



Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

MEMOIRE



C:.....
R:.....

Pour l'obtention du diplôme de master 2 professionnel

Filière : Hydraulique

Option: Forage D'eau

Thème

**Étude et réalisation d'un puits profond albien 2 cas
N'goussa " Hassi Lekhfif "**

Présenté par :

- ❖ **LEGHRIEB Raid**
- ❖ **ABAZ Abdenour**

Soumis au jury composé de :

Président
Examineur
Promoteur
Co-promoteur

DJEBARI Hacene
MANSOURI Zina
ZAHROUNA Abderezak
ARIF Salim

M.A.A Univ.K.M. Ouargla
M.A.A Univ.K.M. Ouargla
Directeur. ANRH. Ouargla
Chef Service. ANRH. Ouargla



REMERCIEMENTS

*Au terme de ce modeste travail, Nous remercions ALLAH de nous avoir aidé à le réaliser. Il nous est agréable de remercier, vivement notre promoteur, Monsieur **ZAHROUNA Abderezak**, Directeur régional de l'ANRH Ouargla, d'avoir proposé et dirigé ce travail, nous lui attestons notre profonde gratitude pour son encadrement. Nous n'oublierions jamais de remercier notre Co-promoteur monsieur **ARIF Salim** Chef service de l'ANRH Ouargla, de Nous avoir guidé et suivi tous le long de ce travail, de Nous avoir conseillé, encouragé.*

*Nous tenons à exprimer nos respectueux et sincères remerciement à **docteur MANSOURI Zina** qui a accepté d'examiner ce travail de mémoire Master.*

*Nous remercions monsieur le **docteur DJEBARI Hacene** d'avoir accepté de présider ce jury.*

*Nous remercions l'ensemble de personnel de l'ANRH Ouargla, spécialement Monsieur **BENHAMIDA Slimane** de Nous avoir orienté et fournit des données utilisés dans ce travail.*

Enfin, que tout ceux et celles qui ont contribué du près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, soient assurés de notre profonde gratitude.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*Avant tout à ma chère mère, à mon
chère père Pr. Leghrieb Youcef.*

À mes sœurs et frères

À la mémoire de mes grandes parentes

À toute la famille Leghrieb

À tous mes amis

*À tous mes amis de la promotion
Master Forage 2021/2022*

*À tous ceux qui nous ont aidé de près
ou de loin pour la réalisation de ce
modeste travail.*



Raid



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma chère maman

À mon chère père

À ma femme

À mes enfants

À mes sœurs et frères

*À mes amis, mes collègues d'études et
tous les autres sans exception.*

Abdenour

الملخص

آبارنا ألبيان (المتداخلة القارية) بحاسي الخفيف ، تم تحت إشراف الوكالة الوطنية للموارد المائية و أنشأ من طرف الشركة الصينية " شاولين " .
هذا البئر موجه لري ، مياهه ذات نوعية رديئة ، عمقه 1450 م .
اختبارات التدفق أعطتنا تدفق أعظمي حوالي 210 لتر/ثا ، يعتبر الأقوى تدفقاً في المنطقة بأسرها .
العمليات الرئيسية هي : وضع أنبوب التوجيه ، حفر و وضع أنبوب كامل مع الإسمنت إلى غاية سطح جيب المائي المستغل ، حفر الخزان و وضع مصفاة بدون حصى إضافي (في حالة حفر آبار عميقة) .
أربعة مراحل المكونة لحفرنا للآبار بمصفاة جونسون مع ثقب بتناوب وفقاً للمستوى المنتج أو العقيم .
الكلمات المفتاحية : حفر ، المتداخلة القارية ، مصفاة ، حصى إضافي ، اختبارات التدفق .

Abstract

Our Albian drilling well (CI : The intercalary continental) of Hassi Lekhfif, is supervised by the National Agency Of Water Resources and realized by the chinese company SHAOLINE.

This wellbore is intended for irrigation, its waters are poor quality, with depth of 1450 m. The flow tests gave a max flow of $Q = 210$ L/s, considered as the strongest in the whole region.

The main operations are : guide tube installation, drilling and full tube installation with cementing up to the roof of the captured aquifer, reservoir drilling and laying of screen without gravel pack (for drilling well CI).

Four phases that make up our drilling with a screen Johnson with alternating perforation according to the productive level or sterile.

Key words : *Drilling, CI (the intercalary continental), Screen, Gravel pack, Flow tests.*

Résumé

Notre forage albien (CI : Continental Intercalaire) de Hassi Lekhfif, est supervisé par l'ANRH et réalisé par l'entreprise chinoise SHAOLINE. Ce forage est destiné à l'irrigation, ses eaux sont de qualité médiocre, avec une profondeur de 1450 m. Les essais de débit ont donnés un débit max de $Q=210$ l/s, considéré comme le plus fort de toute la région.

Les principales opérations sont; pose de tube guide, forage et pose de tube plein avec cimentation jusqu'au toit de la nappe captée, forage de réservoir est pose de crépine sans gravier additionnel (pour le forage de CI). Quatre phases qui composent notre forage avec une crépine Johnson a perforation alternée suivant le niveau productif ou stérile.

Mots clés : *forage , CI (continental Intercalaire), Crépine, gravier additionnel, essais de débit.*

Sommaire

		<i>Pages</i>
<i>Remerciements</i>		
<i>Dédicace</i>		
<i>Sommaire</i>		
<i>Liste des figures</i>		
<i>Liste des tableaux</i>		
<i>Liste des photos</i>		
<i>Liste des abréviations</i>		
<i>Introduction générale</i>		01
CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE		
1.1	<i>Introduction</i>	04
1.2	<i>La situation géographique et administrative de la région</i>	04
1.2.1	<i>La situation géographique de notre zone</i>	04
1.2.2	<i>La démographie de la zone d'étude</i>	06
1.3	<i>Contexte hydro-climatologique</i>	06
1.3.1	<i>Paramètre climatologique</i>	06
1.3.2	<i>Le diagramme ombrothermique de gaussen et bagnouls</i>	12
1.4	<i>Le contexte géologique et hydrogéologique</i>	13
1.4.1	<i>La géologie de la zone</i>	13
1.4.2	<i>Le cadre géologique régional du bas Sahara</i>	16
1.4.3	<i>Le cadre géologique locale</i>	17
1.5	<i>Le contexte hydrogéologique</i>	19
1.5.1	<i>Le cadre hydrogéologique régional</i>	19
1.5.2	<i>Cadre hydrogéologique local</i>	22
CHAPITRE II: GÉNÉRALITÉS SUR LE FORAGE		
2.1	<i>Introduction</i>	26
2.2	<i>Classification des forages selon leur finalité</i>	26
2.3	<i>Les différentes méthodes de forage d'eau</i>	26
2.4	<i>Forage au rotary</i>	27
2.4.1	<i>Les avantages du forage au rotary</i>	28
2.4.2	<i>Les inconvénients du forage au rotary</i>	29
2.5	<i>Les équipements du forage</i>	30
2.5.1	<i>Équipements de surface</i>	30
2.5.2	<i>Équipements de fond</i>	41
2.5.3	<i>Choix des outils</i>	47
CHAPITRE III: SUIVI DE LA RÉALISATION DU FORAGE		
3.1	<i>Introduction</i>	50
3.2	<i>Implantation du forage</i>	50
3.2.1	<i>Choix du site</i>	50
3.2.2	<i>Localisation de forage</i>	50
3.3	<i>Objectif du forage</i>	50
3.4	<i>Préparation et installation de chantier</i>	52
3.4.1	<i>Construction de la plateforme de forage</i>	52
3.4.2	<i>Installation du chantier de forage Hassi Lekhfif</i>	52
3.5	<i>Les fluides de forage</i>	53
3.5.1	<i>Rôle du fluide de forage</i>	54
3.5.2	<i>Types des fluides de forage</i>	54

3.5.3	<i>Caractéristiques physiques et chimiques des boues</i>	55
3.5.4	<i>Stockage de la boue et produits à boue</i>	58
3.5.5	<i>Appareil d'épuration mécanique</i>	59
3.6.1	<i>Les fosses à boues</i>	60
3.6.2	<i>Le programme de boue de forage albien</i>	61
3.6.3	<i>Calcul du volume de boue pour toutes les phases du forage Hassi Lekhfif</i>	62
3.7	<i>Exécution du forage Hassi Lekhfif</i>	65
3.8	<i>Construction du trou</i>	66
3.9	<i>Analyses des cuttings</i>	68
3.9.1	<i>Description lithologique des cuttings</i>	70
3.9.2	<i>La coupe stratigraphique du forage Hassi Lekhfif</i>	71
3.9.3	<i>La coupe technique du forage</i>	72
3.10	<i>La diagraphie</i>	73
3.10.1	<i>Laboratoire d'enregistrement</i>	73
3.10.2	<i>Appareil de mesure</i>	74
3.10.3	<i>Le log P.S</i>	75
3.10.4	<i>Les résistivités électriques</i>	75
3.10.5	<i>Gamma-Ray</i>	76
3.10.6	<i>Mesure du diamètre (caliper)</i>	76
3.10.7	<i>Mesure de la verticalité (Pendagemètrie)</i>	77
3.11	<i>Le programme de tubage</i>	77
3.11.1	<i>La colonne de tubage de puits</i>	78
3.12	<i>La cimentation</i>	82
3.12.1	<i>Différentes type de cimentation</i>	82
3.12.2	<i>Équipements nécessaires à la cimentation</i>	83
3.12.3	<i>Utilisation des ciments</i>	89
3.12.4	<i>Le programme de cimentation pour la phase tube guide et phase 18^{5/8"}</i>	91
3.12.5	<i>Contrôle de qualité de cimentation (CBL-VDL)</i>	95
3.12.6	<i>Programme d'équipement</i>	96
3.12.7	<i>Développement du forage</i>	98
Conclusion		99
CHAPITRE IV: Chimie des eaux et essais de débits		
4.1	Introduction	101
4.1.1	<i>Essais de débits</i>	101
4.2.2	<i>Qualité chimiques des eaux de forage Hassi Lekhfif</i>	106
Conclusion		110
Conclusion générale		112
Recommandations		115

Liste des figures

<i>Chapitre I: Présentation de la zone d'étude</i>		
Figure I.1	Situation géographique d'ouargla	04
Figure I.2	Photo par satellite de la région de N'GOUSSA (Source: mapbox).....	05
Figure I.3	Carte géographique de N'GOUSSA (Source: Agence Nationale de Développement de L'investissement-2014)	05
Figure I.4	Variation de la température moyenne annuelle entre 2005 et 2018	07
Figure I.5	Variation des températures moyennes mensuelles entre 2005 et 2018	08
Figure I.6	Evolution des précipitations moyenne annuelles entre 2005 et 2018	09
Figure I.7	Pluviosité moyenne mensuelle entre 2005 et 2018	10
Figure I.8	Variation de l'humidité moyenne mensuelle entre 2005 et 2018	11
Figure I.9	Digramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls pour la période 2005- 2018 appliqué à la région d'Ouargla	13
Figure I.10	Carte des bassins sédimentaires de l'Algérie	15
Figure I.11	Carte géologique du sud algérien (OSS, 2003)	17
Figure I.12	Coupe géologique régionale	17
Figure I.13	Coupe hydrogéologique du système aquifère CT et du CI (UNESCO....., 1972)	19
Figure I.13	Carte piézométrique de référence du CI	21
Figure I.14	Les formations géologique et les aquifère du bas Sahara algérien	24
<i>Chapitre II: Généralité sur le forage</i>		
Figure II.1	Schéma de fonctionnement de forage au rotary	29
Figure II.2	Processus de forage	30
Figure II.3	Équipement de mouflage (Hoisting Equipment)	33
Figure II.4	La table de rotation (Rotary Table)	37
Figure II.5	Carré d'entraînement	38
Figure II.6	La tête d'injection (Swivel)	39
Figure II.7	Cycle de la boue de forage	40
Figure II.8	Composants du train de tiges	42
Figure II.9	Les masse tiges lisse	43
Figure II.10	Les éléments de l'outil à molettes (rock bit)	46
Figure II.11	Un outil à diamants naturels	47
Figure II.12	Trépan P.D.C	47
<i>Chapitre III: Suivi de la réalisation du forage</i>		
Figure III.1	Localisation du forage à (Google Earth)	51
Figure III.2	L'emplacement exact de Hassi Lekhfif (Google Maps)	51
Figure III.3	Schéma montrent exact la zone de travail	53
Figure III.4	Coupe prévisionnelle optimale d'un forage albien	68
Figure III.5	Coupe Stratigraphique du forage dessinée par le programme GesFor (Version.4.00)	71

Figure III.6	Coupe lithologique et technique du Forage. Dessinée par le programme GesFor (Version.4.00)	72
Figure III.7	Le caliper (dia mètreur) (Source Log Hydro)	77
Figure III.8	Types des anneaux de retenue	84
Figure III.9	Déroulement de la cimentation étagée	89
Figure III.10	Schéma de la cimentation du tubage 18 ^{5/8}	93
Figure III.11	Digraphie CBL-VDL (source LogHydro)	95
<i>Chapitre IV: Chimie des eaux et essais de débit</i>		
Figure IV.1	Courbe caractéristique de l'essais de débits par paliers	102
Figure IV.2	Interprétation des essais par palier du forage Hassi Lekhfif	103
Figure IV.3	Essai à débit constant "descente"	104
Figure IV.4	Essai à débit constant "remontée"	105
Figure IV.5	Représentation graphique d'analyse d'eau selon le diagramme de piper du forage Hassi Lekhfif.	108
Figure IV.6	Représentation selon le diagramme wilcox de l'analyse des eaux de forage Hassi Lekhfif.	109

Listes des tableaux

<i>Chapitre I: Présentation de la zone d'étude</i>		
Tableau 1.1	Les coordonnées de la station climatique de Ouargla.	06
Tableau 1.2	Moyennes annuelles des températures (ONM de Ouargla, 2005-2018)	07
Tableau 1.3	Les variations moyennes mensuelles des températures Ouargla (2005-2018)	08
Tableau 1.4	La précipitation Moyennes annuelles (ONM de Ouargla, 2005-2018)	09
Tableau 1.5	la durée d'insolation moyenne mensuelle (station de Ouargla, 2008-2018)	10
Tableau 1.6	Evaporation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 2008-2018)	11
Tableau 1.7	Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent (ONM de Ouargla, 2008-2018)	12
Tableau 1.8	Aquifères du CI et CT à Ouargla (ANRH, 2004)	22
<i>Chapitre II: Généralité sur le forage</i>		
Tableau 2.1	Classification des forages	26
Tableau 2.2	Système de puissance	41
<i>Chapitre III: Suivi de la réalisation du forage</i>		
Tableau 3.1	Les coordonnées géographique du forage	50
Tableau 3.2	Les différents alourdissant	51
Tableau 3.3	Le dimensionnement de fosses utilisées	60
Tableau 3.4	Programme de boue de forage Albien	61
Tableau 3.5	Description lithologique	70
Tableau 3.6	Les caractéristiques de la colonne 18 ^{5/8} API	79
Tableau 3.7	Les caractéristiques de la colonne intermédiaire 13 ^{3/8} API	80
Tableau 3.8	Les caractéristiques de la colonne 9 ^{5/8} API	80
Tableau 3.9	Les types de bouchons	84
Tableau 3.10	Les classes de ciment de base et leurs applications (API Spec 10 , 5th Edition, July 1 1990)	89
Tableau 3.11	Calculs de volumes de fluides & exigences des fluides et des produits	94
Tableau 3.12	Programme de colonne de captage	88
<i>Chapitre IV: Chimie des eaux et essais de débit</i>		
Tableau 4.1	Résultats essai de débit par paliers	102
Tableau 4.2	Caractéristique physique de l'eau de forage	106
Tableau 4.3	Caractéristique chimique de l'eau de forage	106

Listes des Photos

Chapitre II Généralité sur le forage		
Photo N°1	Indicateur de poids (Martin Decker)	28
Photo N°2	Le mât haubané de forage	31
Photo N°3	La substructure	32
Photo N°4	Le moufle fix (crown block)	34
Photo N°5	Le moufle mobile et le crochet (Traveling block + Drilling hook)	35
Photo N°6	Le treuil de forage (Draw works)	36
Photo N°7	La table de rotation (Rotary Table)	37
Photo N°8	Organe de rotation.	38
Photo N°9	La tête d'injection (Swivel)	39
Photo N°10	La pompe à boue triplex RL3NB-1300D	40
Photo N°11	Les tiges de forages	42
Photo N°12	Les masse-tiges lisse (smooth drill collars)	43
Photo N°13	Stabilisateur à lames droites et obliques	44
Photo N°14	Élargisseur mécanique fixe	45
Photo N°15	Aléreur	45
Chapitre III Suivi de la réalisation du forage		
Photo N°1	Installation de Chantier de forage Hassi Lekhfif	52
Photo N°2	Un densimètre (la balance à boue) sur chantier de forage	56
Photo N°3	Les sacs de Barytine (Big-Bag 1500 Kg)	57
Photo N°4	Viscosimètre Marsh	58
Photo N°5	Les sacs de Bentonite	59
Photo N°6	Le tamis vibrant sur le chantier	60
Photo N°7	Les fosses à boue	61
Photo N°8	Cuttings prélevés sur chantier après numérotés et conservés dans des sachets en plastique	69
Photo N°9	Sur le terrain pendant le processus d'enregistrement	73
Photo N°10	Sonde combinée (Gamma ray , polarisation spontanée , résistivité électrique ...)	74
Photo N°11	Mise en place du tube guide TNRS	78
Photo N°12	Le tubage 18 ^{5/8} API	79
Photo N°13	Le tubage 13 ^{3/8} API	80
Photo N°14	Le tubage 9 ^{5/8} API	81
Photo N°15	Tube plein Acier Inox 8 ^{5/8} "	81
Photo N°16	Vissage du sabot à l'extrémité inférieure de la 1 ^{er} colonne	83
Photo N°17	Plugs and opening devices used to operate stage tools (Cementation étagère equipment)	85
Photo N°18	Centreurs souples (Tubage-Trou)	86
Photo N°19	Le packer (Hydraulic Inflation Packer)	86
Photo N°20	La tête de cimentation	87
Photo N°21	Le DV (Diverter valve)	88
Photo N°22	Les crépines Johnson inox slot 20	97
Photo N°23	L'Auto développement de forage albien Hassi lekhhif	99

Listes des Abréviations

- ANRH: Agence National des Ressources Hydrauliques.*
- A.P.I : American Petroleum Institute.*
- B.H.A : Bottom Hole Assembly.*
- BHCT: Bottom Hole Circulating Temperature.*
- BHST: Bottom Hole Static Temperature.*
- B.O.P : Blow Out Preventer.*
- BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières.*
- BI : Balance ionique*
- C.B.L : Cement Bond Log.*
- CE : Conductivité électrique.*
- CI : Continental intercalaire.*
- CSG : Casing*
- CT : Complexe terminale.*
- Cu : Coefficients d'uniformité.*
- D.D.H : Drilling Data Handbook.*
- D.V : Diverter Valve.*
- G.N : La grande normale.(Long normal)*
- HSR : High Sulphate-Resistant.*
- O.B.M : Oil-Base mud.*
- O.N.M : Office National de Météorologie.*
- O.S.S : Observatoire du Sahara et du Sahel.*
- P.D.C : Polycrystalline diamond compact.*
- P.N : La petite normale.(Short normal)*
- P.S.B : P = Plain end ; S = Short round thread ; B = Buttress thread ;*
- P.S.L.B.E : P = Plain end ;S = Short round thread ;L = Long round thread*
- ;B = Buttress thread ;E = Extreme-line.*
- P.V.C : Poly chlorure de vinyle.*
- T.N.R.S : Tôle Noir Roulée et Soudée.*
- S.A.R : Sodium Adsorption Ratio.*
- S.A.R.L : Société à responsabilité limitée.*
- S.A.S.S : Système Aquifère du Sahara Septentrional.*
- V.D.L : Variable Density Log.*
- W.B.M : Water-Base mud.*
- W.O.B : Weight on bit.*

Introduction générale

La nécessité de l'eau pousse l'homme à penser de trouver les techniques d'apporter cette ressource et beaucoup plus dans les régions loin des eaux de surface. Parmi les importantes techniques, on trouve l'exploitation des eaux souterraines par le forage des puits. Cette opération de forage à plusieurs étapes, commençant par l'identification des objectifs du forage du puits jusqu'à l'exploitation de l'eau. Dans le cadre de notre étude, nous avons suivi la foration d'un forage destiné à l'irrigation dans la région de Hassi Lekhfif Ouargla.

Le développement de l'agriculture saharienne est fondé sur les réserves d'eau souterraine vu la rareté des pluies. Notre forage albien réalisé par la société chinoise SHAOLINE et supervisé par l'ANRH fait partie du cadre de l'irrigation agricole.

La nappe albiennne est une nappe artésienne, jaillissante, a grande débit (jusqu'a 400 l/s) et une pression à la bouche du puits (jusqu'à 20 bars) et une température qui dépasse les 60 °C, est qualifiée comme une nappe très difficile à forer et nécessite un suivi rigoureux et un matériel pétrolier comme le BOP (Blow out preventer) pour la sécurité et un mat et treuil qui peut supporter le grand poids du train de sonde aussi long et qui dépasse parfois les 2000 m.

La littérature hydrogéologique qualifie que les nappes d'eaux dans le monde n'excède jamais une profondeur de 800 m, par conséquent la nappe albiennne est considérée comme la nappe d'eau la plus profonde au monde, vu son profondeur ascendante en allant du sud vers le nord.


On octroie un budget conséquent (Quelques dizaines de milliards de centimes) pour la réalisation d'un forage albien avec ses caractéristiques citées ci-dessus (pression, débit, profondeur,...), chose qui rend la tache difficile et sérieuse.

Pour l'étude et le suivi de ce forage nous proposons le plan de travail suivant :

- *Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.*
- *Chapitre II : Généralités sur le forage.*
- *Chapitre III : Suivi de la réalisation de forage.*
- *Chapitre IV : Chimie des eaux et essai de débit.*

« On ne connaît les enjeux que lorsqu'on sait qu'ils sont en jeu »

(Hans Jonas, Le principe responsabilité)



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

1.1 Introduction :

A cours de ce chapitre , nous aborderons de présenter les principales données que nous avons recueillie qui concernent le cadre physique et les aspects géologique, hydrogéologique, aussi bien que hydro climatologique de la région d'étude .

1.2 La situation géographique et administrative de la région:

Ouargla est cité parmi les plus anciennes ville du Sahara, née comme l'essentiel des oasis du commerce transsaharien dont elle fut un important "port sec", limitée par les wilayas de Biskra et d'El Oued au Nord, d'Illizi et de Tamanrasset au Sud, de Ghardaïa et Djelfa à l'Ouest.

Occupant une superficie de 211 980 km² et disposant de grandes surfaces, la wilaya est à vocation agropastorale, et le pétrole et le gaz qui constitue sa principale ressource économique.

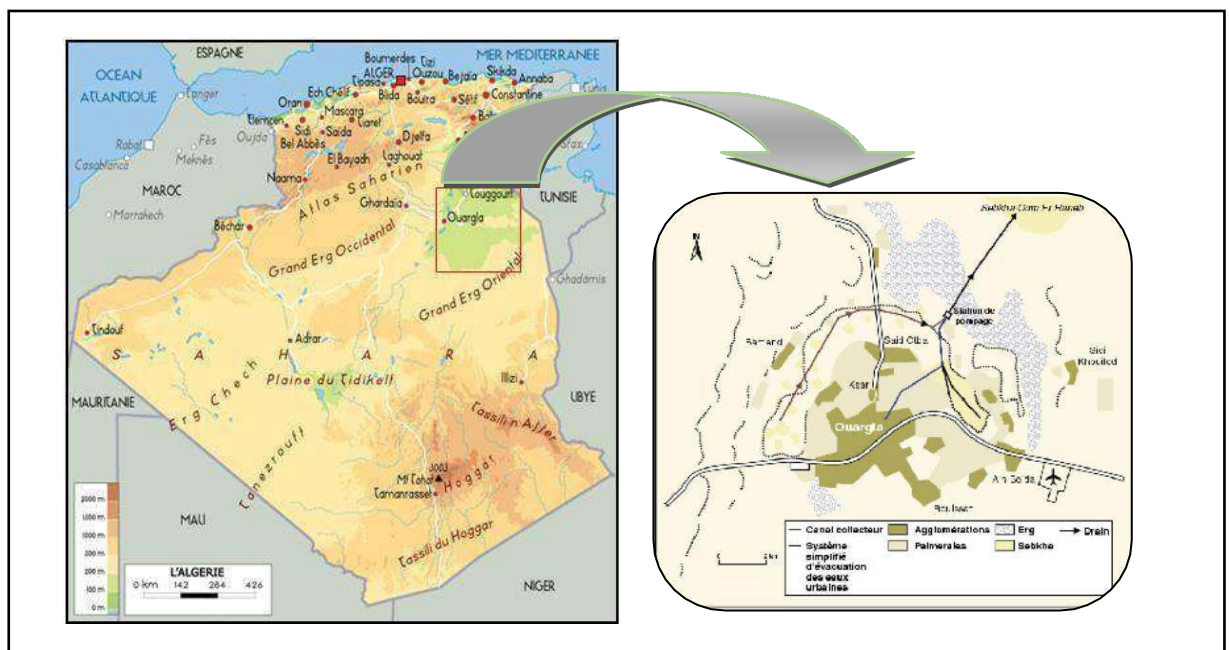


Figure I.1: Situation géographique d'Ouargla

La ville d'Ouargla, est située dans une grande cuvette, qui inclut les agglomérations d'Ouargla N'goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khouiled.

Cette dépression ou cuvette s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880):

$$X = 710\ 000 ; Y = 3530\ 000 \text{ et } X = 730\ 000 ; Y = 3600\ 000.$$

1.2.1 La situation géographique de la zone d'étude :

La commune de N'goussa située au Nord-Ouest de la wilaya d'Ouargla à une distance de 20 Km de la ville d'Ouargla. Elle couvre une superficie de 2961 Km².

N'goussa municipalité se compose de trois grands groupes de population sont: siège municipal N'goussa, Elboure, Afrane. Pour cinq domaines secondaires sont: Alkhbna, Gharse Bougofala, OglateLarbaa, Dbiche, Alkame (**Rahmani Abdellatif, 2015**).

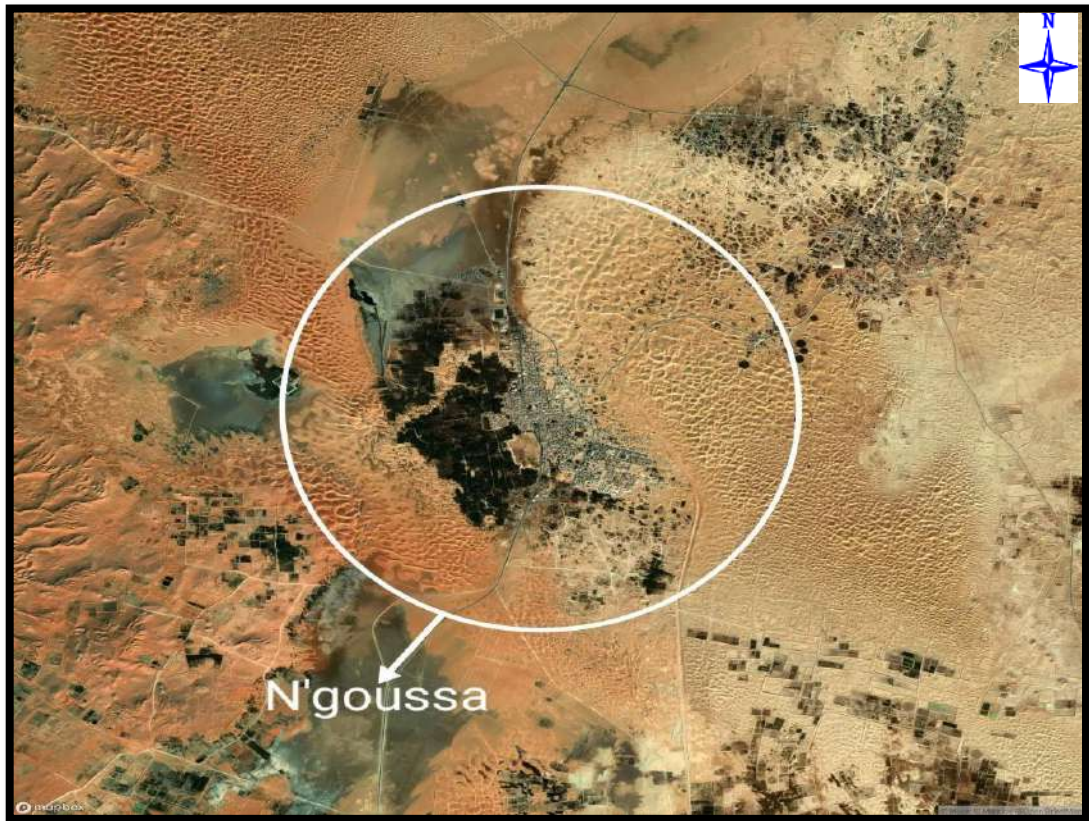


Figure I.2: Photo par satellite de la région de N'GOUSSA, source: Mapbox.

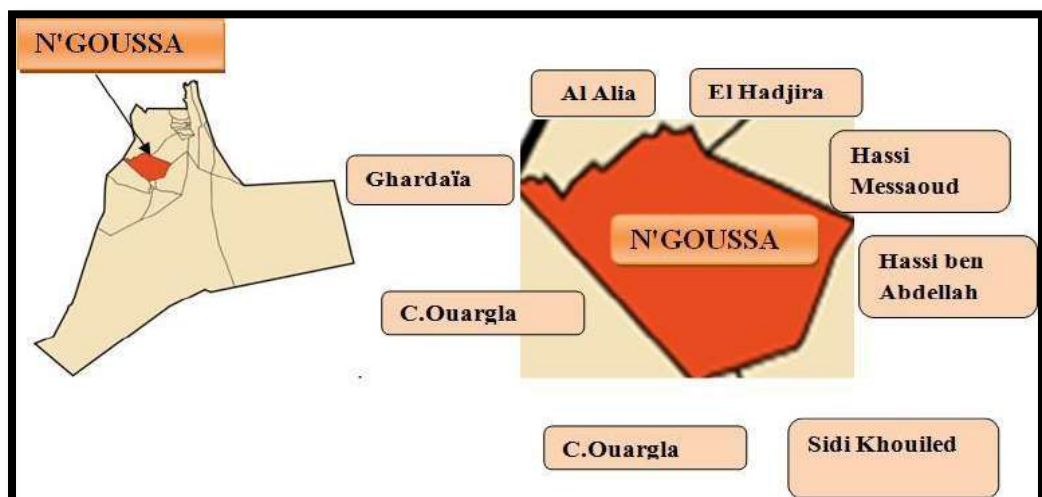


Figure I.3: Carte géographique de N'GOUSSA, source: Agence Nationale de Développement de L'investissement-2014.

Elle est limitée par :

- Au Nord par la commune de : El Hadjira et Al Alia.
- A l'Ouest par la commune de : Ouargla et la wilaya de Ghardia.
- Au Sud par la commune de : Ouargla et Sidi Khouiled.
- A l'est par la commune de : Hassi Ben Abdeallah et Hassi Messaoud (**Rahmani Abdellatif, 2015**).

Elle se trouve dans [(32°08'27" Nord)] , [(5°18'30" Est)] ,Altitude de 115m à 129m (**Amar Chouikhe. STEP Ngoussa**)

1.2.2 La démographie de notre zone:

La population de la ville de N'GOUSSA, selon le ancien recensement pour l'année 2008, est de 16581 habitants avec une densité de population de 5.7 hab./km² (**Amar Chouikhe. STEP Ngoussa**).

1.3 Le contexte hydro-climatologique :

Ces paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

Hassi Lekhfif appartient au grand bassin d'Oued Mya, qui est caractérisé par un climat désertique.

Notre étude a été réalisée à la base des données mesurées à la station d' Ouargla (ONM) pour une période de 13 ans (2005-2018) (**O.N.M, Ouargla 2018**).

Station	Latitude	Longitude	Altitude en m
Ouargla	05° 19' 22"	31° 57' 17"	136

Tableau 1.1: Les coordonnées de la station climatique de Ouargla.

1.3.1 Paramètre climatologiques :

Les mesures climatiques qui déterminent le climat de la région sont les suivantes :

1.3.1.1 Les températures :

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique.

La région d'Ouargla est caractérisée par un climat saharien hyperaride, les températures sont très élevées en été.

1.3.1.1.1 La température moyenne annuelle :

D'après les données de l'Office National de Météorologie (2005 -2018), en générale la température moyenne annuelle mensuelle est de 23.7 °C (**O.N.M, Ouargla 2018**).

Années	T (°C)	Années	T (°C)
2005	22,2	2012	23.45
2006	23,78	2013	23.69
2007	23.6	2014	24.18
2008	23.71	2015	24.28
2009	23.3	2016	24.4
2010	23.35	2017	23.4
2011	23.06	2018	23.9

Tableau 1.2: Moyennes annuelles des températures, **source:** ONM de Ouargla, 2005-2018.

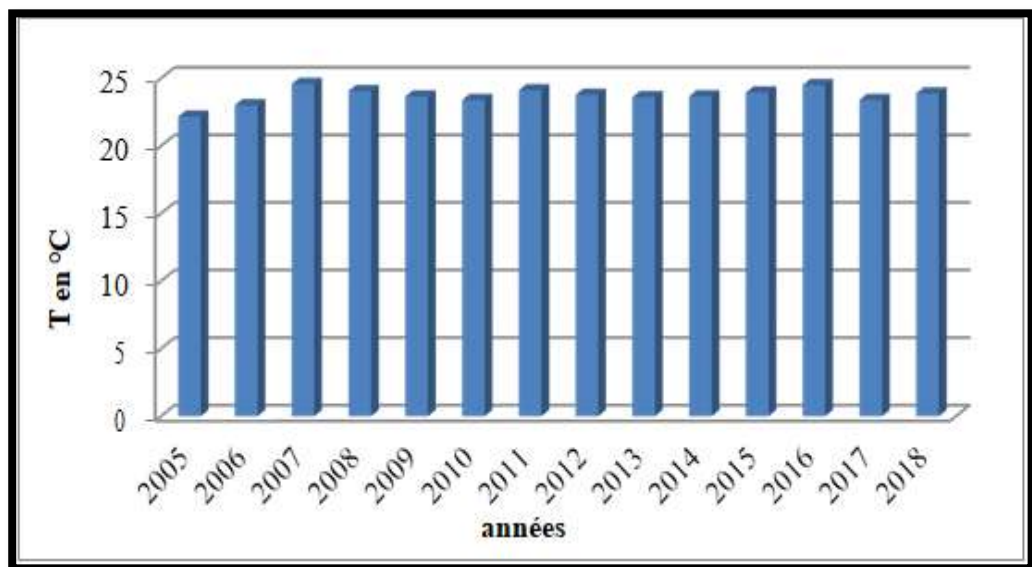


Figure I.4: Variation de la température moyenne annuelle entre 2005 et 2018.

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de treize ans (2005-2018), montre que la température moyenne varie de 24 ,6 °C en 2007 plus tempéré et 22, 2 °C en 2005 moins tempéré.

1.3.1.1.2 La température moyenne mensuelle :

Le tableau 1.3 représente les températures moyennes des minima, des maxima et la moyenne pendant l'année complète. Les données à partir desquelles ont été calculées ces moyennes ont été obtenues du cite " clima set voyages " .

Mois	Min (°C)	Max (°C)	Moyenne (°C)
Janvier	5	19	12
Février	7	21	14
Mars	11	26	18,5
Avril	16	30	23
Mai	20	35	27,5
Juin	25	40	32,5
Juillet	28	44	36
Août	28	43	35,5
Septembre	24	38	31
Octobre	18	32	25
Novembre	10	24	17
Décembre	6	19	10,5
Aneé	16,5	31	23,75

Tableau 1.3: Les variations moyennes mensuelles des températures Ouargla (2005-2018),
source: climat set voyages.

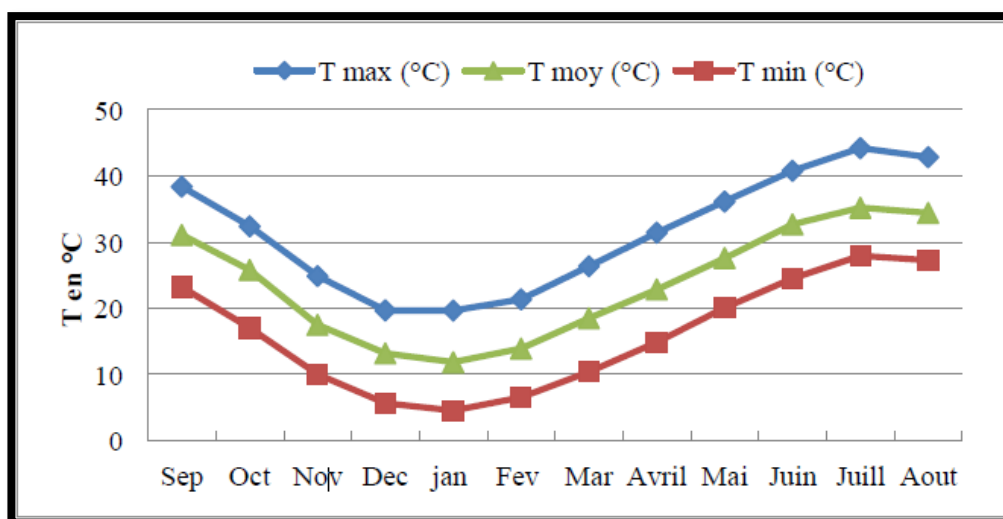


Figure I.5: Variation des températures moyennes mensuelles entre 2005 et 2018.

L'analyse de la courbe de variation de la température mensuelle, sur une période de treize ans (2005-2018), montre que les valeurs de température maximale sont observées pendant l'été (Juin- Juillet) avec des températures allant de 40,90 à 44,05 °C. Les valeurs de température minimales, qui varient de 5,71 à 10,17°C, sont observées durant la période hivernale (Décembre – Mars), avec un minimum pendant le mois de Janvier (4,53°C).

1.3.1.2 Les précipitations :

1.3.1.2.1 La pluviométrie moyenne annuelle :

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien.

Le tableau 1.4 représente les précipitations moyennes annuelles mesurées à la station de Ouargla au cours de la période (2005-2018).

Année	P (mm)	Année	P (mm)
2005	23,76	2012	32,44
2006	20,41	2013	41,66
2007	13,16	2014	32,2
2008	46,45	2015	31,3
2009	75,95	2016	16,51
2010	23,67	2017	75,17
2011	17,92	2018	23,11

Tableau 1.4: La précipitation moyennes annuelle, **source:** ONM de Ouargla, 2005-2018 .

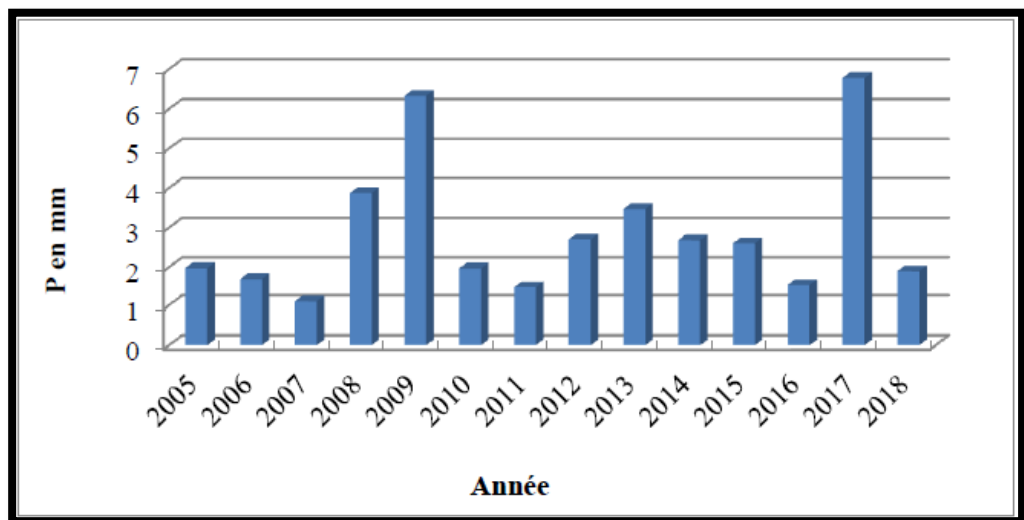


Figure I.6: Evolution des précipitations moyenne annuelles entre 2005 et 2018.

En effet, L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations sur une période de 13 ans (2005-2018) montre que l'année 2009 et 2017 sont les plus arrosées voir figure. I.6 avec une précipitation de 6,3 mm et l'année 2007 est la plus sèche avec 1,12 mm. Notons que les précipitations moyennes inter annuelles s'évaluent à 2,7mm.

1.3.1.2.2 La pluviométrie moyenne mensuelle :

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 13 ans (2005-2018) montre que le mois de Janvier est le plus pluvieux, avec une précipitation de 8,59 mm. A l'exception du mois de Juillet pendant lequel aucune pluie n'a été enregistrée depuis 13 ans. Donc le mois de Juillet est le plus sec voir figure. I.7 La variabilité des pluies affecte les mois secs comme les mois pluvieux.

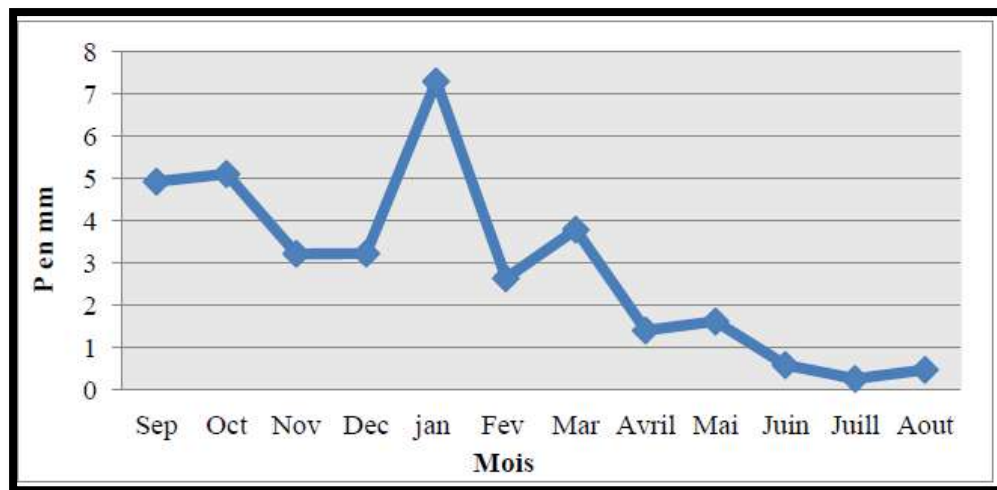


Figure I.7: Pluviosité moyenne mensuelle entre 2005 et 2018.

1.3.1.3 L'insolation :

La région d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation. L'insolation correspond à la durée d'éclairement du sol par le soleil.

Le mois de Juillet enregistre la durée d'insolation la plus importante soit 365,5 h (tab. 1.5) alors que la durée la plus faible est notée en Décembre (218,7 h). Durant les autres mois, la durée d'insolation dépasse 200 h.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
L'insolation (heure)	225	220	257	247	322	331	365.5	338	335	280	237	218.7

Tableau 1.5: la durée d'insolation moyenne mensuelle, **source:** ONM de Ouargla, 2005-2018.

1.3.1.4 L'évaporation :

L'évaporation, passage de l'eau liquide à la vapeur d'eau, est une transformation qui consomme de l'énergie. La façon dont la vapeur d'eau se diffuse dans l'atmosphère a été l'objet depuis DALTON de nombreuses études. Ces quelques remarques résumées, en fait, les voies d'approche de la mesure de l'évaporation: mesure de la consommation d'eau liquide,

évaluation de l'énergie utilisée par l'évaporation, estimation du transfert de vapeur d'eau (Charles Riou, 1975).

Mois	Evaporation (mm)
Janvier	118.6
Février	97.6
Mars	193.6
Avril	261.4
Mai	275
Juin	290.6
Juillet	566.6
Aout	358.1
Septembre	265.4
Octobre	214.3
Novembre	143.7
Décembre	105.6
Moyenne	240.9

Tableau 1.6: Evaporation moyenne mensuelle, **source:** ONM de Ouargla, 2005-2018.

La région d'Ouargla se caractérise par une évaporation très importante. Pour la période 2005-2018, le cumul annuel atteint les 2890.4 mm avec un minimum de 97.5 mm enregistré au mois de Février et un maximum de 566.6 mm durant le mois de Juillet.

1.3.1.5 L'humidité :

Le degré hygrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression. L'humidité est généralement mesurée par un appareil appelé hygromètre .

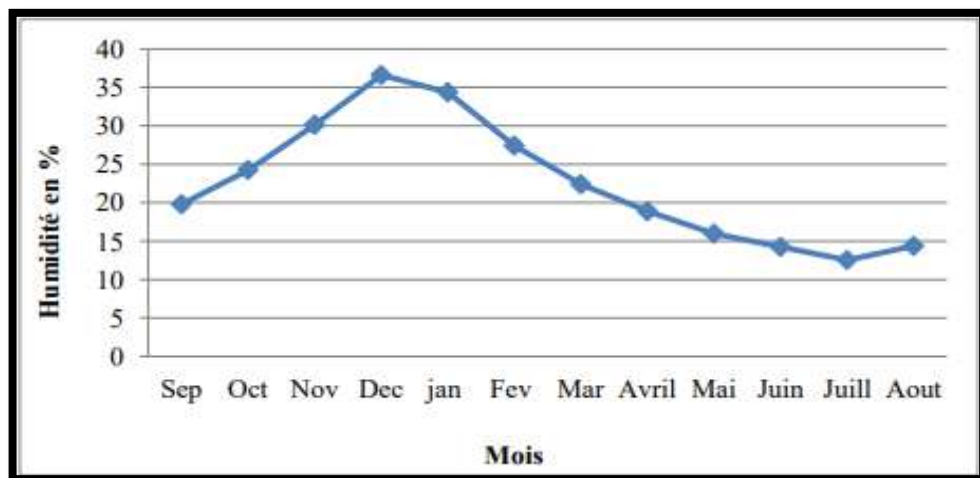


Figure I.8: Variation de l'humidité moyenne mensuelle entre 2005 et 2018.

La chaleur du Sahara est d'ailleurs plus facile à supporter que celle des régions équatoriales, parce qu'elle est sèche (**Perret, R., 1935**).

L'humidité relative est à peine de 30 % ou 37% en hiver (Janvier), et de 10 % à 13 % en été (Juillet) (moyenne de la journée). En rapport avec celles des températures, des variations quotidiennes se produisent. L'humidité relative est généralement minimale vers 15 heures et maximale vers 6 heures, au lever du soleil. L'humidité enregistrée dans la cuvette d'Ouargla est cependant plus élevée que dans d'autre oasis, ce qui est particulièrement perceptible sous le couvert de la palmeraie en hiver et au printemps. Voir **figure. I.8**

1.3.1.6 Le vent :

Lorsqu'on examine la rose des vents des principales oasis, on s'aperçoit que les souffles qui viennent du Nord et du Nord-Est prédominent aussi bien en hiver qu'en été. À Ouargla c'est le vent du Nord qui est le plus fréquent (**Perret, R., 1935**).

A Ouargla, la vitesse du vent atteint ses valeurs maximales en période printanière soit 10,6 m/s en mai (tab. 1.7). Par contre, la valeur la plus faible est notée en janvier (8,2 m/s). La vitesse moyenne annuelle de vent est égale à 8,9 m/s.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. annuelle
Vitesse de vent (m/s)	8.2	9.2	9.7	10.3	10.6	10	8.9	8.9	9.1	7.9	7.3	9.6	8.9

Tableau 1.7: Vitesse moyenne mensuelle des vents à Ouargla,
source: ONM de Ouargla, 2005-2018.

1.3.2 Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls :

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls permet de déterminer les périodes sèches et humides durant l'année prise en considération. Un mois est considéré comme sec quand le total des précipitations annuelles exprimées en millimètre, est inférieur ou égale au double de la température moyenne en degré Celsius (**Gaussen et Bagnouls, 1953**).

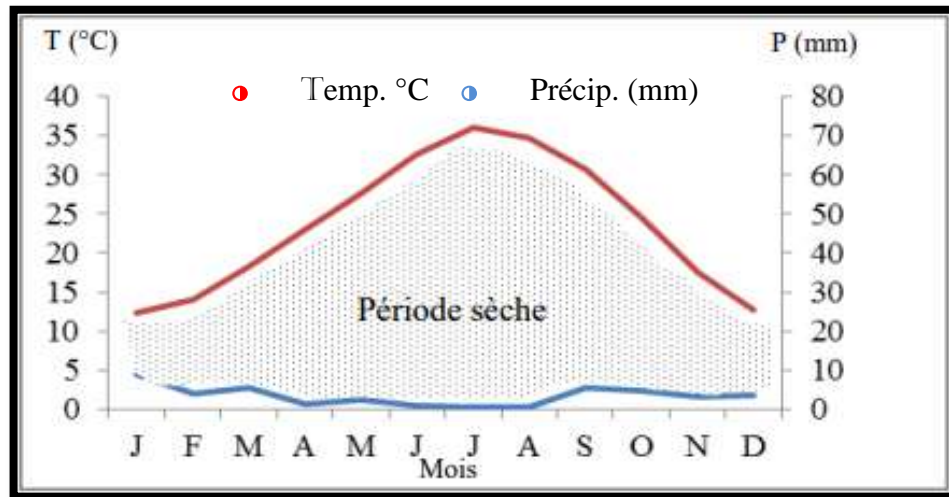


Figure I.9: Digramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls pour la période 2005- 2018 appliqué à la région d'Ouargla

Le climat de la région d'Ouargla est caractérisé par la rareté et l'irrégularité des précipitations inter-mensuelles et interannuelles. Autrement dit, leur rareté, irrégularité interannuelle et saisonnière, raisonnent via un cumul de 24.8 millimètres par an. Septembre est le mois le plus pluvieux enregistrant un maximum de l'ordre de 11 mm.

Selon l'analyse du diagramme ombrothermique de la région de Ouargla (Figure I.9), pour la période (2005-2018), la saison sèche s'étale sur toute l'année, traduisant un déficit pluviométrique important et quasi permanent avec un maximum de 7,7 mm en janvier et un minimum durant les mois de juillet et août. Les températures moyennes, par contre, elles prennent la courbe en allure de bosse avec un maximum enregistré en plein été (Juillet 36°C et Août 34,9°C) et un minimum en hiver, respectivement de 12,7°C en Décembre et de 12,3°C au mois de janvier (O.N.M, Ouargla 2018).

1.4 Le contexte géologique et hydrogéologique :

1.4.1 La géologie de la zone :

Le rôle de la géologie est primordiale en hydrogéologie, il permet la description géologiques et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

1.4.1.1 La plateforme saharienne :

Elle est située au sud de l'Algérie alpine et appartient au craton Nord Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes. On distingue d'Ouest en Est, les bassins suivants Voir **Figure. I.10**.

- Les bassins de Tindouf et de Reggane situés sur les bordures nord et Nord-Est du bouclier Reguïbat. La couverture sédimentaire atteindrait 8000 m dans le bassin de Tindouf et 6500 m dans celui de Reggane.
- Le bassin de Béchar limité au Nord par le Haut Atlas, au Sud et à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta. Sa couverture sédimentaire atteindrait 8000 m.
- Le bassin d'Ahnet-Timimoun limité au Nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta, au Sud par le bouclier Touareg et à l'Est par la dorsale d'Idjerane- Mzab. La couverture serait en moyenne de 4000 m.
- Les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-Oued M'ya sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjerane-Mzab et à l'Est par la dorsale Amguid-El Biod. Au Sud, les sédiments paléozoïques affleurent dans le Mouydir. Au Nord, dans la dépression d'Aguemour-Oued M'ya, comblée par une puissante série paléozoïque et méso-cénozoïque (5000 m à Oued M'ya).
- La synéclise d'Ilizi-Ghadamès est limitée à l'Ouest par la dorsale d'Amguid-El Biod et à l'Est par le môle de Tihemboka et les confins tuniso-libyens. Dans le bassin de Ghadamès, la couverture sédimentaire supérieure à 6000 m. Notre secteur d'étude fait partie de la province triasique, située dans la partie septentrionale de la plate-forme saharienne. La province triasique est un anticlinorium de direction (Est-Ouest) où les éléments majeurs suivants ont été individualisés:
 - La voute de Tilrhemt et le haut fond de Talemzane;
 - Le système structural de Djemâa-Touggourt;
 - Le système de dislocation d'El Agreb-Messaoud;
 - Le môle de Dalar.

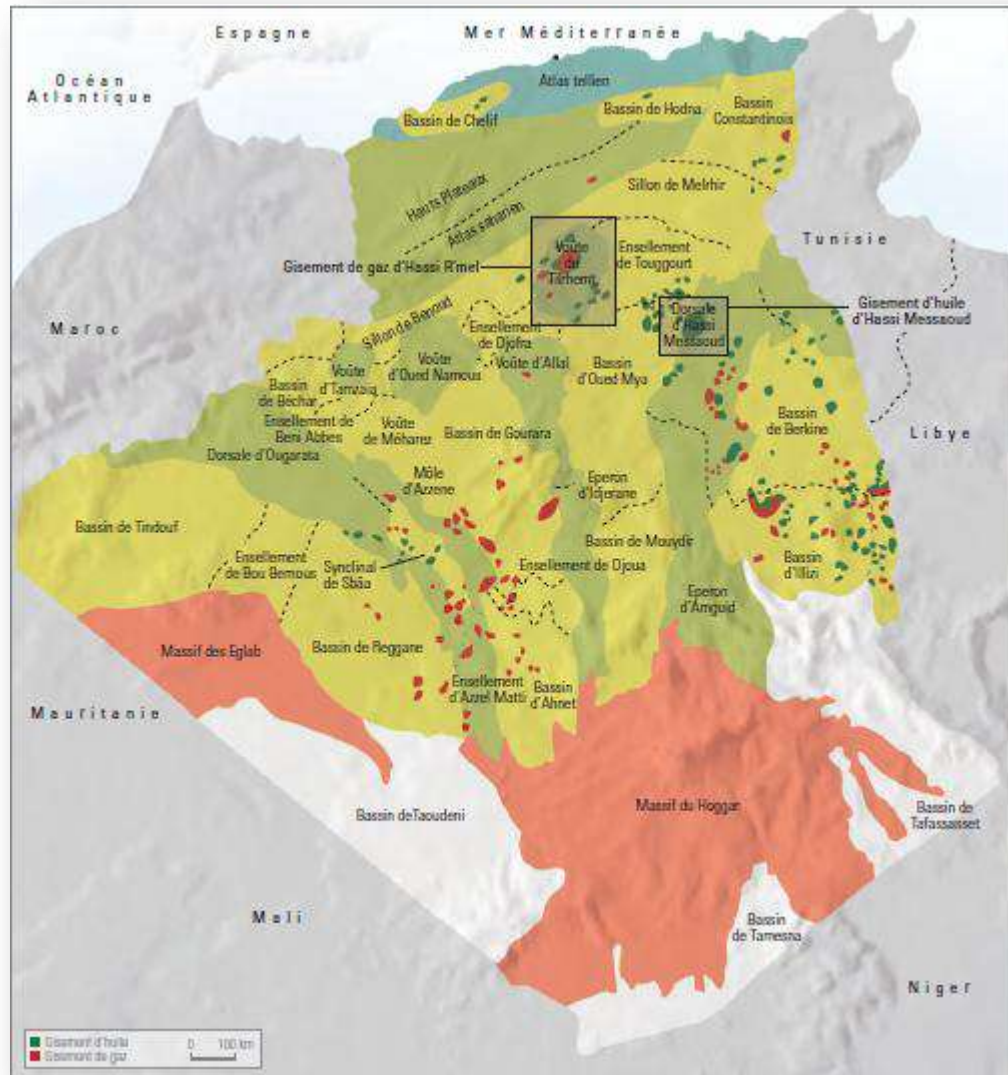


Figure I.10: Carte des bassins sédimentaires de l'Algérie, **source:** (WEC,2007).

Ces éléments sont séparés par des dépressions (Oued M'ya) où l'on rencontre les séries types de la province triasique. Les dépôts paléozoïques sont souvent très érodés, aussi profondément que l'Ordovicien ou le Cambrien. Le Mésozoïque, discordant sur le Paléozoïque, est présent du Trias au Crétacé. Le Cénozoïque est représenté par une série détritque du Mio-Pliocène. La série sédimentaire du bassin triasique dépasse 4500 m d'épaisseurs dans sa partie septentrionale. Elle est caractérisée par une importante formation évaporitique (**Jean Fabre, 1976**).

1.4.2 Le cadre géologique régional du bas Sahara :

La région de N'goussa que nous étudions fait partie du bas Sahara qui est limité :

- Au nord, par l'accident sud atlasiques, et les premiers contreforts des monts des Aurès;
- Au sud, par la falaise méridionale du TINHERT;
- À l'est par les affleurements crétacés du DAHAR;
- À l'ouest par la dorsale du Mzab.

Le Bas-Sahara qui se présente comme une cuvette synclinale est caractérisé par un remplissage sédimentaire plus ou moins circulaire ayant un diamètre de 600 km. Il est subdivisé en deux parties :

- Le bassin occidental du Tademaït;
- Le bassin oriental du Tinhert.

Le Bas Sahara est caractérisé par l'extrême simplicité de sa topographie. Mis à part le côté Nord, les autres bordures sont de hauteur modeste et s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée, matérialisée par l'axe SSO-NNE et parcourue par les Oueds M'ya et Righ. Vers le Nord au contraire, se dresse une haute barrière composée des monts des Ouled Nail, Des Aurès et Nemamcha, bordant une dépression longitudinale occupée par des chotts, et dont le fond est inférieur au niveau de la mer. Tous les terrains depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand Erg oriental. (**Busson, 1970 ; Fabre, 1976**).

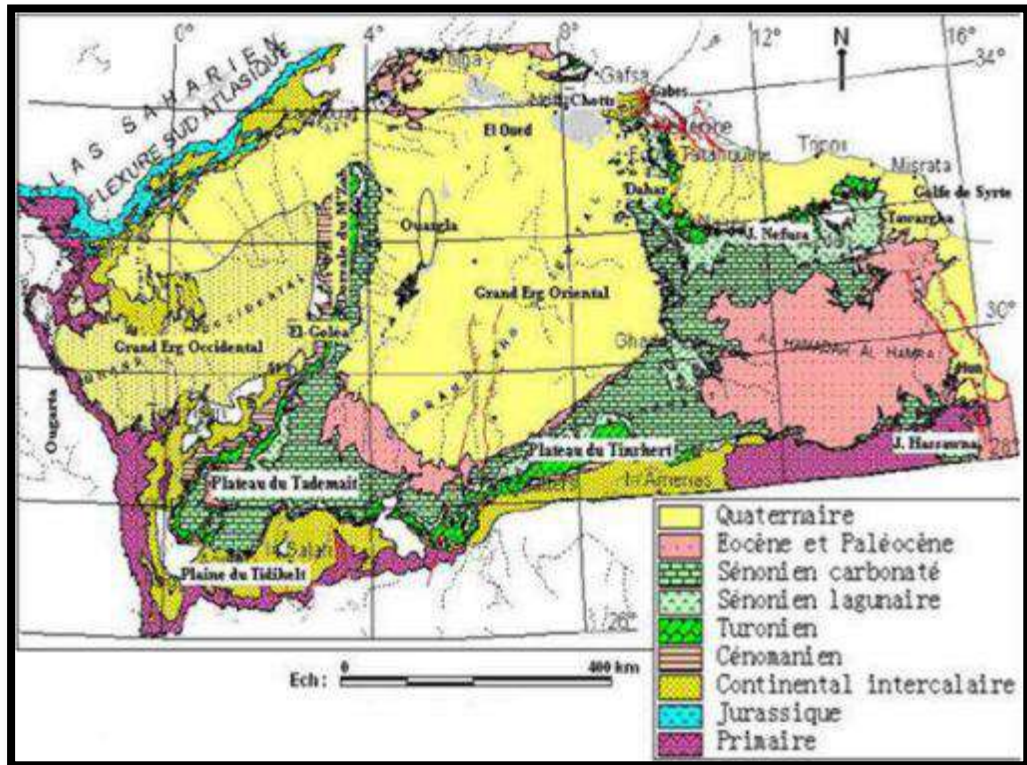


Figure I.11: Carte géologique du sud algérien, source: (OSS, 2003).

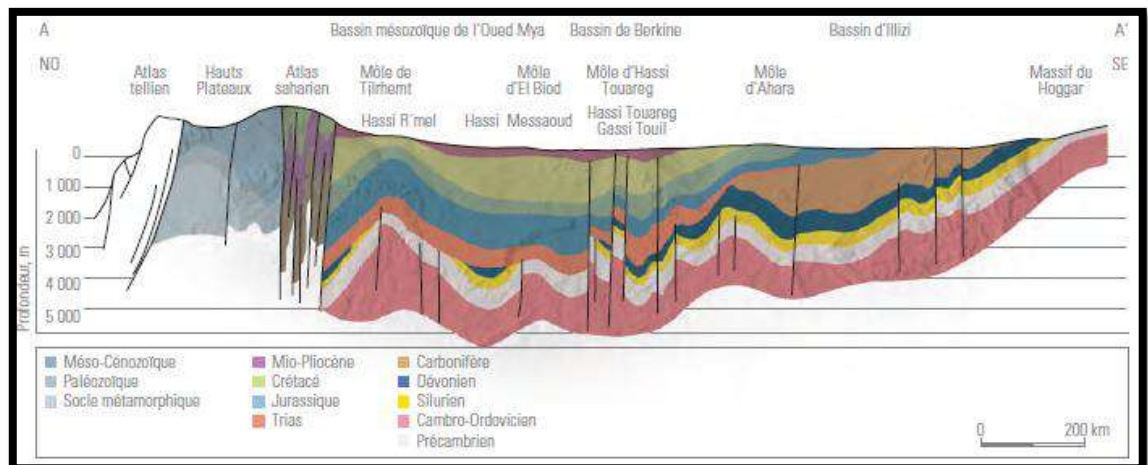


Figure I.12: Coupe géologique régionale, source: (WEC,2007).

1.4.3 Le cadre géologique locale :

Dans la région de Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes).

1.4.3.1 La litho-stratigraphie :

- Le Barrémien : Capté à partir de 1500 m. Il présente une alternance de grès et d'argiles, avec des intercalations calcaro-dolomitiques ;
- L'Aptien : Il est constitué par la "barre aptienne" dans la région d'Ouargla, qui est

formée de marnes dolomitiques, gris, verte, brunes ou blanches et de dolomies cristallines. Son épaisseur est variable, généralement inférieure à 50 m ;

- L'Albien : Il correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire ; Ce sont des grès, argiles et sables L'épaisseur de ces formations est variable (> 400 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90 %) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois des intercalations de sables grossiers à limons argileux ou carbonatés. On note des passées d'argiles brun- rougeâtres, elles sont même pélitiques et sableuses dans les puits les plus septentrionaux ;
- Le Vraconien : L'intercalation albo-cénomaniennne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès de l'Albien et les argiles du Cénomanienn, il est formé de : -- Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont de 50 à 100 m ; -- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques ;
- Le Cénomanienn : Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) : La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtres ou gris verdâtres, son épaisseur varie entre 60 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série ;
- La série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite et de quelques intercalations dolomitiques, son épaisseur est de l'ordre de 70 m ;
- Le Turonien : Il se présente sous la forme d'une dalle "barre Turonienne" ayant une épaisseur régulière de l'ordre de 70 m. Il s'agit d'une formation essentiellement calcaire : calcaire poreux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique ;
- Le Sénonien : Il est constitué de deux formations lithologiques superposées -- Le Sénonien lagunaire à la base qui est constitué par une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomie, d'argile et de sel. Les proportions de ces formations varient d'un point à un autre : L'anhydrite forme des bancs dont l'épaisseur peut atteindre 250 m ; La dolomie constitue parfois des barres plus importantes (≈60 m) ; Les niveaux d'argile et de marne ne dépassant généralement pas 120 m d'épaisseur ; Le Sénonien carbonaté au sommet (200 m

environ) : Calcaire blanc, tendre à moyennement dure, parfois crayeux à vacuolaire et passées de marne gris tendre à pâteuse dolomitique ;

- Le Sénonien- Éocène : Il est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 et 200 m. Il s'agit de calcaires dolomitiques cristallins ou microcristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux.

1.5 Le contexte hydrogéologique :

1.5.1 Le cadre hydrogéologique régional :

Le Système Aquifère Saharien désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes : a) la formation du Continental Intercalaire, CI, la plus profonde, b) celle du Complexe Terminal, CT, notamment très sollicitée dans l'Oued Rhir, le Souf, le Djérid, la Nefzaoua et le golfe de Syrte. Ce Système recouvre une étendue de plus de un Million de km² dont 700.000 km² se trouvent en Algérie, 80.000 en Tunisie, et 250.000 en Libye. Ses réserves sont estimées à $31.000 \times 10^9 \text{ m}^3$ (OSS, 2003).

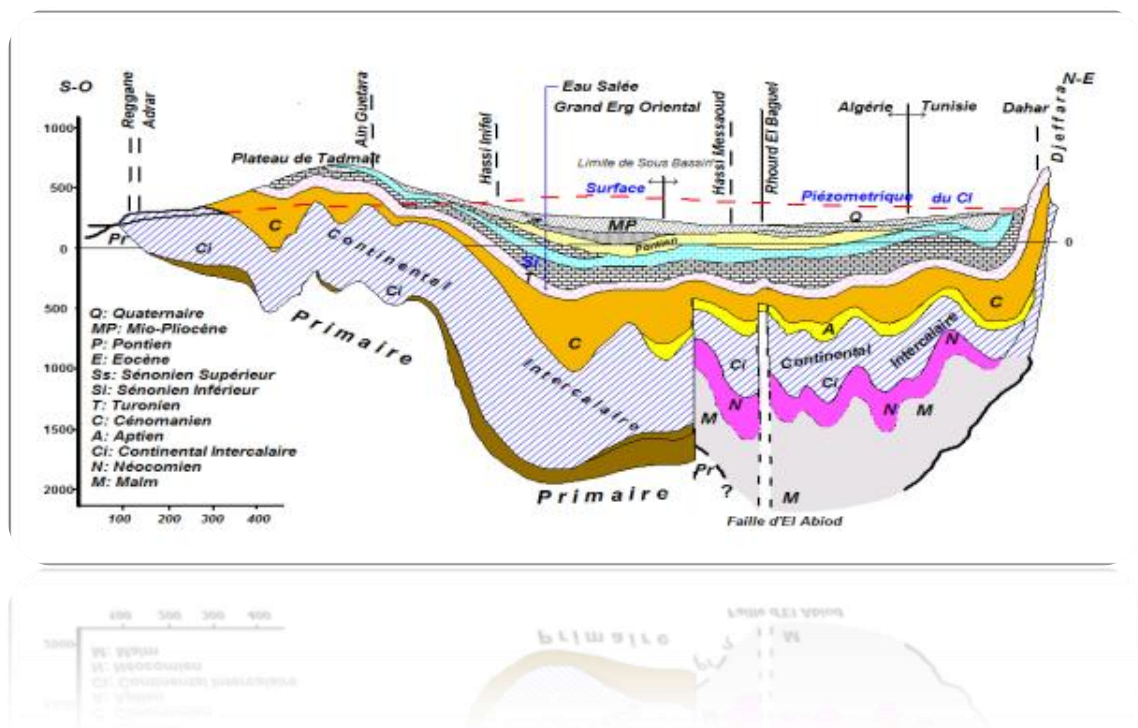


Figure I.13: Coupe hydrogéologique du système aquifère CT et du CI, **source:** (UNESCO, 1972).

Nous rappelons ci-dessous les définitions des nappes du "CI" et du "CT". Le terme 'Continental Intercalaire' désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- À la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne;
- Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomanienne. Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (**Busson, 1970 ; Fabre, 1976**).

1.5.1.1 Le continental Intercalaire :

Directement surmontées par les argiles du Cénomaniens, les formations du Continental Intercalaire [CI] s'étendent jusqu'en bordure de la plate-forme, en une auréole continue d'El Goléa jusqu'à la limite sud de la Hamada El Hamra. Au Nord-Ouest du bassin, le CI affleure tout au long de l'Atlas Saharien et au N-E sur le Dahar et le Djebel Neffusa. Plus au Sud, le CI repose directement sur les formations marines du Paléozoïque, lequel forme en affleurement une ceinture continue allant de la frontière marocaine, à la limite N-W du bassin, jusqu'à la ville de Hun à l'extrême S-E de la région. L'observation des affleurements permet donc de définir le Continental Intercalaire comme l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne, et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales gréso-argileuses du Crétacé inférieur, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments marins ou lagunaires, post-paléozoïques et anté-cénomaniens intercalés au sein du CI.

Cette définition du Continental Intercalaire, qui constitue la formation aquifère la plus étendue de la région, détermine les limites attribuées à la zone d'étude du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Ces limites, fondées à la fois sur l'étude des affleurements géologiques et sur l'étude des sondages, sont :

- Au Nord-Ouest le versant Sud de l'Atlas Saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomaniens;
- À l'Ouest Sud-Ouest, la limite des affleurements paléozoïques de l'Ougarta, marqués par le cours de la Zousfana et de la Saoura;
- Au Sud, la limite des affleurements du "CI" sur le Paléozoïque, allant en continuité d'Adrar à Hun, décrivant les limites septentrionales des

Tassilis;

- Au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'EL Hamma – Médenine;
- Au Nord-Est, les affleurements du "CI" au pied de la falaise du Doha;
- À l'Est, les formations aquifères du Crétacé inférieur se prolongent bien au-delà du graben de Hun, mais à l'Est du méridien 16° et en passant au bassin de Syrte, les eaux du "CI" deviennent saumâtres : c'est ce passage qui a été adopté comme limite de la zone d'étude de la nappe d'eau douce du "CI" (OSS, 2003).

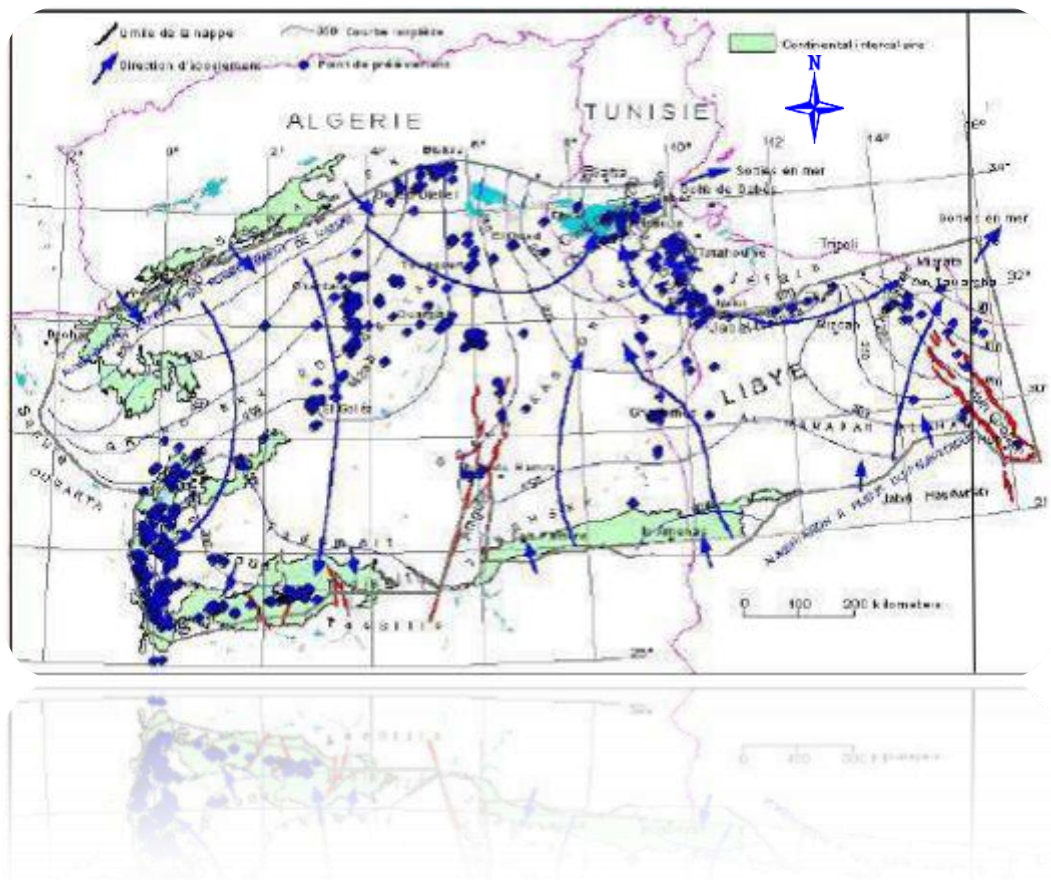


Figure I.14: Carte piézométrique de référence du CI, **source:** (OSS, 2003).

1.5.1.2 Le complexe terminale :

Classiquement, et selon la définition de K.Killian, le terme «Complexe terminal» désignait les formations continentales, sableuses et argileuses, du Mio-Pliocène. Mais d'après Bel et Demargne (1966), « la nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio- Pliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Éocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces

différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Complexe Terminal, par opposition au Continental Intercalaire » (OSS, 2003).

1.5.2 Le cadre hydrogéologique local :

Au niveau de Ouargla, les aquifères utilisables à des fins urbaines et agricoles, sont illustrés sur le tableau (Tab. 1.8) .

- La nappe dite de L'Albien dans les grès et argiles sableuses du CI;
- La nappe des calcaires au niveau du Sénonien- Éocène;
- La nappe des sables dans les dépôts détritiques du Mio- Pliocène;
- La nappe libre (phréatique) contenue pa les sables fins argileux et gypseux du quaternaire.

Chronostratigraphie	Unités hydrogéologiques		Prof	Lithostratigraphie	Lithologie
Quaternaire	Nappe phréatique		20m		
Tertiaire	Nappe du Complexe Terminal	Nappe des sables	120m	Mio-Pliocène	
		Impermeable		Eocène évaporitique	
		Nappe des calcaires (Sénono-Eocène)	520m	Eocène carbonaté	
		Impermeable	700m	Sénonien carbonaté	
		Nappe du turonien		Sénonien lagunaire	
Secondaire	Crétacé	Impermeable	1100m	Turonien	
		Nappe du Continental Intercalaire	2000m	Cénomaniens	
		Nappe de l'Albien		Vraconien	
				Albien	
				Aptien	
				Barrémien	

Tableau 1.8: Aquifères du CI et CT à Ouargla, **source:** (ANRH, 2004).

1.5.2.1 Les nappes du continental intercalaire :

a. La nappe de l'albien :

Elle est constituée de grès fins, gris, à ciment argileux, parfois dolomitiques, avec intercalation de marnes dolomitiques et d'argiles sableuses. Elle est rencontrée à une profondeur allant de 1100 m à 1400 m, avec une épaisseur utile d'environ 640 m. Cette nappe jaillissante est exploitée par des forages destinés à l'alimentation en eau potable.

1.5.2.2 Les nappes du complexe terminal :

a. La nappe du Sénonien-Éocène :

Très coquilliers, gris jaunâtre, à intercalations de marnes blanches et dolomitiques, ses eaux sont également exploitées essentiellement pour l'alimentation en eau potable. Elle se situe entre 120 m et 200 m de profondeur. Formée de calcaire poreux à silex.

b. La nappe des sables du Mio-Pliocène :

Cette nappe est constituée de sables fins à grossiers, parfois graveleux, à intercalation de calcaires blanc, tendres et de marnes sableuses, d'argiles sableuses rose et passées de grès et de gypses. Elle est située à une profondeur allant de 20 m à 100 m. L'épaisseur de l'aquifère des sables du Mio-Pliocène est de 200 à 230 m en moyenne. Elle est minimale dans la région de N'goussa augmente vers le Sud 300 m, et le Nord où elle peut atteindre 500 m . Son exploitation remonte à longtemps par des puits traditionnels. Actuellement, elle est exploitée pour l'irrigation des palmeraies et des cultures sus-jacentes par le biais de plusieurs centaines de forages.

c. La nappe superficielle ou phréatique :

Elle est localisée dans les accumulations alluvionnaires du Quaternaire. Elle est mieux connue au niveau des palmeraies, des sebkhas et des Oueds, sa profondeur varie de 0 à 2m ; son réservoir de composition hétérogène est constitué par des matériaux détritiques (blocs, de galets, de graviers et de sables). Elle est relativement profonde dans les zones topographiques haute (colonnes gréseuses et Ergs), et moins profonde dans les zones à proximité des sebkhas et palmeraies irriguées.

Son substratum est formé d'une épaisse formation argileuse, parfois, il apparaît sous forme de lentilles de sables en discordance avec les couches d'argiles. Elle est, surtout, alimentée par les eaux de précipitations, les infiltrations des oueds et les eaux d'irrigations. La catégorie des eaux de cette nappe est salée ou très salée, elle se classe parmi les chlorurés alcalines et sulfatées calco- magnésieuses (**Hadjkouider Mohammed, 2019**).

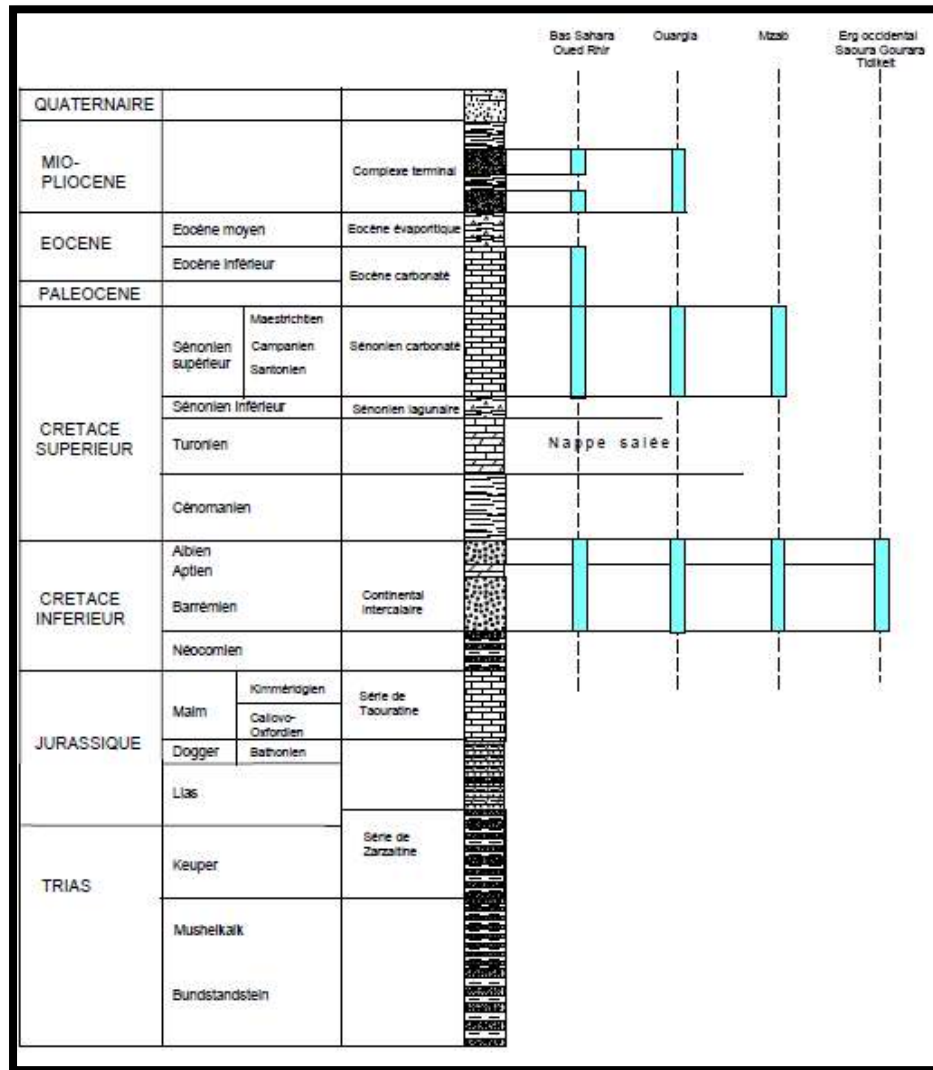



Figure I.15: Les formations géologique et les aquifère du bas Sahara algérien, **source:** (OSS, Vol II 2003).

Conclusion :

La zone de Hassi Lekhfif dans son cadre régional, se situe dans la partie Nord-est de la région d'Oued M'ya qui se trouve dans le bassin du Sahara orientale de l'Algérie (Bas – Sahara), qui appartient à la plate forme saharienne .

Le climat d'Ouargla est subtropical désertique, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés. Les précipitations annuelles atteignent 45 mm au maximum, également, comme toutes les régions sahariennes, la région d'Ouargla est caractérisée par les vents fréquents, durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées de Mars à Aout, avec un maximum de 13.1 Km/h durant le mois Mars et de moyenne de 9.84 Km/h pour les autres mois. Notons que les vents dominants sont de direction NW.



Chapitre II :
Généralités sur le
forage

2.1 Introduction :

Les forages sont parmi les meilleurs moyens d’obtenir l’information du sous-sol. La réalisation des forages demande des connaissances spécialisées et des compétences techniques qui peuvent en grande partie être tirées d’ouvrages courants. Cependant, les opérations de terrain dans des zones reculées ou dans des conditions difficiles exigent souvent de la flexibilité et de l’imagination pour éviter et résoudre les problèmes techniques.

2.2 Classification des forages selon leur finalité:

Un forage est une cavité cylindrique verticale creusée dans la terre ayant un diamètre défini par l’outil de forage pour chaque phase ; la forme générale est télescopique.

CLASSIFICATION DES FORAGES SELON LEUR FINALITE	
un FORAGE est :	Applications
un ouvrage d'exploitation d'une ressource	puits pétroliers - puits d'eau – forages géothermiques
un outil de reconnaissance (d'exploration) et d'échantillonnage	forages géotechniques forages environnementaux recherche d'extension de gisement (carrières) reconnaissance géologique profonde exploration minière et pétrolière
un moyen de contrôle de l'évolution d'un paramètre dans le temps	piézomètres, extensomètres, tassomètres, inclinomètres, ...
un laboratoire de tests in-situ permettant de quantifier un paramètre (géotechnique – hydrogéologie - environnement)	pressiomètres, dilatomètres, essais Lugeon, essais Lefranc, slug-tests, diagraphies électriques, géophysique en forage
une voie d'accès aux sols, au sous-sol, à la nappe aquifère	remédiation in-situ (forages environnementaux)

Tableau 2.1: Classification des forages, **source:** Vinciane STEMANS, Jacques VAN LOOY,2009.

Chacune de ces techniques est utilisée dans divers domaines :

- ✚ Exploration géologique et minière;
- ✚ Recherche et exploitation des eaux souterraines;
- ✚ Recherche et exploitation pétrolière;
- ✚ Exploitation de carrières ou percement de galeries (**Gilles BRESSON**).

2.3 Les différentes méthodes de forage d'eau :

- ✚ Forage au Battage;
- ✚ Forage au Rotary;

- ✚ La méthode de la circulation inverse (rotary à circulation inverse);
- ✚ La méthode marteau fond de trou (MFT).
- ✚ La méthode de Havage;
- ✚ La méthode au jet.

2.4 Forage au rotary (Drilling by rotational) :

La méthode rotary consiste à utiliser des trépan à dents type tricône ou des trépan monoblocs comme les outils diamant ou PDC (Polycrystalline diamond compact), sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation. L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors de trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface (**Jean-Paul NGUYEN,1993**).

Le poids sur l'outil WOB (Weight On Bit) est obtenu par gravité grâce à l'introduction de tiges lourdes appelées masses- tiges. Le couple de rotation est obtenu soit à partir d'un couple en surface transmis vers l'outil via un train de tiges soit à partir d'un moteur fond de trou au dessus de l'outil et piloté en surface.

La sonde de forage rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions suivantes (**Jean-Paul NGUYEN,1993**) :

- ✚ Poids sur l'outil ;
- ✚ Rotation de l'outil ;
- ✚ Injection d'un fluide (circulation sous pression).



Photo N°1: Indicateur de poids (Martin Decker).

2.4.1 Les avantages du forage au Rotary :

- ✚ La profondeur atteinte peut être considérable (plusieurs milliers de mètres en recherche pétrolière) . De plus on peut atteindre 300 ou 400 mètres de profondeur sans tuber si les terrains s'y prêtent ;
- ✚ La vitesse d'avancement en terrains tendres est important est peut atteindre 100 à 150 m par jour ;
- ✚ Ce système permet un bon contrôle des paramètres de forage (poids sur l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser.
- ✚ Le forage au rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake (**Michel Detay, 1993**).

2.4.2 Les inconvénients du forage au Rotary :

- ✚ Nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées.
- ✚ Difficulté de forer dans les terrains caverneux à cause de la perte de circulation de la boue.
- ✚ Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite).
- ✚ Difficulté d'observation des cuttings (la présence de tamis vibrants en circuit retour diminue sensiblement cet inconvénient).
- ✚ Nécessitant des temps de développement importants (BOUSELSAL B. , 2016).

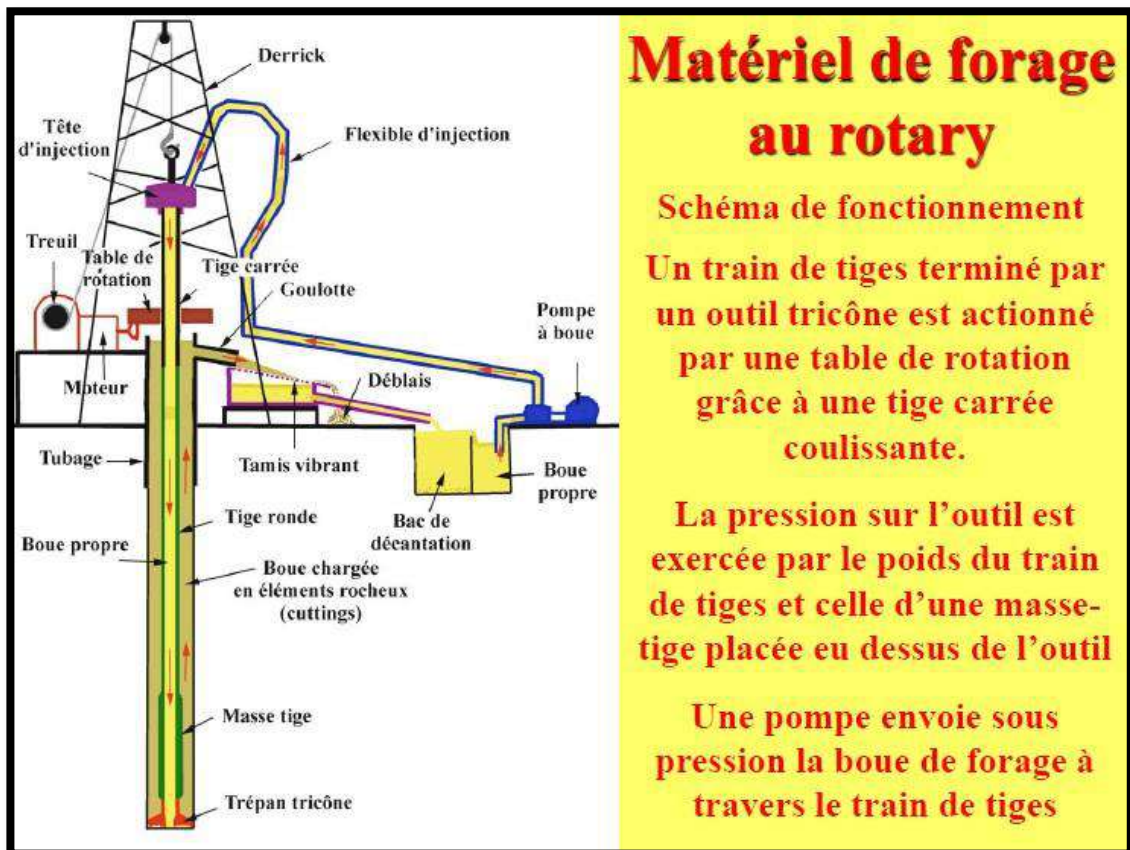


Figure II.1: Schéma de fonctionnement de forage au rotary, source: Gilles BRESSON.

2.5 Les équipements du forage (Drilling equipment) :

Le processus de forage rotary se découpe en deux grands ensembles : l'installation et la garniture de forage. La figure II.2 présente les différents constituants d'un processus de forage.

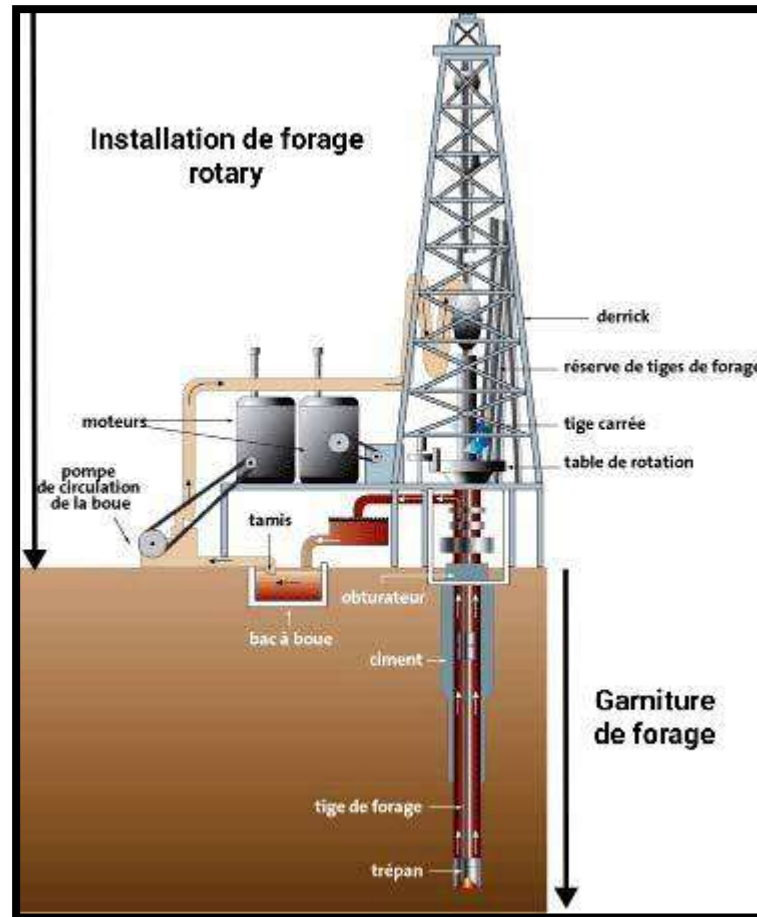


Figure II.2: Processus de forage, source: BRGM. Modifiée

2.5.1 Équipements de surface (Surface equipment) :

Se composent principalement de :

2.5.1.1 Système de levage (Lifting System) :

La tâche dédiée au système de suspension de grande capacité réside dans les déplacements du processus de forage (montée, descente) et dans le contrôle du poids appliqué sur l'outil. Il dispose d'un mât (Derrick) . Le derrick représente le point culminant de la plateforme. C'est une tour métallique qui soutient une tige au bout de laquelle se situe le trépan. Il repose sur une substructure qui supporte la table de rotation, le treuil et la garniture de forage. Et d'un treuil motorisé, moufle fixe, moufle mobile avec un crochet et un câble de

forage. On prend l'appareil moyen de type **SKD 3000-B** comme un exemple (**Jean-Paul NGUYEN,1993**).

2.5.1.1.1 Le mât haubané (The guyed mast) :

Les mâts haubanés (Photo N°2) sont utilisés pour les forages de faible et moyenne profondeur. Ils ne se démontent pas, mais se rabattent sur des camions ou des remorques. On distingue :

- ✚ Les mâts télescopiques, constitués de deux poutres minces en treillis ou tubulaires ;
- ✚ Les mâts non télescopiques .

Ces mâts sont haubanés pour résister aux vents.

Les haubans, au nombre de 8 ou 12, sont inclinés de 45° et sont placés dans les plans diagonaux du mât. Ils sont reliés au mât par des goussets et, au sol, à des points fixes, situés à une distance du puits égale à la hauteur du mât. Leur tension est de l'ordre de 0.5 à 1 tonne. Les tensions des haubans opposés doivent être identiques (**SLIMANIA, DADDOU.M, 2004**).

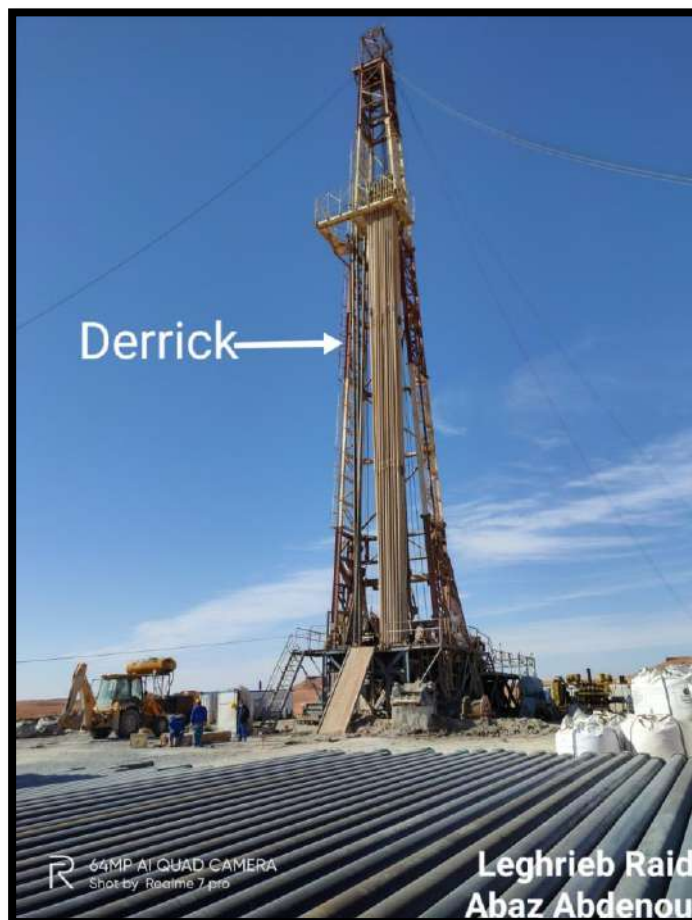


Photo N°2: Le mât haubané de forage.

2.5.1.1.2 La substructure :

Le mât repose sur une substructure afin de disposer sous le plancher de travail d'une hauteur suffisante des obturateurs. La substructure est constituée de deux poutres horizontales en treillis de fers en (I) soudés, placées suivant le sens de la longueur et réunies par des traverses assemblées par des broches goupillées. En plus du mât, la substructure supporte la table de rotation, le treuil et la garniture de forage. Pendant la descente de tubage, elle supporte le poids du tubage posé sur la table et celui de la garniture de forage stockée dans le gerbier. Pour la substructure, le constructeur donne la capacité de stockage des gerbiers en fonction de la vitesse du vent et la capacité de l'assise de la table de rotation (SLIMANIA, DADDOU.M, 2004).

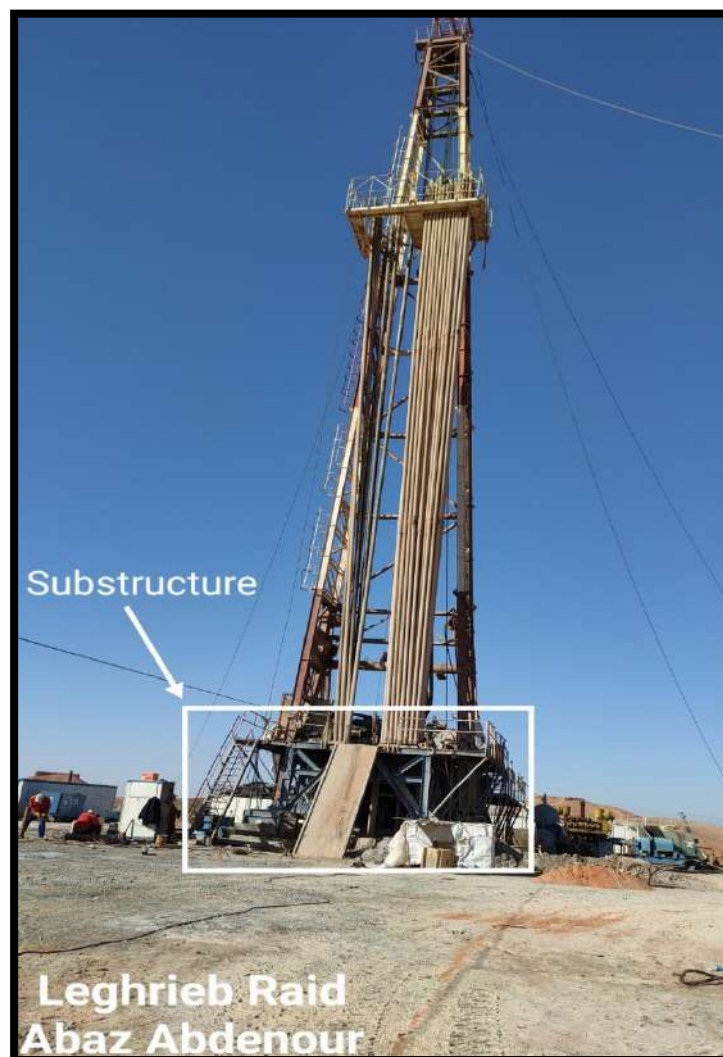


Photo N°3: La substructure.

2.5.1.1.3 Le mouflage (Hoisting System) :

Le mouflage est un moyen de démultiplication des efforts afin de soulever de lourdes charges. Le mouflage comprend un câble, moufle fixe, moufle mobile, réa et le treuil de forage. Le nombre de brins du mouflage peut varier de 4 à 14. Le brin actif est la partie du câble comprise entre le tambour du treuil et le moufle fixe, Le brin mort est la portion de câble sortant du moufle fixe et allant directement au point fixe (réa), c'est sur ce brin mort que sont effectuées les mesures de tension du câble qui permettent de connaître le poids suspendu au crochet.

Le mouflage permet de :

- ✚ Démultiplier l'effort de traction exercé sur le brin actif de façon à soulever de lourde charges.
- ✚ Répartir sur plusieurs brins de câble les charges considérables soulevées,
- ✚ Démultiplier la vitesse du moufle mobile (**HAFSI Takieddine, SOMAA Ismail, 2013**).

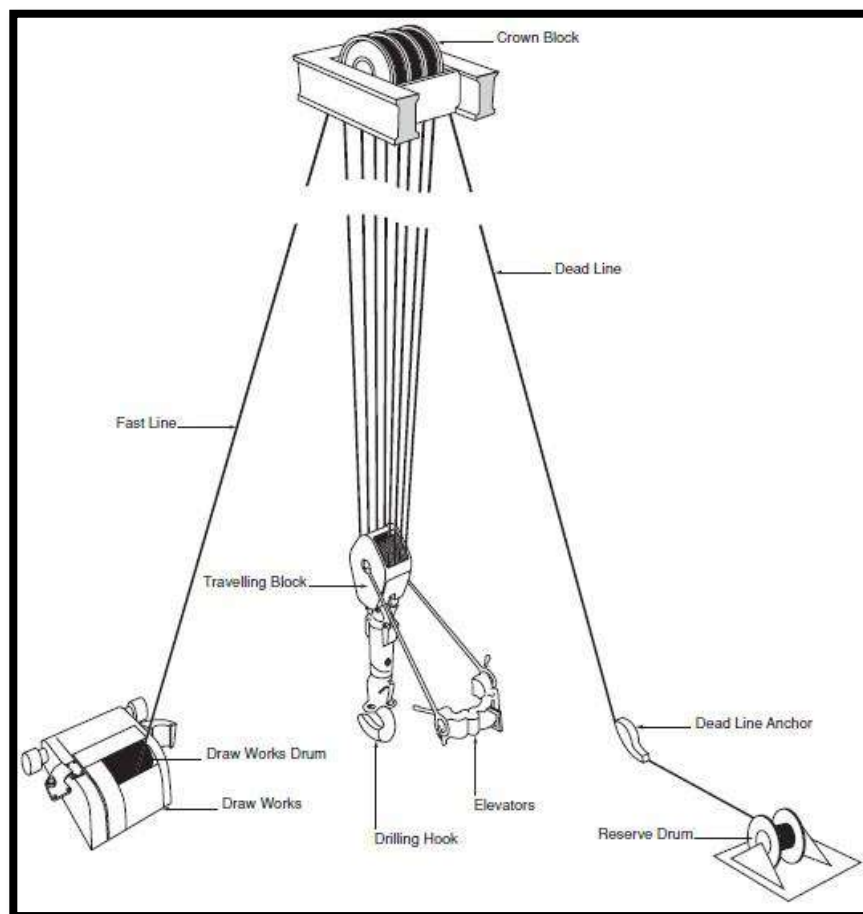


Figure II.3: Équipement de mouflage (Hoisting Equipment), **source:** Drilling Engineering, 2005.

2.5.1.1.4 Le moufle fixe (Crown Block):

Le moufle fixe a des poulies alignées sur le même axe. Cet axe est supporté à cette extrémité par deux paliers montés sur des poutrelles fixées au sommet du mât. L'axe du moufle fixe est perforé pour permettre le graissage des différents roulements des poulies (HAFSI Takieddine, SOMAA Ismail, 2013).



Photo N°4: Le moufle fixe (crown block).

2.5.1.1.5 Moufle mobile et le crochet (Travelling Block & Drilling Hook):

Le moufle mobile comporte une poulie de moins que le moufle fixe correspondant. Les poulies sont montées sur le même axe par l'intermédiaire de roulements à rouleaux coniques. Cet axe est monté sur des paliers situés sur des flasques, en tôle très épaisse, qui reçoivent à leur partie inférieure le crochet ou l'attache du crochet. L'axe est percé pour

permettre le graissage des roulements.

Un carter entoure complètement les poulies, laissant seulement passer les brins du mouflage (**HAFSI Takieddine, SOMAA Ismail, 2013**).



Photo N° 5: Le moufle mobile et le crochet (Traveling block + Drilling hook).

2.5.1.1.6 Le treuil de forage (Draw works):

C'est le noyau 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) [cat head].
- ✚ Le déplacement de lourdes charges à de grandes vitesses. Un treuil de forage est caractérisé par sa puissance maximale de levage (**HAFSI Takieddine, SOMAA Ismail, 2013**).



Photo N°6: Le treuil de forage (Draw works).

2.5.1.2 Système de rotation (Rotation system) :

2.5.1.2.1 Table de rotation (Rotary table) :

En cours de forage, la table de rotation transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, par l'intermédiaire de fourrures et de la tige d'entraînement, et, en cours de manœuvre, supporte le poids de la garniture de forage, par l'intermédiaire de coins de retenue. La dimension nominale est caractérisée par le diamètre de passage dans lequel est installé le (master bushing) dont les rôles sont la suspension de la garniture par l'intermédiaire des cales (slips) et l'entraînement du carré d'entraînement (Kelly drive bushing) en forage. Ces dimensions peuvent être $17^{1/2}$ " , $20^{1/2}$ " , $27^{1/2}$ " , $37^{1/2}$ " et $49^{1/2}$ " . La motorisation de la table de rotation se fait par l'intermédiaire d'une roue d'entrée et chaîne soit à partir du treuil, soit, sur les appareils lourds, par moteur électrique indépendant de la transmission du treuil.

Principe de fonctionnement :

La table de rotation se compose de 3 parties (figure II.4) :

- ✚ Le bâti,

- + La partie tournante,
- + L'arbre d'entraînement.

Le corps repose sur la substructure à laquelle il est solidement fixé. La partie tournante repose sur le bâti par l'intermédiaire d'un roulement à billes ou à rouleaux qui assure en même temps sa rotation (HAFSI Takieddine, SOMAA Ismail, 2013).

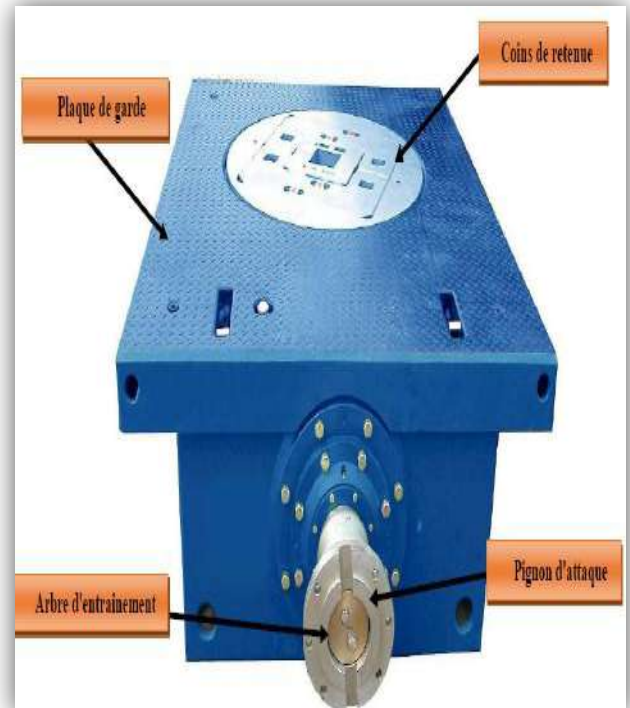
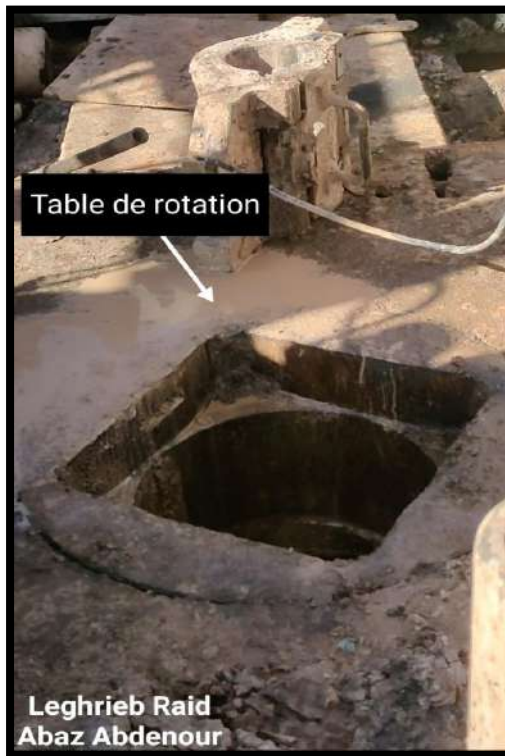


Photo N° 7: La table de rotation (Rotary Table). **Figure II.4:** La table de rotation (Rotary Table).

2.5.1.2.2 Le carré d'entraînement et les fourrures (Kelly drive bushing & Taper + Master Bushing) :

Le mouvement de rotation est transmis par la table à la tige d'entraînement par le biais d'un carré d'entraînement Fig. II.5 rendu solidaire en rotation de la table par l'intermédiaire d'une fourrure principale. Pendant les manœuvres, des fourrures intermédiaires sont mises en place à l'intérieur de fourrure principale pour pouvoir caler la garniture de forage (BOUSELSAL B. , 2016).

2.5.1.2.3 La tige d'entraînement (Kelly) :

De section carrée, hexagonale ou triangulaire, elle est entraînée en rotation par la table et par l'intermédiaire du carré (Kelly drive bushing) monté autour de sa longueur courante (Photo N°8 et Figure II.5). Ce carré est constitué de quatre rouleaux à axe horizontal de forme approprié pour transmettre le couple à la tige et par conséquent à la garniture de

forage vissée sous le raccord inférieur. L'ensemble peut coulisser longitudinalement. De longueur totale 40 ou 54 ft, elle dispose respectivement d'une longueur utile de 37 ou 51 ft. Pour des raisons de sécurité vis-à-vis d'éruption possible par l'intérieur de la garniture, on monte des vannes à chaque extrémité de la tige d'entraînement. Ces deux vannes sont opérées par rotation d'un quart de tour au moyen d'une clé que l'on conserve sur le plancher de forage. La vanne inférieure doit être de diamètre tel qu'elle puisse être descendue dans le forage en cours (**HAFSI Takieddine, SOMAA Ismail, 2013**).



Photo N°8: Organe de rotation.

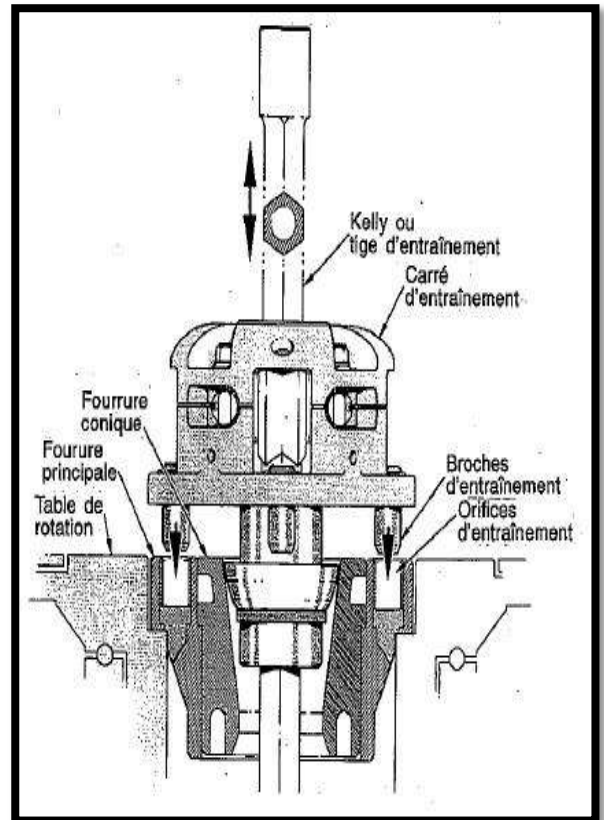


Figure II.5: Carré d'entraînement.

2.5.1.3 Le système de circulation (Mud circulation system) :

Il est formé de tous les équipements à travers lesquels la boue de forage circule. Il s'agit des bacs à boue, la conduite d'aspiration, les pompes de boue, la conduite de refoulement, la colonne montante, le flexible d'injection, la tête d'injection, la tige carrée et enfin la garniture de forage avant son retour aux bacs à boue (**voir Figure II.7**) (**SLIMANIA, DADDOU.M, 2004**).

2.5.1.3.1 La tête d'injection (Swivel) :

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.

D'autre part, un joint d'étanchéité rotatif permet l'injection sous pression du fluide de forage par le flexible de forage relié au col de cygne de la tête d'injection. Il faut noter que toutes les connexions au-dessus de la section utile de la tige d'entraînement doivent être à filetage à gauche afin de ne pas être débloqués par la rotation à droite de la table de rotation (**Jean-Paul NGUYEN,1993**).

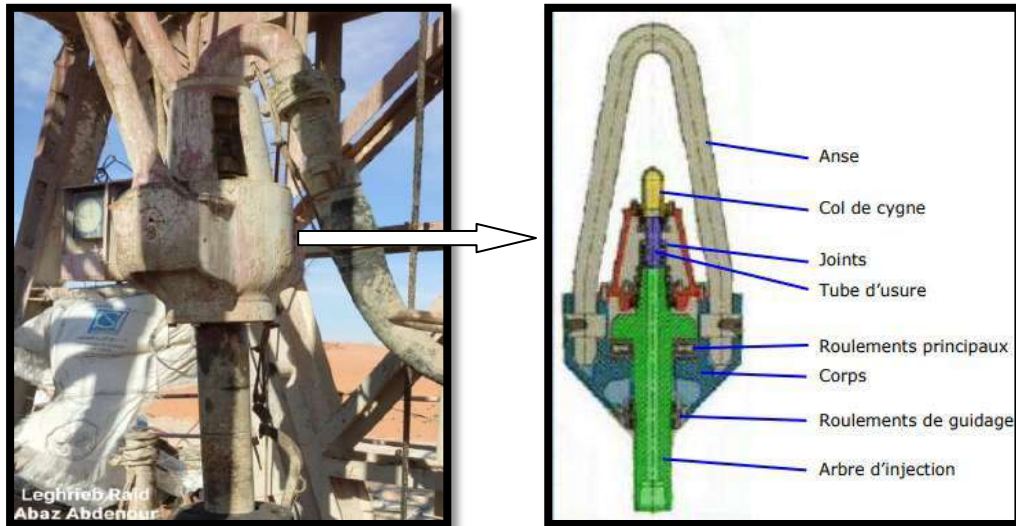


Photo N°9: La tête d'injection.

Figure II.6: La tête d'injection (Swivel).

2.5.1.3.2 La pompe à boue (Mud pump) :

Les pompe de forage doivent fournir le débit nécessaire aux phase de forage. Le choix de ce débit sera fait par l'ingénieur de forage en fonction des différentes critères suivantes :

- ✚ Vitesse de remontée de la boue dans l'annulaire tour/tiges de forage;
- ✚ Nettoyage de l'outil de forage;
- ✚ Temps maximum de remontée d'un débris de formation (cutting);
- ✚ Type d'écoulement dans l'annulaire;
- ✚ Stabilité des parois;
- ✚ Forage au moteur de fond (**Jean-Paul NGUYEN,1993**).

Ce sont des pompes alternatives à pistons , dans notre cas la pompe utilisé dans le chantier est triplex . Les trois pistons se déplace dans des chemises de cylindre amovibles, le fluide par la conduite d'aspiration, puis refoulent dans le colonne de refoulement au travers du clapet de refoulement (**Jean-Paul NGUYEN,1993**).

Caractéristique de pompe à boue Triplex **Shandong Rongli RL3NB-1300D** :

- ✚ Puissance nominale (Hp/Kw) : **1300/955**.

- ✚ Vitesse nominale (Spm) : **120.**
- ✚ Longueur de course (mm) : **305.**
- ✚ Rapport de vitesse : **4.195.**
- ✚ Diamètre d'entrée d'aspiration (mm) : **305.**
- ✚ Diamètre d'entrée de décharge (mm) : **102.**
- ✚ Liner (mm) : **φ130--φ180.**
- ✚ Pression nominale (MPa) : **10.5-34.3.**
- ✚ Débit nominale (L/s) : **24.07-46.54.**
- ✚ Le poids (T) : **26.8.**



Photo N°10: La pompe à boue triplex RL3NB-1300D.

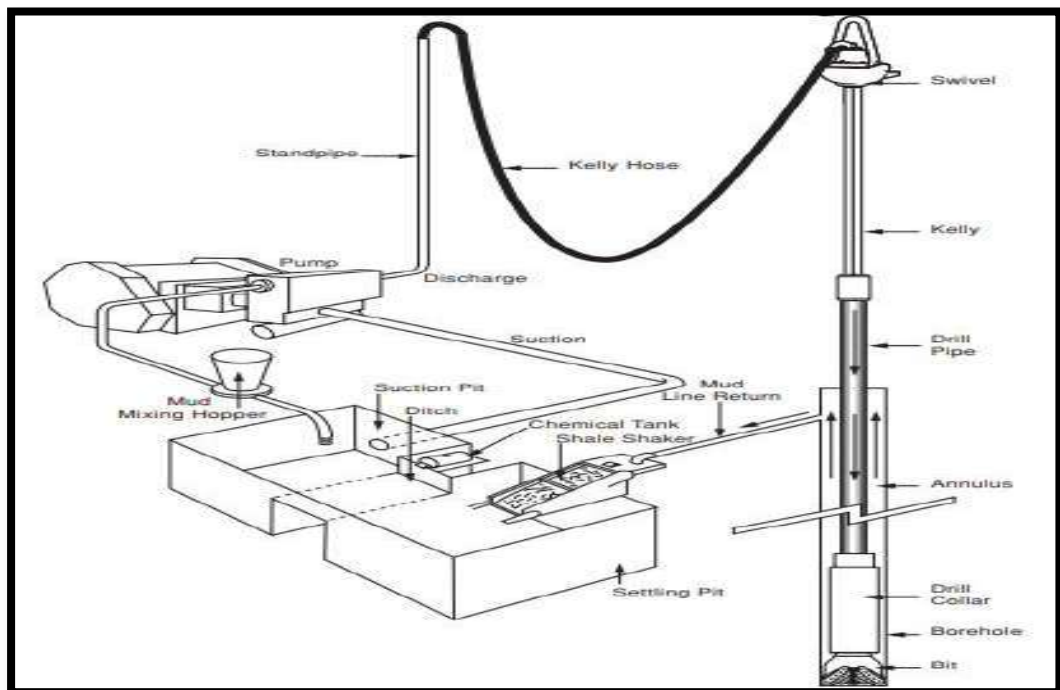


Figure II.7: Cycle de la boue de forage , source: Drilling engineering, 2004

2.5.1.4 Le système de puissance (Power system):

L'énergie est produite par des moteurs diesels, puis elle est acheminée sous forme électrique ou mécanique vers les différents systèmes d'installation: pompe à boue, treuil et table de rotation (SLIMANIA, DADDOU.M, 2004).

Systèmes	Équipements
<p>Système de puissance (Power system) SCR</p>	<p>Source d'énergie La source d'énergie est donnée par des moteurs thermiques.</p>
	<p>Puissance électrique L'énergie mécanique est transformée en courant électrique alternatif par des alternateurs de courant.</p>
	<p>Courant généré Une partie du courant alternatif est convertie en continu pour alimenter les équipements des fonctions principales, le courant alternatif est distribué pour les équipements des fonctions auxiliaires.</p>

Tableau 2.2: Système de puissance

2.5.2 Équipement de fond (Background equipment) :

2.5.2.1 Le train de tiges (Drill string) :

Cette partie de la garniture est constituée d'une série de tiges d'acier raccordées les unes aux autres par des joints filés coniques. Le train de tiges permet de contrôler l'outil par la transmission du couple moteur fourni en surface, par l'intermédiaire de la table de rotation. En outre, il fournit la pression nécessaire pour percer dans la formation et abraser les roches avec une force WOB suffisante. Cet ensemble peut atteindre une longueur de plusieurs kilomètres (1 à 8 km) (FARAG Abdulgalil, 2006).

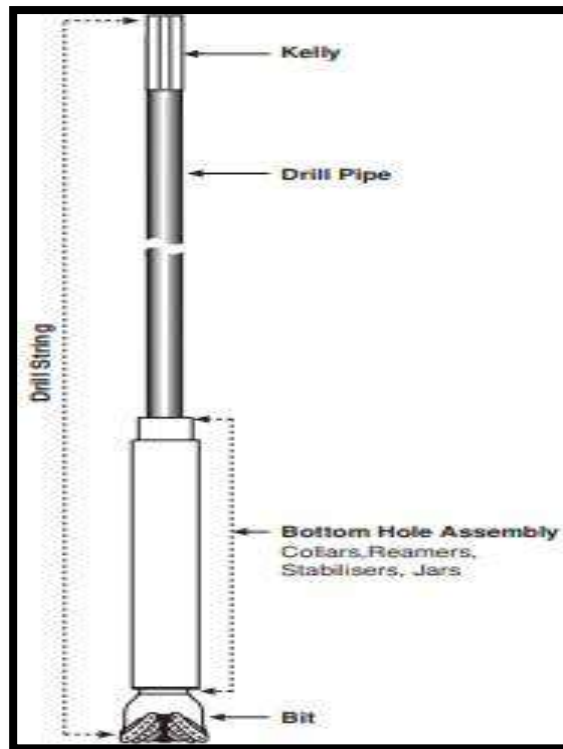


Figure II.8: Composants du train de tiges, source: Drilling engineering, 2005.

2.5.2.2 Les tiges de forage (Drill pipes) :

C'est un ensemble de tiges d'acier légères d'environ 10 m est plus de longueur, d'un diamètre extérieur pouvant aller de 9 à 15 cm et d'une épaisseur de 1 cm. assurent la transmission du mouvement de rotation à partir de la table jusqu'à l'outil et permettent aussi la canalisation du fluide de forage jusqu'à ce dernier. Elles travaillent en tension afin d'éviter les problèmes liés à leur frottement contre les parois (FARAG Abdulgalil, 2006).



Photo N°11: Les tiges de forage.

2.5.2.3 Assemblage de fond BHA (Bottom Hole Assembly) :

C'est la partie inférieure de la structure de garniture, constituée de l'outil, des stabilisateurs et des masses-tiges. La longueur de cet ensemble varie typiquement de 100 à 300 m en fonction de la pression recherchée (FARAG Abdulgalil, 2006).

2.5.2.3.1 Les masses-tiges (Drill Collars) :

Ce sont des tubes de fortes sections permettant d'exercer du poids sur le trépan. Les masses-tiges sont sollicitées en compression et en torsion. Les diamètres de ces tiges peuvent varier selon les puits, de 6 à 8 cm pour le diamètre intérieur et de 10 à 25 cm pour le diamètre extérieur pour une épaisseur de 6 à 16 cm, ce qui leur confère une bonne rigidité en torsion et en compression (FARAG Abdulgalil, 2006).

Sur le chantier ils sont utilisés les masses-tiges lisses, L'utilisation du collier de sécurité pour leur manœuvre dans le puits est obligatoire.

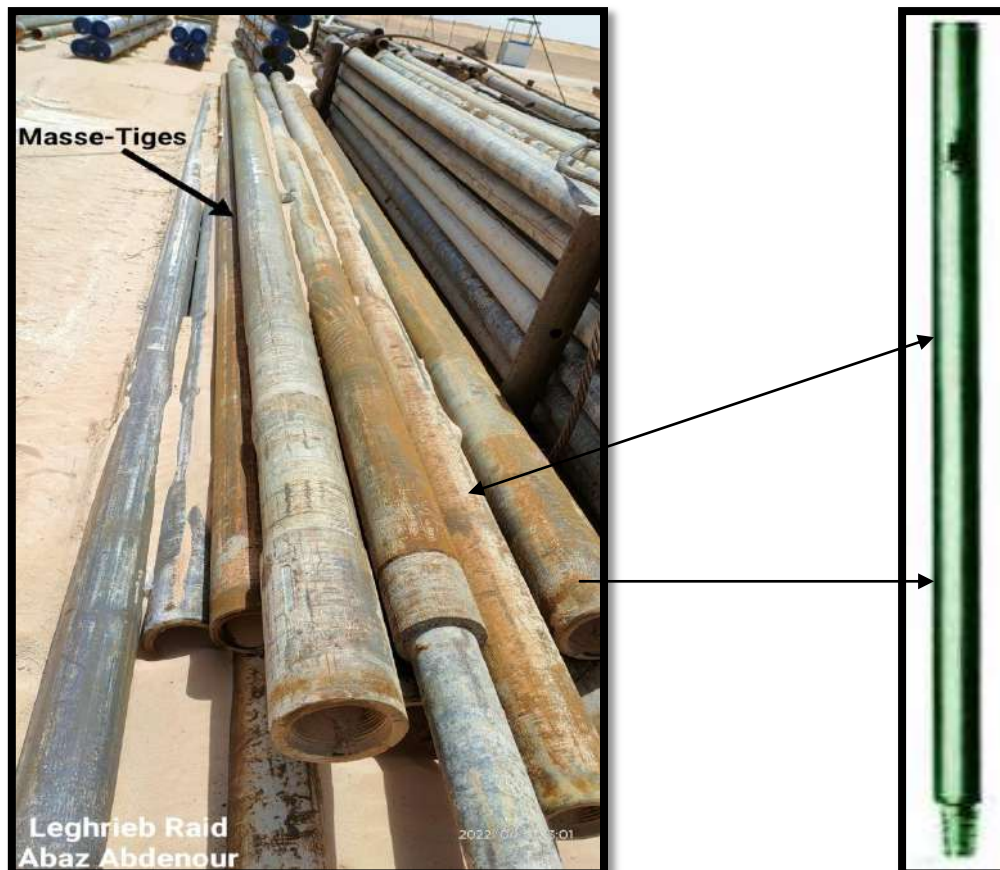


Photo N°12: Smooth Drill Collars.

Figure II.9: Les masse-tiges lisses.

2.5.2.3.2 Les stabilisateurs (Stabilisers) :

Ce sont des tubes de longueur nettement plus faible que celle des masses-tiges et dont le diamètre extérieur est voisin de celui du trépan. Ils sont placés au niveau des masses tiges et parfois intercalés entre deux masses-tiges pour assurer le centrage et le guidage de

l'assemblage de fond. Ils maintiennent le trépan perpendiculaire à la formation, ce qui augmente sa performance (**FARAG Abdulgalil, 2006**).

L'utilisation de trois stabilisateurs paraît être un maximum compte tenu des frottements importants qu'ils induisent dans le puits (**ENSPM, garn. 2006**).

Il existe plusieurs types de stabilisateurs :

- ✚ Stabilisateurs à lames soudées (Welded Blade stabilisers) ;
- ✚ Stabilisateurs à lames intégrées (Integral Blade stabilisers) ;
- ✚ Stabilisateurs à chemise interchangeable (Sleeve Type stabilisers) ;
- ✚ Stabilisateurs à chemise non rotative (non rotative stabilisers).



Photo N°13: Stabilisateur à lames droites et obliques.

2.5.2.3.3 Les élargisseurs (Hole opener Reamers) :

Les élargisseurs mécaniques fixes (Hole opener) sont utilisés plus particulièrement en gros diamètres à partir de la surface. En effet il n'est pas possible d'obtenir une bonne stabilisation dans un gros diamètre même avec des masse-tiges surdimensionnées. Pour cela on fore un avant trou à un diamètre maximum de 26" qu'on élargit ensuite au diamètre désiré soit de 36" ou parfois de 48 (F.G

Les élargisseurs hydrauliques (Underreamer) sont utilisés pour élargir en dessous d'un trou déjà foré et tubé. Pour cela le corps et les bras rétractés doivent avoir un diamètre inférieur au diamètre du tubage précédent. Les opérations les plus courantes exécutées avec des élargisseurs hydrauliques le sont dans les cas :

- ✚ D'un gravel pack ;
- ✚ D'un liner ou tubage intermédiaire ;
- ✚ D'un standard spécial : tubage 10^{3/4}" sous 13^{3/8}" classique (**GRONDIN.F, 2004**).

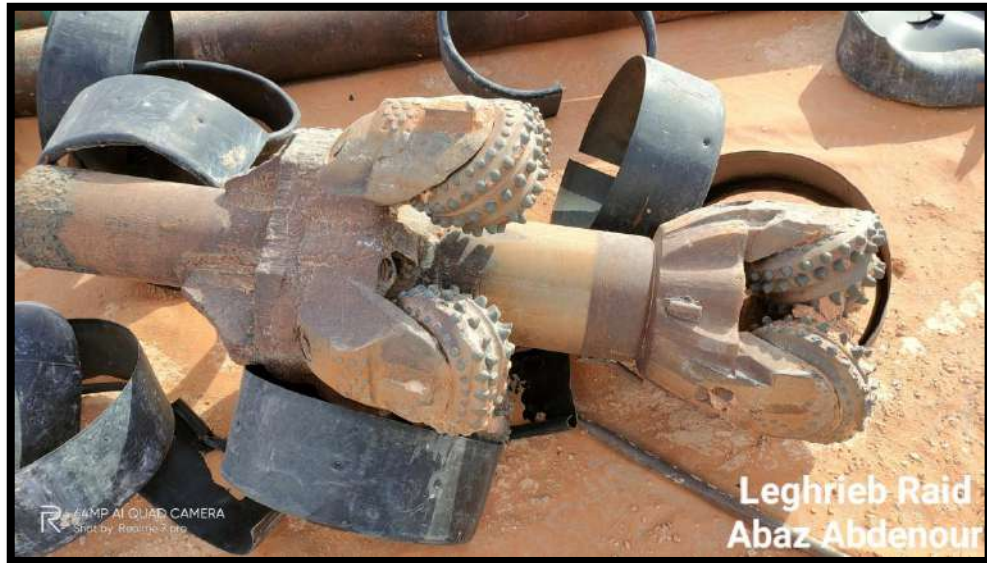


Photo N°14: Élargisseur mécanique fixe.

2.5.2.3.4 Les aléseurs (Reamers) :

Les aléseurs constitués généralement des rouleaux dont la surface est abrasive, montés autour d'un corps tubulaire. Le nombre de rouleaux varie de deux à six. Ils sont usinés ou fabriqués avec des revêtements différents permettant de s'adapter aux formations traversées (dents d'acier ou boutons de carbure de tungstène). L'utilisation principale des aléseurs à rouleaux est de maintenir le diamètre d'un trou ayant tendance à se resserrer. Créant moins de torque que les stabilisateurs à lames et étant moins endommageant pour la paroi du trou, ils sont quelquefois utilisés pour centrer la garniture dans le trou.



Photo N°15: Aléteur.

2.5.2.3.5 L'outils de forage Rotary (Rotary Drilling Bits) :

Le trépan est monté à l'extrémité d'un train de tiges. C'est un outil qui sert à tailler et détruire la roche. Il existe différents types de trépan, chaque type étant choisi pour une opération de forage spécifique, en fonction de la nature de la formation (plus ou moins dure) et de la résistance mécanique des terrains (forabilité, stabilité des parois, comportement des argiles...). La mécanique de l'outil de forage influence directement la vitesse de progression ROP (**GRONDIN.F, 2004**).

Il existe une grande gamme d'outils de technologies différentes pour couvrir tous les besoins techniques et économiques.

✚ **Les outils à molettes (roller bits) :** Trois ou quatre molettes à axe horizontal ou légèrement incliné, montées sur de solides roulements à billes ou à galets. Ces outils sont munis — comme les outils à lames — d'une partie fileté sur cône qui assure un montage très rapide et, après blocage à la clef, un joint rigoureusement étanche . La denture des molettes varie selon la nature du terrain. Les dents sont longues et écartées pour les terrains tendres, elles sont courtes, fines et rapprochées pour les terrains durs. Ces outils procèdent par écrasement et éclatement de la roche.

Des événements calibrés (duses) ajoutent à l'efficacité des molettes en désagrégeant le terrain sous de puissants jets. Les outils à molettes sont rapidement mis hors d'usage, rares sont les entrepreneurs qui rechargent les dents usées et, le plus souvent, ces outils périssent par leurs roulements. Dès qu'ils ont pris un peu de jeu, il serait dangereux de les redescendre dans le trou, car ils ne tarderaient pas à laisser au fond leurs molettes et leurs roulements qu'on aurait bien du mal à « repêcher » (**Albert MABILLOT, 1995**).

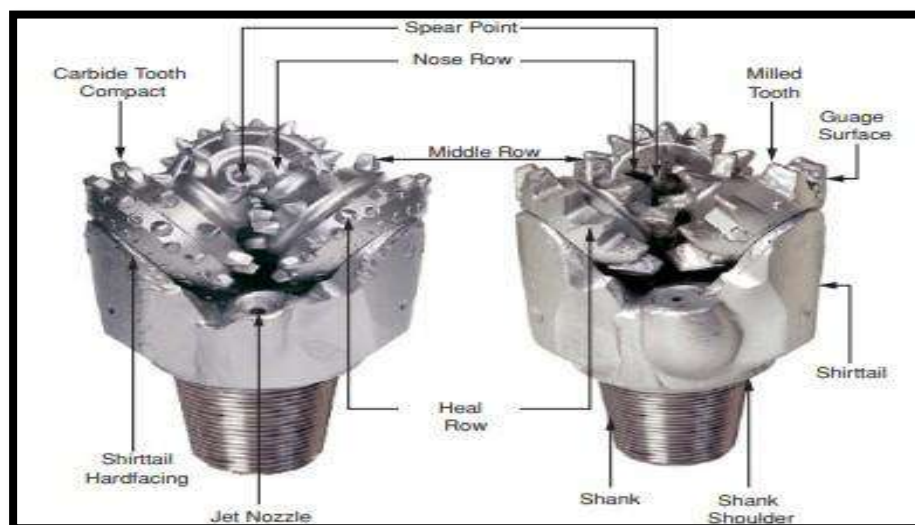


Figure II.10: Les éléments de l'outil à molettes (rock bit), **source:** Drilling engineering, 2005

✚ **Les outils à diamant** : Les outils à diamant ont fait leur apparition vers 1870 pour la recherche du charbon. L'utilisation du diamant par l'industrie du pétrole est plus récente. L'utilisation du diamant s'est étendue au forage pétrolier vers 1930 (carottage). En Europe, les outils diamantés sont apparus vers 1953. Les outils diamantés sont de trois types :
 ♦ À diamants naturels: le diamant naturel abruse la roche et travaille comme une macro meule.
 ♦ À taillants PDC (polycristallin diamond compact : diamant polycristallin) : ils cisailent la roche en découpant des copeaux comme un outil de tournage des métaux .
 ♦ À taillants TSP (thermally stable polycristallin : diamant thermostable). La forme de tous ces outils de forage est monobloc ce qui leur confère une certaine solidité (ENSPM, les outils. 1999).



Figure II.11: Un outil à diamant naturel.

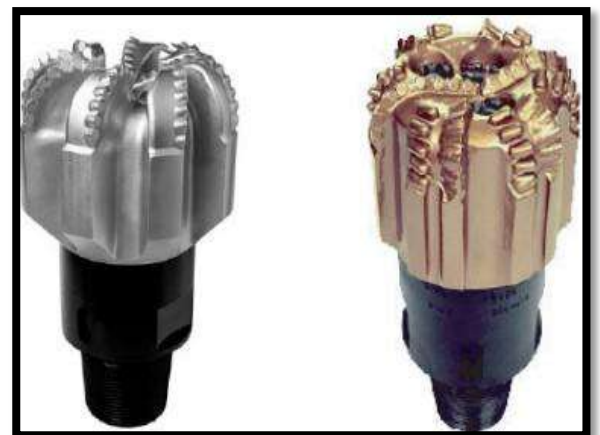


Figure II.12: Trépan P.D.C.

2.5.3 Choix des outils :

En raison de la grande variété de dureté des formations, de la trop grande variété des types d'outils, il n'est pas facile de choisir le meilleur outil pour le terrain que l'on traverse.

Il peut exister, pour une formation donnée, plusieurs types d'outils capables d'assurer un bon service. Une étude comparative effectuée au cours des premiers forages permettra d'effectuer les autres forages d'exploitation dans des conditions excellentes de rapidité et d'économie. Le meilleur outil est celui qui permet d'obtenir le prix du mètre foré le plus bas, dans de bonnes conditions techniques (SLIMANIA, 2004).

✚ **Choix des outils par la méthode de break even** : Le break-even est une méthode qui permet d'évaluer la rentabilité d'un ou plusieurs outils par rapport à un ou plusieurs autres outils dont la performance est connue. Elle est particulièrement intéressante sur site, en cours de forage, où il est possible à chaque instant d'avoir une idée de la rentabilité de l'outil qui fore. (SLIMANIA, 2004).

Le prix du mètre foré est donné par la formule suivante :

$$P_m = \frac{P_o + P_h(T_r + T_m)}{m} \dots\dots\dots (II.1)$$

Où :

P_m : Prix du mètre foré ;

P_h : Prix des horaires de l'appareil de forage ;

P_o : Prix de l'outil neuf ;

T_r : Temps de rotation de l'outil pour effectuer le métrage M ;

T_m : Temps de manœuvre nécessaire pour descendre et remonter l'outil ;

m : Métrage foré.



*Chapitre III: Suivi de la
réalisation du forage*

3.1 Introduction :

Ce chapitre, présente les principaux travaux réalisés pour chaque phase du forage étudié. Ce forage a été réalisé par l'entreprise chinoise " SARL SHAOLIN ". Le forage capte l'albien, une nappe du continental intercalaire dans la zone de Hassi Lekhfif Ouargla.

3.2 Implantation du forage

3.2.1 Choix du site :

Le choix de l'implantation de l'ouvrage est une étape importante. Le forage doit être implanté dans un environnement préservé et éloigné de toute source de pollution. Le site doit être choisi en points de vue géologique et hydrogéologique ...

On fera un résumé des connaissances, sur la géologie locale ou régionale à partir des documents existants (cartes et rapports géologiques, visites de terrain) les puits marquants, pouvant avoir une incidence sur l'implantation du forage, doivent être, signalés : accidents tectoniques, terrains non consolidés, roches dures

Aussi pour l'hydrogéologie de zone, on va collecter toutes les connaissances hydrogéologiques sur la zone pour procéder à une implantation avec le maximum de succès.

On décrira toutes les nappes déjà connues avec leurs caractéristiques : zones de bonne transmissivité , piézomètres et forages réalisés, débits obtenus, qualité des eaux, relations avec les oueds.

Dans le cas où une prospection géophysique a été réalisée dans la zone, il est intéressant de citer les résultats obtenus, de nature à conforter l'implantation de l'ouvrage .

3.2.2 Localisation du forage :

Le forage a été implanté à environ 38 Km au Nord Est de la commune de NGoussa (à vol d'oiseau) .

X	32°26'49"
Y	05°19'49"
Z	117 m

Tableau 3.1 Les coordonnées géographiques du forage

3.3 Objectif du forage :

Le forage a été réalisé pour le renforcement des besoins d'irrigation pour la préservation de la palmeraie, il est prévu pour cela la réalisation d'un forage profond albien de 1450 m à Hassi Lekhfif dans la Wilaya de Ouargla.



Figure III.1: Localisation du forage par (Google Earth).



Figure III.2: L'emplacement exact de Hassi Lekhfif sur (Google Maps).

3.4 Préparation et Installation de chantier :

3.4.1 Construction de la plateforme du forage :

La plateforme est construite avant les travaux de forage. La forme de la plateforme (L×l×e = 18×9×0.20m.) dépend de l'installation complète de l'atelier forage. La base de vie est installé en général sur un plateau en tuf compacté.

La zone d'installation de l'atelier des pompes sont en béton armé. Une piste d'accès est en général nécessaire.

3.4.2 Installation du chantier forage Hassi Lekhfif :

L'entreprise va construire les plateformes conformément aux caractéristiques de l'appareil et besoins des travaux, les bassins et les rigoles, ainsi que d'aménager la zone de travail et la base de vie durant la réalisation du projet.

Dans la zone de travail, outre la plateforme, les bassins et les rigoles, il y existe encore division des outils et tiges, division des tubages, division des matériaux (produits de boue et ciments) etc (ANRH rapp. , 2022).



Photo N°16: Installation de Chantier de forage Hassi Lekhfif.

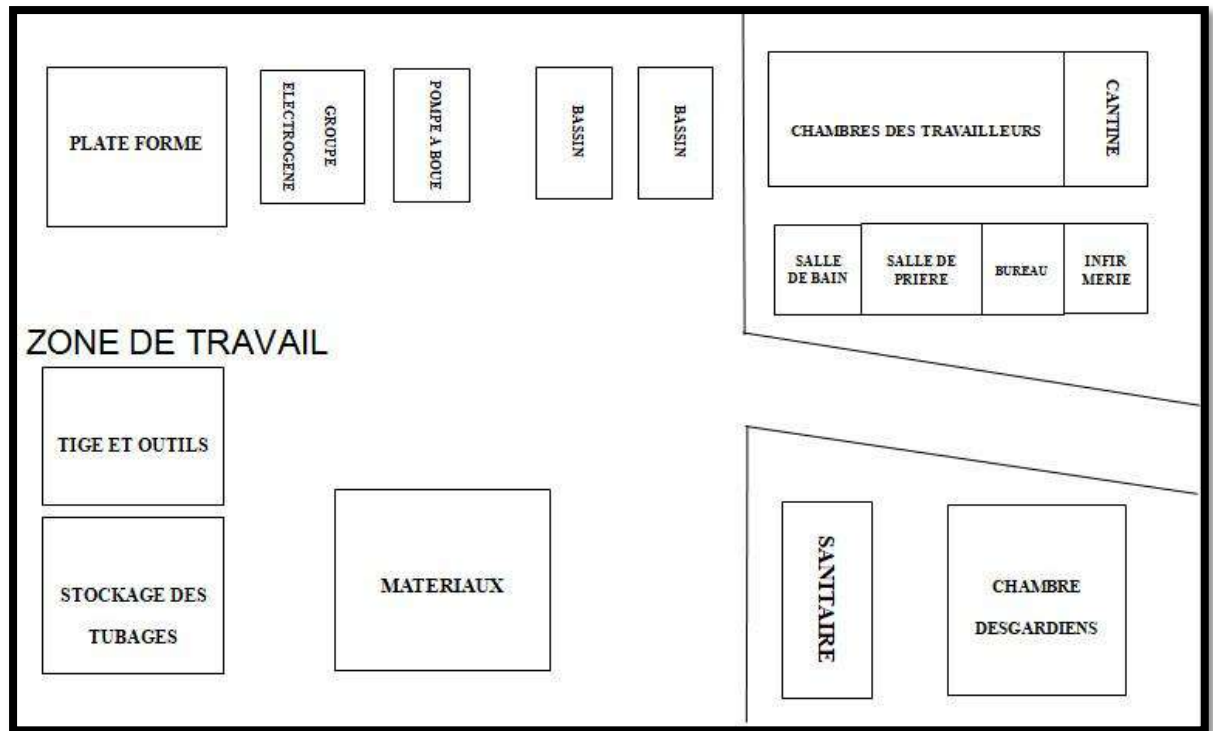


Figure III.3: Schéma montrant exact la zone de travail, **source:** (ANRH rappo. , 2022).

3.4.2.1 Montage et démontage de l'appareille de forage :

L'entreprise va organiser des équipes de transport pour amener et emmener des appareils lourds et sera chargée du montage et démontage des appareils à l'aide de sa grue et d'autres engins nécessaires après les préparations du site et du travail.

L'entreprise dispose de plusieurs équipes capables et appareils de forages afin de travailler parallèlement sur ces sites tout en assurant l'achèvement du projet dans les meilleurs délais (ANRH rapp. , 2022).

3.5 Les fluides de forage :

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

...). Le fluide de forage était déjà présenté en 1933 lors du premier Congrès Mondial du Pétrole, où il a fait l'objet de cinq communications. (GRAY G.R, Darley, 1988).

3.5.1 Rôles du fluide de forage:

Les boues de forage doivent avoir des propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes :

- ✚ Nettoyage du puits,
- ✚ Maintien des déblais en suspension,
- ✚ Sédimentation des déblais fins en surface,
- ✚ Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits,
- ✚ Dépôt d'un cake imperméable,
- ✚ Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile,
- ✚ Entraînement de l'outil,
- ✚ Apport de renseignements sur le sondage,
- ✚ Augmentation de la vitesse d'avancement,
- ✚ Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde,
- ✚ Contamination des formations productrices,
- ✚ Corrosion et usure du matériel,
- ✚ Toxicité et sécurité,
- ✚ Diminution du poids apparent du matériel de sondage.

3.5.2 Types de fluides de forage:

3.5.2.1 Boue à base d'eau (WBM):

Les boues WBM sont les plus utilisés dans le domaine du forage rotary. Ils sont généralement constitués par des suspensions d'argile (bentonite, ...), des solides inertes (carbonates,) dont les caractéristiques rhéologiques sont corrigées par l'addition de polymères viscosifiants (Xanthane, ...), des réducteurs de filtrat (carboxyméthylcellulose, polymères synthétiques...) (Ryen CEANN, George V.CHILLINGAR, jour.).

Il est possible de classer ce type de fluides en trois catégories :

- ✚ Boues douces (boues bentonitiques);
- ✚ Boues salées;
- ✚ Boues salées saturées.

3.5.2.2 Les fluides à base d'huile (OBM):

Les fluides à base d'huile sont des fluides dont la phase continue est l'huile minérale (pétrole brut, fuel, gazoil, ...) et contenant plus de 5% d'eau en phase

dispersée (IDF, 1988).

3.5.2.3 Les fluides à base gazeuse :

Ce sont des fluides dont la phase continue est du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajoutée intentionnellement. Le gaz peut être de l'air, du gaz naturel, de la mousse ou du brouillard. (ADAMA.T, BOURGOYN Jr, 1991).

3.5.3 Caractéristiques physiques et chimiques des boues :

3.5.3.1 La densité (Masse volumique) :

C'est le rapport du poids d'un corps à son volume dans des conditions définies de température et pression. Le poids volumique s'exprime en N/m^3 ou Kg/l . La densité du fluide de forage varie de 0.9 à 2.4, elle est mesurée avec un densimètre sur chantier de forage. Cette caractéristique est très importante et doit être contrôlée régulièrement. La densité doit être telle que la pression hydrostatique soit suffisante pour contrôler les fluides de formation (eau, gaz, huile) et ne doit pas dépasser la limite de résistance des parois du forage (formations traversées) pour ne pas les fracturer et ne pas risquer une perte de boue au cours de la circulation.

La pression hydrostatique exercée par la boue au fond du forage, est donnée par l'expression suivante :

$$P_{hyd} = \frac{d_b \times H}{10} \quad (III.1)$$

Où :

P_{hyd} : Pression de la formation (kg/cm^2) ;

H : Profondeur du forage (m) ;

d_b : Densité de la boue.

$$P_H = 9.81 \times Z \times d \quad (III.2)$$

Où :

P_h : Hydrostatic pressure (Kpa) ;

Z : Vertical depth (m) ;

d : Mud weight (Kg/l).



Photo N°17: Un densimètre (la balance à boue) sur chantier de forage [Taken by Leghrieb Raid et Abaz Abdenour 2022].

✚ L'ajustement de la densité :

a. L'allègement :

Si au cours de forage, la boue devient trop visqueuse et difficilement pompable ou si sa densité est trop grande, il faut l'alléger par l'ajout d'un certain volume d'eau, d'huile ou d'une autre boue plus légère ou au moyen d'une solution traitante dont la composition est la suivante (eau (1000 L), Tanin (3 à 5 kg), NaOH (1 à 2 Kg) et CMC (5 à 10 kg).

Le volume de fluide d'allègement est donné par :

$$V_a = \frac{D_i - D_f}{D_f - D_a} \times V_i \quad \text{(III.3)}$$

Où :

V_a : le volume de fluide d'allègement à ajouter (m^3);

D_i et D_f : les densités initiale et finale de la boue;

D_a : la densité de fluide d'allègement; V_i : le volume initial de la boue (m^3).

b. L'alourdissement :

Par contre, si on veut alourdir la boue pour lui donner une densité convenable, on peut ajouter une quantité d'un produit alourdissant. La masse à ajouter de ce produit est donnée par :

$$m_a = \frac{D_i - D_f}{D_f - D_a} \times V_a \quad \text{(III.4)}$$



Photo N°18: Les sacs de Barytine (Big-Bag 1500 Kg).

Alourdissant	La densité
Barytine	4.2
Carbonate de calcium	2.8
Galène	6.8
Argile	2.5
Gypse	2.3
Dolomie	2.8

Tableau 3.2: Les différents alourdissant, **source:** (Projet prof. de fin de formation .. réservoir engineering).

3.5.3.2 La viscosité :

La viscosité représente la résistance d'un fluide à l'écoulement causée essentiellement par le frottement des particules en suspension. Elle dépend avant tout de la teneur en solides contenue dans la boue et de la présence des polymères. Une augmentation de viscosité ne pourra donc être combattue que par l'élimination de solides. D'un point de vue pratique, on définit deux types de viscosité (exprimées en cP) : une viscosité apparente et une viscosité plastique souvent liée à la taille des particules, et à leur forme. Sur le chantier, la mesure de routine de la viscosité se fait au moyen de l'entonnoir Marsh qui mesure le temps d'écoulement d'un volume de boue donné à travers un orifice donné. Elle mesurée aussi à l'aide d'un viscosimètre Fann.

Une boue trop visqueuse devient difficile à pomper alors qu'une boue trop fluide risque de se dissocier et perd ses propriétés de consolider les parois. Une viscosité maximale améliore la mise en suspension des déblais et réduit l'infiltration et l'érosion, tandis qu'une faible viscosité améliore la lubrification et réduit les pertes de charge et accélérant ainsi l'avancement du forage.

✚ L'ajustement de la viscosité:

Si la viscosité est très importante, on peut distinguer deux cas :

- a. La phase argileuse est excessive: il faut diluer par une eau claire, une boue d'appoint ou une solution traitante.
- b. La phase argileuse est non excessive: fluidifier la boue par traitement au tanin/ soude ou au FCL/ soude.

Si elle est très faible, l'augmenter par l'addition de bentonite .



Photo N°19: Viscosimètre Marsh [Leghrieb Raid et Abaz Abdenour 2022].

3.5.5 Stockage de la boue et produits à boue :

La plupart des installations de forage modernes sont équipées de cabines de stockage montées sur patins pour l'emmagasinement des produits à boue. La protection contre l'humidité des produits tels que les alourdisant, la bentonite, la quebracho, la CMC et en général de tous les produits secs, est en effet essentielle. La soude caustique en futs, doit être stockée de telle manière, que l'eau ne puisse pas s'accumuler sur les couvercles. Une infiltration d'eau dans un fut endommagé, provoque le durcissement de la soude caustique, qui est ensuite plus difficile

à manipuler pendant les opérations de mélange. La dimension de la cabine de stockage des produits à boue dépend entièrement des quantités à garder en réserve sur l'installation de forage.

Ceci dépend à son tour du programme de boue, de la profondeur du puits, de la distance au magasin du fournisseur le plus proche, ainsi que d'autres facteurs. Certains produits à boue reviennent à plus de 10 francs par kilo ; aussi, les pertes provoquées par quelques emballages défectueux reviennent rapidement plus cher, que l'achat d'une cabine de stockage (P.Mortard , A.HENTZ, 1972).



Photo N°20: Les sacs de Bentonite (Big-Bag 1250 Kg).

3.5.6 Appareils d'épuration mécanique :

3.5.6.1 Le tamis vibrant (Shale Shaker) :

Cette appaareille est le plus important dans le contrôle des solides, et la première défense contre l'accumulation des solides. Ils se compose d'un cadre qui porte un filtre incliné de faire en acier inoxydable, la boue chargée en déblais arrivée de la goulotte tombe sur le filtre, et le tamis est amené à un mouvement de vibration a laide d'un moteur mécanique. L'idée c'est que la boue passe a travers le filtre, et la plus part des cuttings sont séparé du circuit.



Photo N°21 Le tamis vibrant sur le chantier.

3.6.1 Les fosses à boues :

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'une fosse de décantation, d'une fosse de pompage et de canaux. Le premier canal doit être assez long pour que la fosse soit en dehors du trottoir du futur point d'eau pour éviter le tassement différentiel sous la dalle. L'axe du second canal doit être décalé de celui du premier pour favoriser la décantation. Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage. Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser . (BOUKAOUAD el hachemi, 2020)

	Largeur [m]	Longueur [m]	Profondeur [m]	Volume [m ³]
La fosse de décantation	2.86	4.77	1.5	20,46
La fosse de pompage	2.74	4.90	1.8	24,16

Tableau 3.3: Le dimensionnement de fosses utilisées.



Photo N°22: Les fosses à boue.

3.6.2 Le programme de boue du forage albien :

Il doit être établi en tenant compte, des terrains des aquifères et des couches supérieures; Mio-Pliocène, Sénonien, les zones de pertes de boue, la présence des formations géologiques salifères et les zones de fortes pressions de couche (CI). Dans les zones salifères, la boue de forage devra être saturée en sel. A titre indicatif, les caractéristiques principales de la boue à utiliser sont illustrées dans le tableau les suivantes:

	Densité [Kg/L]	Viscosité Marsh [seconde]	Filtrat [cm ³]
Tube guide (boue de démarrage)	1,03 à 1.05	40 à 70	12 à 25
Colonne surface	1,15	80	15 à 20
Colonne intermédiaire et production	1,32 à 1,40	45 à 80	10
Colonne de captage	1,23	45 à 60	4 à 5

Tableau 3.4: Programme de boue de forage Albien.

3.6.3 Calcul du volume de boue pour toutes les phases du forage Hassi Lekhfif :

Le calcul d'un volume de boue pour une phase d'un puits est donné par la formule suivante:

$$\text{Volume de boue} = \text{volume de trou} + \text{volume surface} + \text{volume de réserve}$$

➤ **Volume du trou de forage V_{tr} [L/m] :**

C'est le volume qui se trouve à l'intérieur du puits, du fond jusqu'en surface, lorsque la garniture est en surface :

$$V_{tr} = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} \quad \text{(III.5)}$$

D : Diamètre du trou (m)

L : Profondeur du trou (m)

➤ **Volume de surface V_s [m³] :**

C'est la somme des volumes de la goulotte, bac d'aspiration et celui de décantation.

$$V_s = V_{goulotte} + V_{bac\ asp} + V_{bac\ déc} \quad \text{(III.6)}$$

➤ **Volume de réserve $V_{rés}$ [m³] :**

C'est le volume nécessaire en cas de perte. il est égale au volume de trou pour la première phase (cas où il y a des pertes totales) et la moitié de ce volume pour les autres phases (cas où il n'y a pas des pertes).

$V_{rés} = V_{tr}$: Dans la 1ère phase à cause des pertes de boue importantes (partielles ou totales).

$V_{rés} = 1/2 V_{tr}$: dans le cas où il n'y aurait pas de pertes.

➤ **Calcul du volume de boue pour la phase en 30" (Colonne de surface) [0-85m] :**

$$V = s \times H \quad (\text{III.7})$$

Avec :

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (\text{III.8})$$

et

$$d = d_{tr} = 30'' = 76,2 \text{ cm.}$$

D'après le D.D.H page 205 D5 :

$$V_{u30''} = 456 \text{ L/m.}$$

K : Le coefficient de cavernosité = **1,25**;

$$V_g = 5 \text{ m}^3;$$

$$V_{\text{Bassin}} = 44,62 \text{ m}^3.$$

$$V_{\text{rés}} (\text{ pas de risque de perte }) = V_p / 2 = 24,22 \text{ m}^3.$$

$$V_T = (456 \times 0.001 \times 1.25 \times 85) + 44,62 + 5 + 24,22 = 122,29 \text{ m}^3.$$

➤ **Les produits consommés :**

a) La quantité d'argile (bentonite) nécessaire pour le tube guide :

$$q_a = \frac{\gamma_a (\gamma_b - \gamma_e)}{\gamma_a - \gamma_e} \times V_b \quad (\text{III.9})$$

 γ_a : Densité de l'argile (Bentonite) = 2.5; γ_b : Densité de la boue = 1.03; γ_e : Densité de l'eau = 1; V_b : Volume de boue 122,29 m³.

$$q_a = \frac{2.5(1.03-1)}{2.5-1} 122.29 = 6.11 \text{ tonne}$$

$$N = \frac{q_a}{1.25} = 4,88 \cong 5 \text{ (Big - Bag)}$$

b) La quantité d'eau de mixage :

La formule suivantes par laquelle le volume d'eau ajouté à l'argile suffisant pour être bien mélangé :

$$q_e = \frac{\gamma_a - \gamma_b}{\gamma_a} \times V_b \quad (\text{III.10}) \leftrightarrow q_e = \frac{2.5 - 1.03}{2.5 - 1} \times 122,29 = 119,84 \text{ m}^3$$

- **Calcul du volume de boue pour la phase en 26" (Colonne technique) [85m-350m] :**

D'après le D.D.H page 205 D5 : $V_{u26''} = 342.5 \text{ L/m}$ et $V_{u28''} = 397.3 \text{ L/m}$.

$$H = 350 - 85 = 265\text{m};$$

γ_b : Densité de boue = 1.15.

$$V_g = 5\text{m}^3;$$

$$V_{\text{Bassin}} = 44,62 \text{ m}^3;$$

$$V_{\text{rés}} = V_p / 2 = 56,72 \text{ m}^3 .$$

$$V_T = V_{\text{csg}28''} + V_{\text{tr}26''} = 33,77 + 219,79 = 253,56 \text{ m}^3$$

$$q_a = \frac{2.5(1.15-1)}{2.5-1} \times 253,56 = 63,39 \text{ t} \quad (\text{III.9})$$

$$N = \frac{Q_a}{1.25} = 51,71 \cong 52 \text{ (Big - Bag)} \quad (\text{III.9})$$

$$q_e = \frac{2.5-1.15}{2.5-1} \times 253,56 = 228,20 \text{ m}^3$$

1. **Calcul du volume de boue pour la phase en 17"^{1/2} (Colonne de production) [350-1123m] :**

D'après le D.D.H page 204 D4 : $V_{u17''1/2} = 155.2$ et $V_{u18''5/8} = 175.8 \text{ L/m}$.

$$H = 1123 - 350 = 773\text{m};$$

γ_b : Densité de boue = 1.32;

$$V_g = 5\text{m}^3;$$

$$V_{\text{Bassin}} = 44,62 \text{ m}^3;$$

$$V_{\text{rés}} = V_p / 2 = 74,98 \text{ m}^3 .$$

$$V_T = V_{\text{csg}18''5/8} + V_{\text{tr}17''1/2} = 61,53 + 274,56 = 336,09 \text{ m}^3 .$$

$$q_a = \frac{2.5(1.32-1)}{2.5-1} \times 336,09 = 168,04 \text{ t}$$

$$N = \frac{Q_a}{1.25} = 134,43 \cong 135 \text{ (Big - Bag)}$$

$$q_e = \frac{2.5-1.32}{2.5-1} \times 336,09 = 262,15 \text{ m}^3$$

- **Calcule du volume de boue pour la phase en 12^{''1/4} (Colonne de captage) [1123-1450m] :**

D'après le D.D.H page 204 D4 : $V_{u12''1/4} = 76.04$ et $V_{u13''3/8} = 90.64 \text{ L/m}$.

$H = 1123 - 1450 = 327\text{m}$;

γ_b : Densité de boue = 1.30 ; $V_g = 5\text{m}^3$;

$V_{\text{Bassin}} = 44,62 \text{ m}^3$;

$V_{\text{rés}} = V_p / 2 = 15,54 \text{ m}^3$.

$$V_T = V_{\text{csg}13''3/8} + V_{\text{tr}12''1/2} = 101,78 + 96,24 = 198,02 \text{ m}^3.$$

$$q_a = \frac{2.5(1.23-1)}{2.5-1} \times 198,02 = 75,24 \text{ t}$$

$$N = \frac{Q_a}{1.25} = 60,19 \cong 61 \text{ (Big - Bag)}$$

$$q_e = \frac{2.5-1.23}{2.5-1} \times 198,02 = 166,33\text{m}^3$$

- **Calcule du volume totale de boue et bentonites et l'eau de mixage :**

$V_{\text{goulotte}} : 2 \text{ à } 5 \text{ m}^3$. en prendra 5m^3 .

$V_{\text{Bassin}} = 44,62 \text{ m}^3$.

$$V_b = V_{\text{Puits}} + V_{\text{Bassin}} + V_{\text{goulotte}} + V_{\text{réserve}} \quad (\text{III.10})$$

$$V_{b.T} = 98,07 + 253,56 + 336,09 + 198,02 = 885,74\text{m}^3$$

$$N_T = 5 + 52 + 135 + 61 = 253 \text{ (Big - Bag)}$$

$$q_{e.T} = 119,84 + 228,20 + 262,15 + 166,33 = 762,52 \text{ m}^3$$

3.7 Exécution du forage Hassi Lekhfif :

L'entreprise dispose de moyens de réalisation ainsi que de techniques de foration qui assureront la construction de l'ouvrage aux caractéristiques imposées.

Au cours de la réalisation, l'entreprise va exécuter le forage par rotation avec circulation de boue qui est le plus couramment employé en travaux profonds jusqu'au toit de l'aquifère visée (sable de l'Albien). L'avancement s'effectue par la double action du poids appliqué à l'outil et du mouvement tournant auquel cet outil est soumis.

Dans Le forage que nous avons suivi ont utilisé un appareil de forage lourd de marque SKD-3000B , d'une capacité de 220 tonnes au crochet, pouvant forer plus que 2000 m de profondeur.

3.8 Construction du trou :

La forage à été effectué suivant les phases ci-après exposées :

Début de forage :

- ✓ Forage avant puits en Ø 30" suivant les cas particuliers de 0 à 85m;
- ✓ Pose d'un tube guide en **TNRS Ø 28"** de 0 à 85m;
- ✓ Cimentation du tube guide au coulis de ciment par injection sous pression jusqu'au jour;
- ✓ Contrôle du volume injecté;
- ✓ Attente prise du ciment 24 h.

Phase I:

- ✓ Forage de reconnaissance en Ø 12 ^{1/4}" jusqu'au mur des formations lagunaires (Eocène, Sénonien);
- ✓ Prises d'échantillons (Cuttings) pour chaque mètre;
- ✓ Enregistrements des diagraphies en trou nu de diamètre 12 ^{1/4}" ; Gamma-Ray, PS, Résistivités (petite normale et grande normale), latérale, pendagemétrie (inclinométrie) et dia mètreur;
- ✓ Élargissement et Alésage du trou en Ø 17 ^{1/2}";
- ✓ Élargissement et Alésage du trou en Ø 26";
- ✓ Mise en place de tubage plein acier API **K55, 87.5** lb/ft manchonné et fileté en 18 ^{5/8}" à une profondeur de 85 à 350m . (épaisseur 11,05 mm);
- ✓ Cimentation sous pression du tubage 18 ^{5/8}";
- ✓ Attente de prise du ciment 24 h;
- ✓ Contrôle de cimentation par **CBL/VDL** de la surface au fond de trou de 0m à 350 m.

Phase II:

- ✓ Forage en reconnaissance en Ø 12 ^{1/4}" jusqu'à traverser le toit des sables albiens;
- ✓ Prises d'échantillons (Cuttings) tous les mètres;
- ✓ Enregistrements des diagraphies en trou nu de Ø 12 ^{1/4}" : Gamma-Ray, PS, Résistivités (petite normale et grande normale), latérale, pendagemétrie et diamètre;
- ✓ Élargissement et Alésage du trou en Ø 17 ^{1/2}";
- ✓ Mise en place de tubage acier API **K55**, 61 lb/ft manchonné et fileté en 13 ^{3/8}" de 0m à une profondeur selon le programme (épaisseur 10,92 mm);
- ✓ Cimentation à double étage du tubage API 13 ^{3/8}";
- ✓ Mise en place de tubage acier API **K55**, 40 lb/ft manchonné et fileté en 9 ^{5/8}" de 0m à une profondeur selon le programme (épaisseur 10,03 mm);
- ✓ Cimentation sous pression du tubage API 9 ^{5/8}";
- ✓ Mise en place d'un **DV** de cimentation pour tubage 13 ^{3/8}";
- ✓ Attente de prise du ciment 72 h;
- ✓ Contrôle de cimentation CBL/VDL du mur des formations lagunaires (formations sénoniennes) au toit de l'Albien.

Phase III:

- ✓ Forage en Ø 12 ^{1/4}" de 1123 à 1450m;
- ✓ Prises d'échantillons (Cuttings) tous les mètres;
- ✓ Enregistrements des diagraphies en trou nu de Ø 12 ^{1/4}" : Gamma-Ray, PS, Résistivités (petite normale et grande normale), latérale, pendagemétrie et diamètre;
- ✓ Pose de la colonne de captage qui sera composée d'une alternance de tube pleins Ø 8 ^{5/8}" avec crépine Johnson Inox Ø 8 ^{5/8}" super well - renforcé avec tube interne d'épaisseur minimum 8,18 mm et un ouverture de 0.5 mm (Slot 20), d'un raccord diélectrique suivi d'un packer et d'un colonne de production Ø 9 ^{5/8}" **API** ;
- ✓ Mise on place du dispositif définitif de tête avec vanne maitresse et vanne latérale pour le réglage du débit.

Phase VI (Complétion):

- ✓ Traitement des boues résiduelles par hexamétaphosphate de sodium (attente effet 24 h);

- ✓ Dégorgement du forage avec de l'eau claire;
- ✓ Développement du forage (auto développement);
- ✓ Prise d'échantillons d'eau pour analyse physico-chimique;
- ✓ Essai de débit.

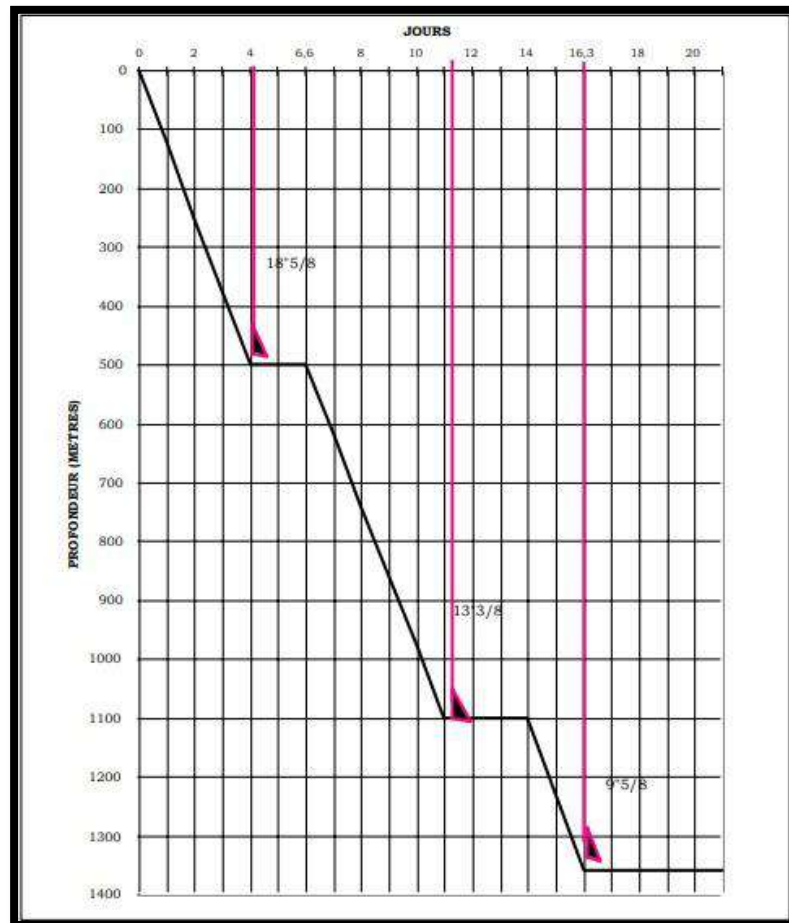


Figure III.4: Coupe prévisionnelle optimale d'un forage albien, **source:** S.KALOUL, M.BENYOUCEF, Procédures programme ...)

3.9 Analyses des cuttings :

Les déblais de forage (drilling cutting) sont les débris de roches arrachés par l'outil lors d'un forage. Les déblais sont remontés à la surface par le fluide de forage, généralement de la boue. La nature géologique de ces débris, leur taille, leur forme, leur couleur, leur porosité, leur contenu en fluides (eau, hydrocarbures, autres gaz) fournissent des informations précieuses sur les roches forées.

Ces derniers offrent la première opportunité et, dans certains puits, la seule opportunité de regarder réellement la roche qui a été forée. Les déblais donnent au géologue des informations sur la lithologie de la formation nécessaire à la corrélation géologique.

Les échantillons ont été prélevés mètre par mètre au cours de l'opération de forage, ont été lavés de la boue de forage (bentonite), séchés en suite ont été conservés dans des sachets en plastique et ont été numérotés.



Photo N°23: Cuttings prélevés sur chantier après numérotés et conservés dans des sachets en plastique.

3.9.1 Description lithologique des cuttings :

Profondeur (m)	Description Lithologiques	Etage	
0 - 40m	Sable fins parfois calcaireux	Quaternaire	
40 - 115 m	Sable calcaireux avec passage des calcaires sableux	Mio-pliocène	
115 - 211 m	Calcaire blanc avec présence de sable	Sénonien	Carbonaté
211 - 371 m	Alternance de calcaire et de marne (présence de grès et sable)		Lagunaire
371 - 600 m	Alternance de sable et calcaire (présence de marne)		Salifère
600 - 683 m	Evaporites (gypses et sels) à ciment marneux et grisâtre		
683 - 1063 m	Grès Marneux peu argileux avec de présence de calcaire et grès beige et ciment	Turonien	
1063 - 1119 m	Argiles noirs avec traces de grès et dolomies peu siliceux	Cénomaniens	
1119 - 1182 m	Argiles Plastiques grises foncé et parfois grisâtres peu marneux (présence des sables argileux)	Vraconien	
1182 - 1211 m	Grès argileux marneux	Albien	
1211 - 1370 m	Argiles Sableuse grisâtre , avec des particules d'argiles rouges		
1370 - 1421 m	Sable Argilux marron, traces des marnes, dominance et argile plastiques de à la base		
1421 - 1450 m	Argiles et calcaires dolomitiques		

Tableau 3.5: Description lithologique des cuttings du forage albien, **source:** ANRH rappo, 2022.

3.9.2 La coupe stratigraphique de forage Hassi Lekhfif :

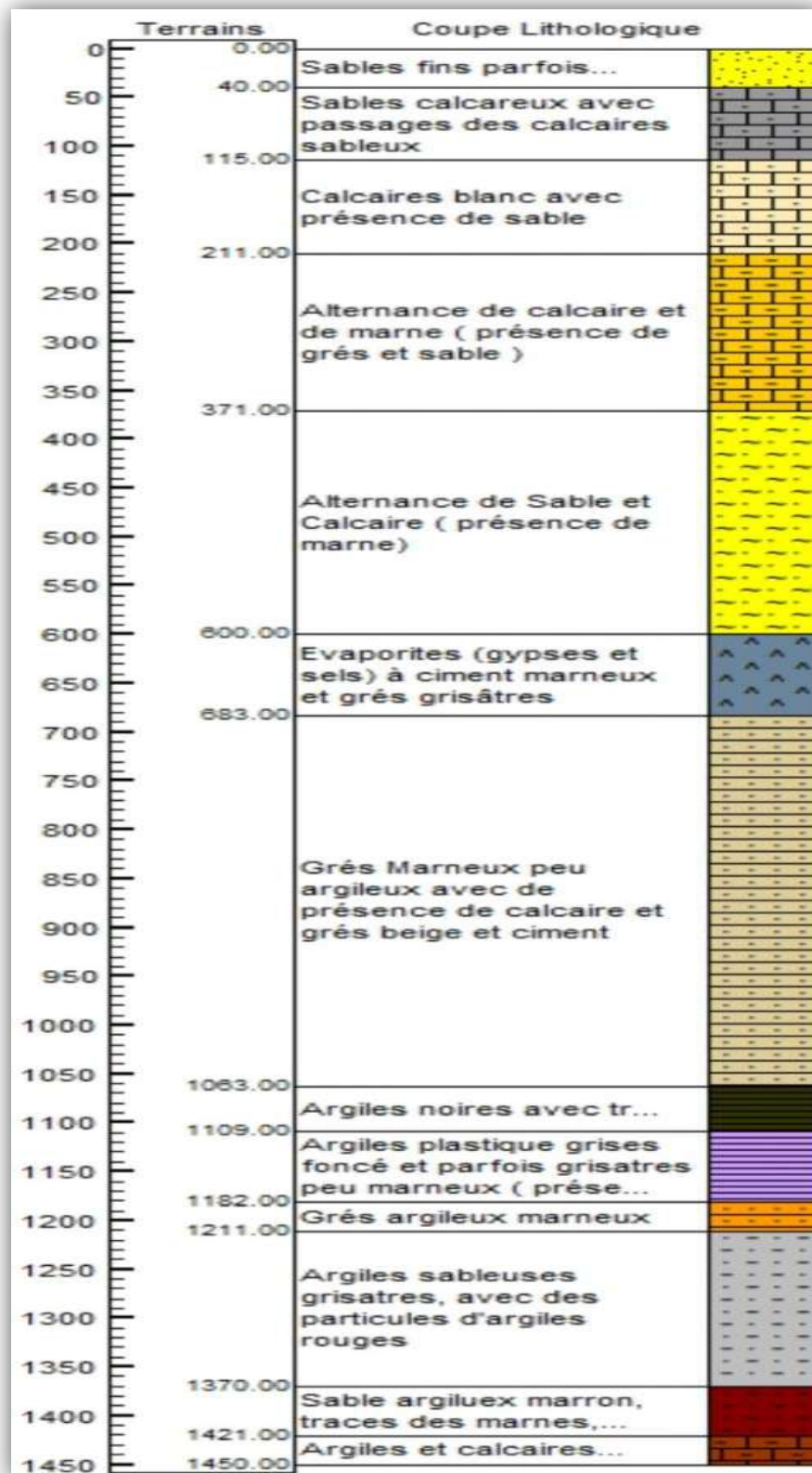


Figure III.5: Coupe Stratigraphique du forage Hassi Lekhfif dessinée par le programme GesFor (Version.4.00).

3.9.3 La coupe technique de forage :

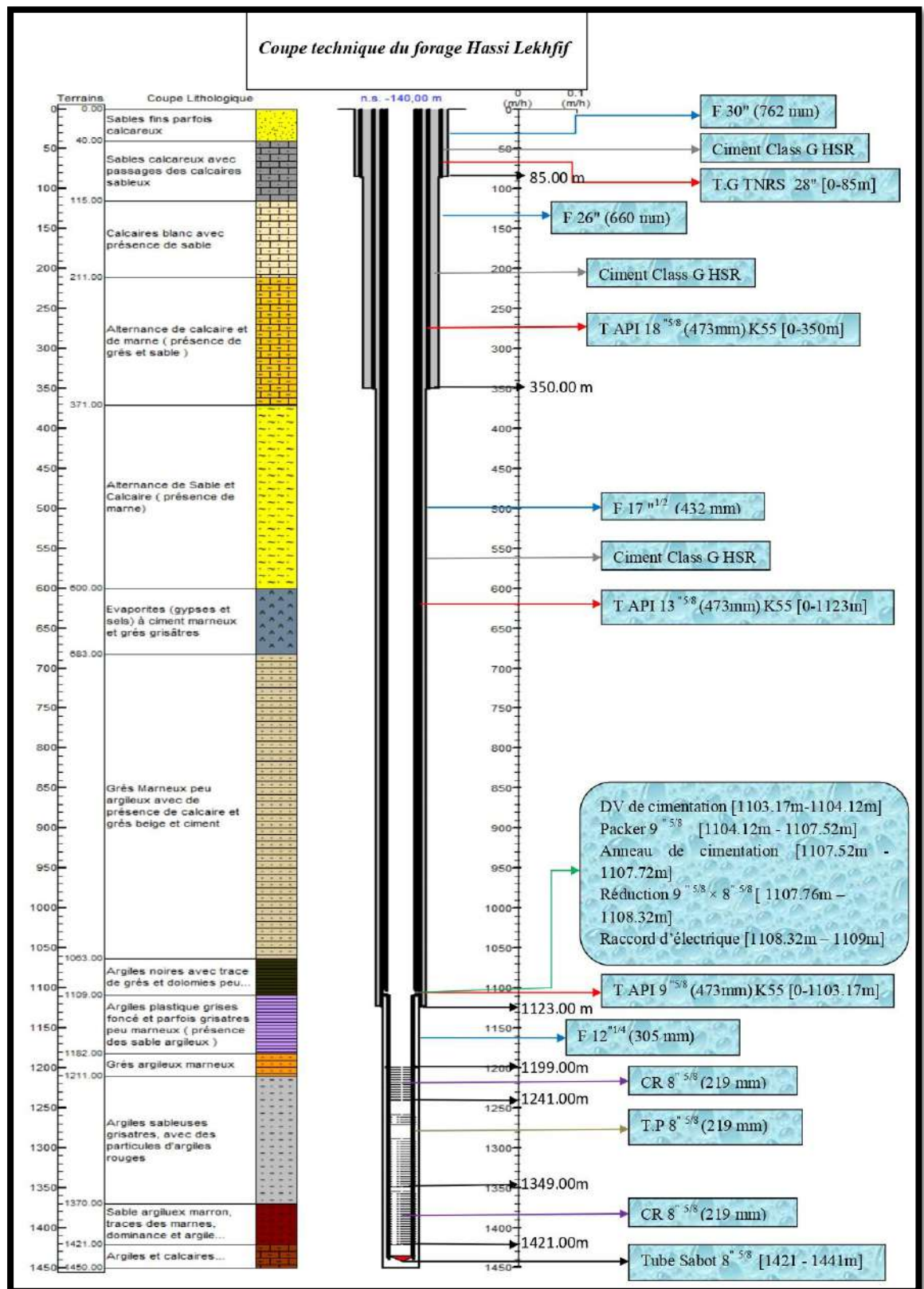


Figure III.6: Coupe lithologique et technique du Forage Hassi Lekhfif. Dessinée par le programme GesFor (Version.4.00).

3.10 La diagraphie :

Les diagraphies sont des techniques géophysiques mises en œuvre à l'intérieur d'un forage. Le terme diagraphie est le terme français, qui désigne aussi bien la technique que le résultat de la mesure sous forme d'une courbe. Pour le jargon anglais on trouve le terme logging (pour les techniques) et log pour la courbe (log signifie enregistrement) Le résultat d'une diagraphie se présente donc sous la forme d'une courbe dans un système de coordonnées où la profondeur est indiquée sur un axe vertical orienté vers le bas et le résultat de la mesure (résistivité, densité, vitesse d'avancement...) est indiqué sur un axe horizontal.

3.10.1 Laboratoire d'enregistrement :

L'enregistrement est réalisé à l'aide d'un camion laboratoire parfaitement autonome, équipé électriquement et mécaniquement. Pour l'enregistrement des signaux électriques, une chaîne complète d'enregistrement a été mise au point. Elle met tout son électronique sur terrain avec ses modules de teste. La mesure se fait pendant la remonté de la sonde ; avec une vitesse d'enregistrement adaptée en fonction de chaque outil utilisé (**ALOUANE Leila, 2017**).

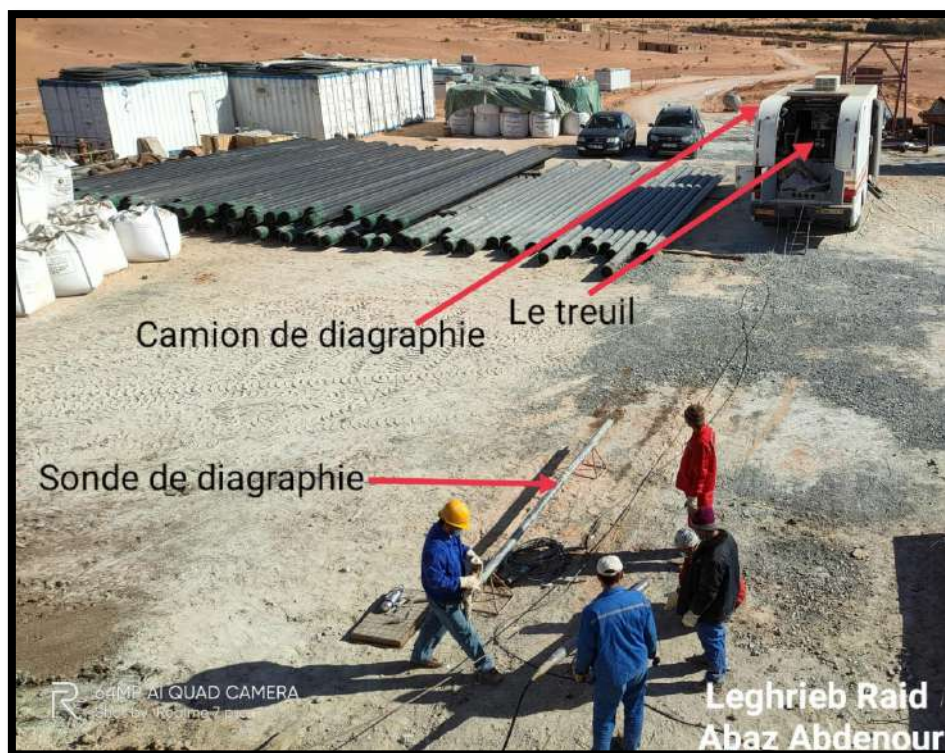


Photo N°24: Sur le terrain pendant le processus d'enregistrement.

3.10.2 Appareil de mesure :

L'outil d'enregistrement utilisé en diagraphie est appelé : sonde. Elle est constituée de plusieurs modules électroniques entre eux avec un maximum d'étanchéité dont les composants peuvent résister à des températures plus 200°C. Cependant, chaque sonde est caractérisée par un couple émetteur-récepteur dont l'écartement participe à la profondeur d'investigation de la mesure et à la résolution verticale. Par ailleurs, des effets perturbateurs peuvent affecter la mesure de l'outil. Ils peuvent être de différentes origines, liés à la nature des terrains ou non (**ALOUANE Leila, 2017**).

- ✓ **Transmission des mesures :** La transmission des mesures est assurée par un câble liant la sonde au camion laboratoire .Généralement il comprend 7 à 11 conducteurs, il est parfaitement résistant qui permet, vu le nombre de conducteurs, l'enregistrement simultané de plusieurs signaux. En effet, c'est le défilement du câble qui permet la mesure des profondeurs (**ALOUANE Leila, 2017**).



Photo N°25: Sonde combinée (Gamma ray , polarisation spontanée , résistivité électrique ...).

Les enregistrement effectués dans notre forage de Hassi Lekhfif sont :

- ✓ Polarisation Spontané;
- ✓ Les Résistivités électriques :PN - GN;
- ✓ Dia mètreur (Caliper);
- ✓ In clinométrie;

- ✓ Gamma-Ray;
- ✓ Contrôle de cimentation CBL-VDL.

N.B : L'interprétation de ces enregistrements, (**voir l'annexe**).

3.10.3 Le log P.S (Polarisation Spontané) :

Le log P.S. (P.S. en anglais), ou log de polarisation spontanée, enregistre des différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles. Ces différences sont mesurées entre une électrode de référence fixe, placée en surface, et une électrode mobile qui parcourt toute la longueur du forage.

Le log P.S. permet :

- ✓ De mettre en évidence les bancs poreux et perméables;
- ✓ De localiser certains niveaux imperméables;
- ✓ De calculer le pourcentage d'argile contenu dans la roche réservoir;
- ✓ De calculer la résistivité de l'eau d'imbibition R_w , ce qui permet d'obtenir la salinité et donc la qualité chimique de cette eau (**D.CHAPPELLIER, univ lausanne**).

3.10.4 Les résistivités électriques :

La résistivité des formations a été mesurée dès 1927 par Schlumberger. On envoie un courant d'intensité I dans un milieu considéré à notre échelle comme isotrope et infini. Le courant se propage dans la formation plus ou moins facilement en fonction de ses caractéristiques physiques. Les roches aquifères sont conductrices, les sèches sont résistantes. Dans les formations humides les argiles sont les plus conductrices grâce à leur nombreuses liaisons intermoléculaires.

Nos mesures de différence de potentiel permettent d'apprécier cette susceptibilité à laisser passer le courant électrique :

- ✓ **La polarisation spontanée ou PS;**
- ✓ **La résistivité mono électrode ou SPR** mesure la résistivité électrique entre une électrode de surface et l'électrode de mesure descendue dans le forage et mesure donc la résistivité globale des terrains;
- ✓ **Les résistivités normales** : des points de mesure plus précis à distances variables permettent d'intéresser une plus ou moins grande épaisseur de terrain. Ce sont les 8", 16", 32" et 64" qui permettent le mieux d'avoir une idée de la perméabilité du matériau en place.

3.10.5 Gamma-Ray :

C'est un enregistrement de radioactivité gamma naturelle des formations. Les seuls éléments radioactifs ayant une concentration notable dans les matériaux naturels sont le potassium, l'uranium et le thorium. Pour les formations sédimentaires on enregistre une radioactivité importante dans :

- ✓ Les formations argileuses qui renferment du potassium (illite spécialement);
- ✓ Les sels de potassium;
- ✓ Les formations riches en matière organique peuvent concentrer l'uranium;
- ✓ Les formations détritiques contenant des feldspaths (potassium) ou enrichies en minéraux lourds.

3.10.6 Mesure du diamètre (Caliper) :

Le diamètre d'un trou de forage est en principe légèrement supérieur à celui du trépan. En fait, il varie avec la cohésion des roches traversées, leur porosité, leur texture, leur structure et la diagenèse qu'elles ont subie. Au droit des roches poreuses et perméables, on observe un rétrécissement léger du diamètre dû au dépôt d'une couche constituée par les éléments solides de la boue, qui ne peuvent pas pénétrer dans les pores des roches (le terme américain est mud-cake, ce qui se traduit littéralement par « gâteau de boue »). Les graviers et sables non consolidés peuvent s'ébouler, les argiles et les roches fracturées s'effriter, occasionnant de fortes augmentations de diamètre du trou et souvent son ovalisation. En revanche, des argiles gonflantes ou sous – compactées réduisent le diamètre du trou et peuvent même bloquer le trépan ou la sonde diagraphique (**DJEDDI Mabrouk, Hacine Rachide, 2009**).

Le principe de la mesure repose sur l'ouverture de trois bras en fond de forage avec une acquisition des données à la remontée. La sonde mesure en continu l'ouverture de chaque bras et détermine ainsi un diamètre.



Figure III.7: Le caliper (diamètreur), **source:** Log Hydro.

3.10.7 Mesure de la verticalité (Pendagemètrie) :

Toutes les diagraphies permettent d'établir des corrélations entre plusieurs sondages voisins, par conséquent de connaître le pendage des couches profondes, déterminé par l'angle de la ligne de plus grande pente des couches, supposées planes, avec l'horizontale, et par l'orientation de cette ligne par rapport au nord. Toutefois, les résultats ainsi obtenus ne sont pas toujours corrects (par exemple, s'il existe une faille ou un pli entre les sondages considérés), de plus, c'est souvent au moment où un premier forage est effectué, en général sur la base des renseignements donnés par la géophysique de surface, que la connaissance des pendages est la plus utile. Cette détermination est faite au moyen d'une sonde de pendagemètrie (**DJEDDI Mabrouk, Hacine Rachide, 2009**).

Le principe de la mesure repose sur un couplage magnétomètre/inclinomètre qui mesure en continu l'azimut (soit l'angle dans le plan horizontal entre la direction de la sonde et le nord magnétique) et l'inclinaison de la sonde par rapport à la verticale.

3.11 Le programme de Tubage (Casing Program) :

Le tubage est un ensemble de tubes vissés bout à bout descendus dans le puits pour accomplir les fonctions suivantes :

- ✓ Prévenir la formation des cavages dans le trou et éviter l'effondrement (le collapse);
- ✓ Acheminer le fluide du réservoir vers la surface;
- ✓ Protéger le fluide de la formation de la contamination par les fluides des formations voisines;

- ✓ C'est un moyen de contrôle de pression;
- ✓ Fournir un bon support pour les équipements de la tête du puits, l'installation des équipements de contrôle (BOP) et de l'exploitation du forage;
- ✓ Permettre une communication isolée avec la formation productrice.

3.11.1 La colonne de tubage de puits :

- **Le tube guide** : cette colonne assure la verticalité du trou dans les premiers mètres en retenant les formations superficielles non consolidées et les empêchant de tomber dans le puits et permet d'acheminer la boue vers les bassins. Le tube guide est cimenté jusqu'à la surface. Notre forage, commençant avec un trou de Ø 30" réalisé au cours des travaux de génie civil, traverse tout d'abord les formations superficielles non consolidées dont l'éboulement sera évité par la mise en place d'un tube guide de Ø 28" TNRS, cimenté, jusqu'à 85 m.

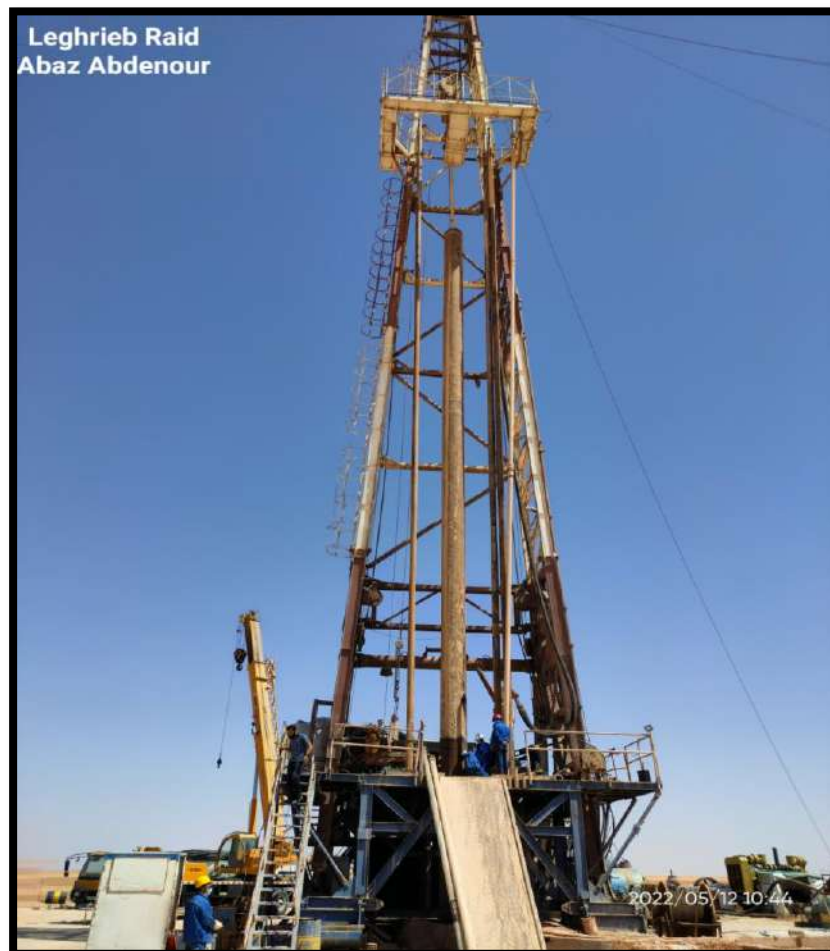


Photo N°26: Mise en place du tube guide TNRS.

- **La colonne de surface** : il faut mettre en place la colonne de surface. C'est un tubage qui va supporter une série d'équipements qui devra faire partie du puits une

fois terminé. Cette colonne est posée assez profond de façon a permettre la protection du puits contre les effondrements, ou les venues d'eau. Le diamètre de ce tubage sera inférieur à celui du tube guide (**M.DADDOU, 2013**).

D'après le **D.D.H P 106, C4 vers. 2006** :

Le diamètre extérieur (inch)	18^{5/8} API
Epaisseur (inch)	0.435"
Le poids linéaire (lb/ft)	87.5
Le grade d'acier	K55
Filetage	P.S.B

Tableau 3.6: Les caractéristiques de la colonne 18^{5/8}" API.



Photo N°27: Le Tubage 18^{5/8}" API.

- **La colonne intermédiaire 13^{3/8} API :** Cette colonne intermédiaire servira, et ce sera sa principale fonction, de protection du trou. Elle sera descendue pour éliminer les couches ou fluides susceptibles d'empêcher la poursuite du forage ; par exemple des terrains éboulant, des zones contenant des fluides à forte pression, des zones friables qui par suite du poids de la boue risquent de se fracturer (**M.DADDOU, 2013**).

Le diamètre extérieur (inch)	13^{3/8} API
Epaisseur (inch)	0.430"
Le poids linéaire (lb/ft)	61.00
Le grade d'acier	K55
Filetage	P.S.B

Tableau 3.7 Les caractéristiques de la colonne intermédiaire 13^{3/8} API.



Photo N°28: Le tubage 13^{3/8} API.

- **La colonne de 9^{5/8} API:** Le but de la mise en place de la 2^{ème} colonne technique est d'assurer un accès sans ennuis au réservoir et de résister encore plus à la pression.

Le diamètre extérieur (inch)	9^{5/8} API
Epaisseur (inch)	0.395"
Le poids linéaire (lb/ft)	40.00
Le grade d'acier	K55
Filetage	P.S.L.B.E

Tableau 3.8 Les caractéristiques de la colonne 9^{5/8} API.



Photo N°28: Le tubage 9 ^{5/8}" API.

- **La colonne de production Tube Plein Acier Inox 8 ^{5/8}"** : Elle doit être conçue pour résister mécaniquement aux pressions qui lui seront appliquées une fois mis en place dans le forage (efforts de traction, efforts d'écrasement, efforts d'éclatement et efforts de flambage). Son diamètre est plutôt fonction du débit d'exploitation, et son épaisseur est en fonction de la profondeur d'installation et de la méthode de cimentation le cas échéant. La nature des tubes est principalement fonction de la qualité des eaux capté. Si des tubes en inox sont utilisés, la qualité de ces derniers devra être optimisée.



Photo N°29: Tube plein Acier Inox 8 ^{5/8}".

3.12 La cimentation :

La cimentation est l'opération d'injection d'un laitier de ciment dans l'espace annulaire du forage. En effet, le remplissage de cet espace (entre la colonne de tubage et la formation) en partie ou en totalité par le laitier assure plusieurs fonctions :

- ✓ Canaliser les fluides de la formation vers la surface;
- ✓ Prévenir contre la corrosion de tubage;
- ✓ Éviter la pollution des couches à eau douce;
- ✓ Permettre l'ancrage du tubage.

3.12.1 Différents type de cimentations :

3.12.1.1 Cimentation des colonnes de tubage :

- ✓ Séparer les formations incompatibles traversées;
- ✓ Maintenir les parois du puits;
- ✓ Couvrir les zones à perte (formations fracturées);
- ✓ Séparer les couches à faible pression;
- ✓ Isoler une couche de production des couches adjacentes (complétion sélective);
- ✓ Obturer les couches productrices épuisées;
- ✓ Sécuriser et mettre en place l'équipement de production tout le long du puits.

3.12.1.2 Bouchon de ciment : ils est utilisé a fin de:

- ✓ Colmater les zones à pertes;
- ✓ Servir comme un siège d'une déviation du forage (side-track);
- ✓ Séparer un niveau aquifère;
- ✓ Abandonner une partie ou la totalité d'un puits.

3.12.1.3 Squeeze :

Est une opération d'injection d'un laitier de ciment à travers les orifices des perforations dans les tubages afin de compléter une opération de cimentation dans le but de :

- ✓ Consolider ou réparer la cimentation primaire de ces tubages ;
- ✓ Isoler une couche des zones adjacentes dans le but de limiter la proportion d'eau ou gaz dans l'huile;
- ✓ Isoler une couche productrice épuisée;
- ✓ Étancher des pertes de circulation.

3.12.2 Équipements nécessaires à la cimentation :

L'opération de cimentation exige la mise en place de plusieurs équipements parmi lesquels on cite les têtes de cimentation, les sabots de tubage, les bouchons de cimentations et les centreurs de tubages, les anneaux de retenue.

3.12.2.1 Sabots de tubage (casing shoes) :

Le sabot est un élément vissé à l'extrémité inférieure du premier tube de la colonne descendu dans le puits. Il sert comme guidage pour la colonne pendant sa descente et facilite la descente du tubage dans le trou (DOBBLA, 2020).

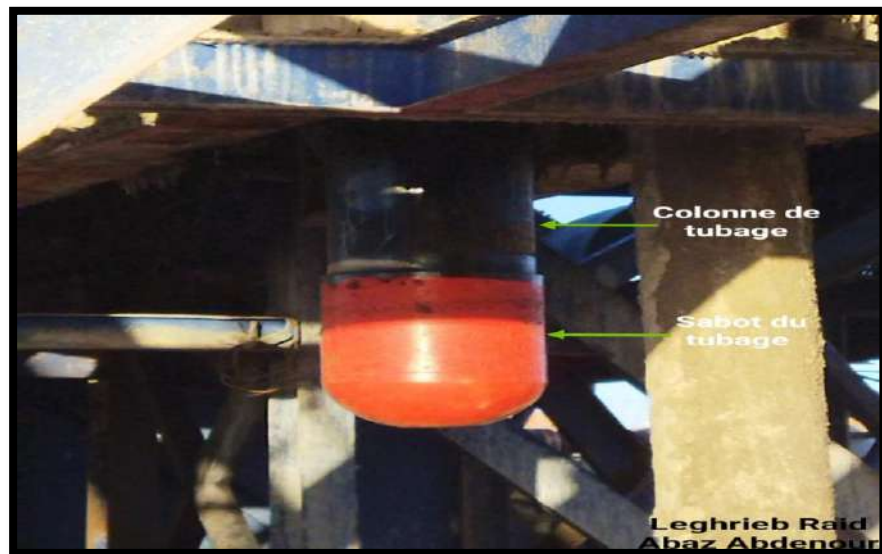


Photo N°30: Vissage du sabot à l'extrémité inférieure de la 1^{er} colonne.

Les différents types des sabots de tubage les plus utilisés en cimentation sont:

- ✓ Sabot ordinaire;
- ✓ Sabot à clapet anti-retour permanent;
- ✓ Sabot à dispositif anti-retour transformable;
- ✓ Sabot à soupape et jets tourbillonnaires;
- ✓ Sabot à remplissage différentiel;
- ✓ Sabot à soupape duplex. (DOBBLA, 2020).

3.12.2.2 L'anneau de retenue :

La fonction de l'anneau de retenue est de servir de siège au(x) bouchon(s) de cimentation selon les cas ou selon les techniques des compagnies. L'anneau et le sabot sont choisis :

- ✓ Du même type afin d'assurer une redondance;

- ✓ De type anti-retour si le sabot n'en est pas muni (**Jean Paul NGUYEN, 1993**).

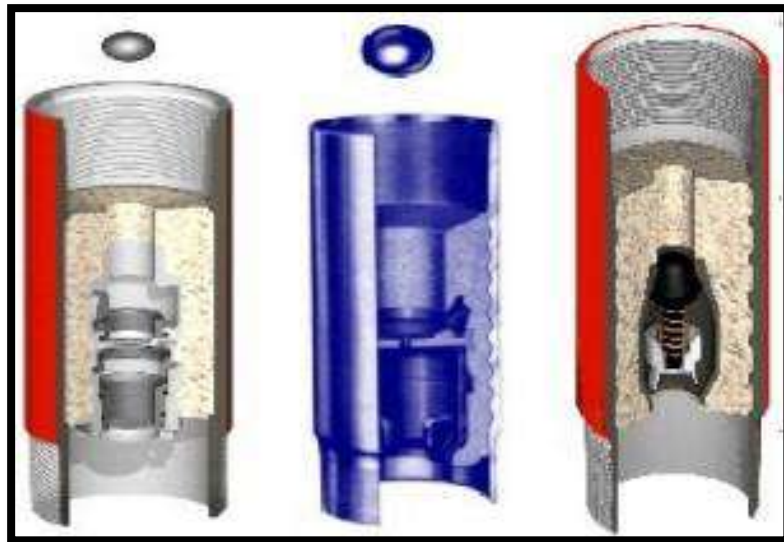


Figure III.8: Types d'anneaux de retenue.

3.12.2.3 Les bouchons de cimentation (**Cementing plugs**):

Les bouchons de cimentation sont inclus dans les équipements de la colonne de tubage et jouent le rôle de séparation des différents fluides (boue, laitier...) pendant leur déplacement à l'intérieur du casing afin d'éviter leur contamination. Ils sont de deux types : bouchon inférieur ou Bottom Plug et bouchon supérieur ou Top Plug.

	Description	Rôles
Bottom Plug	Le bouchon inférieur possède un trou central cylindrique obturé par une membrane mince se déchire pour permettre le passage du laitier de ciment lorsque le bouchon arrive sur l'anneau de retenue	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sépare les fluides; ➤ Racle les parois du tubage lors de sa descente.
Top Plug	Le bouchon supérieur est plein et peut supporter des pressions très élevées	Indique la fin de la cimentation en se plaçant normalement sur le bouchon inférieur

Tableau 3.9: Les types de bouchons, **source:** DOBBLA, 2020.



Photo N°31 Plugs and opening devices used to operate stage tools (Cimentation étagée équipement)

3.12.2.4 Les centreurs (Casing centralizers) :

Le centrage d'une colonne est un élément déterminant pour l'obtention d'une bonne cimentation, on doit placer les centreurs :

- ✓ Au droit des zones à cimenter;
- ✓ Au droit des dog-legs;
- ✓ De part et d'autres des caves;
- ✓ Dans les zones à risques de collage ou à pertes.

Il y a deux types :

- ✓ Centreurs rigides;
- ✓ Centreurs souples.



Photo N°32: Centreurs souples (Tubage-Trou).

3.12.2.5 Le système d'étanchéité (Packer) :

Le packer hydraulique est principalement utilisé pour les opérations de cimentation de puits d'eau et pétrole et de gaz pour toutes sortes d'isolation de fond de trou. Il joue un rôle important pour améliorer la qualité de l'opération de cimentation de puits.

L'outil est non seulement facile à utiliser, mais peut également être utilisé pour les puits de pétrole et de gaz avec de nombreux types de conditions de fond de trou.



Photo N°33: Le packer (Hydraulic Inflation Packer).

3.12.2.6 Les têtes de cimentation (Cementing Heads):

La tête de cimentation est vissée au sommet du tubage et elle comporte les 2 bouchons. Elle permet la circulation de la boue de forage et l'injection du laitier après la descente du bouchon inférieur et la chasse du bouchon supérieur avec la boue ou le fluide de chasse. La tête de cimentation assure ces fonctions avec un système de vannage approprié et par les tirettes de libération de bouchons. Avant toute opération, on doit vérifier que celle-ci est bien propre et ne contient pas des débris de ciment persistant après sa dernière utilisation. Dans le cas où elle l'est, on procède à la nettoyer avec un flush puis avec de l'eau.



Photo N°33: La tête de cimentation.

3.12.2.7 Cimentation étagée (Two-stage cementing):

La cimentation à double étage est utilisée :

- ✓ Si les formations sont fragiles (risques de pertes de circulation ou zones à faibles pressions);
- ✓ Si les hauteurs d'annulaires à cimenter sont importantes (contamination du laitier) ;
- ✓ Si deux types différents de laitiers doivent être mis en place.

La méthode cimentation dite en " deux étapes" consiste à cimenter le premier étage (où bas e la colonne) de manière classique, d'ouvrir ensuite l'anneau de cimentation à double étage (DV), puis de cimenter ce deuxième étage de la colonne, situé au dessus de la DV.

Les méthode de cimentation en étage sont les suivantes :

- ✓ Cimentation étagée avec un anneau dans laquelle chaque étage cimenté correspond à une opération séparée;
- ✓ Cimentation étagée en continu avec un anneau, la cimentation des deux étages constitue une seule opération;
- ✓ Cimentation étagée avec des anneaux dans laquelle chaque étage cimenté correspond à une opération séparée ou dans laquelle les deux premiers étages sont cimentés en continu, le troisième constituant une opération séparée (ENSPM,2005).



Photo N°35: Le DV (Diverter valve).

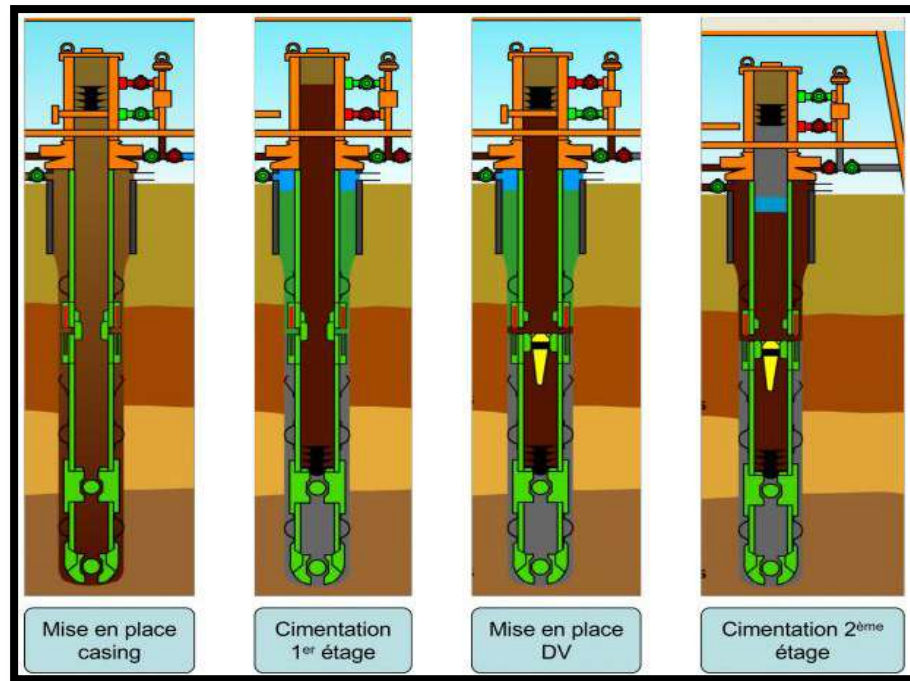


Figure III.9: Déroulement de la cimentation étagée, source : ENSPM, La cimentation étagée, 2005)

3.12.3 Utilisation des ciments :

Pour mener à bien la cimentation d'un puits, le foreur dispose de plusieurs classes de ciment, définies par les normes API.

Classe	Application
A	Utilisation de 0 à 1830 m (6000ft) lorsque des propriétés ne sont pas nécessaire. Type ordinaire
B	Utilisation de 0 à 1830 m (6000ft) lorsque les conditions nécessitent un ciment à résistance moyenne ou forte aux sulfates (HSR)
C	Utilisation de 0 à 1830 m (6000ft) lorsque on désire une forte résistance initiale à la compression. Existe en faible, moyenne ou forte résistance aux sulfates. (HSR)
D	Utilisation de 0 à 1830 m (6000ft) vers 3050 m (10000ft) lorsque la température et la pression sont moyennement fortes. Existes en moyenne et forte résistance aux sulfates (HSR)
E	Utilisation de 3050 m (10000ft) à 4270 m (14000ft) pour les fortes températures et pressions. Existe en moyenne et forte résistance aux sulfates (HSR)
F	Utilisation de 3050 m (10000ft) à 4880 m (16000ft) pour les fortes températures et

	pressions. Existe en moyenne et forte résistance aux sulfates. (HSR)
G	Utilisation de 0 à 2440 m (8000ft). C'est un ciment de base. Il peut être utilisé avec les des accélérateurs ou retardateurs de prise pour couvrir une grande gamme de profondeurs et de températures. Il existe en moyenne et forte résistance aux sulfates (HSR)
H	Utilisation de 0 à 2440 m (8000ft). C'est un ciment de base. Il peut être utilisé dans les mêmes conditions que le ciment de classe G. Il n'existe qu'en moyenne résistance, aux sulfates.

Tableau 3.10: Les classes de ciment de base et leurs applications (API Spec 10 , 5th Edition, July 1 1990).

La nature du laitier est étroitement liée à sa densité qui est fonction du volume d'eau de mixage. Il est préférable d'avoir un ciment dont le poids n'est pas très énorme afin que la fracturation des zones fragiles soit évitée. D'autre part, la densité de ciment est de grande importance car elle fournit des indications sur l'éruption d'un côté et ne doit pas causer la perte de circulation de l'autre. Le tableau ci contre donnera le volume de l'eau de gâchage, la densité du laitier et le temps de durcissement nécessaire, facteurs qu'on doit prendre en considération pour une meilleure cimentation.

3.12.3.1 Les additifs :

Les additifs sont utilisés avec les ciments de base pour, modifier la densité et le temps de prise, réduire le filtrat, améliorer l'adhérence du ciment avec le tubage et améliorer les conditions d'écoulement. En effet ils existent quatre types d'additifs qui sont :

- ✓ **Les accélérateurs de prise** : leur rôle est d'accélérer la prise du ciment à basse température. Le plus courant est le chlorure de calcium.
- ✓ **Les retardateurs de prise** : par leur action, retarder la prise du ciment, ils augmentent le temps de pompabilité dont on peut disposer. Citons les lignosulfonates de calcium ...
- ✓ **les allégeant** : utilisé dans les ciments de remplissage, ils permettent de réduire la densité du laitier. Exemple : le bentonite, les pouzzolanes, Allégeant chimiques
- ✓ **Les alourdissant** : servant à augmenter la densité du laitier. Exemple : Baryte , Oxyde de fer ...

- ✓ D'autres additifs permettent d'augmenter la résistance du ciment, de contrôler filtration, réduire la viscosité du laitier, contrôler les pertes.

3.12.3.2 Le Spacer :

Le problème de contamination entre la boue et le ciment peut gêner la cimentation en se propageant à travers le laitier mais aussi en entraînant le channeling qui se manifeste quand le laitier de ciment n'augmente pas uniformément dans l'espace annulaire créant ainsi des espaces sans ciment. Ce problème peut être résolu en s'assurant de la séparation des deux fluides par un autre fluide intermédiaire dit «spacer» qui doit avoir les caractéristiques suivantes :

- ✓ Il doit être compatible avec le ciment et la boue;
- ✓ $d_b < d_s < d_l \rightarrow$ réduction des risques de " channeling" ;
- ✓ Freiner le dépôt.

3.12.4 Le programme de cimentation pour la phase tube guide et phase 18^{5/8"} :

✚ Calcule du volume de laitier de ciment pour le tube guide Ø 30" :

D'après le D.D.H p 205 , D5 vers. 2006 on à :

Trou Ø 30" = $V_u = 456$ L/m;
 Trou Ø 28" = $V_u = 397.3$ L/m;
 H = Hauteur de l'espace annulaire à cimenter = 85m;
 Volume majoré à 15%.

✓ App num :

Annulaire capacité = $456 - 397.3 = 58.7$ L/m
 Volume = $58.7 \times 85 = 4989.5$ L = 4.98 m³
 Volume Majoré = $4.98 \times 0.15 = 0.7$ m³
 Volume Total Majoré = $4.98 + 0.7 = 5.72$ m³

✚ Poids total de ciment sec :

$Q_c = 5.72 \times 1.1$ t = 6.29 tonne.

✚ Densité du laitier de ciment (théoriquement) : On applique la formule de calcule de densité de laitier

$$\gamma_L = q_c (1 + \omega) \text{ Avec :}$$

q_c = quantité de ciment sec pour préparer 1 m³ de laitier = 1.28 T/m³;
 ω = rapport eau/ciment = 0.46 %;
 γ_L = densité du laitier de ciment

✓ App num :

$$\gamma_L = 1.28 \times (1 + 0.46) = 1.868 \cong 1.87$$

Nota : La valeur de densité nous l'avons trouvé sur le chantier est **d= 1.75**

✚ **Volume d'eau de gâchage : D'après le D.D.H p 396 , I9 vers. 2006 :**

Pour :	44.1 Lt	→	100 Kg
	V_e	→	6290 Kg
$V_e = (6290 \times 44.1) \div 100 = 2773.89 \text{ L} = 2.77 \text{ m}^3$			

✚ **Volume du fluide de refoulement ou de chasse (théoriquement) :** On applique la formule de calcul de volume de chasse :

$$V_{ch} = 0.785 \times K_3 [(H - h_0) \times d_{inTub}^2] \text{ Avec :}$$

V_{ch} = volume de fluide de chasse
 h_0 = hauteur de sécurité qui est prise h_0 de 10 à 20m On prend 10 m
 H = hauteur à cimenter dans l'espace annulaire;
 K_3 = 1 pas de rugosité.

✓ App num :

$$V_{ch} = 0.785 \times 1 [(85 - 15) \times d_{inTub}^2] .$$

$$V_{ch} = 0.785 \times 1 [(85 - 10) \times (0.691)^2] = 28.11 \text{ m}^3$$

✚ **Calcul de débit injecté de la boue pour le tube guide :** Nous avons utilisé l'outil d'un diamètre ($\varnothing = 30''$)

La formule : $Q = 5 \times D^2 = [\text{gallon/min}]$.

1 gallon = 3.785 L;

D : Diamètre de trou en pouce.

App num : $Q = 5 \times (30") = 4500 \text{ gal/min} = 17032.05 \text{ L/min}$

✚ Calcule de la phase intermédiaire CSG $\varnothing 18^{5/8}$:

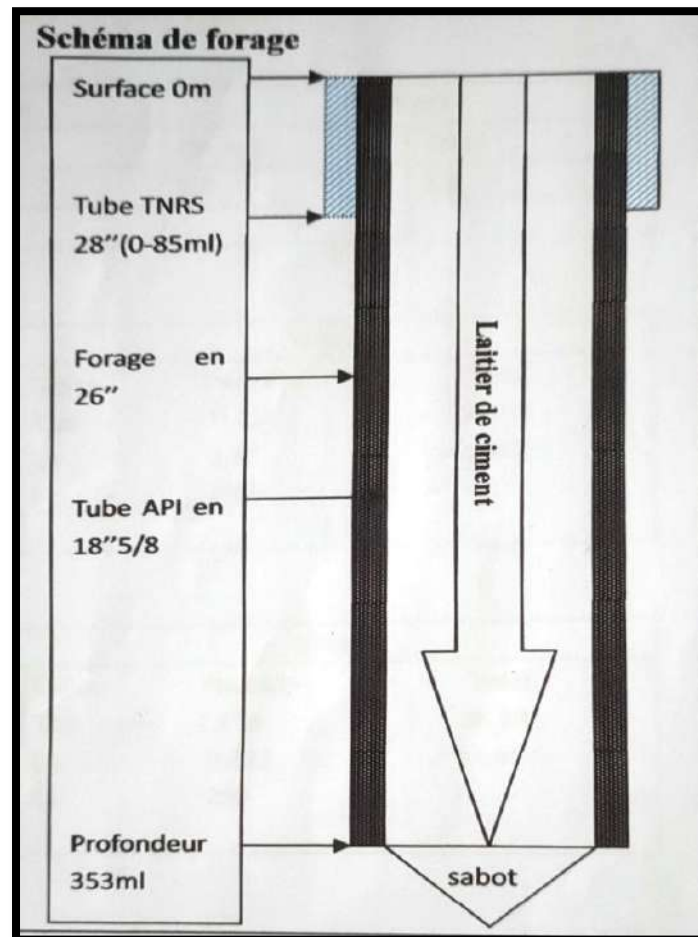


Figure III.10: Schéma de la cimentation du tubage 18 ^{5/8}", source: SARL SHAOLIN, Rappo. cimentation, 2022.

Température de puits (°C)	BHST		BHCT		
	43		30		
Laitier	Densité [g/ml]		Volume [m ³]		
Boue	1.15		100.00		
Eau propre	1.00		5.00		
Laitier de ciment	1.60 - 1.80		40.00		
Laitier de ciment	Capacité L/m	Limite profondeur (m)		Distance (m)	Volume (m)
		Haut	Bas		
Casing -Csg Annulaire	166.7	85	350	265	44.18
Annulaire					1.03
Volume Additive					2.35
Volume Total					47.56
Volume chassé (De sabot à surface)	161	0	345	345	55.55
Total produit exigé	Quantité				
Ciment Class G HSR	62.36				
Eau (m ³)	48.79				
Sk40+ Retardateur (L)	210				

Tableau 3.11: calculs de volumes de fluides & exigences des fluides et des produits, source: SARL SHAOLIN, rappo. cimentation, 2022.

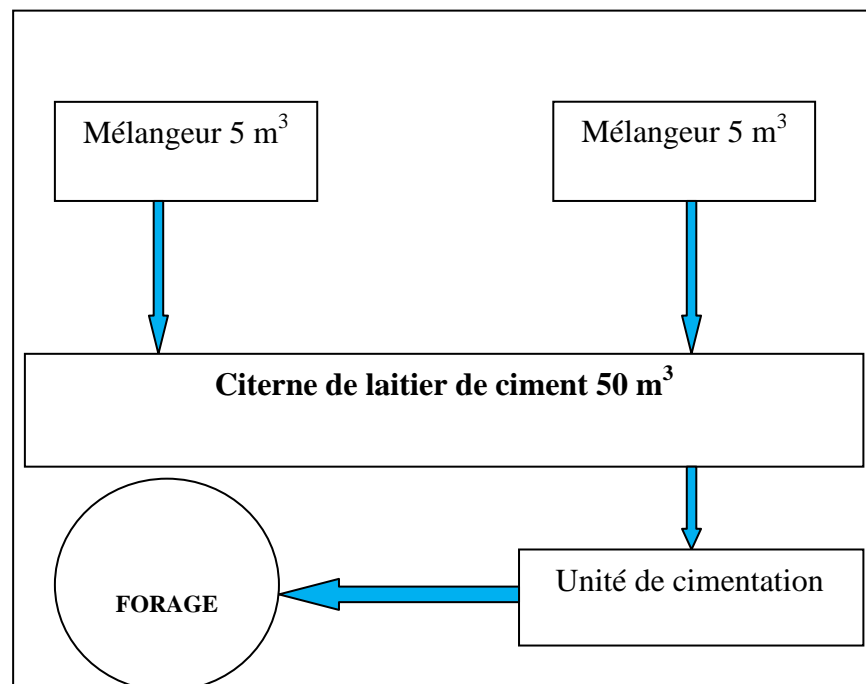


Schéma de procédure du de cimentation de la phase 18^{5/8} .

3.12.5 Contrôle de qualité de cimentation (CBL-VDL):

3.12.5.1 Les Sonics : CBL – VDL (Cement Bond Log – Variable Density Log):

- Le log sonique est basé sur l'étude de la propagation dans le milieu d'ondes acoustiques générées par l'outil de diagraphie. La mesure de la vitesse de propagation de ces ondes et de leur atténuation apporte des renseignements sur les propriétés mécaniques des matériaux et roches traversées. Dans la pratique, le log sonic mesure le temps de transit ΔT sur deux récepteurs d'ondes longitudinales (ondes P) envoyées dans la formation et leur amplitude. Le log sonic est utilisé en hydrogéologie principalement pour apprécier la cimentation entre le casing (tube) et la formation en mesurant l'amplitude de première arrivée de l'onde acoustique aux récepteurs et son temps d'arrivée. Une onde à faible amplitude traduit une bonne cimentation (faible résonance du tubage). La mesure n'est possible qu'en milieu saturé (eau) (LogHydro, 2022).
- Le Variable Density Log (VDL) est créé par transformation de la forme d'onde acoustique à chaque intervalle de profondeur en une série de lignes noires et blanches qui représentent l'amplitude des différents pics positifs ou négatifs. L'amplitude zéro est représentée en gris, l'amplitude négative en blanc et l'amplitude positive en noir. La représentation visuelle de la forme d'onde fournit une évaluation simple de la présence de ciment ou d'un tube libre (LogHydro, 2022).

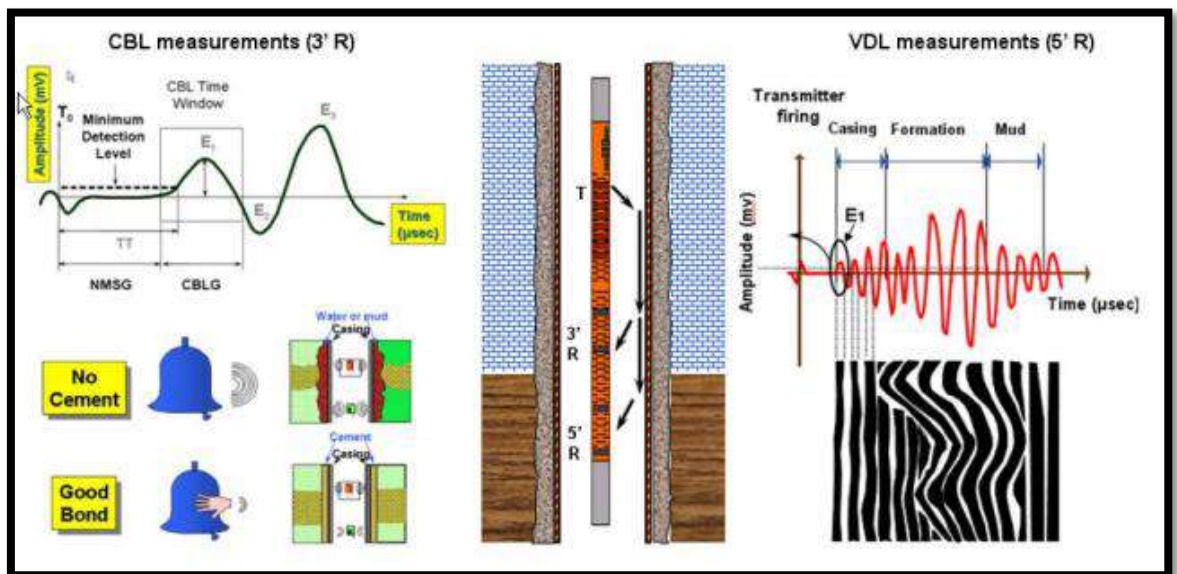


Figure III.11: Diagraphie CBL-VDL, source: LogHydro, 2022.

3.12.6 Programme D'équipement :

La crépine constitue l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Sa longueur, son type, sa nature sont directement fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement maximal et de la nature de l'aquifère. Placées à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère.

Les crépines doivent: Permettre la production maximale d'eau claire sans sable, 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 et, Induire des pertes de charge minimales.

Il existe des crépines en acier, en acier inoxydables et en PVC.

La colonne sera composée d'une alternance de tubes pleins et crépines manchonnés et filetés avec deux points de soudure en Inox.

- **Type Crépine utilisé :** les crépines utilisé seront super well - renforcés (pipebase) avec tube interne d'épaisseur minimum 8,18 mm à fil enroulé et à fente continu hélicoïdale avec une ouverture de 0,5 mm avec une tolérance DIN4935(Slot 20) qui seront positionnés suivant les formations rencontrées. L'architecture de la colonne sera déterminée à l'issue des diagraphies par le maître d'œuvre au vu des résultats des paramètres de forage, des granulométries et des diagraphies. Les crépines seront suffisamment renforcées et résistantes aux pressions présentes à ces profondeurs.
- **La vitesse d'entrée de l'eau** dans les crépines doit être la plus faible possible pour : 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. **Johnson recommande une vitesse d'entrée de l'eau inférieure à 3 cm/s.**
- **Calcul de la vitesse d'entrée pour une crépine Johnson :**

Ouverture = (slot ÷ (slot + largeur du fil)) x 100 = [%]
Surface d'échange = (∅ ext cr) x π x long totale crépine x ouverture = [m²]
Vitesse d'entrée = (débit ÷ surface d'échange) = [cm/s]

- ✓ **App.num :**

Ouverture = $[0.5 \div (0.5+ 2)] \times 100 = 20 \%$
Surface d'échange = $0.219\text{m} \times \pi \times 150\text{m} \times 0.2 = 20.64 \text{ m}^2$
Vitesse d'entrée = $(0.210 \text{ m}^3/\text{s} \div 20.64 \text{ m}^2) = 0.01 \text{ m/s} = 1 \text{ cm/s}$



Photo N°35: Les crépines Johnson inox slot 20.

Le programme proposé et exécuté par la Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la wilaya de Ouargla a été réalisé comme suit :

Profondeur (m)	Longueur (m)	Détails
1450 - 1439.4	10.4	Vide (10.6m)
1439.4 - 1421	18.4	Sabot 8" ^{5/8} (0.4) + 03 T.P Inox 8" ^{5/8} (soit 18m)
1421 - 1355	66	11 Tubes Crépines Johnson super renforcé
1355 - 1349	06	01 Tube Plein inox
1349 - 1289	60	10 Tubes Crépines Johnson super renforcé
1289 - 1171	18	03 T.P inox
1171 - 1259	12	02 Tubes Crépines Johnson super renforcé
1259 - 1241	18	03 T.P Inox
1241 - 1199	42	07 Tubes Crépines Johnson super renforcé
1199 - 1109	90	15 T.P inox

Tableau 3.12: programme de colonne de captage, **source:** ANRH Rappo. programme de la colonne de captage, 2022.

Nota : elle sera en outre munie de centreurs en inox sur toute sa hauteur en respectant un espacement maximum de 30 m .

Remarque :

Dans les forages du Continentale Intercalaire on n'introduit pas de gravier additionnel à cause de la forte pression de nappe (sup 14 bar), en plus la crépine utilisée est super renforcé en double parois.

3.12.7 Développement du forage :

Le développement du forage est une étape très importante qui permet d'éliminer la plupart des particules fines du terrain et du gravier filtre qui pourraient pénétrer dans le forage ainsi que le reste du cake de boue et d'arranger le terrain autour de la crépine afin d'en augmenter la perméabilité.

Cette opération permet d'augmenter de façon significative le débit du forage initialement estimé. La nappe est en effet progressivement mise en production, l'aquifère est libérée de ses fines, la perméabilité et le débit instantané augmentent.

3.12.7.1 Auto développement :

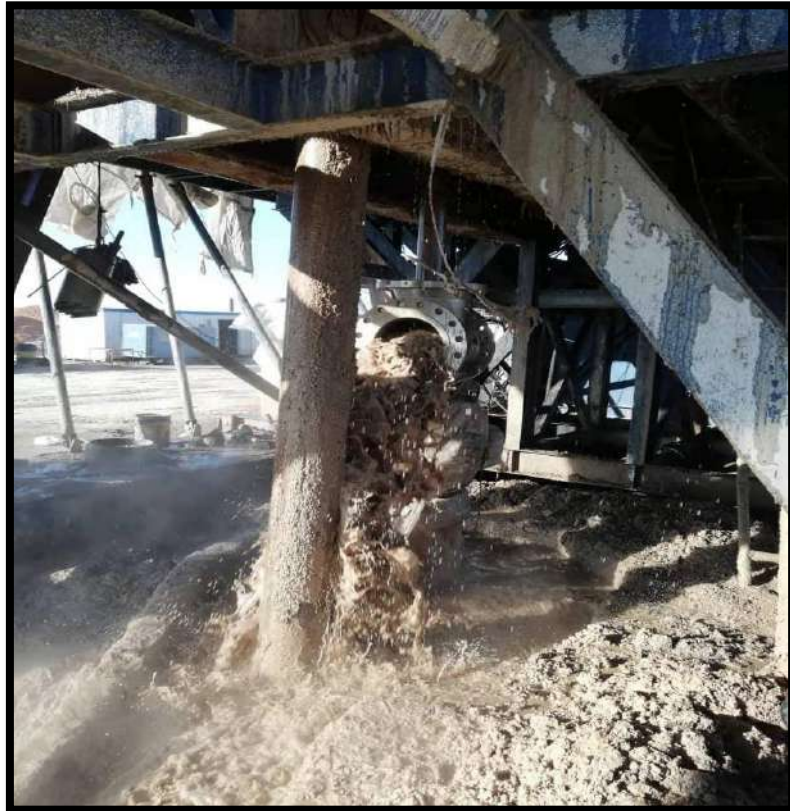
L'auto développement sous entend que pendant la phase de mise en valeur de l'aquifère une partie des éléments fins sont enlevés, seuls les éléments les plus gros restent en place au voisinage de la crépine. Il faut donc choisir une ouverture des fentes de crépine qui laisse passer les éléments qu'on désire éliminer.

Les conditions de l'auto développement sont les suivantes :

$$(CU) d_{60}/d_{10} \geq 2 \text{ avec } d_{10} \geq 0,25 \text{ mm}$$

Ces formules caractérisent une formation multi granulométriques et la condition $d_{10} \geq 0,25$ mm prohibe l'auto développement dans les sables fins. Dans le cas où CU est supérieur à 5 on peut admettre que le pourcentage d'éléments fins est faible par rapport aux gros éléments et le massif de gravier peut ne pas s'imposer. On s'affranchit alors de la condition $d_{10} \geq 0,25$ mm. Les différents auteurs ne s'accordent pas sur l'ouverture à donner aux crépines. Généralement on convient qu'il faut éliminer 50 % de la formation à proximité du captage. L'ouverture des crépines doit donc correspondre au diamètre d_{50} déterminé par une analyse granulométrique de l'aquifère.

On comprendra qu'il est rare de pouvoir effectuer toutes ces mesures. Dans les grandes séries de forages, on se contente donc le plus souvent d'équipements minimums, uniformisés, pour éviter l'ensablement, mais qui introduisent des pertes de charge importantes (**BENAMOUR Abdré, 2020**).



By Leghrieb Raid et Abaz Abdenour 2022

Photo N°36: L'Auto développement de forage albien Hassi lekhfif.

Conclusion :

Le forage albien est un domaine très difficile. L'objectif de notre travail consiste à une étude et suivi de la technique de réalisation de cet ouvrage profond (1450 m), que ce soit de point de vue géologique, hydrogéologique, et technique de forage utilisées, ainsi que les essais des débits, afin de contrôler la bonne exécution du forage .



*Chapitre IV: Chimie
des eaux et essais de
débit*

4.1 introduction :

Dans ce chapitre nous avons mis le point sur les essais de débit, c'est une opération dont l'objectif principal est de déterminer les paramètres hydrauliques de l'aquifère, à savoir :

- Débit d'exploitation, débit critiques, et le rabattements correspondantes;
- Transmissivité T, Perméabilité K et le coefficient d'emmagasinement s'il y'a lieu;
- Le rayon d'action Ra (rayon d'influence).

Nous avons opté pour la méthode Peter Jacob, vu que les conditions requises de cette dernier s'adapte avec ceux de la nappe du Continental Intercalaire (CI), localement dite Albienne ; La nappe est artésienne, l'eau est jaillissante, la pression statique est 14 bars, mesurée après la fin de l'auto-développement.

Les essais de débit sont effectués en deux phases, à savoir :

- Essai par paliers ou essai de courtes durées;
- Essai de nappe ou essai de longue durée.

4.1.1 Essais de débit :

Une fois le forage est développé, un essai par palier sera effectué. Il a pour objectifs ;

- La détermination de débit exploitation et le rabattement à partir de la courbe caractéristique;
- La détermination du débit spécifique, ainsi que le débit critique, le débit maximum admissible et leurs rabattements correspondants;
- La détermination des pertes de charges linéaires (B), provoquées par le gravier additionnel et la formation avoisinants, et quadratique(C), dues aux équipements de forage (tubages, crépines).

Pour l'établissement de la courbe caractéristique et la droite des pertes de charges (B) et (C), Nous avons utilisé la méthode manuel, ainsi que le traitement par le logiciel OUAIP de BRGM, les résultats sont comme suite ;

$$S = BQ + CQ^2 \quad \text{(IV.1)}$$

a. Méthode manuel :

Les résultats sont comme suite ;

<i>N° Paliers</i>	<i>Niv. dynamiques (m)</i>	<i>Rabattements (m)</i>	<i>Débits (l/s)</i>	<i>Débit spécifique (Q÷S) (l/s/m)</i>	<i>Rabattements spécifiques (S÷Q) (m/l/s)</i>
P1	138	2	35	17.5	0.057
P2	132	8	70	8.75	0.114
P3	92	48	140	2.91	0.342
P4	14	126	200	1.58	0.63

Tableau 4.1: Résultat des essais de débit de courtes durées

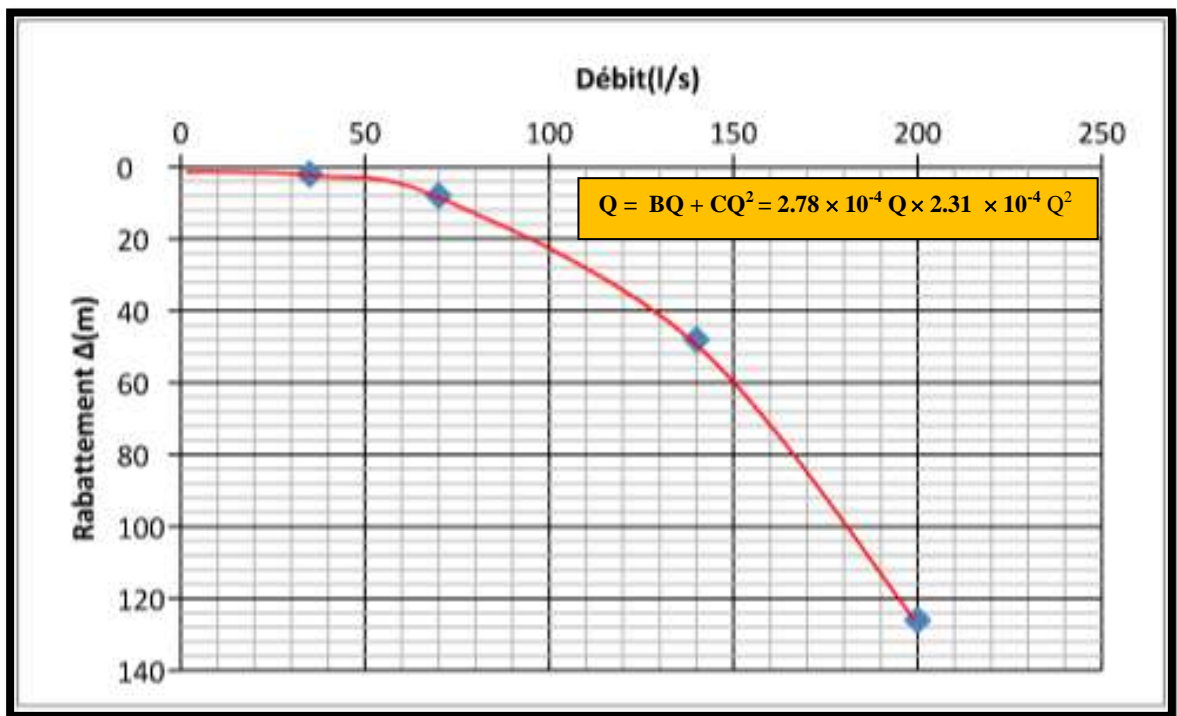


Figure IV.1: Courbe caractéristique de l'essai de débits par paliers.

L'interprétation des essais par palier se fait graphiquement, en traçant la courbe $des=f(Q)$, représentant le rabattement à la fin de chaque palier (en m) en fonction du débit exprimé en l/s.

b. Méthode de traitement par logiciel OUAIP de BRGM:

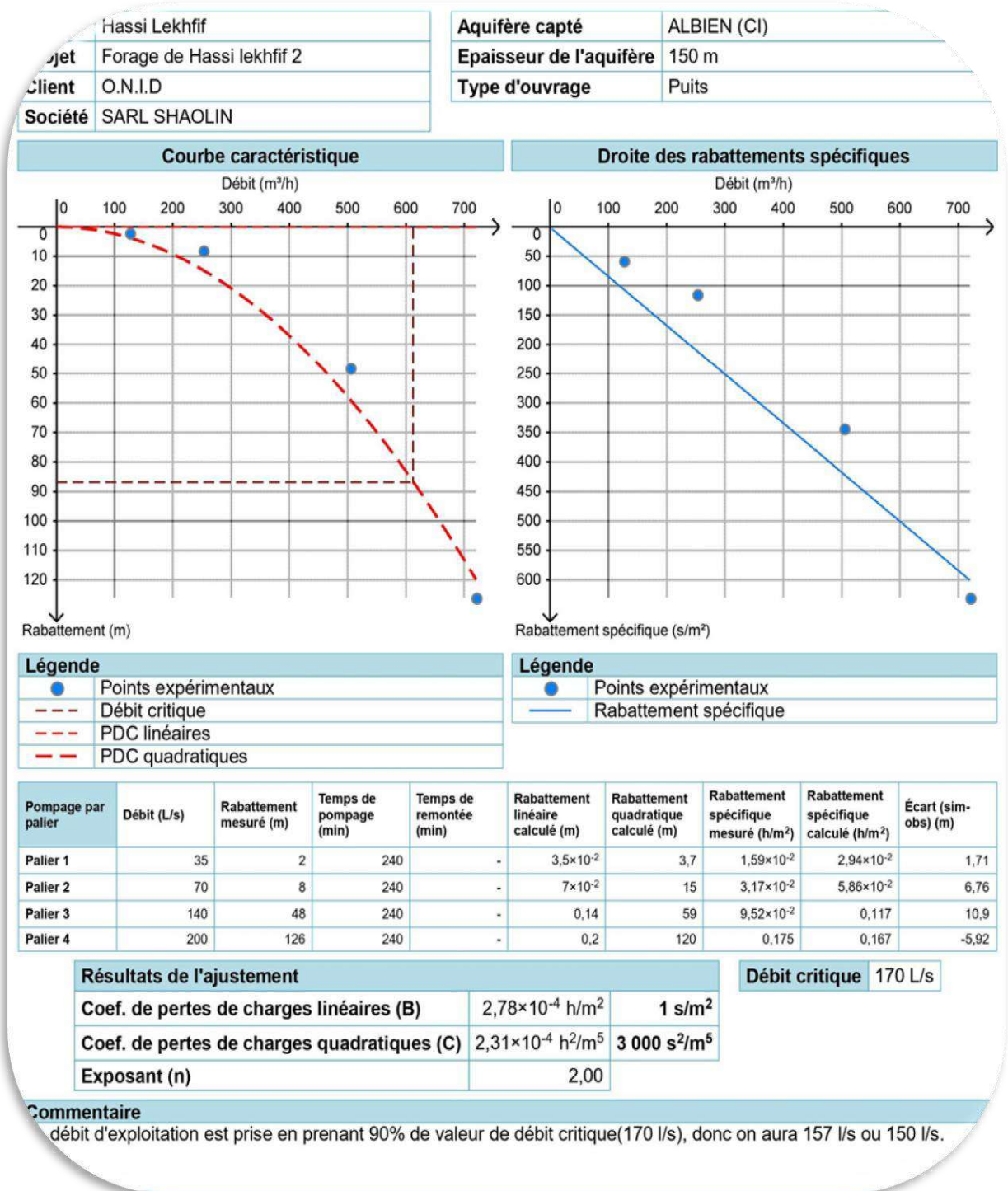


Figure VI.2 Interprétation des essais par palier du forage Hassi Lekhfif.

(Par le biais du logiciel OUAIP du BRGM)

On remarque que les résultats tirés du logiciel OUAIP, nous donnent une bonne interprétation de l'essai par palier, il nous a permis d'établir ce qui suit :

- La courbe caractéristique dont nous avons déduit le débit critique (170 l/s), le débit d'exploitation (150 l/s), ainsi que les rabattements correspondantes;
- La droite la droite $Q=f(s/q)$, à partir de laquelle nous avons pu évaluer la valeur de la perte de charge linéaire (B) et quadratique (C).

4.1.1.2 Essais par palier de longue durée (palier constant) :

Cette étape est effectuée à la fin des essais de débit, elle consiste à laisser le forage débiter avec un fort débit pendant une durée de 48 heures, suivi de mesure de la remontée après fermeture de la vanne de forage. Cette essai nous permet d'évaluer les paramètres suivant ;

- Transmissivité (T), Perméabilité (K) et le coefficient d'emmagasinement (S).

Les résultats de cet essai sont représentés par ces deux graphes (la remonter et la descente) :

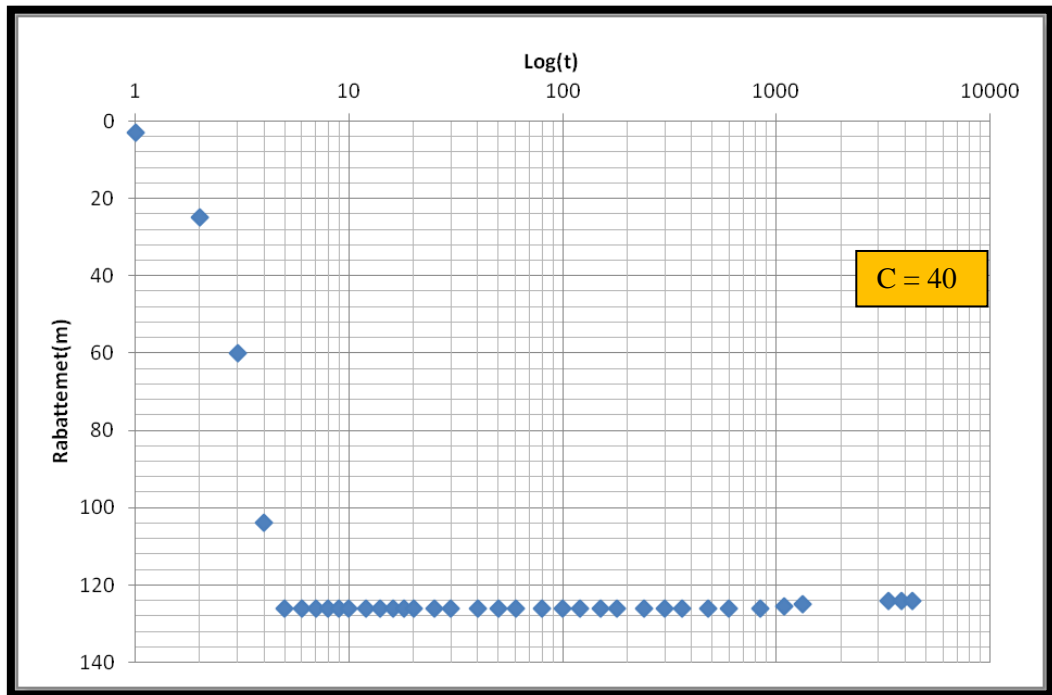


Figure VI.3: Essai à débit constant "descente".

Les paramètres de la nappe déduits graphiquement sont comme suite ;

<p>La valeur de transmissivité (m^2/s) est : $T_{descente} = 0.183 \times Q \div C$. (IV.2)</p> <p>➤ App num. : $T_{descente} = 0.183 \times 0.2 \div 40 = 9.15 \times 10^{-4} m^2/s$.</p>
<p>La valeur de pente de rabattement (m) est : $\Delta C = (\Delta_2 - \Delta_1 \div \log t_2 - \log t_1)$. ($\log t_2 - \log t_1$) : Cycle logarithmiques. (IV.3)</p> <p>➤ $\Delta C = 40 m$</p>
<p>La formule de perméabilité (m/s) est : $K = T \div e / e = 180m$ (IV.4)</p> <p>➤ App num : avec $K = T \div e = 9.15 \times 10^{-4} \div 180 = 5.08 \times 10^{-6} m/s$</p>

La remonter consiste à observer l'augmentation de la pression exprimée en mètre, après la fermeture de la vanne de forage, donc l'essai de remontée n'est pas un essai de débit au sens strict du terme, le déroulement de l'opération est comme suite :

Fermée la vanne et enclenchez le chronomètre simultanément.

Mesurez la pression par le manomètre place sur la tête de forage, les mesuress'effectuent suivant le tableau mentionne en annexe, la remonter de pression augmente rapidement au début (on note que la pression d'une barre représente 10m du hauteur d'eau).

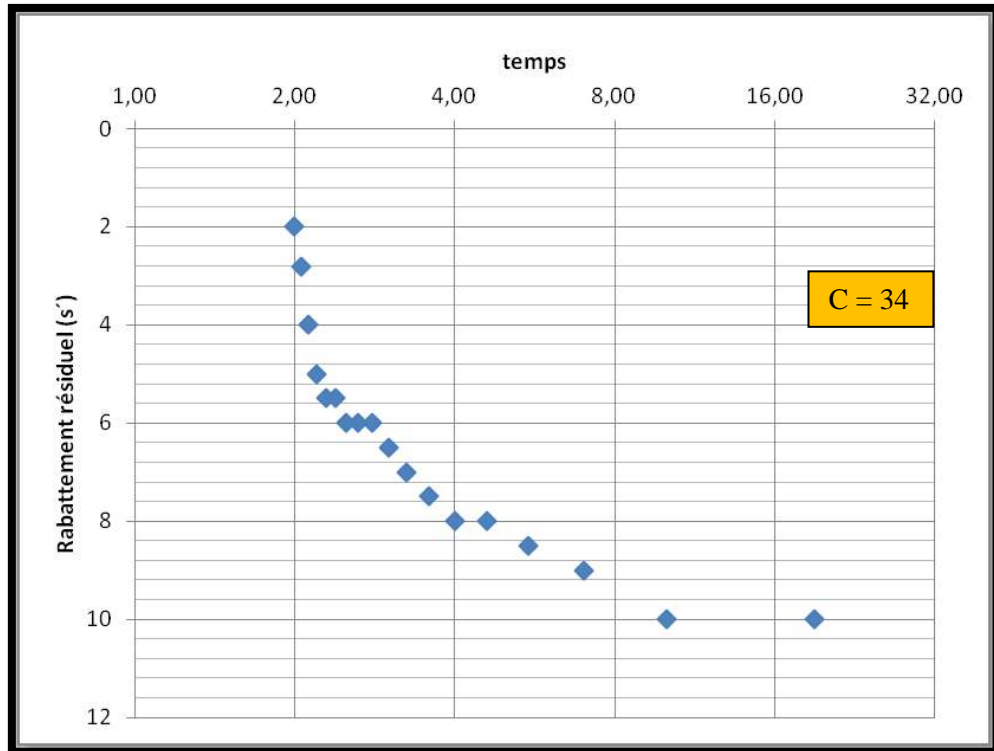


Figure VI.4: Essai à débit constant "Remontée".

Les paramètres de la nappe déduits graphiquement sont comme suite ;

La valeur de transmissivité (m²/s) est : $T_{\text{descente}} = 0.183 \times Q \div C$.

➤ **App num. :** $T_{\text{descente}} = 0.183 \times 0.2 \div 34 = 0.001 \text{ m}^2/\text{s}$.

La valeur de pente de rabattement (m) est : $\Delta C = (\Delta_2 - \Delta_1 \div \log t_2 - \log t_1)$. (log t₂ - log t₁) : Cycle logarithmiques.

➤ $\Delta C = 34 \text{ m}$

La formule de perméabilité (m/s) est : $K = T \div e / e = 180\text{m}$

➤ **App num :** avec $K = T \div e = 0.001 \div 180 = 5.0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

On note que les valeurs de transmissivité de la remonter et la descente sont différents, ce qui implique l'existence d'anomalie au cours de mesures, mais de façon générale, on peut prendre la transmissivité de la descente comme référence.

Pour les paramètres hydrodynamiques ; T (transmissivité) et K le coefficient de perméabilité, nous avons pu les évaluer suite à l'établissement de deux droites établies à partir des essais de débit à long durée.

4.2.2 Qualité chimique des eaux de forage Hassi Lekhfif :

4.2.2.1 Analyses des échantillons d'eau :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate qui nécessite le plus grand soin. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension...)

Les analyses des échantillons prélevés portent sur la granulométrie, la conductivité électrique (CE), le pH et le calcaire total et les bases échangeables Ca^{++} , Na^+ et Mg^{++} . Elles ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'ANRH à Ouargla.

4.2.2.1.1 Les caractéristiques physiques des eaux :

Paramètre	Mesures
Température C°	25
Conductivité électrique à 25 en (mS/cm)	2.62
pH	8.22

Tableau 4.2: Caractéristiques physiques d'eau de notre forage.

4.2.2.1.2 Les caractéristiques chimiques des eaux :

Eléments	Mesures (mg/l)	Mesures (meq/l)
Ca^{++}	130	6.5
Mg^{++}	94.7	7.9
Na^+	237.5	10.32
K^+	40.8	1
Cl^-	383	10.94
SO_4^{--}	584	12.16
NO_3^-	00	00
HCO_3^-	131	2.14
CO_3^{--}	00	00

Tableau 4.3: Caractéristiques Chimiques d'eau de notre forage.

4.2.2.2 Vérification de fiabilité des données chimiques :

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations (eaux souterraines et eaux de surfaces), il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques). En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule (**K.boulifa, FSTGAT**).

$$BI = \frac{\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}}{\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}} \times 100 \quad (\text{IV.5})$$

D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

- Excellentes lorsque $BI < 5 \%$
- Acceptable lorsque $5\% \leq BI \leq 10 \%$

$$\text{App num : } BI = \frac{\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}}{\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}} \times 100 = \frac{0.54 \left[\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right]}{51.02 \left[\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right]} \times 100 = 1.05 \%$$

On observe que $BI = 1.05 \% \leq 5 \%$ signifie les analyses sont excellentes.

N.B : L'eau de notre forage utilisé pour l'irrigation.

4.2.2.3 Détermination des facies chimiques à l'aide des différents diagrammes :

4.2.2.3.1 Le diagramme de piper :

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles équilatéraux dont les côtés portent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions.

On porte sur chacun des triangles équilatéraux du diagramme les quantités en réaction pour cent calculées par rapport à la somme des ions de même signe et non par rapport à la concentration totale.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection

des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée (**K.boulifa, FSTGAT**).

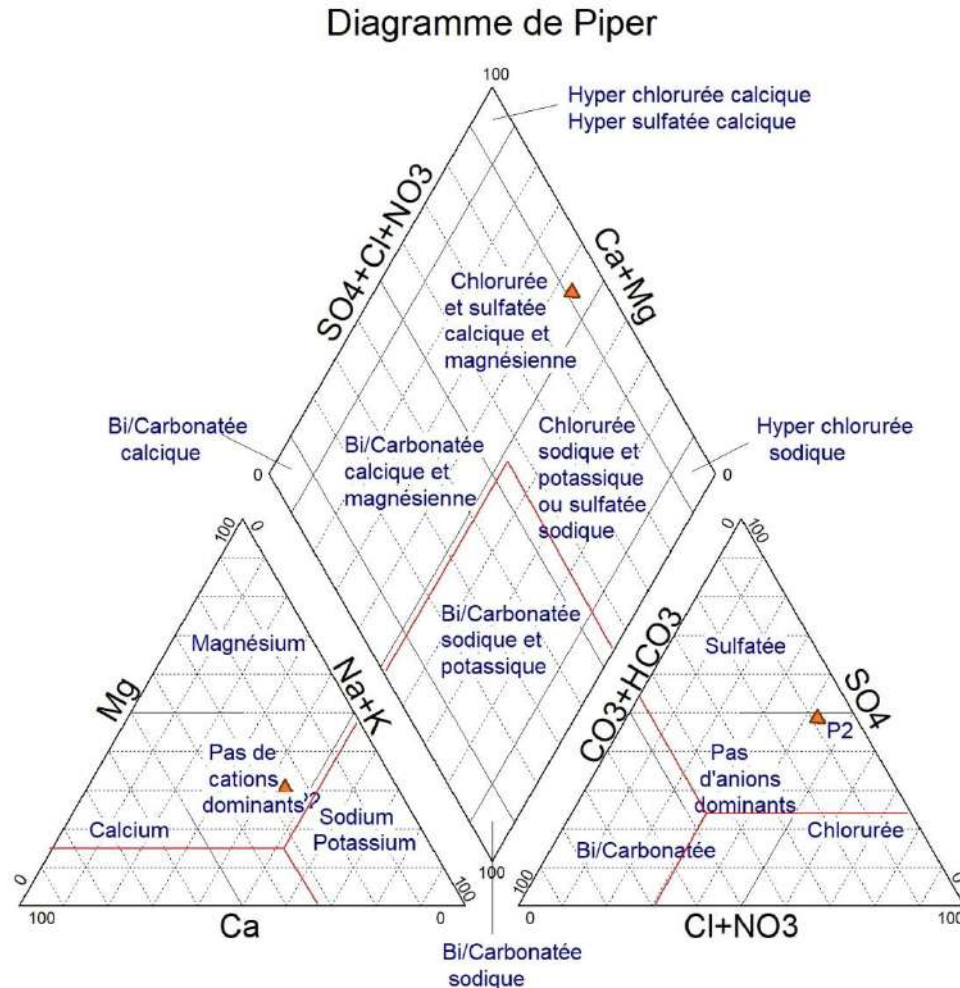


Figure IV.5: Représentation graphique d'analyse d'eau selon le diagramme de piper du forage Hassi Lekhfif.

Le diagramme de Piper permet de lire **un faciès : chlorurée et sulfatée calcique**.

4.2.2.4 L'eau d'irrigation :

Trouver l'eau nécessaire est la première occupation dans l'établissement d'un projet d'irrigation. La quantité suffisante et la qualité physique et chimique sont des paramètres prendre en considération (**Poiree et Ollier, 1957**).

4.2.2.5 La classification des eaux par la méthode de S.A.R :

Le sodium est l'un des éléments (cations) les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. De grandes quantités en sodium combinée avec le chlore donne à l'eau un goût salé.

En fonction de l'alcalinisation des sols quatre classes ont été distinguées par l'U.S.S.L (1954), ces classes ne sont pas délimitées par des valeurs absolues mais par des droites à pente négatives en fonction le croisement des salinités. Donc cette classification tient aussi compte non seulement du S.A.R mais aussi de la quantité totale des sels dissous dans l'eau. Le sodium adsorption ratio (SAR) est défini par l'expression.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}} \quad (\text{IV.6}) \quad \text{Avec : } Na^+, Ca^{2+} \text{ et } Mg^{2+} \text{ en méq/l.}$$

✓ App num : $SAR = 10.32 \div (\sqrt{6.5} + \sqrt{7.9}) \div 2 = 3.86 \text{ méq/L.}$

4.2.2.5.1 Le diagramme de Wilcox :

Pour étudier la qualité des eaux nous avons utilisé le diagramme de la détermination des qualités des eaux d'irrigation de Durand (1958), après la détermination de coefficient du sodium adsorbé (SAR) avec la CE en dS/m, avec : 1 dS/m = 1mS/cm.

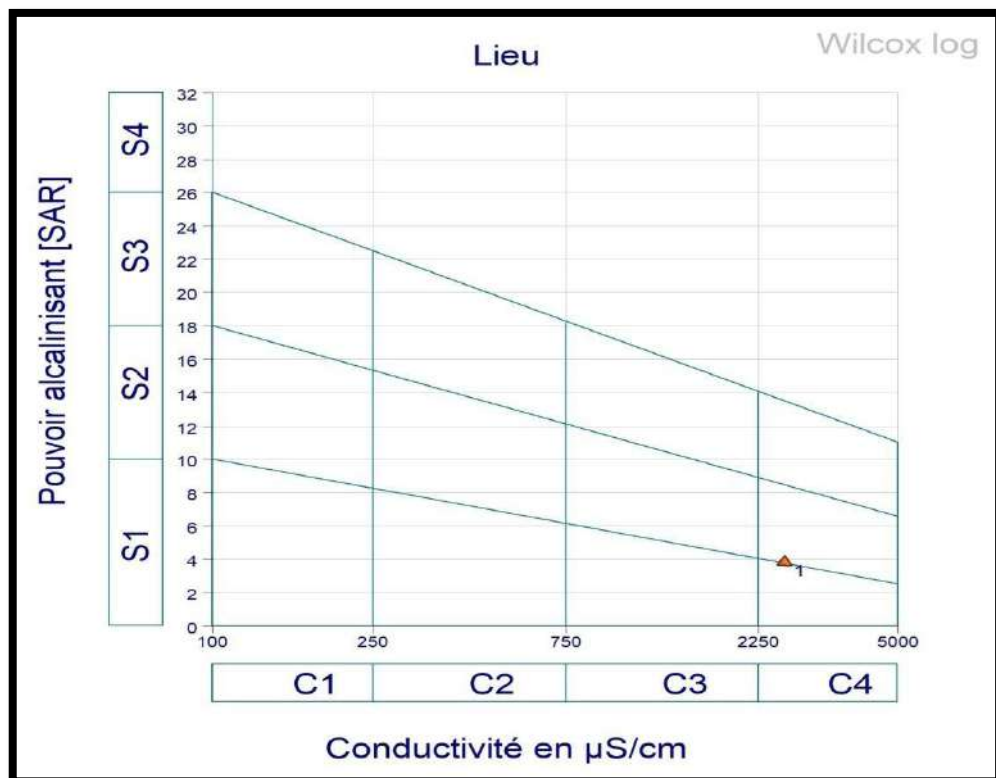


Figure IV.6: Représentation selon le diagramme wilcox de l'analyse des eaux de forage Hassi Lekhfif.

✓ C4 : $2.250 < C.E < 5 \text{ dS/m} \rightarrow$ eau à très forte salinité (Durand 1958).

Le résultat obtenu par le laboratoire montre que la valeur de la CE 2.62 en mS/cm de l'eau de la nappe albien sont largement supérieures à 2.25 dS/cm d'où une salinité très forte. Le

valeurs de SAR est 3.86 méq/L ce qui indique que l'eau de cette nappe sont sodiques à très fortement sodique.

Le figure IV.6 donne la classification de l'eau selon son degré d'aptitude à l'irrigation. Et montre que l'eau de nappe albienne, se suitée en générale dans quatre classes principales **(Durand 1958)**.

- ✓ **C3-S1** : eau de qualité admissible, convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
- ✓ **C4-S1** : eau de qualité médiocre, fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés les eaux de la nappe alluviale.
- ✓ **C5-S1 et C5-S2** : eau de qualité médiocre, fortement minéralisée ne convenir pas à l'irrigation.

Selon la classification, l'eau de ce forage albien est de qualité moyenne à mauvaise.

Conclusion :

L'étape principale des essais de débit est la déduction des paramètres hydrodynamiques ; pour les essais par palier on a déduit un débit d'exploitation important de 150 l/s avec une eau claire (dépourvue de toute particules en suspension), avec un rabattement correspondante de 48m, équivalent à une pression de 4,8.

Concernant l'essai définitif (de longue durée), nous avons calculés graphiquement la transmissivité, $T = 9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (de la descente) et celle de la remonter $T = 0.001 \text{ m}^2/\text{s}$; on note qu'ils sont différent ce qui implique une anomalie quelconque, lors de prise de mesure, mais globalement ces essais sont acceptables, vue les contraintes du terrain et les risques aperçues, lors des manœuvres des vannes de la tête de puits.

A partir l'étude chimique que nous avons réalisée sur l'échantillon d'eau prélevé au puits, nous avons obtenu les résultats suivants :

- ✓ D'après le diagramme de piper le faciès chimique de forage est **sulfaté chlorurée sodique**;
- ✓ TH = 71.4 °F signifie que l'eau de nappe très dure;
- ✓ C.E = 2.62 mS/cm signifie l'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait des difficultés d'alcalinisation.

Nous avons remarqué à travers le diagramme de " Wilcox" la qualité d'eau de forage appartient à la classe **C4-S1**, ce qui signifie que l'eau est caractérisée par une très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation ; exceptionnellement, elle peut être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

Conclusion générale

La réalisation de notre travail est basée sur les visites multiples sur terrain du forage suivi, chose qui nous a permis de collecter les données, d'observer le fonctionnement et l'organisation d'un chantier de forage, de distinguer les rôles des différents intervenants sur chantier.

Notre forage albien atteint la profondeur de 1450 m, réalisé en quatre phases télescopiques, de diamètres décroissent.

✓ Début de forage (le tube guide):

Forage Ø 30" : de 0 à 85m;

Tubage Ø 28" TNRS : de 0 à 85m;

Cimentation complète : de 0 à 85m;

Volume de ciment = 5.72 m³;

Volume de boue = 122.29 m³;

Type de boue : boue benthonique.

✓ La phase I:

Forage Ø 26" : de 85 m à 350 m;

Tubage Ø 18^{5/8}" K55 API : de 0 à 350 m;

Cimentation complète = de 0 à 1123 m;

Volume de boue = 253.56 m³;

Type de boue : boue benthonique;

✓ La phase II:

Forage Ø 17^{1/2}" : de 350 m à 1123 m;

Tubage Ø 13^{3/8}" K55 API : de 0 à 1123 m;

Cimentation étagée : de 0 à 1123m;

Volume de ciment = Volume de 1^{er} étage = 52.94 m³ , Volume de 2^{ème} étage = 48.14 m³.

Volume de boue = 356.09 m³.

Type e boue : boue salée saturé.

✓ *La phase III:*

Forage Ø 12^{1/4}" : de 1123 m à 1450m;

Tubage Ø 9^{5/8}" K55 PI : de 0 à 1103.17m;

Cimentation complète : de 0 à 1103.17 m;

Volume de ciment = 40.80 m³;

Volume de boue = 198.02 m³;

Type de boue : boue salée saturé.

✓ *La phase IV:*

Forage Ø 12^{1/4}" : de 1123 m à 1450 m;

Mise en place la colonne de captage : Tube plein Ø 8^{5/8}"inox + crépine

Johnson Ø 8^{5/8}" super renforcés slot 20;

Longueur totale des crépines Johnson (30×6m) = 180 m;

Longueur totale de tube plein inox (25×6m) + sabot (0.4m) = 150.4m;

Nous signalons l'absence du massif graveleux.

L'analyse minéralogique des cutting par les mud-loggeurs nous permis de tracer le log lithologique e notre forage.

La diagraphie a permis les mesures effectuées dans notre forage de Hassi lekhfif qui sont :

- ✓ *Polarisation spontané;*
- ✓ *Les résistivités électriques: PN - GN;*
- ✓ *Dia mètreur (caliper);*
- ✓ *Inclinomètre;*
- ✓ *Gamma-Ray;*
- ✓ *Contrôle de cimentation CBL VDL.*

Nous tenons à signaler que le BRGM de France nous a autorisés de télécharger les programmes suivantes :

- ✓ *GesFor, c'est un logiciel de dessin de forage avec lequel on a pu dessiner :
la coupe technique et la coupe lithologique du forage.*
- ✓ *Ouaip (version 1.9.3), ce logiciel est destiné pour les l'interprétation et à la simulation des pompages d'essais en hydrogéologie, qu'on a utilisé dans ce mémoire.*

Nous tenons à faire la remarque suivante :

Un forage albien sans l'utilisation d'un BOP est un grande risque pour une éruption hydrique fortement probable, quelque soit la métrise et les secrets de la boue utilisée.

Recommandations

Afin de réussir au mieux, les recommandations suivantes sont à prendre en considération :

- ✓ *L'utilisation d'un BOP est impératif dans le forage albien;*
- ✓ *Le contrôle endoscopiques périodiques des forages pour vérification de leur être en inox;*
- ✓ *Manipulation périodiques des vannes latérales;*
- ✓ *Pence a un traitement des eaux des forages albiens (élimination des calcaires " tartres", adoucissement).*

Référence bibliographique

- ABDRÉ Benamour**, Article *Le développement des forages*, 2020 , P 2-3 .
- Adama.T, Bourgoyn Jr, et al.**, "Applied Drilling Engineering" , SPE text Book series, Vol 2, 1991, P 41.
- ALIOUANE. Leila**, *Cours de diaggraphie différées*, Université de boumerdas, 2017, P 4-5.
- Albert MABILLOT**. *Le forage d'eau Guide pratique*, éditeur LAVOISIER / TEC ET DOC, année 1995 .
- Amar CHOUIKH**, *STEP de N'Goussa : une station 100% verte (ONA)* , P 4 .
- ANRH** , (2022) *Rapport de programme de la colonne de captage et production du forage Hassi lekhfif*.
- ANRH**,(2022) *Rapports de forage albien Hassi Lekhfif 2022*.
- BOUKAOU El Hachemi** , *Cours Forages d'eau: procédés et mesures* , 3éme année licence géologie-appliquée , Université Constantine 1 , 2020 , P 24.
- BOUSELSAL, B. (2016)**. *le FORAGE D'EAU Procédés et mesures '' univ-Ouargla* ,P 37.
- BUSSON G. 1970**. *Le Mésozoïque Saharien (Part 2). Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens*.
- Charles RIOU**. *LA DÉTERMINATION PRATIQUE DE L'ÉVAPORATION - Application à l'Afrique Centrale* , Ed ORSTOM PARIS 1975 , P 17.
- Darley, H.C.H. et Gray, G.R. (1988)** *Composition and properties of drilling and completion fluids. 5th Ed.*, Gulf Professional Publishing, Houston, TX, 630p.
- D.Chapellier**, *Coure online " Diagraphies Aquifères "* , Université de Lausanne, P36.
- DJEDDI Mabrouk, HACINE Rachide**, *Diagraphie différée et interprétation* , Université Boumerdas , 2009 , P 35-36.
- DOBBLIA**, *Le Forage Pétrolier-Techniques et Procèdes Cours et exercices résolus-Tome II* , Universite Kasdi Merbah Ouargla, 2020, P 28.
- Drilling Engineering** , Department of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University 2005 , P 26-31.

Drilling Data Handbook 8ème édition, édition Technip 2006, P 104 - 204 - 205 - 396.

ENSPM Formation Industrie - IFP Training, forage «garniture de forage». France. 2006.

ENSPM Formation Industrie-forage-production-gisement «Les outils de forage».

ENSPM Formation Industrie -IFP Training, «Les fluides de forage», France, 2006.

ENSPM Formation Industrie -IFP Training, La cimentation étagée, 2005 , P 5 - 8.

FARAG Abdulgali, Commande non linéaire dans les systèmes de forage pétrolier : contribution à la suppression du phénomène de “ stick-slip ”.. Automatique / Robotique Thèse doctorat . Université Paris Sud - Paris XI, 2006.

FEZZANI, Cs., 2003. Système aquifère du sahara septentrional une conscience de bassin.Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), vol.II 130.

F.GRONDIN, Edition janvier 2004, Module M2, SONATRACH - Division forage, Département de formation , P 20.

Gilles BRESSON, Cours Les méthodes de forage .

HADJKOUIDER Mohammed (2019) , GEOCHIMIE ET MINERALOGIE DES FORMATIONS ET DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE DE OUARGLA , Thèse de doctorat en Géochimie de surface , Univ Kasdi Merbah , P 52 .

HAFSI Takieddine , SOMAA Ismail , Appareil de forage, étude et dimensionnement, cas : champs Hassi Messaoud. Université Kasdi Merbah – Ouargla – Année 2012/2013 , P 16.

IDF (1988) Product data manual .

Jean FABRE, Introduction à la géologie du Sahara algérien (SNED, 1976) .

Jean-Paul NGUYEN (1993), «Techniques d'exploitation pétrolière- le forage » Institut Français du pétrole, P1-2.

J.DURAND , Les sols irrigables (étude pédologique) , 1958 , P 190.

K. BOULIFA, Cours Qualité et protection des eaux , Master 1 , FSTGAT , P 9.

Michel DETAY, 1993. Le forage d'eau , P 75 .

M.DADDOU, «Architecture d'un puits» " Module MO " , Sonatrach-division forage, juin 2013, P7.

ONM, (2005-2018) base de donnée de l'Office National Météorologique de Ouargla.

Olier C., Poiree M., Irrigation. les réseaux d'irrigation, théorie, technique, et économie des arrosages. 6ème Ed. Eyrolles. Paris 1983, 504 p.

P.Motard , A.hentz , " Forage rotary la boue de forage groupe II Leçon 2 " , Édition Technip, 1972, P 20-68.

Projet professionnel de fin de formation Pour l'obtention du diplôme de Magistère spécialisé en Réservoir engineering.

RAHMANI Abdellatif (2015) , EPURATION DES EAUX USEES DE LA REGION DE N'GOUSSA (OUARGLA) PAR DES VEGETAUX PERFORMANCES EPURATOIRES. Mémoire de MASTER en Génie de l'environnement , Univ Kasdi Merbah , P 37-38 .

Ryen Ceann , George V.Chillingar, "Drilling fluids: state of the ar", Journal of petroleum science and engineering.

SARL SHAOLIN, Rapport de cimentation.

SLIMANI. A et DADDOU. M «Formation d'ingénieurs en forage. ModulesM1».

SLIMANI.A, «Formation d'ingénieurs en forage. Modules M3. » Sonatrach-division forage.

Vinciane STENMANS, Jacques VAN LOOY, Vincent FIQUET. (2009) , Introduction aux techniques de forages , Orex géotechniques , P 2 .

WEC, La géologie pétrolière de l'Algérie. In Sonatrach , Schlumberger Well Evaluation Conference - Algérie 2007 , Édité par Schlumberger 2007, pp. 1.3 – 1.8.

Webgraphie

<https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/ouargla>

<https://www.mapbox.com/>

<http://ronglidrilling.asia/2-2-triplex-mud-pump/161112/>

https://www.log-hydro.fr/Diagraphie_40.html

Annexe

Annexe N°1 : Fiche d'essai de débit par palier.

FICHE D'ESSAI DE DEBIT PAR PALIERS							
N° du forage		Localité					
Repère: <u>axe du tuyau d'écoulement</u>		Hauteur repère par rapport au sol					
Pression statique (hauteur repère) bar		A la date du					
Début essai		Fin essai		Durée essai			
Début 1 ^{er} palier		Fin 1 ^{er} palier <u>35/50</u>		Durée 1 ^{er} palier		4h	
Début 2 ^{em} palier		Fin 2 ^{em} palier <u>70/50</u>		Durée 2 ^{em} palier		4h	
Début 3 ^{em} palier		Fin 3 ^{em} palier <u>140/50</u>		Durée 3 ^{em} palier		4h	
Début remontée		Fin remontée <u>140/50</u>		Durée remontée		1h	

Date	Temps (Heure)	Temps (min)	MESURE EN TETE DE FORAGE				MESURE AU FOND			OBSERVATIONS
			Débit (m³/h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20 °C (micSiem)	Profondeur (m)	Pression (bar)	Temp. (°C)	
2022										
02.13A	10:00	0.00	0.00	14.0						Premier palier
	10:01	1.00	5.37	13.93						
	10:02	2.00	13.58	13.90						
	10:03	3.00	23.75	13.86						
	10:04	4.00	35.16	13.80						
	10:05	5.00	35.76	13.80						
	10:06	6.00	35.83	13.80						
	10:07	7.00	35.75	13.80						
	10:08	8.00	35.81	13.80						
	10:09	9.00	35.80	13.80						
	10:10	10.00	35.75	13.80						
	10:12	12.00	35.69	13.80						
	10:14	14.00	35.83	13.80						
	10:16	16.00	35.86	13.80						
	10:18	18.00	36.02	13.80						
	10:20	20.00	35.83	13.80						
	10:25	25.00	35.68	13.80						
	10:30	30.00	35.82	13.80	52					

Date	Temps (heure)	Temps (min)	MESURE EN TETE DE FORAGE				MESURE AU FOND			OBSERVATIONS
			Debit (m ³ /h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20 °C (micScm)	Profondeur (m)	Pression (bar)	Temp. (°C)	
	10:40	40.00	35.85	13.80						
	10:50	50.00	35.71	13.80						
	11:00	60.00	35.76	13.80						
	11:20	80.00	35.36	13.80						
	11:40	100.00	35.65	13.80						
	12:00	120.00	35.81	13.80						
	12:30	150.00	35.76	13.80						
	13:00	180.00	35.57	13.80						
	14:00	240.00	35.71	13.80	52					
	14:01	1.00	28.63	13.70					Deuxième palier	
	14:02	2.00	45.23	13.65						
	14:03	3.00	53.65	13.50						
	14:04	4.00	63.32	13.30						
	14:05	5.00	70.70	13.20						
	14:06	6.00	70.43	13.20						
	14:07	7.00	70.23	13.20						
	14:08	8.00	70.16	13.20						
	14:09	9.00	70.25	13.20						
	14:10	10.00	70.26	13.20						
	14:12	12.00	70.23	13.20						
	14:14	14.00	70.35	13.20						
	14:16	16.00	70.26	13.20						
	14:18	18.00	70.23	13.20						
	14:20	20.00	70.41	13.20						
	14:25	25.00	70.36	13.20						
	14:30	30.00	70.27	13.20						
	14:40	40.00	70.27	13.20						
	14:50	50.00	70.29	13.20						
	15:00	60.00	70.31	13.20						
	15:20	80.00	70.46	13.20						
	15:40	100.00	70.29	13.20						
	16:00	120.00	70.31	13.20						

Date	Temps (Heure)	Temps (min)	MESURE EN TETE DE FORAGE				MESURE AU FOND			OBSERVATIONS
			Débit (m³/h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20 °C (micS/cm)	Profondeur (m)	Pression (bar)	Temp. (°C)	
	16:30	150.00	70.28	13.20						
	17:00	180.00	70.20	13.20						
	18:00	240.00	70.29	13.20	52				Troisième palier	
	18:01	1.00	70.50	13.20						
	18:02	2.00	80.00	13.07						
	18:03	3.00	95.00	13.00						
	18:04	4.00	120.00	11.70						
	18:05	5.00	139.90	9.20						
	18:06	6.00	140.00	9.20						
	18:07	7.00	140.50	9.20						
	18:08	8.00	140.50	9.20						
	18:09	9.00	140.90	9.20						
	18:10	10.00	140.90	9.20						
	18:12	12.00	140.50	9.20						
	18:14	14.00	140.40	9.20						
	18:16	16.00	140.20	9.20						
	18:18	18.00	140.10	9.20						
	18:20	20.00	140.00	9.20						
	18:25	25.00	139.90	9.20						
	18:30	30.00	139.40	9.20						
	18:40	40.00	139.30	9.20						
	18:50	50.00	139.40	9.20						
	19:00	60.00	139.30	9.20						
	19:20	80.00	139.20	9.20						
	19:40	100.00	139.28	9.20						
	20:00	120.00	138.00	9.20						
	20:30	150.00	139.12	9.20						
	21:00	180.00	139.36	9.20	52					
	22:00	240.00	139.05	9.20					Remontée	
	22:06	1.00	0.00	13.50						
	22:07	2.00		13.59						
	22:08	3.00		13.59						

关闭阀门

Date	Temps (Heure)	Temps (min)	MESURE EN TETE DE FORAGE				MESURE AU FOND			OBSERVATIONS
			Debit (m ³ /h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20 °C (mic/S/cm)	Profondeur (m)	Pression (bar)	Temp. (°C)	
	22:09	4.00								
	22:10	5.00		13.60						
	22:11	6.00		13.63						
	22:12	7.00		13.68						
	22:13	8.00		13.69						
	22:14	9.00		13.69						
	22:15	10.00		13.70						
	22:17	12.00		13.78						
	22:19	14.00		13.80						
	22:21	16.00		13.81						
	22:23	18.00		13.81						
	22:25	20.00		13.85						
	22:30	25.00		13.90						
	22:35	30.00		13.90						
	22:45	40.00		14.00						
	22:55	50.00		14.00						
	23:05	60.00		14.00						

Annexe N°2 : fiche d'essai à débit constant.

Pression statique (hauteur repère) _____ bar

Fin essai 200 L/s Durée essai _____

Fin écoulement _____ Durée écoulement _____

Fin remontée _____ Durée remontée _____

Date	Heure	Durée d'essai (min)	MESURE EN TÊTE DE FORAGE				OBSERVATIONS
			Débit (m³/h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20 °C (mic/S/cm)	

2022

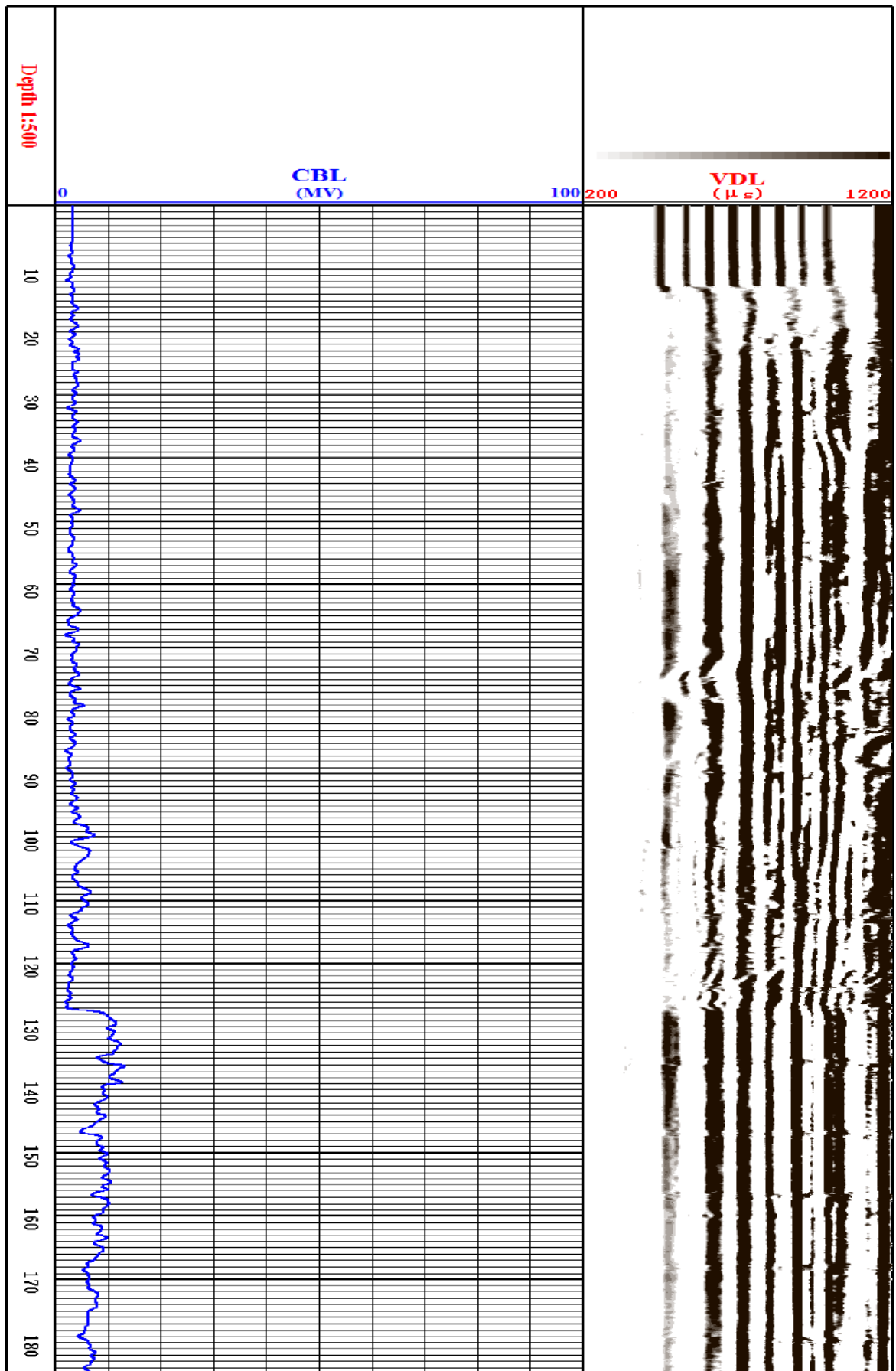
Date	Heure	Durée d'essai (min)	Débit (m³/h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20 °C (mic/S/cm)	OBSERVATIONS
02.14.11	8:00	0.00	0.00	14.00			Débit d'écoulement
	8:01	1.00	39.10	13.70			
	8:02	2.00	116.80	11.50			
	8:03	3.00	152.00	8.00			
	8:04	4.00	180.35	3.60			
	8:05	5.00	201.43	1.40			
	8:06	6.00	200.89	1.40			
	8:07	7.00	200.32	1.40			
	8:08	8.00	200.19	1.40			
	8:09	9.00	200.45	1.40			
	8:10	10.00	201.33	1.40			
	8:12	12.00	200.14	1.40			
	8:14	14.00	199.93	1.40			
	8:16	16.00	202.37	1.40			
	8:18	18.00	199.89	1.40			
	8:20	20.00	199.95	1.40			
	8:25	25.00	200.23	1.40			
	8:30	30.00	200.41	1.40			
	8:40	40.00	200.01	1.40	52		

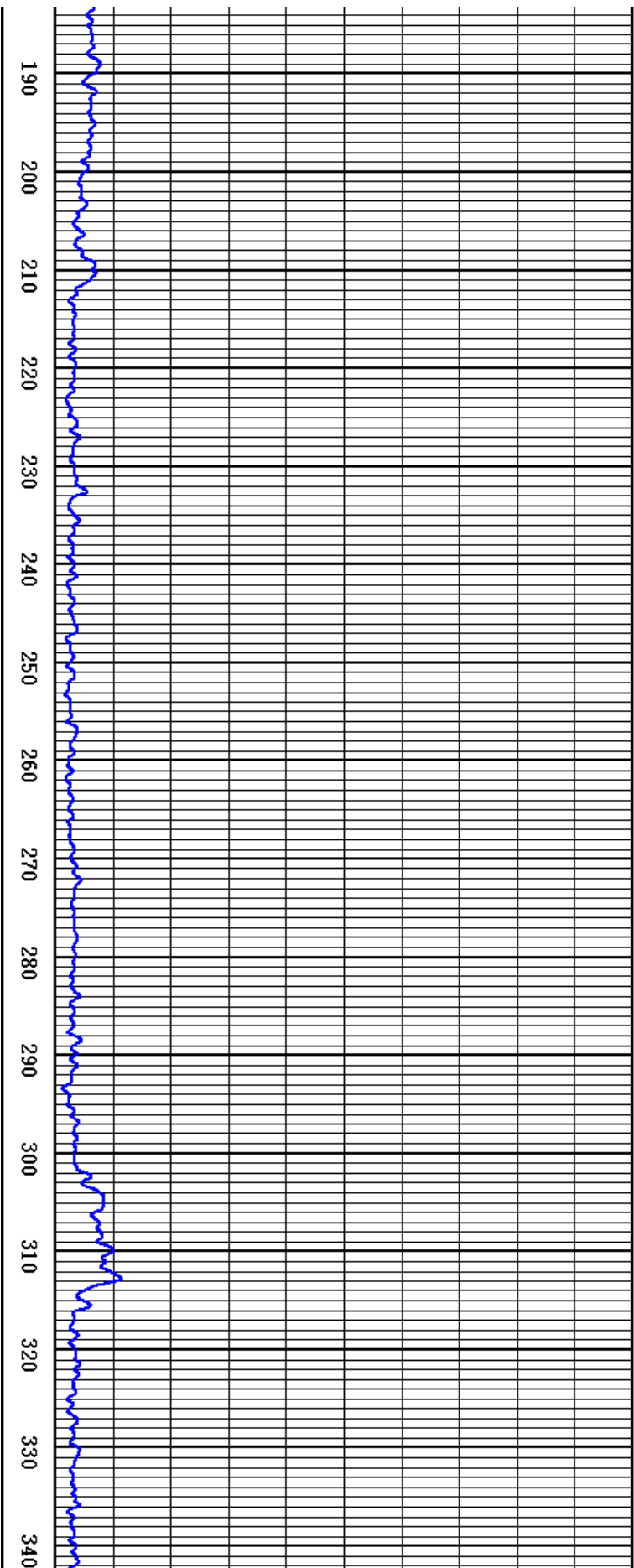
Date	Heure	Durée d'essai (min)	MESURE EN TETE DE FORAGE				OBSERVATIONS
			Débit (m³/h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20°C (micS/cm)	
	8:50	50.00	200.05	1.40			
	9:00	60.00	201.07	1.40			
	9:20	80.00	199.97	1.40			
	9:40	100.00	200.45	1.40			
	10:00	120.00	199.52	1.40			
	10:30	150.00	200.34	1.40			
	11:00	180.00	201.10	1.40			
	12:00	240.00	199.75	1.40	52		
	13:00	300.00	199.42	1.40			
	14:00	360.00	200.09	1.40			
	16:00	480.00	201.11	1.40			
	18:00	600.00	199.87	1.40			
	22:00	840.00	200.15	1.40			
02.15A	2:00	1080.00	200.31	1.40			
	6:00	1320.00	200.45	1.40			
	8:00	1440.00	200.26	1.40	52		
	12:00	1680.00	201.22	1.40			
	16:00	1920.00	199.53	1.40			
	20:00	2160.00	200.47	1.46			
	24:00	2400.00	201.36	1.50			
02.16B	8:00	2880.00	201.29	1.60			
	16:00	3360.00	200.65	1.60			
	24:00	3840.00	200.13	1.60			
02.17B	8:00	4320.00	200.37	1.60	52		
关闭阀门	8:05	1.00	0.00	13.00			
	8:06	2.00		13.00			
	8:07	3.00		13.10			
	8:08	4.00		13.15			
	8:09	5.00		13.20			
	8:10	6.00		13.20			
	8:11	7.00		13.25			
	8:12	8.00		13.25			

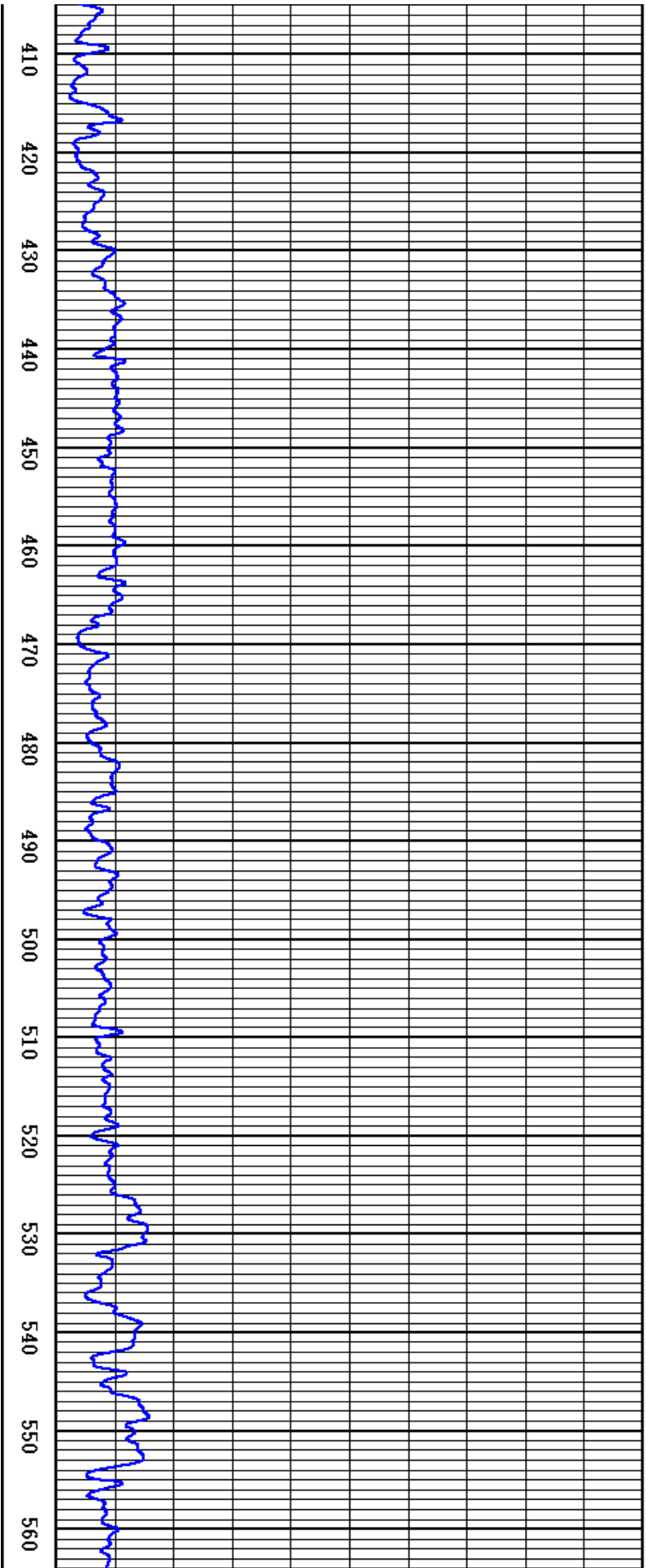
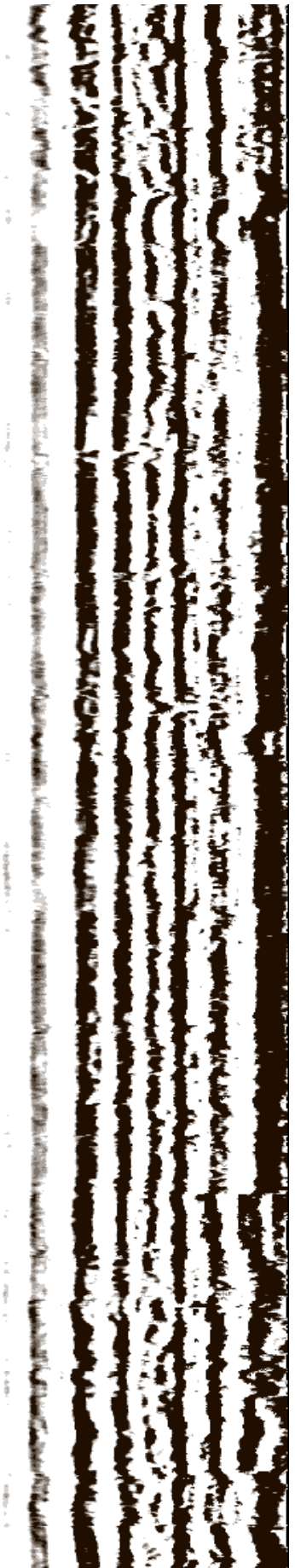
Remontée

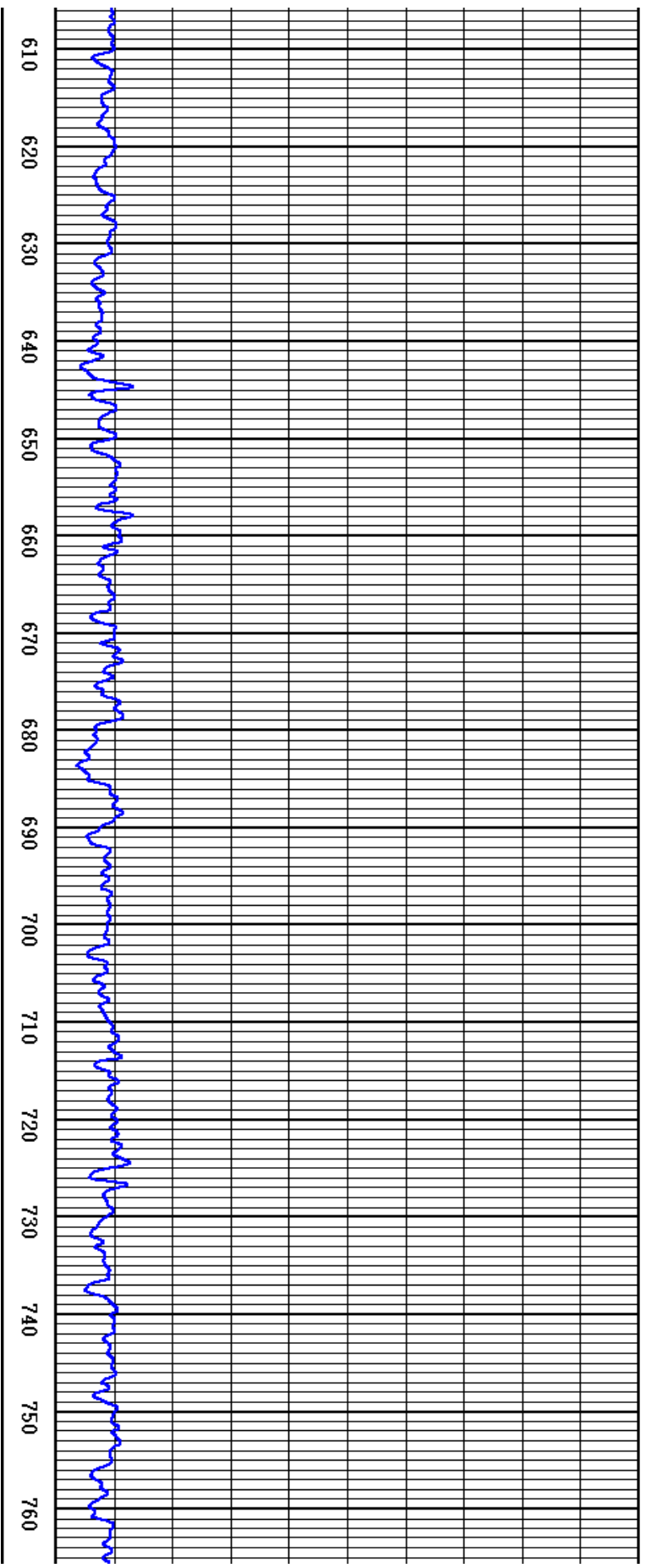
Date	Heure	Durée d'essai (min)	MESURE EN TETE DE FORAGE				OBSERVATIONS
			Débit (m ³ /h)	Pression (bar)	Temp. (°C)	C.E. à 20 °C (micSi/cm)	
2022	8:13	9.00		13.30			
	8:14	10.00		13.35			
	8:16	12.00		13.40			
	8:18	14.00		13.40			
	8:20	16.00		13.40			
	8:22	18.00		13.45			
	8:24	20.00		13.45			
	8:29	25.00		13.50			
	8:34	30.00		13.50			
	8:44	40.00		13.60			
	8:54	50.00		13.72			
	9:04	60.00		13.80			

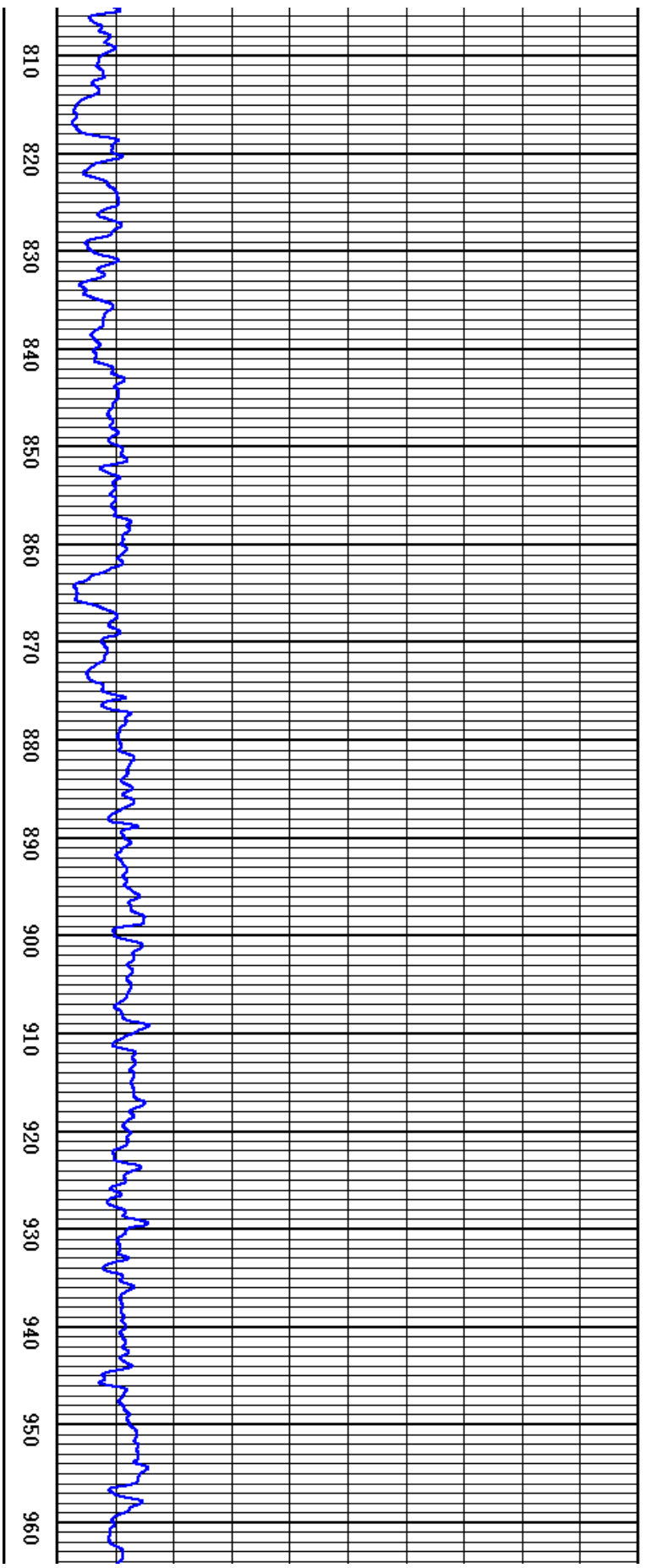
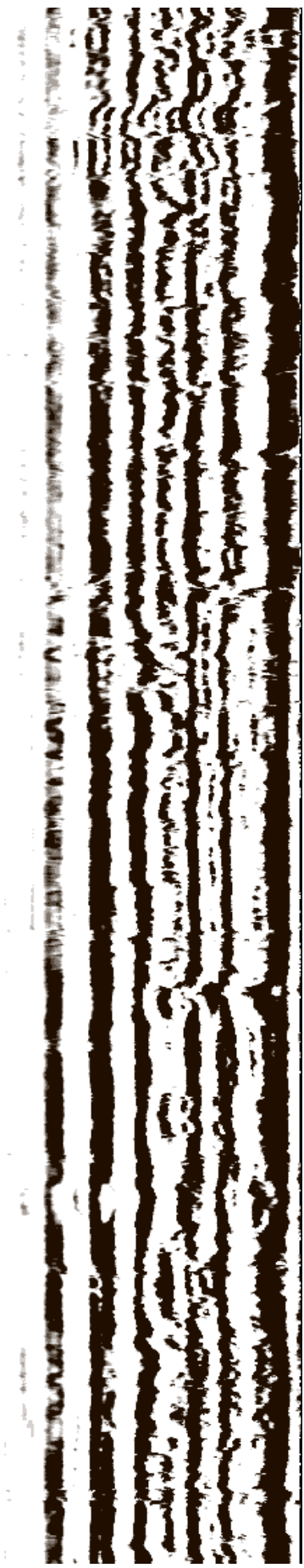
Annexe N°3 : La diagraphie CBL-VDL de Tubage 9^{5/8}" de forage Hassi Lekhafif.

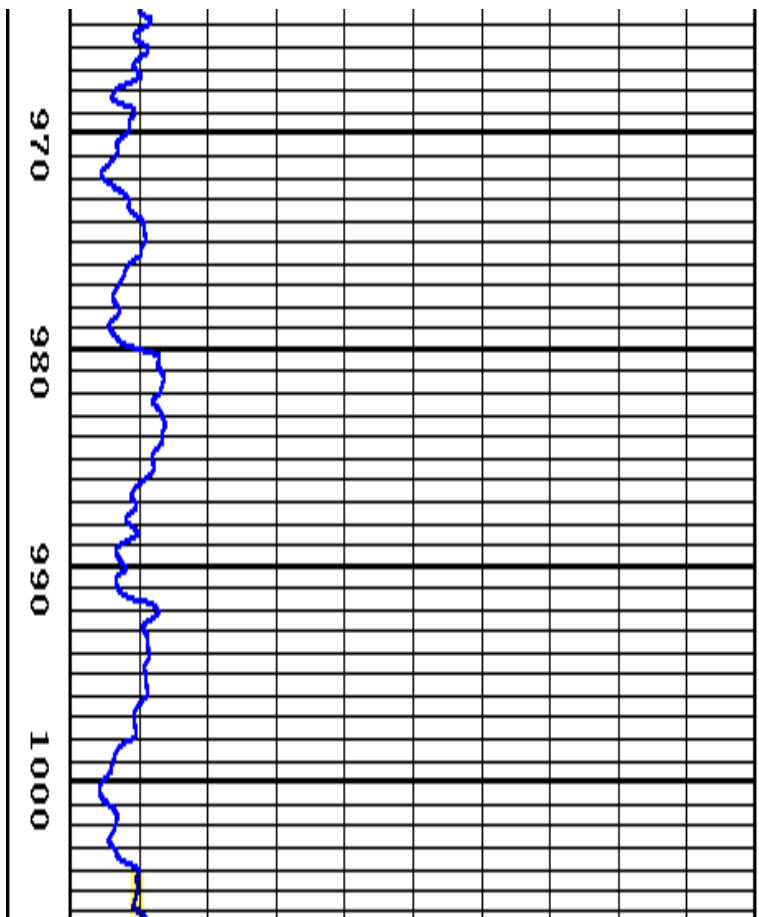


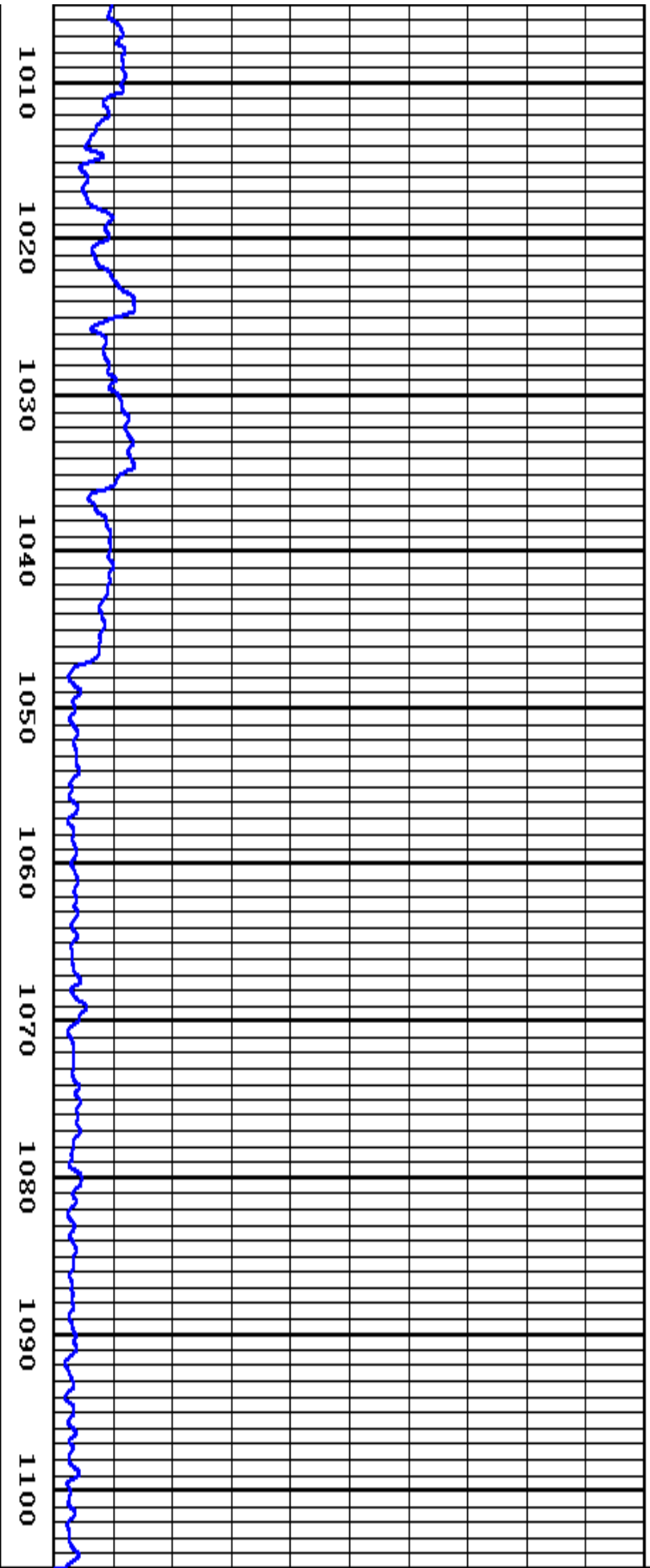












Annexe N°3 : La diaggraphie combinisé : Gamma-Ray, Résistivité PN-GN, Caliper, de colonne de captage de forage Hassi Lekhfif.

