

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

Département des Sciences de l'Eau et de Environnement



**MEMOIRE DE MASTER**

Filière: **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème:

**Rationalisation des eaux des nappes phréatiques dans un puits  
pétrolier**

Présenté par

**BENYOUCEF AYOUB**

Devant le jury composé de :

Président

Examineur

Examineur

M. BESSENASSE      Professeur, U. de Blida

Promoteur

Promotion 2018/2019

# Remerciements

*En préambule à ce mémoire, je remercie Le Bon Dieu qui m'a aidé et m'a donné la patience et le courage durant ces longues années d'études.*

*Je tiens à remercier sincèrement Monsieur BESSENASSE MOHAMED, mon encadreur, pour ses précieux conseils, ces orientations et sa disponibilité.*

*Mes remerciements s'adressent également au Directeur de la Division forage de SONATRACH, Monsieur KHOURTBI KHALIL et plus particulièrement monsieur BOUTERAA AMRAN ingénieur au niveau de la Direction des Opérations de Hassi-Mesaoud pour son aide ses orientations et son accueil sympathique.*

*J'exprime également mes remerciements aux membres du jury de m'avoir honoré en acceptant d'examiner mon travail.*

*Merci à tous.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans le soutien indéfectible et sans limite de ma chère famille, mes parents mon frère et mes deux petites sœurs, que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma porte pour que je puisse vous combler de bonheur.*

*Je tiens aussi à dédier ce travail et remercier du fond du cœur mes amis, pour leurs appuis et aide tout au long de cette période.*

## الملخص

العمل المقدم في هذه المذكرة يتمحور حول العقلانية في استعمال المياه الجوفية في آبار النفط وكيفية المحافظة عليها. لذلك قامت شركة سوناطراك (قسم التنقيب) بإدراج خدمات للاقتصاد في كمية المياه المستهلكة أثناء الحفر وتسيير مخلفات الحفر. ينتج عن عملية الحفر مخلفات تشكل خطرا حقيقيا للبيئة، ومن الضروري الاهتمام به. سنعرض في هذه المذكرة مختلف الطرق المطبقة من طرف شركة سوناطراك للتعامل مع هذه المخلفات. كذلك توجد تقنيات متعددة للاستعمال العقلاني للمياه والتي سنضرب أمثلة عنها من خلال هذا العمل، مرفقة بتحليل نتيجة تطبيقها في الميدان العملي.

الكلمات المفتاحية العقلانية : المثالية المياه الجوفية : مياه الأرض الباطنية

## Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire porte essentiellement sur la rationalisation en eau et la protection des nappes phréatiques dans les opérations de forage pétrolier. A cet effet, Sonatrach (la division forage) a intégré toute un service afin d'économiser les quantités d'eau utilisées lors du forage et la gestion i ntégrée des rejets de forage.

L'activité forage génère des rejets qui représentent un réel danger pour l'environnement. Il est donc nécessaire de les prendre en charge. Dans ce travail, On va étudier les différentes techniques de traitement de ces rejets appliquées par sonatrach.

Il existe Plusieurs techniques de rationalisation d'eau. Au cours de ce travail, on va illustrer quelqu'unes, et analyser les résultats obtenus avec l'application des ces techniques sur terrain.

Mots clés : rationalisation ; optimisation ; nappe phréatique ; eaux souterraines.

## Abstract

The work presented in this thesis focuses mainly on the rationalization of water and protection of groundwater tables in oil drilling operations. To this effect, Sonatrach (drilling division) has implemented a whole service in order to save on water quantities used for the drilling and manage its wastes.

The drilling operation generates wastes that represent a real danger to the environment, which is why it is necessary to manage them. We will see in this thesis the various techniques of waste treatment applied by Sonatrach.

There are various water rationalization techniques, we will illustrate some of them in this work and analyze the results obtained from their application on the field.

Keywords : rationalization: optimization ; groundwater tables: underground waters.

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	01
------------------------------------	----

## Préface

1. Etude sur l'eau .....	03
2. L'eau en Algérie .....	03
3. Les potentialités globales en eau.....	03
4. L'eau et les activités pétrolières .....	05

## Recherche bibliographique

### Chapitre I : Généralités sur les forages

I. Généralités sur le forage.....	08
I.1 Principe de forage rotary.....	08
I.2 Présentation d'un appareil de forage.....	08
I.3 Architecture d'un puits pétrolier.....	09
I.4 Les fluides de forage.....	10
I.5 Circuit de la boue.....	12

### Chapitre II : Impacts des activités de forage et réglementation

II.1 Impacts de l'activité de forage sur l'environnement .....	14
II.2 Réglementation Algérienne en matière de protection de l'eau et de l'environnement.....	16

## **Chapitre III : Le système Waste Management**

III.1 Introduction .....	18
III.2 Système Waste Management .....	19
III.3 Composants du « waste management system » .....	20

## **Chapitre IV : Plan de gestion des rejets**

IV.1 introduction .....	24
IV.2 Traitements primaires des solides .....	24
IV.3 Traitement tertiaire .....	24
IV.3.1 Stabilisation / Solidification .....	24
IV.3.2 Désorption thermique .....	25

### **Partie pratique**

Rapport de stage .....	29
------------------------	----

## **Chapitre I : Présentation de la zone d'étude**

I.1. Géologie de La zone d'étude .....	32
I.2. Stratigraphie .....	32
I.3 Hydrogéologie de la zone .....	36

## **Chapitre II : Utilisation et origine des eaux dans les forages**

II.1 Utilisation d'eau dans un appareil de forage .....	39
II.2. Utilisation d'eau dans le camp .....	39
II.3 Alimentation des puits pétrolier en eaux .....	41
II.3.1. Alimentation par puits d'eau .....	42
II.3.2- Citernage .....	45

## **Chapitre III : Techniques de rationalisation d'eau**

III.1Le skimmer.....	47
III.2Le Géo-tube.....	51
III.3L'ATC (AUTOMATIC TANK CLEANING).....	54
III.4.Dewatring.....	57

## **Chapitre IV : Etudes comparatives**

Introduction .....	62
IV.1La comparaison entre MD 712 et MDZ 713.....	63
IV.1.1.1Présentation du puits MDZ713.....	63
IV.1.2Présentation du puits MD712 .....	68
IV.1.3 Les quantités d'eau utilisée dans le MD712 et le MDZ713.....	75
IV1.4Conclusion.....	76
IV.2.Comparaison entre NAHSE#1 et ZAS-1 .....	77
IV.2.1 Présentation du puits ZAS-01 .....	77
IV.2.2Présentation du puits NAHSE #1.....	80
IV.2.3Les quantités d'eau utilisée dans le ZAS-1 et le NASHE#1.....	84
IV.2.4Conclusion.....	85
<b>Conclusion et recommandations .....</b>	<b>87</b>

# Liste des photos et figures

## Préface

Figure 1 : Carte des 5 régions de planification hydraulique.....	04
Figure 2 : Les quantités d'eau consommée durant les dernières années.....	05

## Recherche bibliographique

### Chapitre I

Figure I.1 : Schéma descriptif d'un appareil de forage.....	09
Figure I.2 : Coupe technique des différentes phases forées.....	10
Figure I.3 : Circuit de la boue de forage.....	12

### Chapitre II

Figure II.1 : Infiltration vers les nappes phréatiques.....	14
Photo II.1 : Sauvetage d'un chameau noyé dans bourbier.....	16

### Chapitre III

Figure III.1 : Hiérarchie d'action pour le management environnemental des boues de forage.....	18
Figure III.2 : Design du waste management area.....	19
Figure III.3 : Processus de traitement ONLINE.....	21
Photo III.1 : Les trois fosses sur chantier.....	22

### Chapitre IV

Figure IV.1 : Phénomène d'encapsulation.....	25
Figure IV.2 : Schéma du procédé de désorption thermique.....	27

## Partie pratique

### Chapitre I

Figure I.1 : Situation géographique du champ de HASSI MESSAOUD.....	31
Figure I.2 : Contexte géologique du champ de HASSI MESSAOUD.....	32
Figure I.3 : Coupe litho stratigraphique du champ de Hassi.....	36



Figure I.4 : Le Système des Aquifères du Sahara Septentrional.....	37
--------------------------------------------------------------------	----

## **Chapitre II**

Photo. II.1 : La boue dans la phase WBM.....	39
photoII.2 : L'unité de cimentation .....	39
PhotoII.3 : Circuit de refroidissement des pompes.....	40
PhotoII :4 Opérations de nettoyage de l'appareil.....	40
PhotoII.5 : Bac de boue.....	41
Photo II.6 : Un buanderie d'un chantier.....	41
PhotoII.7 : L'utilisation d'eau dans la cuisine.....	42
Photo II.8 : Le bac de stockage dans le rig .....	42
Photo II.9 : Les citernes de Stockage dans le camp.....	42
PhotoII.10 :La conduite d'alimentation en eau .....	43
Photo II.11 : Un puits d'eau.....	43

## **Chapitre III**

PhotoIII.1 : Les rigoles de collection des eaux.....	47
.	
Figure III.1 : Principe du traitement mécanique.....	48
.	
Photo III.2 : Water pit.....	48
photoIII.3 : Skimmer sur élevé.....	49
PhotoIII.4 Pompe diaphragme .....	49
PhotoIII.5 Débitmètre .....	50
Figure III.2 :Position du skimmer sur chantier.....	50
FigureIII.3 : Le processus du traitement.....	51
Figure III.4 : Le mode d'opération du géo-tube.....	52
Figure III.5 : Principe de fonctionnement d'un géo-tube.....	53
Photo III.6 : géo-tube sur chantier.....	53

Photo III.7 : L'appareil de l'ATC.....	54
Photo III.8 : L'outil de nettoyage.....	54
Photo III.9 : Rig vac.....	55
Photo III.10 : Les résultats du nettoyage avec l'ATC.....	56
Photo III.11 : La phase finale du dewatrig.....	57
Figure III.5 : Le circuit fermé du traitement par dewatrig.....	58
Photo III.12 : Localisation de l'unité de dewatrig sur chantier.....	58

## ChapitreIV

Photo IV.1 : MDZ713 durant le forage.....	63
FigureIV.1 : Localisation du MDZ713.....	64
Photo IV.2 : La conduite de transfert d'eau.....	65
Figure IV.2 : La fiche technique du puits d'eau MDH-151.....	65
Figure IV.3 : Localisation duMDZ713 par rapport au MDH151.....	66
Photo IV.3 : Le skimmer dans le MDZ713.....	66
Photo IV.4 : Le borbier du MDZ713 a la fin du forage.....	68
Photo IV.5 : MD712 durant le forage.....	68
Figure IV.4 : Localisation du MD712.....	69
Photo IV.6 : Le puits d'eau MDH-165.....	70
Figure IV.5 : Fiche technique du puits d'eau MDH165.....	70
Figure IV.6 : Localisation duMD712par rapport au MDH165.....	71
Photo IV.7 : Skimmer dans le MD712 .....	71
PhotoIV.8 : L'unité d'ATC dans le MD712.....	71
Photo IV.9 : Le wet pit du MD712 a la fin du forage.....	73
FigureIV.7 : Schéma de la plate forme du MD712.....	74
Figure IV.8 : La différence des consommations d'eau entre MDZ713 et le MD712.....	75
Figure IV.9 :Consommation moyenne journalière entre le MDZ713 et le MD712.....	76

Figure IV. 10 :Localisation du ZAS-1.....	78
FigureIV.11 : Fiche technique du puits d'eau ZAS-1.....	78
FigureIV.12 :Localisation du ZAS-1 par rapport au ZAS-101.....	79
Photo IV.10 : NAHSE#1 durant le forage.....	80
Figure IV.13 : Fiche technique du puits d'eau NAHSE#1.....	82
Figure IV.14 : Localisation du NAHSE#1par rapport au NAHSE-101.....	82
PhotoIV.11 : Les techniques de rationalisations sur le NAHSE#1.....	83
FigureIV.15 : Consommations moyenne journalière entre les puits ZAS-1 et NAHSE#1.....	83

## **Conclusion**

Photo 1 : Les déblais de forage dans la phase WBM.....	87
Photo.2 : Les fuites dans les conduites.....	89

# Liste des tableaux

## Recherche bibliographique

Tableau III.1 : Les produits chimique utilisé.....	59
----------------------------------------------------	----

## Partie pratique

Tableau IV.1 : Données du puits MDZ713.....	64
Tableau IV.2 : Résultat des quantités d'eau consommé.....	67
tableauIII.3 : Consommation moyenne journalière.....	67
TableauIV.4 : Données du puits MD712.....	69
TableauIV.5 : Résultat des quantités d'eau consommé.....	72
TableauIV.6 : Consommation moyenne journalière.....	72
TableauIV.7 : données du puits ZAS-01.....	77
TableauIV.8 : Résultat des quantités d'eau consommé.....	79
Tableau IV.9 : Consommation moyenne journalière.....	80
Tableau IV.10 : Données du puits NAHSE#1.....	81
Tableau IV.11: Résultat des quantités d'eau consommé.....	83
Tableau IV.12 : Les consommations moyennes journalières.....	84
Tableau IV.13 : Les résultats du géo-tube.....	84

## Conclusion

Tableau.1 : Les consommations d'eau estimée.....	88
--------------------------------------------------	----

## Liste des mots clés et des abréviations

- ATC..... Automatic tank cleaning
- Cleaner ..... Nettoyeur
- Cuttings .....Déblai de forage
- Dewatering ..... Déshydratation
- Dry.....Sec
- DTM.....Démontage transport montage
- ENF.....Entreprise nationale de forage
- ENTP.....Entreprise nationale des travaux au puits
- ES..... Enviromental Solutions
- Liner .....Isolant
- Mud .....La boue
- NAHSE..... Nord Ahara Sud-Est
- OBM.....Oil base mud
- Offline .....Après le forage
- OMS.....Organisation mondial de la santé
- Online .....Au coure
- PEHD.....Polythène haute densité
- PIT.....Fosse
- Sonatrach .....Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures.
- SW.....Sud west
- Tank.....Bac
- TD.....La profondeur du puits
- UTM..... Universal Transverse Mercato (Transverse Universelle de Mercator)
- Waste Managment .....Gestion de déchet
- Waste.....Déchet
- Water .....L'eau
- WBM.....Water base mud
- Wet .....Humide
- ZAS..... Zamlet El Arbi Sud

## Introduction générale

Le développement de l'industrie Pétrolière a engendré divers problèmes environnementaux contribuant à la dégradation des écosystèmes naturels à savoir les nappes d'eaux souterraines, la faune et la flore.

Jusqu'à présent, la majorité de l'énergie consommée est une énergie d'origine fossile, fournie principalement, par l'industrie du pétrole. Mais avant d'aboutir à la production du pétrole, il faut réaliser des ouvrages pétroliers (forage). Et comme toute activité, le forage génère l'utilisation d'une grande quantité d'eau et de grandes quantités de rejets dont l'impact sur la ressource en eau et sur l'environnement est considérable.

Comme dans toutes les activités qui existent dans le monde, on ne peut pas faire des actions sans l'utilisation de l'eau.

L'eau est l'un des éléments essentiels dans l'activité du forage, elle est utilisée dans plusieurs opérations et vu la zone d'utilisation (le désert) c'est quelque chose de grande valeur, donc son utilisation doit être rationnelle.

En raison du danger que représentent ces rejets, et la nécessité de préserver la ressource en eau et l'environnement en général de toute dégradation ou contamination, il est indispensable de trouver un moyen de les gérer, au mieux afin d'en limiter les effets néfastes au maximum.

L'Algérie accorde une importance capitale à l'environnement à travers ses participations aux différents forums internationaux, d'où résulte le renforcement de son cadre législatif et réglementaire régissant tous les domaines de la protection de l'environnement.

L'accroissement de la sensibilisation mondiale à la préservation de l'environnement a conduit l'industrie pétrolière à s'adapter aux changements liés aux politiques environnementales. Actuellement les lois nationales sur l'environnement sont appliquées avec rigueur et les sociétés doivent s'adapter et se conformer à ces politiques et à leurs réglementations.

Depuis presque une dizaine d'années, la compagnie nationale SONATRACH (la division forage) a engagé tout un service dans ces chantiers c'est le Waste Management (gestion des déchets), SONATRACH fait appel à des compagnies de service pour but de minimiser les quantités d'eau utilisées lors du forage.

Le plan de Waste Management contient aussi les rejets de fluides de forage issus de différentes opérations de forage stockés dans des bourbiers. Ces déchets sont répertoriés dans la catégorie des déchets spéciaux dangereux selon la réglementation algérienne. C'est pour cela, la division forage a doté tous ses chantiers par package Waste management afin de réduire les rejets à la source.

Chaque compagnie de service a sa propre technique de rationalisation d'eau et de la gestion des rejets. Dans cette étude, nous nous sommes attaché à voir ces techniques et testé leur efficacité sur le terrain et analyser les résultats résidus avec et sans l'application de ces techniques.

La démarche suivie résulte d'une recherche documentaire, visites sur terrains et une exploitation des données.

Ce travail s'est fait sur le champ de Hassi Messaoud, là où se base la plus grande activité des forages pétroliers dans le pays

Notre mémoire est partagé en deux parties une partie de recherche bibliographique et une partie pratique

La première partie contient 4 chapitres :

Généralité sur le forage

Impact de l'activité forage sur l'environnement

Système du waste management

Technique de traitement des rejets de forage

La 2ème partie contient aussi 4 chapitres :

La zone d'étude

L'utilisation et l'origine des eaux dans un puits pétrolier

Les techniques de réutilisation d'eau

Et le dernier chapitre en va faire une étude comparative .

# Préface

## Etude sur l'eau

### Introduction

Il est drôle pour l'humanité de vivre dans cette grande île qu'est la géosphère et de mourir de soif. L'eau nous entoure de partout, mais celle que l'homme considère comme directement utilisable est limitée tenant compte de la géographie, du peuplement et de l'accroissement démographique. Le modèle de développement nous a conduit tout droit vers une crise de pénurie d'eau et de l'environnement. Les écarts entre les potentialités en eau renouvelable et les volumes prélevés s'amenuisent d'année en année. Certaines régions du globe souffrent déjà de cette raréfaction, d'autres demeurent dans une aisance hydraulique pour longtemps. Peut-on penser que l'or bleu serait transféré dans les prochaines années entre les continents comme il se fait de nos jours pour le pétrole ? Ce qui est certain, c'est que la crise de l'eau serait plus dramatique que celle du pétrole. On ne peut pas vivre sans l'eau mais, on peut vivre sans le pétrole. Assisterions-nous à des flux migratoires des populations des régions moins dotées en eau vers les régions plus gâtées ? Ce sont ces scénarios catastrophes qui risquent de se produire si la crise de l'eau s'aggrave, se pérennise et s'élargisse davantage.

### 1/L'eau en Algérie

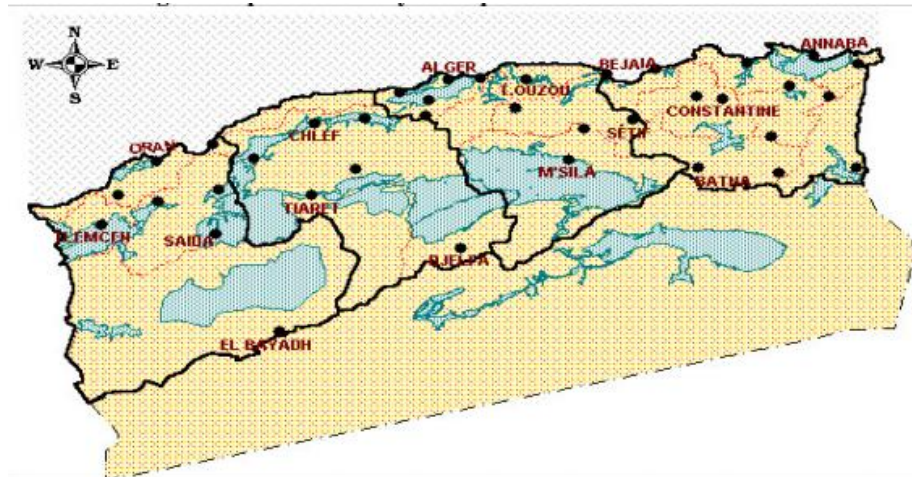
L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m<sup>3</sup>, elle n'était plus que de 720 m<sup>3</sup> en 1990, 680 m<sup>3</sup> en 1995, 630 m<sup>3</sup> en 1998, 500 m<sup>3</sup> elle ne sera que de 430 m<sup>3</sup> en 2020 La disponibilité en eau potable en Algérie en m<sup>3</sup>/Habitant/An dépassera légèrement le seuil des 400 m<sup>3</sup>/ha (norme OMS). La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.[15]

### 2/Les potentialités globales en eau

Les potentialités globales en eau sont évaluées à 19.4 milliards de m<sup>3</sup> /an. Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2 Milliards de m<sup>3</sup>/an. Les ressources superficielles y sont estimées à 12 milliards de m<sup>3</sup> /an.

Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves d'eau y sont très importantes et sont de l'ordre de 60 000 milliards de m<sup>3</sup> dont 40 000 milliards sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable.





**Figure 1 :Carte des 5 régions de planification hydraulique[17]**

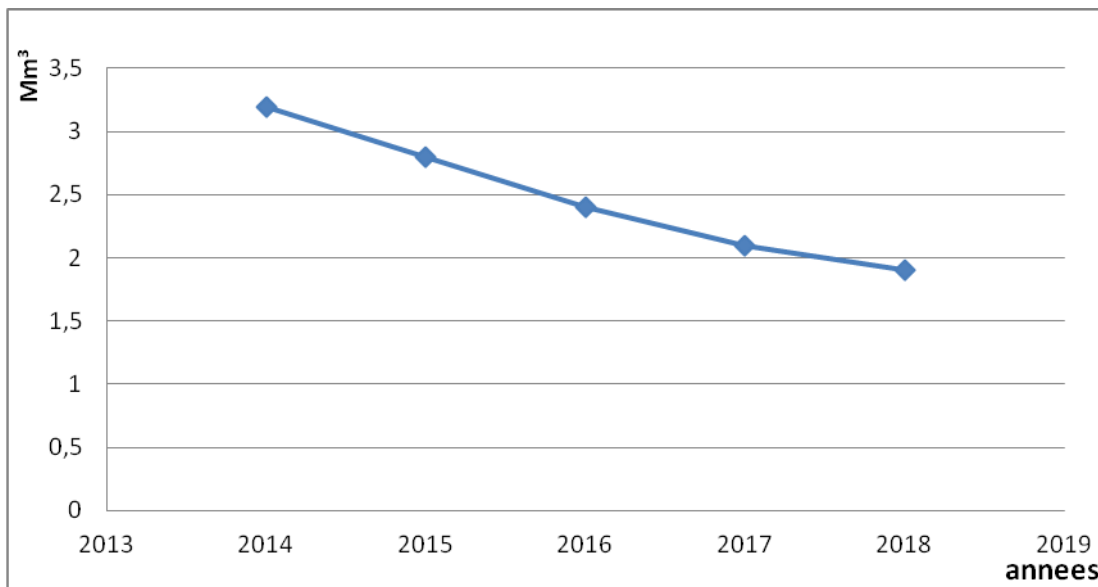
Le sud de l'Algérie est plutôt plus riche en ressource d'eau qu'au nord(les eaux souterraine), il y a des ressources qui sont renouvelables et d'autres, qui ne sont pas renouvelables avec les activités industrielles qui se base au sud de l'Algérie, il peut avoir une grande possibilité de pollution des ressources [17]

### 3/L'eau et les activités pétrolières

L'eau est essentielle à la production des carburants. Dans un contexte de très fortes pressions environnementales, énergétiques et sociétales incluant la nécessité de la protection de la ressource en eau, la gestion de l'eau est devenue un enjeu majeur pour l'industrie pétrolière. Ces préoccupations sont largement prises en compte dans les programmes de gestion intégrée de l'eau qui ont été mis en place, à la fois en production. Ces programmes visent à limiter les rejets et les émissions et à minimiser les apports d'eau.

En Algérie dans ces dernières années, SONATRACH (la division forage) a instauré des lois strictes concernant la consommation d'eau et la protection des ressources.

Ce graphe nous montre les quantités d'eau consommées par an dans une moyenne de 120 puits forés par an [24]



**Figure 2 : Les quantités d'eau consommée durant les dernières années**

Ce graphe nous montre la vaillance des efforts parcourus par la division forage en matière de rationalisation des quantités d'eau, en 2014 la quantité été de 3.2Mm<sup>3</sup> jusqu'au 2018 avec une quantité de 1.9 Mm<sup>3</sup> avec le même nombre de puits forés par an.

# Recherche bibliographique

# Chapitre I

Généralité sur le forage

### **I .Généralités sur les forages**

Les techniques de forage sont différentes et nombreuses. Elles permettent de creuser un puits jusqu'à des profondeurs importantes afin d'extraire les réserves pétrolières et gazières qui peuvent être contenues dans les roches poreuses et perméables du sous-sol. Les puits sont forés verticalement, mais parfois ils doivent être forés avec une déviation de la verticale afin d'atteindre les cibles. Dans ce cas on parle de forage dévié ou dirigé.[12]

#### **I.1 Principe de forage rotary**

Le forage rotary est l'une des techniques de forage procédé en Algérie. Il s'agit d'une rotation de l'outil depuis la surface du sol jusqu'au réservoir par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par érosion et broyage du terrain sans choc, mais uniquement par rotation et translation. Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids appliqué sur l'outil. Les déblais (cuttings) sont entraînés vers la surface par la circulation de fluide de forage. Il existe deux types de forage :

- Le forage d'exploration inclue les opérations de forage permettant de déterminer la présence potentiel ou non d'un gisement d'hydrocarbures.
- Le forage de développement inclue les opérations de forage une fois qu'un gisement d'hydrocarbure a été découvert et délimité.[12]

#### **I.2 Présentation d'un appareil de forage**

La plate-forme d'un chantier de forage est conçue selon un plan architectural standard, l'appareil de forage est installée au milieu de Rig site et constituée de trois partie principales ; le mât, le plancher et la substructure.

Le fonctionnement d'un appareil de forage est régi par cinq systèmes fondamentaux :

- \_Système de levage (Hoisting system)
- \_Système de rotation (Rotating system) -
- \_Système de circulation
- \_Système des obturateurs
- \_Système de puissance (power system).[12]

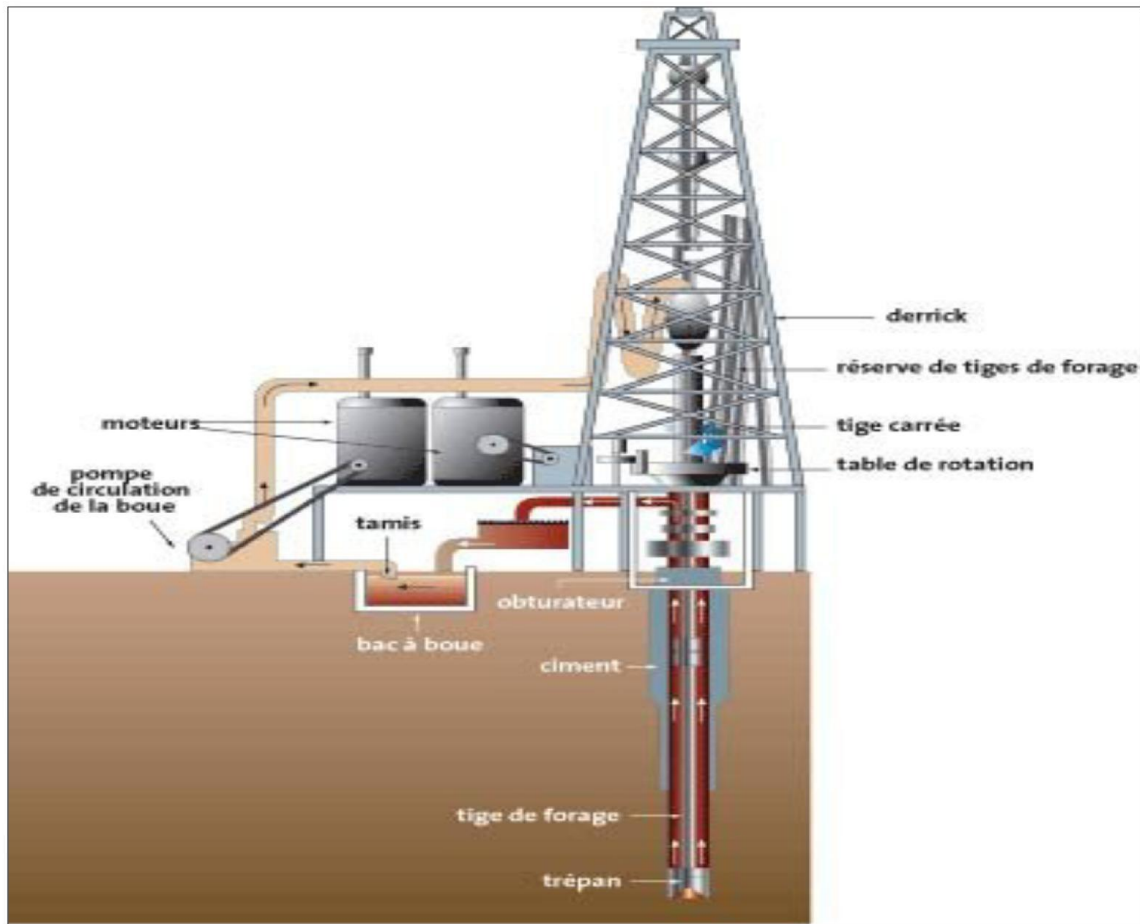


Figure I.1 : Schéma descriptif d'un appareil de forage.[12]

### I.3 Architecture d'un puits pétrolier

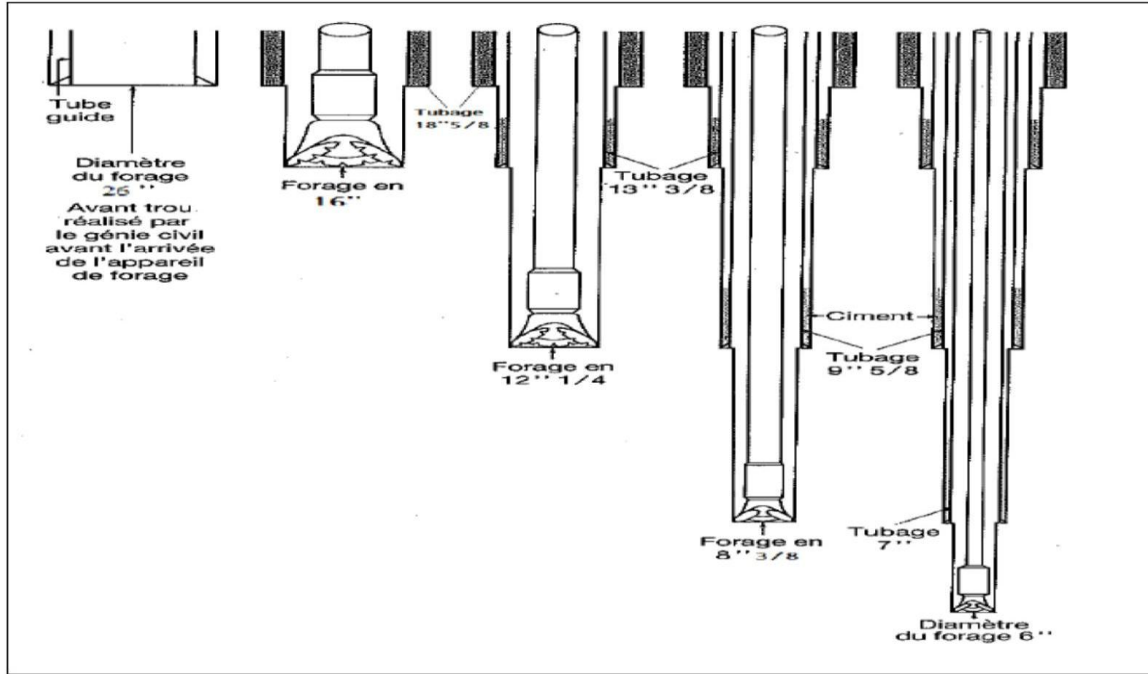
Le forage d'un puits pétrolier est effectué par plusieurs sections successives, de diamètres de plus en plus petits jusqu'à l'arrivée à la profondeur désirée et qui peut varier de quelques centaines de mètres à plus de 6000 m (selon le programme de forage).

Entre chaque phase de forage le trou est tubé, c'est-à-dire cuvelé par une colonne de tubes en acier communément appelé tubage (casing). Cette colonne de tubage est ensuite cimentée. La succession des tubages cimentés sert à couvrir les parois de puits pour plusieurs raisons parmi lesquelles on cite :

- Empêcher l'éboulement des parois ;
- Assurer un passage étanche jusqu'au réservoir ;
- Isoler les couches superficielles qui contiennent de l'eau ;

- Supporter la tête de puits.

La figure suivante montre les différentes phases forées avec le tubage correspondant :[12]



**Figure I.2 : Coupe technique des différentes phases forées.[12]**

### I.4 Les fluides de forage

La boue est un élément fondamental dans le forage. Elle est composée de plusieurs combinaisons liquides contenant des additifs minérales ou organiques. Elle a des rôles multiples pendant le forage, nous citons les plus importants d'entre eux :

- Nettoie le puits et assure la remonté des déblais de fond de puits jusqu'à la surface grâce à la circulation de ce fluide visqueux dans l'espace annulaire ;
- Maintenir les déblais en suspension et empêche leur sédimentation en cas d'un arrêt de circulation et permet le redémarrage de forage sans coincement ;
- Refroidir et lubrifier l'outil pour éviter l'usure rapide des pièces métalliques en mouvement ;
- Garder la stabilité de puits et empêcher l'effondrement de ses parois grâce à la pression hydrostatique de fluide en écoulement qui doit être légèrement supérieure à la pression de la formation ;
- Permettre de contrôler les venues des fluides à partir des formations traversées

- Former un cake de filtration qui sert à réduire la perméabilité des parois et par la suite isoler le fluide de forage des formations traversées.[13]

### **I.4.1 Type des boues de forage**

Les fluides de forage sont classés en trois types selon le fluide de base utilisé dans leur préparation, on distingue :

#### **I.4.1.1 La boue à base d'eau (Water Based Mud)**

Elle est utilisée pendant le forage des premières phases (36'' et 26''). Elle est constituée par des suspensions de bentonites dans l'eau (30 – 60g/L) plus des polymères pour ajuster ses caractéristiques rhéologiques et de filtration. Sa formulation dépend des caractéristiques de la formation traversée, pour cela on distingue les catégories suivantes :

- Boue douce (bentonitique) : sa teneur en Chlorure de sodium NaCl ne dépasse pas quelques grammes par litre et la concentration de la bentonite est de 30 à 70 kg/m<sup>3</sup> ;
- Boue salée : où la concentration de NaCl peut être de l'ordre de quelques dizaines par litre jusqu'à la saturation. Elle est utilisée dans les zones salifères pour éviter le cavage.
- La boue KCl : c'est une nouvelle formulation de boue où le KCl joue le rôle d'un agent inhibiteur de gonflement et de dispersion des argiles.

Ces fluides sont moins coûteux et moins polluants cependant la dégradation thermique des polymères utilisés dans ces formulations présente un inconvénient majeur pour le bon déroulement de l'opération de forage.[13]

#### **I.4.1. 2 La boue à base d'huile (Oil Base Mud)**

Par définition les fluides de forage à base d'huile sont des émulsions inverses dont la phase continue est une huile organique ou minérale et la phase dispersée est une solution aqueuse. Elle garde l'avantage d'une phase externe constituée par l'huile. Elle est utilisée pour forer la phase 16'' jusqu'à la phase de réservoir. La boue huileuse est la plus utilisée dans le champ de Hassi Messaoud, pour les raisons suivantes :

Elle n'est pas réactive avec les roches rencontrées



Réduit le frottement de la garniture avec les parois de puits.

Les caractéristiques rhéologiques et thixotropiques sont ajustées par l'ajout de plusieurs additifs, généralement des agents viscosifiants, émulsifiants, stabilisants, fluidifiants et alourdissant. Ce type de fluide de forage pose des problèmes écologiques, il peut contaminer le laitier de ciment comme il est très coûteux.[13]

### 1.5 Circuit de la boue

Pendant l'opération de forage, la boue est aspirée à partir des bacs actifs à l'aide d'une pompe hydraulique. Le fluide injecté à l'intérieure tige passe par des orifices de l'outil et remonte jusqu'à la surface à travers l'espace annulaire. La boue chargée des déblais (cuttings) est ensuite dirigée vers le Mud box ensuite les tamis vibrants (shale shakers) à travers une grande conduite appelée la goulotte (flowline). Les tamis retiennent les particules grossières et faire passer la boue dans les bacs de décantation ensuite passe par des hydrocyclones pour éliminer le sable (desander) et le silt (desilter). Enfin la boue traitée retourne dans les bacs actifs pour un autre pompage.[13]

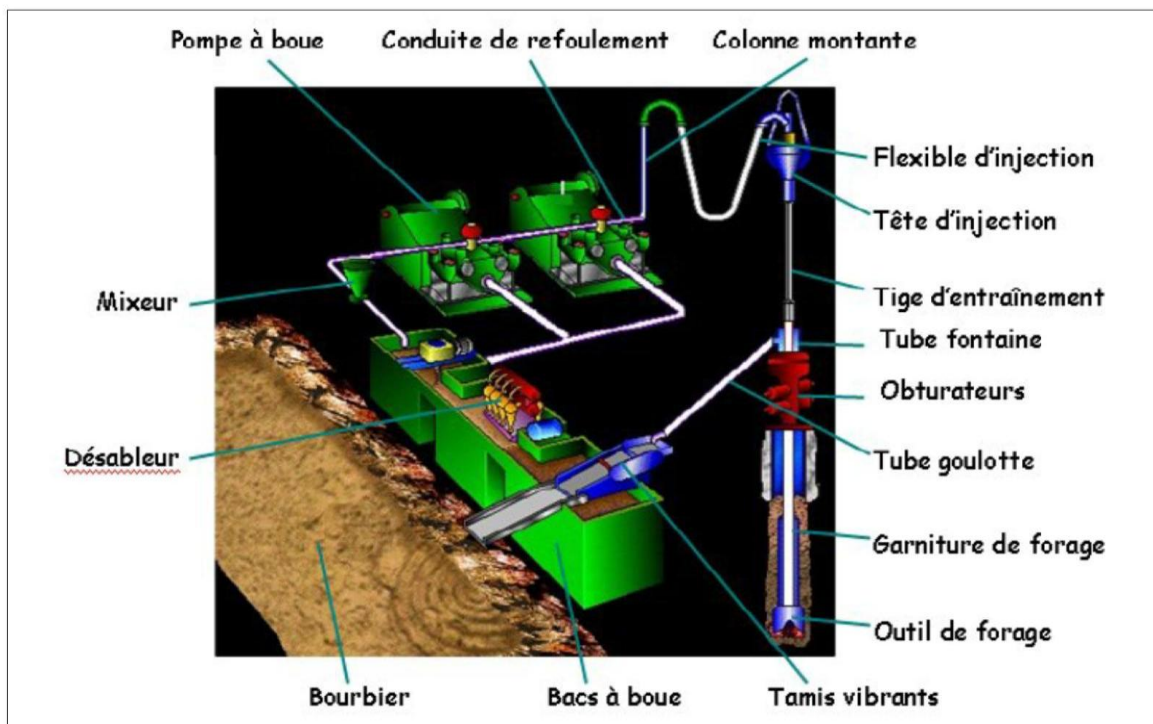


Figure I.3 : Circuit de la boue de forage.[13]

# Chapitre II

## **Impacts et réglementation**

## II. Impacts des activités de forage et réglementation

Les différentes phases de l'activité de forage d'un puits pétrolier, régénèrent en surface des rejets liquides et solides notamment les déblais de forage, engendrant potentiellement trois types de pollution des ressources superficielles et souterraines dont

### .II.1.1 Impact des rejets de forage sur les ressources hydrogéologiques :

Parmi les impacts des rejets de forage, le plus important affecte les ressources hydrogéologiques.

Le volume de déblais ainsi que le volume de boue se retrouvant dans le bournier est très important.

Ces déblais et cette boue arrivent au bournier grâce à des jets d'eau, c'est justement cette eau qui constitue un grand risque, car l'eau par lessivage va entraîner les hydrocarbures qui composent la boue à base d'huile et va s'infiltrer vers les couches souterraines où se trouvent les nappes phréatiques.

Le niveau piézométrique varie en fonction de la morphologie du relief, ce qui fait qu'en certains endroits, la profondeur de la nappe n'est que de quelques mètres, ce qui rend le risque de contamination plus que probable

Le schéma ci-dessous (représente un bournier ainsi que l'infiltration vers les nappes phréatique[7])

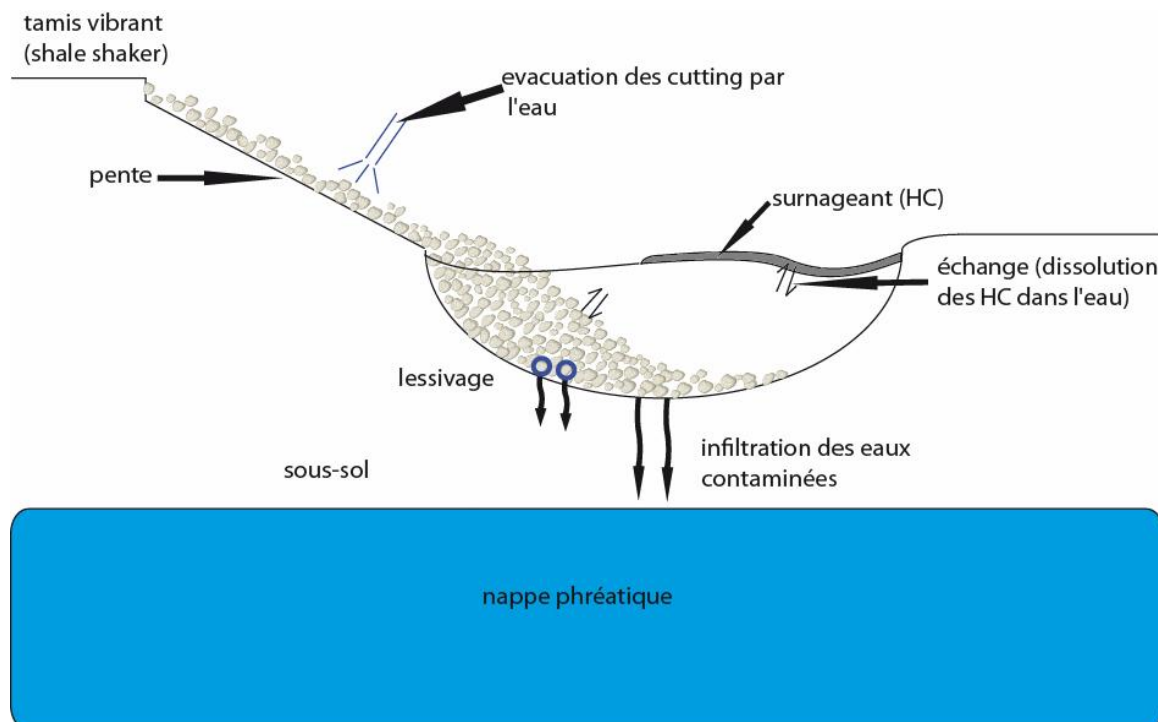


Figure II.1 : Infiltration vers les nappes phréatiques [7]

### **II.1.2 Impact sur le sol :**

Les sols sont considérablement affectés par le déversement d'huile.

Les sous activités susceptibles d'avoir un impact significatif sur le sol sont :

- le dégagement des sols ;
- la mise à niveau ;
- l'excavation du puits ;
- la construction de routes ;

Ces activités ont causés le terrassement et la perturbation des sols, la contamination des sols à partir de divers polluants utilisés dans le processus de forage.

L'impact global est susceptible d'être temporaire car le sol récupère dans un temps raisonnable.[7]

### **II.1.3 Impact des activités de forage sur la flore et la faune :**

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

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

Le borbier peut aussi représenter un danger pour les animaux, en effet après avoir fini le forage du puits et l'avoir mis en production l'appareil est démonté et évacué, il ne reste que le borbier en attente d'être traité qui constitue un piège pour les animaux.[7]

La photo ci-dessous montre le sauvetage d'un chameau bloqué dans un borbier



**Photo II.1 : Sauvetage d'un chameau noyé dans borbier[7]**

### **II.2 Réglementation Algérienne en matière de protection de l'eau et de l'environnement**

L'Algérie figure parmi les pays qui ont accordé une importance capitale à l'eau et à l'environnement et elle le considère comme un droit constitutionnel. En effet un arsenal juridique a couvert pratiquement tous les domaines de l'environnement en général et plus particulièrement la protection de ce dernier dans le cadre du développement durable (la gestion des déchets solides, les effluents liquides, la pollution marine, les nuisances sonores, la pollution atmosphérique etc.).

Les principales législations qui régissent la réglementation Algérienne en matière de protection de l'environnement sont :

#### **4.1 La loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable :**

Cette loi a abrogé la précédente loi 83-03 datant du 5 février 1983 et a introduit dans la législation Algérienne quelques principes environnementaux de base:

Principe de Précaution,

- Préservation de l'environnement et réduction de toutes sortes de pollution,
- Principe de pollueur-payeur,
- Réduction des impacts environnementaux de préférence à la source,
- Préservation de la biodiversité.

Elle traite aussi des :

- obligations environnementales dont les systèmes d'évaluation des indices
- environnementaux des projets de développement (études d'impacts sur l'environnement).
- Établissements classés
- Aires protégées
- Protection de l'air et de l'atmosphère
- Protection de l'eau et des milieux aquatiques
- Protection de la terre et du sous-sol
- Protection des milieux désertiques
- Protection contre les substances chimiques
- Protection contre les nuisances acoustiques
- Dispositions pénales (sanctions)[23]

# Chapitre III

## Le système Waste Management

### III. Le système Waste Management

#### III.1 Introduction

La gestion des issues des activités de forage qu'il s'agisse de fluides usés, d'eaux huileuse et de déblais de forage, passe par toute une démarche environnementale qui intègre :

- L'aménagement du site et de l'appareil de forage ;
- La protection des eaux de surface et souterraines ;
- Le choix des fluides de forage ;
- La réduction des volumes d'effluents à la source :
  - l'économie d'eau,
  - le recyclage des fluides,
  - la séparation du « solides/liquides » ;
- Traitement des déblais ;
- La mise en place de procédures opératoire adaptées ;
- La sensibilisation et la formation du personnel.

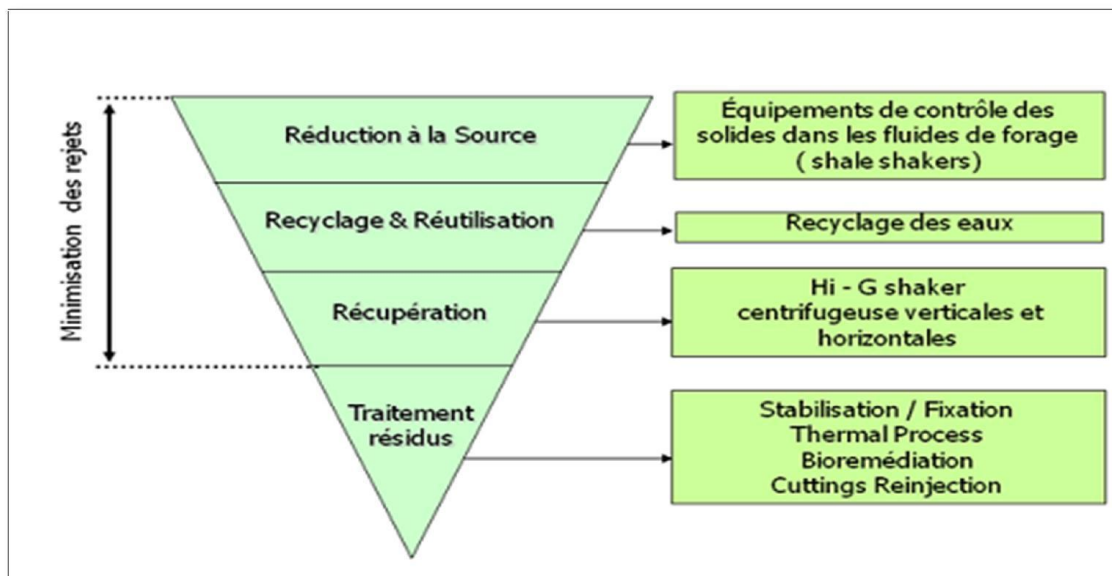


Figure III.1: Hiérarchie d'action pour le management environnemental des boues de forage.[22]

### III.2 Système Waste Management

Depuis l'intégration du système waste management, les bourniers conventionnels ont été remplacés par trois compartiments en plus des modifications ont été apportées à la plate-forme de forage.

Au niveau de la plate-forme de forage se trouve des rigoles qui permettent de collecter les eaux usées et de les acheminer vers le corral pit. Ce dernier est relié au water pit par une excavation creusée. Durant les phases forées par la boue à base d'eau « WBM », le déplacement des déblais proviennent des tamis vibrants se fait par gravité. A la fin de forage de la section « WBM », l'excavation sera fermée pour éviter la contamination du water pit par la boue à base d'huile « OBM »

Avant d'entamer le forage avec une boue à base d'huile « OBM », tous les équipements waste management doivent être montés et testés. Les deux vis convoyeuses « Auger » sont installées respectivement en dessous des tamis vibrants et mud cleaner pour collecter et transporter les déblais vers la troisième vis convoyeuse qui achemine les déblais vers le dryer.[22]



Figure.III 2 : Design du waste management area.[22]



### III.2.1 Objectifs du système waste management

Ce procédé a pour objectifs

- La réduction de pourcentage des huiles sur les déblais en aval du « drying process » qui est  $\leq 5\%$ .
- La récupération des volumes de fluide de forage ainsi extraits.
- L'optimisation de la consommation d'eau industrielle.
- L'étanchéité des compartiments de borbier (dry waste pit et wet waste pit) par une membrane en Polyéthylène à Haute densité (HDPE).[22]

### III.3 Composants du « waste management system »

Il se compose de trois parties majeures :

#### III.3.1 Drying process (séchage des déblais de forage)

Les équipements utilisés pour cette prestation sont :

- Dryer (Centrifugeuse verticale) ;
- Centrifugeuse horizontale ;
- Auger (Vis-convoyeuse) ;
- Three side tank ;
- Catch tank ;
- Pompes et flexibles.

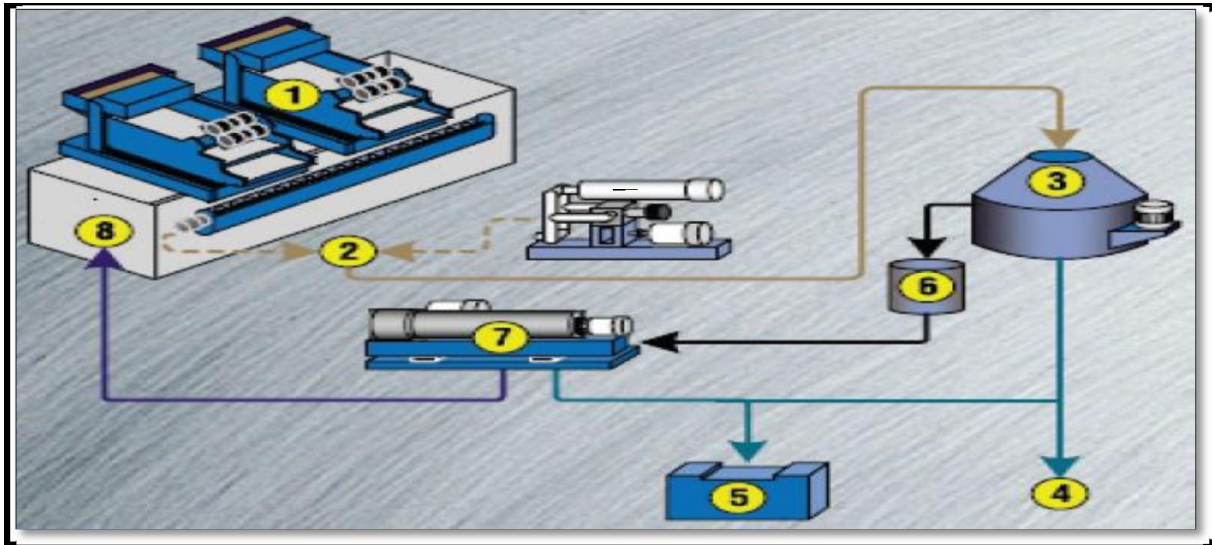
#### III.3.1.1 Description du procédé

L'épuration mécanique de fluide de forage génère des solides enrobés d'huile, le pourcentage de OO% en aval des tamis vibrants sur les différents puits de forage est estimé de 40% à 50%.

La fraction solide séparée à partir des tamis vibrants et le Mud Cleaner est acheminée vers le dryer à l'aide des vis convoyeuses. Les déblais sont séparés de l'huile grâce à une vitesse différentielle élevée qui permet d'avoir des déblais à l'état sec (dry cuttings) à la sortie de dryer ; ensuite ils sont acheminés vers le dry pit par un retro chargeur. Le pourcentage d'huile sur les déblais, en aval de Drying Process, doit être  $\leq 5\%$ .

Les volumes de fluide de forage récupérés en aval du Drying process sont réinjectés dans le circuit boue après d'avoir réajusté les paramètres et débarrassés des LGS. Les LGS

provenant de la centrifugeuse horizontale sont rejetées dans le wet waste pit.[14]



**Figure III.3 : Processus de traitement ONLINE.[14]**

### III.3.2 Le recyclage et la réutilisation des eaux

On utilise des techniques de récupération et de rationalisation d'eau pour ensuite la réutiliser dans d'autres usages.

### III.3.3 Waste ségrégation et pit liner

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

- Water Waste pit : destiné pour les rejets issus du forage par une boue à base d'eau ;
- Wet Waste pit : destiné pour les rejets issus du forage par une boue à base d'huile (wet cuttings) ;
- Dry Waste pit : stockage de déblais traités par dryer.
- Les deux borbiers « dry pit et le wet pit » doivent être couverts d'une géomembrane étanche en Polyéthylène Haute Densité (HDPE), fabriquée en une seule pièce.[22]



**Water pit**



**dry pit**



**Wet pit**

**Photo III.1 : Photo des trois fosses sur chantier [photo prise le 17/03/2019]**

### **III.3.3.1 Caractéristiques du pit Liner**

- Le pit liner doit répondre aux spécifications suivantes :
- Liner en polyéthylène Haute Densité (HDPE),
- Surface globale minimale : 50m × 25m,
- Etre manufacturé et livré en une seule pièce,
- Facilement déployable,
- Stabilité vis-à-vis de l'action des ULTRAVIOLET,
- Résistant à la température (- 20°C à 80°C),
- Résistant à l'action du Gasoil Algérien (Garantie exigée),
- Résistant à l'étirement et à la ponction
- Conductivité hydraulique < 10<sup>-9</sup> m/s.[22]

# Chapitre IV

## **Plan de gestion des rejets**

### **IV Plan de gestion des rejets**

#### **IV.1 introduction**

Le traitement des déblais et boues usées de forage est l'étape la plus délicate et la plus importante au regard des volumes de ces rejets qui constituent l'impact environnemental négatif le plus significatif.

Le procédé de traitement appliqué actuellement par SONATRACH consiste en :

- Un traitement primaire (équipements d'épuration de la boue)
- Un traitement tertiaire pour gérer les déblais et boues qui se trouvent dans le borbier

#### **IV.2 Traitements primaires des solides (traitement on line) :**

Le traitement primaire des solides communément appelé traitement mécanique est le processus basique effectué pour l'épuration des boues de forage à base d'huile qui seront par la suite réutilisées (la boue à base d'eau usée n'étant pas réutilisée, est directement rejetée vers le borbier). Selon l'emplacement, le système de boue et la géométrie du puits, on aura besoin d'un ou plusieurs tamis vibrants, dessableurs, mud cleaner et centrifugeuses. L'épuration mécanique consiste en une batterie d'équipements avec des principes de fonctionnement plus ou moins similaires :

- En premier lieu, les tamis vibrants qui constituent le premier maillon de la chaîne de traitement. La boue passe au travers de toiles de façon à lui soustraire les particules les plus grosses qui seront acheminées vers le borbier. L'efficacité des tamis vibrants dépend de la fréquence et de l'amplitude de vibration, les grosseurs des mailles ainsi que le débit des déblais arrivant sur les toiles.
- La boue récupérée passe après par le dessableur qui est un hydrocyclone. Le fluide pompé sous pression, est envoyé tangentiellement sur une partie cylindrique fixe ou sa vitesse  $V$  se transforme en vitesse angulaire  $W$ . Cette partie cylindrique est raccordée à une partie conique, l'effluent lourd se déversant au bas du cône, le léger vers le haut.
- Du dessableur la boue passe au mud cleaner, il s'agit d'un appareil combinant l'hydrocyclonage et le tamisage.
- La dernière étape d'épuration mécanique est le passage de la boue à travers la centrifugeuse, elle se dirigera ensuite vers les bassins de circulation pour être réutilisée. [14]

#### **IV.3 Traitement tertiaire (traitement off line) :**

Les rejets (boues à base d'eau, déblais contaminés, boue à base d'huile et l'eau) se retrouvent dans le borbier. A la fin du forage le traitement de ces rejets est effectué selon deux méthodes. [14]

##### **IV.3.1 Stabilisation / Solidification (traitement physico-chimique) :**

-La stabilisation est une technique qui permet de rendre les contaminants sous une forme moins toxiques.

Cette étape ne change pas forcément les propriétés physiques des déblais.

-La solidification est une opération qui transforme les déblais en un solide c'est-à-dire bloquer définitivement les polluants actifs des déblais de forage en utilisant un liant hydraulique qui est un produit chimique dilué dans l'eau et qui se compose de silicate de sodium ( $\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ )

et de ciment, leurs concentration sont respectivement 8 kg de silicate et 180 kg de ciment pour 1 m cube de déblais.

Le silicate donne un précipité insoluble lorsqu'il réagit avec une action polyvalente tel que : calcium, magnésium et ces derniers forment un film imperméable autour des particules du solide, aussi en présence de métaux lourds ils donnent un précipité insoluble.

Le ciment enrobe et renforce la qualité du film de silicate suite à la réaction chimique avec le calcium libéré. Le ciment utilisé réagit avec le calcium pour obtenir un produit silicate insoluble. A la fin de cette opération et avec le temps ce mélange devient solide et dur, c'est ce qui forme un produit stable et inerte.[14]

### IV.3.1.1 But de traitement

- l' amélioration des possibilités de manutention et des propriétés physiques du rejet.
- la limitation de la solubilité et de la mobilité des constituants.
- la réduction au maximum le contact entre les déblais et l'environnement.

La figure décrit le phénomène d'encapsulation

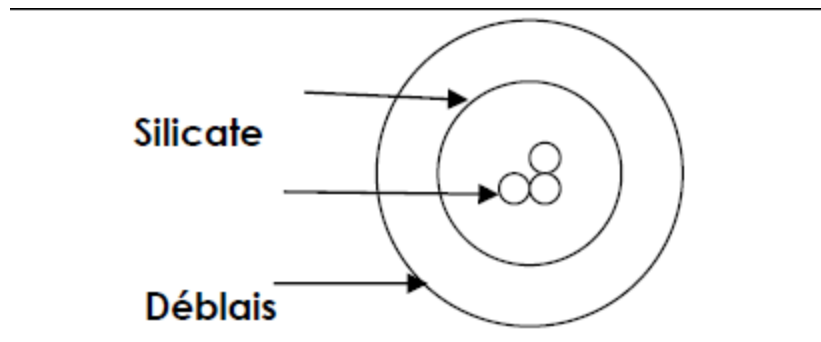


Figure IV.1 : Phénomène d'encapsulation[14]

### IV.3.1.2 Fonctionnement du procédé :

Les déblais sont acheminés vers une trémie du malaxeur à travers une grille pour éliminer les gros éléments (Pierre), ensuite ils sont déversés dans le mixeur où il y aura après un mélange de ciment, silicate et eau. Ce mélange est mixé environ 15 minutes puis évacué à l'aide d'un convoyeur pour l'éloigner du site, à la fin on obtient des rejets solides qui sont stockés dans une fosse.

#### • **Avantage :**

-Bonne fixation de métaux lourds

#### • **Inconvénient :**

- déblais sous forme de dalles de bloc solide
- impacts (agression) visuels.

Malgré toutes ces procédures on peut dire que ce traitement n'est pas efficace à 100 % car après une dizaine d'années les deux films qui enrobent le cuttings seront dégradé d' où libération de ses constituants (hydrocarbures et métaux lourds), donc c'est un traitement temporaire.[14]

### **IV.3.2 Désorption thermique :**

La désorption thermique explicitée en figure consiste en l'extraction des polluants adsorbés par les déblais, sous l'action de la chaleur (de 250 à 600° Celsius).

Les déblais sont introduits dans un désorbeur qui va assurer le transfert physique des polluants, de la phase liquide vers la phase vapeur. Nous obtiendrons deux produits :

- les déblais, qui, une fois refroidis et humidifiés, peuvent être mis sur le site d'origine ou faire l'objet d'une revalorisation.

- la vapeur est condensée pour retrouver son état liquide, séparation par gravité de l'huile de l'eau pour être réutilisée :

L'eau pour le nettoyage et le gasoil pour alimenter les brûleurs.

Les déblais subissent en premier lieu une phase de préparation constituée d'une série de prétraitement : broyage, tamisage, deferraillages et séchage. Les déblais sont ensuite introduits dans le désorbeur.

L'efficacité de la désorption est fonction des températures et des temps de séjour utilisés. Les paramètres opératoires dépendent du couple substrat/polluants, des limitations au transfert de masse et de chaleur dépendant du substrat (granulométrie, humidité...) et des modes de transfert thermique mis en oeuvre dans l'unité de désorptions.

Les niveaux de température nécessaire au processus de désorption dépendent de la masse moléculaire moyenne des produits à désorbeur. On distingue deux types de procédés en fonction du niveau de température:

#### **IV.3.2.1 les procédés à basse température (250°C à 450°C)**

Utilisées pour les polluants les plus volatils dont les avantages sont d'être peu agressifs pour les terres et de ne pas aboutir à une minéralisation complète de celle-ci.

#### **IV.3.2.2 les procédés à moyenne température (450° Celsius à 650°C)**

Utilisés pour les composés les plus lourds dont les niveaux de température permettent non seulement la désorption mais également la destruction pyrolytique partielle des composés polluants contenus dans les déblais.

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

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

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

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

La phase liquide restante sera transportée dans un séparateur qui fonctionne par différences de densité.

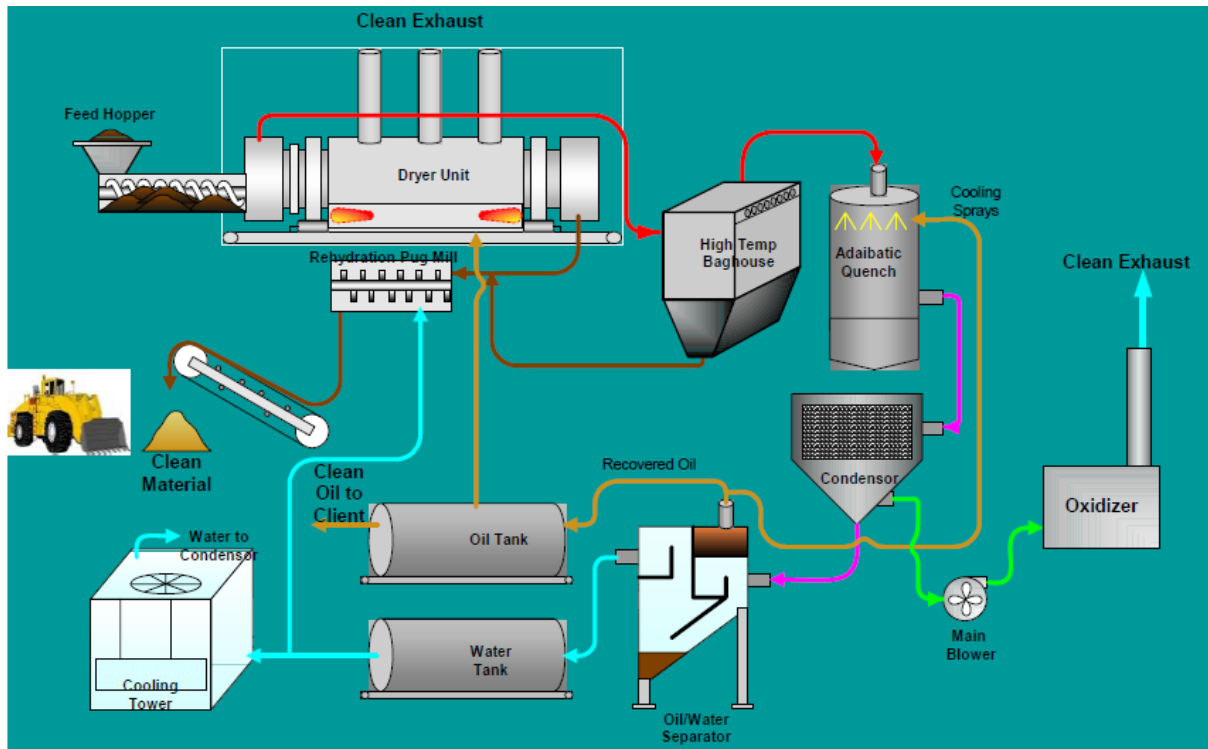


Figure IV.2 : Schéma du procédé de désorption thermique [14]

#### Avantage

- facilité de séparation des produits organiques des déblais de raffinage.
- des températures plus basses exigent moins de carburant que d'autres méthodes de traitement.
- équipements capables de traiter jusqu'à dix tonnes de déblais par heure.

#### Inconvénient

- la désorption thermique ne serait pas un bon procédé pour traiter des contaminants tels que les métaux lourds puisqu'il ne se sépare pas facilement du sol.
- Craquage thermique des hydrocarbures et autres huiles.
- corrosion importante des installations.
- les installations sont de véritables bombes donc dangereuse.
- les installations encombrantes et coûteuses.

Le procédé utilisé à Hassi- Messaoud est le chauffage indirect. Il est simple et coûteux en même temps, mais plus efficace, il est considéré comme un traitement définitif.[14]



Partie pratique  
au champ  
pétrolier Hassi-  
Messaoud

## Rapport de stage

Mon stage s'est déroulé à la société nationale Sonatrach au sein de la division forage de Hassi Messoud dans une durée de 45 jours intermittente la durée du premier séjour était 30 jours du 10/02/2019 au 09/03/2019 et le deuxième séjour était de 15 jours du 08/04/2019 au 22/04/2019. Afin d'obtenir des données et procurer une vision plus claire sur le thème choisi ; faire des visites sur chantier, pour mieux comprendre la théorie du thème, pour visiter des sociétés de service spécialisées dans le domaine de la rationalisation d'eau et a la protection de la ressource en eau.

Durant mon stage, j'ai travaillé en parallèle avec trois départements : département d'hydraulique, département HSE, et la direction des opérations, chacune de ces derniers m'a donnée des documents et de données concernant mon thème de recherche.

Les premiers jours étais dédiés au cours de géologie et d'hydrogéologie de la zone Hassi Mesouad assisté par un géologue du département d'hydraulique.

Mon Co-promoteur est un superintendant F.C (fluide et cimentation) Mr Bouteraa Amran pendant le stage il m'a procuré les documents nécessaires, et les visites ciblées sur chantier, et dans différentes sociétés de service.

Les visites, sur chantiers de forage m'ont permis de voir comment se dérouler l'activité du forage et ses différentes opérations (la préparation de la boue, cimentation, nettoyage .... ets), l'utilisation d'eau sur le rig et dans camps, les techniques classique et modernes utilisées pour la récupération d'eau et pour la protection des nappes phréatiques.

Les visites des différentes sociétés de service de Waste Managment m'ont permis d'avoir une idée sur le principe de fonctionnement des techniques de rationalisation utilisées pour chaque société de service, et obtenir les résultats et les succès de chaque technique.

# Chapitre I

Zone d'étude

## I.Présentation de la zone d'étude

### Introduction

La zone d'étude est localisée à Hassi Messaoud. Elle est considérée, le pôle de l'économie nationale, avec la production des hydrocarbures. En effet, cette région renferme 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, Il se situe à environ 850 km Sud-est d'Alger, à 350 km de la frontière tunisienne.. Sa localisation :

- En coordonnées géographiques :

Au nord par latitude  $32^{\circ} 15'$

A l'ouest par la longitude  $5^{\circ} 40'$

Au Sud par latitude  $31^{\circ} 30'$

A l'Est par la longitude  $6^{\circ} 35'$ [16]

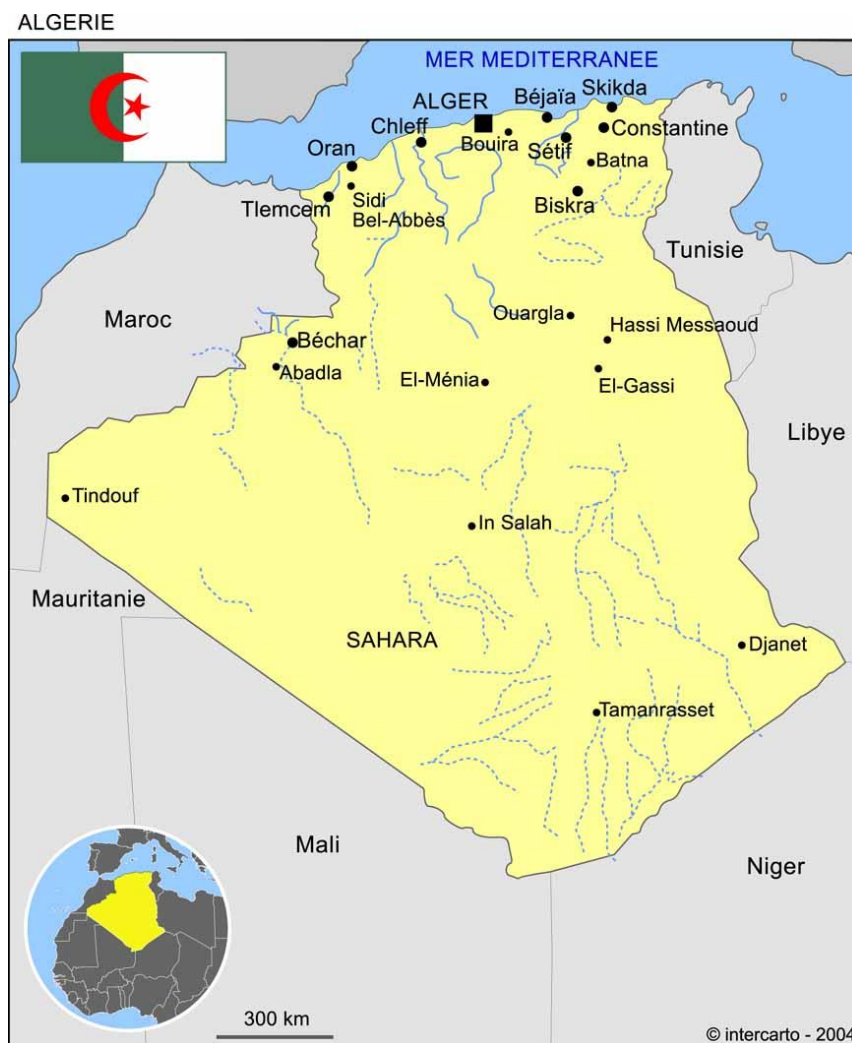


Figure I. 1: Situation géographique du champ de HASSI MESSAOU D [16]

### I.1. Géologie de La zone d'étude

La géologie de la région de Hassi Messaoud est connue grâce à l'effort de l'exploration pétrolière mené par la compagnie nationale des hydrocarbures Sonatrach et ses partenaires. Le dôme de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléo tectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod qui a plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale.

Géologiquement, il est limité

- A l'Ouest par la dépression d'Oude M' ya.
- Au Sud ce prolonge le môle d'Amguid El Biod.
- Au Nord par la structure Djamaa -Touggourt.
- A l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhoude El Baguel et la dépression de Berkine.

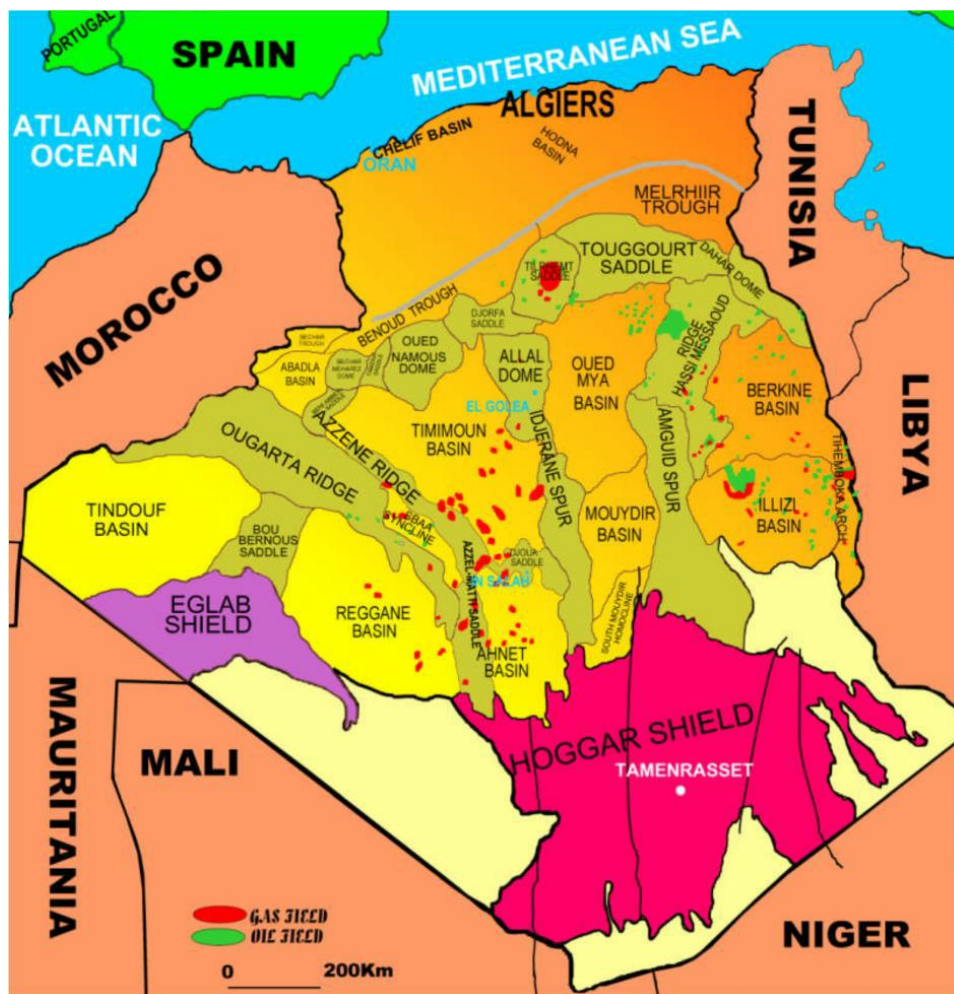


Figure I.2 : Contexte géologique du champ de HASSI MESSAOUD[16]

### I.2. Stratigraphie

La série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud repose sur le socle à environ 4393 m d'épaisseur. Cette série est incomplète, elle est marquée par l'absence du Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien. La discordance hercynienne se manifeste plus accentuer

au centre de la structure, où les dépôts argilo-gréseux et salifères du Trias reposent directement sur le Cambrien.

En allant vers la périphérie, cette discordance tronque des termes ordoviciens de plus en plus récents (Beicip. Franlab, 1979).

A partir des travaux géologiques effectués sur le champ de Hassi Messaoud, on peut présenter la série stratigraphique de Hassi Messaoud comme suit (Figure I.3).

### **I.2. 1. Paléozoïque**

Les formations paléozoïques reposent en discordance sur le socle à travers la discordance panafricaine. De la base au sommet on distingue :

#### **I.2. 1. 1. Le socle**

Les formations sédimentaires du champ de Hassi Messaoud reposent sur un socle constitué essentiellement de granite porphyroïde rose.

#### **I.2. 1. 2. L'infra-Cambrien**

L'infra-Cambrien est l'unité lithologique la plus ancienne. Cette unité a été rencontrée par les forages de la région de la partie Nord de la structure, il est constitué de grès argileux rouge.

#### **I.2.1. 3. Cambrien**

Il est essentiellement constitué de grès hétérogènes, fins à très grossiers entrecoupés de passées de siltstones argilo-micacés.

Le cambrien est subdivisé classiquement en trois (3) litho zones:[R1 (Ra +Ri), R2, R3].

Du bas en haut on distingue:

- **Lithozone R3** : Son épaisseur moyenne est de 370 mètres. Elle se compose de grès, feldspathiques et micacés à grains moyens à très grossiers conglomératiques à la base, à ciment argileux abondant, ayant des passées de grès ferrugineux et d'argile silteuse.
- **Lithozone R2** : Son épaisseur moyenne est de 100 mètres. Elle se compose de grès moyens à grossiers micacés, mal classés, à ciment argileux assez abondant avec des intercalations de silts.

Les stratifications sont souvent obliques.

- **Lithozone R1**: Ce lithozone est constitué de deux (2) sous lithozones, du bas en Haut

#### **I.2. 1. 4. Ordovicien**

- **Zone des alternances** : Elle a l'épaisseur moyenne de 20 mètres. Cette zone désigne ainsi la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternant avec des bancs de quartzites fins isométriques.

Dans l'ordovicien, trois (3) unités lithologiques sont distingués, du bas au sommet on trouve :

- **Argiles d'El Gassi**: Son épaisseur moyenne est d'environ 50 mètres. Cette formation est constituée d'argile schisteuse, indurée présentant une couleur verte à noire, rarement rouge. Cette argile peut être glauconieuse ou carbonatée présentant des graptolites. Ceci indique le milieu marin de dépôts. Cette formation est surtout rencontrée sur les zones périphériques du champ.

- **Les grès d'El Atchane**: Ils ont une épaisseur moyenne qui varie de 12 à 25 mètres cette formation est constituée de grès fin à très fin, de couleur gris-beige à gris sombre. Ce grès peut être argileux ou glauconieux avec, généralement de nombreuses passées argileuses silteuses.

- **Les quartzites de Hamra:** Leur épaisseur moyenne varie de 12 à 75 mètres. Ce sont des grès quartzitiques fins, très compactes à rares intercalations d'argiles.

### **I.2. 2. Mésozoïque**

#### **I.2. 2. 1. Trias**

Il repose en discordance sur le Cambrien, au centre et sur l'Ordovicien vers les flancs de la structure. C'est un faciès très varié résultant de la transgression. Un caractère laguno marin caractérise ce faciès. Le trias est accompagné par des coulées éruptives.

Généralement, le trias est subdivisé en trois (3) unités, du bas en haut, on trouve:

- **Trias gréseux:** Il constitue le premier remplissage du relief paléozoïque et se subdivise en plusieurs unités qui diffèrent les unes des autres par leur lithologie et leur réponse diagraphique. Il est accompagné par des coulées éruptives. Son épaisseur varie de 0 à 75 m.
- **Trias argileux :** Il est constitué d'argiles plus au moins silteuses, brun rouge à bariolés, dolomitiques et anhydritiques avec des intercalations de banc de sel au sommet, son épaisseur moyenne est de 113 m.
- **Trias salifère :** Il est constitué de bancs de sel massif présentant au sommet des intercalations d'anhydrite et des bancs d'argile légèrement silteuse et dolomitique, son épaisseur moyenne est de 340 m.

#### **I.2. 2. 2. Roche éruptive du Trias**

Il se situe approximativement entre la discordance hercynienne et le mur du trias argilo-gréseux. L'éruptif est rarement localisé dans le lithozone (Ra). Sa rencontre est difficilement prévisible dans la partie Sud-Ouest et Ouest du champ, avec des épaisseurs variables de 0 m à 90 m. Le potentiel du réservoir se trouve réduit lors de sa présence.

#### **I.2. 2. 3. Jurassique**

Le Jurassique est un ensemble argilo-gréseux à intercalations de calcaire au sommet (Malm) et à alternances de faciès lagunaires et marins à la base (Dogger et Lias), Son épaisseur moyenne est 844 m, du bas en haut, on rencontre :

- **Lias :** Son épaisseur moyenne est de 300 m. Le début du lias caractérisé par une zone de marne dolomitique connue sous le terme de « l'horizon B », qui est un repère sismique, caractérisant le passage Trias-Lias. Le Lias est subdivisé en cinq (5) niveaux bien distincts s'intercalant entre eux sur toute l'épaisseur.
- **Dogger :** Son épaisseur moyenne est de 320 m. Le Dogger est subdivisé en deux (2) formations, le Dogger lagunaire à la base et le Dogger argileux au sommet.
- **Malm :** Son épaisseur moyenne est de 225 m. Il est caractérisé par les dépôts d'argiles et de marne avec des intercalations des bancs de calcaire et dolomie accompagnés de quelques traces d'anhydrite.

#### **I.2. 2. 4. Crétacé**

Son épaisseur moyenne est de 1620 m. Il est constitué de sept étages, de la base au sommet on distingue :

- **Néocomien :** Il comprend deux niveaux, à la base un terme gréseux constitués de grès et de quelques passées d'argiles avec des passées de grès, au sommet un terme argileux représenté par des argiles avec nombreuses intercalations de calcaire et de dolomie.
- **Barrémien :** Son épaisseur moyenne est de 280 m Il est formé de grès fins à moyens carbonatés à plages d'anhydrite, alternant avec des niveaux d'argile gréseuse et dolomitique.

- **Aptien** : Son épaisseur est de 25 m. Il est représenté par deux bancs dolomitiques encadrant un niveau argileux. La limite Aptien-Barrémien coïncide avec la barre calcaro-dolomitique qui représente un bon repère sismique.

- **Albien** : Son épaisseur moyenne est de 350 m. Il est constitué de grès et sable fin, avec des intercalations d'argile silteuse.

L'Albien représente une immense nappe aquifère.

- **Cénomanién** : Son épaisseur moyenne est de 145 m. Il est caractérisé par une alternance d'anhydrite et d'argile rouge-brune, de marnes grises et de dolomie.

La limite Cénomanién-Albien coïncide avec le passage des séries évaporitiques aux séries plus gréseuses de l'Albien.

- **Le Turonien** : Son épaisseur moyenne varie de 70 à 120 m.

C'est une alternance de calcaire argileux, calcaire dolomitique et calcaire crayeux. Au sommet apparaissent les bancs de calcaire.

Le Turonien contient une nappe d'eau salée.

- **Le Sénonien** : Son épaisseur moyenne est de 230 m.

A la base, une série lagunaire est rencontrée.

Elle se caractérise par la présence des bancs massifs de sel et des alternances d'anhydrite, dolomie et d'argile grise, au sommet une série carbonatée présentant des bancs de calcaire dolomitique argileux et des bancs d'anhydrite.

### **I.2. 3. Cénozoïque**

Le cénozoïque est constitué de calcaire dolomitique à l'Eocène et d'un recouvrement de type sableux au Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne du Cénozoïque est de 360 m

**I.2. 3. 1. Eocène** Représenté par des dolomies à nummulites avec la présence rognons silteux, d'une épaisseur de 120 m.

**I.2. 3. 2. Mio-pliocène** Formation essentiellement sableuse d'origine continentale, d'une épaisseur de 240 m .



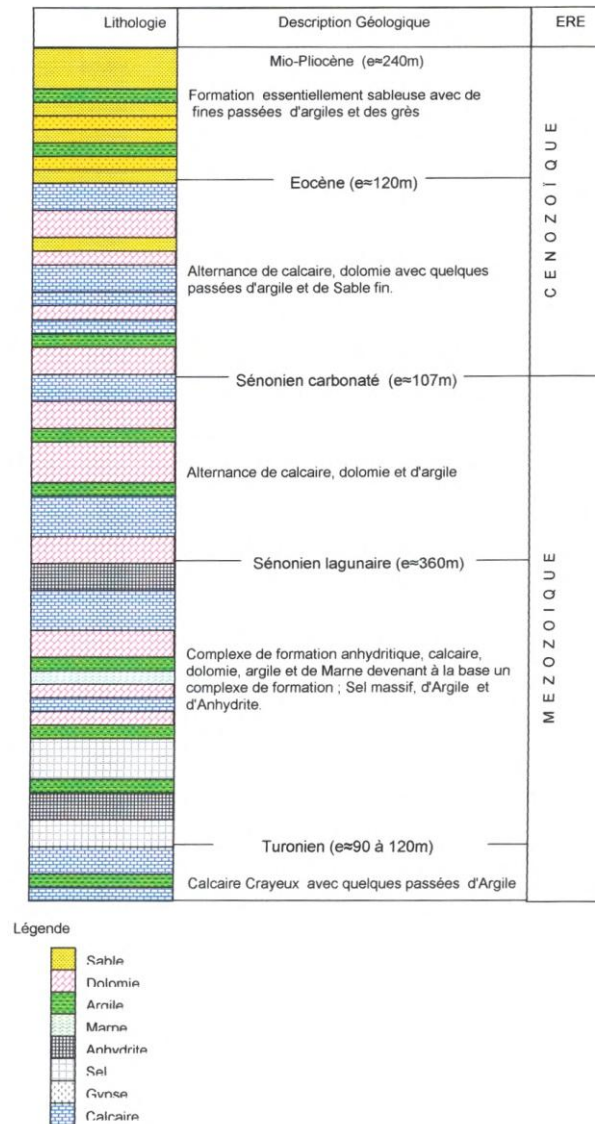


Figure I.3 : Coupe litho stratigraphique du champ de Hassi Messaoud[16]

### I.3 Hydrogéologie de la zone :

L'Algérie où les régions arides constituent plus de 90 % du territoire va être l'une des régions les plus touchées par la sécheresse durant les prochaines années. La géographie des ressources en eaux ne coïncide pas avec les frontières géopolitiques des pays, elles s'étendent sur plusieurs pays.

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

- la formation du Continental Intercalaire, la plus profonde,
- Et celle du Complexe Terminal.

L'aquifère continental intercalaire : il couvre approximativement 840 000 Km<sup>2</sup>. la couche aquifère se compose de grès et de pierres à chaux dolomitique fissurées intercalée avec le sable, sable salé et argiles.

L'aquifère du complexe terminal : il est plus récent et plus petit que le continental intercalaire.

Il occupe approximativement 350 000 Km<sup>2</sup>. C'est une eau potable et la principale formation de cet aquifère est le Mio-Pliocène. Il se situe à moins de 150m en dessous du sol, son épaisseur varie entre 50 et 100m. [16]



**Figure I.4 : Le Système des Aquifères du Sahara Septentrional[16]**

# Chapitre II

## **Utilisation et origine des eaux dans le forage**

## II. Utilisation et origine des eaux dans les forages

### II.1 Utilisation d'eau dans un appareil de forage

L'eau est utilisée dans plusieurs fonctions dans un appareil de forage :

#### II.1.1 Fabrication de boue dans les phases WBM

La fabrication de la boue de forage dans les phases boue à base d'eau WBM



Photo. II.1 : La boue dans la phase WBM [Photo prise le 25/02/19]

#### II.1.2- Cimentation

- Fabrication du ciment
- Spicer (eau qui sépare la boue et ciment dans une opération de cimentation)



photoII.2 : L'unité de cimentation [Photo prise 17/02/19]

### II.1.3- Refroidissement des appareils

Les pompes marchent 24h sur 24 donc elles doivent être refroidies et cela génère des quantités d'eau importante



**PhotoII.3 : Circuit de refroidissement des pompes [Photo prise le 17/02/19]**

### II.1.4-Nettoyage de l'appareil



**PhotoII :4 Opérations de nettoyage de l'appareil [Photo prise le 17/02/19]**

### II.1.5-Nettoyage des bacs à boue dans les interphases et au dans le dtm

Lors du passage d'une phase OBM a une phase WBM, il est obligé de nettoyer les bacs de boue, cette opération consomme une énorme quantité d'eau



**Photo II.5 : Bac de boue [Photo prise le 25/02/19]**

## **II.2. Utilisation d'eau dans le camp**

L'eau est utilisée dans le camp dans différents usages domestiques

### **II.2.1- l'utilisation personnelle**

(Douche, toilette, nettoyage des chambres, .....)

### **II.2.2- Une buanderie**

La buanderie marche 24H/24 pour assurer le nettoyage des combinaisons de tout le personnel du chantier.



**Photo II.6 : Une buanderie d'un chantier [Photo prise le 13/04/19]**

### II.2.3- Une cuisine

Une cuisine pour assurer les trois repas essentiels de la journée, équipée d'une petite boulangerie.



**Photo II.7 : L'utilisation d'eau dans la cuisine [Photo prise le 28/02/19 ]**

### II.3 Alimentation des puits pétroliers en eau

L'eau est indispensable sur un chantier de forage pétrolier en général, avant l'emplacement de la plate forme un puits d'eau est déjà sur place afin d'alimenter l'activité, quand cela deviens impossible, la ou les puits d'eau sont indispensables, l'alimentation en eau du chantier sera faite à travers des camions à citerne. Une fois l'eau arrivée au chantier elle est stockée dans des bacs sur le rig et sur des citernes dans le camp pour ensuite la distribuer pour les différents usages



**Photo II.8 : Le bac de stockage dans le rig  
[Photo prise le 22/02/19]**

**photo II.9 : Les citernes de  
Stockage dans le camp [Photo prise le 22/02/19]**

### II.3.1-Alimentation par puits d'eau

L'alimentation se fait à travers des conduites en acier ou bien en PEHD liées à des puits d'eau qui existait déjà à proximité du puits pétrolier, ou bien par un puits d'eau foré spécialement pour notre puits pétrolier



Photo II.10 : La conduite d'alimentation en eau



photo II.11 : Un puits d'eau

[Photo prise le 15/04/19]

#### II.3.1.1-Les nappes captées par les puits d'eau

Dans le champ de Hassi Messoud, les nappes les plus souvent exploitées se sont les nappes du Complexe Terminal et le Continental Intercalaire

##### II.3.1.1.1Le Complexe Terminal

La nappe du Complexe Terminal est contenue dans les divers horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire. Elle s'étend en Algérie sur un vaste territoire allant de la dorsale du M'zab à l'Ouest jusqu'à la hamada du Tinhert au Sud.

- **Lithologie**

Le Complexe Terminal est formé par un ensemble de couches carbonatées sableuses. Il est essentiellement constitué par le Sénonien supérieur carbonaté (surtout le Maestrichtien), l'Eocène inférieur carbonaté et le Mio. Dans le bassin occidental, la nappe du Complexe Terminal est en relation sous une grande partie de l'Erg avec celle du Continental Intercalaire. Dans le bassin oriental par contre, les deux systèmes aquifères sont séparés

#### **Alimentation – Ecoulement**

Pour la nappe du Complexe Terminal, le remplissage le plus important du réservoir s'est fait essentiellement pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Actuellement la recharge de



la nappe se continue à travers des quantités d'eaux non négligeables : - Soit par infiltration du ruissellement des Oueds descendant des massifs montagneux. Ces derniers traversent les formations perméables affleurantes, notamment au pied de l'atlas saharien, du M'zab et du Dahar. - Soit par infiltrations des pluies exceptionnelles dans les sables du grand Erg oriental reposant en partie sur des horizons perméables du Complexe Terminal. Dans le bassin occidental, la majeure partie des eaux rejoint la nappe sous-jacente du Continental Intercalaire, tandis qu'à l'extrême Ouest, les eaux du Complexe Terminal vont rejoindre l'inferoflux de l'Oued Saoura. Dans le bassin oriental, le trait marquant est la convergence de l'écoulement vers les chotts ( Merouane et Melrhir en Algérie, Rharsa et Djerid en Tunisie). La nappe du Complexe Terminal s'étend sur une superficie de 350 000 km<sup>2</sup>, la profondeur de la nappe est relativement faible allant de 100 à 400 mètres (Megdoud M., 2003). Elle est artésienne dans la plus grande partie de son étendue, elle est captive dans le centre du bassin et libre sur les bordures. L'eau de la nappe est de température peu élevée, sa qualité chimique est bonne sur les bordures et moyenne dans le centre du bassin. Elle est très exploitée surtout dans le bas Sahara, son captage alimente les oasis de Oued Rhir et de Ouargla et de Touggourt[1]

### **II.3.1.1.2 Le Continental Intercalaire**

En géologie, le Continental Intercalaire désigne les formations continentales qui se sont déposées entre le cycle marin du Paléozoïque clôt par l'orogénèse hercynienne et la transgression marine du Cénomani. Elle couvre une large période du Trias à l'Albien. En hydrogéologie la nappe du Continental Intercalaire, plus souvent dite nappe albienne correspond à un niveau plus réduit. Elle est définie par les formations continentales du Crétacé inférieur comprises entre le Néocomien et le Cénomani qui sont constituées de sables, de grès avec des intercalations d'argiles. La base est constituée de terrains primaires du Paléozoïque, très accidentée par l'orogénèse hercynienne. Le toit est formé le plus souvent par les dépôts du Crétacé supérieur à savoir le Cénomani argileux et le Turonien et parfois par les terrains tertiaires ou quaternaires.

#### **• Lithologie**

Le Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux. Les grès sont de faciès très différents, grès friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz). Le caractère particulier de ces grès est leur grande porosité qui est nettement plus importante que les autres séries gréseuses du Jurassique ou du Crétacé. Elle est évaluée au minimum à 10 %. Les ciments sont le plus souvent calcaires, ils sont parfois siliceux ou argileux. Les niveaux parfaitement cimentés sont rares et souvent liés aux affleurements.

#### **• Alimentation – Ecoulement**

La nappe du Continental Intercalaire est une nappe fossile c'est-à-dire qu'elle est faiblement alimentée par rapport à son volume. Les conditions d'alimentation restent toujours mal connues vu son extension importante et l'accès difficile dans certaines régions. La recharge actuelle de la nappe du Continental Intercalaire s'effectue principalement par infiltration des

eaux de ruissellement des oueds qui descendent des massifs montagneux de l'Atlas saharien au Nord, des monts du Dahar à l'Est de la Tunisie et des Oueds de l'extrémité occidentale du Tademaït. Pendant les années exceptionnellement humides, une alimentation faible s'effectue directement par infiltration des précipitations sur les zones d'affleurement du réservoir et dans le grand Erg occidental. En 1961 A. Cornet estimait cette alimentation à 25 m<sup>3</sup> /s. La continuité des formations perméables du Crétacé inférieur a permis le transport et la régularisation des eaux infiltrées des régions hautes vers les régions basses. L'écoulement des eaux provenant de l'Atlas saharien se divise selon deux principales directions d'écoulements : Une partie s'écoule vers le Sud et le Sud-Ouest vers les exutoires qui jalonnent les régions du Touat-Gourara et du Tidikelt et vers les zones évaporatoires du grand Erg occidental. Une autre partie s'écoule vers le Nord-Est (Zone côtière tunisienne) par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine.[1]

### **II.3.2- Citernage**

Faire appel à des citernes pour l'alimentation en eau, alimenter le réservoir du rig et les citernes du camp, cette méthode est utilisée dans les zones où on ne peut pas forer des puits d'eau, c'est une méthode un peu coûteuse

# Chapitre III

Technique de rationalisation d'eau

### III Techniques de rationalisation d'eau

Il existe plusieurs techniques d'économisassions d'eau durant le forage, chaque compagnie de service de west management a sa propre technique et ca propre méthode. Durant mon stage au sein de la société SONATRACH, j'ai eu la chance de voire quatre techniques différentes dans différentes compagnies de service

#### Les techniques établies

##### III.1Le skimmer

Depuis l'intégration du système waste management, le skimmer est devenu un outil obligatoire sur chantier, toutes les compagnies de service utilisent cette technique. C'est une technique simple mais très efficace, on récupère des quantités d'eau énorme.

##### III.1.1Le principe du fonctionnement du skimmer (traitement mécanique)

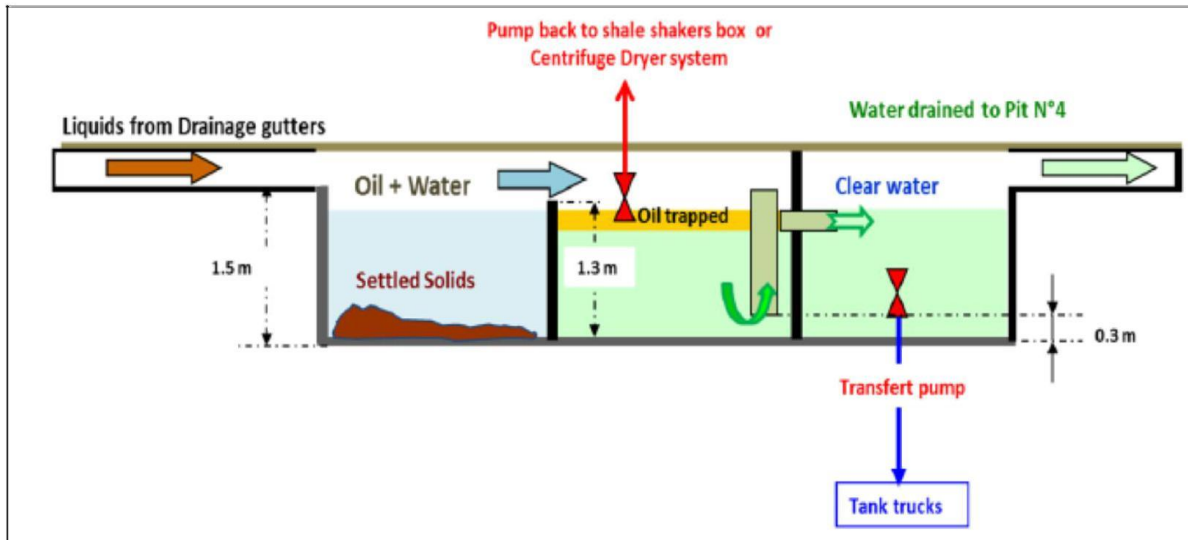
Au niveau de la plate-forme de forage, se trouve des rigoles qui permettent de collecter les eaux usées et de les acheminer vers le corral pit. Ce dernier est relié au water pit par une excavation creusée.



**PhotoIII.1 : Les rigoles de collection des eaux [Photo prise le 24/02/19]**

Entre le corral pit et le water pit le mélange (eau, huile, solide) passe par un traitement mécanique a l'aide un skimmer enterré qui fait le traitement secondaire

Le traitement mécanique est un procédé naturel qui dépend de la gravité. Il s'agit de la séparation par gravité d'un mélange de trois éléments (Eau, Huile et solides) non miscibles avec des densités différentes, il suffit de laisser reposer le mélange pour que le procédé de décantation se mette en marche. Ainsi, l'élément le plus dense s'installera en dessous de l'élément le moins dense et l'élément de densité plus faible se placera au-dessus de l'autre. A partir de n'importe quel liquide non miscible autre peut aussi être fait par décantation.



**Figure III.1 : Principe du traitement mécanique [22]**

Après le premier traitement les eaux traitées sont acheminée vers le water pit et les huiles sont traitées pour les réutilisées à nouveau

Le premier traitement n'est pas efficace a 100% dans le water pit il reste encore des particules solides et des huiles, pour cela les eaux collectées dans water pit vont subir un autre traitement.



**Photo III.2 : Water pit [Photo prise le 19/02/19]**

### III.1.2 Traitement mécanique par le Skimmer sur élevé

Après une première décantation dans le water pit, les eaux sont transférées vers le bac de séparation (skimmer surélevé) par le biais d'une pompe diaphragme, dans le bac, les eaux arrivent sous forme de mélange (solide, eau, huile), à l'état statique, les solides se précipitent par l'effet de gravitation vers le fond du bac (en trouve pas une grande quantité solide dans se traitement). L'huile en surface est récupérée par une pompe et transférée vers un compartiment destiné pour le stockage temporaire des huiles. Les eaux traitées quant à eux sont aspirées par des pompes de transfert et transférée vers les bacs à eau de l'appareil de

forage pour une éventuelle réutilisation. Il est toutefois possible que l'ingénieur décide d'ajouter des produit chimique (**Traitement Physico-chimique**) afin d'améliorer la qualité d'eaux si celle-ci est chargée de solide fin et/ou d'huile.



**Photo III.3 : Skimmer sur élevé**



**Photo III.4 : Skimmer sur élevé**

[Photo prise le 19/02/19]

### III.1.2.1 Traitement Physico-chimique:

A la demande du client et pour obtenir une meilleure qualité d'eau, un traitement chimique est parfois nécessaire. Il s'agit de l'ajout de flocculant et/ou coagulant pour une précipitation totale des solides fins, le mixage des produits chimiques se fait dans le premier compartiment du bac de décantation.

#### III.1.2.1.1 Coagulant:

C'est une substance chimique comme l'alun qui cause l'agglomération des particules fines et permet de former un précipite gélatineux dans l'eau usée.

#### III.1.2.1.2 Flocculant :

C'est un polymère qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux (flocs), ce qui augmente leur poids et donc se disposent par gravité plus rapidement. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des flocons.

Plusieurs agents chimiques peuvent être employés dans le procédé de coagulation-floculation. Les sels métalliques sont indéniablement les coagulants les plus utilisés pour le traitement des eaux usées. Ce type de coagulants peut être utilisé pour traiter des eaux usées industrielles et domestiques, mais son applicabilité s'étend aussi à plusieurs autres domaines ; réduction adoucissement de l'eau, enlèvement des métaux lourds (industrie métallurgique), enlèvement des huiles et des graisses.....etc.

## III.1.3 Matériel utilisés

Les équipements utilisés sur site pour le recyclage d'eau et la réutilisation d'eau « Water Reuse » sont :

- Skimmer enterré ;
- Skimmer surélevé ;
- Pompe diaphragme ;
- Débitmètres (pour le calcul des quantités d'eau récupérée) ;
- Pompe de transfert.



Photo III.5 Débitmètre photo III.6 pompe transfert [Photo prise le 02/03/19]

## III.1. Emplacement du skimmer sur chantier

L'emplacement du skimmer est entre le coral pit et le water pit

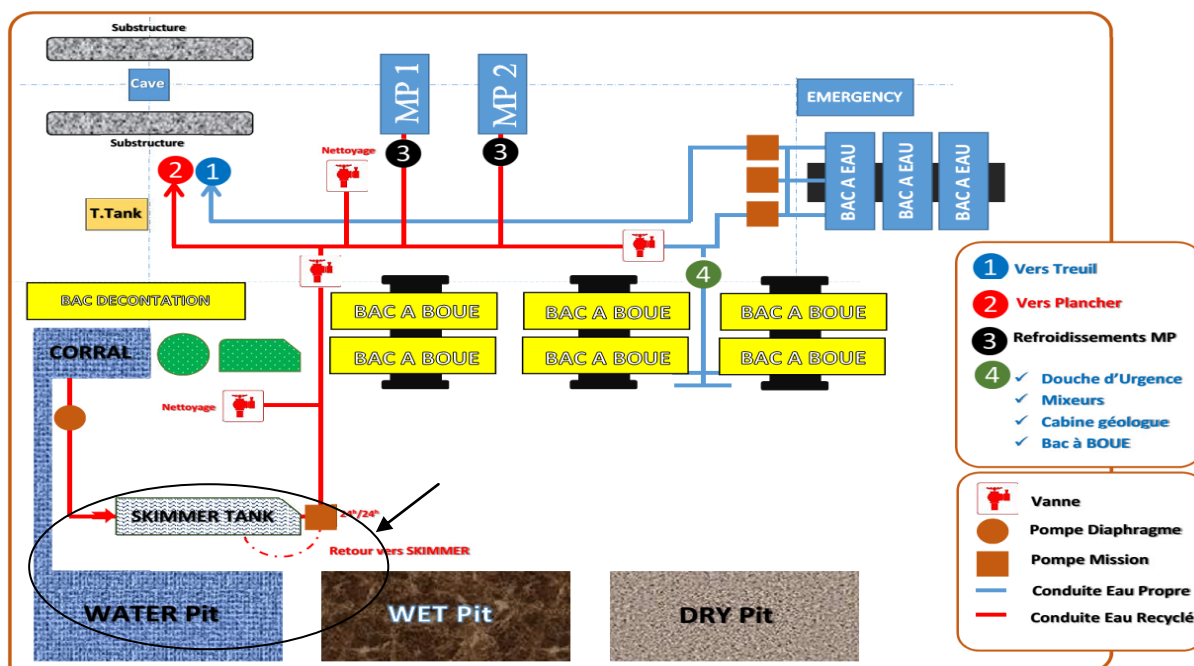


Figure III.2 : Position du skimmer sur chantier [22]

### III.2 Le Géo-tube

Le géo-tube est une technique utilisée pour la récupération et rationalisation des eaux lors du forage. C'est une nouvelle technologie le premier essai a été fait en 2018. Elle a été développée par compagnie de service ES ( Environmental Solutions), la technique du Géo-tube a apporté de bons résultats dans son application .

#### III.2.1 Introduction

Pour le traitement des eaux utilisé sur rig , il existe un procédé en deux étapes qui peut réduire la consommation et récupérer l'eau mélangée aux solides contaminés, La figure ci-dessous montre le diagramme du processus de traitement des eaux usées proposées.

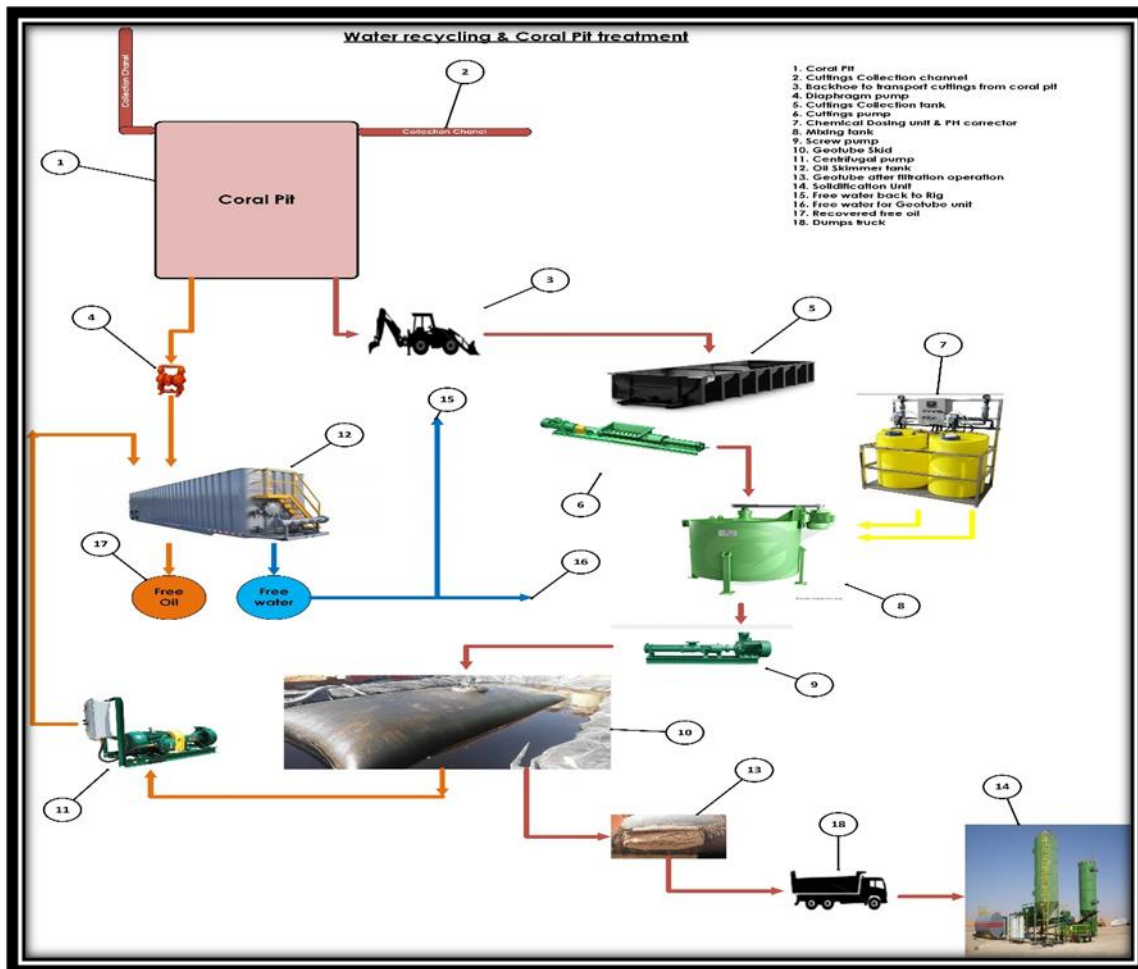


Figure III.3 : Le processus du traitement [2]

#### III.2.2 Mode d'opération

Les rejets (eau, huile, solide) du forage sont regroupés dans le coral pit , à l'aide d'une pelle rétrocaveuse. Le transport se fait vers les réservoirs de collecte des déblais, avec une pompe à membrane qui fait l'aspiration et le refoulement des déblais vers le réservoir du mélange .



Le réservoir du mélange est lui-même relié à une unité de dosage chimique et PH qui consiste à déterminer la quantité de matière, la fraction, ou la concentration et le PH du mélange, par une pompe à vis, on envoie le mélange (eau, huile, solide) vers le géo-tube.

Le géo-tube est placé dans une fosse pour qu'on puisse récupérer le liquide.

La fosse est elle-même protégée par un liner pour éviter l'infiltration du liquide dans le sol

Le liquide récupéré est envoyé par une autre pompe dans un skimmer pour faire la séparation

Entre l'eau et les huiles. la partie solide qui reste emprisonnée dans le géo-tube est transporté avec des camions vers des unités de solidification ou des unités de traitement thermal.

La figure ci-dessous montre l'organigramme du processus de traitement des eaux usées proposé à l'aide de la technologie Geotube [2]

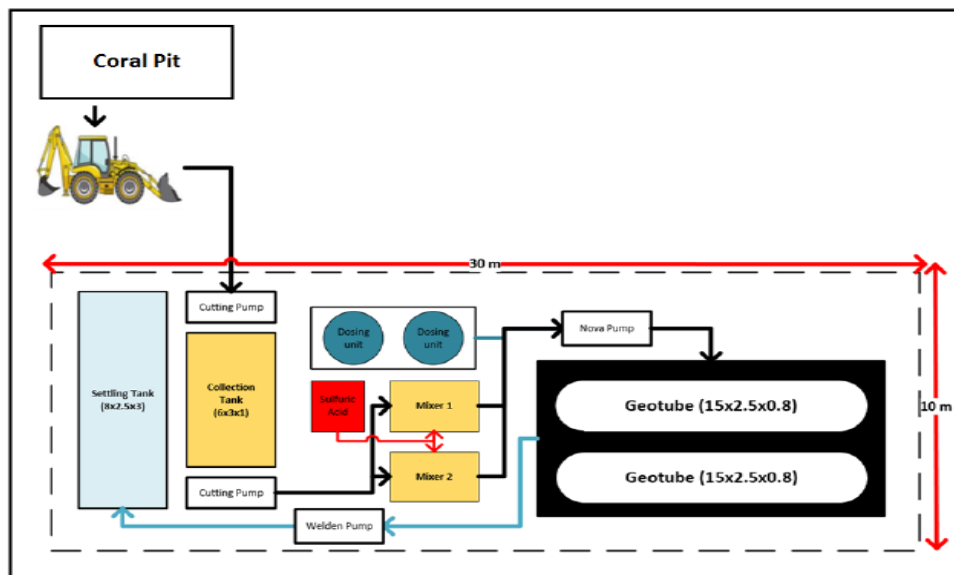
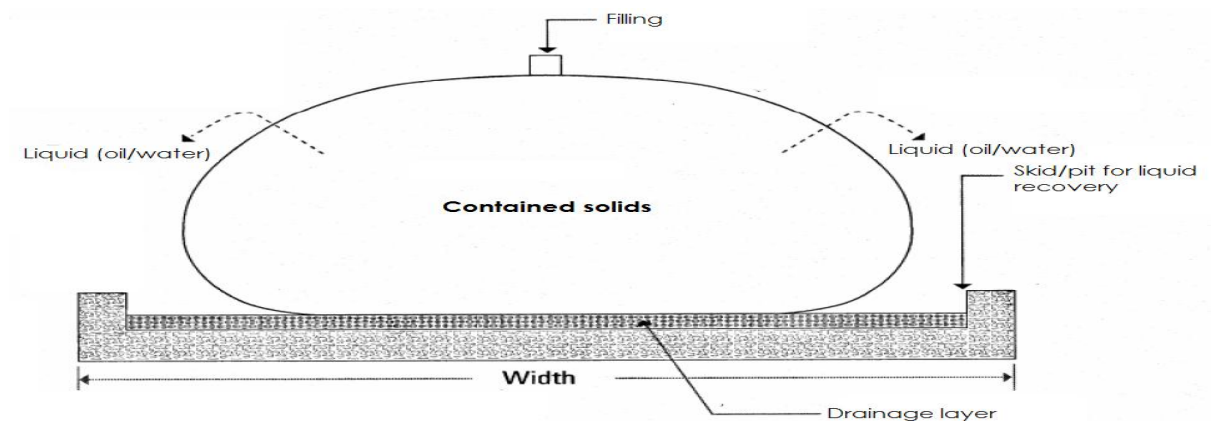


Figure III.4 : Le mode d'opération du géo-tube[3]

### III.2.3 La technologie géo-tube

Les unités Geotube sont fabriquées avec un géotextile spécial à haute résistance et elles ont une option très rentable dans l'application de filtration. Les géotextiles perméables à haute résistance avec des propriétés de rétention uniques peuvent être remplis avec de la boue de grain fin, sols contaminés dangereux, ce qui permet aux liquides (eau, huile) de sortir du Geotube contenant les solides à l'intérieur [2]



**Figure III.5 : Principe de fonctionnement d'un géo-tube [3]**

Les tailles typiques pour les unités Geotube vont de circonférences de 2,3 mètres à 27,4 mètres et longueurs de 30 mètres à 60 mètres et capacités jusqu'à 300 M3.

Les unités ou les contenants de géotubes sont remplis à l'aide de boues à forte concentration d'eau/d'huile. L'excès d'eau filtrée ensuite à travers les parois du géotextile, laissant les solides emprisonnés à l'intérieur de l'unité. Cela réduit la quantité de matières liquides à éliminer, laissant des solides qui sont faciles à manipuler et qui peuvent être traités par des méthodes classiques.[3]



**Photo III.6 : Géo-tube sur chantier [3]**

### **Inconvénient du Géo-tube**

Malgré tout les succès de cette technique, il a des inconvénients on peut utiliser le géo-tube qu'une seule fois. Une fois le Géo-tube est déchiré, on ne peut pas l'utiliser une autre fois donc il est à jeter. Le Géo-tube est fabriqué du géotextile c'est un type de plastique qui est très dur

ce type de plastique n'est pas recyclable et il n'est pas biodégradable, donc il va causer un problème sur l'environnement.

### III.3L'ATC (AUTOMATIC TANK CLEANING)

Une technologie d'économisassions des quantités d'eau utilisée pour le nettoyage des bacs. Cette technique a été inventée par la compagnie de service de wast management M-I SWACO une filiale de Schlumberger et elle a été mis en œuvre sur chantier à la fin de l'année 2018

#### III.3.1 Introduction

L'ACT est une machine utilisée pour le nettoyage des bacs Automatiquement, elle consiste à minimiser les quantités d'eau utilisées lors de l'opération de nettoyage des bacs dans les inters phase ou bien a la fin du forage.



**Photo III.7 : L'appareil de l'ATC [5]**

L'ATC ce compose de trios unités principales :

**III.3.1.1 Unité de nettoyage** : c'est l'ensemble de l'outil de nettoyage et la pompe de refoulement

L'outil de nettoyage est sous forme d'une lance jet à haute pression



**Photo III.8 : L'outil de nettoyage [5]**

**III.3.1.2. Unité l'aspiration :** Rig Vac il joue le rôle d'une pompe a vide, c'est un type de pompe utilisé pour l'évacuation des eaux usées industrielles du au nettoyage des bacs, le rig vac a la capacité d'aspirer le solide et le liquide



**Photo III.9 : Rig vac [photo prise le 05/03/19 ]**

**III.3.2.3 Unité de séparation (OWS) :** dans le but de faire une séparation entre l'eau et les huiles et les solides cette unité est encastrée dans l'appareil l'ATC

### **III.3.2 Le principe de fonctionnement**

L'opération du nettoyage des bacs par l'ATC ce fait par étapes :

**1<sup>er</sup> étape :** L'installation de la machine devant les bacs à boue du rig et faire entrer l'outil de nettoyage dans le bac

**2<sup>ème</sup> étape :** L'alimentation de la machine en eaux à travers l'unité de séparation d'environ 7-8m

**3<sup>ème</sup> étape :** Le nettoyage commence par le démarrage de la pompe de refoulement qui va mettre en fonctionnement l'outil de nettoyage fait des rotations d'une manière que les jets d'eau touchent tous les points du bac et même les coins

**4<sup>ème</sup> étape :** En même temps que l'outil de nettoyage fonctionne, le rig vac aspire le mélange (solide, eau, huile) du au nettoyage et les évacuer vers l'unité de séparation

**5<sup>ème</sup> étape :** Le mélange arrive à l'unité de séparation il va subir une séparation solide liquide, on ajoute un produit chimique pour faire accélérer la séparation

**6<sup>ème</sup> étape :** Une fois la séparation est faite, l'aspiration des solides vers le wet pit

, les huiles sont récupérées pour les réutiliser, et l'eau est aspirée par la pompe de refoulement pour le nettoyage de bac une autre fois

NB : toutes les opérations se fait en même temps (c'est un cycle fermé)

### III.3.3 Les résultats obtenus par l'ATC

Les résultats de nettoyage obtenus par l'ATC sont bien meilleurs que celle de l'ancienne méthode qui se fais des manœuvres



Photo III.10 : Les résultats du nettoyage avec l'ATC [6]

Le dewatering est une technique de traitement utilisée seulement dans les phases boue à base eau WBM, il s'agit d'un traitement chimique. Cette technique a été proposée par Haliburton et M-I Swaco. Jusqu'à présent elle n'est pas praticable avec SONATRACH et aucun essai n'a été fait malgré la disponibilité de tous les moyens nécessaires.

### III.4.1 Introduction

Le dewatering est un processus utilisé pour l'élimination de la majorité des particules de taille colloïdale des fluides de forage ou des autres fluides de déchets sur le site de forage.

Il peut également être décrit comme une technique de récupération des eaux dans les phases à base d'eau WBM. Les eaux récupérées peuvent alors être soit recyclées dans le système de fluides actif ou réutilisées pour autre usage.



**Photo III.11 : La phase finale du dewatering [4 ]**

### III.4.2. Les équipements pour unité dewatering

Unité dewatering

Centrifugeuse

Pompe D'alimentation

Pompe de refoulement

Pompe pour le clean water pour le mixage des produits chimiques à injecter pour le traitement de boue

Skimmer tanks avec pompe pour le stockage de l'eau récupérer

### III.4.3 Le principe de fonctionnement

Une unité de dewatering est utilisée pour traiter la boue à partir du système actif ou de l'effluent de la centrifugeuse en matières solides. Comme le poids de la boue augmente, il est nécessaire d'ajouter de l'eau de dilution afin de maintenir les solides efficaces / séparation de liquide.

Au besoin, les volumes de fluide reviennent dans les centrifugeuses (dans le contrôle des matières solides) peuvent être déviés vers le réservoir de stockage de boue et les mêmes quantités de volume remplacées par de nouvelles boues dans le système actif. L'eau du processus de dewatering peut être réutilisée comme dilution ou détournée vers les réservoirs de traitement de l'eau pour le traitement. Ce c'est également utilisé comme source de dilution pour un dewatering supplémentaire.

Les déchets liquides de forage sont transférés dans un réservoir de retenue. Le fluide usé, des polymères hydratés et / ou coagulants sont pompés séparément à un collecteur de mélange où ils sont ajoutés en séquence avec dilution et mélangés pour assurer un mélange floculé approprié. Ce mélange mélangé est ensuite pompée dans la centrifugeuse hydraulique entièrement variable, qui sépare les solides floculés plus grandes comme une boue humide.[4]

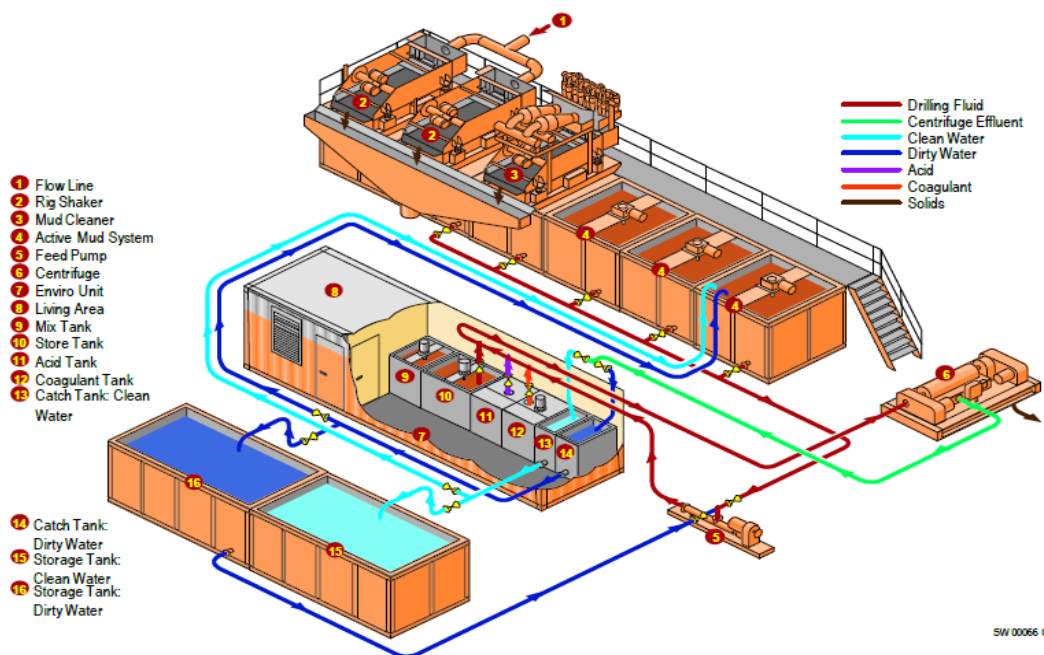


Figure III.5 : Le circuit fermé du traitement par dewatering [4]

L'unité de dewatering ce compose de 6 bacs

- Un bac de mixage
- Un bac stockage

- Bac d'injection des acides
- Bac de coagulation
- Bac d'eau claire
- Bac d'eau sale

### III.4.4 Les produits chimiques

<b>1. COAGULANT</b>	<b>2. ACIDE</b>
<b>SULFATE D'ALUMINIUM</b>	<b>ACIDE fumarique</b>
<b>CHLORURE FERRIQUE</b>	<b>Acide citrique</b>

**Tableau III.1 : Les produits chimiques utilisés**

#### III.4.4.1 SULFATE D'ALUMINIUM

Coagulant - Utilisé comme un coagulant inorganique dans le processus de déshydratation. L'injection est contrôlée par pompes doseuses dans l'unité de floc. Coagulant bas niveau.

#### III.4.4.2 CHLORURE FERRIQUE

Coagulant - Utilisé comme un coagulant inorganique dans le processus de déshydratation. L'injection est commandée par des pompes de dosage à l'intérieur de l'unité de floc. Acide modérément. contrôle du pH

#### III.4.4.3 ACIDE fumarique

Acide de qualité alimentaire à faible niveau - Utilisé comme un acide inorganique dans le processus de déshydratation. L'injection est Contrôlée par des pompes de dosage à l'intérieur de l'unité de floc. Aide à un pH inférieur

#### III.4.4.4 ACIDE CITRIQUE

Acide de qualité alimentaire utilisé pour l'ajustement du PH

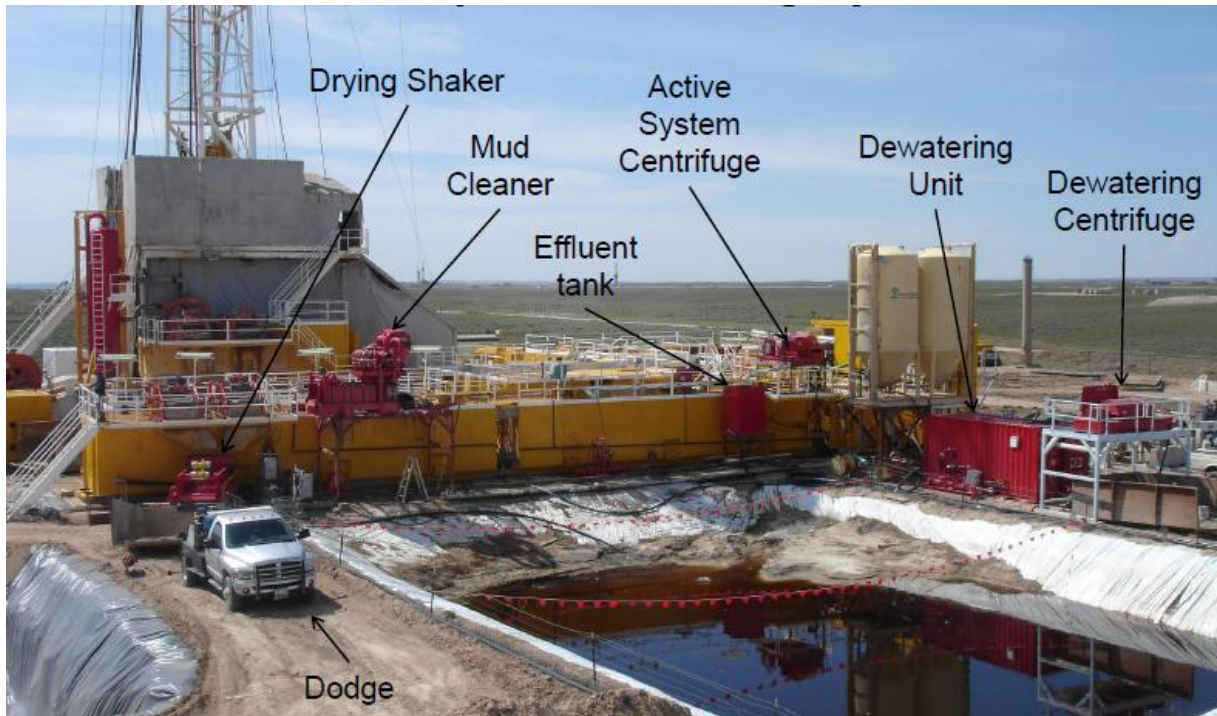
### III.4.5 Mécanisme

A l'aide d'une pompe l'aspiration du mélange se fait du des bacs à boue vers l'unité de dewatring , une fois le mélange entre dans l'unité, il passe par le bac des acides pour l'ajustement du PH , après il passe par le bac de coagulation afin d'ajouter un coagulant pour but de déstabilisé les matières en suspension, ensuite avec une pompe de refoulement on envoie le mélange vers une centrifugeuse pour l'élimination des particules solides

Une fois les particules solides seront éliminées le liquide est transféré vers l'unité de dewatring pour une séparation eau claire et eau sale, l'eau claire sera stockée dans un bac



spécial pour l'eau claire et elle sera utilisée pour différents usages, et pour l'eau sale elle sera traitée de nouveau jusqu'à ce qu'elle devienne claire.



**Photo III.12 : Localisation de l'unité de dewatering sur chantier [4]**

# Chapitre IV

## La comparaison

## **Etudes comparatives**

### **Introduction**

Après avoir vu les techniques de rationalisation des eaux et les techniques de traitement des rejets de forage élaboré par SONATRACH, maintenant on va voir leur efficacité sur chantier et les résultats obtenue avec ses techniques.

Dans cette partie de mon travail j'ai fais deux comparaison entre deux puits en matière de consommation d'eau et en plan de gestion des déchets de forage

La première comparaison c'est entre le MD712 et MDZ713 le premier puits (MD712) avec la technique de l'ATC et le deuxième puits (MDZ713) sans cette technique. Le but de cette comparaison c'est pour testé l'efficacité de la technique de l'ATC et discuté les résultats obtenue par la technique ZERO DECHARGE appliqué dans le MD712.

La deuxième comparaison c'est entre NAHSE#1 et ZAS-1 le premier puits (NAHSE#1) avec la technologie du Géo-tube et le deuxième puits (ZAS-1) sans cette technologie. Afin d'expérimenté le succès de la technologie du Géo-tube.

Pour que les conditions de ces comparaisons soient équitable, les puits choisi pour la comparaison son foré avec le même appareil de forage et sur le même champ et dans la même période de l'année et avec la même compagnie de service de waste management.

## IV.1 La comparaison entre MD 712 et MDZ 713

### IV.1.1 Introduction

Un essai a été réalisé par SONATRACH et M-I SWACO au niveau du chantier ENAFOR 47 puits MD712 champs de HASSI MESSAOUD. Cet essai représente le cas idéal en matière de gestion intégrée des rejets de forage, il a été fait avec une haute performance. Ce projet a été établi en tenant compte d'un ensemble de concepts qui promeuvent les aspects de la rationalisation d'eau et de la protection de l'environnement.

Dans cette étude, on va tester l'efficacité de la technique de Zéro décharge établie à MD712 en comparant ces résultats avec les résultats obtenus du MDZ713 qui a été pratiqués sans cette technique.

La technique Zéro décharge comporte deux techniques importantes une pour la rationalisation des eaux (ATC) et l'autre pour le traitement des rejets des rejets en ligne par solidification.

Pour que les conditions de comparaison soient équitables, on a choisi deux puits avec le même appareil de forage (ENF47) et dans le même champ (champ de HASSI MESSAOUD)

#### IV.1.1.1 Présentation du puits MDZ713

MDZ713 est situé dans la région de MD dans le champ Hassi Messaoud. MDZ713 est un puits producteur de pétrole de développement horizontal

le puits est foré jusqu'à une profondeur totale de 3421m

L'objectif principal est de forer 450m de drainage dans des conditions de sous-équilibre à travers les réservoirs du Cambrien Ra (D2 et ID) [11]



Photo IV.1 : MDZ713 durant le forage [photo prise le 15/04/19]

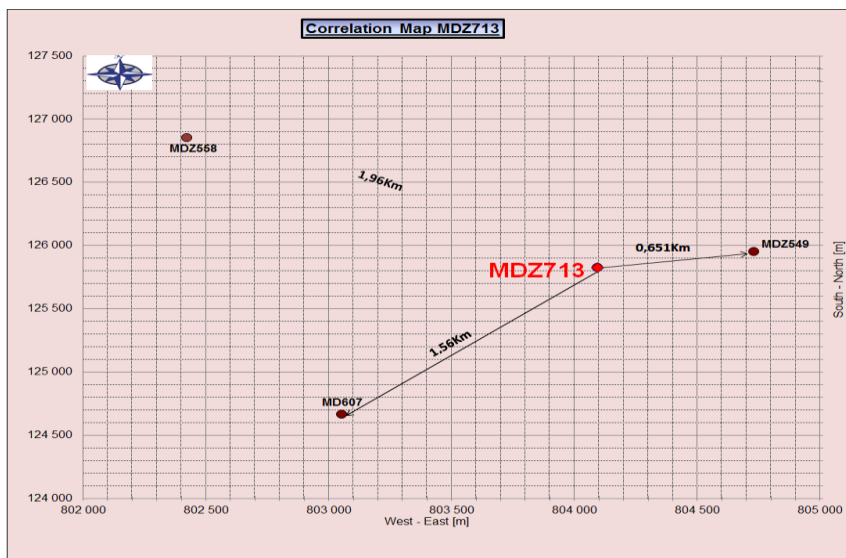
IV.1.1.2Données du puits

<b>Non du puits</b>	<b>MDZ713</b>
<b>Champs</b>	<b>HASSI MESSAOU</b>
<b>Classification du puits</b>	<b>Développement</b>
<b>Opérateur</b>	<b>Sonatrach</b>
<b>Entreprise</b>	<b>Enafor</b>
<b>Nom de l'appareil</b>	<b>ENF47</b>
<b>Weste managmente entreprise</b>	<b>MI Algeria</b>
<b>Localisation</b>	<p><b>LSA X =804093.13, Y = 125827.79</b></p> <p><b>Latitude 31° 41' 9.66" N</b></p> <p><b>Longitude 05° 54' 22.27" E</b></p> <p><b>UTM Zone 31 X = 775 498.514 m</b>  <b>Y = 3 509 037.751m</b></p>
<b>TD</b>	<b>3421m</b>
<b>Nombre de jours</b>	<b>98 jours</b>

Tableau IV.1 : données du puits MDZ713[11]

IV.1.1.3Localisation du puits

Le puits horizontal MDZ713 se situe dans l'interzone 2ex et 2S, précisément à 570 m au SW du puits MDZ549



FigureIV.1 : Localisation du MDZ713 [11]

**IV.1.1.4 Le mode d'alimentation en eau**

L'alimentation en eau du puits MDZ713 se fait par un puits d'eau MDH151 avec une conduite en PEHD de 1.8km



**Photo IV.2 : La conduite de transfert d'eau [Photo prise le 03/03/19]**

**IV.1.1.5 La fiche technique du puits d'eau**

La nappe captée c'est le mio-pliocène a une profondeur de 120m

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE		PUITS D'EAU		
Activité Amont Division Forage Direction Assistance aux Opérations G & O Département Hydrogéologie & Hydraulique		Nappe captée : Mio-pliocène		MDH-151		
Coordonnées : Géographiques : UTM X = 05°53'41"E 774 454 Y = 31°40'32"N 3 507 875 Zs = 154,44m		Puits d'eau implanté à 150m à l'Est du sondage pétrolier de développement MD - 607 Ns = 19m/sol - Nd = m/sol - Q = 35 m³/h		Date début de forage : 15/08/2008 Date fin de sondage : 31/08/2008 Profondeur finale : 120m Appareil : DrillMac (FORAQUA)		
Côte (m)	Etage	Coupe	Lithologie	Plan d'eau	Complétion	Observations
10_	MIO - P L I O C È N E		Sable blanc translucide mal classé avec passées d'argile verte	15 m		1 - Forage - De 0 à 10 m en 26" et pose d'un tube guide de 18"5/8 cimenté jusqu'en surface - De 10 à 120 m en 17"1/2  2 - Colonne de captage 9"5/8 - De 120 à 110 m : Sabot et tube de décanation - De 110 à 60 m : Crépines lanternées. - De 60 à + 0,6 m : Tubes pleins  3 - Massif de gravier Mise en place d'un massif de gravier de 16 m³ dans l'espace annulaire 17"1/2 x 9"5/8 du fond jusqu'en surface.  4 - Développement du puits Développement du puits à l'air lift pendant 58 heures avec obtention d'une eau claire.  5 - Mise en production A l'aide d'une pompe immergée 6" installée à la côte 40 m avec un tubing de production 3"1/2.
20_						
30_						
40_						
50_						
60_	Sable blanc translucide parfois jaune ocre, moyen à grossier avec rares passées de grès blanc, fin à grossier, carbonaté friable. Présence de calcaire blanc crayeux tendre devenant à la base dolomitique gris-blanc microcristalin dur.					
100_						
120_						

**Figure IV.2 : La fiche technique du puits d'eau MDH-151 [Fiche interne]**

#### IV.1.1.6 Localisation du puits d'eau par rapport au puits pétrolier

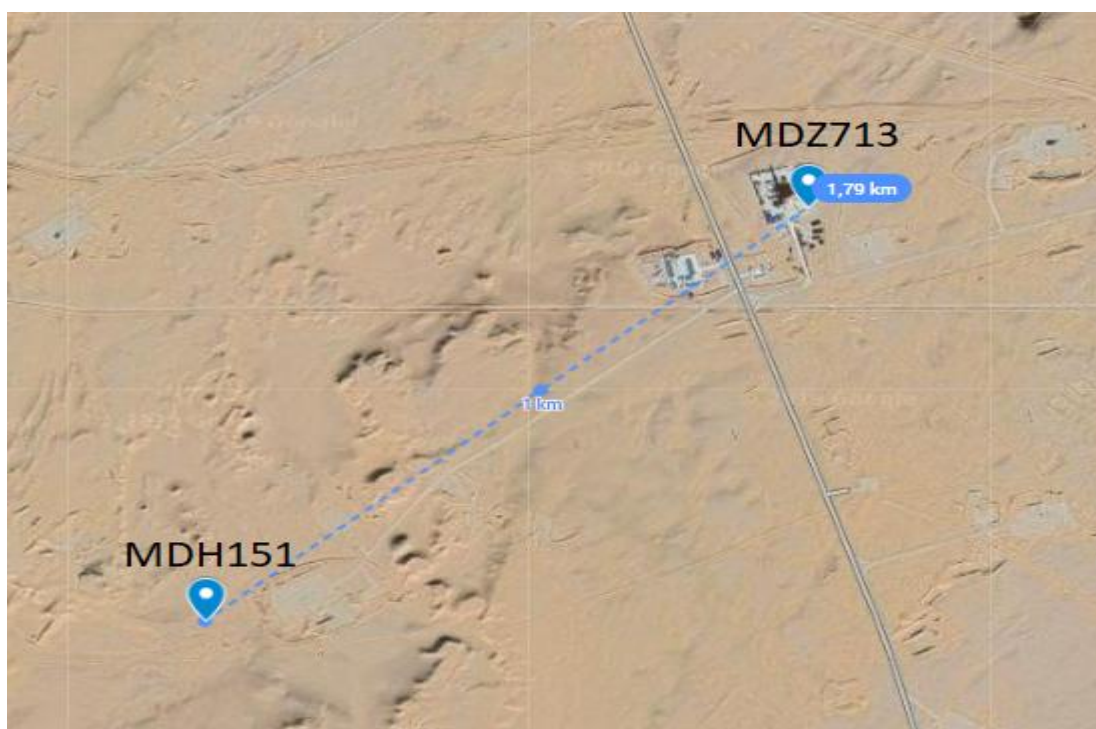


Figure IV.3 : Localisation du MDZ713 par rapport au MDH151

#### IV.1.1.7 La technique utilisée pour la rationalisation d'eau dans le MDZ713

La technique utilisée pour la récupération d'eau dans le MDZ713 c'est la technique du traitement mécanique à l'aide d'un skimmer c'est la technique que l'on trouve dans presque tous les chantiers



Photo IV.3 : Le skimmer dans le MDZ713 [Photo prise le 07/03/19]

**IV.1.1.8 Résultats**

Ces résultats ont été obtenus par le service du waste management durant le forage le calcul se fait par des débitmètres, qui sont placés pour déterminer la consommation du camp et du RIG et sur le skimmer .[19]

Phase	Quotidienne	36 "	26 "	16"	12 <sup>1/4</sup>	8 <sup>1/2</sup>	6	total
La quantité d'eau totale (m <sup>3</sup> )	70	498	2222	3173	2497	1365	2460	12215
La quantité d'eau utilisée dans le RIG (m <sup>3</sup> )	30	360	1674	1795	1365	565	785	6544
La quantité d'eau utilisée dans l camp (m <sup>3</sup> )	40	138	548	1378	1132	800	1675	5671
La quantité d'eau récupérée (m <sup>3</sup> )	25	0	35	673	470	200	517	1895
La quantité d'eau réutilisée (m <sup>3</sup> )	20	0	0	44	57	42	349	492

**Tableau IV.2 : Résultat des quantités d'eau consommé[19]**

**IV.1.1.9 La consommation moyenne journalière**

La consommation moyenne journalière est calculée par :

Consommation moy = consommation totale / nombre des jours du forage

La consommation moyenne journalière dans le RIG (m <sup>3</sup> /jour)	La consommation moyenne journalière dans le camp (m <sup>3</sup> /jour)	La consommation moyenne journalière Total (m <sup>3</sup> /jour)
68	57	125

**Tableau III.3 : Consommation moyenne journalière[19]**



#### IV.1.1.10 La gestion des rejets du forage

Dans le MDZ713, Les rejets (boues à base d'eau, déblais contaminés, boue à base d'huile et l'eau) se retrouvent dans un borbier. A la fin du forage, le traitement de ces rejets est effectué selon méthode désirée par le contrat de sonatrach, le borbier est protégé par une barrière pour éviter la noyade des animaux dans le borbier.

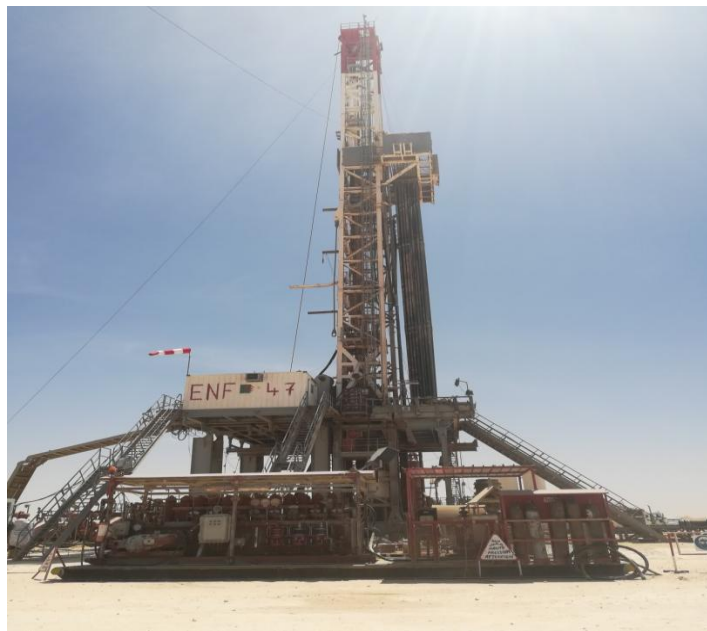


**Photo IV.4 : Le borbier du MDZ713 a la fin du forage[Photo prise le 15/04/19].**

#### IV.1.2Présentation du puits MD712

##### **Introduction**

Le puits MD712 est un puits producteur d'huile qui se situe dans la partie sud de la zone 24, proposé pour un forage vertical, il s'inscrit dans le cadre du développement du gisement de Hassi Messaoud .Le MD712 est foré à travers le réservoir Cambrien (Rig 5, Ra D4, D3 et D2) jusqu'à une profondeur totale de 3472m. La pression estimée du réservoir est d'environ 280-290 kg/cm<sup>2</sup>.



**Photo IV.5 : MD712 durant le forage [photo prise le 19/04/19 ]**

IV1.2.1Données du puits [10]

<b>Non du puits</b>	<b>MD712</b>
<b>Champs</b>	<b>HASSI MESSAOUD</b>
<b>Classification du puits</b>	<b>Développement</b>
<b>Opérateur</b>	<b>Sonatrach</b>
<b>Entreprise</b>	<b>Enafor</b>
<b>Non de l'appareil</b>	<b>ENF47</b>
<b>Weste managmente entreprise</b>	<b>MI Algeria</b>
<b>Localisation</b>	<p><b>LSA X =809898.20, Y = 112624.55</b></p> <p><b>Latitude 31° 33' 55.36051" N</b></p> <p><b>Longitude 5° 57' 46.89505" E</b>  <b>UTM Zone 31 X = 781252.052 m</b>  <b>Y =3495804.001 m</b></p>
<b>TD</b>	<b>3421m</b>
<b>Nombre des jours</b>	<b>70 jours</b>

TableauIV.4 : Données du puits MD712[10]

IV.1.2.2Localisation du puits MD712

Le puits MD712 est situé dans un secteur où la densité des puits est satisfaisante, ce qui a permis d'avoir cinq points de contrôle, en l'occurrence, MD279, MD702, MD699 à l'ouest, MD161 à l'est et MD679 au nord, il est à signaler qu'il n'y'a aucun point de contrôle au sud de cette implantation.[10]

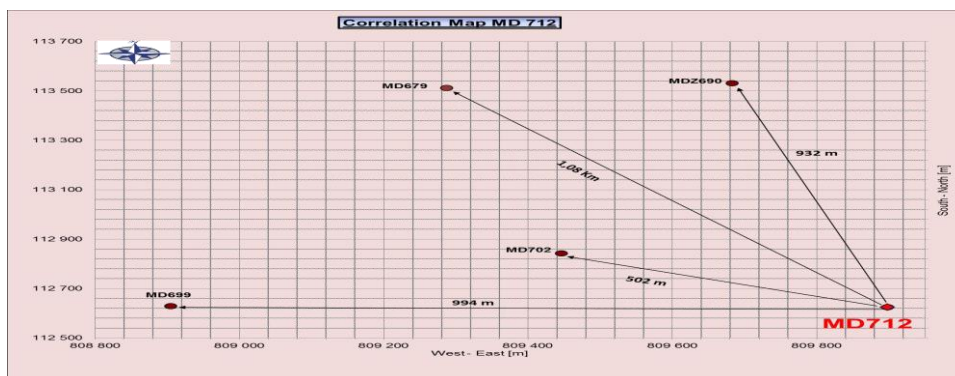


Figure IV.4 : Localisation du MD712[10]

**IV.1.2.3 Le mode d'alimentation en eau**

L'alimentation en eau se fait par le puits d'eau MDH-165 avec une conduite en PEHD de 2,75km



**Photo IV.6 : Le puits d'eau MDH-165 [Photo prise le 18/04/19]**

**IV.1.2.4 La fiche technique du puits d'eau**

La nappe captée c'est mio-pliocène a une profondeur de 170m

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE			PUITS D'EAU	
Exploration-Production Division Exploration Direction Des Opération d'Exploration Département Surface		Nappe captée : Mio-pliocène			MDH165	
Coordonnées géographiques UTM X : 31°56'27.4"E 395 038 Y : 5.99°18.8"N 3 319 022 Ea : 226,7m		Puits d'eau implanté : à proximité du sondage pétrolier d'Exploration MD712 Ns = 56m/sol Q (air-lift) = 30m³/h			Date début de forage : 03/04/2018 Date fin de sondage : 20/04/2018 Profondeur finale : 170 m Appareil : SS-25 (ENAGEO)	
Côte (m)	Etage	Coupe	Lithologie	Plan d'eau	Complétion	Observations
10						<b>1 - Forage</b> - De 0 à 10m: Forage en 26" et pose d'un tube guide 18" <sup>5/8</sup> cimenté jusqu'en surface - De 10 à 170 m: Forage en 17" <sup>1/2</sup>  <b>2-Colonne de captage 9"<sup>5/8</sup></b> - De 170 à 160m : Sabot et tube de décantation De 160 à 124,70m : Crépines lanternées - De 124,70 à 113,70m : Tube plein - De 113,70 à 78,50m : Crépines lanternées - De 78,50m à + 0,6m : Tubes pleins  <b>3-Massif de gravier</b> Mise en place d'un massif de gravier de 20 m <sup>3</sup> dans l'espace annulaire 17" <sup>1/2</sup> x 9" <sup>5/8</sup> du fond jusqu'en surface  <b>4-Développement du puits</b> Développement du puits à l'air lift par palier pendant 48 heures jusqu'à l'obtention d'une eau claire sans particules solides.
50			Sable jaunâtre à blanc localement rosâtre et translucide, moyen à grossier, mal classé, subarrondi à arrondi avec fines passées de Calcaire blanc, crayeux moyennement dur et d'Argile grise à gris-claire, tendre. Présence de grès rosâtre, fin, dur.	56m		
100						
160						
170						

**Figure IV.5 : Fiche technique du puits d'eau MDH165 [Fiche interne]**

**IV.1.2.5 Localisation du puits d'eau par rapport au puits pétrolier**



**Figure IV.6 : Localisation du MD712 par rapport au MDH165**

**IV.1.2.6 Les techniques utilisées pour la rationalisation d'eau dans le MD712**

Les techniques utilisées pour l'économisassions des quantités d'eau, c'est le traitement mécanique le skimmer et pour le nettoyage des bacs on a utilisé la technologie de l'ATC et avec l'application de ces deux technique on a arrivé obtenue des très bonnes résultats



**Photo IV.7 : Skimmer dans le MD712**



**Photo IV.8 : L'unité d'ATC dans le MD712**

**[Photo prise le 15/04/19]**

IV.1.2.7 Les résultats

Phase	Quotidienne	26 "	16"	12 <sup>1/4</sup>	8 <sup>1/2</sup>	6	total
La quantité d'eau totale (m <sup>3</sup> )	50	764	1095	763	455	1735	4812
La quantité d'eau utilisée dans le RIG (m <sup>3</sup> )	5	54	385	268	140	385	1718
La quantité d'eau utilisé dans l camp (m <sup>3</sup> )	45	224	710	495	315	1350	3094
La quantité d'eau récupérée (m <sup>3</sup> )	20	0	76	165	92	228	561
La quantité d'eau réutilisée (m <sup>3</sup> )	10	0	50	105	55	96	306

TableauIV.5 : Résultats des quantités d'eau consommée [18]

IV.1.2.8 La consommation moyenne journalière

La consommation moyenne journalière dans le RIG (m <sup>3</sup> /jour)	La consommation moyenne journalière dans le camp (m <sup>3</sup> /jour)	La consommation moyenne journalière Totale (m <sup>3</sup> /jour)
24	44	68

TableauIV.6 : Consommation moyenne journalière [18]

IV.1.2.9 La gestion des rejets du forage

Dans le MD712, les rejets sont transformés au cour du forage dans des unité de solidification pour le traitement, jusqu'à arrivé a la fin a zéro déchet dans le wet pit .



**Photo IV.9 : Le wet pit du MD712 a la fin du forage**

**[Photo prise le 04/03/19 ]**

#### **IV.1.2.10 La technique zéro décharge**

Dans le MD712, on appliqué la technique zéro décharge qui a pour objectif de :

-Réduire au minimum le volume des déchets humides générés et éliminés lors des opérations quotidiennes de forage

-Transférer tous les déchets humides générés de la plate-forme du puits à l'Unité de solidification la plus proche!

-Réduire au minimum le nombre de trajets de transfert des camions de déchets humides.

-Réduire au minimum le volume D'eau utilisé dans les opérations quotidiennes de forage dans l'appareil de forage.

- utilisé la technique de l'ATC pour le nettoyage des bacs a boue dans les interphases

Afin d'atteindre ces objectifs, toutes les parties présentes dans ce chantier ont participé dans L'amélioration de la performance du « système waste management » à travers :

-Engagement de toutes les parties impliquées dans le projet

-Remaniement et modification de la plate-forme

-Équipement Supplémentaire Requis.

-Optimiser les ressources[6]

#### **IV.1.2.11 Plan de la plate forme du MD712**



Le premier emploi : dans l'inter phase au début de la phase 16“ sa couté  $7m^3$  d'eau pour le nettoyage de tout les bacs de boue et on a disposé  $9m^3$  de déchets solides

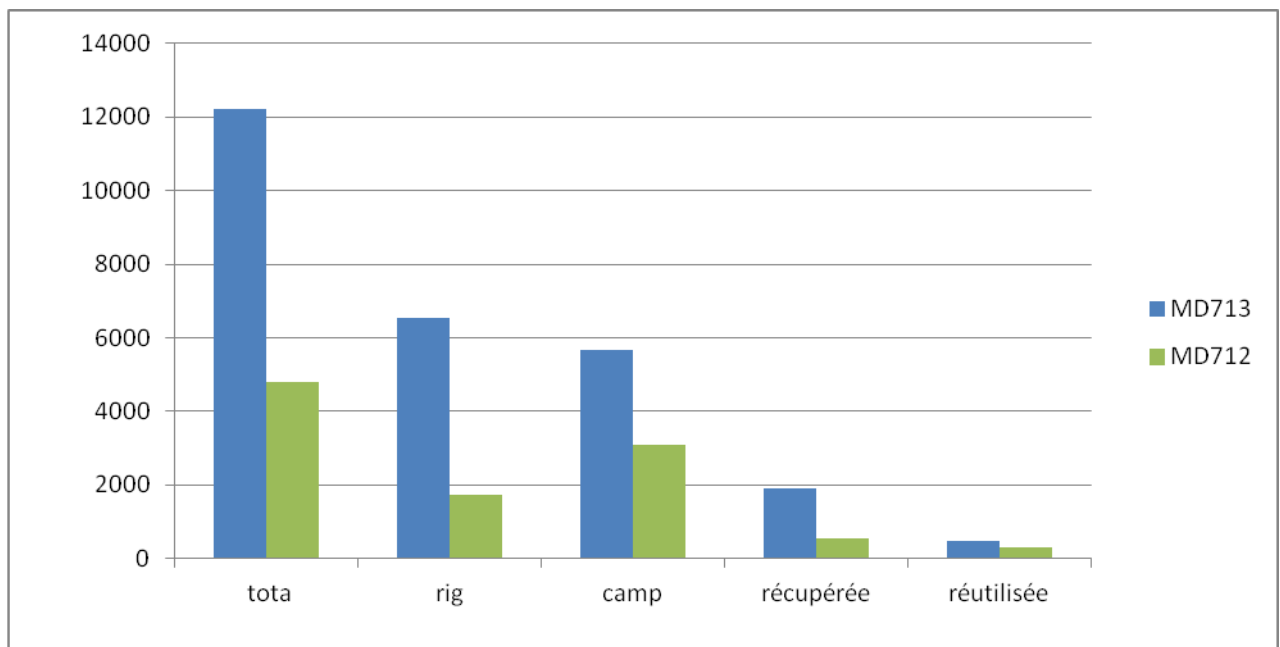
Le deuxième emploi : a la fin du projet DTM pour le nettoyage des bacs de boue on utilisé les même  $7m^3$  utilisé lors de le première tache et on a disposé  $17m^3$  de déchets solides

Avec l'ATC on a disposé  $26m^3$  de déchets solides et on a utilisé  $7m^3$  pour le nettoyage de tous les bacs à boue dans deux usages

Le nettoyage des bacs au quotidien consomme presque  $20 m^3$  pour un seul bac. Avec le nettoyage de tous les bacs et dans deux usages ca va atteindre  $300m^3$ .

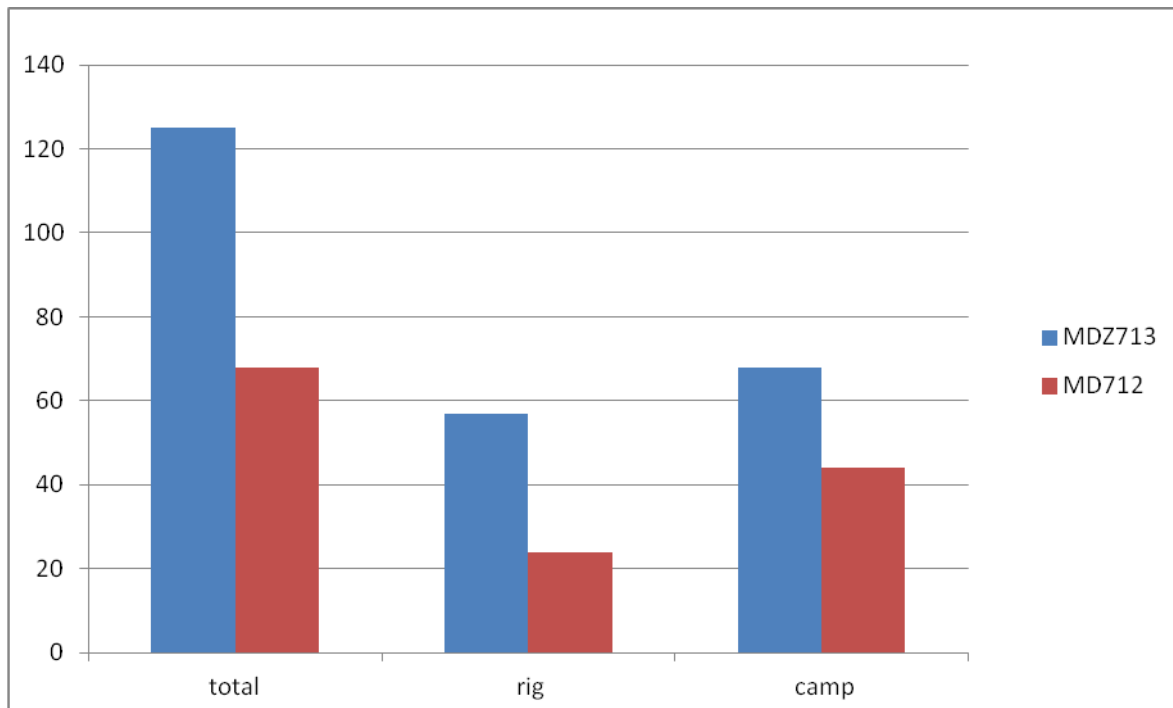
### IV.1.3 Les quantités d'eau utilisée dans le MD712 et le MDZ713

Ces graphes nous montrent les quantités d'eau consommée dans le MDZ713 et le MD 712



**Figure IV.8 : La différence des consommations d'eau entre MDZ713 et le MD712**





**Figure IV.9 :Consommation moyenne journalière entre le MDZ713 et le MD712**

#### **IV1.4Conclusion**

Avec l'essai de la technique du zéro décharge, on arrivé a économiser une grande quantité d'eau de  $125m^3$ /jour jusqu'a  $68m^3$ /jour, on a rationalisé  $57m^3$ /jour qui c'est une quantité énorme et on a aussi protégé nos nappe des infiltrations des rejets du forage par le traitement par solidification des rejets de forage contaminé au cours du forage

## IV.2 Comparaison entre NAHSE#1 et ZAS-1

### IV.2.1 Introduction

Cette essai a été réalisé par SONATRACH et ES au niveau du chantier ENTP 203 puits NAHSE#1 champs de BERKINE. Cet essai représente le cas idéal en matière d'économisassions d'eau et de la gestion intégrée des rejets de forage, il a été fait avec une haute performance. Et il a apporté des bons résultats.

Cette comparaison a été faite afin de vérifier la performance et les résultats obtenue par la technologie du Géo-tube appliqué sur le puits NAHSE#1

### IV.2.1ZAS-01

Zamlet El Arbi Sud-1 (ZAS-1) est situé dans le bloc 403d, il est prévu comme puits d'exploration verticale afin d'évaluer les réservoirs d'hydrocarbures potentiels dans les formations TAGI et Gedinnian Tadrart. Le grément TP203 a été sélectionné pour forer ce puits.[9]

#### IV.2.1.1Données du puits

<b>Non du puits</b>	<b>ZAS-01</b>
<b>Champs</b>	<b>BERKINE</b>
<b>Classification du puits</b>	<b>Développement</b>
<b>Opérateur</b>	<b>Sonatrach</b>
<b>Entreprise</b>	<b>ENTP</b>
<b>Non de l'appareil</b>	<b>TP203</b>
<b>Entreprise de Weste managmente</b>	<b>ES</b>
<b>Localisation</b>	<b>X : 430 398.995 m Y : 3 479 256.995 m ZS : 173.262 m</b>
<b>TD</b>	<b>3450m</b>
<b>Nombre des jours</b>	<b>84 jours</b>

**TableauIV.7 : Données du puits ZAS-01[9]**

IV.2.1.2 Localisation du puits

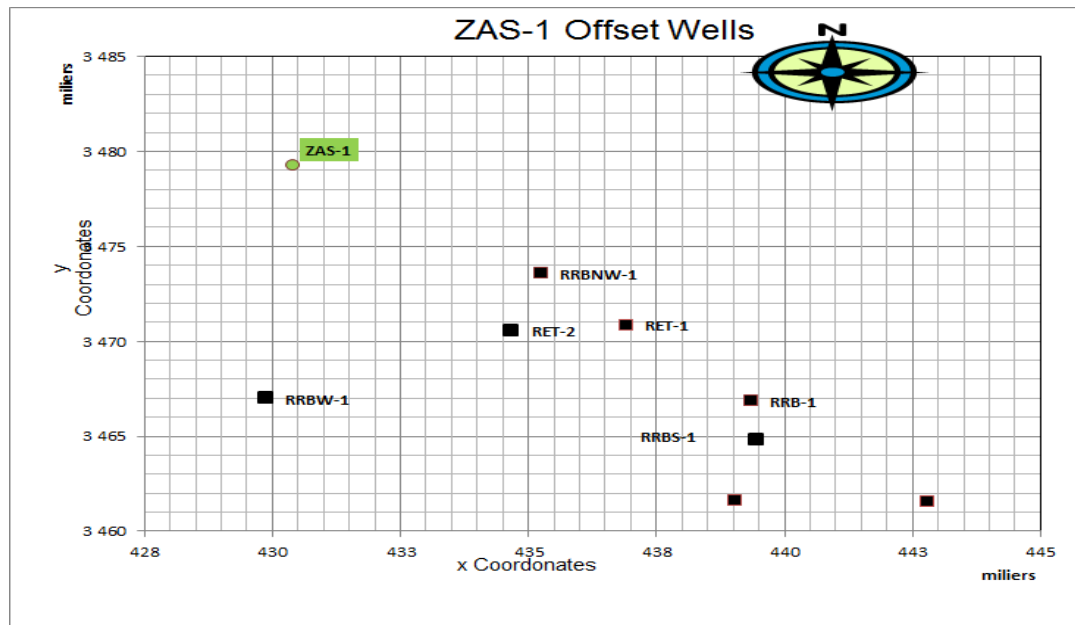


Figure IV. 10 : Localisation du ZAS-1[9]

IV.2.1.3 Mode d'alimentation

L'alimentation en eau du puits ZAS-1 se fait par le puits d'eau ZAS-101 avec une conduite en PEHD de 18.3km

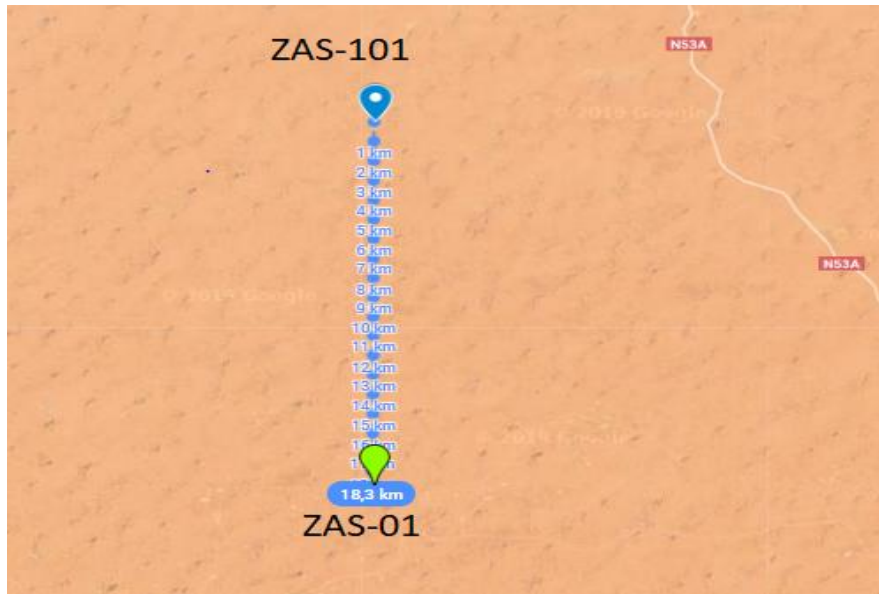
IV.2.1.4 Fiche technique du puits d'eau

La nappe captée c'est le complexe terminal a une profondeur de 160m

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE		PUITS D'EAU		
EXPLORATION-PRODUCTION DIRECTION DES OPERATIONS D'EXPLORATION DEPARTEMENT SURFACE		Nappe captée : Complexe Terminal		ZEMLET ARBI SUD - 101 ZAS-101		
COORDONNEES: Géographiques N = 08° 16' 03,06" E Y = 31° 26' 54,06" N ZS = 175,292 m		UTM 430 398,98 3 479 256,99		Date début de forage : 19/12/2017 Date fin de sondage : 14/01/2018 Profondeur finale : 160 m Appareil: GD-2500 (ZERGOUNE)		
Puits implanté à proximité du sondage pétrolier ZAS-1 ( bloc 403) Ns = 48 m/sol . Q exploitation = 45 m <sup>3</sup> / h						
Cote (m)	Etage	coupe	Lithologie	plan d'eau	Observations	
10	MIO-PLIOCENE		Sable blanc jaunâtre, fin à moyen	48 m		<b>1-Forage</b> - De 0 à 10 m : forage en 26" et Pose d'un tube guide 18"5/8 cimenté jusqu'en surface. - De 10 à 160 m : forage en 17"1/2  <b>2-Colonne de captage 9"58</b> - De 160 à 149 m : Sabot et Tube de décanatation - De 149 à 112 m : Crépines lanternées - De 112 à 101 m : Tube plein - De 101 à 66 m : Crépines lances usées - De 66 à +0,6 m : Tubes pleins  <b>3- Massif de gravier</b> Mise en place d'un massif de gravier de 20 m <sup>3</sup> dans l'espace annulaire 17"1/2 x 9"58 du fond jusqu'en surface.  <b>4-Développement</b> Le développement s'est effectué à l'air lift pendant 54 heures jusqu'à l'obtention d'une eau claire sans particules solides.  <b>5-Mise en production:</b> La mise en production du puits a été effectuée à l'aide d'une pompe immergée descendue à la cote 105 m avec un tubing 2"58.  Le débit d'exploitation est de 45 m <sup>3</sup> /h.
50			Sable blanc jaunâtre, moyen à grossier avec passées de gravier moyen			
100			Argile brun rouge à verdâtre sableuse avec des passées de calcaire blanc à beige moyennement dure, de gravier dur et de dolomite			
129	CHEN CARBONATE		Calcaire dolomitique blanc à beige, moyennement dure à friable avec fines passées de dolomite blanche et d'argile			
150						

Figure IV.11 : Fiche technique du puits d'eau ZAS-1[Fiche interne]

**IV.2.1.5 Localisation du puits d'eau par rapport au puits pétrolier**



**FigureIV.12 : Localisation du ZAS-1 par rapport au ZAS-101**

**IV.2.1.6 La technique utilisée pour la rationalisation d'eau dans le ZAS-1**

La technique utilisée pour la récupération d'eau dans le ZAS-101 c'est la technique du traitement mécanique à l'aide d'un skimmer c'est la technique que l'on trouve dans presque tous les chantiers

**IV.2.1.7 Résultats :** Ces résultats ont été obtenus par le service du waste management (ES)

Phase	Quotidienne	36 "	26 "	16"	12 <sup>1/4</sup>	8 <sup>1/2</sup>	Total
La quantité d'eau totale (m <sup>3</sup> )	45	2819	1210	809	830	2018	7686
La quantité d'eau utilisée dans le camp (m <sup>3</sup> )	20	753	751	281	214	601	2600
La quantité d'eau utilisée dans le RIG (m <sup>3</sup> )	25	2066	459	528	616	1417	5086
La quantité d'eau récupérée (m <sup>3</sup> )	12	0	0	144	153	355	652
La quantité d'eau réutilisée (m <sup>3</sup> )	7	0	0	96	103	211	410

**TableauIV.8 : Résultat des quantités d'eau consommé[21]**

### IV.2.1.8 La consommation moyenne journalière

La consommation moyenne journalière dans le RIG ( $m^3$ /jour)	La consommation moyenne journalière dans le camp ( $m^3$ /jour)	La consommation moyenne journalière Total ( $m^3$ /jour)
62	31	92

Tableau IV.9 : Consommation moyenne journalière [21]

### IV.2.2 Présentation du puits NAHSE #1

#### IV.Introduction

Le forage Nord Ahara Sud-Est-1 (NAHSE-1) est un puits d'exploration implanté dans la partie de l'extrême nord du bloc 212a du périmètre de recherche et d'exploitation El Ouar Est, actuellement en deuxième phase de recherche.



Photo IV.10 : NAHSE#1 durant le forage

**IV.2.2.1 Données du puits**

<b>Non du puits</b>	<b>NAHSE-1</b>
<b>Champs</b>	<b>BERKINE</b>
<b>Classification du puits</b>	<b>Développement</b>
<b>Opérateur</b>	<b>Sonatrach</b>
<b>Entreprise</b>	<b>ENTP</b>
<b>Non de l'appareil</b>	<b>TP203</b>
<b>Weste managmente entreprise</b>	<b>ES</b>
<b>Localisation</b>	<b>X : 395 038.940 m. Y : 3 319 022.012 m.</b>
<b>TD</b>	<b>4230m</b>
<b>Nombre des jours</b>	<b>126jours</b>

**Tableau IV.10 : Données du puits NAHSE#1[8]**

**IV.2.2.2 Mode d'alimentation**

L'alimentation en eau se fait par un puits d'eau NAHSE-101 foré spécialement pour le puits pétrolier NAHSE-1 avec une conduite en acier de 3.9 km[8]

**IV.2.2.3 Fiche technique du puits d'eau NAHSE-101**

La nappe captée c'est mio-pliocène d'une profondeur de 170m

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE			PUITS D'EAU	
Exploration-Production Division Exploration Direction Des Opération d'Exploration Département Surface		Nappe captée : Mio-pliocène			NORD AHARA SUD EST - 101 NAHSE-101	
Coordonnées Géographiques UTM X : 07° 54'42,47"E 395 038 Y : 29° 59'59,92"N 3 319 022 Zs : 226,7m		Puits d'eau implanté : à proximité du sondage pétrolier d'Exploration NAHSE-1 (bloc 212) Ns = 56m/sol Q (air-lift) = 30m <sup>3</sup> /h			Date début de forage : 03/08/2018 Date fin de sondage : 20/08/2018 Profondeur finale : 170 m Appareil : SS-25 (ENAGEO)	
Côte (m)	Etage	Coupe	Lithologie	Plan d'eau	Complétion	Observations
10	Mio-Pliocène		Sable jaunâtre à blanc localement rosâtre et translucide, moyen à grossier, mal classé, subarrondi à arrondi avec fines passées de Calcaire blanc, crayeux moyennement dur et d'Argile grise à gris-claire, tendre. Présence de grès rosâtre, fin, dur.	56m		1 - Forage - De 0 à 10m: Forage en 26" et pose d'un tube guide 18" <sup>5/8</sup> cimenté jusqu'en surface - De 10 à 170 m: Forage en 17" <sup>1/2</sup>
50						2-Colonne de captage 9" <sup>5/8</sup> - De 170 à 160m : Sabot et tube de décanation De 160 à 124,70m : Crépines lanternées - De 124,70 à 113,70m : Tube plein - De 113,70 à 78,50m : Crépines lanternées - De 78,50m à + 0,6m : Tubes pleins
100						3-Massif de gravier Mise en place d'un massif de gravier de 20 m <sup>3</sup> dans l'espace annulaire 17" <sup>1/2</sup> x 9" <sup>5/8</sup> du fond jusqu'en surface
160						4-Développement du puits Développement du puits à l'air lift par palier pendant 48 heures jusqu'à l'obtention d'une eau claire sans particules solides.
170						

Figure IV.13 : Fiche technique du puits d'eau NAHSE#1[Fiche interne]

IV.2.2.4 Localisation du puits d'eau par rapport au puits pétrolier



Figure IV.14 : Localisation du NAHSE#1 par rapport au NAHSE-101

**IV.2.2.5 Technique de rationalisation d'eau utilisée au NAHSE#1**

Les techniques de rationalisation existante sur chantier :

1. La technique de récupération par skimmer
2. La technologie du Géo-tube



**PhotoIV.11 : Les techniques de rationalisations sur le NAHSE#1**

**IV.2.2.7 Résultats**

Phase	Quotidienne	36 "	26 "	16"	12 <sup>1/4</sup>	8 <sup>1/2</sup>	Total
La quantité d'eau totale (m <sup>3</sup> )	45	2819	1210	809	830	2018	8694
La quantité d'eau utilisée dans le RIG (m <sup>3</sup> )	20	753	751	281	214	601	5796
La quantité d'eau utilisé dans l camp (m <sup>3</sup> )	25	2066	459	528	616	1417	3150
La quantité d'eau récupérée (m <sup>3</sup> )	12	0	0	144	153	355	2578
La quantité d'eau réutilisée (m <sup>3</sup> )	7	0	0	96	103	211	1468

**Tableau IV.11 : Résultat des quantités d'eau consommé[20]**

**IV.2.2.8 La consommation moyenne journalière**



La consommation moyenne journalière dans le RIG ( $m^3$ /jour)	La consommation moyenne journalière dans le camp ( $m^3$ /jour)	La consommation moyenne journalière Total ( $m^3$ /jour)
46	25	69

Tableau IV.12 : Les consommations moyennes journalières [20]

#### IV.2.2.9 Les résultats obtenus par le Géo-tube

La phase	16"	12 1/4"	8 1/2"	Total
Nombre de géo-tubes utilisé	2	3	3	8
Liquide / solides %	60-40	60-40	60-40	/
L'eau récupérée (m3)	296	329	419	1044
L'eau Réutilisé (m3)	181,5	219.5	322	623
Huile récupérée (m3)	0.9	2.32	3.1	6.32
Le volume total des solides contenus dans Géo-tube (m3)	102	212	235	549

Tableau IV.13 : Les résultats du géo-tube[20]

Avec le Géo-tube on a réussi a récupérer  $514 m^3$  et  $3.32m^3$  d'huile

#### IV.2.3 Les quantités d'eau utilisée dans le ZAS-1 et le NASHE#1

Ce graphe nous montre les quantités d'eau consommée dans le ZAS-1 et le NAHSE#1

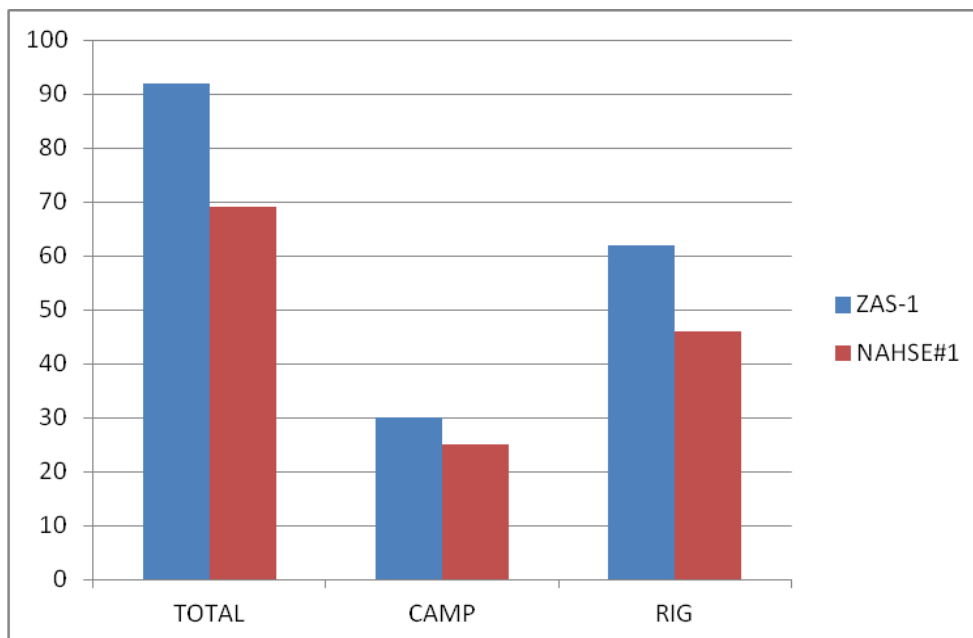


Figure IV.15 : Consommations moyenne journalière entre les puits ZAS-1 et NAHSE#1

#### IV.2.4 Conclusion

Avec l'application de la technologie du Géo-tube dans le puits NAHSE#1 on a réussi à optimiser une quantité d'eau de  $16\text{m}^3$ /jour dont  $9\text{m}^3$ /jour avec le géo-tube seulement et réduire les déchets des rejets du forage de 80% par le traitement on ligne par solidification des solides contenue dans le Géo-tube .

# Conclusion et recommandations

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

### A/CONCLUSION

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressés à la rationalisation et à la protection des eaux des nappes phréatiques dans les opérations de forage au sein de la SONATRACH. La problématique du sujet se résumait, donc, à comment économiser et protéger les eaux des nappes phréatiques lors du forage d'un puits pétrolier.

Le service du waste management fait partie des mesures prises par la division Forage/SONATRACH pour rationaliser les quantités d'eau utilisées dans les opérations de forage et pour minimiser l'impact des rejets de forage sur l'environnement.

Dans cette étude on a donné un aperçu global de l'impact des rejets de forage sur les ressources en eau et sur l'environnement en général et les techniques de traitement mises en place par SONATRACH. On a vu aussi l'origine des eaux utilisées dans les chantiers de forage et leur différent usage sur le RIG ou bien sur le camp et les différentes techniques de rationalisations d'eau établies par SONATRACH.

L'interprétation des résultats montre que les techniques utilisées pour la rationalisation d'eau sont efficaces et elles ont apporté des succès sur terrain et avec leur application sur chantier on est arrivé à rationaliser des quantités importantes d'eau.

### B/RECOMMANDATIONS

D'après cette étude les techniques apportées par les compagnies de service SONATRACH sont efficaces et elles ont donné des résultats positifs mais à notre avis il y a quelques points à améliorer en matière de rationalisation des quantités d'eau au niveau du RIG et au niveau du camp :

#### B.1/Au niveau du RIG :

Dans la phase boue à base eau WBM, dans cette phase le water pit n'est pas protégé par liner, et les rejets issus ne sont pas traités et ils sont jetés directement dans le water pit pour prétexter que les rejets dans cette phase sont pas nocifs pour l'environnement.



**Photo 1 : Les déblais de forage dans la phase WBM [Photo prise le 15/04/19]**

## Recommandation

Dans cette phase on utilise en moyenne une quantité d'eau d'environ de 800m<sup>3</sup>, dont elle est jeté dans la nature si on fait traitement mécanique à l'aide d'un skimmer dans cette phase, on peut récupérer des quantités d'eau importante et réutiliser pour d'autres usages.

### B.2/Au niveau du camp

Les quantités d'eau utilisé dans le camp sont assez grande dans certain chantier elles atteignent les 60m<sup>3</sup>/jour pour une trentaine de personnes cette quantité est importante. Nous avons fait des calculs d'estimation des quantités d'eau avec des dotations et des normes pour estimer la quantité qui devrait être consommé

La consommation d'eau dans le camp se divise dans les activités suivantes :

- Le lavage des linge (la buanderie)
- La préparation des repas (restaurant)
- L'utilisation personnelle
- L'arrosage

Le tableau ci-dessus nous montre les consommations calculer avec des dotations

	Utilisation personnelle	Buanderie	Restaurant	L'arrosage
<b>Dotation</b>	<b>170l/jour/habitant</b>	<b>500l/jour/machine</b>	<b>250l /repas (petit déjeuner 100l)</b>	<b>300l/jours</b>
<b>Utilisation</b>	<b>30 personnes</b>	<b>5 machines</b>	<b>2 repas / 1 petit déjeuner</b>	<b>Un seul arrosage</b>
<b>Consommation (m<sup>3</sup>)</b>	<b>5.1</b>	<b>2.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>
<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>8.5</b>			

**Tableau.1 : Les consommations d'eau estimée**

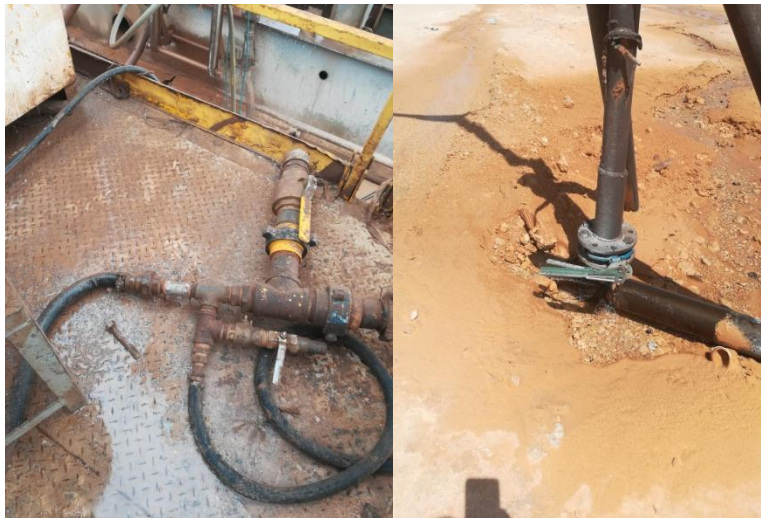
La consommation estimé est de 8.5m<sup>3</sup> mais les quantités consommé en réalité sont trop importante comparant avec la consommation estimée pour ce la, il faut :

- Programmer des séances de sensibilisation du personnel sur la minimisation de la consommation des eaux

### 3/La maintenance des équipements:

La bonne gestion des eaux commence par la maintenance préventive et régulière des équipements implique dans le transfert des eaux (pompes, tuyauteries, vannes, colliers...), d'après mes visites dans certains chantiers de forage, le disfonctionnement des équipements (pannes, fuites .ect) consomme des grande quantités d'eau. Dans d'autre chantier, on trouve des circuits refroidissement ouverts, un circuit de refroidissement fermé peut

considérablement réduire la consommation des eaux. Il est donc nécessaire de vérifier tous ces détails avant d'entamer les opérations de forage



**Photo.2 : Les fuites dans les conduites[Photo prise 12/04/19]**

# Glossaire

**ATC** : Une technique de nettoyage des bacs automatiquement.

**Auger** : Vis-convoyeuse pour le traitement de la boue de forage

**Boiremédiation** : Une technique de traitement des rejets sec online.

**Bourbier** : Une fosse la ou en jette les déblais et les rejets du forage.

**Corral pit** : La fosse qui ce trouve dans la plate forme du RIG

**Cuttings** : Les déblais et rejets solide du forage.

**Dewatring** : Une technique de traitement des eaux

**Dry pit** : La fosse de stockage des déblais traites.

**Dryer** : Centrifuges vertical utilisé pour le traitement de la boue de forage

**Géotextile** : Un type de plastique

**Liner** : Un isolant en PEHD utilisé dans les fosses pour protéger le sol.

**Mud Cleaner** : Appareil utilisé pour le traitement de la boue de forage

**OBM** : Boue de forage a base huile.

**RIG** : L'appareil de forage.

**Shaker** : tamis vibrant de l'appareil de forage

**Skimmer** :Un outil utilisé pour la séparation eaux huiles solides

**Socle** : Un type de roche

**Spicer** : L'eau qui sépare la boue et le ciment dans l'opération de la cimentation.

**Waste management** : Des compagnies de service engagé par Sonatrach pour la gestion des déchets.

**Water pit** : La fosse ou on jette les rejets de forage dans la phase WBM.

**WBM** : Boue de forage a base eau.

**Wet pit** : Une fosse ou on jette les rejets de forage dans la phase OBM.



## Bibliographie

- [1] Aquifère du Sahara septentrional O. DHINA (2004)
- [2] Documentation interne ES 2018 QES SOLUTION
- [3] Documentation interne ES 2018 GEO-TUBE UPDATE
- [4] Documentation interne HALLIBURTON 2017 Hess - Dewatering Closed Loop LNL\_14 Apr 11
- [5] Documentation interne M-I 2018 ENTP ATC TRIAL
- [6] Documentation interne M-I 2018 Zéro Décharge sur MD712 - ENF#47
- [7] Etude d'impact environnemental et social des activités de forage du AZS-2 Gassi Chergui, Algeria ERM Août 2007
- [8] Fiche de puits et rapport d'implantation du puits NASHE#1
- [9] Fiche de puits et rapport d'implantation du puits ZAS~1
- [10] Fiche de puits et rapport d'implantation du puits MD712
- [11] Fiche de puits et rapport d'implantation du puits MDZ713
- [12] Fonctionnement d'un appareil de forage Documentation interne SONATRACH (2005)
- [13] Forage pour non-foreurs Division forage, département formation
- [14] Installation de surface Traitement mécanique de la boue rejets A.CAMPEGGI (1999)
- [15] L'EAU : ETAT DES LIEUX DES POTENTIALITES ET DES PRELEVEMENTS ZELLA L.1 , SMADHI D.2 1 Professeur, Université S. Dahleb, Blida, Algérie
- [16] Présentation de la région Documents internes (2008)
- [17] Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie 07 Mars 2009
- [18] Rapports Du dernier jours de waste management du puits MD712.
- [19] Rapports Du dernier jours de waste management du puits MDZ713

- [20] Rapports Du dernier jours de waste management du puits  
NASHE#1
- [21] Rapports Du dernier jours de waste management du puits ZAS-1
- [22] Waste management & solids control solutions SEAHARVEST  
(2007)
- [23] النصوص القانونية المنظمة للبيئة Journal officiel

## Webographie

- [24] Site web” <https://slideplayer.fr/slide/4792330/>”

