

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1**

**Faculté de technologie**

Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement



## **MEMOIRE DE MASTER**

**Filière : Hydraulique**

**Spécialité : Ressources Hydrauliques**

Thème :

**Suivi de réalisation du forage Albien OMPHA-9 dans la région de  
Hassi Messaoud (Algérie)**

Préparé par

**EL-GHOULAM Houda**

**HAFSI Manel**

Devant le jury composé de :

Mme Bouzouidja. S	Maître assistante M.A.A, U.S.D Blida 1	Présidente
Mr. Kouli. M.R	Maître assistant M.A.A, U.S.D Blida 1	Examineur
Mr. Guendouz. A.H	Professeur, U.S.D Blida 1	Examineur
Mr. Messaoud Nacer. N	Maitre de conférence M.C.A, U.S.D Blida 1	Promoteur

Promotion 2018/2019

# *Remerciements*

*Tout d'abord, nous remercions DIEU qui a illuminé notre chemin et qui nous a armés de forces et de sagesse, ainsi que de bonne volonté durant toute notre période de formation.*

*Les mots ne suffisent jamais pour exprimer la valeur de notre reconnaissance à l'égard de nos parents pour leur aide, leur patience, leur soutien et leur confiance tout le long de notre dur labeur.*

*Nous tenons aussi à remercier tous les professeurs de l'université saad dahlab département hydraulique qui ont contribué à nos études durant toutes ces années , pour leur dévouement et leur patience .*

*Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier monsieur Messaoud Nacer ( notre encadreur ) pour sa compréhension, son humanité et ses conseils constructifs, qu'il m'a dispensé et monsieur Dehbi Soufiane (co-promoteur chef de service au division de forage à Sonatrach Hassi messaoud ) qui nous a été d'une grande aide durant la période de stage pratique .*

*Nous remercions l'ensemble du personnel formateur qui nous ont aidé lord de notre formation à division forage de Hassi messaoud .*

*Nous remercions notre promotion du département Hydraulique Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans notre long chemin et pouvoir terminer notre travail dans de bonnes conditions.*

# Dédicace

*Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en guise de reconnaissance envers :*

*\* **Ma chère maman** qui est pour moi le soutien de toutes ces années de labeur par sa grande patience et son sacrifice que je ne pourrais par aucun mot lui exprimer ma reconnaissance .*

*\* **Mes chères frères et sœurs** : Hakima . Naima . Nachoua . Chemssedine .Hadjer . Samira . Abed.*

*\* **Mes chères gendres** : Ridha . Radouane . Bekri . Abdelhadi . Slimane.*

*\* **Mes anges neveux et nièces** : Lilia . Hidayat . Mounia . Sidahmed . Tamer . Mouadh . Loay . Alaa . Abdeldjalil . Kosay . Wail . Iline . Farah et Abdelmalek. Qui sont tous ma joie et ma fierté qu'ils trouvent ici l'expression de ma vive gratitude en témoignage de notre fraternité qui n'a pas d'égale.*

*\* Toute la famille **El-Ghollam** et **Mansour** .*

*\* Tous mes amis sans exception .*

*\* Toute la promotion de Master2 Hydraulique*

*\* Toute personne qui m'aime et me respecte.*

***El-Ghoulam Houda***

# *Dédicace*

*Quoi de plus que de pouvoir partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres qu'on aime.*

*Arrivé au terme de mes études, nous avons le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :*

*Ma chère mère, Malika et mon cher père, Ahmed*

*Mes grandes mères, Aouaouche et Houria*

*Ma chère sœur, Ryma et sa petite belle fille Raffife*

*A ma chère sœur, Samah*

*Mes oncles, Kamel, Allal et Karim.*

*Mes tantes, Hassina, Samira, Souad, Fatma et Lamia*

*A toute la famille Hafsi et Kasraoui*

*Tous mes amis de promotion Master*

*Mon encadreur: N. Messaoud Nacer*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail*

***Hafsi Manel***

## ***Résumé :***

Le suivi de la réalisation du forage OMPHA-9 captant les eaux de l'Albien, destiné à l'injection dans le gisement cambrien du champ de Hassi Messaoud, été mis en exploitation par la tête de puits avec une pression de 25 bars.

Cette eau de faciès chloruré calcique et de 1600 mg/l de minéralisation présente une dureté et une température élevée. Ces facteurs peuvent présenter un inconvénient pour les installations d'injection et nécessite une correction.

La Sonatrach donne une grande importance à la préservation de l'environnement en sécurisant le rejet de forage et les bourniers afin d'éviter les infiltrations qui pourraient contaminer la nappe phréatique du Mio-Pliocène.

### **Mots clés :**

Suivi, réalisation, forage OMPHA-9, l'injection, Hassi Messaoud, environnement.

## ***Abstract:***

The monitoring of the completion of the OMPHA-9 drilling the Albian waters, intended for injection into the Cambrian field of Hassi Messaoud field to increase the pressure, was put into operation after the completion of completion. The sheet being eruptive, the exploitation is done under a pressure of 25 bars by a wellhead.

This calcium-chlorinated facies water is about 1600 mg / l of mineralization has a high hardness and temperature. These factors can be a disadvantage for injection installations and require correction.

Sonatrach attaches great importance to the preservation of the environment by securing the sites of drilling discharges and sloughs in order to avoid infiltration that could contaminate the Mio-Pliocene water table.

**Key words:** Monitoring, realization, OMPHA-9 drilling, injection, Hassi Messaoud, environment.

# ملخص

تم إنشاء بئر OMPHA-9 لرصد والتقاط مياه I'Albien المعدة للحقن في الحقل البترولي المتواجد في حقل حاسي مسعود وهذا بواسطة رأس البئر بضغط يعادل 25 بار. هذه المياه الغنية بالكالسيوم والكلور و المحتوية على 1600 مغ/ل من التمعدن لديها صلابة ودرجة حرارة عالية ، هذه العوامل قد تؤثر سلبا على منشآت الحقن وهذا ما يتطلب تصحيحا. تولي سونا طراك أهمية كبيرة للحفاظ على البيئة وهذا ظاهر من خلال تأمين فضلات الحفر والأماكن الموحلة ، لتجنب التسرب الذي قد يلوث المياه الجوفية

الكلمات المفتاحية: متابعة ، تحقيق، حفر OMPHA-9 ،الحقن، حاسي مسعود، البيئة .

# Liste des abréviations

**HSE** : Santé, sécurité, et l'environnement.

**SASS** : Système d'aquifère du Sahara Septentrional.

**CI** : Continental Intercalaire.

**CT** : Complexe Terminale.

**CRD** : Centre de recherche et développement.

**BHA** : Bottom hole assembly.

**API** : American petroleum institute.

**LSA** : Lambert sud Algérie.

**UTM** : Universal transverse mercator.

**ENTP** : L'entreprise nationale des travaux aux puits.

**TVD** : True vertical depth.

**TMD**: Total measured depth.

**TD** : Total depth.

**BOP**: Blow out preventor (bloc d'obturation du puits).

**CBL**: Cement bond log.

**VDL**: Variable density log.

**K55, N80, P110** : Grade d'acier.

**BTC, LTC**: Type de filetage.

**D10** : Diamètre de 10% des particules de la formation (mm).

**D 60** : Diamètre de 60% des particules de la formation (mm).

**XO** : Cross over.

## *Liste des figures*

### **Chapitre I : Présntation de l'entreprise Sonatrach.**

<b>Figure 01</b> : Organigramme de la structure Sonatrach.....	03
<b>Figure 02</b> : Organigramme du département hydraulique.....	07

### **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.**

<b>Figure 01</b> : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud.....	10
<b>Figure 02</b> : Extrait de la carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique.....	12
<b>Figure 03</b> : Colonne litho stratigraphie type de champ de Hassi Messaoud.....	18
<b>Figure 04</b> : Extension de système d'aquifère du Sahara Septentrional.....	19
<b>Figure 05</b> : Coupe hydrogéologique du Sahara Septentrional.....	20
<b>Figure 06</b> : Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire.....	24

### **Chapitre III : Organisation du chantier.**

<b>Figure 01</b> : Plateforme du forage OMPHA-9. ....	26
<b>Figure 02</b> : Différents organes constituant un appareil de forage standard.....	29
<b>Figure 03</b> : Equipement de mouflage.....	30
<b>Figure 04</b> : Le treuil d'un appareil de forage.....	31
<b>Figure 05</b> : La table de rotation .....	32
<b>Figure 06</b> : La tête d'injection.....	32
<b>Figure 07</b> : Le fonctionnement des pompes à boue.....	33

### **Chapitre IV : Programme du forage OMPHA-9.**

<b>Figure 01</b> : Situation du puits OMPHA-9. ....	36
<b>Figure 02</b> : Le tube guide.....	40
<b>Figure 03</b> : Les différentes colonnes de tubage. ....	41
<b>Figure 04</b> : Tubage / Cimentation.....	43
<b>Figure 05</b> : Sabot à canal. ....	46
<b>Figure 06</b> : Serrage et collage du sabot. ....	46
<b>Figure 07</b> : Anneau.....	47
<b>Figure 08</b> : L'emplacement de l'anneau. ....	47
<b>Figure 09</b> : Les bouchons de cimentation.....	48
<b>Figure 10</b> : La position des deux bouchons à la fin de la cimentation. ....	48



<b>Figure 11</b> : Centreur flexible.....	48
<b>Figure 12</b> : Centreur rigide.....	48
<b>Figure 13</b> : La tête de cimentation.....	49
<b>Figure 14</b> : Equipement de cimentation de la colonne 13 <sup>3/8</sup> .....	52
<b>Figure 15</b> : CBL-VDL- simple logging.....	55
<b>Figure 16</b> : Le circuit de boue.....	59
<b>Figure 17</b> : Exemple de master log de la phase 26”.....	63
<b>Figure 18</b> : Exemple de master log de la phase 16”.....	68
<b>Figure 19</b> : Exemple de master log de la phase 12 <sup>1/4</sup> .....	73

### **Chapitre V : Complétion et développement du puits.**

<b>Figure 01</b> : Différents types des crépines industrielles en acier.....	77
<b>Figure 02</b> : La disposition du liner.....	86
<b>Figure 03</b> : La tête du puits .....	87
<b>Figure 04</b> : La fiche technique du puits OMPHA-9.....	88

## *Liste des tableaux*

### **Chapitre IV : Programme du forage OMPHA-9.**

<b>Tableau N°01</b> : Les coordonnées du puits OMPHA-9.....	35
<b>Tableau N°02</b> : Données générales sur le puits OMPHA-9.....	37
<b>Tableau N°03</b> : Les avantages et les inconvénients de la technique de rotation....	38
<b>Tableau N°04</b> : Les paramètres du forage de la phase 26'' .....	61
<b>Tableau N°05</b> : Les paramètres de la boue.....	61
<b>Tableau N°06</b> : La garniture du forage.....	62
<b>Tableau N°07</b> : Les caractéristiques du casing 18'' <sup>5/8</sup> .....	64
<b>Tableau N°08</b> : Les composantes du laitier de ciment de densité 1.58.....	64
<b>Tableau N°09</b> : Les composantes du laitier de ciment de densité 1.90.....	65
<b>Tableau N°10</b> : Les paramètres du forage de la phase 16''.....	66
<b>Tableau N°11</b> : Les paramètres de la boue.....	66
<b>Tableau N°12</b> : La garniture du forage.....	67
<b>Tableau N°13</b> : Les caractéristiques du casing 13'' <sup>3/8</sup> .....	69
<b>Tableau N°14</b> : Les paramètres du forage de la phase 12'' <sup>1/4</sup> .....	71
<b>Tableau N°15</b> : Les paramètres de la boue.....	71
<b>Tableau N°16</b> : Types d'outils utilisés dans la phase 12'' <sup>1/4</sup> .....	71
<b>Tableau N°17</b> : La garniture du forage.....	72
<b>Tableau N°18</b> : Les caractéristiques du casing 9'' <sup>5/8</sup> .....	73

### **Chapitre V : Complétion et développement du puits.**

<b>Tableau N°01</b> : Matériels de fond du puits OMPHA-9.....	85
<b>Tableau N°02</b> : Les analyses physico-chimiques et biologiques d'un échantillon d'eau du puits OMPHA-9.....	89

# Table des Matières

Introduction Générale.....	01
----------------------------	----

## Chapitre I : Présentation de l'entreprise Sonatrach.

I.1.Création de l'entreprise et ses missions .....	02
I.2.Quelques dates phares.....	02
I.3.Organisation structurale.....	02
I.3.1.Direction Générale.....	04
I.3.2.Structure Opérationnelle.....	04
I.3.3.Structure fonctionnelle.....	06
I.4.Présentation de la division forage.....	06
I.4.1.La direction des Opérations.....	07
I.4.2.Le Département hydraulique.....	08
I.4.2.1.Organigramme du département d'hydraulique.....	08
I.4.2.2.Les tâches du département d'hydraulique.....	09
La conclusion .....	09

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction.....	10
II.1.Historique découverte du champ de Hassi Messaoud .....	10
II.2.Situation géographique du champ de Hassi Messaoud.....	11
II.3.Aperçu géologique de la région de Hassi Messaoud.....	12
II.3.1.Cadre régional.....	12
II.3.2.Cadre local.....	13
II.3.3. Description stratigraphique.....	14
II.3.3.1. Le Cénozoïque.....	14
II.3.3.2.Le Mésozoïque.....	14
a) Crétacé supérieur.....	14
b) Crétacé inférieur.....	15

c) Le Jurassique.....	15
d) Le Trias.....	16
II.3.3.3.Le Paléozoïque.....	17
a) L'Ordovicien.....	17
b) Le Cambrien.....	17
c) L'Infracambrien.....	18
II.3.3.4.Le socle.....	19
II.4.Aspect hydrogéologique .....	20
II.4.1.Présentation de système d'aquifère du Sahara Septentrional (SASS) .....	20
II.4.2.Présentation des aquifères de la région de Hassi Messaoud.....	21
II.4.2.1.Aquifère du Complexe Terminal (TC).....	21
II.4.2.2.Aquifère du Continental Intercalaire (CI).....	23
Conclusion .....	26

### **Chapitre III : Organisation du chantier**

III.1.L'installation du chantier de forage.....	27
III.1.1.Composante Humaine du chantier .....	27
III.1.2.Santé, Sécurité et environnement (HSE) .....	28
III.1.3.Le rôle du superviseur de Sonatrach .....	29
III.2.L'appareil de forage .....	30
III.2.1.Fonction de levage .....	31
III.2.1.1.Mâts de forage.....	31
III.2.1.2.Le mouflage .....	31
III.2.1.3.Treuil de forage.....	32
III.2.2.Fonction de rotation.....	32
III.2.2.1.La table de rotation.....	32
III.2.2.2.La Tête d'injection.....	33
III.2.3.Fonction de pompage.....	34
III.2.3.1.Circulation de boue.....	34
III.2.3.2.Partie mécanique des pompes de forage .....	34

III.2.3.3.Partie hydraulique des pompes de forage .....	34
---	----

## **Chapitre IV : programme de forage du puits OMPHA-9**

Introduction .....	36
<b>Partie I : Déroulement des opérations du forage</b> .....	36
IV.1.Implantation et but de sondage hydraulique OMPHA-9 .....	36
IV.1.1.Situation du puits .....	36
IV.1.2.But de sondage.....	37
IV.1.3.Informations générales sur le puits OMPHA-9 .....	37
IV.1.4.Objectif du sondage .....	38
IV.1.4.1.Objectifs opérationnels .....	39
IV.2.La technique de forage utilisée .....	39
IV.2.1. Le principe de la technique de fonçage par rotation .....	39
IV.2.2.Les avantages et les inconvénients de la technique de rotation .....	39
IV.3.Deroulement des operations de forage .....	40
IV.3.1.Tubage.....	40
IV.3.2.Les différentes colonnes de tubage .....	40
IV.3.3.Caractéristiques de tubage .....	43
IV.4.Cimentation des colonnes de tubage.....	43
IV.4.1.Le principe de la cimentation.....	43
IV.4.2.Objectifs de la cimentation .....	44
IV.4.2.1.Volume de laitier de ciment .....	45
IV.4.2.2.Volume du fluide de refoulement (volume de chasse) .....	45
IV.4.2.3.Préparation du trou avant l'injection .....	45
IV.4.2.4.Utilisation des ciments et des additifs .....	45
IV.4.2.5.Réalisation de la cimentation .....	46
a)Equipement de la colonne de cimentation .....	46
b)Cimentation du casing 18'' <sup>5/8</sup> (Cimentation au stinger) .....	50
c)Cimentation du casing 13'' <sup>3/8</sup> (cimentation simple étagé).....	52
IV.4.2.6.Le contrôle de la cimentation (logging) .....	56
IV.5.Le fluide de forage (la boue) .....	56
IV.5.1.Les principaux types de boue .....	56

IV.5.2.La boue à la bentonite (boue à base d'eau) .....	57
IV.5.3.Rôles de la boue .....	57
IV.5.4.Les fonctions du fluide de forage .....	58
IV.5.5.Composition de la boue .....	58
IV.5.6.Caractéristiques de la boue de forage .....	58
IV.5.6.1. Caractéristiques physico-chimiques.....	58
IV.5.6.2.Caractéristiques rhéologiques .....	59
IV.5.7.Le circuit de boue .....	60
IV.5.7.1.Traitements mécaniques .....	60
IV.5.7.2.Traitements chimiques .....	60
<b>Partie 2 : Exécution du forage OMPHA-9.....</b>	<b>62</b>
IV.1.Phase 26'' Casing 18'' <sup>5/8</sup> .....	62
IV.1.1.Le But .....	62
IV.1.2.Paramètres de forage .....	62
IV.1.3.La boue .....	63
IV.1.4.Outil de forage .....	63
IV.1.5.Programme de la garniture (BHA) .....	63
IV.1.6.Description géologique (master log) .....	64
IV.1.7. Tubage (casing) .....	65
IV.1.7.1.Habillage de la colonne 18'' <sup>5/8</sup> .....	66
IV.1.8.Programme de cimentation de la colonne 18'' <sup>5/8</sup> .....	66
IV.1.9.Problèmes de forage rencontrés .....	67
IV.1.10.Remèdes .....	67
IV.2.Phase 16'' Casing 13'' <sup>3/8</sup> .....	67
IV.2.1.Le But .....	67
IV.2.2.Paramètres de forage .....	67
IV.2.3. La boue .....	68
IV.2.4.Outil de forage .....	68
IV.2.5.Programme de la garniture (BHA) .....	68
IV.2.6.Description géologique .....	69
IV.2.7.Tubage .....	70
IV.2.7.1.Habillage de la colonne 13'' <sup>3/8</sup> .....	71
IV.2.8. Programme de cimentation de la colonne 13'' <sup>3/8</sup> .....	71

IV.2.9.Résultats de logging .....	71
IV.2.10.Problème rencontré au cours du forage.....	71
IV. 2.11.Remèdes .....	72
IV.3.Phase 12’’ <sup>1/4</sup> Casing 9’’ <sup>5/8</sup> (13 % crépines).....	72
IV.3.1.Le But.....	72
IV.3.2. Paramètres de forage.....	72
IV.3.3. La boue .....	73
IV.3.4. Outil de forage .....	73
IV.3.5. Programme de la garniture .....	73
IV.3.6. Description géologique .....	74
IV.3.7. Tubage .....	75
Conclusion.....	76

## **Chapitre v : Complétion et développement du puits**

Introduction.....	77
<b>Partie 1: Donnée théorique concernant la complétion et le développement des forages.</b>	<b>77</b>
V.1. Système d'exploitation de la nappe.....	77
V.1.1. Eléments constitutifs du système de captage .....	77
V.1.1.1. Tubes pleins.....	78
V.1.1.2. Les Crépines .....	78
V.1.1.3. Le Sabot De Décantation.....	82
V.1.1.4. Massif Filtrant ( Gravier Additionnel ) .....	82
V.2. Le Développement d'un puit .....	83
V. 2.1. Définition .....	83
V. 2.2. Type de développement.....	83
V.2.2.1. Développement naturel .....	83
V.2.2.2. Développement Artificiel .....	84
V.2.3. Méthodes de Développement d'un puits.....	84
V.2.3.1. Le développement par pompage .....	84
V.2.3.2. Le développement par air comprimé .....	84
V.2.3.3. Le développement par pistonnage .....	84
V.2.3.4. Lavage aux jets à grande vitesse .....	85

V.2.3.5. Développement par émulseur (Air Lift) .....	85
V.2.3.6. Essai De Puits Courte Durée (Paliers De Débit) .....	85
V.2.3.7. Essai De Longue Durée .....	85
<b>Partie 2 : La complétion et développement du forage OMPHA-9 .....</b>	<b>86</b>
V.1. Composition et mise en place de la colonne .....	86
V.1.1. Tubing de Production .....	86
V.1.2. La liste de matériels .....	87
V.1.3. Programme de casing .....	87
V.2. Massif filtrant .....	87
V.3. Tête de puits .....	89
V.4. Développement .....	89
V.5. Analyse physico-chimique du fluide .....	91
V.5.1. Discussion et interprétation des résultats .....	92
La conclusion .....	92
Conclusion Générale .....	93

..



## **Introduction générale :**

Les eaux de l'Albien dans la région de Hassi Messaoud sont surtout utilisées pour être injectées dans le gisement pétrolier afin d'en augmenter la pression. Les eaux de cinq à six forages producteurs sont nécessaires à cette opération. C'est dans cette optique que le forage OMPHA-9 a été réalisé en février et mars 2019. Dans le cadre de l'élaboration de notre mémoire de fin d'étude, nous avons eu l'opportunité d'effectuer un stage de terrain sur le chantier de l'ENTP. Ce stage qui s'est déroulé du 4 février au 28 mars 2019, nous a permis de nous familiariser avec les différentes étapes du déroulement du forage OMPHA-9, destiné à renforcer la capacité d'injection. Il nous a également permis de faire une immersion dans le monde de l'entreprise, au sein du département hydraulique de la division forage de Hassi Messaoud.

Le mémoire s'articule autour de cinq chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la description de l'organigramme de l'entreprise Sonatrach avec ses différentes divisions.

La description géographique et un aperçu géologique et hydrogéologique de la zone d'étude sont décrits dans le deuxième chapitre.

Dans le chapitre trois nous nous sommes intéressées à l'organisation du chantier. Sur le plan matériel, nous avons décrit les différents éléments qui constituent un chantier de forage, ainsi qu'à sa composante humaine (gestionnaire, technicien....etc). Le volet sécurité et préservation de l'environnement est pris en charge dans le cadre d'un protocole strict, c'est la HSE obligatoire dans chaque chantier de forage.

Le chapitre quatre est consacré à la description de toutes les étapes du forage OMPHA-9 : forage, tubage et cimentation.

La complétion, le développement et les analyses physico-chimiques sont décrits dans le dernier chapitre

# ***CHAPITRE I***

## ***PRESENTATION DE L'ENTREPRISE SONATRACH***

## I.1. Création de l'entreprise et ses missions

Créée le 31 décembre 1963, la Sonatrach est société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés elle opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique.

Tout en assurant la sécurité énergétique du pays, elle contribue grandement à son développement socio-économique.

## I.2. Quelques dates phares

En 1965, la Sonatrach entreprit la construction et la mise en place d'un oléoduc reliant Haoud el-Hamra à Arzew, c'était la première expérience en son genre dans un pays en voie de développement dans le domaine pétrolier, cette réalisation constitue en quelque sorte la confirmation de l'acte de naissance de la société nationale Sonatrach.

En 1966, elle voit ses activités s'étendre à la recherche et à l'exploitation industrielle et commerciale des hydrocarbures et de ses dérivés ; la construction et l'exploitation des moyens de transport (mer, terre) le traitement et la transformation des hydrocarbures, la distribution et la vente, tant en Algérie qu'à l'étranger.

Le 24/02/1971, date de la nationalisation des hydrocarbures l'entreprise se voit confier la lourde tâche de développer toutes branches de l'industrie pétrolière depuis l'exploitation jusqu'à la pétrochimie.

Le gouvernement a donné son accord à l'entreprise pour lancer des travaux de recherche concernant l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels (gaz de schiste). [1]

## I.3. Organisation structurale

La Sonatrach est structurée en : ( figure 01) [2]

- Quatre activités ( EX-PR, TRC, LRP, COM )
- Onze directions fonctionnelles ( juridique, Audit, HSE, TEC et DEY)
- Cinq coordinations groupées (RHU, finances, stratégie, planification, économie, activités centrales, Activités internationales).

**❖ Directions corpo rate (DCP):**

- Stratégie, Planification et économie (SPE)
- Finances (FIN)
- Ressources Humaines (RHU)

**❖ Directions centrales (DC)**

- Filiales et participations (FIP)
- Activités centrales (ACT)
- Juridique (JUR)
- Informatique et système d'information (ISI)
- Marchés et logistique (MLG)
- Santé, sécurité & environnement (HSE)
- Business développent (BSD)
- Recherche et développement (RDT)

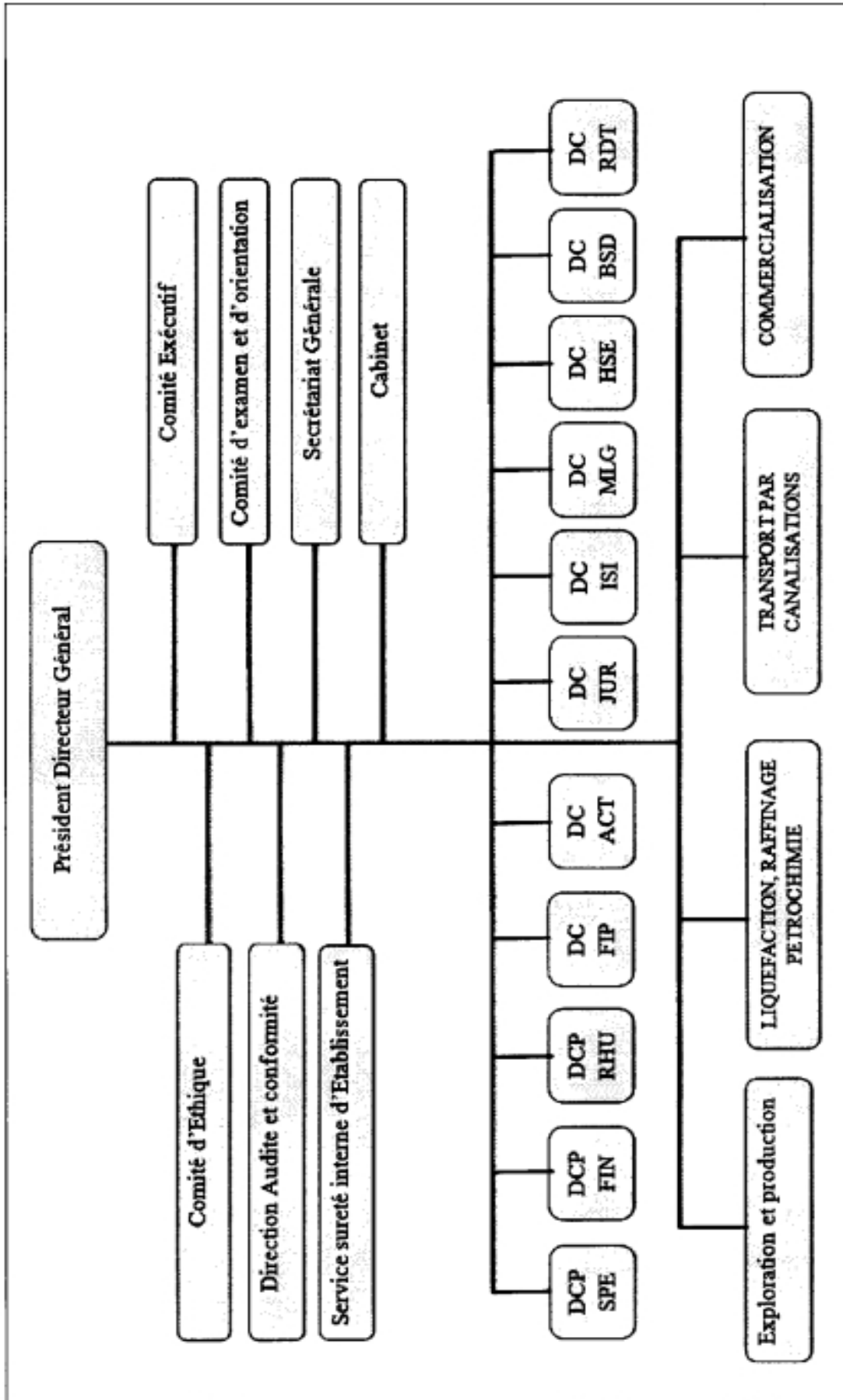


Figure I.1: Organigramme de la structure Sonatrach (source Sonatrach)

### **I.3.1. Direction générale**

Dans son rôle de société mère, elle assure les fonctions de pilotage stratégique, de cohérence et d'appui. Elle est constituée de :

- Président directeur général
- Comité exécutif constitué des vices présidents amont, aval et commercialisation, du directeur général corporate planning et finances et du secrétaire général
- Comité d'examen et d'orientations qui couvre trois volets à savoir : partenariat acquisition, projets et contrats et ressources humaines.

### **I.3.2. Structure opérationnelle**

Les structures opérationnelles érigées en ensemble homogène d'activités exercent les métiers du groupe et développent son potentiel d'affaires tant en Algérie qu'avec les partenaires étrangers, et chacune d'eux est placée sous l'autorité d'un vice-président.

#### **❖ Activité amont (exploration-production)**

Elle est chargée de :

- Développement des activités de recherche des hydrocarbures sous forme d'étude géologique ou géophysiques ;
- Supervision et contrôle des travaux de recherche sur le terrain ;
- Développement et exploitations des gisements découverts ;
- Réalisations de forage ;
- Réalisation d'infrastructures de surface ;
- Travaux de recherches et de développement ;
- Supervision et contrôle des contrats en associations avec les partenaires étrangers.

#### **❖ Activité transport par canalisation(TRC)**

Son rôle l'acheminement des hydrocarbures par les pipes lignes vers les centres de traitement, de liquéfaction et de transformation des hydrocarbures.

### ❖ **Activité aval (liquéfaction-raffinage-pétrochimie)**

Elle est chargée de

- Suivi et améliorations des raffineries et complexes de liquéfaction et de transformation.
- Suivi et améliorations des activités de liquéfactions des gaz de pétrole liquéfiés et des activités de transformations des hydrocarbures.

### ❖ **Activité commercialisation**

L'approvisionnement du marché et la commercialisation des hydrocarbures sur le marché mondial.

### ❖ **Holding international**

La gestion des activités internationales du groupe et son développement.

### ❖ **Groupe services**

Tous se qui services pétroliers, engineering, maintenance construction.

## **I.3.3. Structure fonctionnelle**

Elles assurent la coordination des stratégies, des politiques et des activités du groupe, en élaborant les instruments de pilotage, en organisant et en fournissant appuis et l'expertise aux structures opérationnelles.

## **I.4. Présentation de la division forage**

La division forage est l'une des structures de l'activité amont, elle e été créé en avril 1987 ayant pour mission principale la supervision de l'activité forage sur le territoire national et l'implémentation d'une structure puissante d'ingénierie et de management des opérations forage en introduisant des nouvelles techniques pour l'objectif de forer des puits d'exploration et de développement de qualité et avec les minimum coûts et délais.

Elle est structurée de six directions opérationnelles :

- Direction engineering programmes
- Direction finance contrôle de gestion
- Direction gestion du personnel
- Direction des opérations forage (DOF)
- Direction procure ment forage et puits
- Direction mud logging.

### **I.4.1. La direction des opérations**

A pour missions essentielles :

- La mise en œuvre des facteurs clés de succès pour un développement performant de la fonction engineering dans ses dimensions opérationnelles et conceptuelles
- La mise en œuvre des nouvelles technologies dans le domaine en vue d'améliorer les performances et réduire les délais de réalisations
- La supervision des opérations à distance via le Real Time Opérations Management (RTOM)
- La supervision des travaux de réalisation de génie civil, pistes et plateforme de forage
- La supervision et le suivi des opérations de forage d'exploration et de développement sur toute l'étendue géographique du pays
- La conduite des opérations de forage et de complétion en régis
- La coordination des interventions des sociétés de services dans le processus de réalisation des forages
- Le contrôle et le suivi de l'application des programmes techniques de forage et de complétion
- La mise en œuvre de la logistique des chantiers de forage par l'approvisionnement et le transport des consommables puits : tubage, outils, tête de puits, équipements de fond et de surface
- L'exploitation des synthèses de données topographiques et géophysiques des sondages ou de terrain
- La veille à l'application des règles en matière de HSE
- La participation dans les activités à l'international
- Le département de l'hydraulique l'un des départements qui composent La direction des opérations



## I.4.2. Le département hydraulique

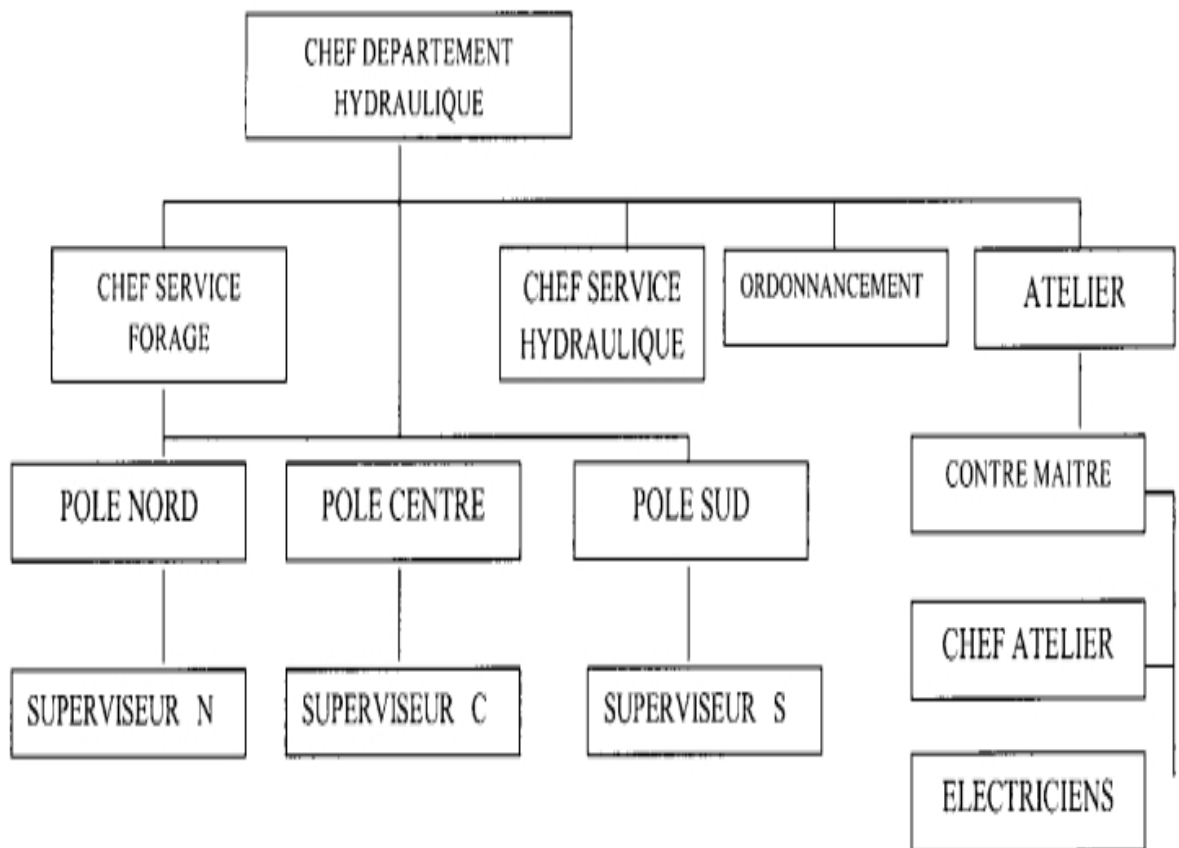
Le département hydraulique appartient à la division forages on rôle est des obvenir au besoin en eau industriel sur les chantiers du forage pétrolier pour cela il faut choisir le mode d'alimentation le plus économique cela dépend de l'emplacement du chantier est les sources d'eau à proximité du chantier.

On a trois modes d'alimentation :

- Forage d'un puits d'eau à côté du chantier
- Citernage depuis un puits voisin
- Adduction s'il existe un puits d'eau pas loin du chantier

Assister et superviser les travaux des compagnies de forage et faire en sorte que les puits hydraulique soient forés dans les règles de l'art, et dans les délais établis auparavant dans les contrats.

### I.4.2.1. Organigramme du département d'hydraulique



**Figure 02:** Organigramme du département hydraulique. [2]

### I.4.2.2. Les tâches du département d'hydraulique

- Reconnaissance (champs de développement et exploration) et l'alimentation en eau industrielle des forages pétroliers:
  - ✓ Par forage de puits d'eau. C'est la manière la plus coûteuse mais qui est parfois inévitable
  - ✓ Par l'adduction des canalisations
  - ✓ Transport par camions citerne.
- Supervision des chantiers de forage hydrauliques
- Elaboration et études technico-économique relative au mode d'alimentation en eau industrielle des chantiers de forage
- Assure l'intérim du département Hydraulique(Coordination)
- Préparation des cahiers des charges
- Participer aux travaux de coordination avec les contacteurs et compagnies de services
- Suivre et contrôler le déroulement des opérations sur chantier
- Elaboration des programmes de forage et des fiches techniques des puits d'eau
- Elaboration des rapports de fin des sondages.

### Conclusion

La présentation de l'entreprise nationale Sonatrach, nous a permis de comprendre le fonctionnement de ses différentes divisions plus particulièrement de département hydraulique de la division forage.

Ce département est supervise toutes les opérations concernant la réalisation des forages d'eau. Son importance et stratégique pour l'injection d'eau dans les gisements pétroliers.

# ***CHAPITRE II***

## ***PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE***

## Introduction

Les richesses souterraines de la région d'étude ne se limitent pas qu'aux hydrocarbures.

En effet, dans cette région, des plus arides au monde, des réserves stratégiques en eau souterraine s'étendent sur des certaines de milliers de kilomètre carrés. Les aquifères de Hassi Messaoud font partie du grand système des aquifères du Sahara Septentrional (SASS). Ces ressources non renouvelables ou si peu, sont confinées dans deux grands aquifères : le Complexe Terminale (CT) et le Continental Intercalaire (CI).

Les formations géologiques de la région de Hassi Messaoud contiennent deux grands ensembles de formations aquifères séparés par d'épaisses d'évaporites ou argileuses de la base du crétacé supérieur, l'ensemble inférieur appelé le Continental Intercalaire (CI) ou "Albien", et l'ensemble supérieur appelé le Complexe Terminal (CT).

Dans cette partie, on donnera des généralités sur le champ d'implantation, situation géographique, un aperçu géologique et hydrogéologique de la région.

### II.1. Historique découverte du champ de Hassi Messaoud

Après la mise en évidence par la sismique-réfraction de la structure de Hassi Messaoud comme étant un vaste dôme structural, la société "SN REPAL" (société nationale de recherche pétrolière en Algérie). Implante le 16 janvier 1956, le premier puits MD1, par loin du puits chamelier de Hassi Messaoud. Le 15 juin de la même année, ce forage a recoupé des grés cambriens à 3338 m comme étant producteurs d'huile.

En mai 1957, la société "CFPA" (compagnie française de pétrole d'Algérie) réalise un puits OM1 à environ 7 km au Nord-Ouest du puits MD1, ce forage confirmait l'existence d'huile dans les grés du cambrien. Par la suite, le champ de Hassi Messaoud fut divisé en deux concessions distinctes : C.F.P. A pour le champ Nord et SN REPAL pour le champ Sud. La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation.

Après plusieurs années de production, la pression du gisement a énormément chuté ce qui a incité à utiliser les méthodes de récupération secondaire (injection de gaz, d'eau, fracturation, etc.).[3]

## II.2.Situation géographique du champ de Hassi Messaoud

D'une superficie de 4200km<sup>2</sup>, le champ de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grands gisements dans le monde. Il fait partie d'un ensemble de structures formant la partie Nord de la province triasique, et se situe à environ 850km au Sud-Sud Est d'Alger, à 280km au Sud-Est du gisement de gaz-condensat de Hassi R'Mel, à 86km au Sud-Est d'Ouargla, et à 350km à l'Ouest de la frontière Tunisienne.

La région de Hassi Messaoud est limitée par (figure 01):

- Au Nord par la structure Djamaa-Tougourt ;
- Au Sud ce prolonge la mole d'Amguid El Biod ;
- À l'Est par les dépressions de Ghadamès ;
- À l'Ouest par la dépression d'Oued M'ya.

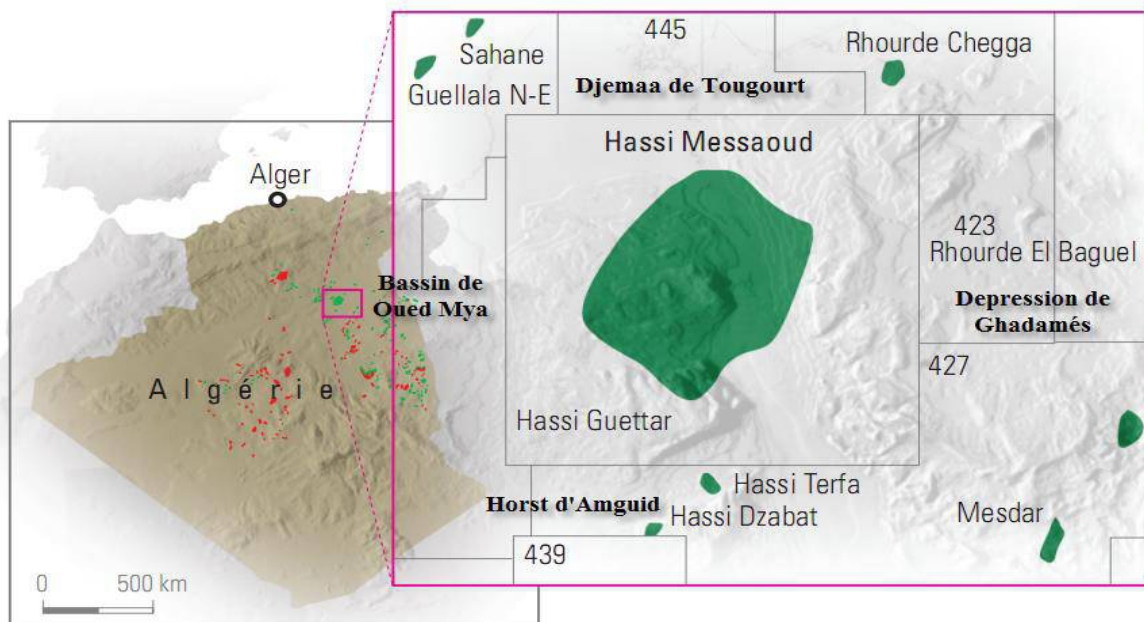
Les coordonnées Lambert du champ de Hassi Messaoud sont :

X : [790 000 – 840 000] Est ;

Y : [110 000 –150 000] Nord.

Et il est encadré par :

- La latitude 31° 30' et 32° 00' ;
- La longitude 5° 40' et 6° 20'. [4]



**Figure 01:** Situation géographique du champ de Hassi Messaoud (WEC, 2007).[4]

La région de Hassi Messaoud appartient au Sahara algérien oriental, cette partie est occupée par le grand Erg oriental qui est une vaste étendue de dunes de sables de couleur beige clair, dépassant 200 m d'altitude. Ces grandes accumulations sableuses occupent presque la moitié du territoire de la région.

Sur le plan géomorphologique on distingue :

➤ **La Hamada-Moi pliocène:** c'est une formation continental détritique qui forme des plateaux de sable et débris de calcaires dont l'altitude varie de 150 m à 180 m

➤ **Les formations sableuses:** sont les dunes et les cordons d'Erg. Ces formations sont d'âge quaternaire.

➤ **Les étendue:** sont les anciens lits des oueds, la nature lithologique est un mélange des sables et débris de calcaires et des gypses.

Les deux grands oueds qui traversent la région de Hassi Messaoud sont l'oued M'ya et l'oued Lgharghar. Du fait de l'aridité du climat, le réseau hydrographie saharien s'est dégradé au fait du temps depuis le quaternaire récent.

L'altitude moyenne de la région est de 170 m pour les plateaux de la Hamada, 140 à 150 m pour les fonds des oueds, avec de rares cuvettes pouvant atteindre 130m. Dans l'ensemble on relève que les altitudes décroissent vers l'Est.

## **II.3.Aperçu géologique de la région de Hassi Messaoud**

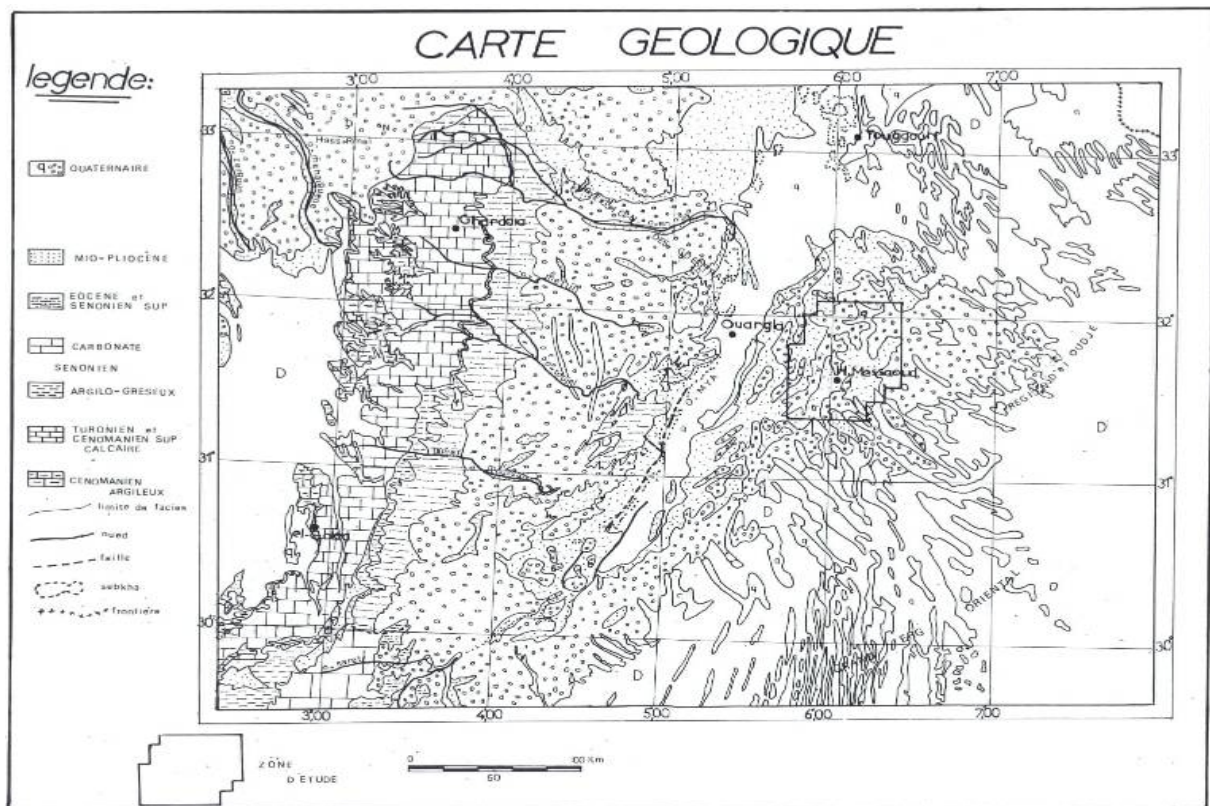
### **II.3.1.Cadre régional**

La région de Hassi Messaoud fait partie du bas Sahara qui se présente sous forme de cuvette synclinale caractérisée par un remplissage sédimentaire plus au moins circulaire ayant un diamètre de 600 km. Le niveau du sol désertique est proche et même parfois au-dessous de l'altitude zéro. Les profondeurs les plus importantes se situent au Nord dans la fosse Sud Auréssienne. Il s'étend du pied de l'Aurès au Nord jusqu'au Tassili primaire au Sud, de la bordure du grand Erg occidental à l'Ouest jusqu'au-delà de la frontière libyenne à l'Est.

Tous les terrains affleurent plus au moins sur les bordures, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire, s'enfonçant sous la couverture sédimentaire en grande partie dissimulée par le grand Erg oriental.

Le bas Sahara est structuralement divisée en deux parties par les failles hercyniennes du Hoggar s'avançant loin vers le Nord. La plus importante étant

celle d'Igharghar qui monte vers le Nord jusqu'à Hassi Messaoud. Elle est connue sous le nom d'Amguide El Biod. [5]



**Figure 02:** Extrait de la carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique (établi par G.Bronner et J.Fabre, 1978).

### II.3.2.Cadre local

Le champ de Hassi Messaoud, qui fait l'objet de notre travail, occupe la partie centrale de la province triasique à l'Est de la dépression d'Oued M'ya, il est limité :

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

Le rôle de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléo tectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguide El Biod de plus de 800 km de long.

### II.3.3. Description stratigraphique

La série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud est représentée de haut en bas par les formations suivantes, comme le montre le log stratigraphique (figure 03) : [3]

#### II.3.3.1. Le Cénozoïque

Son épaisseur moyenne est de 360 m, il est constitué de:

❖ **Le Mio-Pliocène** (épaisseur : 240 m) :

Présent sur toute la superficie du champ, il est constitué de sable blanc avec fines passées d'argile brun-rouge, tendre à pâteuse, de calcaire blanc, crayeux, tendre avec passées d'argile versicolore et de marne gris-brun, fortement sableuse.

❖ **L'Eocène** (épaisseur : 120 m) :

Il est constitué de argile brun-rouge, fortement sableuse, de marne et fines passées d'anhydrite blanche et de calcaire dolomitique crayeux, avec parfois des rognons de silex.

Ces deux couches renferment un complexe aquifère à la limite de sa potabilité.

#### II.3.3.2. Le Mésozoïque

##### a) Crétacé supérieur

❖ **Le Sénonien**

Est constitué par trois unités :

➤ **Le Sénonien carbonaté** (épaisseur : 107 m) : est constitué de calcaires blancs à blanc-beige, microcristallins et durs, de dolomies grises à gris-clair, parfois cristallines et dures, et d'anhydrites blanches, pulvérulentes et parfois massives.

➤ **Le Sénonien anhydritique** (épaisseur : 219 m) : est constitué de d'anhydrite blanche, cristalline, de dolomie moyennement dure, de marne et de calcaire argilo-dolomitique.

➤ **Le Sénonien salifère** (épaisseur : 140 m) : est constitué de sel massif blanc transparents à translucides à traces d'anhydrite.

❖ **Le Turonien** (épaisseur varie de 70 à 120 m) :

Alternance de calcaire dolomitique et calcaire argileux, calcaire dolomitique et calcaire crayeux, au sommet apparaissent les bancs de calcaire. Le Turonien présente une nappe d'eau salée.



❖ **Le Cénomani** (épaisseur moyenne : 145 m) :

Constitué par des bancs d'anhydrites blanches, transparentes, microcristalline et dures, de marnes argileuses grises à gris-verdâtre et carbonatées par endroits, de dolomies grises à gris brun, cryptocristallines et dures, puits d'un banc de calcaire Blanc, tendre, microcristallin.

**b) Crétacé inférieur**

❖ **L'Albien** (épaisseur moyenne : 350 m) :

Il est représenté par des grès et sables fins avec intercalations d'argile silteuse. Il renferme un aquifère d'eau douce utilisée pour l'injection et les besoins généraux.

❖ **L'Aptien** (épaisseur : 25 m) :

Représenté par des calcaires blancs à gris-blanc, parfois beiges, microcristallins et durs et de dolomies blanches à beiges, cristallines et dures à moyennement dures. Les deux bancs encadrent un niveau argileux.

❖ **Le Barrémien** (épaisseur : 280 m) :

Représenté par des grès blancs à beiges, parfois gris-blanc, fins à moyens, de dolomies grises, cristallines et dures avec des niveaux d'argiles gréseuses, et légèrement carbonatées.

❖ **Le Néocomien** (épaisseur : 180 m) :

Il comprend deux niveaux, à la base un terme gréseux constitué 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.

**c) Le Jurassique**

❖ **Le Malm** (épaisseur : 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. Il un aquifère d'eau potable de salinité de 30g/l.

❖ **Le Dogger** (épaisseur moyenne : 320 m) : représenté par deux niveaux :

➤ **Le Dogger argileux** (épaisseur moyenne : 105 m) :

Est constitué par des argiles tendres, marnes dolomitiques à rares passées gréseuses fins.

➤ **Le Dogger lagunaire** (épaisseur moyenne : 210 m) :

Est formé par des anhydrites, dolomie et argile tendres à marnes grises.

❖ **Le Lias**

D'une épaisseur de 300m, le début du lias est caractérisé par des marnes dolomitiques, qui sont un repère sismique caractérisant le passage Trias-Lias. Le lias est subdivisé en cinq niveaux, on distingue :

➤ **Le Lias dolomitique 1''LD1''** (épaisseur moyenne : 65 m) : se forme par dolomies, anhydrites à passées d'argiles et de calcaires.

➤ **Le Lias salifère 1''LS1''** (épaisseur moyenne : 90m) : se forme par des argiles plastiques brunes salifère à passes de sel et d'anhydrite.

➤ **Le Lias dolomitique 2''LD2''** (épaisseur moyenne : 55m) : se forme par argiles brun-rouge, rarement grises et de dolomie à passées marnes grises.

➤ **Le Lias salifère 2''LS2''** (épaisseur moyenne : 60 m) : sels massifs blancs et rosâtres, transparents à translucides et d'argiles brun rouge, tendres, indurées et légèrement carbonatées.

➤ **Le Lias dolomitique 3''LD3''** (épaisseur moyenne : 30 m) : ce sont des argiles gris-clair et légèrement carbonatées et de calcaire dolomitiques gris à gris-blanc.

**d) Le Trias**

Représenté par quatre niveaux :

❖ **Le Salifère** : subdivisé en trois horizon :

➤ **Le Trias salifère 1''TS1''** : d'une épaisseur de 46 m, ce niveau est représenté par des sels massifs, dépassées d'anhydrite, et des intercalations d'argile dolomitique.

➤ **Le Trias salifère 2''TS2''** : d'une épaisseur de 189 m, ce niveau est représenté par des sels blancs, rosâtres, massifs et transparents, argiles grises à gris-foncé ou brun rouge, et anhydrites blanches à gris-beige.

➤ **Le Trias salifère 3''TS3''** : d'une épaisseur de 202 m, ce niveau est représenté par des sels blanc à rosâtre, massifs et argiles brun-rouge, rarement grises.

❖ **Argileux** (épaisseur moyenne : 113 m) :

Se forme par des argiles rouge dolomitiques avec des intercalations de banc de sel et anhydrite.

❖ **Le gréseux** (épaisseur moyenne : 35 m) :

Se forme par des grés fins à moyens, gris-clair, rarement blancs, argiles brun-rouge, rarement grises. Ils se subdivisent en plusieurs unités qui se différencient par leurs

lithologies et leurs réponses diagraphiques.

❖ **Éruptif** (épaisseur moyenne : 92 m) :

Se forme par des andésites blanches, vertes, localement altérées, grès gris-blanc, des argiles brun-rouge à gris sombre.

### II.3.3.3. Le Paléozoïque

#### a) L'Ordovicien

Dans sa représentation la plus complète il est constitué de quatre termes :

❖ **Les quartzites de Hamra** : son épaisseur moyenne varie de 12 à 75 m.

Ce sont des grès quartzitiques fins, à rares intercalations d'argiles.

❖ **Les grès d'El Atchane** : son épaisseur moyenne varie de 12 à 25 m.

Cette formation est constituée de grès fin à très fin, de couleur gris-beige à gris-sombre. Ce grès peut être argileux ou glauconieux admettant de nombreuses passées argileuses et silteuses.

❖ **Argiles d'El Gassi** : son épaisseur moyenne est d'environ 50 m.

Cette formation est constituée d'argiles schisteuses, carbonatées, vertes et noires. Elle est surtout rencontrée sur les zones périphériques du champ.

❖ **La zone des alternances** : son épaisseur moyenne est de 20 m.

Désignée ainsi en raison de la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternantes avec des bancs quartzites fins isométriques.

#### b) Le Cambrien

Essentiellement constitué de grès hétérogènes, fins à très grossiers, On y distingue trois litho-zones R1 (Ri+Ra), R2 et R3.

❖ **Litho-zone Ri** (épaisseur : 50 m) : correspond au réservoir isométrique.

Il a été recoupé essentiellement à la périphérie du champ, là où la série est complète ; ce sont des grès quartzites isométriques moyens à fins à ciment argileux. Il repose sur le Ra supérieur par une surface d'abrasion.

❖ **Litho-zone Ra**: représente le réservoir principal. Dans sa partie supérieure et moyenne (épaisseur : 20 à 60 m), il est formé de grès quartzites, moyens à grossiers, dans la partie inférieure s'intercalent, de manière irrégulière, des passées centimétriques argileux (épaisseur : 100 à 120 m).

❖ **Litho-zone R2** (épaisseur : 100 m) : Il est composé par des grès moyens a

grossiers parfois micacés à ciment argileux illitique.

❖ **Litho-zone R3** : repose sur l'Infracambrien, et parfois directement sur le socle granitique, c'est une série de comblement d'une épaisseur moyenne de 300 m, elle se compose de grès grossiers à microconglomérats feldspathique, les grains sont mal classés, le ciment est de nature argileuse avec parfois des zones à grès ferrugineux.

**c) L'infracambrien** (épaisseur : 45 m) : C'est l'unité lithologique la plus ancienne rencontrée par les forages de la région notamment au Nord de la structure. Il est constitué de grès argileux rouge. Sur le socle, les formations paléozoïques reposent en discordance ; c'est la discordance panafricaine

#### **II.3.3.4.Le socle**

Rencontré aux environs de la profondeur de 4000 m, il est constitué essentiellement de granite porphyroïde de couleur rose.

ERE	SYST	ETAGES		Ep moy	DESCRIPTION
CENO-ZOIQUE	NEOGENE	MIO-PLIOCENE <i>discordance alpine</i>		240	Sable, calcaire, marne sableuse
		EOCENE		120	Sable, calcaire à silix
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE	107	Calcaire, dolomie, anhydrite
			ANHYDRITIQUE	219	Anhydrite, marne, dolomie
			SALIFERE	140	Sel massif et traces d'anhydrite
		TURONIEN		90	Calcaire crayeux avec quelques niveaux argileux
		CE NOMANIEN		145	Anhydrite, marne, dolomie
		ALBIEN		350	Grés, sable avec intercalations d'argile silteuse
		APTIEN		25	Dolomie cristalline avec niveau argileux, calcaire
		BARREMIEN		280	Argile, grés, dolomie
		NEOCOMIEN		180	Argile, marne, dolomie, grés
	JURASSIQUE	MALM		225	Argile, marne, calcaire, grés et traces d'anhydrite
		DOGGER	ARGILEUX	105	Argile silteuse, marne dolomitique avec fines passées de grés
			LAGUNAIRE	210	Anhydrite, marne dolomitique, marne grise
		LIAS	L.D 1	65	Dolomie, anhydrite, argile
			L.S 1	90	Alternances sel, anhydrite et argile
			L.D 2	55	Anhydrite et dolomie cristalline
			L.S 2	60	Alternances sel et argile
			L.D 3	30	Alternances de dolomie et de marne
		TRIAS	SALIFERE	TS 1	46
	TS 2			189	Sel massif à intercalations d'anhydrite et argile gypsifère
	TS 3			202	Sel massif et traces d'argile
	ARGILEUX		113	Argile rouge dolomitique ou silteuse injectée de sel et d'anhydrite	
	GRESEUX		35	Grés, argile	
	ERUPTIF <i>discordance hercynienne</i>		0-92	Andésites altérées	
PALEOZOIQUE	ORDOVICIEN	QUARTZITES D'EL HAMRA		75	Quartzites fines avec traces de tigillites
		GRES D'EL ATCHANE		25	Grés fins à ciment argileux, bitumineux
		ARGILES D'EL GASSI		50	Argiles schisteuses, vertes ou noires, glauconieuses à graptolithes
		ZONE DES ALTERNANCES		20	Alternance de grés et argile. Présence de tigillites
	CAMBRIEN	Ri	50	Grés isométriques, fins, silteux	
		Ra	120	Grés à grés quartzitiques anisométriques à niveaux de silts	
		R2	100	Grés moyens à grossiers à ciment argileux illitique	
		R3	300	Grés grossier à ciment argileux, argile silteuse	
	INFRA-CAMBRIEN		45	Grés argileux rouges	
	S O C L E				

Figure 03: Colonne litho stratigraphie type de champ de Hassi Messaoud (Sonatrach, 2005).

## II.4.Aspect hydrogéologique

### II.4.1.Présentation de système d'aquifère du Sahara Septentrional (SASS)

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (OSS, 2003) s'étend sur une vaste zone dont (figure 04) les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire(CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km<sup>2</sup> et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

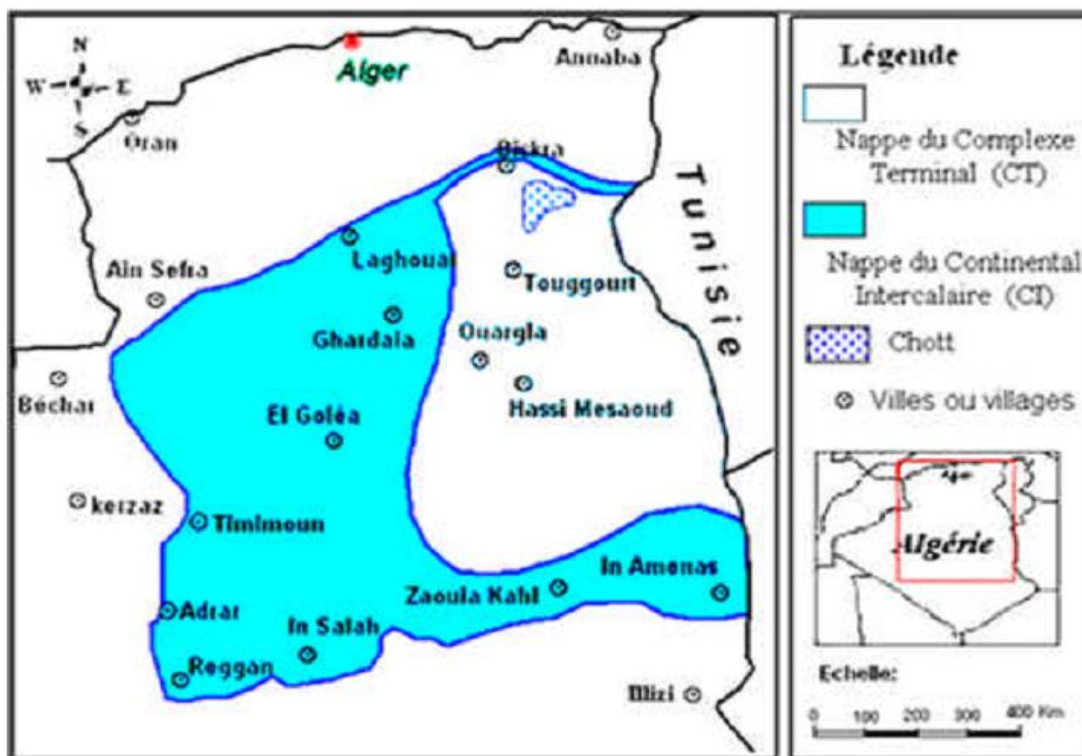
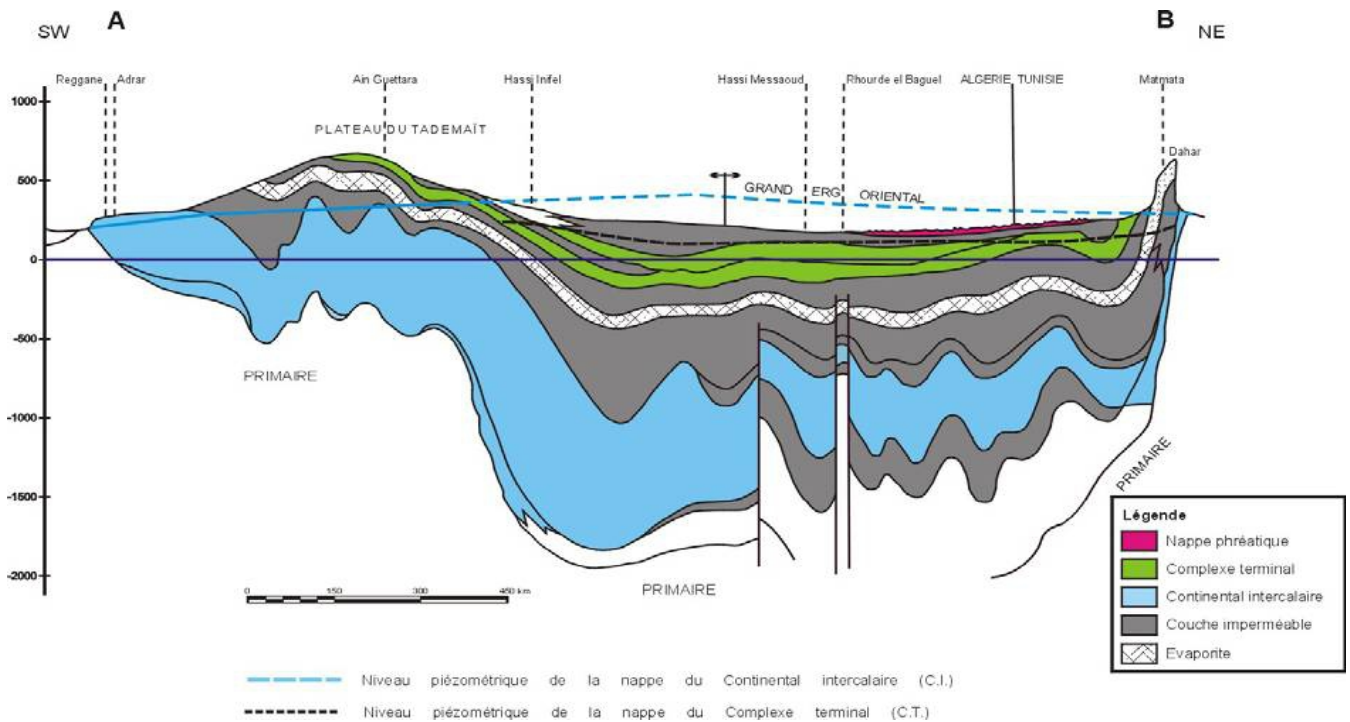


Figure 04: Extension de système d'aquifère du Sahara Septentrional "SASS".

## II.4.2. Présentation des aquifères de la région de Hassi Messaoud

Les aquifères de Hassi Messaoud fait partie de système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est composé d'une superposition de deux principales couches aquifères; la formation du Continental Intercalaire (CI), la plus profonde et celle du Complexe Terminal (CT) (figure 05). [6]



**Figure 05:** Coupe hydrogéologique du Sahara Septentrional (Unesco, 1972).

### II.4.2.1. Aquifère du Complexe Terminal (CT)

L'aquifère du complexe terminal est moins étendu que le Continental Intercalaire. Il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sur environ 350 000 km<sup>2</sup>. Sa profondeur oscille entre 100 et plus de 500 m et son épaisseur, en moyenne de 220 m sont désignées sous le nom du Complexe Terminal (C.T). Ces formations sont les plus récentes, déposées au bas Sahara. Elles sont imperméables ou semi perméable selon les régions, intercalées dans des niveaux perméables.

L'aquifère de Complexe Terminal, dans la région de Hassi Messaoud, regroupe trois formations :

- ❖ **La nappe du Mio-Pliocène** : qui est essentiellement constituée de sable avec une présence de calcaire et des argiles.

D'une épaisseur moyenne de 230m, cette nappe est exploitée un peu partout dans le Sahara Septentrional.

❖ **La nappe du Eocène - Sénonien carbonaté** : est formée de calcaire dolomitique d'épaisseur moyenne de 220m, c'est une nappe de faible perméabilité.

❖ **La nappe du Turonien** : carbonaté dolomitique d'épaisseur moyenne de 90m, elle est séparée des deux nappes sous-jacentes par la formation du Sénonien lagunaire qui constitue un écran imperméable entre elle.

La nappe du Complexe Terminal est en charge au Nord de la région et libre dans la partie Sud. Sa porosité dépend de la lithologie. Elle est estimée à 30% dans les sables du Mio-pliocène et à 20% dans les calcaires de l'Eocène-Sénonien supérieur. [6]

#### ➤ **L'alimentation du Complexe Terminal**

L'alimentation de cette nappe reste très faible comparée aux réserves d'eau constituées depuis les époques pluviales du Quaternaire jusqu'à l'Holocène, l'alimentation actuelle se fait par :

- Infiltration d'une partie du ruissellement sur les bordures Nord (Atlas Saharien, région de Laghouat, Chebek du M'Zab) ;
- Infiltration sur les sables du Grand Erg Oriental, qui repose par endroit directement sur les formations perméables du Mio-Pliocène, une alimentation provenant du Sud-Ouest à partir du plateau du Tademaït ;
- En provenance de l'aquifère du Continental Intercalaire à travers les failles d'Amguid l'Abiod (relation de drainante par le Continental Intercalaire).
- L'apport annuel en eaux de pluie est inférieur à 50 mm/an, seules les pluies torrentielles participent à l'alimentation de la nappe de Mio-Pliocène par infiltration dans les sables (quaternaires).
- Dans les périodes d'averses où les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration, il peut exister une possibilité d'alimentation directe de la nappe de Mio-Pliocène. [6]

#### ➤ **Écoulements et exutoires**

D'après les études (Unesco, 1972) montrent que dans le bassin Saharien Oriental, on observe un écoulement dirigé Sud-Nord convergeant vers les principaux exutoires qui sont :

- Chotte Melghir et chotte Mérouane en Algérie ;
- Évaporation dans les vallées des anciens oueds (Oued Righ);



- Forage d'eau.

#### II.4.2.2. Aquifère du Continental Intercalaire (CI)

Désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur du Sahara, et s'étend sur une superficie de 600 000 Km<sup>2</sup>, une réserve de 50 000.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> d'eau et son épaisseur peut atteindre 1000 m au Nord-Ouest du Sahara et de profondeur de 60 à 2400 m.

Il est représenté essentiellement par des formations détritiques d'âge crétacé inférieur, représentées par des sables, grès avec des intercalations d'argiles et des passées de dolomie

L'aquifère de Continental Intercalaire est un réservoir à eau douce qui est utilisé pour les besoins industriels pétrolier (injection) et l'alimentation, il représente une nappe artésienne (Barrémien, L'aptien et l'Albien qui est la plus exploitée).

❖ **Le Barrémien** : est caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar). Les intercalations carbonatées sont peu nombreux et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien.

❖ **L'Aptien** : est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du Bas-Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignite (sédimentation lagunaire).

❖ **L'Albien** : c'est la plus importante nappe captive, est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sous-jacent attribué au Cénomaniens.

Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par :

- Une température qui dépasse 60°C sauf aux endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol ;
- Chargée en H<sub>2</sub>S et CO<sub>2</sub> qui lui donne un caractère corrosif ;
- La minéralisation de l'eau oscille entre 1 et 2 g/l et peut atteindre 5 g/l (GassiToil). [6]

#### ➤ **L'alimentation du Continental Intercalaire**

L'essentiel de ces réserves aquifères correspond à de l'eau infiltrée au cours des

périodes pluvieuses du Quaternaire. Toutefois, une recharge actuelle, estimée globalement à  $400 \text{ hm}^3/\text{an}$ , s'effectue :

- De façon directe par infiltration des ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurements, notamment aux piedmonts de l'Atlas Saharien (au Nord-Ouest), dans le massif du Dahar (Tunisie), éventuellement sur les rebords ouest (Touat et Gourara) et au Sud du plateau du Tademaït (Tidikelt), ainsi que sur le rebord sud du plateau du Tinhert et sa prolongation en Libye;
- De façon indirecte dans le Grand Erg Occidental à travers les sables dunaires et du Complexe Terminal, dans la région où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs.

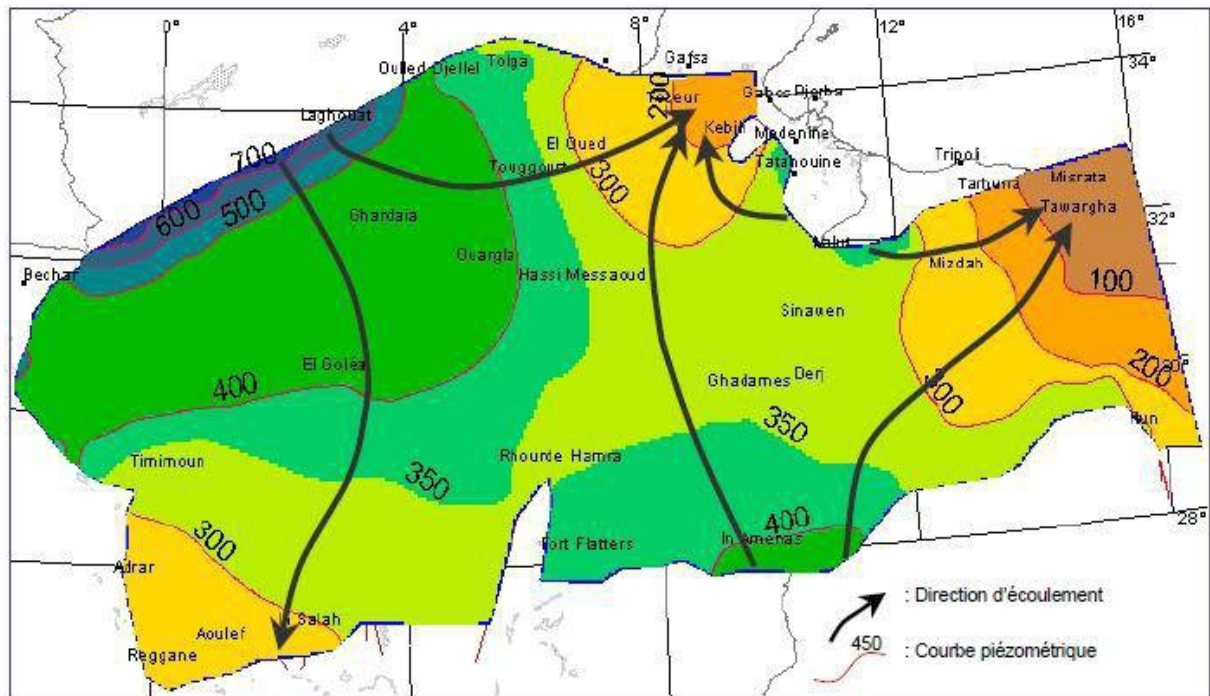
➤ **Ecoulements et exutoires**

Les écoulements de cette nappe se produisent:

- Dans le sens Nord-Sud (concernant le sous-bassin du Grand Erg Occidental), c'est-à-dire, du piedmont de l'Atlas Saharien vers les zones d'affleurement (et d'exutoire) des rebords du plateau de Tademaït à l'Ouest;
- Dans le sens Sud-Nord (concernant le sous-bassin du Grand Erg Oriental), c'est-à-dire, du rebord sud du plateau du Tinhert vers les golfes de Syrte et de Gabès;
- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien (golfe de Gabès).

Les zones exutoires, suggérées par les points d'aboutissement des lignes de courant dessinées sur la carte piézométrique (figure 06) sont :

- Les rebords occidentaux et méridionaux du Tademaït qui constituent une zone d'exutoire naturel importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève.
- Les remontées verticales à la faveur de la faille d'El Hamma dans la zone du Chott Fedjaj.
- L'exutoire libyen du Golfe de Syrte, qui se manifeste en surface par les sources d'AïnTawargha. [6]



**Figure 06:** Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire (OSS, 2003).

### ➤ Hydrodynamique du Continental Intercalaire

#### • La transmissivité (T)

A partir des résultats des essais de pompage réalisés sur les différents forages de la région d'étude, on voit qu'il n'y a pas une grande variation des valeurs de la transmissivité (dans le Continental Intercalaire de l'ordre de 0.01 à 0.08 m<sup>2</sup>/s), ce qui implique qu'il n'y a pas de changement latéral de facies notable.

#### • Le coefficient d'emmagasinement (S)

Le manque de piézomètre d'observation lors des essais de pompage réalisés dans la région d'étude ne permet pas de calculer le coefficient d'emmagasinement. Devant ce cas, nous avons pris les résultats de L'OSS (2002) qui donnent un coefficient d'emmagasinement de 0.05 dans la partie où la nappe est libre, et entre 0.005 et 0.0004 dans la partie où la nappe est captive. [6]

## Conclusion

L'étude géologique et hydrogéologique de la région de Hassi Messaoud montre que les potentialités hydriques sont très importantes et se répartissent en deux grands complexes distincts :

❖ **Le Complexe Terminal** : qui est formé par :

- **Le Sénon-Eocène** : il est carbonaté, forme un important ensemble calcaire poreux et fissuré, il constitue un deuxième niveau aquifère dans la région d'étude et ayant comme substratum la série imperméable du sénonien lagunaire.
- **Le Mio-pliocène** : il est essentiellement détritique (sable et gravier), forme un important aquifère libre et reposent sur un substratum qui correspond à la série imperméable de l'Eocène.

❖ **Le Continental Intercalaire** : formé par :

- **L'Albien** : il est essentiellement détritique (gréseux), forme un important aquifère captif et reposent sur un substratum qui correspond à la série imperméable de l'Aptien.

# ***CHAPITRE III***

## ***ORGANISATION DU CHANTIER***

### III.1. L'installation du chantier de forage

Le chantier est un ensemble d'équipements organisés en un endroit sécurisé selon des normes strictes afin d'optimiser les différentes étapes du forage.

Organisé autour de la plateforme et de l'appareil de forage, il se compose :

- D'un dépôt des outils et équipements de forage,
- D'une source d'énergie et de camions d'approvisionnement en eau
- De fosses à boue de décantation et de pompage et celles pour l'évacuation des eaux
- Une cabine pour le superviseur du chantier et celle du centre de recherche et de développement (CRD) pour analyse des déblais de forage
- Des cabines d'hébergement et hôtellerie.



**Figure 01:** La plateforme du forage OMPFA-9.

#### III.1.1. Composante Humaine du chantier

Le personnel du chantier est composé de :

- Un chef de service.
- Un ou plusieurs superintendants chargé de préparer le planning et le programme détaillé des opérations.
- Un superviseur de forage et un ingénieur géologue s'assurent de la bonne exécution du programme ou de sa modification en fonction des terrains

rencontrés et qui veillent à la sécurité du chantier et au respect de l'environnement. Ils coordonnent également les travaux des différentes sociétés intervenantes.

Pour réaliser des puits, les compagnies pétrolières font appel à des entreprises de forage et des compagnies de service.

Les entreprises de forage emploient des personnels dont les postes sont doublés car les forages s'effectuent 24 heures sur 24. Il s'agit principalement de :

- Un chef de chantier, représentant de l'entrepreneur et responsable de la bonne marche du chantier.
- Un maître sondeur (chef de poste) qui dirige l'équipe de forage assisté par une équipe de 4 à 5 techniciens. Proprement dite, composée de :
  - ✓ Un assistant (second de poste).
  - ✓ Un accrocheur.
  - ✓ Trois à quatre ouvriers de plancher.
- Un chef mécanicien et un chef électricien chargés de la maintenance des équipements.
- Une équipe de manutention
- Une équipe de restauration / hôtellerie.

En plus des entreprises de forage, la compagnie pétrolière fait également appel aux services de compagnies de services pour réaliser des travaux connexes au forage tel que :

- Préparation et entretien de la boue.
- Vissage et cimentation de tubage.
- Déviation.
- Logging.
- Instrumentation.

### **III.1.2. Santé, sécurité et environnement (HSE)**

Afin de veiller à la sécurité du personnel et à la préservation de l'environnement, des mesures sont prises dans le cadre du protocole HSE. Vérifications périodiques des certificats d'aptitudes du personnel, des équipements et des produits.

- Organisations de réunions de sécurité avant chaque opération délicate.
- Identifications des zones d'évacuations.

- Tout incident est signalé dans les 24 heures par l'établissement d'un rapport HSE.
- L'emplacement doit être maintenu aussi propre que c'était avant.
- Etiquetage et stockage des produits chimiques dans des endroits appropriés
- Nettoyage régulier du plancher.

### III.1.3. Le rôle du superviseur de Sonatrach

Parmi les émissions du superviseur, on trouve :

- Organiser le déchargement en collaboration avec le chef de chantier et sensibiliser le personnel.
- Mesurer et faire la liste des tubes.
- S'assurer le diamètre du calibre. noter le total des tubes sur la location.
- Marquer et mettre à l'écart les tubes réformés.
- Vérifier le type des joints tores.
- Donner les consignes au chef de chantier, surveiller les travaux.
- Vérifier avec le chef de chantier et commencer à préparer avec lui les séquences de test.
- Faire un contrôle des volumes en fonction du programme de cimentation.
- S'assurer la présence des outils et les stabilisateurs pour le démarrage de la prochaine phase.
- Préparer le changement de boue pour la phase suivante.
- Prévoir le contrôle du fonctionnement de l'anneau ou du sabot.
- Donner le feu vert au chef de chantier pour nettoyer la cave, faire approcher et préparer le matériel nécessaire au démontage, montage des BOP's.
- Demander au chef de chantier de préparer le matériel sur le plancher (élévateur, clés, cales etc...) nécessaire pour l'assemblage de la prochaine BHA.

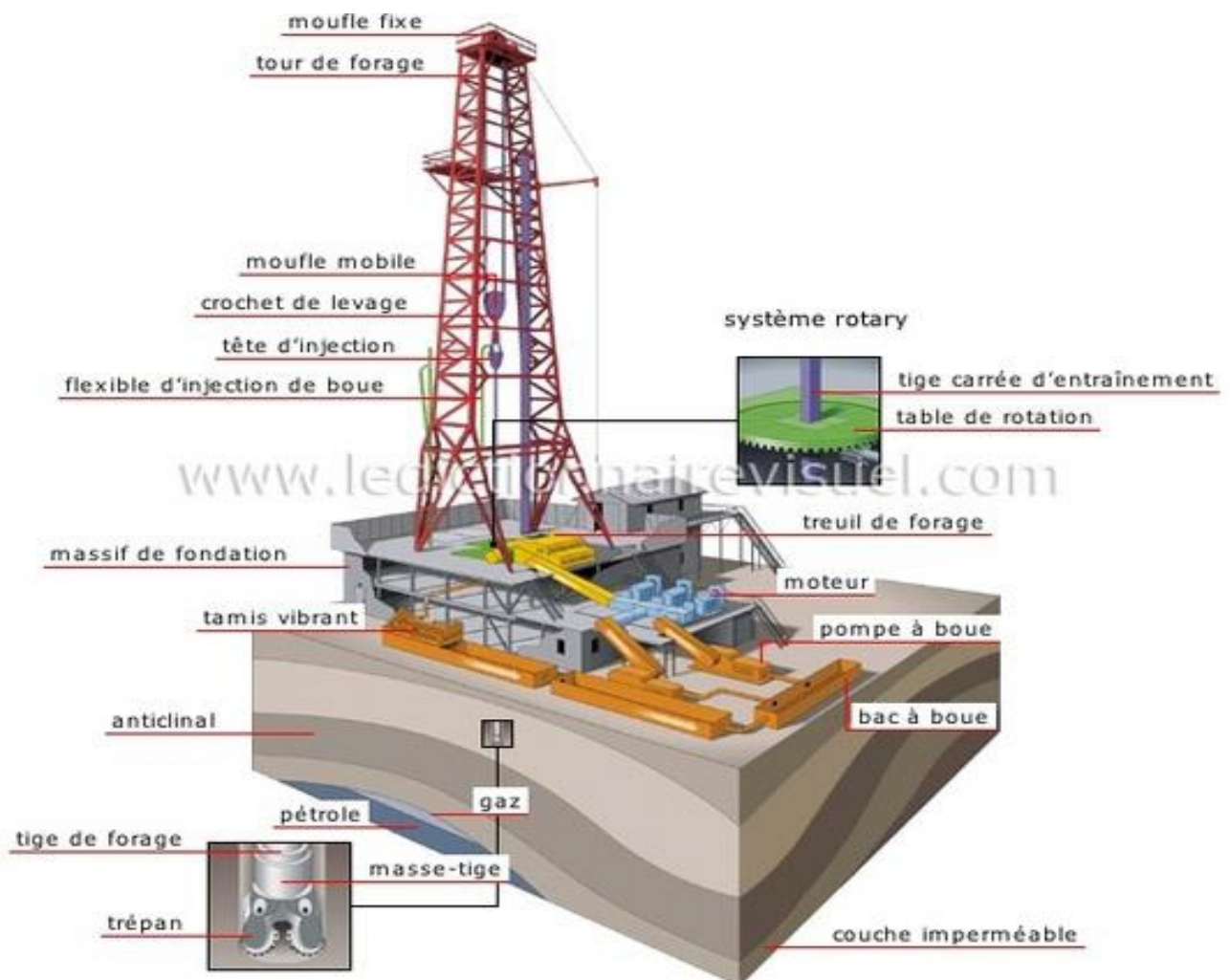


## III.2. L'appareil de forage

L'appareil de forage (rig), ou plus globalement le chantier de forage possède trois fonctions :

- La fonction de levage.
- La fonction de rotation.
- La fonction de pompage et de circulation.

La classification des appareils de forage se fait en première approche par la capacité de profondeur de forage maximale. Chaque appareil est conçu pour forer dans une gamme de profondeur donnée. Ces performances de profondeur se traduisent par un poids au crochet de levage compte tenu des poids des garnitures et des casings. La puissance du treuil est donc une caractéristique primordiale pour déterminer le type d'appareil.



**Figure 02:** Différents organes constituant un appareil de forage standard. [7]

### III.2.1. Fonction de levage

#### III.2.1.1. Mâts de forage

Le mât de forage est composé de deux montants reliés par des entretoises et des croisillons qui reposent sur une substructure.

##### ❖ Caractéristiques des mâts

- **Hauteur** : Mesurée entre le plancher et le bas de la passerelle du moufle fixe.
- **Capacité API** : C'est la capacité maximale au crochet, pour un mouflage donné, en l'absence de gerbage et du vent.

#### III.2.1.2. Le mouflage

Le mouflage est un moyen de démultiplication des efforts et permettre la levé de lourdes charges.

Le mouflage comprend un câble qui passe successivement sur les poulies d'un moufle fixe (crown bloc) et sur les poulies d'un moufle mobile (travelling bloc) avant de s'enrouler sur le tambour d'un treuil. L'autre extrémité du câble est fixée à un point fixe ou réa.

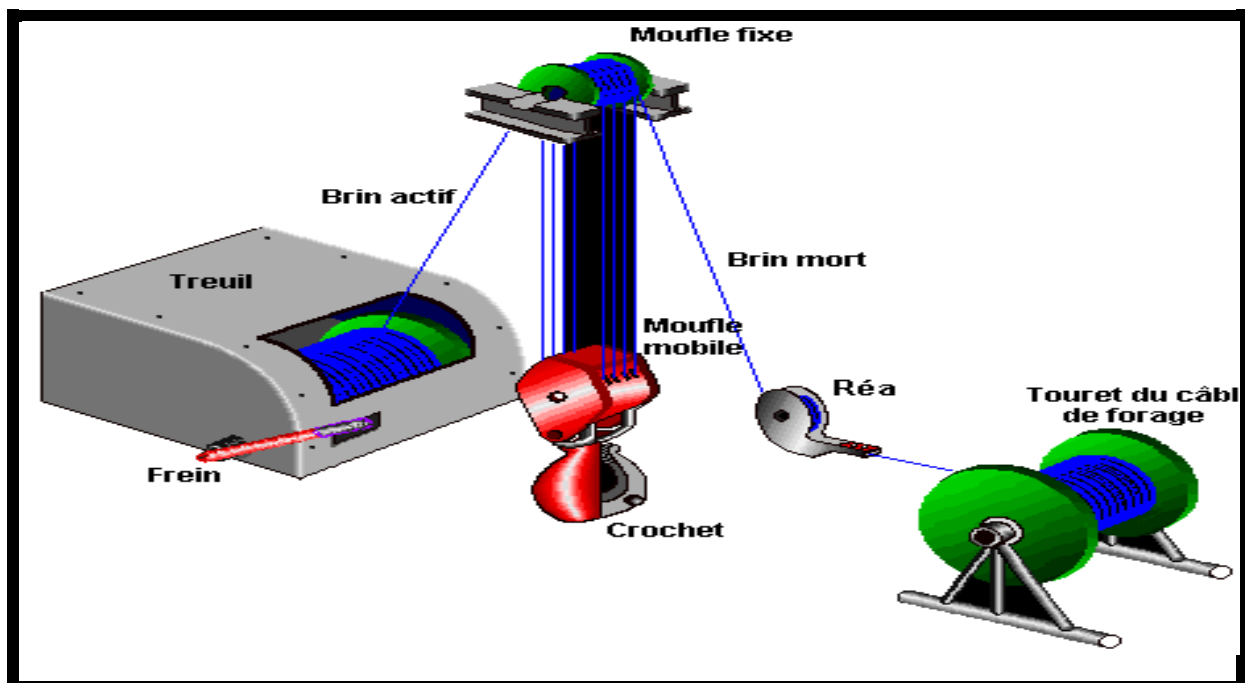


Figure 03: Equipement de Mouflage. [8]

### III.2.1.3. Treuil de forage

C'est le cœur d'un appareil de forage. Sa capacité caractérise un rig et indique la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer. Il doit assurer :

- Le levage de la garniture de forage et du tubage.
- Sur certains appareils, il assure l'entraînement de la table de rotation par l'intermédiaire de cardans ou de chaînes de pignons.
- L'entraînement d'un arbre secondaire permettant de dévisser et visser les tiges et les tubages (cabestan) [cathead].
- Le déplacement de lourdes charges à de grandes vitesses.

Un treuil de forage est caractérisé par sa puissance maximale de levage.

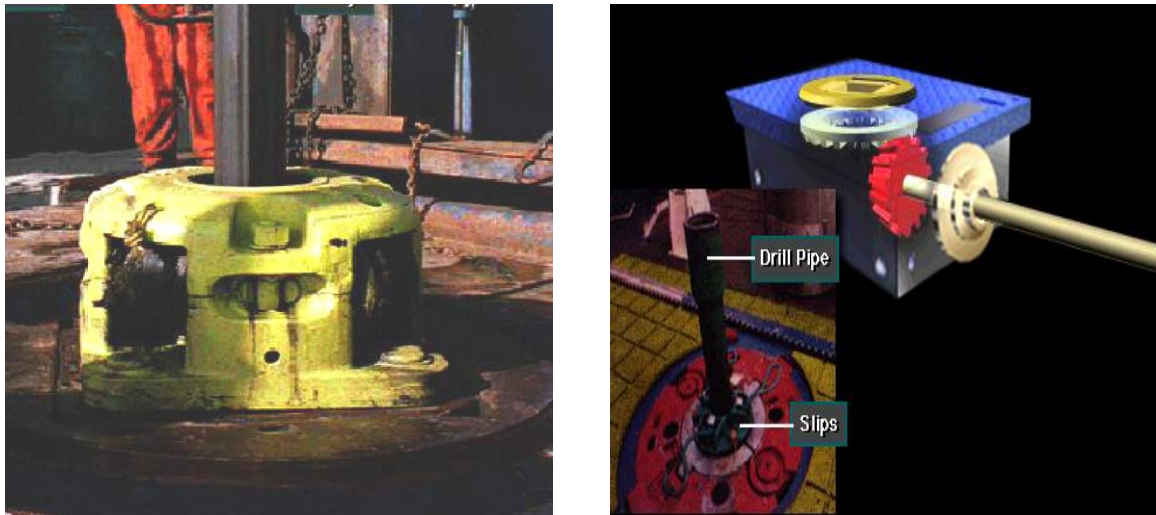


**Figure 04:** Le treuil d'un appareil du forage.

## III.2.2. Fonction de rotation

### III.2.2.1. La table de rotation

En cours de forage, la table de rotation [rotary table] transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, par l'intermédiaire de fourrures [bushings] et de la tige d'entraînement [Kelly], et, en cours de manœuvre [trip], supporte le poids de la garniture de forage, par l'intermédiaire de coins de retenue.

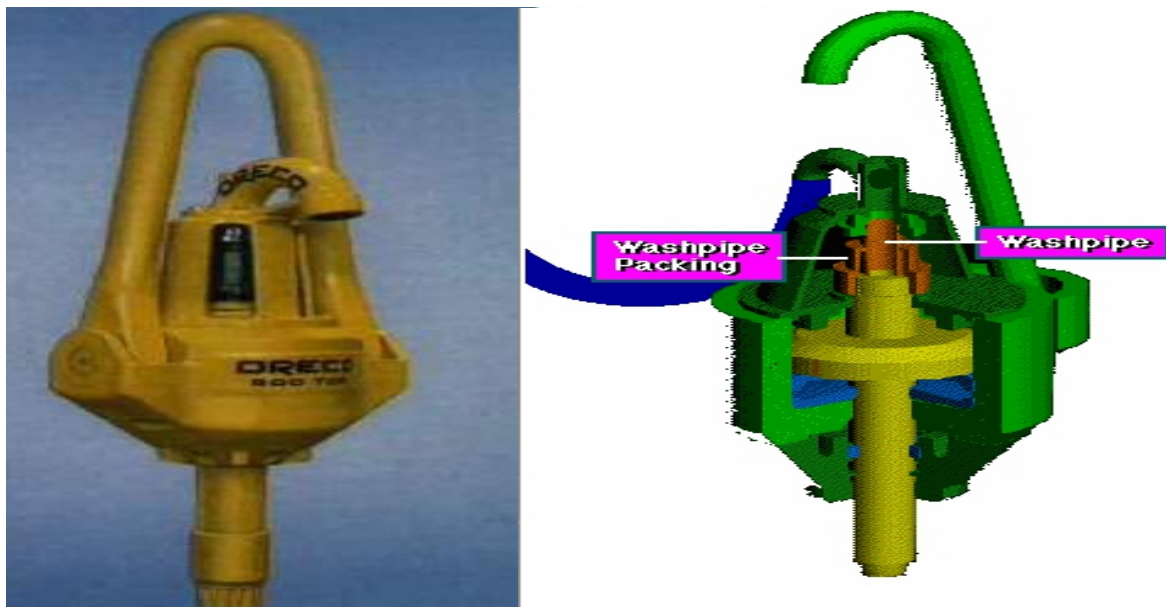


**Figure 05:** La table de rotation.

### III.2.2.2. La Tête d'injection

C'est le composant qui est suspendu par son anse au crochet de levage.

Il doit être conçu à la fois pour la charge maximale de garniture et pour la vitesse de rotation maximale.



**Figure 06:** La tête d'injection. [9]

### III.2.3. Fonction de pompage

#### III.2.3.1. Circulation de boue

La circulation de la boue dans un forage nécessite l'utilisation de pompes puissantes, une bonne installation de pompage doit assurer :

- une vitesse de remontée des déblais suffisante pour éviter leur décantation,
- une pression de refoulement suffisante pour vaincre les pertes de charges dans le circuit.

Les pompes de forage peuvent être de type duplex à double effet ou triplex à simple effet.

Elle se compose de deux parties principales:

#### III.2.3.2. Partie mécanique des pompes de forage

Elle sert à transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation alternatif communiqué au piston, elle est constituée par un bâti qui supporte toutes les pièces composées de l'étalage, un arbre de transmission et un couple d'engrenage.

#### III.2.3.3. Partie hydraulique des pompes de forage

C'est l'ensemble où circule la boue depuis l'aspiration jusqu' au refoulement.

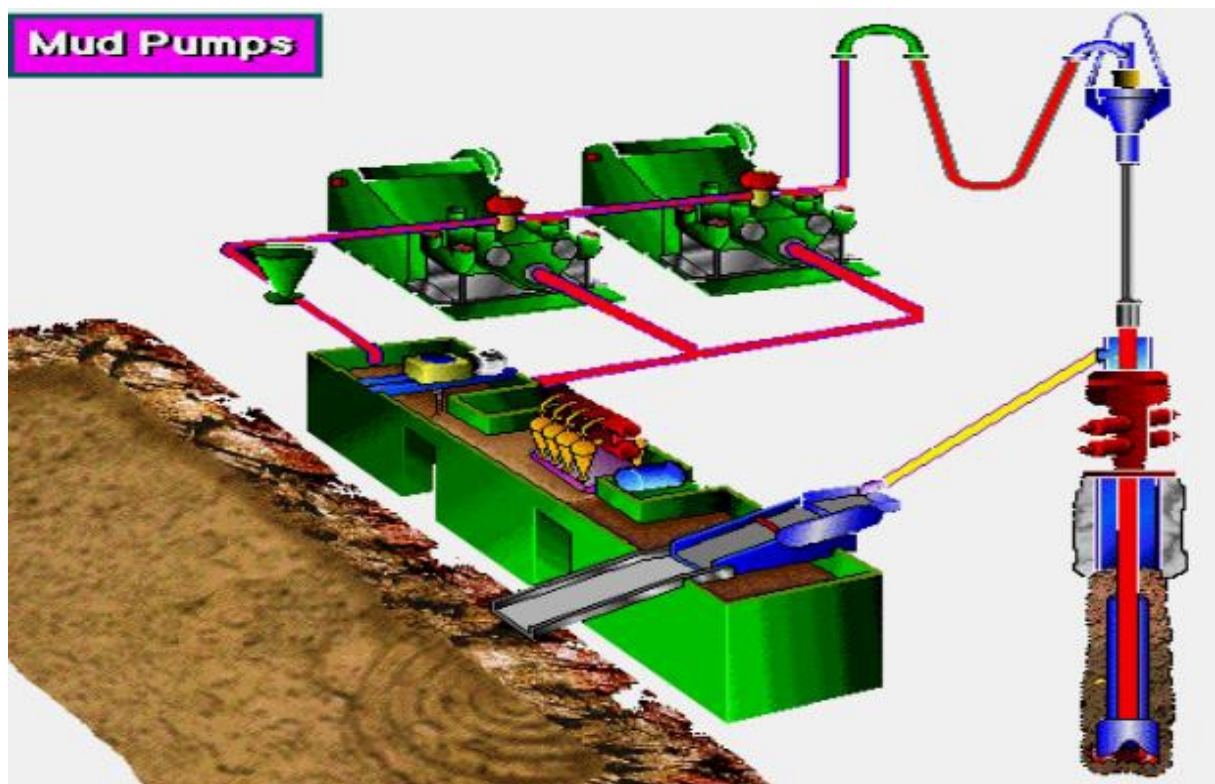


Figure 07: Le fonctionnement des pompes à boue. [7]

**❖ Rôle des pompes à boue**

Le rôle des pompes à boue est d'assurer l'aspiration et le refoulement de la boue. Certains appareils de forage sont équipés de pompes à boue duplex à double effet. Ce sont des pompes volumétriques alternatives à mécanisme bielle - manivelle qui comportant deux pistons à double effet, c'est-à-dire que chaque piston aspire et refoule des deux côtés, deux clapets (un pour l'aspiration et l'autre pour le refoulement) sont placés à l'arrière de chaque cylindre.

# ***CHAPITRE IV***

## ***PROGRAMME DU FORAGE OMPHA-9***

## Introduction

On appelle forage, l'ensemble des opérations permettant le creusement de trous généralement verticaux. L'utilisation principale des forages est la reconnaissance et l'exploitation des nappes d'eau douce.

Le meilleur programme de forage est celui qui utilise une seule colonne de tubage, c'est à dire une colonne de la surface jusqu'à la fin du puits, mais les problèmes qu'on peut rencontrer pendant le forage (éboulement, coincement, pertes, etc...) on est obligé de descendre plusieurs colonnes. Chaque colonne de forage a des objectifs, en générale ces derniers dépendent de la variété des caractéristiques des formations.

Dans ce chapitre on va discuter et approfondir étape par étape dans les démarches et les stades de la réalisation du forage hydraulique OMPHA-9.

## Partie I : Déroulement des opérations du forage

### IV.1. Implantation et but de sondage hydraulique OMPHA-9

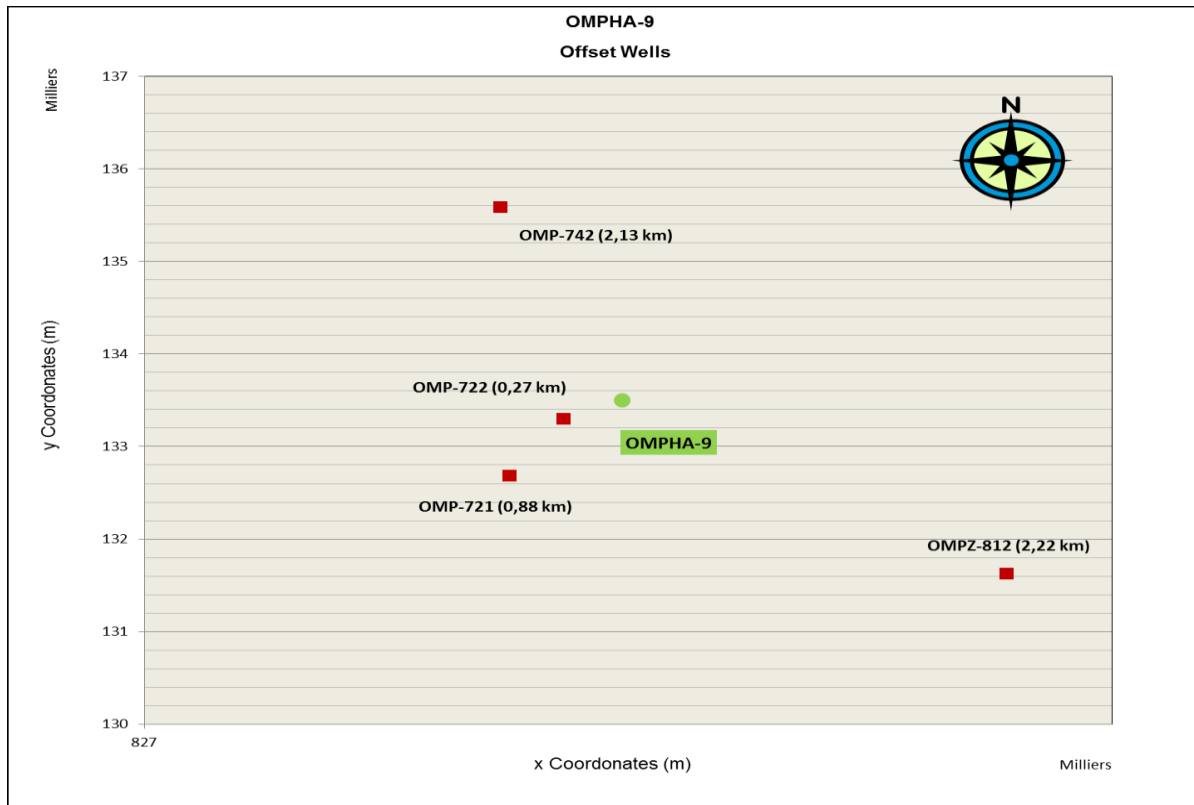
#### IV.1.1. Situation du puits

Le puits OMPHA-9 se situe dans le secteur de la zone 31 du champ de Hassi Messaoud au Nord de Sahara. Les coordonnées UTM, LSA et géographique de la plateforme du puits sont : [10]

puits	OMPHA-9		
	UTM	LSA	Géographique
Les coordonnées	X= 799 932. 999 m Y= 3 516 613. 004 m	X= 828 481. 35 Y= 133 498. 16	31° 44' 53.27923"N 06° 09' 57.38581"E

**Tableau N° 01** : Les coordonnées du puits OMPHA-9.





**Figure 01** : Situation du puits OMPHA-9. [10]

### IV.1.2. But de sondage

Le puits OMPHA-9 est défini comme étant un puits producteur d'eau. Le forage vertical, atteint les formations Albiennes qu'il traverse en totalité sur une épaisseur d'environ 330 m. Le but de ce nouveau puits sera de servir à l'alimentation en eau industrielle du sondage pétrolier pour maintenir la pression du gisement de Hassi Messaoud à partir de la station OMP 53

### IV.1.3. Informations générales sur le puits OMPHA-9

Le tableau ci-après regroupe les données sommaires du puits en question.

Nom du puits	OMPHA-9	
La région	Hassi Messaoud	
Classification du puits	Puits d'eau	
Opérateur	SONATRACH	
Catégorie	Développement	
Prestataire du forage	L'Entreprise National des Travaux aux Puits (ENTP)	
Appareil de forage	TP 185	
Aquifère capté	Continental Intercalaire (couche Albienne)	
Localisation	Zone 31 Nord de Sahara	
Profil de puits	Vertical	
Profondeur finale	1388 m	
Elévation	Niveau du sol (Zs)	136.956 m
	Elévation de la table de rotation au niveau de mer	144.606 m
	Elévation de la table de rotation au niveau du sol	7.65 m
TD du puits	TVD/TMD	1388 m

**Tableau N°02** : Données générales sur le puits OMPHA-9. [10]

#### IV.1.4. Objectif du sondage

Le forage du sondage de l'OMPHA-9 était d'atteindre la cote planifiée à 1388 m avec performance, sans accidents, ni incidents tout en préservant l'environnement et d'acquérir de l'information géologique.

#### IV.1.4.1. Objectifs opérationnels

- Zéro accident.
- Pas d'atteinte à l'environnement, nettoyage permanent de la plateforme.
- Collecte des informations (données de forage) pour une optimisation future.

### IV.2. La technique de forage utilisée

Le puits OMPHA-9 a été réalisé par la technique de rotation (forage rotary).

#### IV.2.1. Le principe de la technique de fonçage par rotation

La technique de fonçage par rotation est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés. Elle consiste à utiliser un outil (trépan) qui met en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil. La circulation d'un fluide (liquide visqueux : la boue) permet de remonter les cuttings à la surface. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption.

#### IV.2.2. Les avantages et les inconvénients de la technique de rotation

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ forage rapide ;</li> <li>✓ cette technique permet un bon contrôle des paramètres de forage ;</li> <li>✓ le forage au rotary consolide les parois par dépôt d'un cake.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ nécessite d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de la qualité des eaux ;</li> <li>✓ colmatage possible des aquifères par certaines boues ;</li> <li>✓ difficulté d'observation des cuttings.</li> </ul>

**Tableau N°03** : Les avantages et les inconvénients de la technique de rotation.

### IV.3. Deroulement des operations de forage

#### IV.3.1. Tubage

Une fois foré, le puits est couvert par des tubes appelés "tubage" (casings) (fig.13) ayant le diamètre légèrement inférieur à celui du trou, pour empêcher les parois de s'effondrer et pouvoir continuer le forage sans problèmes.

Une fois ces tubes descendus dans le puits jusqu'à la cote d'arrêt, on introduit du ciment derrière pour bien les sceller.

Le choix des tubages, est conditionné par plusieurs facteurs, dont les principaux sont :

- La profondeur prévue
- Le type d'effluent attendu : huile, gaz ou l'eau
- Les risques de corrosion
- Profil du puits
- Facteur économique

#### IV.3.2. Les différentes colonnes de tubage

##### ❖ Tube guide "tube fontaine"

Ce tube n'est souvent qu'un tube roulé quelques mètres de longueur et installé à une profondeur de 5 à 15 mètres, son rôle est :

- D'assurer la verticalité du trou dans les premiers mètres forés.
- Canaliser la circulation de la boue vers les bassins
- Maintenir les formations de surface non consolidées (sables)



**Figure 02** : Le tube guide.

### ❖ Colonne de surface

Appelée encore 1<sup>ère</sup> colonne technique ou colonne de fermeture des eaux, elle est destinée à :

- Isoler les eaux contenues dans les couches supérieures
- Maintenir les terrains de surface
- Servir généralement à l'ancrage des dispositifs de sécurité en tête de puits (BOP) et d'assise aux dispositifs de suspension des colonnes suivantes.

### ❖ Colonne technique

De profondeur variable selon les difficultés rencontrées, elle permet :

- D'éviter de poursuivre un forage dans un découvert présentant un certain nombre de dangers (éboulements)
- D'isoler les formations contenant les fluides sous fortes ou faibles pressions (zones à pertes)
- D'éviter la rupture des terrains autour du sabot de la colonne de surface en cas d'éruption d'une formation abordée sans mise en place préalable d'une colonne technique.

Le sabot de cette colonne doit être placé :

- Dans les formations dites couvertures que l'on trouve en barrière entre des réservoirs perméables de gradients différents ou non
- À la base des formations de mauvaise tenue (argile fluente, sel...).

### ❖ Colonne de production

Elle est indispensable dans le cas d'un puits producteur. Elle permet de :

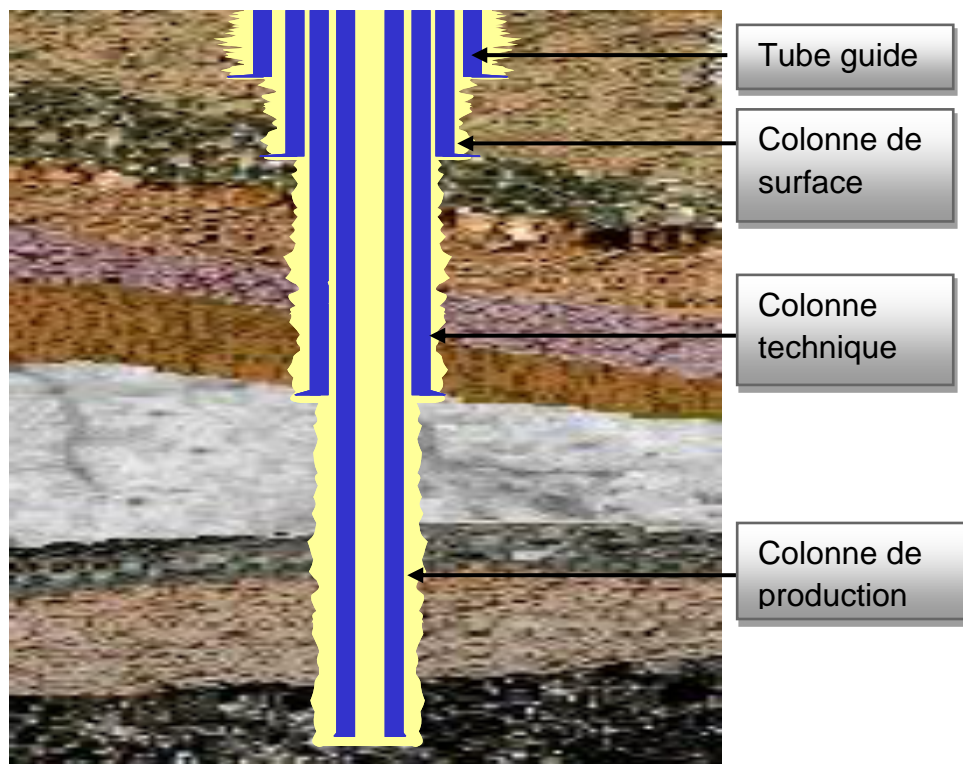
- Isoler la formation productrice des autres formations
- Mettre en œuvre le matériel de production

Elle devra présenter toutes les garanties d'étanchéité et de longévité.

### ❖ Colonne perdu (liner)

Suspendue à la base de la colonne précédente, elle peut jouer le même rôle qu'une colonne technique ou une colonne de production.

La descente de cette colonne est beaucoup plus économique que celle d'une colonne complète, mais cette solution n'est pas réalisable dans tous les cas, en particulier dans les puits à forte pression.



**Figure 03** : Les différentes colonnes de tubage.[7]

### IV.3.3. Caractéristiques de tubage

#### ❖ Le diamètre nominal

C'est le diamètre extérieur du corps du tube exprimé en pouces, par exemple : 7", 9"<sup>5/8</sup>, 13"<sup>3/8</sup>, 18"<sup>5/8</sup>. La tolérance admise est de 60.75%

#### ❖ Le poids nominal

On distingue la masse nominale du corps du tube et la masse nominale du tube manchonné.

#### ❖ Le coefficient de sécurité

Ces colonnes de tubage sont soumises à une série d'efforts additionnels dont la répartition le long de la colonne peut varier dans de larges limites. Ces efforts sont à considérer pour le choix des colonnes de tubage.

Les efforts les plus importants affectant la colonne sont :

- Les efforts de traction : c'est le poids de la colonne dans l'air.
- Les efforts d'écrasement : contraintes agissant à l'extérieur du tube.
- Les efforts d'éclatement : contraintes agissant à l'intérieur du tube.
- Les efforts de flambage.

## IV.4. Cimentation des colonnes de tubage

### IV.4.1. Le principe de la cimentation

Après le tubage du puits, l'espace annulaire compris entre la colonne de tubage et les parois du trou foré doit être cimenté.

La cimentation est l'opération qui consiste à mettre en place un laitier de ciment dans tout ou une partie de la hauteur de l'espace annulaire.

Le ciment, en faisant prise, assurera la liaison entre la colonne de tubage et le terrain.

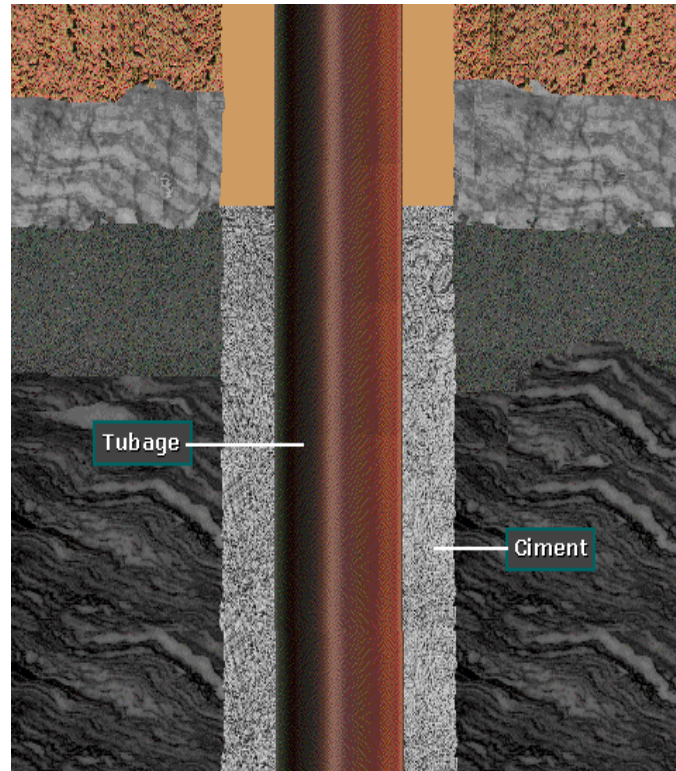


Figure 04 : Tubage / Cimentation.[7]

#### IV.4.2. Objectifs de la cimentation

La cimentation est une opération très importante, elle va conditionner la vie du puits. Les principaux objectifs de la cimentation sont les suivantes :

- Ancrer la colonne au sol
- Isoler les formations productrices
- Éviter l'éboulement du trou et supporter la paroi du trou
- Rétablir des étanchéités entre couches
- Protéger les colonnes contre les agents chimiques et la corrosion
- Fermeture des couches à haute pression et élimination des risques d'éruption
- Ancrer et suspendre les tubages.

Il faudra donc obtenir la meilleure étanchéité possible derrière la colonne de tubage. Une opération de cimentation nécessite donc de :

- Calculer le volume de laitier de ciment à injecter
- Calculer le volume du fluide de refoulement
- Préparer le trou avant l'injection
- Utiliser les ciments et les additifs



- Réaliser la cimentation
- Contrôle et test de la cimentation

#### IV.4.2.1. Volume de laitier de ciment

Pour une cimentation simple, ce volume sera égal à la somme du volume de l'espace annulaire à cimenter et le volume de sécurité entre le sabot et l'anneau de retenue.

Selon les formations, on applique un coefficient "K" variant de 1,05 à 1,30.

$$V_L = (V_T - V_E) \cdot H \cdot K + V_S$$

Avec :

$V_L$  : Volume de laitier.

$V_T$  : Volume du trou (Généralement le volume du trou est donné directement par le calibrage du trou "caliper").

$V_E$  : Volume extérieur du tubage.

$H$  : Hauteur d'espace annulaire à cimenter.

$V_S$  : Volume de sécurité entre le sabot et l'anneau.

Le débit d'injection de laitier de ciment dépend de l'unité de cimentation.

Pratiquement, le débit d'injection est de l'ordre de 1000 l/min.

#### IV.4.2.2. Volume du fluide de refoulement (volume de chasse)

Généralement on utilise la boue de forage et les pompes pour refouler le laitier de ciment, le volume de chasse égal au volume intérieur de tubage entre l'anneau de retenue et la surface.

#### IV.4.2.3. Préparation du trou avant l'injection

Pour assurer un nettoyage complet du cake, on fait précéder l'injection du laitier d'un bouchon d'eau (2 à 20 m<sup>3</sup>), où d'une solution désagrégant le cake. Dans certains cas un volume d'eau trop important peut provoquer une éruption si la pression hydrostatique n'est plus adaptée au maintien de la pression du gisement.

#### IV.4.2.4. Utilisation des ciments et des additifs

Pour mener à bien la cimentation d'un puits, le foreur dispose de plusieurs classes de ciment. Le choix de la classe du ciment, tiendra compte essentiellement des facteurs suivants:

- La profondeur et la pression au fond du puits
- La température au fond du puits
- L'éventualité d'un contact laitier eau de formation corrosive (en particulier les eaux sulfatées).

Pour faciliter les problèmes de stockage ou d'approvisionnement, les ciments classe G et H sont de plus en plus utilisés.

Pour que la cimentation soit réussie, il faut que :

- Le laitier soit de bonne qualité
- Le sabot soit parfaitement cimenté
- Le laitier adhère bien aux parois du trou et au tubage
- La chasse soit arrêtée lorsque le laitier est à l'emplacement prévu

On peut ajouter des produits pour faire varier les caractéristiques du laitier, notamment pour augmenter ou retarder le temps de prise du ciment, ces produits sont des additifs.

On distingue plusieurs types d'additifs :

- **Accélérateurs** : leur rôle est d'accélérer la prise du ciment à basse température. Le plus courant est le chlorure de calcium.
- **Retardateurs** : par leur action, retarder la prise du ciment.
- **Allégeant** : utilisés dans les ciments de remplissage, ils permettent de réduire la densité du laitier.

Exemples : la bentonite, les pouzzolanes, les terres diatomées.

- **Alourdissant** : servent à augmenter la densité du laitier.

Exemples : baryte, oxyde de fer etc...

#### IV.4.2.5. Réalisation de la cimentation

##### a) Equipement de la colonne de cimentation

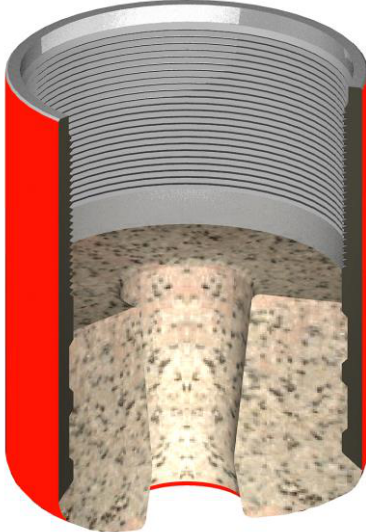
La cimentation d'une colonne de tubage 18''<sup>5/8</sup> est munie de certains accessoires destinés soit à faciliter sa descente, soit à augmenter les chances de réussite de la cimentation. Et qui sont :

##### ❖ Sabots de tubage

Le sabot de tubage, est un élément vissé à l'extrémité inférieure d'une colonne. Il est spécialement aménagé de façon à faciliter la descente et le guidage du tubage dans le puits. Il existe différents types de sabots, dont les plus courants

sont :

- Sabot à canal.
- Sabot à soupape.
- Sabot à bille.



**Figure 05** : Sabot à canal.[7]



**Figure 06** : Serrage et collage du sabot.

#### ❖ Anneaux de retenue

Placé généralement entre le deuxième et le troisième tube à partir du sabot, quelquefois entre le troisième et le quatrième. Sa position est 20 à 50 m à partir du sabot.

Cet anneau retient les bouchons de cimentation et permet d'indiquer la fin de l'opération de cimentation lorsque le bouchon supérieur arrive à son niveau (à coup de pression). Il existe différents types qui se différencient par leur équipement intérieur :

- Anneau à soupape.
- Anneau à bille.
- Anneau à remplissage différentiel.



Figure 07 : Anneau.[7]

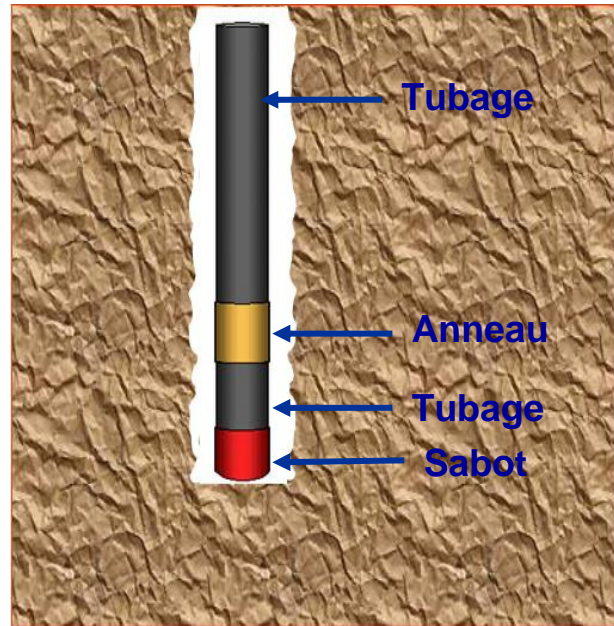


Figure 08 : L'emplacement de l'anneau.[7]

#### ❖ Bouchons de cimentation

Ces bouchons seront introduits dans la colonne au cours de la cimentation.

On distingue :

##### • Bouchon inférieur

Ce bouchon assure une séparation entre le laitier et la boue retardant au maximum le contact pour éviter la pollution du laitier par la boue pendant son passage à l'intérieur de la colonne. Par ailleurs, au cours de sa descente, il racle la paroi intérieure du tubage et la nettoie.

Le bouchon inférieur, muni extérieurement de lèvres en caoutchouc destinées à racler le tubage, possède une ouverture centrale cylindrique fermée par une mince membrane.

Lorsque le bouchon arrive sur l'anneau de retenue, la membrane se crève et laisse passer le laitier qui peut ainsi poursuivre son chemin.

##### • Bouchon supérieur

Contrairement au précédent, ce bouchon est un bouchon plein qui peut résister à des pressions importantes.

Il est libéré après l'injection du laitier et fait connaître que la cimentation est terminée quand il arrive sur le bouchon inférieur au niveau de l'anneau de retenue.



**Figure 09** : Les bouchons de cimentation.[7]



**Figure 10** : La position des deux Bouchons .[7]

#### ❖ Centreurs de tubage

Leur rôle est d'empêcher le contact des tubes avec la paroi du trou, de façon à permettre une meilleure répartition du ciment autour de la colonne. On distingue :

Les centreurs flexibles et les centreurs rigides.



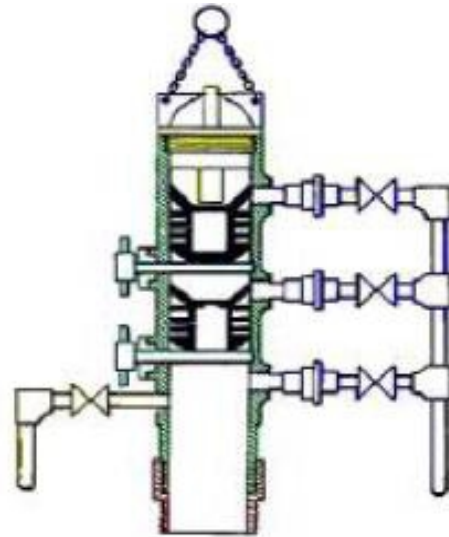
**Figure 11** : Centreur flexible.[7]



**Figure 12** : Centreur rigide.[7]

### ❖ Tête de cimentation

Vissée au sommet du tubage, contient les deux bouchons, elle doit permettre la Circulation de boue, l'injection du laitier après le largage du bouchon inférieur, la chasse du bouchon supérieur avec la boue initiale.



**Figure 13** : Tête de cimentation

### ❖ Unité de cimentation

Les unités de cimentation permettent d'effectuer simultanément :

- Le mixage du ciment et des additifs afin d'obtenir un laitier correspondant aux caractéristiques désirées pour chaque type particulier d'opération ;
- Le pompage du laitier obtenu avec une grande flexibilité de vitesse et pression de pompage.

Ces unités de pompage sont composées de deux pompes Triplex à grand débit et haute pression montées soit sur camion soit sur skid.

La source d'énergie actionnant ces pompes et l'équipement auxiliaire de ces unités est assurée par deux moteurs diesel.

#### **b) Cimentation du casing 18''<sup>5/8</sup> (Cimentation au stinger)**

La cimentation du casing 18''<sup>5/8</sup>, c'est une cimentation ordinaire.

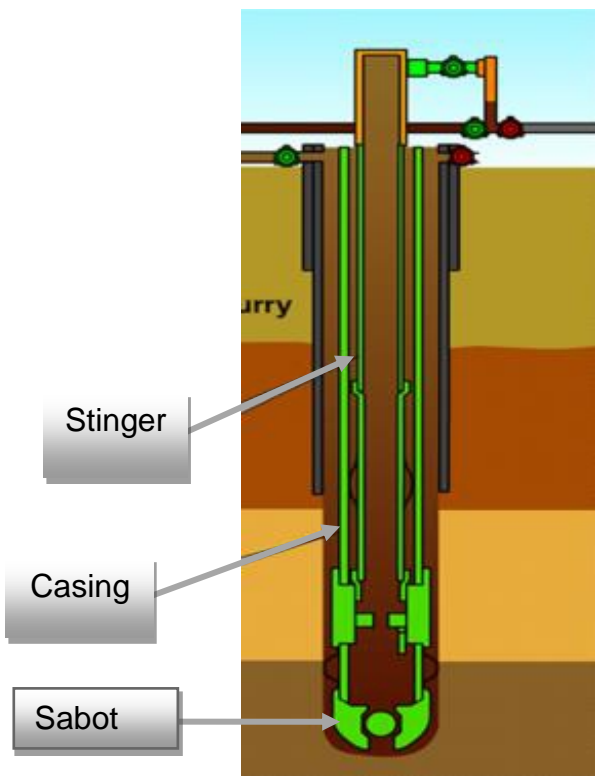
Pour leur réalisation, on utilise un outil appelé "stinger". Le stinger est un raccord qui se termine sur les deux extrémités par un filetage femelle. L'une des deux extrémités

vissée au bout d'une garniture des tiges, et l'autre extrémité ancrée dans le sabot par un certains nombres de joint.

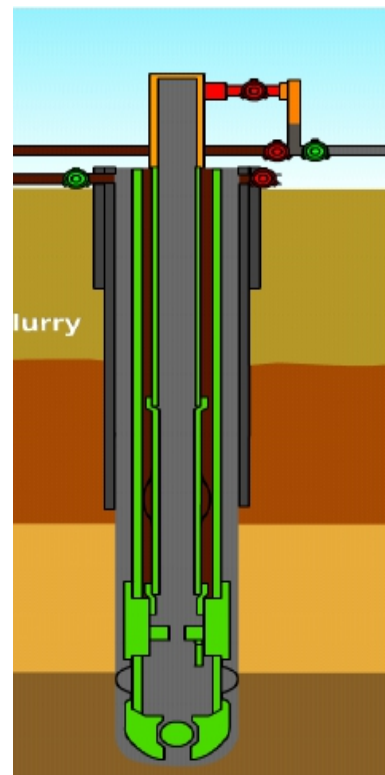
### ❖ Mode opératoire

Une fois le casing complètement descendu dans le trou. La garniture des tiges est descendue à l'intérieur du casing avec le stinger jusqu'au sabot. On injecte le laitier de ciment dans le tubage par la tête d'injection, après, on pousse le laitier par la boue jusqu'à ce qu'il arrive au niveau du sabot et remonté par l'espace annulaire jusqu'à la surface, on note un à-coup de pression. A la fin, on remonte le stinger et la garniture des tiges.

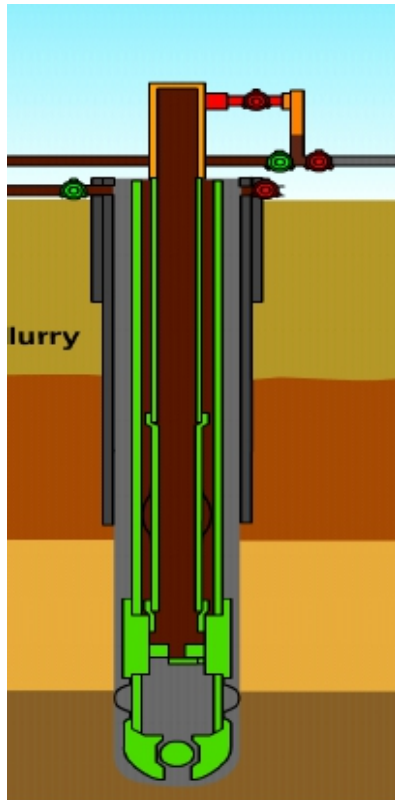
Les figures suivantes représentent le mode opératoire de la cimentation de la colonne 18<sup>5/8</sup>.



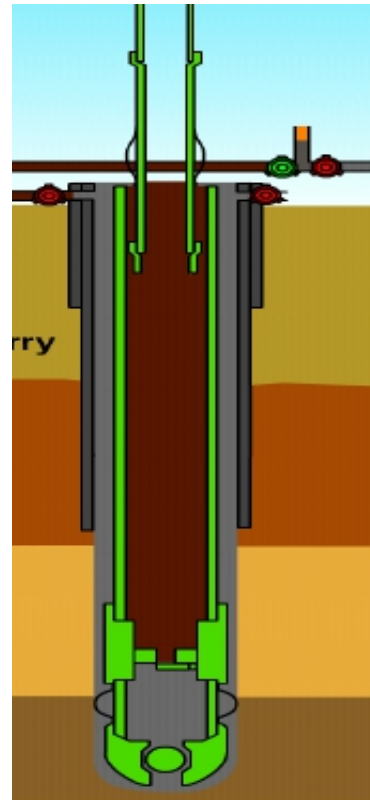
Descente du casing et stinger.



Mise en place du ciment.



Déplacement du ciment



Remonté du stinger.

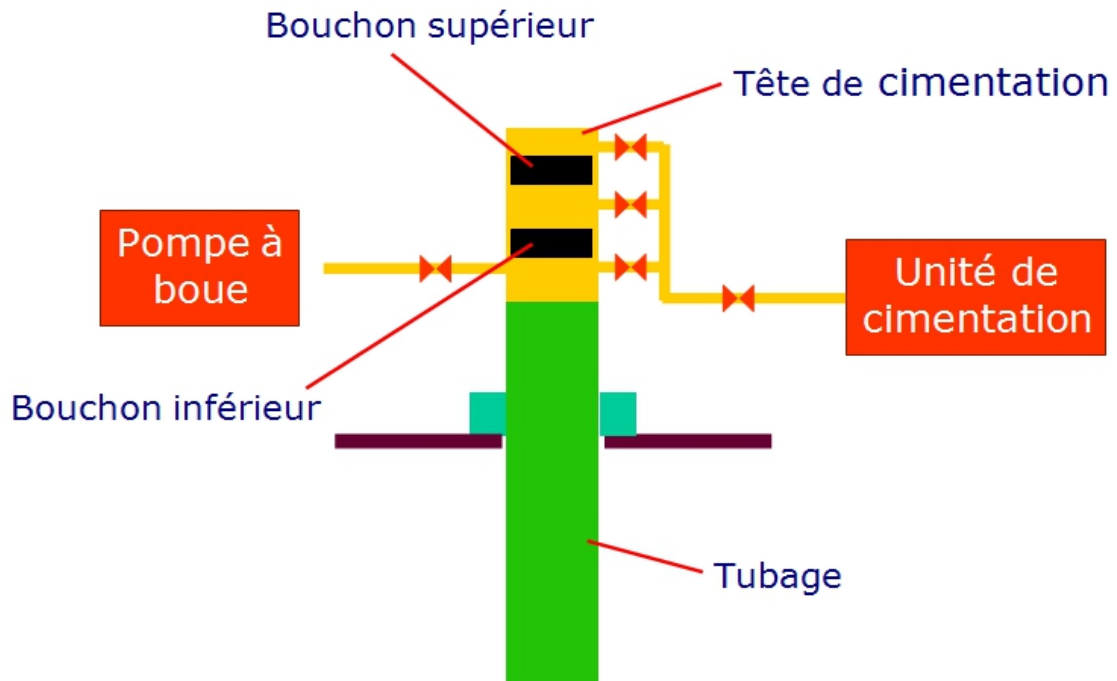
### C) Cimentation du casing 13<sup>3/8</sup> (cimentation simple étagé)

#### ❖ Mode opératoire

Le casing est muni, à son bout, d'un sabot qui le guide durant sa descente dans le puits et une vingtaine de mètres plus haut, d'un anneau qui retient les bouchons de cimentation.

Une fois le casing complètement descendu dans le trou, on place, à sa tête, la tête de cimentation, contenant les deux bouchons, et on la connecte aux conduites arrivant de la pompe de forage et de l'unité de cimentation.

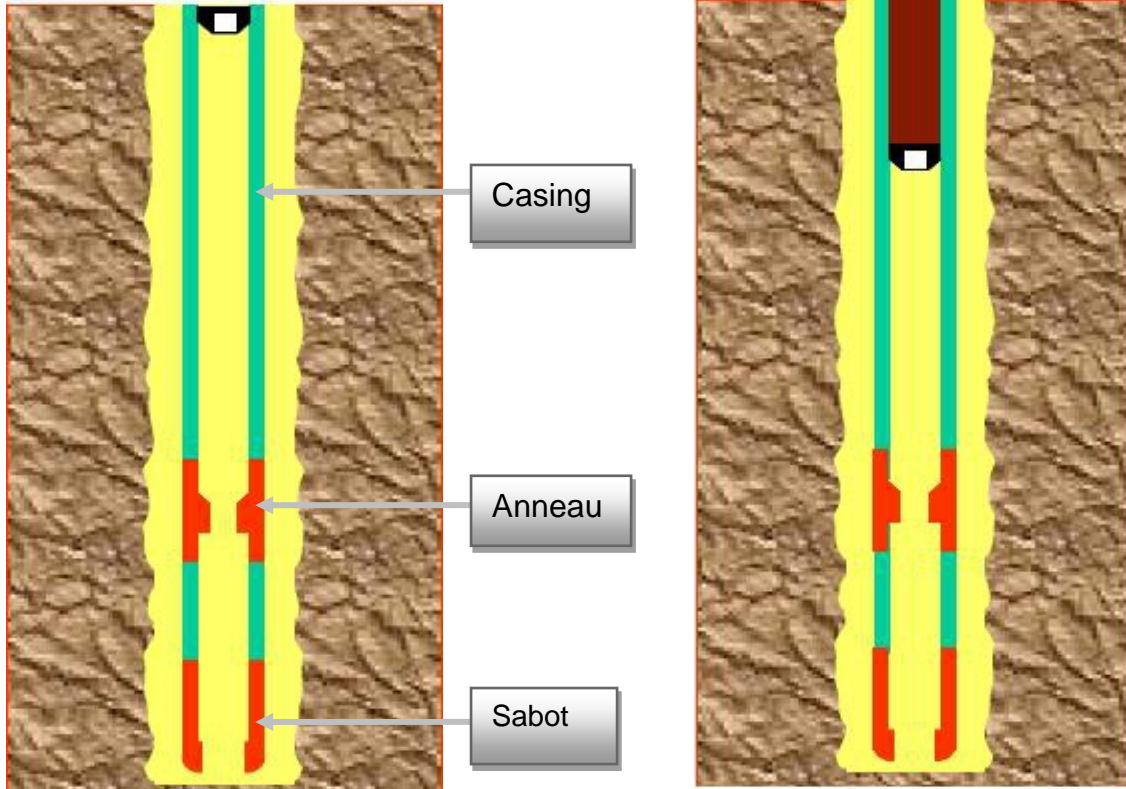




**Figure 15 :** Equipements de cimentation de la colonne 13''<sup>3/8</sup>. [7]

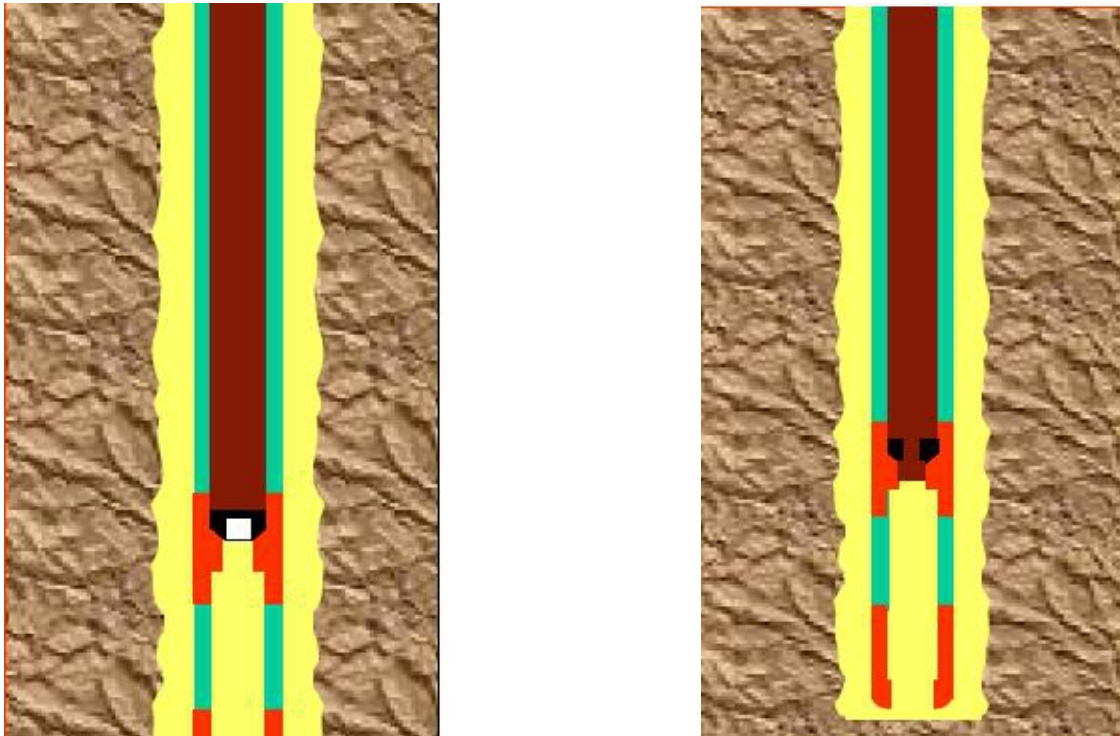
Pour cimenter, on commence par libérer le bouchon inférieur, puis fabriquer et pomper simultanément le ciment. Ce dernier descend dans le tubage derrière le bouchon inférieur, jusqu'à ce que ce dernier pose sur l'anneau. En continuant le pompage, le bouchon étant retenu par l'anneau, ne pouvant pas se déplacer, éclate sous l'effet de la pression et laisse le ciment passer.

Une fois le volume total de ciment pompé, on libère dessus le bouchon supérieur et on continue à déplacer le ciment par la boue. Le ciment arrive au bout du tubage, sort par le sabot et remonte dans l'espace annulaire. On arrête le pompage de la boue lorsque le bouchon supérieur repose sur celui inférieur, déjà bloqué sur l'anneau, ce qui est indiqué par une augmentation brusque de la pression, appelé à-coup de pression.



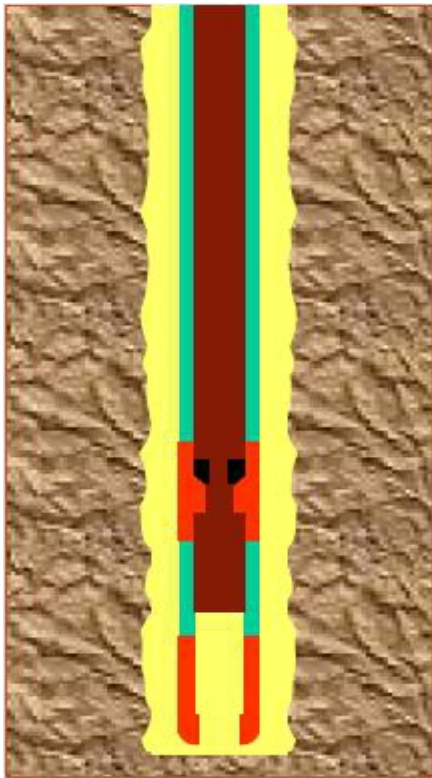
Lancement du bouchon inférieur.

Pompage du ciment.

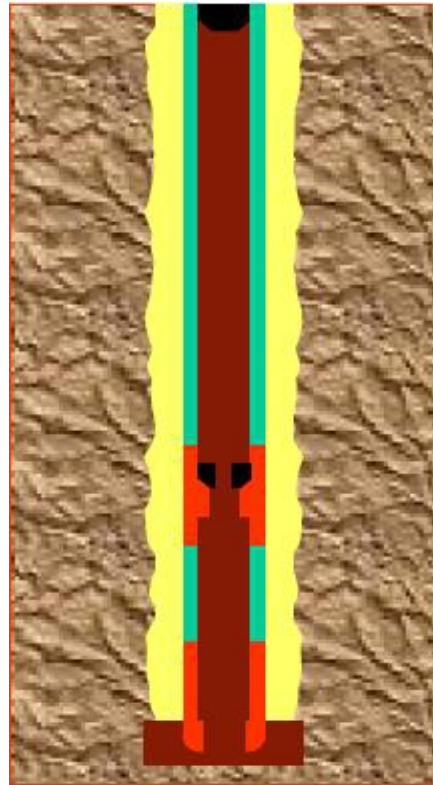


Le bouchon inférieur arrive sur l'anneau.

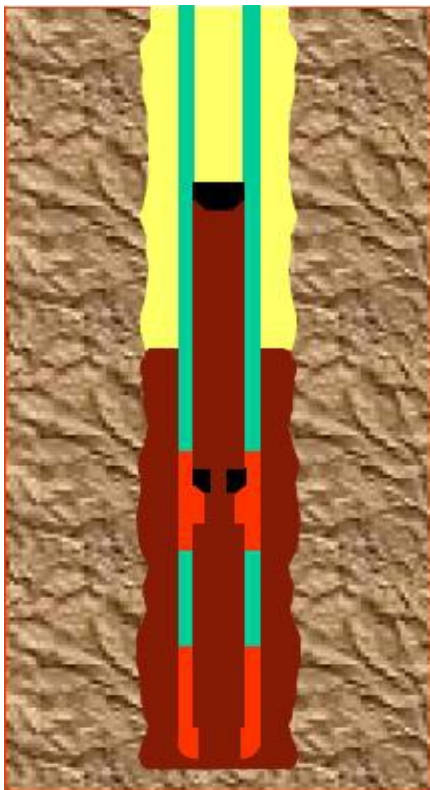
Le passage du ciment.



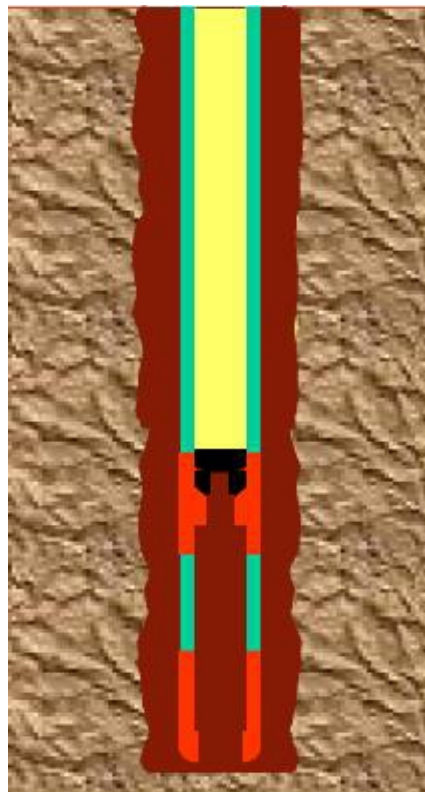
Poursuite de la cimentation.



Lancement du bouchon supérieur.



Chasse le ciment par la boue.



Fin de la cimentation.

#### IV.4.2.6. Le contrôle de la cimentation (logging)

Après la cimentation, il est nécessaire de vérifier la qualité de cimentation d'un tubage grâce à la diaggraphie Sonique CBL-VDL [ cement Bond Log-Variable Density Log ], outil sonique enregistrant l'amplitude d'une onde sonore dans le tubage dont le taux d'atténuation est fonction de la compression du ciment et du pourcentage de circonférence cimentée.

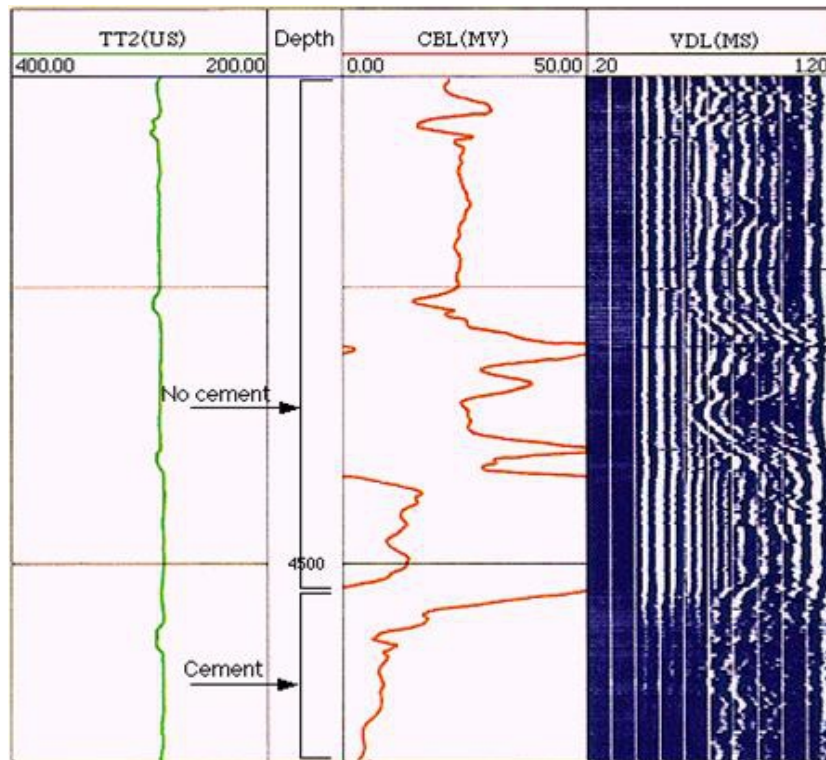


Figure 16 : CBL-VDL simple logging.[7]

#### IV.5. Le fluide de forage (la boue)

La boue de forage est choisie en fonction de la nature de formation, de l'architecture du puits et des objectifs de sondage. Si c'est choix sont mal fait, la boue peut causer des problèmes lors du déroulement du forage.

##### IV.5.1. Les principaux types de boue

- ❖ **La boue à base d'eau** : le fluide dans lequel sont ajoutés les autres produits est de l'eau

- ❖ **La boue à base d'huile** : le fluide dans lequel sont ajoutés les autres produits est du gasoil ou du pétrole

Chaque type de boue est utilisé pour répondre à certains problèmes dans le puits. Par exemple, dans les formations salifères, la boue à base d'eau dissout le sel, donc pour forer ces formations, il faut utiliser la boue salée saturée.

#### **IV.5.2. La boue à la bentonite (boue à base d'eau)**

En forage rotary, la boue de circulation peut être la meilleure ou la pire des choses. La meilleure parce que son indispensable utilité n'est, désormais, contestée par personne. La pire, car, si l'on n'est pas suffisamment instruit sur son rôle, sa composition, son comportement et son utilisation, elle peut provoquer de graves avaries :

- Coincement.
- Blocage de la ligne de sonde.
- Entraînant parfois la perte totale de l'ouvrage et pour le moins, constituant une considérable perte de temps.

En outre, si le "cake" dépôt consolidant les parois du trou est trop épais et trop adhérent, les venues d'eau des couches productrices peuvent se trouver sensiblement diminuées ou difficiles à détecter. [11]

#### **IV.5.3. Rôles de la boue**

Le circuit parcouru par la boue en forage rotary est le suivant :

- Refoulement de la pompe à boue, par tuyauterie rigide et par flexible, jusqu'à la tête d'injection si tuée au sommet de la ligne de sonde.
- Circulation de haut en bas à l'intérieur de toute la ligne de sonde jusqu'à l'outil
- Circulation de bas en haut dans l'espace annulaire entre liges et terrain.
- Circulation dans les goulettes et les rigoles (canaux de décantation) jusqu'aux bacs ou aux fosses à boue, avec s'il y a l'eau, passage au tamis vibrant pour en retirer les cuttings.
- Aspiration dans les bacs ou les fosses par la pompe à boue qui la refoule sur la ligne de sonde. [11]

#### IV.5.4. Les fonctions du fluide de forage

Les fonctions de la boue sont les suivantes :

- Consolider les parois du forage, par le dépôt du cake sur la formation ;
- Remonter les sédiments broyés (cuttings) au fond du trou par l'outil ;
- Lubrifier et refroidir les outils de forage ou de carottage ;
- Augmenter, par le jet à la sortie des événements de l'outil, l'action abrasive de celui-ci sur le terrain en cours de forage ;
- Faciliter et contrôler les opérations de mise en place de cimentation ;
- Équilibrer les pressions hydrostatiques des couches aquifères rencontrées. [11]

#### IV.5.5. Composition de la boue

C'est un mélange colloïdal de bentonite et d'eau : la bentonite c'est une variété d'argile très fine, dont les particules sont inférieures à 1 µm et de densité de 2,6. A ce mélange un ou plusieurs additifs sont rajoutés pour le rendre compatible avec le terrain ou la pression de la nappe, ou bien pour conserver ou redonner à la boue ses propriétés initiales. [11]

#### IV.5.6. Caractéristiques de la boue de forage

##### IV.5.6.1. Caractéristiques physico-chimiques

- ❖ **La densité** : C'est une donnée essentielle. Une boue dense favorise l'ascension dans l'espace annulaire des sédiments détachés par l'outil au fond du trou, elle permet ainsi d'équilibrer la pression hydrostatique dans le puits et de poursuivre le forage sans être gêné par le jaillissement en surface.

#### Comment calculer la densité de la boue?

$$H = (d.h) / 10.2$$

Avec :

**H** : la pression hydrostatique (bar).

**d** : la densité de la boue.

**h** : la profondeur du trou (m).

On tire d, donc :

$$d = (H.10.2) / h$$

Très important : la Pression exercée par la boue de forage doit être supérieure à la pression des pores des formations (pour éviter les venues) et inférieure à la pression de fracturation des formations (pour éviter l'éboulement du trou).

$$P_{\text{pore}} < P_{\text{boue}} < P_{\text{frac}}$$

La densité de boue de forage se mesure avec le "densimètre".

#### IV.5.6.2. Caractéristiques rhéologiques

- ❖ **Viscosité** : Une boue trop visqueuse devient difficile à pomper, une boue trop fluide risque de se dissocier et perd ses propriétés de consolidation des parois.

Une boue possédant une viscosité correcte permet :

- D'avoir un outil bien dégagé, une bonne remontée des cuttings
- Réduire les pertes de charge dans le train de sonde et le dépôt plus rapide des cuttings dans les fosses de décantation

La viscosité de boue de forage se mesure avec le "viscosimètre MARTSH".

- ❖ **Filtrat** : c'est ce qui passe à travers d'un filtre ; en majeure partie, il s'agit de l'eau libre.
- ❖ **Cake** : c'est ce qui est retenu par le filtre (ou ici par le terrain). Il joue en sens inverse du filtrat. Le cake ne se forme pas sur une paroi non perméable.

Si le cake est trop épais, il risque de colmater les formations aquifères.

- ❖ **Yield point** : c'est la tension limite de cisaillement d'un fluide plastique au-dessous de laquelle le fluide ne s'écoule plus et se comporte comme un solide.
- ❖ **Thixotropie** : c'est la propriété d'une boue de passer d'une consistance rigide à un aspect fluide sous l'effet de brassage (agitation).
- ❖ **Teneur en sable** : la boue a tendance à se charger exagérément de sable provenant du terrain. Le sable est dangereux pour les œuvres vives des pompes à boue qu'il érode rapidement et il alourdit la densité de la boue. On recommande de ne pas dépasser une teneur maximale de 5%.

- ❖ **PH** : le PH permet d'indiquer l'acidité ou l'alcalinité de la boue. Une boue dont le  $PH < 7$  provoque un risque de floculation, alors qu'une boue dont le  $PH > 10$  indique sa contamination par le ciment ou par l'eau de l'aquifère. [11]

#### **IV.5.7. Le circuit de boue**

La boue de forage est fabriquée dans des bassins de grande capacité. Elle est ensuite aspirée par des pompes et refoulée dans les tiges creuses.

Elle descend le long de la garniture de forage et sort par les orifices de l'outil. Une fois sortie de l'outil, elle remonte dans l'espace annulaire entraînant avec elle les déblais, pour être recueillie en surface dans un tube fontaine. Elle est ensuite acheminée par un tube goulotte vers des tamis vibrants (tamisage) pour être débarrassée des déblais et retourner dans le bac d'où elle a été pompée. Elle subit d'autres traitements avant d'être réinjectée dans le puits :

##### **IV.5.7.1. Traitements mécaniques**

- ❖ **La décantation** : la décantation s'effectue juste après le tamisage dans un bassin de décantation de 4 à 5 m<sup>3</sup>, appelé "sablière" situé sous les tamis vibrants. Ce traitement consiste à éliminer les particules fines.

##### **IV.5.7.2. Traitements chimiques**

Il consiste à corriger certains paramètres de la boue en injectant certains additifs.



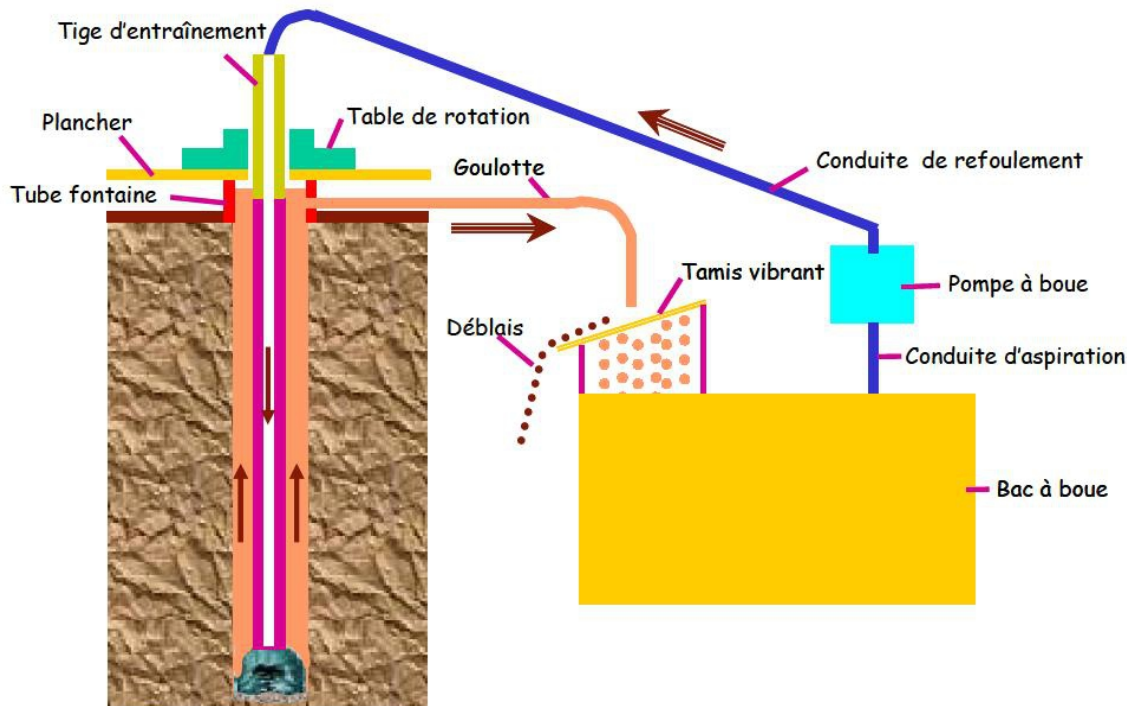


Figure 17 : Le circuit de boue.[7]

Le circuit de boue comporte les bacs suivants :

- ❖ **Bacs de circulation** : maintiennent en agitation la boue. Les pompes aspirent à partir de ces bacs. Leur volume varie de 15 à 50 m<sup>3</sup>.
- ❖ **Bacs de réserve** : maintiennent une boue neuve en attente ou stockent la boue déjà utilisée. Ils sont munis d'un système d'aspiration et d'agitation.
- ❖ **Bacs de décantation** : Ils sont souvent limités aux bacs situés sous ou immédiatement après les tamis vibrants, leur volume est voisin de celui des bacs de circulation.

C'est dans ces bacs que la boue dépose les particules moins grosses passées à travers les tamis vibrants.

- ❖ **Bacs de traitement** : pour fabrication des solutions traitantes et des bouchons colmatant.

## Partie 2 : Exécution du forage OMPHA-9

Le forage s'est déroulé du 28 février au 31 mars 2019. Son exécution a été réalisée en trois phases:

- La phase 26'' avec un tubage 18''<sup>5/8</sup>
- La phase 16'' avec un tubage 13''<sup>3/8</sup>
- La phase 12''<sup>1/4</sup> avec un casing 9''<sup>5/8</sup>

Chaque phase se caractérise par des spécificités particulières : but, paramètres de forage, type de boue utilisée, type de garniture et les problèmes rencontrés.

### IV.1. Phase 26'' Casing 18''<sup>5/8</sup>

#### IV.1.1. Le But

Les principaux buts de cette phase sont les suivants :

- Forage de la surface jusqu'à la côte -496 m, 640 m dans le Sénonien anhydritique
- Descente du casing 18''<sup>5/8</sup> avec le sabot jusqu'à -496 m
- Cimentation de la colonne jusqu'en surface.

#### IV.1.2. Paramètres de forage

Les paramètres essentiels sont au nombre de trois :

- Le poids exercé sur l'outil.
- Le nombre de tour de la table de rotation (vitesse de rotation).
- Le débit d'écoulement (injection de la boue).

Profondeur (m)	Poids sur l'outil (t)	Nombre de tour (tr/min)	Débit (l/min)
-11 à -146	1-5	50-70	2600
-146 à -282	10-15	60-80	3200
-282 à -496	15-25	70-90	3400

**Tableau N°05** : Paramètres de forage de la phase 26''. [12]

### IV.1.3. La boue

Cette phase sera réalisée avec une boue bentonitique fabriquée à partir d'eau douce et de bentonite ( $80 \text{ Kg/m}^3$  bentonite), dont les paramètres sont les suivants :

Densité	1.05
Yield point (lbs/100ft <sup>2</sup> )	50
Viscosité (sec/qt)	60 - 80
Filtrat (cc/min)	< 20 avant descente 18 <sup>5/8</sup> csg
PH	12

**Tableau N°05** : Paramètres de la boue. [12]

### IV.1.4. Outil de forage

Outil utilisé dans cette phase est un outil tricône (outils à molettes) de diamètre 26" (660.4 mm) et de type SB445C SMITH. [13]

### IV.1.5. Programme de la garniture (BHA)

Le tableau ci-dessous regroupe le programme de la garniture de forage utilisée dans cette phase : [12]

BHA	Diamètre extérieur (pouce)
L'outil	26" (660.4 mm)
1 porte outil	9 <sup>1/2</sup> (241.3 mm)
1 amortisseur de choc	9 <sup>1/2</sup>
2 masses-tiges	9 <sup>1/2</sup>
1 stabilisateur	26"
1 masse-tige	9 <sup>1/2</sup>
1 raccord	9 <sup>1/2</sup>
12 masses-tiges	8" (203.2 mm)

1 raccord	8''
12 tiges lourdes	5'' (127 mm)

**Tableau N°06** : Garniture de la phase 26''.

#### IV.1.6. Description géologique (master log)

La description géologique des terrains supérieurs est invariable au niveau du champ de Hassi Messaoud. C'est la raison pour laquelle s'agissant de notre cas, la description à débiter à partir de la côte -360 m et s'est poursuivie jusqu'à -1388 m. Les résultats de la description des échantillons récupérés (cuttings) nous ont permis de dresser, en collaboration avec le géologue de chantier, la colonne stratigraphique de cette phase :

##### ❖ Sénonien carbonaté

- **De - 360 à - 380 m** : Calcaire à calcaire dolomitique, beige à blanc, grise, microcristalline, moucheté par endroit, dur, parfois pâteuse, avec fin passée d'Anhydrite blanche, pulvérulente, parfois cristalline, dure, présence d'Argile grise, pâteuse tendre, carbonaté.
- **De - 380 à - 390 m** : Marne grise à gris vert, pâteuse.
- **De - 390 à - 430 m** : Calcaire dolomitique blanc beige à beige, cristalline à microcristalline, moyennement dur, avec passée d'argile grise à gris verdâtre, pâteuse.

##### ❖ Sénonien anhydritique

- **De - 430 à - 470 m** : Anhydrite blanche, pulvérulent, localement cristalline, moyennement dure à dure et de Calcaire dolomitique gris à gris blanc, microcristalline avec passée de Marne grise à gris verdâtre, pâteuse.
- **De - 470 à - 496 m** : Dolomie beige à blanc beige, parfois grise à gris clair, microcristalline, dure. [14]

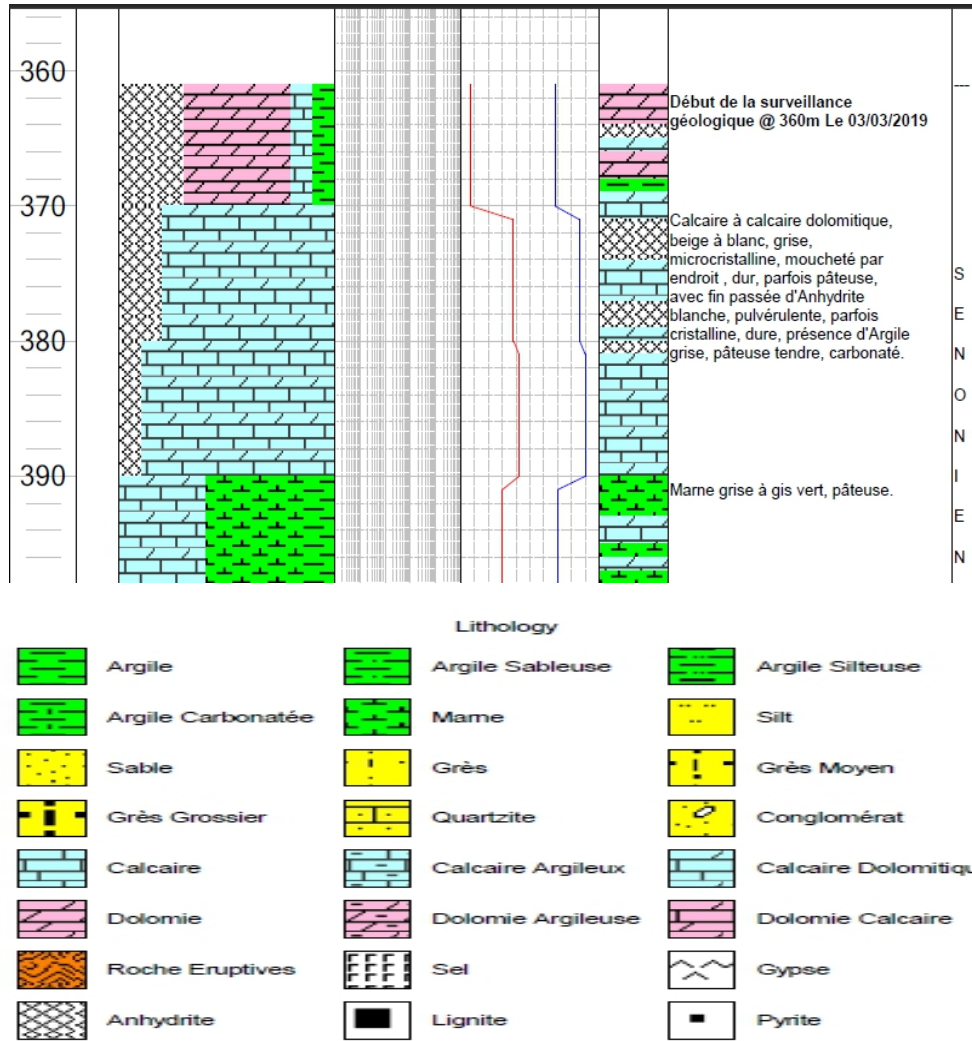


Figure 17 : Exemple de master log de la phase 26". [14]

### IV.1.7. Tubage (casing)

Les caractéristiques du casing de cette phase sont les suivantes :

Diamètre	Poids nominal (lb/ft)	Grade	Filetage	Côte du sabot (m)	Type de sabot
18 <sup>5/8</sup> (473.07 mm)	87.5	K55	BTC	-496	Sabot à bille

Tableau N°07 : Caractéristiques du casing 18<sup>5/8</sup>. [12]

#### IV.1.7.1. Habillage de la colonne 18''<sup>5/8</sup>

Les centreurs utilisés pour l'habillage de cette colonne sont de type flexible. Ils sont placés le long de la colonne et permettent de la centrer dans le puits, ils sont disposés de la manière suivante :

- Deux centreurs flexibles par tube sur les tubes N°1 et N°2
- Un centreur flexible par tube sur les tubes N°3 et N°4
- Un centreur flexible tous les 4 tubes jusqu'en surface. [12]

#### IV.1.8. Programme de cimentation de la colonne 18''<sup>5/8</sup>

Cette opération a été réalisée par la compagnie Weatherford, les étapes de déroulement de la cimentation de sont les suivantes : [15]

- Descente du stinger de diamètre 4''<sup>1/2</sup> (114.3 mm) à l'intérieur du casing 18''<sup>5/8</sup> (nombre de joints utilisés : 44 joints)
- Injection de 99.1 m<sup>3</sup> du laitier de ciment de densité 1.58, dont des compositions sont les suivantes :

Compositions	valeurs
Eau douce (m <sup>3</sup> )	0.89
Ciment (t)	1
Bentonite (Kg)	25
CaCl <sub>2</sub> (accélérateur) (Kg)	8

**Tableau N°08** : Les compositions de laitier de densité 1.58.

- Injection de 23.38 m<sup>3</sup> du laitier de ciment de densité 1.90, dont les compositions sont les suivantes :

Compositions	valeurs
Eau douce (m <sup>3</sup> )	0.44
Ciment (t)	1
CaCl <sub>2</sub> (accélérateur) (Kg)	1.5

**Tableau N°09** : Les compositions du laitier de ciment de densité 1.90.

- Injection de 3.68 m<sup>3</sup> de boue de densité 1.58 pour chasser le laitier de ciment
  - ✓ Classe de ciment : G
  - ✓ Pression de la ligne de cimentation égale à 3000 psi
  - ✓ Volume d'eau nécessaire : 6.8 m<sup>3</sup>.

#### IV.1.9. Problèmes de forage rencontrés

Le problème rencontré au cours de cette phase est la perte totale de boue (perte de circulation) au niveau du Moi-Pliocène, à la profondeur -145 m.

##### ❖ C'est quoi une perte ?

La perte de circulation (ou perte de retour) est définie comme la perte totale ou partielle du fluide de forage ou du laitier de ciment dans les formations de forte perméabilité, cavernueuses ou fissurées soit naturellement soit durant de forage.

#### IV.1.10. Remèdes

##### ❖ Cimentation complémentaire

La cimentation complémentaire est réalisée en injectant du laitier de ciment directement dans l'espace annulaire pour isoler les formations perméables.

Dans notre cas, nous avons injecté 25 m<sup>3</sup> d'un bouchon de ciment de densité 1.58

### IV.2. Phase 16'' Casing 13''<sup>3/8</sup>

#### IV.2.1. Le But

- Installation du bloc d'obturation du puits (BOP) sur le casing 18''<sup>5/8</sup> ;
- Forage à partir de - 496 m jusqu'à -1056 m, 62 m au-dessous du toit de l'Albien ;
- Descente du casing 13''<sup>3/8</sup> ;
- Cimentation de la colonne à simple étagé jusqu'en surface.

#### IV.2.2. Paramètres de forage

Profondeur (m)	Poids sur l'outil (t)	Nombre de tour (tr/min)	Débit (l/min)
-496 à -1056	15 - 20	120 - 150	2900

**Tableau N°10** : Paramètres de forage de la phase 16''. [12]

### IV.2.3. La boue

Cette phase sera réalisée avec une boue salée saturée. Ce type de boue est utilisé afin d'éviter la dissolution des sels dans les formations salifères pour éliminer la création des cavages qui vont entraîner les éboulements des terrains dans le puits. Les paramètres de cette boue sont les suivants : [7]

Densité	1.35
Yield point (lbs/100ft <sup>2</sup> )	20 - 28
Viscosité (sec/qt)	45 - 55
Filtrat (ccs/min)	< 5
PH	9.5 - 10
Na Cl %	26

**Tableau N°11 : Paramètres de la boue.**

### IV.2.4. Outil de forage

Outil utilisé dans cette phase est un outil tricône de diamètre 16'' (406.4 mm), de type TFF913S NOV. [8]

### IV.2.5. Programme de la garniture (BHA)

Le tableau ci-dessous regroupe le programme de la garniture de forage utilisée dans cette phase : [12]

BHA	Diamètre extérieur (pouce)
Outil	16'' (406.4)
1 stabilisateur-porte outil	16''
1 masse-tige	9'' <sup>1/2</sup> (241.3 mm)
1 stabilisateur	16''
1 masse-tige	9'' <sup>1/2</sup>
1 stabilisateur	16''



2 masse-tige	9'' <sup>1/2</sup>
1 raccord	9'' <sup>1/2</sup>
9 masses-tiges	8'' (203.2 mm)
1 coulisse	8''
2 masse-tige	8''
1 raccord	8''
12 tiges lourdes	5'' (127 mm)

Tableau N°12 : Garniture de la phase 16''.

#### IV.2.6. Description géologique

La colonne stratigraphique de cette phase est la suivante :

##### ❖ Sénonien anhydritique

- **De - 496 à - 520 m** : Argile grise à gris-verdâtre, tendre à indurée, légèrement carbonatée.
- **De - 520 à - 650 m** : Anhydrite blanche à blanc beige, massive, pulvérulente, moyennement dure.

##### ❖ Sénonien salifère

- **De - 650 à - 670 m** : Anhydrite blanche à blanc beige, massive, pulvérulente, dure.
- **De - 670 à - 690 m** : Argile brune à brun rouge, gris vert, localement salifère, tendre.
- **De - 690 à - 760 m** : Sel blanc, translucide, parfois rosâtre, massif.
- **De - 760 à - 786 m** : Anhydrite blanche à blanc beige, massive, pulvérulente, moyennement dure.

##### ❖ Turonien

- **De - 786 à - 903 m** : Calcaire blanc à blanc beige crayeux, parfois laiteux, tendre à moyennement dur.

##### ❖ Cénomanién

- **De - 903 à - 920 m** : Anhydrite blanche, parfois translucide, pulvérulente, dure à moyennement dure.

- De - 920 à - 950 m : Dolomie grise à gris-beige, microcristalline, moyennement dure.
- De - 950 à - 990 m : Argile grise à gris verdâtre, pâteuse.
- De - 990 à - 1030 m : Dolomie grise à gris-beige, microcristalline, moyennement dure.
- De - 1030 à - 1056 m : (62 m dans l’Albien).

Argile grise à gris verdâtre, parfois brun rouge, pâteuse. [14]

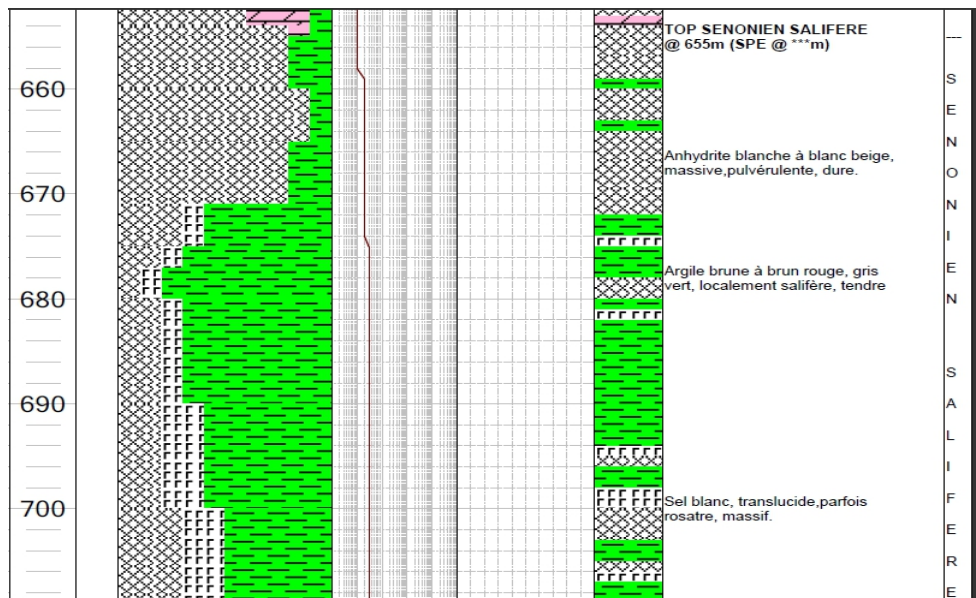


Figure 19 : Exemple de master log de la phase 16”. [14]

IV.2.7. Tubage

Les caractéristiques du casing de cette phase sont les suivantes : [12]

Diamètre	Poids nominal (lb/ft)	Grade	Filetage	Côte du sabot (m)	Type de sabot
13 <sup>3/8</sup> (339.7 mm)	68	N80	BTC	-1056	Sabot à canal

Tableau N°14 : Caractéristiques du casing 13<sup>3/8</sup>.

#### IV.2.7.1. Habillage de la colonne 13''<sup>3/8</sup>

Pour l'habillage de cette colonne, les centreurs utilisés sont de type flexible et rigide, ils sont disposés de la manière suivante :

- Deux centreurs flexibles par tube sur les tubes N°1 et N°2
- Un centreur flexible sur le tube N°3
- Un centreur flexible tous les 3 tubes
- Un centreur flexible tous les 2 tubes
- Un centreur rigide sur l'avant dernier tube. [12]

#### IV.2.8. Programme de cimentation de la colonne 13''<sup>3/8</sup>

Cette opération é été réalisée aussi par la compagnie Weatherford, les étapes de déroulement de la cimentation de cette colonne sont les suivantes : [15]

- Encage de l'anneau à bille à l'intérieur du casing 13''<sup>3/8</sup>
- Montage de la tête et des lignes de cimentation avec pression de 3000 psi
- Lancement du bouchon inférieur
- Injection de 36.26 m<sup>3</sup> du laitier de ciment de densité 1.58
- Injection de 5.72 m<sup>3</sup> du laitier de ciment de densité 1.90
- Lancement du bouchon supérieur
- Injection de 80 m<sup>3</sup> de boue de densité 1.35 pour chasser le laitier du ciment.

#### IV.2.9. Résultats de logging

Les résultats de la diagraphie montre une bonne cimentation.

#### IV.2.10. Problème rencontré au cours du forage

Le problème rencontré au cours de cette phase est le coincement de la garniture de forage.

##### ❖ C'est quoi le coincement ?

En général on peut définir un coincement comme étant un obstacle qui provoque l'arrêt du forage. Les risques de coincement sont considérablement accrus lorsque des formations, techniquement très défavorables (formations éboulent, fluentes, non consolidées, gonflantes), sont rencontrées durant la réalisation du puits.

### IV. 2.11. Remèdes

#### ❖ Le battage

Le battage s'effectue à l'aide de la coulisse de battage.

La coulisse est considérée comme un trait d'union entre la garniture libre et la garniture coincée, constitué de deux pièces coulissant l'une dans l'autre : celle de plus faible diamètre appelée "mandrin" et celle de plus fort diamètre appelée "corps de coulisse".

#### ❖ Injection d'un bouchon d'acide (HCl)

Ces bouchons seront mis en place au droit de la zone du coincement pour imprégner le cake et seront progressivement déplacés dans l'espace annulaire. Le principal but de ces bouchons est de fragiliser le cake.

Dans notre cas, le coincement de la garniture de forage est dû aux formations fluentes, nous avons donc appliqué le battage pour libérer la garniture.

### IV.3. Phase 12''<sup>1/4</sup> Casing 9''<sup>5/8</sup> (13 % crépines)

#### IV.3.1. Le But

- Installation du bloc d'obturation du puits sur le casing 13''<sup>3/8</sup> ;
- Forage à partir de -1056 m jusqu'à l'arrêt final à -1388 m, 64 m au-dessous du toit de l'Aptien ;
- Descente du casing 9''<sup>5/8</sup> dont 13 % ce sont des crépines de type Johnson ;
- Descente de liner 9''<sup>5/8</sup>, et des crépines 8''<sup>5/8</sup> pour couvrir l'intervalle de l'Albien et permettre la production d'eau ;
- Le liner sera posé à 650 m au-dessus du sabot de casing 13''<sup>3/8</sup>.

#### IV.3.2. Paramètres de forage

Profondeur (m)	Poids sur l'outil (t)	Nombre de tour (tr/min)	Débit (l/min)
-1056 à -1070	7- 16	100 - 130	2200 - 2600
-1070 à -1124	20 - 25	120 - 150	3000
-1124 à -1388	10 - 20	120 - 150	3200

Tableau N°14 : Paramètres de forage de la phase 12''<sup>1/4</sup>. [14]

### IV.3.3. La boue

Forage de cette phase sera réalisé avec une boue salée saturée, dont les paramètres sont les suivants : [12]

Densité	1.35
Yield point (lbs/100ft <sup>2</sup> )	14 - 20
Viscosité (sec/qt)	45 - 55
Filtrat (cc/min)	< 4
PH	9.5 - 10
Na Cl %	26

**Tableau N°15** : Paramètres de la boue.

### IV.3.4. Outil de forage

Cette section sera forée par deux types d'outils : [13]

Profondeur (m)	Type d'outil
-1056 à -1124	R616SP2DHXU
-1124 à -1388	R13DGX

**Tableau N°16**: types outils utilisés dans la phase 12''<sup>1</sup>/<sub>4</sub>.

### IV.3.5. Programme de la garniture

Le tableau ci-dessous contient la garniture de forage utilisée dans cette phase : [12]

BHA	Diamètre extérieur (pouce)
Outil	12'' <sup>1</sup> / <sub>4</sub> (311.1 mm)
Stabilisateur-porte outil	12'' <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
1 masse-tige	9'' <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (241.3 mm)
1 stabilisateur	12'' <sup>1</sup> / <sub>4</sub>

1 masse-tige	9'' <sup>1/2</sup>
1 stabilisateur	12'' <sup>1/4</sup>
2 masses-tiges	9'' <sup>1/2</sup>
1 raccord	9'' <sup>1/2</sup>
9 masses-tiges	8'' (203.2 mm)
1 coulisse	8''
2 masses-tiges	8''
1 raccord	8''
12 tiges lourdes	5'' (127 mm)

**Tableau N°17 :** Garniture de forage de la phase 12''<sup>1/4</sup>.

#### IV.3.6. Description géologique

La colonne stratigraphique de la dernière phase de forage est la suivante :

##### ❖ Albien

- **De - 1056 à - 1090 m :** Grès gris-vert, gris-blanc, rarement brun rouge, très fin, à fin argileux à silico-argileux, friable à moyennement consolidé et d'Argile grise à gris-vert, gris- foncé, parfois brun rouge, silteuse, indurée.
- **De - 1090 à - 1110 m :** Argile brun-rouge, gris à gris-verdâtre, tendre à indurée, silteuse.
- **De - 1110 à - 1200 m :** Argile grise à gris verdâtre, rarement brun rouge, tendre à indurée.
- **De - 1200 à - 1300 m :** Argile grise à gris verdâtre, rarement brun rouge, silteuse tendre à indurée
- **De - 1300 à - 1388 m :** (64 m dans l'Aptien). Dolomie beige, cryptocristalline, dure, avec fines passées d'Argile brun-rouge, verdâtre tendre à indurée. [9]

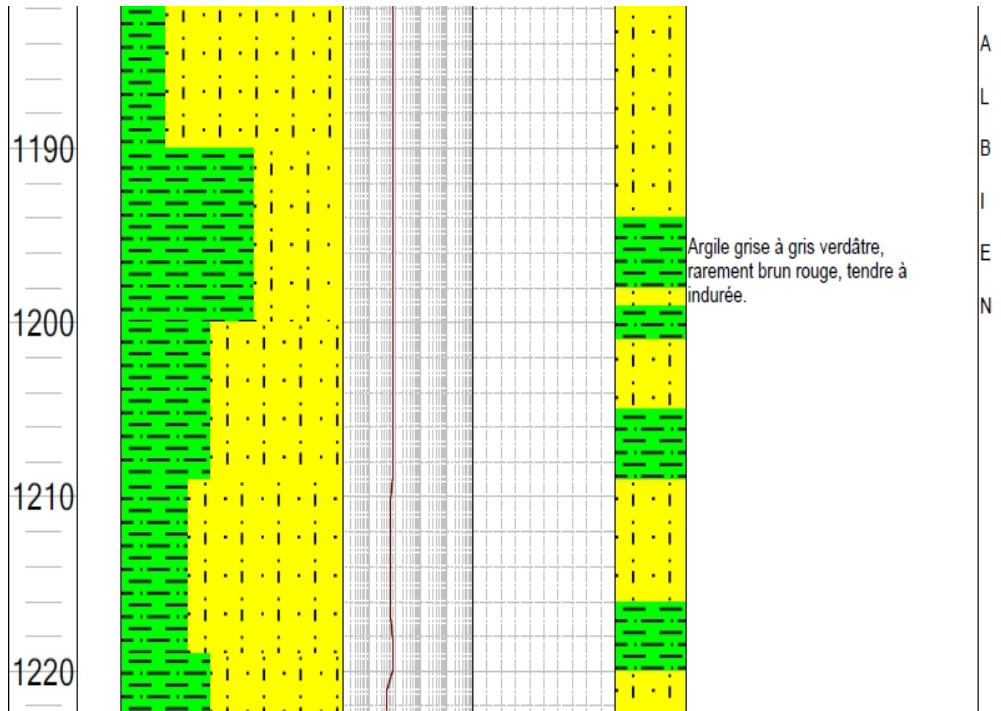


Figure 19 : Exemple de master log de la phase 12’’<sup>1/4</sup>. [14]

### IV.3.7. Tubage

Les caractéristiques du casing de cette phase sont les suivantes : [12]

Diamètre	matière	Poids nominal (lb/ft)	Grade	Filetage	Côte du sabot (m)
9’’ <sup>5/8</sup> (244.5 mm)	inox	47	P110	BTC	-1388

Tableau N°18 : Caractéristiques du casing 9’’<sup>5/8</sup>.

## Conclusion

Les opérations du forage OMPHA-9 se sont déroulées selon trois phases : 26", 16" et 12"<sup>1/4</sup>. Pour chaque phase nous avons déterminé les paramètres de forage pour un avancement optimal et les différents outils utilisés.

Les boues utilisées sont de densité 1.05 et 1.35 selon les formations traversées. L'isolement de ces dernières s'est fait avec des tubes de diamètre : 18"<sup>5/8</sup>, 13"<sup>3/8</sup> et 9"<sup>5/8</sup>.

Au cours du forage, nous avons rencontrés des problèmes techniques, il s'agit d'une perte totale de la boue rencontrée au cours de la première phase et de coincement de la garniture au cours de la deuxième phase.

Ces deux problèmes ont été traités avec succès respectivement par un cimentation complémentaire et un battage.

Les prélèvements des échantillons (cuttings) nous ont permis de dresser une colonne stratigraphique pour chaque phase.



# ***CHAPITRE V***

## ***COMPLETION ET DEVELOPPEMENT DU PUIITS***

## Introduction

Une fois le forage des différentes phases du puits est terminé, lorsqu'on arrive au mur de la formation réservoir (Albien), on passe immédiatement à la Complétion et au développement du puits. Ceci éviter l'endommagement de la dernière phase, qui est soutenue seulement par la boue du forage (Ni tubée, ni cimentée).

La complétion un système mis en place pour le captage des eaux emmagasinées dans l'aquifère. Le développement améliore les conditions de fonctionnement de ce système.

## Partie I : Donnée théorique concernant la complétion et le développement des forages.

### V.1. Système d'exploitation de la nappe

Un forage d'eau est destiné à permettre l'extraction de l'eau contenue dans une formation aquifère. Les débits d'exploitation des ouvrages de captage sont déterminés par les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, par ses conditions aux limites et son alimentation (Chapitre 11, Cadre hydrogéologique de la région HMD). Les contraintes économiques sont également prises en compte.

Il ne faut pas perdre de vue que l'exploitation doit se faire dans les meilleures conditions possibles, tant du point de vue quantitatif: [8]

- Obtention du plus fort débit compatible avec les caractéristiques de l'aquifère.
- Recherche du plus fort débit spécifique possible (débit par unité de rabattement).

Que du point de vue qualitatif:

- Pas de pollution de l'eau au droit de l'ouvrage.
- Pas d'entraînement des éléments solides.

Compte tenu de toutes ces conditions, à Hassi Messaoud, les forages de l'Albien sont exploités avec un débit de **100 l/s**.

#### V.1.1. Eléments constitutifs du système de captage

Trois éléments essentiels constituent l'équipement du forage d'exploitation d'eau: [8].

- Les tubes pleins (ou aveugles).
- Les crépines ou tubes perforés.

- Le massif filtrant.

#### V.1.1.1. Tubes pleins

Le débit d'exploitation espéré et la profondeur finale à atteindre conduisent à déterminer le diamètre des tubes à utiliser. En fonction du débit souhaité, le choix de la pompe immergée imposera le diamètre des tubages. Dans notre cas, on prendra en considération cette dernière mesure, même si on n'est pas dans le besoin à l'heure actuelle d'utiliser une pompe immergée, puisque les eaux de l'Albien dans la région de Hassi Messaoud sont à caractère éruptif.

#### V.1.1.2. Les Crépines

La crépine constitue l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Placée à la suite du tubage plein, face à une partie ou de la totalité de la formation aquifère.

##### ❖ Rôle et caractéristiques des crépines

Les crépines doivent :

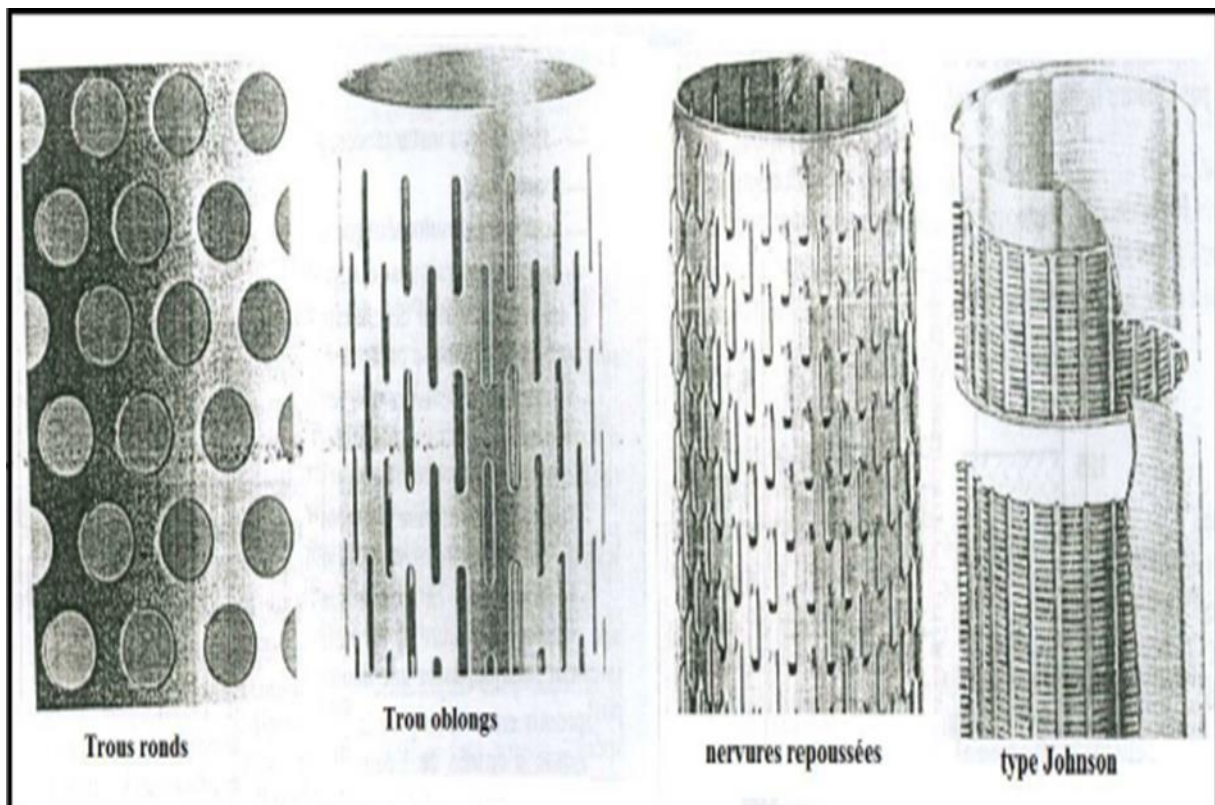
- Permettre une production optimale d'eau de pourvue des particules indésirables.
- Résister à la corrosion due à des eaux agressives.
- Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation.
- Avoir une longévité maximale.
- Induire des pertes de charge minimales.

##### ❖ Différents types de crépines

Il existe plusieurs types de crépines industrielles en acier (Figure 01) : [8]

- **Crépines à trous ronds** : utilisée en terrains durs, caractérisée par une faible densité de perforation (Indice de vide est de 10%).
- **Crépine à trous oblongs** : avec des fentes rectangulaires verticales, de largeur au moins égale à l'épaisseur de la tôle, longueur standard 3 cm, mais de faible densité de perforation (10 à 20%).
- **Crépine à nervures repoussées** : types très fréquemment utilisés, réalisés à plat puis roulés et soudés, de bonne résistance mécanique du fait du faible enlèvement de métal, de pourcentage de vide variant de 3 à 27% ,selon les dimensions des ouvertures pratiquées.

- **Crépine type Johnson à ouverture continue** : à ouvertures horizontales continues sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement en hélice d'un «fil enveloppe profile» Soudé sur des génératrices métallique verticales. Les avantages principaux d'une telle crépine sont:
  - ✓ La régularité et la précision des ouvertures.
  - ✓ Les faibles risques de colmatage.
  - ✓ Le coefficient d'ouverture le plus élevé par rapport aux autres crépines.



**Figure 01** : Différents types de crépines industrielles en acier.[16]

### ❖ Longueur et position des crépines

Le choix de la longueur d'une crépine dépend :[8]

- du niveau de la nappe
- du rabattement de la nappe pendant son exploitation
- de l'épaisseur de la nappe à exploiter
- de la nature et de la structure des couches aquifères formant la nappe.

La crépine doit être placée dans une position où les caractéristiques hydrauliques sont les meilleures. Pour choisir cette position, on doit se baser sur:

- les diagraphies instantanées, pertes de boue.
- l'analyse granulométrique des échantillons.
- Les essais de perméabilité.

#### ❖ Les Critères de choix de crépine

##### • SLOT

Le slot est défini en fonction:

- de la granulométrie de l'aquifère en cas de forage auto développé (Développement naturel). Le slot retient alors 40% à 50% au moins de la formation :

- Les lots doit retenir au moins 90% du massif filtrant.[16]

Exemple de calcul:

$$\text{Slot } 20 = \frac{20 * 25,4}{1000} = 0,5 \text{ mm}$$

##### • Granulométrie du terrain

D'après la courbe granulométrique d'un échantillon : courbe passant

- **Condition 1** : La vérification D60/D10 avec le coefficient d'uniformité

- Si D60/D10 > 3 : Formation hétérogène développement naturel
- Si D60/D10 < 3 : Formation homogène nécessite un massif de gravier

- **Condition 2**: La vérification D10 avec 0.25mm

- Si D10 > 0.25 mm : Formation n'est pas fine développement naturel
- Si D10 < 0.25 mm : Formation fine nécessite un massif de gravier

Dans le cas où le massif de gravier est nécessaire:[16]

$$\text{La taille de gravier} = (03 - 04) \text{ fois } D10 \text{ grains fines}$$

**• Débit Maximum d'entré**

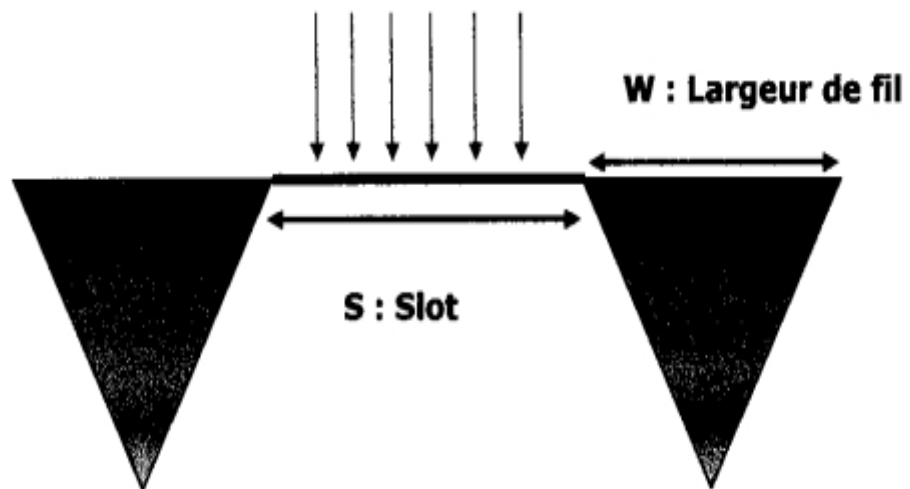
La capacité de production est définie en fonction du pourcentage d'ouvertures.

- Calcul le débit d'entré par les slots de la crépine:[16]

$$Q = \pi \times OD \times OA \% \times V \times 3600$$

Avec : **OD** : Diamètre extérieur (m)  
**V**: Vitesse d'entrée 0.03 (m/s)  
**3600** : Pour avoir (m<sup>3</sup>/h)  
**OA %** : Pourcentage d'ouvertures

$$\% \text{ Ouvertures} = (\text{slot} / (\text{slot} + \text{largeur du fil})) \times 100 = \%$$



Le choix recommande c'est le débit minimum entre les deux

La détermination de débit sera par une comparaison entre le débit de la nappe qu'on peut captée et le débit d'entrée par les slots de crépine.

- **Vitesse d'entrée :**

La vitesse d'entrée de l'eau dans les crépines doit être la plus faible possible pour :

- ✚ se rapprocher du régime laminaire en pompage.
- ✚ et ainsi limiter les pertes de charge quadratiques dans le forage.
- ✚ limiter la vitesse de colmatage des crépines.
- ✚ empêcher l'entraînement des fines.
- ✚ réduire les coûts de production et de maintenance.

**Le choix recommande une vitesse d'entrée de l'eau inférieure à 3 cm/s**

- **Diamètre des crépines :**

Le diamètre des crépines est défini en fonction :

- ✚ de la vitesse montante de l'eau qui doit être inférieure à 1,5 *mis* pour rester en régime laminaire.
- ✚ Diamètre des équipements de pompage et monitoring s'ils sont descendus dans l'aquifère.
- ✚ Pour chaque projet de forage, il est nécessaire d'adapter le nombre et la taille des Génératrices (les rods) ainsi que la taille du fil, en considérant le contexte géologique, la profondeur d'installation et la longueur totale d'équipement.

### **V.1.1.3. Le Sabot De Décantation**

Le sabot se trouve à la terminaison de la crépine. Il est censé créer une zone morte du point de vue de la circulation en cas de pompage, il permet la sédimentation de particules, et la mise à l'écart de la circulation des objets qui tomberaient dans le forage.

### **V.1.1.4. Massif Filtrant ( Gravier Additionnel )**

Ce sont des matériaux meubles formés d'éléments calibré (graviers, granulats), disposé dans l'espace annulaire entre la crépine et les parois de puits pour empêcher l'érosion souterraine et prévenir le colmatage et la réduction conséquente de l'efficacité de puits.

Le massif filtrant doit être constitué d'un gravier siliceux, roulé, propre, calibré et homogène. Il doit être chimiquement stable, il ne doit pas être calcaire, ni concassé, avoir une forte porosité d'interstice et un faible coefficient d'uniformité.

Il faut savoir qu'un massif filtrant de granulométrie surdimensionnée dans une formation sableuse fine, peut provoquer un ensablement de l'ouvrage. Par contre, un massif filtrant de granulométrie trop fine peut conduire à une exploitation partielle de la nappe et rendre difficile l'élimination de la boue de forage.

## **V.2. Le Développement d'un puit**

### **V. 2.1. Définition**

Le développement d'un forage consiste, entre autres, à améliorer la perméabilité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation. Il consiste à éliminer les éléments fins qui colmatent naturellement le terrain et la boue de forage utilisée lors de la formation et à agrandir les fissures dans les roches massives fissurées.

### **V. 2.2. Type de développement**

#### **V.2.2.1. Développement naturel**

Consiste à la création d'un massif de gravier à partir de la formation elle-même. Lors de développement du forage, nous essayerons de créer une zone graduée autour de la crépine dont l'objectif sera de stabiliser la formation.

#### **❖ Condition de développement naturel**

- Une formation hétérogène (coefficient d'uniformité  $> 3$ ).
- Présence d'une granulométrie représentative et précise de terrain.
- formation n'est pas très fine (diamètre de 10% de formation  $> 0.25\text{mm}$ ).
- L'eau n'est pas agressive et crépines non comatantes.
- vitesse d'entrée d'eau  $< 3\text{cm/s}$ .

#### **❖ Avantages de développement naturel**

- Améliorer la conductivité hydraulique près de forage par un déplacement sélectif des fines.
- réduire les pertes de charge liées au gravier additionnel.



- Très utile pour les forages profonds qui sont difficiles à gravillonner.

### **V.2.2.2. Développement Artificiel**

Il consiste à éliminer les éléments fins qui colmatent le terrain par l'injection d'un massif de gravier dans le puits dans le but d'empêcher l'infiltration des sables fins de la nappes dans les crépines à la cour de développement Les

- Des sédiments très fins et uniformes.
- Un aquifère fortement laminé.
- Les forages faibles à moyens profondeurs.
- Pour les eaux incrustantes.
- Car il permet d'augmenter le slot par rapport à un auto-développement.

### **V.2.3. Méthodes de Développement d'un puits**

#### **V.2.3.1. Le développement par pompage**

Consiste à placer une pompe dans le forage, aussitôt après la mise à l'eau claire, et à pomper à un débit croissant, jusqu'à obtention d'un débit maximal sans venues de sable.

Cette méthode est surtout employée par des foreurs à qui est demandé un certain débit minimal et pour cette raison, se contentent de tirer un débit supérieur à celui demandé.

#### **V.2.3.2. Le développement par air comprimé**

Il est excellent et rapide, à condition toutefois d'être bien dirigé. Il présente l'avantage de travailler à l'intérieur des crépines.

Le seul inconvénient est la difficulté, parfois, de se procurer un bon compresseur dans des régions éloignées et le coût d'un compresseur est élevé.

#### **V.2.3.3. Le développement par pistonnage**

Le pistonnage consiste à descendre à des profondeurs (fonction de la puissance du moteur et du treuil) le piston dont les garnitures de caoutchouc ont 01 à 02mm de moins que le diamètre intérieur du tubage et de le remonter le plus rapidement possible. Au cours de cette remontée rapide, le piston évacue la quantité d'eau au-dessus des garnitures et provoque ainsi une dépression

brutale dans le forage, qui a pour effet d'aspirer l'eau et les éléments fins du massif de gravier et de l'aquifère.

Un pistonnage bien mené provoque un mouvement de va et vient d'eau (injection vers la nappe et appel vers le trou de forage), permet d'extraire les éléments nuisibles et d'obtenir la classification des éléments du massif filtrant autour de la crépine. De même, il permet de décoincer un massif de gravier bloqué au cours de son injection.

#### **V.2.3.4. Lavage aux jets à grande vitesse**

Un simple outil à jet avec une pompe à haute pression et la tuyauterie rigide ou flexible constituent l'essentiel de l'équipement, la puissance des jets à haute vitesse agite et classe les éléments de la formation meuble tout autour de la crépine.

#### **V.2.3.5. Développement par émulseur (Air Lift)**

En injectant de l'air, amené par un tube, à la base d'une colonne descendue dans l'eau d'un forage, l'émulsion ainsi créée (mélange eau +air) diminue de densité.

Le niveau de l'eau émulsionnée s'élève et sous l'effet de la forte pression du compresseur, l'élévation peut être portée jusqu'en surface.

#### **V.2.3.6. Essai De Puits Courte Durée (Paliers De Débit)**

Essai de puits est effectué en réalisant des paliers de débit, à débit constant pendant une courte durée (1h à 3h).

Il mesure deux données: le rabattement (m) et le débit constant (m<sup>3</sup>/h), Chaque palier de débit est suivi d'un arrêt de pompage d'une durée égale, permettant la remontée du niveau d'eau et la mesure du rabattement résiduel.

#### **V.2.3.7. Essai De Longue Durée**

Le pompage est exécuté par un seul palier de débit, à débit constant, Prolongé durant au moins 42h, avec un optimum de 72h.

- Suivre la descente du niveau d'eau.
- Puis la remontée du niveau d'eau Jusqu'à la stabilisation du niveau d'eau.

## Partie II : La complétion et développement du forage OMPHA-9

### V.1. Composition et mise en place de la colonne

Le tubage est composé d'un liner 9"5/8, il sera ancré à la base du 13"3/8 (Overlap 30 à 40 mètres). Dans un deuxième temps, ce liner en inox sera prolongé jusqu'à la surface.

- La colonne de production est composée de haut en bas.
- Tubes 9"5/8 depuis la surface.
- Liner hanger avec tie back (ancré à la base du tubage 13"3/8).
- Crépines 9"5/8 intercalées de tubes pleins dans des zones non productives.
- Tube de décantation.
- Sabot.

Dès la réception du tubage 9"5/8 sur le chantier, il faut contrôler, calibrer, mesurer les tubes et vérifier l'équipement de la tête du liner.

- Packer de tie-back qui servira à relier le tubage 9"5/8 jusqu'en surface.
- Tête du liner composé de packer / hanger / swivel avec son setting tool.
- Les tubes pleins.
- Les tubes crépinés (nombre suffisant et en bon état).

#### V.1.1. Tubing de Production : [17]

##### ❖ Début d'opérations : 24-02-2019.

- Descente liner crepiné 9"5/8 Johnson + tie back 8"5/8 Johnson.
- Poids du casing : 42 T
- Densité de WBM la saumure Int tubing : 1.35 sg
- Densité de la saumure E A : 1.35 sg
- Pression de test équipement surface : 2000 psi
- Couple de serrage : 7500 lbs .ft
- Filetage : LTC
- Coefficient de friction
- Olive de suspension

##### ❖ Fin d'opérations : 30-02-2019.

### V.1.2. La liste de matériels

MATERIELS DE FOND	QUANTITE
<i>Sabot 9"5/8 LTC</i>	01
<i>joints casing slotted 9"5/8 LTC jonhson inox</i>	37
<i>joints casing 9"5/8 LTC plein</i>	4
<i>Anssamb liner hanger + packer mecanique weatherford</i>	01
<i>Tie back weatherford 9"5/8 BTC</i>	01
<i>XO 9"5/8 BTC*9"5/8 LTC</i>	01
<i>JOINTS CASING 8"5/8</i>	110
<i>XO 8"5/8 LTC*9"5/8 LTC</i>	1
<i>Casing 9"5/8 LTC</i>	2
<i>Olive 9"5/8 LTC BOX bas * 10"1/2 ACME haut</i>	1

**Tableau N°01** : Matériels de fond du puits OMPHA-9 [17]

### V.1.3. Programme de casing

- Pose 18"5/8 casing @ 496 m
- Pose 13"3/8 casing @ 1056 m
- Pose 9"5/8 casing @ 1388 m

## V.2. Massif filtrant

Compte tenu de la nature et de la profondeur de la formation réservoir, les massifs filtrants ne sont pas installés pour les forages albiens

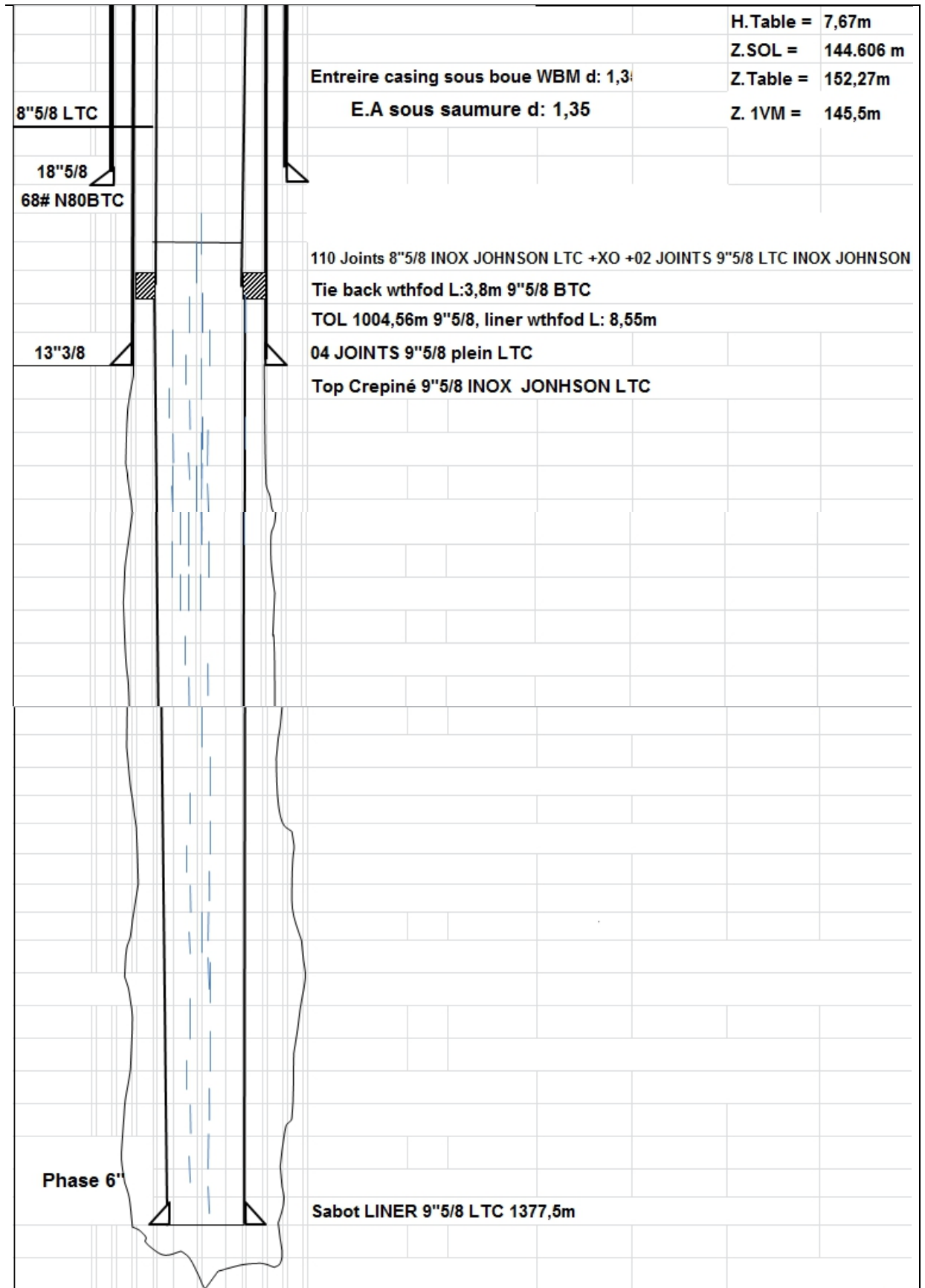


Figure 02 : La disposition du liner. [17]

### V.3. Tête de puits

Afin de terminer la complétion du puits (descente des crépines et des tubes pleins), on installe la tête de puits de pression : 2000-3000 psi.

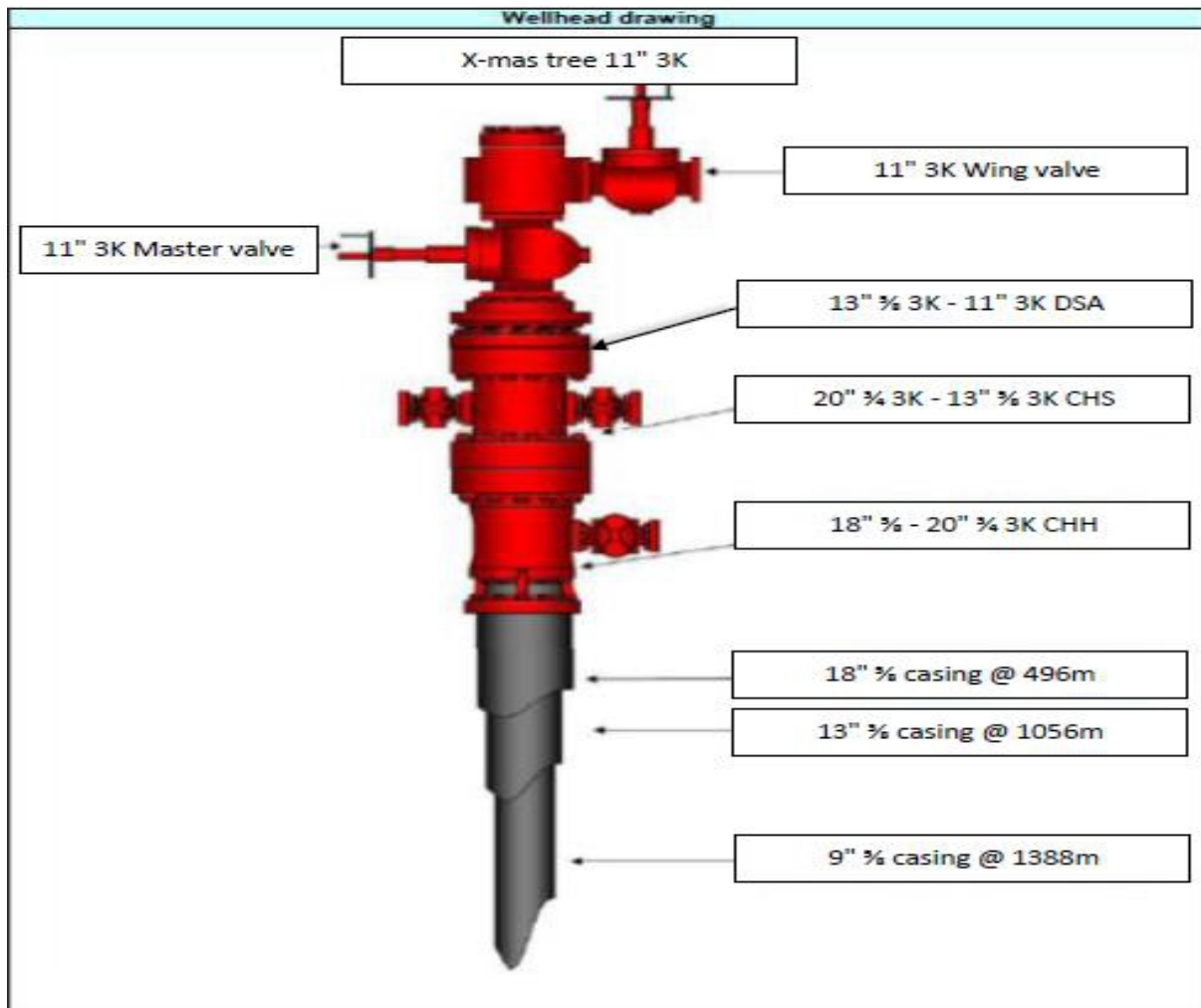


Figure 03 : Tête de puits. [10]

### V.4. Développement

Une fois la tête de production installée, on passe au développement de notre système de captage. L'aquifère exploité (l'Albien) par ce puits étant à caractère éruptif (25 bars en tête dans la région de Hassi Messaoud), une mise en service, provisoirement, sous un débit supérieur à celui fixé pour l'exploitation est la méthode la plus simple et adéquate pour développer ce puits. Ce mode de développement, constitue un moyen de nettoyage du forage, en provoquant un début de développement. Le développement est arrêté dès l'obtention d'une eau sans particules fines.

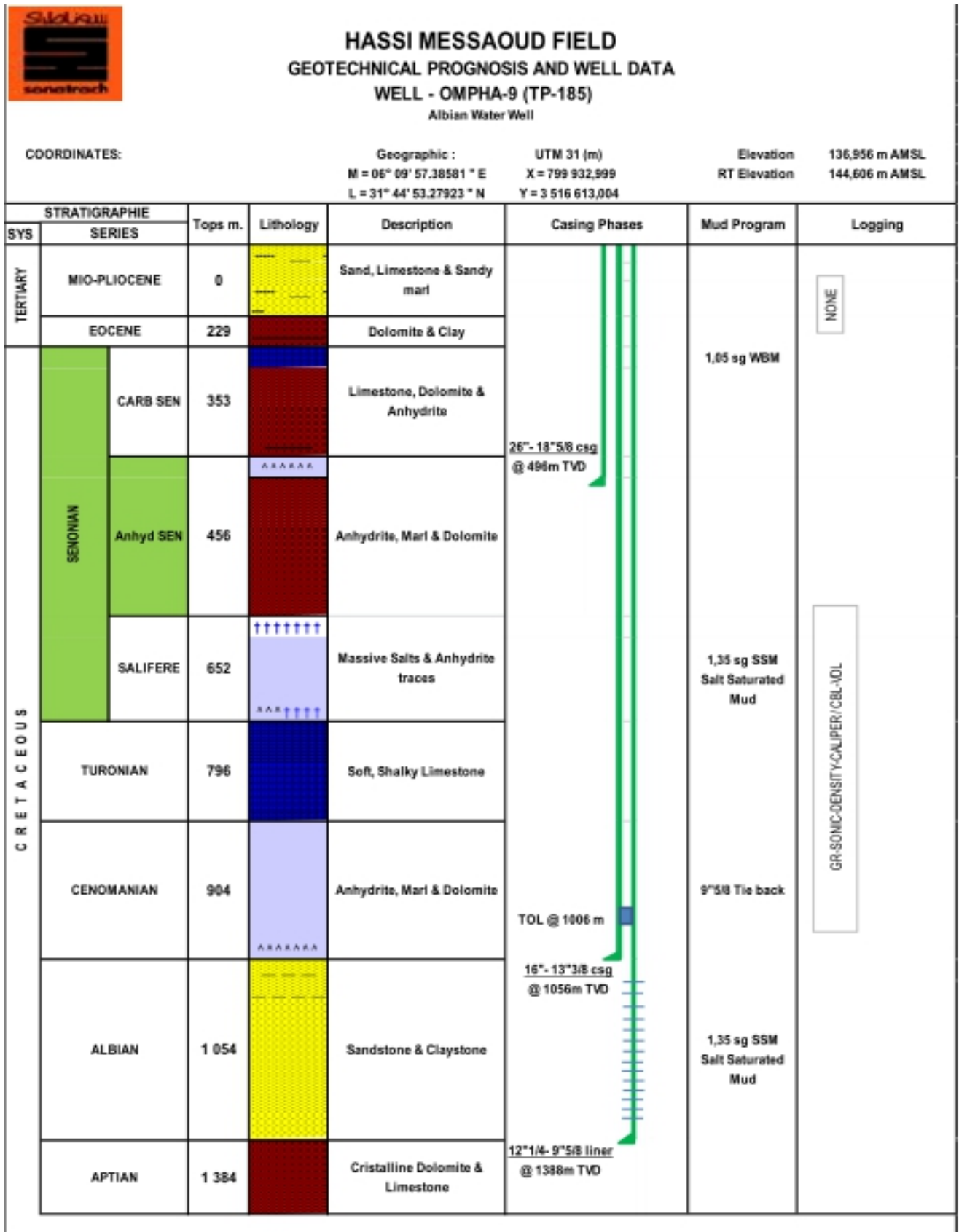


Figure 04 : La Fiche technique du puits OMPHA-9.[10]

### V.5. Analyse physico-chimique du fluide

Afin de déterminer les paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau du Forage OMPHA-9, nous avons adressé un échantillon au laboratoire de l'UTBS. Les résultats de l'analyse effectuée dans les conditions de température (équivalente à 20 C°) et de pression (1atm équivalente à 1 bar) sont résumés dans le tableau suivant : [18]

Paramètres	Résultats des analyses
Conductivité	2.5 ms / cm
pH	7.05 à 19 C°
Duretés TH	103 F° équivalente 39.5 C°
Densité	1.003 g / cm <sup>3</sup>
Contrôle bactérien	1000 germes / ml (21 jours)
MES	16 mg / l
DBO <sub>5</sub>	00 mg / l
DCO	0.1 mg / l
Teneur hydrocarbure (HC)	00 mg / l
Ca <sup>+2</sup>	240 mg / l
Mg <sup>+2</sup>	63 mg / l
Fe <sup>+2</sup>	10 mg / l
Na <sup>+</sup>	178 mg / l
K <sup>+</sup>	22 mg / l
Cl <sup>-</sup>	542 mg / l
So <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	425 mg / l
Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup>	165 mg / l

**Tableau N°02** : analyse physico-chimique et biologique d'un échantillon d'eau puits OMPHA-9.



### V.5.1. Discussion et interprétation des résultats

- ❖ **La Température** : La température mesurée à la sortie de la tête de puits est de 55°C.
- ❖ **Le pH** : Le Ph mesuré est de 7.05, Il est conforme au caractère alcalin de cette eau.
- ❖ **La conductivité** : La valeur de la conductivités ,2.5 ms / cm , est conforme à la minéralisation qui atteint 1645 mg / l.
- ❖ **Le titre hydrotimétrique** : La valeur du TH, 103° F indique une eau dure.
- ❖ **Faciès chimique** : Le facies chimique de cette eau est de type chlorure calcique avec un taux élevé de sulfates.

Les ions dominats sont le plus souvent les chlorures et les sulfates parmi les anions et le calcium et le calcium et le magnésium parmi les cations.



### La conclusion

A la fin de cette partie, on est arrivé à choisir les éléments constitutifs de la colonne du captage, ainsi que leur mise en service. Il faut rappeler que la totalité des eaux produites passent par la colonne du captage, donc une erreur dans le choix peut causer la perte totale du Puits.

Il y a lieux de noter que le forage d'un puits d'eau de cette envergure est énormément couteux. Un puits d'eau est un ouvrage sensible et sa détérioration est irréversible. Donc, pour assurer la durabilité, il faut donner une grande importance aux prescriptions et aux recommandations fixées par les fabricants des différents éléments constitutifs du puits pendant la réalisation de l'ouvrage ainsi que durant toute la durée de vie du puits.

L'eau de du forage OMPHA-9 , destinée à l'injection, présente une température élevée, une dureté élevée et la présence de bactéries. Cette eau nécessite donc une légère correction afin de préserver les installations d'injection.

## Conclusion Générale

Les eaux de l'Albien dans la région de Hassi Messaoud sont surtout utilisées pour être injectées dans le gisement pétrolier afin d'en augmenter la pression. L'étude géologique et hydrogéologique de la région montre que les potentialités hydriques, très importantes, se répartissent en deux grands complexes distincts : le complexe Terminal, formé par le Sénon-Eocène et le Mio-Pliocène, Le Continental Intercalaire, qui est formé par la grande nappe de l'Albien. La sécurité des installations de forage et du personnel répond à des normes strictes, c'est le protocole HSE qui prend en charge, la santé, la sécurité et la préservation de l'environnement.

Désormais, la Sonatrach, à l'instar des grandes compagnies mondiales, donne une grande importance à la préservation de l'environnement et œuvre à sécuriser les rejets de forage et les bourbiers, afin d'éviter les infiltrations qui pourrait contaminer la nappe phréatique du Mio-Pliocène.

Le forage OMPHA-9 s'est déroulé en trois phases : la phase 26" de profondeur de 0 m jusqu'à - 496 m, la phase 16" de profondeur de -496 m jusqu'à -1056 m et la phase 12"<sup>1/4</sup> de profondeur de -1056 m jusqu'à l'arrêt final à -1388 m. La complétion consiste à équiper le puits pour son exploitation, il s'agit de crépine de type Johnson. L'exploitation étant éruptive, elle se fait à travers une tête de puits avec une pression de 25 bars.

L'eau du forage à un faciès chloruré calcique avec un taux de sulfates élevé, et sa minéralisation est d'environ 1600 mg/l. Ces eaux étant uniquement destinées à être injectés dans le gisement pétrolier présent une température et une dureté élevées. Donc, elle nécessite une correction afin de préserver les installations d'injections contre les incrustations et la corrosion.

## *Références bibliographiques*

- [1] : Y. Belkebir, (2017), "réalisation du puits d'eau Col D'anay". Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur spécialité en hydraulique.
- [2] : Rapport Sonatrach, division forage.
- [3] : M. Moussaw et S. Bralla, (1993) "géologie du champ de Hassi Messaoud, SH/DG", Hassi Messaoud. [Livre]
- [4] : S. Benchenna, (2013) "forage directionnelle réalisation d'un puits Ré-entre étude de cas reprise de puits OMO-38". Mémoire de Master en hydrocarbures, université d'Ouargla.
- [5] : H. Abbas, (2011), "les bourbiers des forages pétroliers et des unités de production : impact sur l'environnement et technique de traitement ". Thèse de Magister en génie pétrolière, université d'Ouargla, p 3-5.
- [6] : A. Bellaoueur, (2008) "étude hydrogéologique des eaux souterraines de Ouargla soumises à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional-Algérie)". Mémoire Master, université de Batna, p 50.
- [7] : A. Slimani et M. Dadou, (2004), "module M1". Division forage, département hydraulique.
- [8] : S. Solages, (Octobre 1980), "TECHNIQUES DE FORAGE-EAU", département eau, B.P-6099-45060 Orléans Cédex. [livre]
- [9] : Rapport de stage DDO, l'ENTP.
- [10] : OMPHA-9, Albien water well rig: TP 185-fiche puits.
- [11] : A. Mabillot, (1984), ingénieur des arts et métiers-ICF. Guide pratique "le forage d'eau". Achevé d'imprimer sur les presses de Dumas, 42100 Saint. [Livre]
- [12] : Les rapports journaliers du forage OMPHA-9, Sonatrach.
- [13] : Bit-OMPHA-9.
- [14] : Master log, Sonatrach-Production, puits OMPHA-9.
- [15] : Sonatrach division forage DOF, well OMPHA-9 rig, TP:185, cementing recommendation.
- [16] : A. Lahreche, (2017), "réalisation du puits d'eau NEM-101". Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur spécialité en hydraulique.
- [17] : Rapport de fin du puits OMPHA-9, l'ENTP.

**[18]** : Analyses des échantillons d'eau du puits OMPHA-9. Laboratoire UTBS.

**WEC (2007)**: Rapports inédits. P 489.

**G. Bronner et J. Fabre, 1978** : A. Feghir et N. Messaoud Nacer (1982), "étude hydrogéologique des nappes superposées dans la région de Hassi Messaoud". Mémoire d'ingénieur.U.S.T.H.B. Alger.

**Sonatrach, 2005** : Sonatrach division exploration, (2005), "la stratigraphie du champ de Hassi Messaoud". Rapport interne. P 35.

**ANRH** : Agence National des Ressources Hydraulique, Ouargla.

**Unesco, 1972** : "Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional". Rapport sur les résultats du projet REG-100, Unesco, Paris (1972).

**OSS, 2003** : (Observation Sahara et Sahel), 2003, "système aquifère du Sahara Septentrional : gestion commune d'un bassin transfrontière". Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.