

Inconvénients de la boue à base d'eau :

-L'eau mouille les roches et pénètre facilement dans les pores,

-Hydratation des argiles,

-Dissolution des sels (chlorures les plus solubles),

-Filtration dans les formations poreuses perméables

-Endommagement des formations (colmatage, précipités),

-Réaction possible avec les fluides de formation,

II.10.2 La boue à base d'huile

- **Boues à l'huile:**

Les fluides de forage sont constitués d'une phase continue huile et d'une phase dispersée aqueuse, représentant quelques pour cent en volume seulement. Une boue à l'huile cause le minimum des dommages aux formations productrices. Elle possède des caractéristiques rhéologiques permettant l'élimination correcte des déblais et le maintien en suspension des alourdisant. Ces caractéristiques peuvent être contrôlées à la suite d'apports accidentels d'eau dus aux conditions atmosphériques, aux opérations de forage, à de faibles venues dans le puits...

Les boues à l'huile sont principalement utilisées pour le forage et le carottage des niveaux producteurs dans les sondages d'extension, pour les reprises et entretiens des puits productifs et pour tous les travaux au droit des horizons productifs. [8]

- **Boues à émulsion inverse:**

Les boues à émulsion inverse eau/huile sont constitués d'une phase continue huile et d'une phase dispersée aqueuse pouvant atteindre 50 % en volume de la phase liquide.

Elles sont principalement utilisées pour résoudre des problèmes des argiles gonflantes et/ou à fort pouvoir dispersant, grandes épaisseurs de sels ou puits profond posant des problèmes de hautes températures.

II.11 Choix de la boue

Le choix des fluides de forage est basé sur les conditions géologiques et les contraintes de forage. Chaque phase de forage nécessite un type de fluide de forage avec des paramètres différents.

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 eau/ huile/solide différent d'une phase à l'autre.

II.12 Caractéristiques des fluides de forage

La formulation, le contrôle et la caractérisation des boues de forage sont réalisés selon des normes précises éditées par l'API. Les tests relatifs à l'étude des caractéristiques des fluides de forage sont généralement basés sur quatre paramètres densité, viscosité, filtrat et réactivité. Certaines mesures sont réalisées systématiquement sur tous les forages (viscosité, densité, filtration) et d'autres en fonction des besoins (taux de gaz, alcalinité).

II.13 Déroulement du forage

II.13.1 Procédures générales, sécurité et environnement

Avant le démarrage du puits on organise avec tous les intervenants un "pré-spud" meeting (meeting journalier) sur site. Le meeting sera conduit par le superviseur de forage et s'articulera autour des points suivants:

- Programme du puits, Problèmes attendus, moyens pour la réalisation du puits, définition des responsabilités de chacun.
- Rappel des règles de sécurité pour la conduite des travaux; le superviseur est le premier responsable de la sécurité du puits. et doit être informé de toute anomalie ou insuffisance dans ce domaine, la coopération du chef de chantier et des chefs de poste est primordiale.

- Rappel du rôle de chaque individu sur chantier.
- Respect des règles d'hygiène et d'environnement.

II.13.2 Programme de forage

Le programme de forage de notre puits comprend 5 phases dont seulement deux phases seront citées (phase 26" et 16") :

II.13.2 Phase 26"

II.13.2.1 Préparation

- avant le démarrage assurer d'une réserve maximum d'eau et un bon débit d'arrivée.
- Calibrer l'outil de forage et le stabilisateur 26"
- Le tubage 18 5/8" doit être préparé et prêt pour la descente.
- préparer le BOP et le tester.
- Préparation de la boue bentonitique, en prévision du démarrage.
- Cimentation du 18 5/8" (Prévoir un bouchon supérieur).

Dans cette phase on a foré verticalement depuis la surface jusqu'à 30 à 40m dans le Sénonien anhydritique, soit à une profondeur de 539 m. On a posé le tubage 18 5/8" à la cote 536m.

II.13.2.2 Forage et paramètres de forage

Le forage se fera avec la boue bentonitique avec les caractéristiques établies dans le programme boue. Forer les 15 premiers mètres avec un débit réduit au minimum, puis augmenter le débit au fur et à mesure. Toutes les dispositions doivent être prises pour avoir suffisamment de boue pour terminer la phase compte tenu des pertes en surface et des pertes éventuelles de terrain. L'option forage à l'eau claire doit être évitée.

On Commence le forage avec les paramètres très réduits; **Poids 1T, RPM 60(tours par minute), Débit 500 l/mn** ces paramètres seront augmentés avec l'avancement jusqu'à atteindre les paramètres optimums: **Poids 5 à 6 T, RPM 120, débit 3200 l/mn**. Tout en surveillant la densité de boue à la sortie.

On Contrôle l'avancement en réduisant les paramètres poids-RPM.

- On utilise tout les moyens d'épuration mécanique.
- Ejecter la boue trop chargée.
- Diluer avec une boue neuve.

II.13.2.3 Garniture de forage

La garniture à utiliser pour cette phase est:

01 outil 26" EMS 11GCK (RR)

01 Porte outil

01 Shock sub 9 1/2"

01 Stabilisateur 26 "

01 DC 9 1/2"

01 Réduction 7 5/8" Reg M X 6 5/8 Reg F.

xx DC 8".

01 réduction 6 5/8" Reg M X 4 1/2" IF F

II.13.2.4 Tubage et accessoires

La colonne 18 5/8" sera composées comme suit:

01 Sabot Stab-In.

xx Casing 18 5/8" – 87.5 lb – K55- BTC- R3 (7 ou 8 joints)

3 centreurs 18 5/8" type ST-4A et 3 Stop collar 18 5/8" type JSH ou J10H seront placés sur les tubes 1, 2 et 3. Le tubage 18 5/8" doit être mesuré, et prêt à être descendu.

II.13.2.5 La boue

Pour cette phase on a utilisé une boue bentonitique qui conviendrait aux formations fragiles et peu consolidées parce qu'elle offre :

- Filtrat élevé pour formation d'un cake épais et colmatage des sables.
- Une grande viscosité pour un meilleur transport du sable de mio-pliocène.

Caractéristiques de la boue

- Densité 1,05 à 1,10
- Viscosité 80 à 100 sec
- Filtrat Non contrôlé.

II.13.3 Phase 16" X 13 3/8"**II.13.3.1 Préparation**

- Contrôler les réserves en eau et en boue avant de commencer la phase.
- Préparer le tubage 13 3/8" à l'avance.
- Nettoyage, calibrage et mesure des tubes.
- Inspecter visuellement les filetages.
- Visser le sabot au premier joint
- Mettre les Centreurs et les Stop collar
- Contrôler le casing head 13 5/8"
- Contrôler l'outil de forage (calibrage, usage ...).
- Degerber la BHA 26" et commencer à gerber la **BHA 16"**

Problèmes attendus et discussion

- Le but de cette phase est de couvrir en 13 3/8", les calcaires du Sénonien carbonaté

et une partie des sables du Mio-Pliocène, le tubage est posé à une profondeur de 2380m.

- Risque de pertes de boue dans le Sénonien Carbonaté, et dans les sables du Mio-Pliocène, cette couche sableuse présente également des risques de cavage.

II.13.3.2 Forage et Paramètres

Poids : 15 T,

Rotation : 60 à 120 RPM,

Débit: 3000 à 3200 l/mn

Toper le sabot et reforer avec les paramètres réduits. Poids: 5 -7T, 60RPM, Débit 1500 -2000 l/mn

II.13.3.3 Garniture de forage

La garniture de forage pour cette phase est :

01 Outil 16"

01 Porte outil 7 5/8 Reg F X 7 5/8 Reg F

02 DC 9 ½"

01 Stabilisateur 16"

01 DC 9 ½"

01 Réduction 7 5/8" reg M X 6 5/8" Reg F

12 DC 8"

01 Réduction 6 5/8" Reg M X 4 ½" IF F

06 HW 5"

xx DP5"

II.13.3.4 Tubage et accessoires

La colonne 13 3/8" sera composées comme suit:

01 Sabot 13 3/8" Stab in

xx Joints 13 3/8" K55 54,5 #

Vérification du fonctionnement du sabot

Mettre les centreurs comme suit:

- tube 1 et 2, 1 centreur ST-A3 à cheval sur un stop collar JSH
- pour les tube suivant 1 Centreur tous les joints sur les tubes 3, 4, 5.
- un Centreur sur les joints dans le découvert 8, 11, 14, 17, 20
- Mettre un Positive centraliseur Type PO-08 dans le tubage 18 5/8 sur l'avant dernier joint de préférence

Descendre le tubage au fond.

Circuler au fond le volume intérieur du tubage, montage de la tête de cimentation et branchement à l'unité de cimentation.

II.13.3.5 Boue

Pour cette phase on utilise une boue émulsionnée inverse qui a pour but d'éviter le contact eau argile, donc limiter la dispersion des argiles du Malm et Dogger.

Caractéristiques :

Densité= 1,15 à 1,25

PV = 30 cp

YP = 25 lb/100ft²

Filtrat < 25.

II.14 Le bournier**II.14.1 Définition**

Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une multitude des produits chimiques est employée dans la formulation des boues de forage. Ces composés de natures différentes et dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont cependant déversés dans la nature.

Le bournier 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 des risques de pollution solide, liquide ou gazeuse.

Le déversement et le dégagement de certains produits (gaz, solides ou liquides) peuvent entraîner une altération des propriétés de ces milieux en diminuant leurs capacités d'aération, et induisant des effets portant atteinte à la santé de l'homme, de façon directe ou indirecte, et à l'environnement de manière globale.[10]

Cette partie décrit les bourniers et les déblais de forage et développe les différentes techniques de décontamination des sols pollués par les opérations de forage.

II.14.2 Sources des bourniers**✓ L'activité de forage**

Parmi les couches géologiques traversées par les fluides de forage, on rencontre les différents aquifères qui risquent une contamination sérieuse par infiltration de ces fluides sur ce qui suit

- A partir de la surface par les rejets et liquides de forage déversés.
- En cours de forage, la contamination se traduit par le contact de deux fluides de caractéristiques rhéologiques différentes

✓ Opération de production sur puits

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

- Lors des déversements d'hydrocarbures volontaires en surface.
- Des fuites d'hydrocarbures dues aux détériorations et à la corrosion des tubages.
- Des résidus de pertes de fracturation, d'acidification, pendant les opérations spéciales.
- Des rejets de produits de pertes issues de l'opération d'évaluation du réservoir
- Des rejets de produite utilisent pour l'entretien des puits et des installations de production.

II.14.3 Déblais de forage

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

Le système de forage avec des OBM est un système fermé, et le borbier à déchets OBM s'utilise seulement quand une partie du système ne fonctionne pas. Les OBM accumulés dans le borbier sont récupérés et amenés au début du procédé. À la fin du forage, les boues OBM dans le borbier sont pompées récupérés, et la quantité de déchets dans le borbier OBM est à traité.

II.14.4 Caractérisation des déblais

Les déblais sont des particules de différentes granulométries 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 structures, et leurs types varient de celui des grains des sables jusqu'au gravier selon la formation rocheuse atteinte et le type de boue utilisée, pour éviter l'entassement des déblais au fond du puits foré, ils sont remontés en surface par la boue de forage.

II.15 Législation et déblais

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, réglemente 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
- -Décret exécutif n°09-19 du 23 Moharram 1430 correspondant au 20 janvier 2009 portant réglementation de l'activité de collecte de déchets spéciaux ;
- -Décret exécutif n°06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux ;
- -Décret exécutif n° 05-314 du 10 septembre 2005 fixant les modalités d'agrément des

groupements de producteurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux ;

- -Décret exécutif n°05-315 du 10 septembre 2005 fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux ;
- -Décret exécutif n° 04-409 du 2 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 14 décembre 2004 fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux ;
- -Décret exécutif n° 04-410 du 2 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 14 décembre 2004 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations ;
- -Décret exécutif n° 04-410 du 14 décembre 2004 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations ;
- -Loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. [11]

Tableau II.1 : Valeurs limites pour la mise en décharge des déblais de forage selon le standard européen

Eléments	Abréviation	Standard européen
Les hydrocarbures totaux	Hc	<5%(massique)
Chrome hexavalent	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 50mg/l
Cadmium	Cd	50mg/Kg ou 5mg/l
Cyanure	CN	10mg/Kg ou 1mg/l
Nickel	Ni	<100mg/kg ou 10mg/l
Arsenic	As	<10mg/kg ou 1mg/l
Mercure	Hg	<10mg/kg ou 1mg/l

II.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à expliquer brièvement le procédé de forage pétrolier et l'organisation de chantier pour comprendre les sources des déchets générés par activité de forage d'où ces données seront utilisées dans les chapitres suivants.

Chapitre III

Impact sur l'environnement

Chapitre III : Impact sur l'environnement

III.1 Introduction

Ce chapitre traite la pollution des eaux par les fluides et les déblais de forage, les mécanismes de transfert et d'atténuation du polluant dans le système aquifère.

La pollution est un phénomène en pleine mutation dont la définition diffère en fonction des préoccupations de chaque domaine d'intérêt (juridique, socio-économique, biologique, écologique, etc...). Toutefois, les définitions retenues permettent en général de caractériser le nouvel état physique ou chimique ou de l'environnement sur lequel il agit.

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la nature des terrains qu'elle a traversés ou dans lesquelles elle séjourne. Cependant, dans le cas d'absence total de constituants étrangers au système réservoir/eau, l'eau souterraine peut être qualifiée de polluée ou d'impropre à la consommation lorsque les concentrations de ces constituants dissous ou en suspension dépassent les normes admissibles (européennes, OMS etc..).

La pollution modifie certaines caractéristiques de l'eau (composants physico-chimiques, bactériologiques, biologiques) et suscite une altération qui la rend impropre à certaines de ses fonctions. C'est de cette vision originale que découle la définition de **Margat (1968)** « la pollution correspond à une perte d'aptitude ou à un appauvrissement du potentiel de l'eau ».

III.2 Impacts des boues sur l'environnement

Dans le domaine de l'environnement, on invoque souvent le terme « risque ». La CSA (Association Canadienne de Normalisation) définit le risque environnemental comme étant : « La probabilité de créer des dommages à l'environnement ou la perte d'une composante environnementale de valeur ». Cette définition est étroitement liée au concept d'impact environnemental ; on peut donc dire que tout rejet, toute contamination qui est susceptible de nuire aux milieux naturels qui nous entourent constituent un risque environnemental.[7]

Par conséquent, le retour des boues issues du traitement des eaux huileuses vers la nature sans traitement préalable constitue un risque environnemental, susceptible de créer un impact environnemental potentiel.

III.2.1 Pollution engendrées par les boues**III.2.1.1 Pollution des sols**

Le sol a un rôle de tampon et de filtre qui s'effectue entre l'atmosphère et la nappe phréatique, il constitue un système de protection pour les eaux souterraines

Le rejet des boues à l'état brut dans la nature provoquera d'un part la pollution du sol par la dégradation de ses propriétés physiques, chimiques ou biologiques, et d'autre part, elle sera aussi la cause de contamination des nappes souterraines puisque le rôle de filtrage du sol contaminé sera détérioré. [7]

La pollution de sol sera transportée par le vent vers d'autres sites.

III.2.1.2 Pollution atmosphérique

Dans le cas où les boues sont rejetées dans la nature, il y a risque d'émanation des hydrocarbures légers dans l'air qui par évaporation se dispersent dans l'atmosphère, où ils déclenchent des réactions photochimiques donnant lieu à la formation de composés dangereux

III.2.1.3 Pollution hydrique

Dans l'écosystème désertique, les eaux superficielles sont rares, à l'exception des oasis, ce qui confère aux eaux souterraines une grande importance étant donné qu'elles représentent l'unique source d'approvisionnement en eau de toutes les activités de la région de Hassi Messaoud.

Le sol possède une capacité d'absorber l'eau, elle migre à travers ce dernier jusqu'à atteindre les nappes souterraines. En fonction de profondeur et des épaisseurs, nous retrouvons dans la région de Hassi Messaoud les aquifères suivants :

- La nappe du Mio-pliocène.
- La nappe du Sénono-Eocène.
- La nappe du Turonien.
- La nappe de l'Albien.

Dans le cas où le sol est contaminé, l'eau véhicule avec elle, les polluants qui une fois arrivés dans la nappe, modifient la composition de cette dernière et peuvent provoquer des effets irréversibles.

III.3 Pollution due au forage

III.3.1 En surface

Comme l'air et l'eau, le sol est une ressource naturelle. S'il est pollué il peut porter atteinte à la vie humaine, en réduisant les récoltes et/ou insidieusement en contaminant les aliments et les eaux. C'est le cas lors du forage d'un puits pétrolier, où toute sorte d'effluents et de déchets issus du forage sont acheminés vers un bassin creusé dans le sol appelé « bournier ».

Le bournier permet l'évaporation des eaux résiduelles. Le volume approximatif d'un bournier est de l'ordre de 2000 m³.

Les effluents sont constitués par :

- Des déblais de formation
- Des eaux et huile de lavage des organes d'appareils
- L'excédent de ciment, lors d'une cimentation de tubage
- Des acides utilisés lors d'une acidification de réservoir.

III.3 .2 Dans le sous-sol

Le sous-sol peut être contaminé soit pendant le forage par perte de circulation, ou après le rejet des effluents dans le bournier par infiltration.

❖ Pertes de circulation

On parle de perte de circulation qui peut être partielle ou totale lorsqu'un volume de boue s'infiltre à l'intérieur de la formation traversée. Ces pertes peuvent se produire à différentes profondeurs, et affectés sensiblement les formations et par conséquent contaminer les fluides qu'elles renferment.

❖ Infiltration

Le borbier contient des déchets solides et des effluents liquides contenant des produits toxiques. La filtration naturelle du sol ne suffit pas pour les éliminer. Et, si la nappe est peu profonde, il y'aura certainement pollution et danger d'exploitation.

III.4 Métaux lourds

Le problème majeur avec les métaux lourds réside dans le fait qu'ils peuvent devenir assez solubles dans l'eau et seront ainsi entraînés vers les profondeurs avec le risque éventuel de contamination de la nappe.

Cependant, les sels de métaux lourds ne se comportent pas tous de la même manière. Ils présentent des solubilités variables dans l'eau, une autre forme de sels, les hydroxydes, est très sensible au pH. Une augmentation du pH entraîne une diminution de la solubilité et un dépôt de l'hydroxyde de métal.

La présence de certains composés, comme les acides carboxyliques et les phénols, les ions de métaux lourds forment des complexes extrêmement solubles dans l'eau.

Les quantités dissoutes dans l'eau seront au fur et à mesure que la filtration évolue, adsorbées par les particules colloïdales électronégatives qui constituent le sol. Ces particules sont essentiellement des argiles minéralogiques. On constate que les teneurs en métaux lourds (Pb, Cu, Ni et Cr) dans les bancs d'argile demeurent toutes inférieures aux limites admissibles dans les rejets solides selon les normes. [7]

III.5 Infiltration des hydrocarbures

La compagnie Burlington a fait pour son compte des analyses des échantillons par chromatographie en phase gazeuse et par spectrophotométrie à (I.A.P) d'Alger. Les résultats montrent que les hydrocarbures des rejets sont entraînés en profondeur sous l'action de leur propre poids (gravité) et sous l'effet du drainage par infiltration des eaux usées.

Les teneurs atteignent 1000 à 4000 mg/kg à moins de deux (02) mètres de profondeur au niveau de la base du borbier. Ces teneurs ne cessent de diminuer en fonction de la profondeur jusqu'à atteindre des valeurs insignifiantes à six (06) mètres sous le borbier. La majeure partie reste donc confinée au niveau de la base du borbier.

Le modèle HSSM « (hydrocarbon Spill Screening Model » valable pour les NAPL « Non Aqueous Phase Liquique » a été utilisé pour simuler l'infiltration des hydrocarbures à travers la colonne de sable sur la base des résultats expérimentaux obtenus. La simulation a permis de montrer que le niveau de saturation maximale des pores ne dépassera pas huit (08) mètres après cinquante (50) ans.

Ces hydrocarbures NAPL ne s'infiltreront donc que jusqu'à une profondeur limitée n'excédant pas les dix (10) mètres. **(D'après la compagnie Burlington).**

III.5.1 Infiltration des hydrocarbures selon la répartition géographique

Selon la répartition géographique, on distingue :

- Pollution diffusé qui caractérise les phénomènes de pollution pouvant se produire sur une grande étendue de l'aire d'alimentation d'un aquifère.
- Pollution ponctuelle qui caractérise les phénomènes de pollution qui se produisent instantanément au niveau d'un site donné, situé dans l'impluvium de l'aquifère.

III.5.2 Infiltration des hydrocarbures selon la répartition dans le temps

Selon la répartition dans le temps on distingue :

- Pollution permanente se produisant de façon continue dans le temps
- Pollution accidentelle se produisant par une erreur humaine (exemple de rupture d'une canalisation transportant une substance polluante).

III.6 Mécanismes de transport et d'atténuation du polluant en milieu souterrain

III.6.1 Mécanismes de transport et d'accumulation

Une pollution se produisant à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la nappe, mais avant d'atteindre son toit, le polluant traverse la zone non saturée, comprise entre le sol et la surface de l'eau, celle-ci, de nature très diverse suivant le type de roches la constituant conditionne en grande partie de transfert vers la nappe. La perméabilité des terrains déterminera la rapidité des circulations, les rejets peuvent atteindre la nappe. Si leurs volumes qui s'infiltrent est supérieur à la capacité de rétention du volume du terrain non saturé affecté par la pollution. En raison des hétérogénéités de textures et de composition inhérentes aux

aquifères, il peut s'avérer difficile de délimiter avec précision l'étendue d'une éventuelle contamination de l'eau souterraines.

- Dans la majorité des cas, il semble que la contamination n'est pas découverte que lorsqu'un puits d'alimentation pour l'eau potable est atteint. La détection est généralement difficile pour un usage, car les concentrations usuellement très faibles (de l'ordre de mg/l) n'ont pas d'effets toxiques aigus immédiats et passent souvent inaperçus.
- Les concentrations des contaminants lessivés et pénétrant dans le sol ou dans la zone insaturée d'un aquifère dépend des conditions suivantes :
 - Le volume du polluant répandu en surface
 - Les changements chimiques pouvant se produire dans le temps entre le polluant et le milieu récepteur
 - Solubilité des polluants ou de ses métabolites
 - La recharge (importance de l'infiltration).
- Dans la zone saturée (aquifère) les transferts sont essentiellement latéraux selon la direction générale d'écoulement de la nappe. Dans cette zone les processus responsables du transport des polluants sont principalement l'advection, la dispersion mécanique et la diffusion moléculaire liquide. Dans cette zone, également, le polluant se dispersera partiellement ou complètement dans l'eau ou flottera sur l'eau en fonction de la densité des composants formant le polluant.

III.6.2 Mécanismes d'atténuation

L'occurrence ainsi que les mouvements de l'eau souterraine sont contrôlés presque entièrement par la topographie et la géologie. Les hétérogénéités géologiques, spécialement celles relevant de la porosité et de la perméabilité, les conditions physico-chimiques et biochimiques du milieu, ainsi que les caractéristiques propres aux polluants sont également des paramètres pouvant influencer sur l'étendue d'une éventuelle pollution des eaux souterraines.

Dans ce qui suit, nous résumerons brièvement les principaux mécanismes de transformation et d'atténuation du polluant traversant le milieu souterrain on distingue :

III.6.2.1 Processus physiques

- **La volatilisation** : Certains produits sont transférés de la surface du sol vers l'atmosphère. Dans le contexte des eaux souterraines, la volatilisation ne constitue pas un processus efficace de dissipation si le polluant a migré au-dessous de la surface du sol.
- **Le lessivage** : Il est régi en grande partie par les caractéristiques intrinsèques du sol et de la zone non saturée tel que la porosité. Le pH, le taux d'humidité, la teneur en argile et en matières organiques de même que par les conditions météorologiques.
- **La filtration** : Les milieux poreux jouent le rôle de filtre pour les rejets en piégeant une partie organique en suspension et des micro-organiques.
- **Rétention capillaire** : Une partie de la charge polluante peut être retenue dans l'eau capillaire de la zone non saturée.
- **La dispersion / dilution** : La dispersion s'applique aux substances solubles et aux substances pouvant se mettre en suspension, elle est liée :
 - A la vitesse de l'eau, à la perméabilité et à la porosité efficace du milieu
 - A la dispersivité du milieu

La dispersivité qui se fait dans les trois directions de l'espace, a pour effet d'accroître (en fonction du temps) le volume marqué par la présence du polluant, tandis que parallèlement la concentration moyenne de produit dans ce volume décroît la dilution se produit généralement dans la zone saturée.

- **La flottation** : Ce phénomène se rapporte aux produits insolubles ou à faible solubilité tels les hydrocarbures plus légers que l'eau.[7]

III.6.2.2 Processus chimiques et biochimiques

- **Précipitation** : Suivant les conditions de PH et de température, il peut y avoir une diminution importante de la charge polluante par précipitation.

- **Dégradation chimique** : Les réactions chimiques les plus probables dans les milieux souterrains sont les processus d'hydrolyse des polluants se produisant habituellement par l'intermédiaire d'acides ou de bases, qui jouent le rôle de catalyseurs.
- **Adsorption / désorption** : Les constituants du sol les plus susceptibles d'être impliqués dans ce processus sont ceux qui possèdent une grande surface spécifique (cas des argiles) ou encore des sites très réactifs sur lesquels peuvent se fixer divers substances (cas de la matière organique) le degré d'adsorption d'un polluant est fortement lié à sa nature chimique (grosseur de la molécule, sa polarité, la position de ses groupements fonctionnels, etc....).
- **Biodégradation** : Ce phénomène représente le résultat d'un ensemble de processus dynamiques qui sont impliqués dans les destructions biologique de composés organiques par les micro-organismes contenus dans le milieu souterrain. Cette auto épuration par les organismes est fonction de plusieurs paramètres (température, teneur en oxygène dissout, pourcentage de la matière organique etc....). Par ailleurs lorsque les végétaux sont dans un milieu nutritif, on observe l'absorption du polluant par les racines, une fois absorbé, le polluant peut subir des transformations sous l'influence du métabolisme de la plante.

III.7 Concept de vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines

Le polluant, souvent entraîné par les eaux d'infiltration, subit une migration et une évolution dans l'espace souterrain, il est non seulement présent dans l'eau (dilution, dissolution etc....), mais également fixé et absorbé sur les roches et les minéraux du système aquifère, engendrant ainsi une difficulté pour rétablir sa qualité d'origine.

Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est donc un phénomène évolutif dans l'espace et dans le temps. Il existe un grand nombre de modèles déterministes permettant de suivre l'évolution et le comportement des polluants dans le milieu souterrain. Ces modèles sont peu utilisables, ils exigent une quantité importante de données fiables souvent non disponibles, c'est pourquoi le mécanisme de pollution des eaux souterraines est souvent rattaché au concept de vulnérabilité, qui exprime, en fait, la sensibilité d'une nappe aux pollutions essentiellement déversées à la surface du sol.

Le concept de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution doit traduire exclusivement les points sensibles ou les défauts de résistance des eaux souterraines aux agressions qui menacent leurs qualités. Cette vulnérabilité intrinsèque dépend essentiellement des conditions physico-chimiques dont la diversité détermine la variété des degrés et types de vulnérabilité.

Par ailleurs il est vrai que la notion de sensibilité ne peut être définie indépendamment des processus polluants et des substances polluantes à considérer. Aussi est-il généralement jugé préférable de distinguer et d'analyser séparément **(Morgat 99)**.

La vulnérabilité ou sensibilité intrinsèque ou objective qui est conditionnée uniquement par les seuls paramètres du milieu.

Le risque de pollution engendré par l'activité humaine plus ou moins localisable et probabiliste.

III.8 CONCLUSION

Les pollutions générées lors des opérations sur puits, au niveau de Hassi-Messaoud sont plus qu'évidente. Chaque jour, des dizaines de forages dégagent des polluants toxiques et néfastes pour l'atmosphère, et des mètres cubes de différents fluides contenant des produits chimiques et des additifs hautement toxiques, sont déversés dans le milieu naturel, que ce soit dans les borbiers, ou directement sur site. Si cette situation est amenée à durer dans le temps et dans l'espace, avec le rythme actuel, nous allons tout droit vers un problème environnemental, résultant de l'accumulation et la transformation de divers polluants dans différents écosystèmes. Les conséquences de cette situation sont plus que dramatiques (maladies, perturbation de l'équilibre naturel, etc....).

Chapitre IV

Méthodes utilisées dans le traitement des déblais

Chapitre IV : Méthodes utilisées dans le traitement des déblais de forage

IV.1 Introduction

L'un des problèmes majeurs qui menace de nos jours notre environnement saharien est l'augmentation de la charge polluante, notamment en métaux lourds et en hydrocarbures, déversés dans le milieu naturel par les chantiers pétroliers. En effet, les risques anthropologiques que l'activité de ce secteur fait peser lourdement sur les ressources naturelles (eau, sol, flore...). Dans ce chapitre on traite les différentes méthodes utilisées dans le traitement des déblais de forage, qui sont la solidification par stabilisation et l'absorption thermique. Rappelons que notre forage OMK-572 n'est pas encore achevé, on adopte les résultats des analyses effectuées sur le forage OMKZ-45 situé dans la périphérie du forage étudié pour évaluer les méthodes de traitement choisies .

IV.2 Méthodologie de travail

L'objectif de ce travail est de trouver des solutions qui peuvent réduire ou arrêter l'influence de ces éléments toxiques. Pour cela on a adopté une méthode de travail, en commençant par une recherche bibliographique concernant le forage pétrolier, les fluides de forage et les déchets de produits utilisés.

On a fait des visites sur site, pour reconnaître en proche l'identité de ces rejets, leurs composants chimiques, et leurs influences sur l'environnement et on a vu les moyens appropriés. Pour traiter ces rejets et pour faire des limites concernant leur influence négative, on a trouvé qu'il y a trois méthodes de traitement qui sont : le traitement mécanique, chimique et thermique et tout cela concernant le site de travail.

Ces travaux de terrain permettent de diagnostiquer les méthodes de traitement de ces rejets, et rendre efficaces la neutralisation de ces produits néfastes.

L'échantillonnage des rejets se fait selon les méthodes conventionnelles. Avant et après traitement par le CRD (centre de recherche et de développement) et puis transposé ces échantillons vers le laboratoire pour faire des analyses et extraire des résultats qui peuvent améliorer l'utilisation de ces méthodes.

On doit signaler que le CRD n'effectue pas des analyses pour les déchets de chaque forage réalisé, mais selon la demande du prestataire.

Dans ce travail nous avons traité les analyses des cuttings de puits pétrolier OMKZ45, alors selon tous ce que nous avons expliqué, le travail est en deux classes (catégories). La première est la recherche bibliographique et la deuxième c'est le terrain (site de travail).

IV.2.1 Travaux sur le site

Après les visites sur le chantier de forage pétrolier OMK-572 on a pu collecter les informations sur le forage pétrolier, l'organisation de chantier et les tâches appropriées pour chaque personne concernée d'où on a réalisé un chapitre sur l'activité de forage et les fluides de forage

IV.3 Principes de traitement des rejets (bourbiers)

Dans le but de prendre en charge les rejets inhérents à l'activité de forage, l'industrie pétrolière a développé un concept fondamental qui est celui de la « gestion des rejets » ou « waste management » a pour buts de réduire la source de pollution, gestion de l'eau, recyclage et leur réutilisation, traitement et gestion de déblais de forage durant la réalisation de forage et à la fin du projets (traitement offline), le résidu du traitement doit aussi être pris en charge (enfouissement, stockage).

Les cinq principes du plan de la gestion de déblais de forage

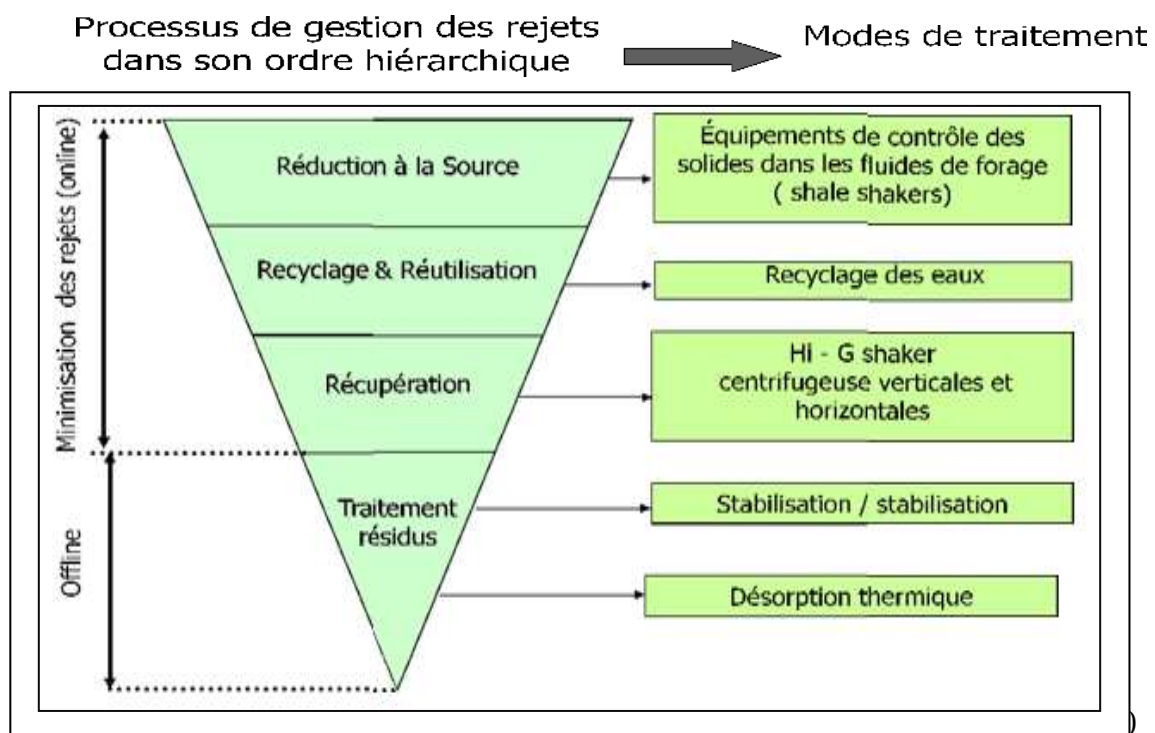


Figure IV.1 : Les cinq principes de la gestion de déblais de forage.

Pour ce qui est du traitement, on distingue deux modes adoptés :

Les traitements en mode in situ (online) : ou le prestataire de service de traitement intervient en parallèle avec les travaux de construction du puits.

Les traitements en mode offline : ou le prestataire de service de traitement intervient après la fin des travaux sur un puits donné et le déménagement de l'appareil de forage.

IV.4 Procédé ON-LINE (traitement mécanique durant le forage)

Il existe une chaîne de traitement mécanique pour éliminer les déblais de forage et réduire la teneur en solide dans la boue : tamis vibrant de différentes tailles de maillage, dessableur, centrifugeuse et verti-G (centrifugeuse verticale). Le tableau (IV.1) consigne les différents diamètres obtenus par le traitement mécanique des déblais.

Tableau IV.1: Chaîne de traitement mécanique

Chaîne de traitement mécanique	Diamètre des déblais retenus
Tamis vibrant	Diamètre grand
Dessableur	Entre 74µm à 200 µm
Dessilteur	Entre 2µm à 74 µm
Centrifugeuse et verti-g	Inferieure de 2µm

IV.4.1 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.

Le passage par le tamis vibrant permet de récupérer les fluides de forage qui après traitement et ajustement sont réinjectés dans les puits.

IV.4.2 Centrifugeuse verticale (VERTI-G)

Cet équipement de conception spéciale, pour traitement des déchets fluides de forage contaminés par des solides mouillés par des hydrocarbures et chargés en métaux lourds dans le

but de transformer les produits toxiques solubles en composés insolubles, conformément aux normes environnementales et économiques.

Nommés aussi Verticals Dryers, se sont des sécheurs rotatifs, composés principalement par un tamis d'une forme conique et des transporteurs des déchets. Cuttings Dryer l'une des meilleures technologies disponibles aujourd'hui sur le marché international et sont utilisées pour le contrôle et traitement des rejets de fluide de forage selon les normes environnementales en vigueur, et de ramener la teneur en huiles des déblais (cuttings) à 5% en poids.

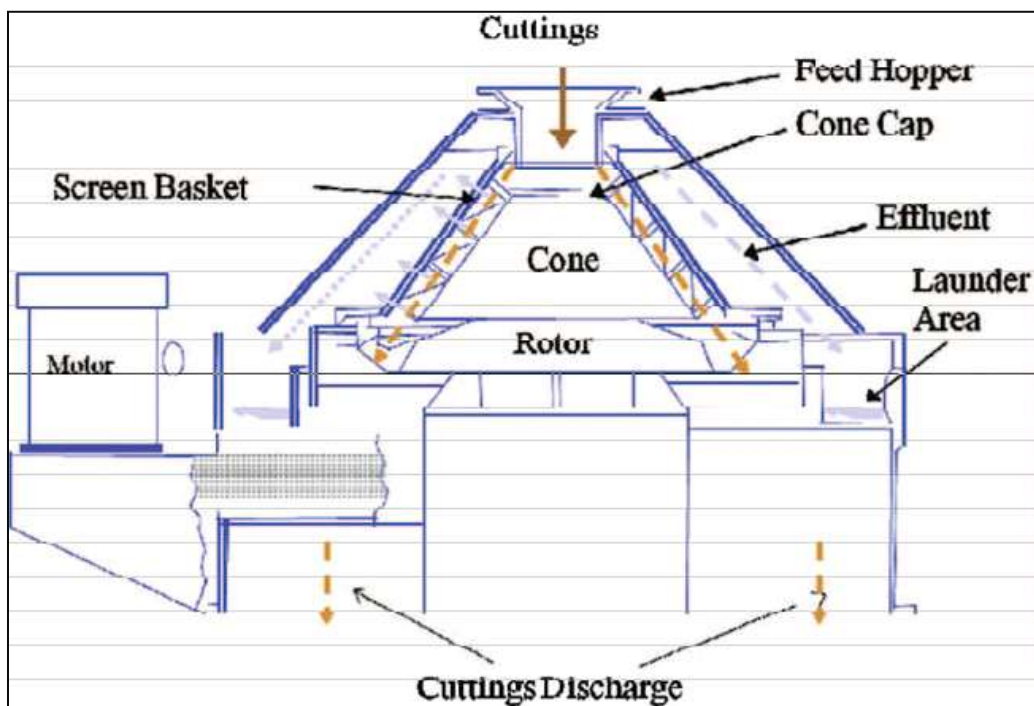


Figure IV.2: Principe de fonctionnement de Verti-G. [12]

IV.4.2.1 Principe de fonctionnement de Verti-G

Les déblais sont passés à partir du tamis vibrant vers le verti-G à l'aide des vis infinies appelées Auger ; ces déblais entrent par l'admission supérieure de cône et tombent sur un rotor conique qui tourne à 680tr/min.

Les cuttings sont séparés grâce à cette vitesse différentielle (vitesse de rotorconique) donc le liquide traverse le tamis (screen) et les solides sont entraînés vers la base du cône à l'état poudre (dry) et leur teneur en huile est inférieure à 5%, ou ils sont transportés par une pelle mécanique (chargeur) vers le bournier (dray pit).

Le liquide précédent est dirigé vers la centrifuge horizontale (centrifuge 414 de 1900 tr/min) pour récupérer le fluide vers les bacs de forage et le reste de solides est renvoyé vers wet pit. [12]



Figure IV.3: Installation de fonctionnement de vortex (verti-G).

IV.4.3 Centrifugeuse horizontale

Elle permet de séparer la phase solide fine des fluides de forage restante après passage par le dryer pour décharger cette dernière dans le borbier en attendant son traitement a la fin de forage.[13]

La figure (IV.4) représente la centrifugeuse leur performance peut être définie par diamètre de la particule (taille), différence de densité entre les particules solides de la boue, viscosité de boue la densité de boue et la vitesse de rotation de la machine

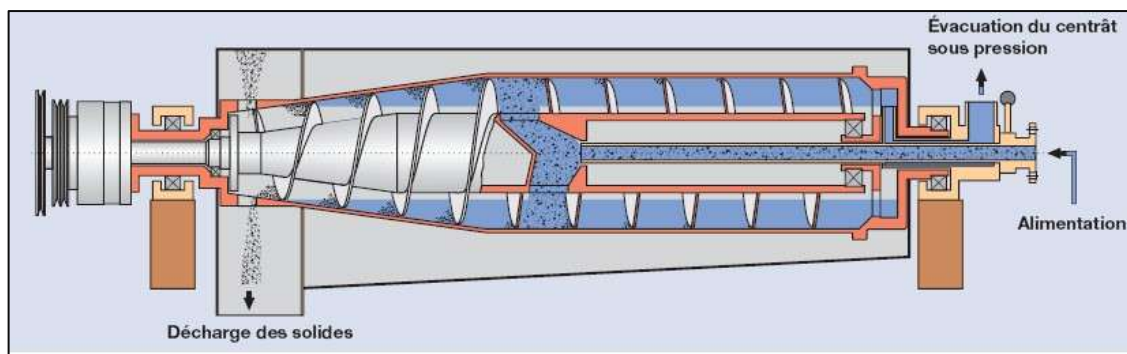


Figure IV. 4: Schéma simplifié de l'unité de la centrifugeuse.

IV.4.4 Décharge dans les bourbiers

Pour stocker les déblais de forage momentanément avant leur traitement final, des fosses sont conçues dans ce sens : Les bourbiers de forage.

Les bourbiers du HMD comportent deux compartiments recouverts d'un plastique (liner) pour empêcher l'infiltration des contaminants dans le sous-sol. Le premier compartiment est conçu pour contenir les déchets générés par la centrifugeuse verticale (dray pit). Le deuxième compartiment est conçu pour la récupération des déchets générés par les centrifugeuses horizontales.

Le problème lié aux bourbiers réside dans un volume élevé des rejets et peut avoir comme conséquence directe l'endommagement des plastiques de recouvrement induisant la contamination d'une large zone du sous-sol pouvant inclure les réserves d'eaux souterraines.



Figure IV.5: Bourbier wet pit



Figure IV.6 : Bourbier dray pit

IV.4.2 Quelques avantages du traitement online

- Réduction du volume du borbier
- Récupération de la boue
- Réduction de la consommation d'eau, recyclage et récupération d'eau.

IV.5 Traitement Offline (à la fin du forage)

IV.5.1 Procédé de traitement par Stabilisation / Solidification

La solidification / stabilisation (S/S) au ciment est une méthode souvent utilisée pour traiter, gérer et réutiliser en toute sécurité des déchets contaminés. Mise au point dans les années 1950, la technologie est largement utilisée aujourd'hui pour traiter les déchets industriels dangereux et autres matières contaminées se trouvant dans ces derniers. La S/S suscite un intérêt croissant dans le monde entier.

Ce procédé consiste à stabiliser au moyen d'un produit chimique (silicate de sodium) toute les concentrations d'hydrocarbures et de métaux lourds contenus dans les déblais et a solidifier ces déblais par du laitier de ciment. Ce procédé de traitement est opéré au moyen d'un équipement approprié.

Après traitement, et une fois que le processus de durcissement est atteint, nous obtenons une matrice qui les incorpore en une pierre synthétique. Ce processus est particulièrement faible en présence de métaux lourds dans les déblais, du fait qu'à un certain niveau de PH donné, les métaux sont précipités tels les hydroxydes, et demeurent en capsulés à l'intérieur de la matrice de l'amalgame ou partiellement insérés dans la structure cristallisée ; ce phénomène est appelé l'encapsulation.

L'utilisation des silicates de sodium permet d'assurer une plus grande cristallisation, rendant le film silicaté plus imperméable autour du mélange obtenu à partir des particules déblais/ciment. [13]

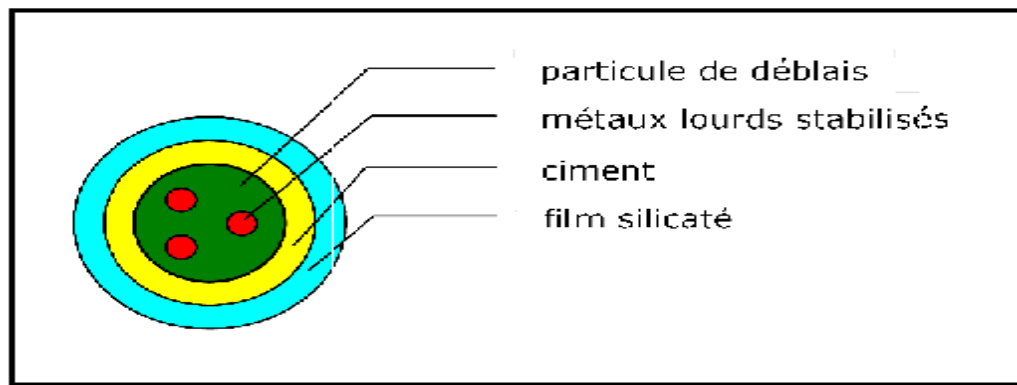


Figure IV .7 : Phénomène d'encapsulation.

Le silicate de sodium étant livré sous forme de granulés solides que l'on solubilise dans l'eau, sa concentration à l'usage varie selon le taux de pollution des sols à traiter.

Les réactifs utilisés dans le traitement d'un mètre cube des déblais par le procédé stabilisation solidification sur le champ de Hassi Messaoud sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.2 : Réactifs utilisés dans le traitement de solidification.

Fonction du produit	Nature (composé)	Nom commercial	Concentration (kg/m ³)
Réactifs	Oxyde de calcium 64% Oxyde de silicium 21% Oxyde d'aluminium 5,5% Oxyde de fer 4,5% Oxyde de magnésium 2,4% Sulfates 1 ,6% Autres 1%	Ciments portland CPJ 45	160-170 kg/m ³ Selon la nature des cuttings
Réactif	Sodium silicate 1,6<rapport molaire<2,6%:> 80%	Silicate de sodium	9-15kg/m3 de solution de silicate de sodium à 25-30%

IV.5.2 Descriptions du processus d'opérations

1. Les déblais sont chargés à l'aide d'une pelle mécanique, et déchargés dans la trémie d'alimentation de l'unité, lequel est muni d'un double convoyeur;



2. De la, les déblais sont conduits mécaniquement par un autre convoyeur oblique vers le mixeur d'inertage, où s'effectue le mélange avec le laitier de ciment et la solution silicatée;



3. Le laitier de ciment est préalablement préparé dans un mixeur spécial pour fixer la densité requise en régulant la quantité de ciment nécessaire par rapport à la typologie des sols à traiter. Le laitier de ciment est convoyé par une vis sans fin vers le mixeur d'inertage;
4. La solution silicatée est préalablement préparée dans deux bacs mixeurs spéciaux qui fonctionnent par alternance, et dont le débit est contrôlé par une valve.

La solution silicatée est pompée vers le mixeur d'inertage et l'ajout avec les déblais et le laitier de ciment est effectué par un système de vaporisation ;

5. Le mélange (déblais /laitier de ciment/solution silicatée) rejeté par le mixeur d'inertage est versé dans une fosse réceptrice préalablement aménagée;



6. Le produit traité est chargé par pelle mécanique puis déposé sur une aire de séchage;
7. Après trois jours de séchage, le produit traité ayant atteint le stade de maturation, est prêt à être remblayé vers les bourbiers vidés au moyen d'une pelle mécanique ; cette opération ne peut toutefois être effectuée qu'après la réalisation des analyses sur les échantillons traités. [11]



Remarque : Les unités de traitement sont capables de traiter dans la pratique et en moyenne : 120m³ /jour à raison de 20m³/heure.

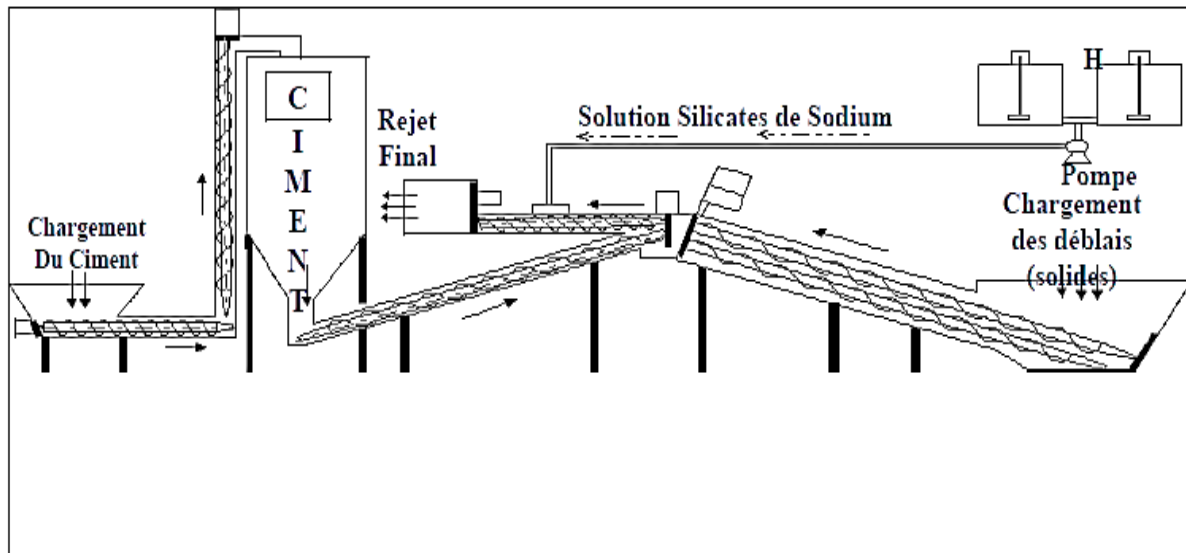


Figure IV.8 : Schéma simplifié de l'unité de traitement par solidification stabilisation.

IV.6 Procédé par Traitement thermique (thermal phase separation TPS)

IV.6.1 Traitement thermique

Les traitements thermiques sont employés durant le traitement de la fraction solide des boues de forage, soit pour une dégradation complète par incinération, soit pour la récupération de certaines substances (eau, huiles) par désorption thermique, ces deux procédés sont très efficaces en comparaison avec les traitements biologiques, physico- chimiques, si on prend en compte la durée du traitement, cependant ils demeurent très coûteux.

Les sous-produits obtenus à la fin des traitements thermiques sont des résidus solides, des fumées dans le cas de l'incinération, des gaz condensables (vapeur d'eau, hydrocarbures) et incondensables dans le cas d'un traitement par désorption thermique.

IV.6.2 Incinération

L'incinération est un procédé caractérisé par des hautes températures (1200 à 1500°C), pour le traitement de la fraction solide (Chevron Texaco, Mrathon.2008).

On pourra constater à la fin de ce procédé, une dégradation complète des matières organiques adsorbées dans les particules solides, et ses sous-produits sont généralement des gaz chauds (fumées) et des résidus solides.

L'utilisation de ce procédé présente les avantages suivants :

- Réduction du volume des déchets.
- Dégradation complète de la pollution organique.
- Récupération d'énergie sous forme de chaleur (chaleur des fumées).

IV.6.3 Désorption thermique

La désorption thermique est un traitement qui prend place dans une atmosphère inerte, et qui consiste à faire chauffer les particules solides (par contact direct ou indirect) pour provoquer la volatilisation des fractions d'huiles et d'eau qui y sont contenues (Daddou2004).

Les fractions récupérées peuvent être valorisées de plusieurs façons :

Emploi des huiles récupérées comme fioul de substitution, pour produire la chaleur nécessaire à la thermo-désorption, ou pour la formulation des fluides de forage.

Utilisation de l'eau récupérée dans les circuits de refroidissement.

Valorisation des sous-produits solides : ces résidus pourront être employés comme matières premières dans le secteur de la construction et des travaux publics (bâtiments, réalisation des routes et chaussées, les travaux de terrassement).

IV.6.3.1 Présentation du procédé

Les rejets (cuttings de forage) sont transportés à partir des borbiers vers l'unité de traitement l'aide des camions, et stockés dans un bassin bétonné pour éviter la contamination des sols.

Ce type de traitement permet de traiter les cuttings, de récupérer le gasoil et l'eau.

Les cuttings sont transportés à l'aide d'un rétro chargeur vers une grille qui retient tout élément dont le diamètre est supérieur à 10 cm tels que le plastique, les pierres. Les cuttings sont, ensuite, convoyés vers le débourber, four rotatif contenant quatre brûleurs alimentés au gasoil (souvent récupéré du processus). Les déblais de forage sont portés à des températures comprises entre 250°C et 550°C, selon les types de contaminants en présence.

Elles séjournent une vingtaine de minutes en moyenne dans le four et 2 à 3 minutes à des températures supérieures à la température de volatilisation des polluants organiques présents dans les déblais contaminés. Dans ces conditions, les polluants organiques sont transformés en phase gazeuse et, donc, séparés des terres. Les terres traitées sont recueillies en aval du four.

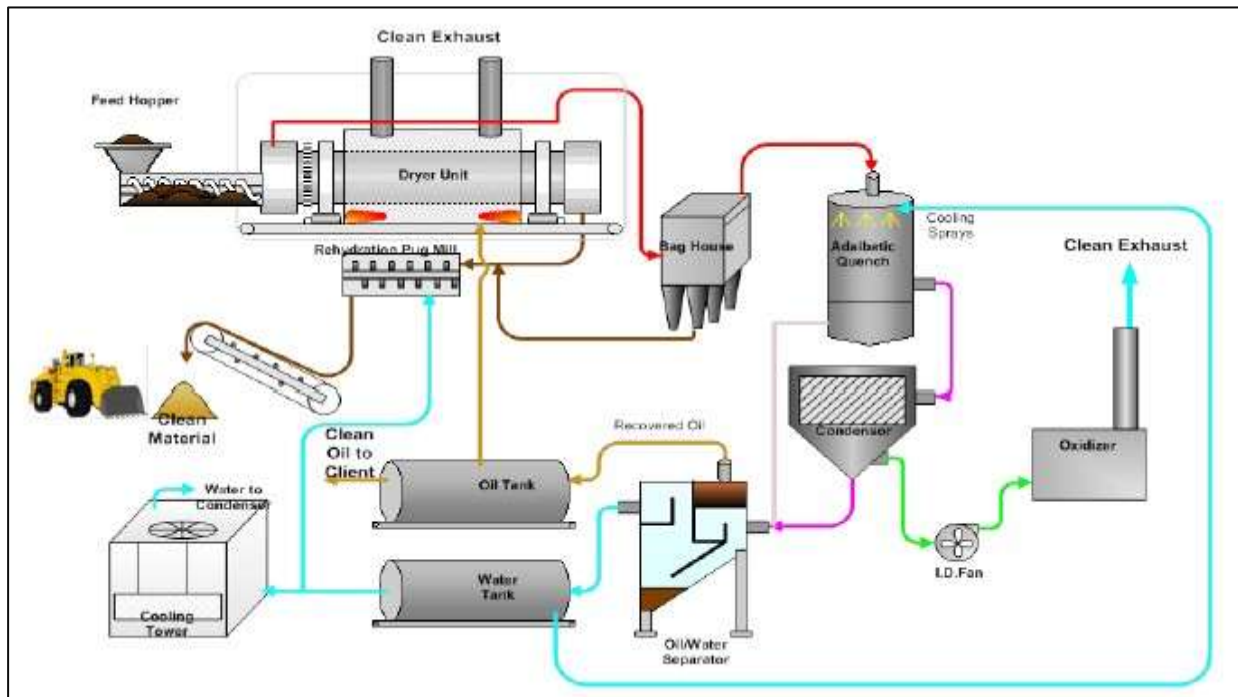


Figure IV.9 : Schéma simplifié de l'unité de traitement par désorption thermique.

Les sols dépollués contiennent une quantité inférieure à 1% de OOC% (en masse).

Les résidus sont refroidis et humectés pour éviter toute émission de poussière dans l'atmosphère pour protéger le personnel des risques d'inhalation de ces poussières ;

Les émanations de gaz sont refoulées vers des filtres afin d'éliminer toute trace de poussière, ensuite liquéfiées et cela par refroidissement dans deux condensateurs ou l'on a séparation physique de l'eau, de l'huile et des gaz toxiques tels que le monoxyde d'azote NO, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO₂. ces dernier subissent une oxydation totale avant d'être évacués ;

L'huile (gasoil) récupérée est réutilisée pour l'alimentation des bruleurs ; les sols dépollués sont déposés dans des fosses ou peuvent éventuellement faire l'objet d'une valorisation ; l'eau récupérée sera utilisée à plusieurs fins telle que :

Le refroidissement des polluants présent dans les condensateurs ; Le nettoyage ;

L'alimentation des circuits de sécurité en cas de feu ; L'humidification des sols dépollués. [10]

IV.7 Conclusion

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

Chapitre V

Résultats et discussions

Chapitre V : résultats et discussions

V.1 Introduction

Pour évaluer le degré de contamination et la toxicité des rejets ainsi l'efficacité de ces différentes méthodes de traitement utilisées, il a été effectué des examens d'analyses des cuttings pour les déchets de forage OMKZ45. Ces analyses ont été réalisées par le centre de recherche et de développement (CRD) avant et après chaque méthode de traitement.

Les résultats obtenus nous permettrons de faire une comparaison d'efficacité entre les deux méthodes de traitement.

V.2 Procédure de mesure de la teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%))

La détermination du pourcentage massique de l'huile se fait à l'aide d'un distillateur (Distillateur FANN). **Figure (IV.1)** à boue qui est chauffé au moyen d'une résistance électrique qui peut augmenter la température de distillation jusqu'à 650°C. Pour parvenir nous procédons comme suit :

1. Peser la cellule avec couvercle à l'aide d'une balance précise jusqu'à 0.01 gramme. Noter cette valeur P1.
2. Mettre une quantité de cuttings dans la cellule et peser la cellule pleine avec couvercle. Noter cette valeur P2.
3. Peser l'éprouvette graduée ou les fluides seront récupérés. Noter cette valeur P3.
4. Placer la cellule dans le corps du distillateur.
5. Connecter le distillateur au condensateur de vapeurs et placer le distillateur dans la jupe de chauffage (Heating Jacket).
6. Porter, alors, l'échantillon à une température de 500°C pendant une heure (1h) permettant, ainsi, la vaporisation de tous les fluides.
7. Les vapeurs sont passées à travers un condensateur et récupérées sous forme de liquide dans l'éprouvette graduée.
8. S'il y a passage de solides à travers le condensateur, le test doit être refait.

9. Au bout du compte, l'on aura récupération d'eau et d'huile dans l'éprouvette un chauffage léger de l'éprouvette permettrait de briser une éventuelle émulsion.
10. Une fois refroidie à température ambiante, mesuré le volume V d'eau par lecture directe sur les graduations de l'éprouvette.
11. Peser l'éprouvette remplie de fluide. Noter cette valeur P_4 .
12. La masse de l'échantillon brute $= P_2 - P_1$.
13. La masse d'huile $= P_4 - (P_3 + V)$, la densité de l'eau étant de 1.
14. La somme des masses huile, eau et dry cuttings doit être entre 95% et 105% la valeur des wet cuttings.
15. Le OOC% massique $= [P_4 - (P_3 + V)] / (P_2 - P_1)$.

En toute rigueur, la distillation (Retort) est une technique utilisée pour mesurer les solides dans les boues de forage, comme moyen de suivi et de contrôle des caractéristiques physiques ; néanmoins, cette technique est utilisée aussi pour mesurer le pourcentage de fluide dans des échantillons de solides (cuttings). Son incertitude est importante pour des pourcentages faibles.



Figure V.1 : Photo Montage de la cellule avec le godet.

V.3 Procédure de mesure les métaux lourds

La spectrométrie d'absorption atomique (AAS) constitue des outils privilégiés d'analyse d'échantillons liquide, AAS est un appareil de détermination de dosage des métaux lourds à partir la phase liquide de l'échantillon étudier.

V.3.1 Principe de fonctionnement

La spectrométrie AAS consiste à vaporiser l'échantillon liquide et à l'aide d'une flamme. En mode flamme, l'Equipment peut être utilisé en spectrométrie d'absorption et d'émission. La flamme est dirigée vers une lumière émise par une lampe appropriée émettant les longueurs d'onde caractéristiques de l'élément recherché. En traversant la flamme, les ondes lumineuses, dont les longueurs d'ondes correspondent à l'élément dosé sont absorbées par les ions existées présentent dans la flamme. L'absorption est mesurée à l'aide d'un prisme dispersif et d'une cellule photoélectrique : elle est directement proportionnelle à la concentration de l'élément. [14]

Lorsque les atomes d'un élément ont été détectés, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de lumière d'une fréquence F bien définie et propre à cet élément dispersé dans une flamme possédant la propriété d'absorber tout rayonnement de même

V.3.2Appareillage

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source, la lampe à cathode creuse, d'un brûleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition (Figure V.2)



Figure V.2: Spectrophotomètre d'adsorption atomique.

V.3.3 Mode opératoire

- Prélèvement des échantillons
 - Séchage à l'étuve (120°C) pendant 24h
 - Broyage (broyeur type 4m 150)
 - Pesée de 1g de chaque échantillon
 - Calcination four à 450°C et creuset porcelaine pendant 6heures.
 - Dissolution des échantillons calcinés dans un bécher de 50ml contenant 10ml d'acide nitrique et 30ml d'eau distillée.
 - Filtration sur un papier filtre.
 - Ajustement du niveau du filtrat à 50ml avec de l'eau distillée.
 - Préparation de l'appareil d'analyse par SAA.
- a- Préparation d'une solution étalon de plomb, de Chrome, de zinc, et de cadmium.
- b-Réglage de l'appareil à la longueur d'onde de 283.2nm
- c- Etalonnage de l'appareil.

L'étude est consacrée à mettre en évidence l'efficacité des deux méthodes : la solidification-stabilisation, et la désorption thermique.

V.4 Contrôle de conformité des deux traitements « stabilisation/solidification, désorption thermique»

V.4.1 Contrôle de conformité du traitement par stabilisation/solidification

1. L'état du site avant et après traitement.

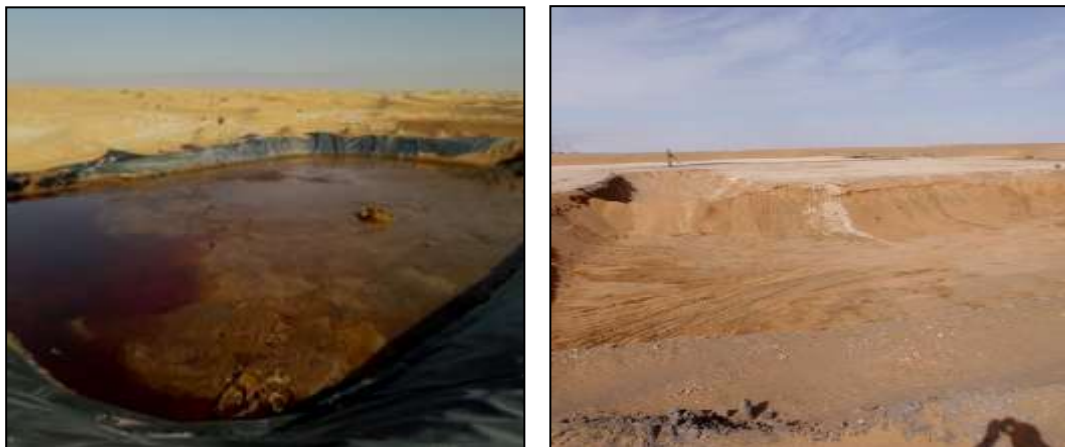


Figure V.3 : Bourbier avant traitement. **Figure V.4:** Bourbier après traitement.

2. Résultats d'analyse de la teneur en hydrocarbures et métaux lourds après traitement effectués par CRD

Tableau V.1: Résultats d'analyses des 2 échantillons de bourbiers avant et après le traitement stabilisation/solidification.

Paramètres	Bourbier 1		Bourbier 2		Méthodes	Norme mg/l
	avant	après	avant	après		
Chrome total (Cr)mg/l	4.4	0.6	3.6	2.3	Absorption atomique	10
Plomb (Pb) mg/l	8.1	1.7	7.3	0	Absorption atomique	10
Zinc (Zn) mg/l	1.9	0.1	6,9	0.3	Absorption atomique	50
Cadmium (Cd) mg/l	3.6	1.2	5	00	Absorption atomique	5
OOO %	8,27	1,83	11,06	3,80	Distillation	<5%

Les autres paramètres ne sont pas mesurés par manque de réactifs

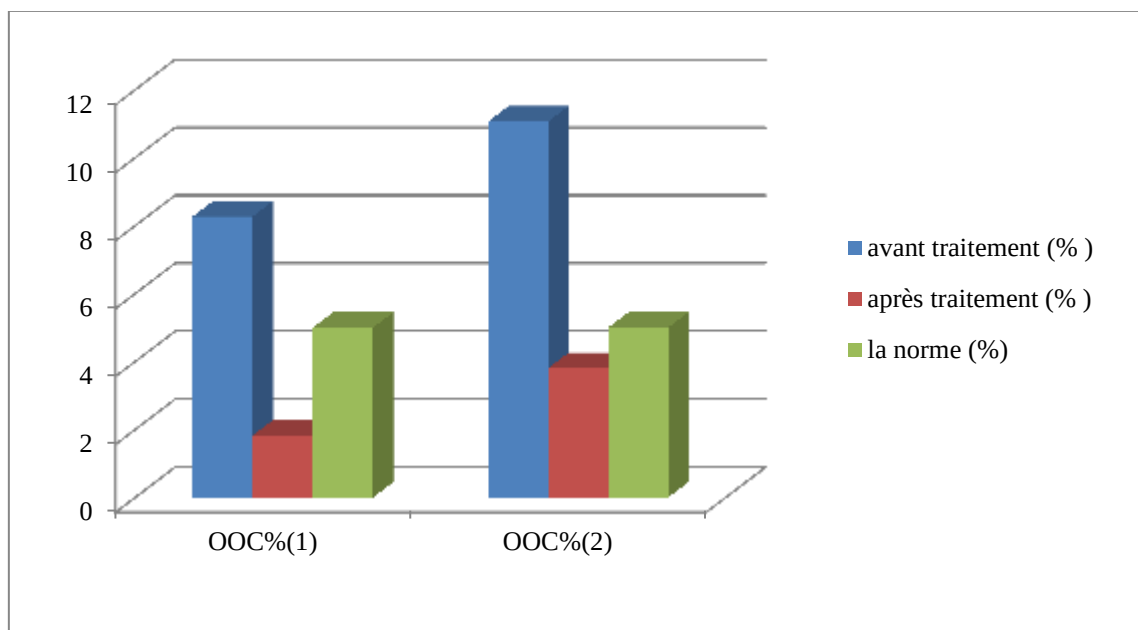


Figure V.5 : Histogramme des résultats d'analyse sur OOC% (bourbier 1 et 2).

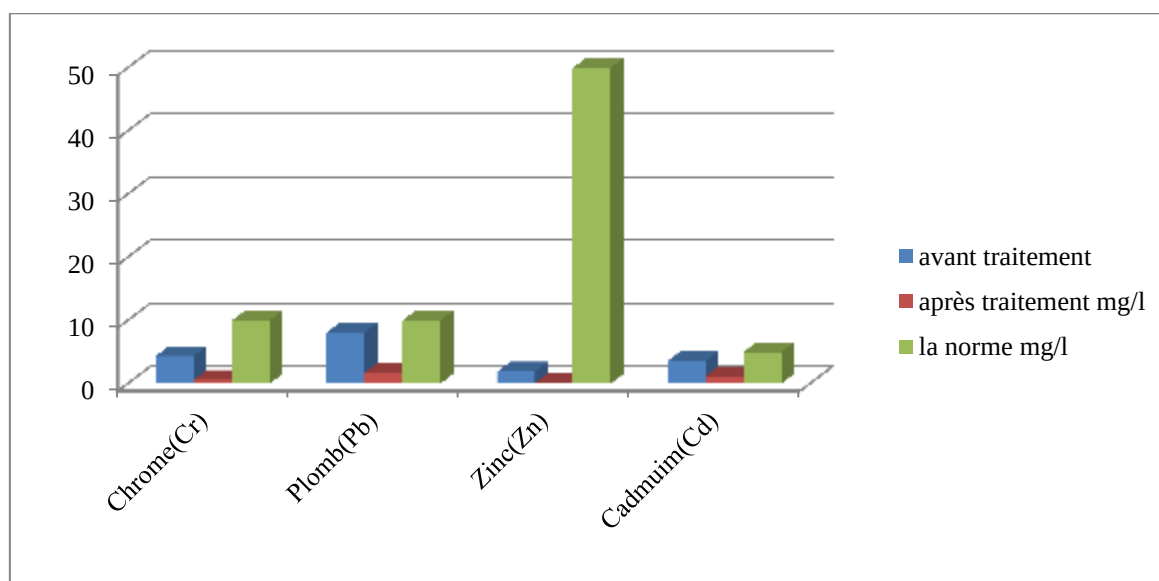


Figure V.6 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bourbier 1).

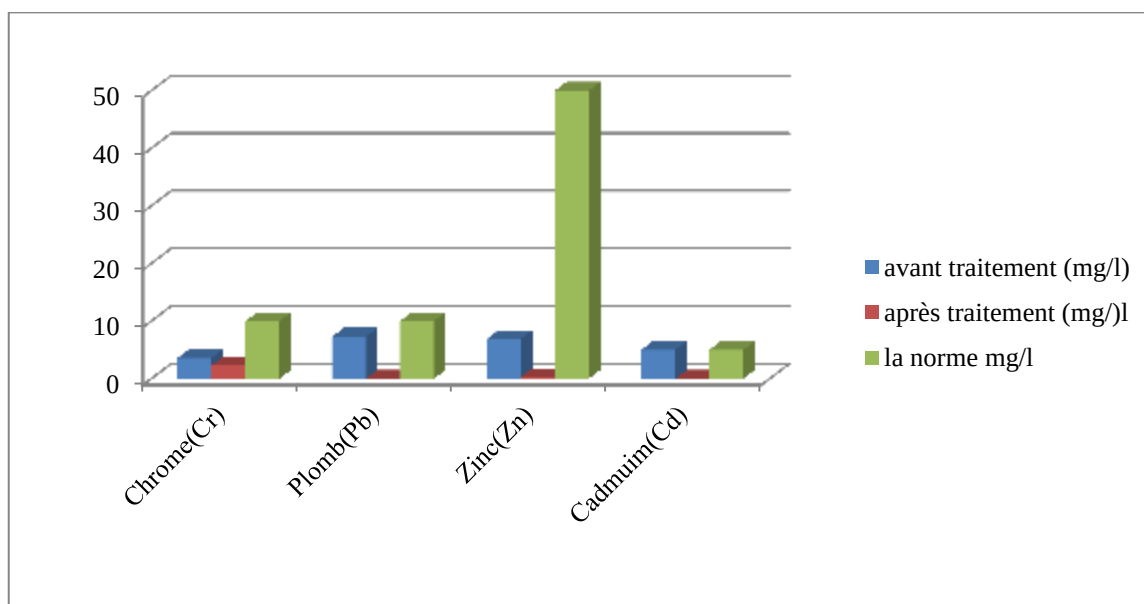


Figure V.7 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bourbier 2).

V.4.2 Contrôle de conformité du traitement par désorption thermique

1. L'état du site après traitement



FigureV.8 : Bourbier avant traitement.



FigureV.9 : Bourbier après traitement.



Figure V.10 : Rejet traité par la désorption thermique.

2. Résultats d'analyse de la teneur en hydrocarbures et métaux lourds après traitement effectués par CRD

Tableau V.2 : Résultats d'analyses des 2 échantillons de borbiers avant et après le traitement désorption thermique.

Paramètres	Borbier 1		Borbier 2		Méthodes	Norme mg/l
	avant	après	avant	après		
Chrome total mg/l	1.1	0	4.4	1.7	Absorption atomique	10
Plomb (Pb) mg/l	8.4	6.3	5.7	4.6	Absorption atomique	10
Zinc (Zn) mg/l	40	14	50	18.6	Absorption atomique	50
Cadmium Cd mg/l	1	1	2.3	1.36	Absorption atomique	5
OOO %	7.5	1,83	6.13	0.45	Distillation	<5%

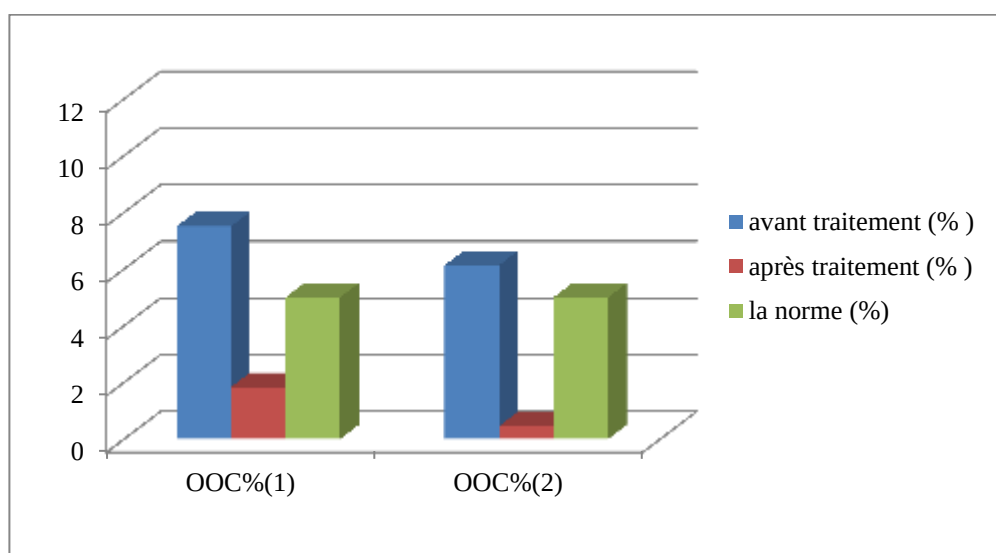


Figure V.11 : Histogramme des résultats d'analyse sur OOC% (bourbier 1 et 2).

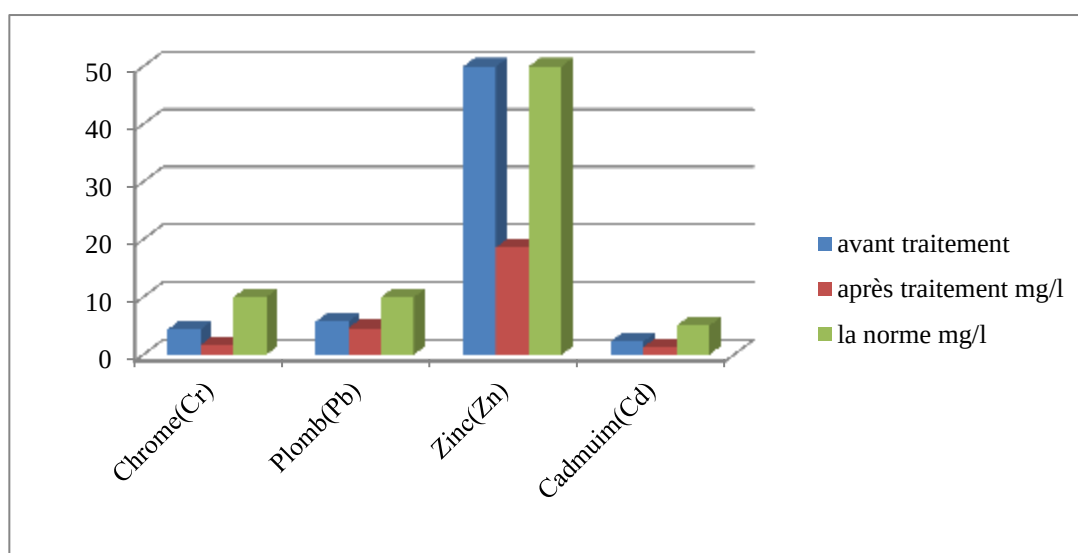


Figure V.12 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bourbier 1).

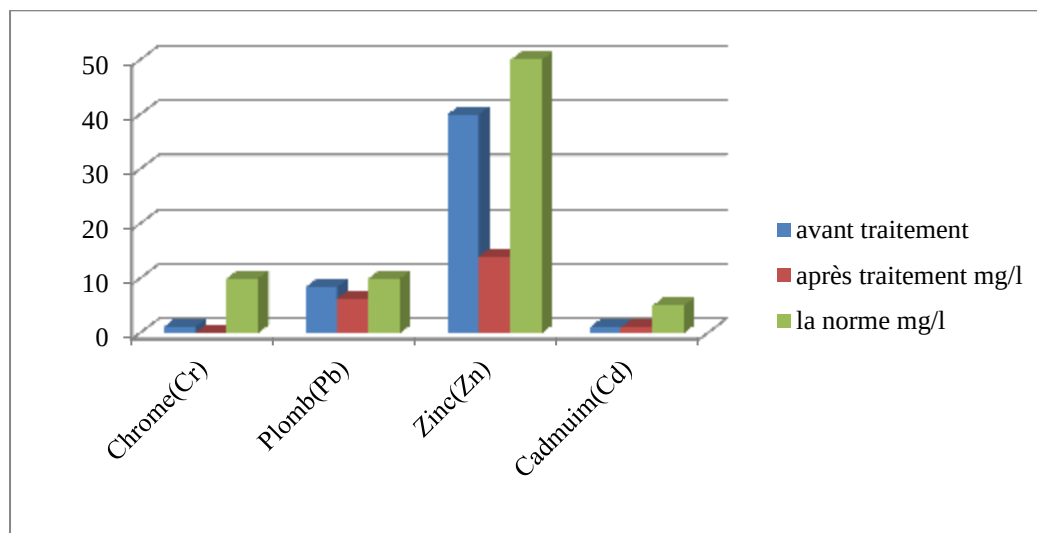


Figure V.13 : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds (bournier 2).

V.5 Interprétation des résultats d'analyse

Le niveau de présence de métaux lourds n'est pas très important dans tous les échantillons des bourniers de forage avant traitement (sous la valeur limite maximale des normes européennes). Par conséquent, la présence de métaux lourds présents dans les déchets de forage ne présente pas un grand impact sur le terrain de Hassi Messaoud.

La basse présence des métaux lourds dans les bourniers de forage est la conséquence de leur réduction, par le traitement stabilisation/solidification comme pour le traitement désorption thermique.

La quantité d'hydrocarbures « oil in cuttings » OOC% est très élevée dans tous les échantillons des bourniers de forage (plus de la valeur maximale limitée par les normes européennes 5%).

La quantité d'hydrocarbures dans les bourniers de forage est réduite par les deux traitements stabilisation/solidification et désorption thermique c'est-à-dire sous la valeur maximale limitée par les normes européennes 5%.

Comme résultats, on peut conclure que les principales questions de résidus de forage à Hassi Messaoud sont la présence d'hydrocarbures et que les traitements utilisés par sonatrach « désorption thermique et stabilisation/solidification » peuvent les réduire.

IV.6 Comparaison de performance entre les deux traitements stabilisation/solidification et désorption thermique

D'après l'analyse des résultats obtenus et plus les données que nous avons collecté sur les deux types de traitement, nous avons réalisé un tableau ou on a comparé les deux méthodes.

Tableau V.3 comparaison de performance entre s /s et désorption thermique

Les paramètres		unités	Stabilization/ Solidification	Désorption thermique	interprétation
- Efficacité	OOC%	%	+	++	Le processus de S/S est plus efficace de désorption thermique en ce qui concerne l'élimination des métaux lourds mais moins efficace dans L'élimination des OOC%.
	Pb	%	++	+	
	Cr	%	++	+	
	Cd	%	++	+	
	Zn	%	++	+	
-Taux de traitement	m ³ /jour	120	80	La S/S a une capacité de traitement plus élevée de celui de la désorption thermique	-Taux de traitement
- Consommation d'énergie	m ³ /24h sur un V traité de 110m ³	0.6	24	La désorption thermique consomme 40 fois d'énergie plus que S/S	-Consommation d'énergie
- Recyclage et récupération	Eau	m ³ sur un V d'eau consommée = 191m ³	0	77	Le procédé de désorption thermique est avantageux que S/S en matière de récupération des eaux et huiles et même du gasoil.
	Huile	m ³ sur un V d'huile consommé = 18000m ³	0	8 000	

	Gasoil	m ³ dans un V consommé de 24m ³	0	14	
-Le coût de traitement		\$	380000,00	760000,00	le coût de traitement du procédé désorption thermique est doublé de celui de S/S
-Emission atmosphérique	So ₂ So ₃ No _x Co	800Mg/Nm ³	0	2.1	Le procédé de S/S n'émit aucune substance dans l'atmosphère donc il est beaucoup plus avantageux du procédé désorption thermique qui émit quelques substances en petites quantités.
		800Mg/Nm ³	0	0.023	
		200Mg/Nm ³	0	0.597	
		150Mg/Nm ³	0	0.14	

V.7 Impacts relevés non traités et mesures proposées pour le traitement

V.7.1 Impacts relevés non traités

- 1) Le pourcentage élevé du OOC dans le wet pit (la décharge des centrifugeuses) rend le traitement difficile avec les procédés actuels;(22% OOC).
- 2) Les chutes des cheptels et des êtres humains dans les boursiers et les rigoles.
- 3) Les boursiers des boues à base d'eau présentent des valeurs élevées de DBO, DCO et MES.
- 4) Perte de contrôle (éruption, fuite de boue, déversements...).

Les émissions atmosphériques (test de puits....).

V.7.2 Techniques ou méthodes proposées**V.7.2.1 Techniques pour résoudre le problème de contamination du sol**

- **Substitution de la boue à base d'huile par une boue à base d'eau**

Lancement d'études sur la possibilité de substitution de l'utilisation de la boue à base d'huile par une boue à base d'eau sur toutes les phases de forage où cette solution est techniquement réalisable;

- **L'utilisation d'autres méthodes de traitement**

Comme nous l'avons cité précédemment, les rejets présents dans le borbier, 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 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). En plus, des exigences économiques et administratives sont à prendre en compte, on propose d'autres méthodes de traitement. [15]

- **TCC**

C'est une technologie et compagnie norvégienne de connaissances visant à définir la norme mondiale pour le traitement des borbures basée sur le pétrole et ces synthétiques avec leurs propres Thermomechanical Cuttings Cleaner (TCC) qui veut dire traitement Thermomécanique des borbiers de forage.

La méthode permet une utilisation sûre et économiquement saine de tous les composants dans les rejets traités. Son principe est le même de celui de désorption thermique, or que cette technologie est mobile ce qui veut dire que c'est l'engin qui se déplace vers le site de traitement (lieu de borbier), cette méthode aussi et beaucoup plus meilleur que celle de la désorption thermique en matière de récupération des huiles.

- Récupérer l'huile de base : Le temps de rétention court dans la Chambre de réaction sécurise la sortie d'huile, avec les mêmes qualités que l'huile de base originale. La réutilisation de cette huile récupérée est prouvée industriellement au cours des années dans

des opérations en Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni et le Kazakhstan.

Tableau V.4 : Paramètres de TCC

Les paramètres	unités	valeurs	interprétation
-Taux de traitement	Tonne/h	3à5 t/h	TCC a une capacité de traitement plus élevée de celui de la désorption thermique et S/S.
- Consommation d'énergie	Electricité KW/j	3984 KW/j	TCC consomme moins que La désorption thermique et plus que s/s.
	Gasoil m ³ /j	1.05 m ³ /j	
- Recyclage et récupération	Gasoil %	99%	TCC est avantageux de S/S en matière de récupération des eaux et même du gasoil.
	Eau %	99%	
-Le cout de traitement	\$/tonne	75/150 \$/tonne	TCC est avantageux de S/S et désorption thermique.
-Emission atmosphérique	/	/	/



FigureV.14 : Unité de traitement TCC.

- **Adsorb oil :**

C'est une technique développée en argentine, qui a pour but d'éviter les incidences sur l'environnement des hydrocarbures dans des travaux d'huile.

Adsorb oil est un chiffon de plume ayant la propriété de retenir l'huile et rejeter l'eau, Son conservation d'hydrocarbure est de 100% efficacité.

L'exécution et la rapidité de ce processus est un comparatif avantageux contre d'autres technologies, particulièrement en tâches d'hygiène, ainsi qu'il y'a pas de machines spéciales requises pour l'installation et le déplacement.

V.8 Conclusion

Notre étude a permis de faire une comparaison de trois différents procédés de traitement des déblais de forage pour en apprécier la plus appropriée .

Confrontées à la constante évolution des législations en matière de protection de l'environnement durant ces dernières années, les mesures relatives aux traitements des rejets industriels n'ont cessé d'orienter vers des techniques d'élimination, de plus en plus adaptées aux impératifs imposés par les normes environnementales, afin de protéger le milieu naturel des préjudices que ces rejets seraient susceptibles de lui porter.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les résultats obtenus au terme de cette étude affirment, que les rejets pétroliers présentent des risques sur l'environnement à cause de leurs compositions qui dépassent les limites maximales conventionnelles par l'état algérien (degré de contamination de ces rejets est d'environ 9 % en huile, donc cette valeur dépasse la valeur 5% sur déchets brut).

D'après l'application des méthodes de traitement on constate que la méthode de solidification est efficace pour le piège des métaux lourds, par contre le traitement thermique est efficace pour la pollution des hydrocarbures (quelques traces).

D'après les résultats on constate que la méthode de solidification n'est pas une solution définitive (selon les forces des compressions libres et humidité qui peut défiger les éléments toxiques donc c'est la filtration de ces éléments toxiques vers la nappe d'eau).

Selon des études qui ont été réalisées par le centre de recherche et de développement de Sonatrach (CRD): La migration des métaux lourds dans les structures géologiques du sud d'Algérie ne dépasse Pas 8 mètres, mais la nappe d'eau dans cette zone est plus profonde

Donc ces techniques ne sont pas à elles seules suffisantes car, ne représentent qu'un moyen de protection et non une fin en soi. Il s'agira en effet d'adapter le principe d'une technologie propre, ayant pour objectif d'inciter les industriels à développer et d'utiliser des procédés qui conduiront à produire des déchets moins abondants plus faciles à éliminer.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Données SONATRACH-Division Forage Département HSE et Programme de forage de puits pétroliers (OMK-572) 2019.

[2] Moussawi M, Bralla M, IAP, 1993 Etude géologique de champ Hassi Messaoud. Thèse de magistère, Ecole d'ingénieur de BOUMERDES.

[3] MAKHLOUFI-N et AMARA-F, 2009 Etude de la vulnérabilité de la nappe phréatique à Hassi Messaoud aux rejets inhérents à l'activité de forage –mémoire de fin d'étude master II. Ecole Nationale Polytechnique.

Données SONATRACH-Division Forage Département Hydrogéologie (manuscrites).

[4] Documents ENSP. Données météorologiques ONM.

[5] Procédés de forage (manuscrit) devisions forage, ,2005.

[6] M. DADOU, 2004 Introduction au forage pétrolier /SONATRACH (polycopie).

[7] Khodja M, 2008 Les fluides de forage : étude des performances et considérations environnementales, Thèse de doctorat, École doctorale : Science des Procédés.

[8] Boukerrou M, 2012 Amélioration des performances des boues de forage, Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique.

[9] Ryaen C. Chillingar V, 1996 drilling fluids: state of the art, journal of petroleum science and engineering vol 14.

[10] Belouchrani R, 2008 Traitement biologique d'un sol contaminé par les HAP, mémoire de magistère, ENSP.

[11] Données de l'administration de SONATRACH-Division Forage 200(rapport de stage & manuscrites).

[12] Chevron Texaco, Mrathon,,septembre 2008. Drilling waste management technology descriptions. Argonne national laboratory, WASHINGTON, USA, septembre.

[13] Guessoum Belkis, 2016. Traitement des déblais de forage contaminés par les hydrocarbures par extraction solide-liquide, mémoire de fin d'étude master II (option génie de l'environnement promotion). Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.

Références bibliographiques

[14]Messaoudi A, Larbi S , 2012 évaluation des impacts de l'activité forage sur le champ de hassi messaoud. Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du master 2 en Génie d'environnement option: génie de l'environnement.L'université M'hamed Bougara – Boumerdes.

[15]Internet «annéemaghreb.revues.org /Scholar.google.fr.» <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/218>.