

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministre de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences Appliquées**  
**Département de Génie civil et d'hydraulique**



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de**  
**MASTER PROFESSIONNEL**

Domaine : Génie civil et hydraulique

Filière : Hydraulique

Spécialité : Forage d'eau

**Présenté par : BOUKHALLAT Walid Nour Al islam**  
**BELAID Mohammed Ishak**

**Thème**

**Suivi d'un forage Albo-Barrémien dans la région**  
**El mostakbal (wilaya de Touggourt)**

Soutenu publiquement le :

11/06/2022

Devant le jury :

Mr : MAHI Rachid	M.A (A)	Président	UKM Ouargla
Mr : NETTARI Kamel	M.A (A)	Examineur	UKM Ouargla
Mr : KATEB Samir	Pr	Encadreur	UKM Ouargla
Mr : BENGUEGA M.Saleh	Ing d'état	Co-encadreur	ANRH Touggourt

**Année Universitaire: 2021/2022**

# Remercîment

*On remercie Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire, car sans lui rien n'est possible.*

*Nous voudrions exprimer nos remerciements les plus vifs*

*À Monsieur MAHI Rachid, pour l'honneur qu'elle nous a fait d'accepter de présider le jury, et d'évaluer ce mémoire.*

*Mes plus sincères remerciements vont également à Monsieur NETTARI Kamel, pour l'honneur qu'il nous a fait d'accepter d'examiner ce travail.*

*Nous remercions notre encadreur et Co-encadreur Monsieur KATEB Samir et BEN GUEGA M.Saleh, pour nous avoir proposé ce sujet si intéressant et avoir accepté de nous encadrer et pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail, pour ses aides, ses conseils, c'est grâce à sa compétence et indulgence que ce travail a pu être réalisé.*

*Enfin on adresse nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*Ames chers parents ma mère et mon  
père Pour leur patience, leur amour, leur soutien  
et leurs encouragements.*

*A mes sœurs Asma et Sadjida et frères  
Abdelmoumen, Chames Eddine, Mohammed et  
Iyad.*

*A mes amies et mes camarades.*

*Aux familles : BOUKHALLAT et  
HAMADA.*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*Ames chers parents ma mère et mon  
père Pour leur patience, leur amour, leur soutien  
et leurs encouragements.*

*A mes sœurs et frères.*

*A mes amies et mes camarades.*

*Aux familles : BELAID*

 M. Ishak

## Résumé :

Ce mémoire met l'accent sur deux axes, le premier axe mentionne les généralités sur la technique de forage Rotary: applications et équipements utilisés dans cette technique, Le dernier 2<sup>ème</sup> axe Nous avons suivi les étapes de forage de puits Albo-barrémien avec une technique de forage rotary. Cette technique passe par plusieurs étapes (organisation de chantier, forage de tube guide, forage en nappe, posé de tubage, posé de la crépine, injecté de ciment, essai de débit).

L'opération de suivi de la réalisation d'un forage Albo\_barrémien nous a permis de déterminer et comprendre les différentes caractéristiques et techniques du forage en question. Il sera destiné pour le renforcement du réseau d'eau potable de la localité d'El mostakbal.

**Mots clés :** El mostakbal, forage Rotary, puits, albo\_barrémien, d'eau potable, Nappe, Suivi, ressources en eau.

## Abstract:

This thesis focuses on two axes, the first axis mentions the generalities on the technique of rotary drilling: applications and equipment used in this technique, the last 2nd axis we followed the steps of drilling wells Albo-barrel with a rotary drilling technique. This technique goes through several stages (organization of the site, drilling of the guide tube, drilling in the water table, laying of the casing, laying of the screen, injection of cement, flow test).

The follow-up operation of the realization of an Albo\_barremian drilling allowed us to determine and understand the different characteristics and techniques of the drilling in question. It will be intended for the reinforcement of the drinking water network of the locality of El mostakbal.

**Keywords:** El mostakbal, drilling Rotary, well, albo\_barrémien, drinking water, Nappe, Monitoring, water resources.

## ملخص :

تتركز هذه المذكرة على محورين أساسيين : المحور الأول يذكر عموميات خاصة بتقنية الحفر الدوراني : تطبيقاته والمعدات المستخدمة في هذه التقنية، والمحور الثاني قمنا بمتابعة مراحل حفر بئر ألبوبارميان بتقنية الحفر الدوراني. وهذه التقنية تمر بعدة مراحل (تنظيم الموقع، حفر أنبوب التوجيه، حفر حتى المنبع، وضع المصفاة، وضع الغلاف، ضخ الإسمنت، اختبار التدفق).

سمحت لنا عملية متابعة حفر بئر ألبان بتحديد وفهم الخصائص الهيدروليكية والتقنية للبئر المذكور. بحيث سيتم تخصيصه لتقوية شبكة مياه الصالحة للشرب للتجمع السكاني لمنطقة المستقبل بتقريب.  
**الكلمات المفتاحية :** الحفر الدوراني، بئر، ألبوبارميان، مياه الصالحة للشرب، طبقة المياه الجوفية، متابعة، موارد المياه.

# Sommaire

Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des Figures	
Liste des abréviations	
Introduction général	2
<b>Chapitre I Choix la méthode et la garniture de forage</b>	
1. Introduction	4
2. Organisation du chantier de forage	4
3. Objectif du sondage	5
4. Choix de la méthode de réalisation	5
5. Le forage rotary	5
5.1. Avantage du forage rotary	5
5.2. Les inconvénients du forage à rotary	6
6. Paramètres de forage	7
7. Réalisation du forage	7
7.1. Système de levage	7
7.1.1. Le mat	7
7.1.2. Treuil de forage	8
7.1.3. Le câble	9
7.1.4. Le mouflage	10
7.1.5. Le moufle fixe	11
7.1.6. Le moufle mobile et crochet	12
7.2. Système de rotation	12
7.2.1. La table de rotation	12
7.2.2. Tête d'injection	13
7.3. Le système de circulation	13
7.3.1. Rôle des pompes à boue	14
7.3.2. Type de pompes à boue	15
7.3.3. Avantages des pompes triplex par rapport au duplex	15
7.3.4. Compositions de la pompe à boue triplex à simple effet	16
8. Garniture de forage	16
8.1. Introduction	16
8.2. Fonctions de la garniture de forage	16
8.3. Equipement d'une garniture de forage	17
8.3.1. Trépan (bit)	17
8.3.2. Les masses tiges	17
8.3.3. Tige de forage : (drill pipe)	18
8.3.4. Tiges d'entraînements	19
8.4. Matériel accessoire	19
9. Etude de la garniture de forage	19
9.1. Le train de sonde en cours de forage	19
9.2. Le train de sonde pendant les manœuvres	20
9.2.1. Les tiges de forage	20

9.2.2. Choix des tiges de forage	20
9.2.3. Longueur des tiges	21
9.2.4. Le choix de grade d'acier des tiges de forage	21
9.3. Les masses tiges	21
9.3.1. Le choix de masse tige	22
9.3.2. La longueur des masses tiges	22
10. Fluide de forage	22
10.1. Boue à la bentonite	22
10.2. Rôles des fluide de forage « boue »	22
10.3. Caractéristique de la boue de forage	23
10.3.1. Les caractéristiques rhéologiques	23
10.4. Circuits du fluide de forage	23
10.5. Quels sont les types de boues de forage ?	24
10.6. Comment cela fonctionne-t-il ?	24
11. Conclusion	25
<b>Chapitre II programme de forage</b>	
1. Introduction	27
1.1. Implantation	27
2. construction plateforme	27
3. L'opération de forage	27
3.1. Phase I Tube guide	27
3.2. Phase II Colonne de surface	28
3.3. Phase III Colonne Technique	28
3.4. Phase IV colonne de production	29
4. Description géologique	30
4.1. Coupe lithologique	31
5. Tubage et cimentation	32
5.1. Descente les tubings	32
5.2. Habillage de la colonne	32
5.3. Déroulement l'opération de cimentation	35
5.3.1. Introduction	35
5.3.2. Différents type de cimentation	35
5.3.3. Type de cimentation	35
5.4 .Equipment de cimentation	37
5.5 .Calcule le volume de ciment	39
5.5.1. Colonne 1 <sup>ère</sup> : Tube guide : (0-60)	39
5.5.2. Colonne de 2 <sup>ème</sup> : Colonne de surface (0-300) m	40
5.5.3. Colonne de 3 <sup>ème</sup> : phase colonne technique (0-1394) m	40
5.5.4. Colonne 4 <sup>ème</sup> ; production (1394- 1850) m	40
5.6. Calcule le volume Total de ciment sec	40
6. La crépin	41
6.1. les rôles de la crépine	42
6.2. Choix de la crépine	42
6.3. Programme de Colonne de captage 8 <sup>''5/8</sup> et de production 9 <sup>''5/8</sup>	43
7. Ancrage de Liner Hanger Packer Dans le forage profond CI de 4	44
7.1. Les étapes de l'ancrage	44
8. Développement	45
9. La tête de puits	45
9.1 La rôle tête de puits	46
10. l'essai de début	47

10.1. L'essai par palier	47
10.2. L'essai début constant	47
10.3. Le but de l'opération l'essai du début	48
11. Les opérations électriques	48
11.1. L'enregistreur CL (clipper loggings)	48
11.1.1 Introduction	48
11.1.2 Interprétation de clipper logging (CL)	49
11.2. Gamma ray	49
11.2.1. Introduction	49
11.2.2. Interprétation de diagraphie	49
Conclusion générale	52
Références bibliographiques	53



<i>N° de tableau</i>	<i>Titre de tableau</i>	<i>Page</i>
<b>PARTIE I</b>		
<b>Tableau 01</b>	Les outies utilisés	17
<b>Tableau 02</b>	Carastéristique des tiges utilisées	18
<b>Tableau 03</b>	Caractéristiques de la boue utilisée	23
<b>PARTIE II</b>		
<b>Tableau 04</b>	Les caractéristiques de cutting	28
<b>Tableau 05</b>	Les caractéristiques de cutting	28
<b>Tableau 06</b>	Les caractéristiques de cutting	29
<b>Tableau 07</b>	Les caractéristiques de cutting	29
<b>Tableau 08</b>	Les tubages utilisés	32
<b>Tableau 09</b>	Programme de Colonne de captage	43
<b>Tableau 10</b>	l'essai par palier	47
<b>Tableau 11</b>	L'essai début constant	48

	<i>Titer de Figure</i>	<b>Page</b>
<b>PARTIE I</b>		
<b>FIGURE 01</b>	Schéma descriptif de l'organisation du chantier	04
<b>FIGURE 02</b>	Schéma simplifié d'une installation de forage rotary	06
<b>FIGURE 03</b>	Le mât de forage	08
<b>FIGURE 04</b>	Le treuil de forage	09
<b>FIGURE 05</b>	Câble de forage	10
<b>FIGURE 06</b>	Equipment de mouflage	10
<b>FIGURE 07</b>	Caractéristique idéale d'un treuil.	11
<b>FIGURE 08</b>	Le moufle fixe	11
<b>FIGURE 09</b>	Le moufle mobile et crochet	12
<b>FIGURE 10</b>	Table de rotation	13
<b>FIGURE 11</b>	La Tête d'injection	13
<b>FIGURE 12</b>	Circuit hydraulique d'appareil de forage	14
<b>FIGURE 13</b>	Pompe à boue	15
<b>FIGURE 14</b>	Trepan	17
<b>FIGURE 15</b>	Les masse-tiges	18
<b>FIGURE 16</b>	Les tiges de forage	19
<b>FIGURE 17</b>	Les sacs de bentonite	22
<b>FIGURE 18</b>	Schéma de circulation de la boue sur le site de forage	24
<b>PARTIE II</b>		
<b>FIGURE 19</b>	Localisation du forage (Google Earth)	27
<b>FIGURE 20</b>	Echantillon de forage	30
<b>FIGURE 21</b>	casings shoes	32
<b>FIGURE 22</b>	Types des sabots (float shoe)	33
<b>FIGURE 23</b>	Types des anneaux (landing collar)	33
<b>FIGURE 24</b>	Type de centreur.	34
<b>FIGURE 25</b>	Types des gratteurs (scratcher)	34
<b>FIGURE 26</b>	Déroulement Cimentation Primaire	36
<b>FIGURE 27</b>	Déroulement de la cimentation étagé.	37
<b>FIGURE 28</b>	La tête de cimentation.	37
<b>FIGURE 29</b>	Bouchon inférieur	38
<b>FIGURE 30</b>	Bouchon supérieur.	38
<b>FIGURE 31</b>	Dive Valve Tools.	39
<b>FIGURE 32</b>	Crépine Johnson	42
<b>FIGURE 33</b>	Liner Hanger Packer	44

<b>FIGURE 34</b>	Tête de puits	46
<b>FIGURE 35</b>	dessous explique le principe de travail l'enregistreur CL	48
<b>FIGURE 36</b>	Simulation d'un principe de fonctionnement (CL)	48
<b>FIGURE 37</b>	l'équipement de gamma ray	49

## *Liste Des Abréviation*

ANRNH : Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques.

API : American pétroleum Institute.

AEI: Alimentation en Eau Industrielle.

AEA: Alimentation en Eau d'irrigation.

AEP: Alimentation en eau potable.

ONID : Office national de l'irrigation et du drainage.

# *Introduction Général*

## INTRODUCTION

Dans la région de Touggourt (SE Algérie),a rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, nécessite le recours des ressources en eau profondes, les prélèvements des eaux de la nappe libre(Phréatique),De complexe terminal et de continentale intercalaire, nes'assepas a augmenté chaque année.

La zone d'El mostakbal est l'une des nouvelles zones urbaines qui souffre d'une pénurie du système d'approvisionnement en eau, qui affecte la disponibilité de l'eau ainsi que l'alimentation d'une part, et d'autre part un problème après le raccordement au réseau d'eau potable.

C'est dans ce contexte qu'il a été inscrit le projet de réalisation d'un forage d'eau captant la nappe du continentale intercalaire(CI).et qui sera destiné pour alimenter la population de la région El mstakbal (la wilaya Touggourt).

L'objectif de notre travail consiste à un suivi d'un forage de puits albien de la région El mostakbal étape par étape la technique de réalisation de cet ouvrage, le sujet est divisé en deux parties:

**Partie 01 :** Choix la méthode de forage et la garniture de forage rotary.

**Partie 02 :** Nous avons suivi un forage une technique de forage rotary. Cette technique passe par plusieurs étapes (organisation de chantier, forage de tube guide, forage en nappe, posé du crépine, posé de tubage, injecté du ciment, essais de débit ).

***Chapitre I  
La Technique et équipements de la  
réalisation du forage***

## 1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous expliquons comment organiser la zone de forage, décrivons la technique de forage utilisée, ses avantages et ses inconvénients, ainsi que les différents équipements utilisés dans ce processus.

## 2. Organisation du chantier de forage:

L'organisation de chantier de forage doit permettre au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- Détermine un périmètre de sécurité autour du chantier ;
- Prévoir un accès au chantier pour les véhicules ;
- Un approvisionnement en eau (citernes d'eau) ;
- L'appareil de forage installé sur une plate-forme de béton ;
- La pompe à boue installée entre le bac à boue et l'appareil de forage ;
- Espace de stockage le produit chimique (bentonite et ciment...etc.) ;
- L'emplacement et le creusage des fosses à boue ;
- Un espace de stockage de matériel lourd (compresseur, tige de forage) ; [1]

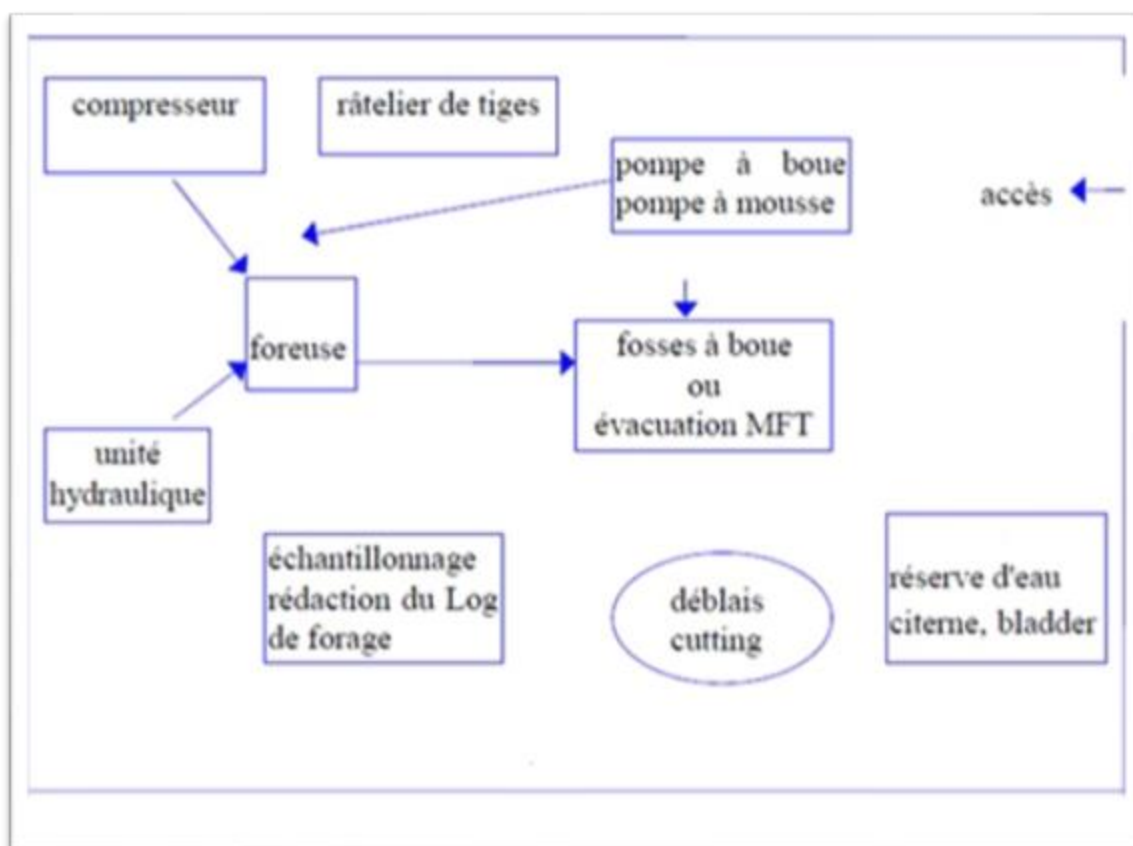


Figure N°01: Schéma descriptif de l'organisation du chantier.



### 3. Objectif du sondage :

Objectif : dans le cadre de Projet l'ONID pour la réalisation de forage profond dans la nappe du Continental Intercalaire profondément 1850 m, l'alimentation en eau potable (AEP) de la région El mostakbal la wilaya de Touggourt.

### 4. Choix de la méthode de réalisation :

La technique utilisée dans notre cas est le rotary à la boue benthonique, parce qu'elle est adéquate, grâce à ses avantages, comme elle est la plus utilisée dans la région.

### 5. Le forage rotary :

Le technique rotary est exclusivement utilisé dans les terrains sédimentaires y compris les terrains durs pour les machines de fortes puissances.

Un outil appelé tricône est mis en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion du terrain, sans choc, uniquement par rotation et poussée. Celle-ci est fournie par la puissance de la machine mais surtout par le poids des tiges au-dessus de l'outil. Il existe sur les ateliers de forages conséquents des tiges spécialement lourdes pour cela (masse-tiges). L'outil détache dans le fond du trou des copeaux de terrain (appelés cutting). La circulation d'un liquide, la boue de forage, permet de les remonter à la surface. La boue de forage est injectée à l'intérieur des tiges, ressort au niveau de l'outil et remonte à la surface par l'espace annulaire entre le train de tiges et les parois du trou foré. Lors de sa remonté, la boue de forage tapisse les parois du trou (cake) pour les stabiliser. La "boue de forage" est faite à partir d'une argile (la bentonite) ou d'un polymère usuellement appelé polyol. Elle circule en circulation fermée, arrivée à la surface du sol elle est canalisée dans une série de fosses qui permettent aux cutting de décanter. [2]

#### 5.1. Avantage du forage rotary :

Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement.

- Pas de tubage pendant le forage.
- Facilité de mise en place de la crépine.
- Consommation économique de l'énergie.
- Le forage au rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake. [3]

### 5.2. Les inconvénients du forage à rotary :

- Nécessite un grand investissement (matériel très importants).
  - Nécessite beaucoup d'eau.
  - Difficulté d'observation des cutting.
  - Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite).
  - Nombre des manœuvres élevés (usure rapide de l'outil donc prix de mètre foré élevé).
- Puis pompée et injectée sous pression dans le train de tige. [3]

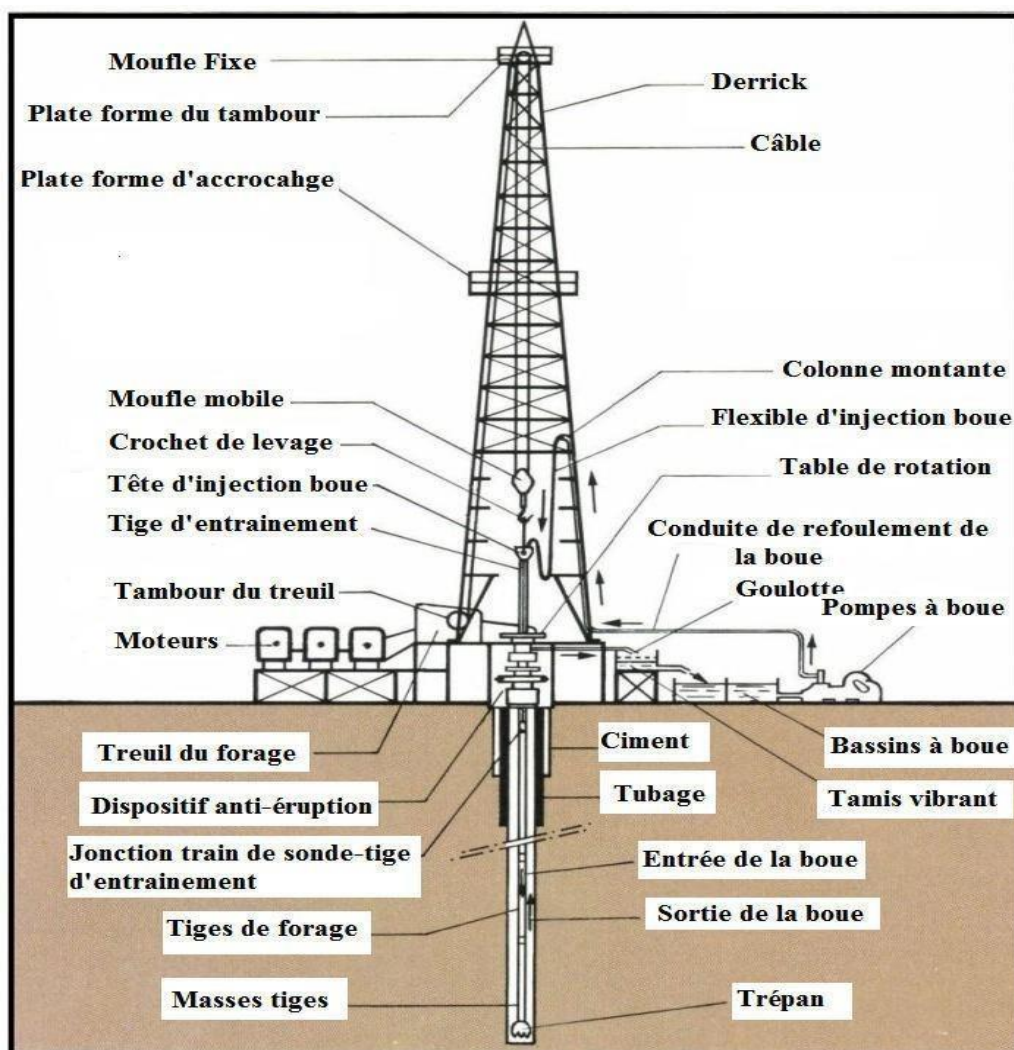


Figure N°02: Schéma simplifié d'une installation de forage rotary.

### 6. Paramètres de forage :

Les paramètres critiques sont le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et débits des pompes. Pour avoir le meilleur rendement d'un forage rotary, il convient d'être très attentif sur les trois paramètres suivants :

- A. Poids sur l'outil.
- B. La vitesse de rotation.
- C. Débit des pompes. [3]

### 7. Réalisation du forage

Le forage au rotary se compose de 3 systèmes majeurs :

- 1. Système de levage.
- 2. Système de Rotation.
- 3. Système de circulation. [4]

#### 7.1. Système de levage:

Pour soulever la garniture de forage (ensemble tiges - tiges lourdes - masse tiges), il faut utiliser une grue de grande capacité, puisque la garniture de forage peut atteindre un poids de 150 tonnes ou plus. Cette grue est constituée de :

- Le mât.
- Le treuil.
- Un palan comprenant les moufles fixe et mobile et les câbles.

##### 7.1.1. Le mat :

Le Mât est une structure métallique de forme pyramidale allongée. Le Mât est utilisé sur les appareils terrestres et peut être démontable, repliable ou télescopique. Dans le forage d'eau qui se limite à des profondeurs peut importantes les appareils de forage utilisent le plus souvent des mâts télescopiques supporté par un camion ou une remorque. Ces mâts peuvent être haubanés, c'est-à-dire stabilisé par plusieurs câbles d'encrage.



Figure N° 03 : Le mât de forage.

### ➤ Caractéristiques des mâts :

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

La relation entre la capacité API et celle au crochet est donnée par la formule suivante :

$$C_c = (C_{API} - P) \times N / (N + 3)$$

Avec :  $C_c$  = Capacité au crochet,  $C_{API}$  = Capacité API

$N$  = Nombre de brins

$P$  = poids du mât + moufle fixe

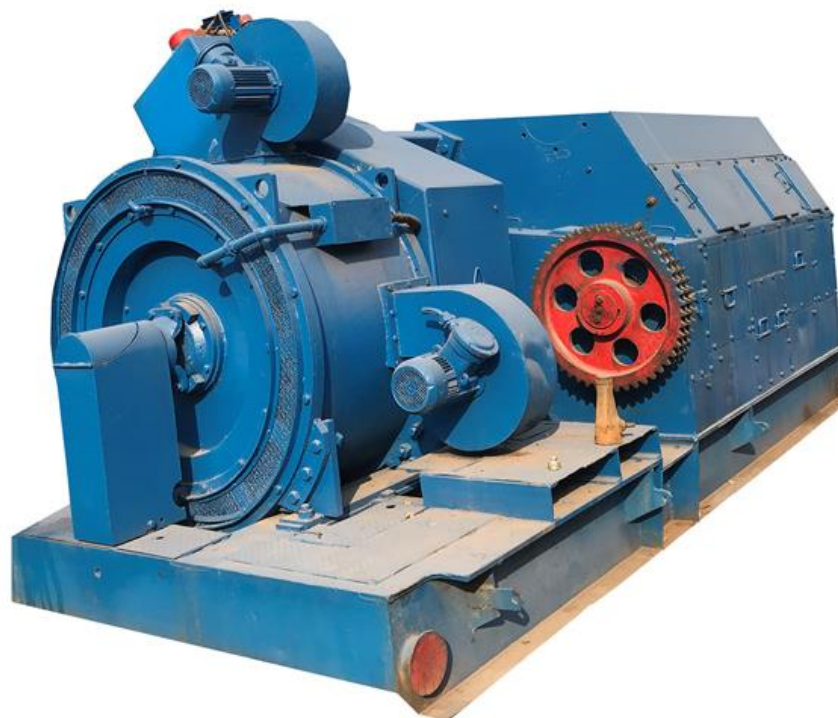
### 7.1.2. Treuil de forage :

C'est le cœur d'un appareil de forage. Sa capacité caractérise un ring 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) [cathedra].
- Le déplacement de lourdes charges à de grandes vitesses.
- Un treuil de forage est caractérisé par sa puissance maximale de levage.

➤ **Les éléments d'un treuil de forage :**



**Figure N°04** : Le treuil de forage.

### 7.1.3. Le câble

Câble de forage est constitué d'âme métallique sur laquelle on enroule six torons de fils d'acier. Le câblage des fils de torons est en général de sens inverse du câblage du toron sur l'âme, ceci donne une caractéristique raide (dure) et anti giratoire du câble de forage. Le diamètre du câble de forage est très variable mais ne dépasse pas 1,5 pouce (3,8 cm) en général.

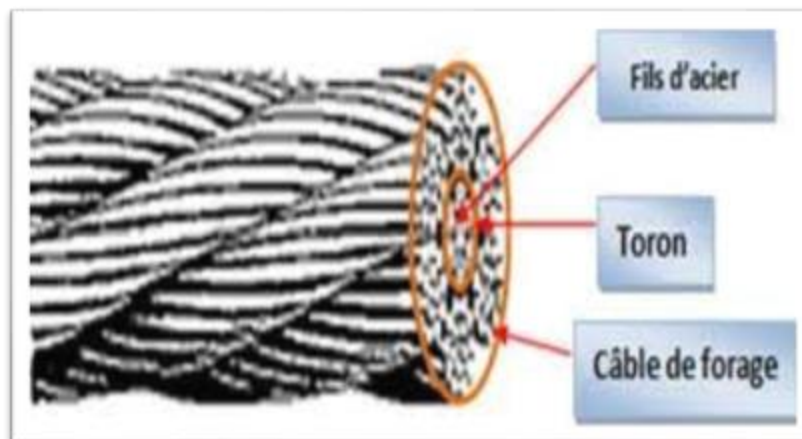


Figure N°05 : Câble de forage.

### 7.1.4 Le mouflage :

Le mouflage est un moyen de démultiplication des efforts, simple utilisé sur les appareils de forage pour lever de lourdes charges. Le mouflage comprend un câble qui passe successivement sur les poulies d'un moufle fixe (crown bloc) et sur les poulies d'un moufle mobile (travelling bloc) avant de s'enrouler sur le tambour d'un treuil. L'autre extrémité du câble est fixée à un point fixe ou réa.

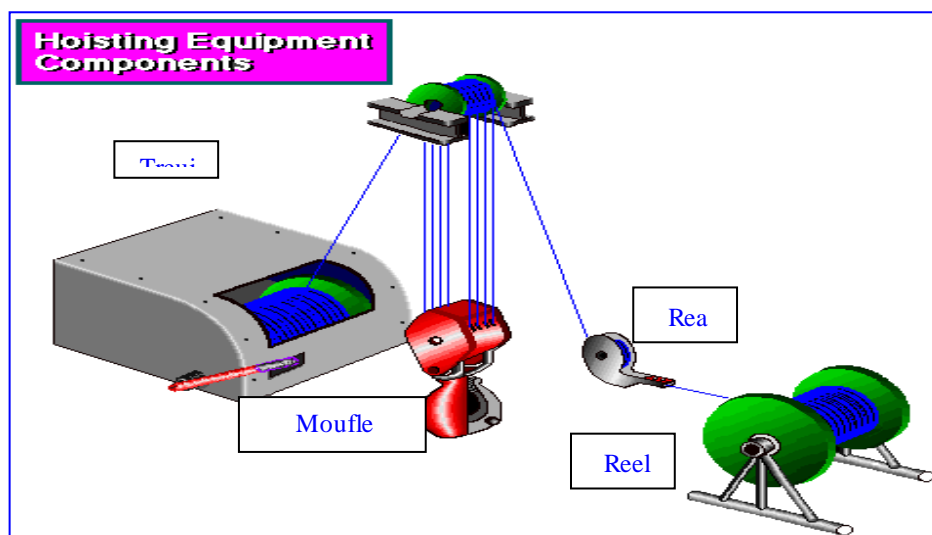
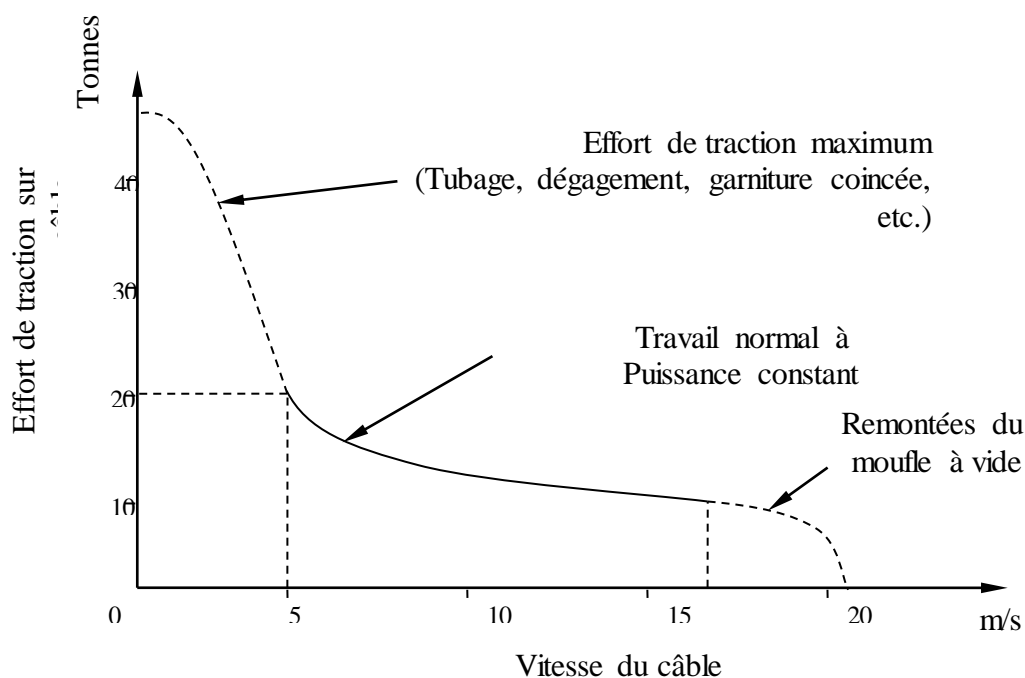


Figure N°06 : Equipment de mouflage.

Le nombre de brins du mouflage varie de 4 à 14. Le brin actif est la partie de câble comprise entre le tambour du treuil et le moufle fixe. Le brin mort est la portion du câble sortant du moufle fixe. Le brin mort est la portion du câble sortant du moufle fixe et allant directement au moufle fixe. C'est sur ce brin mort que sont effectuées les mesures de tension



du câble qui permettent de connaître le poids suspendu au crochet. Au moufle mobile est lié un crochet indépendant ou intégré auquel est suspendue la charge.

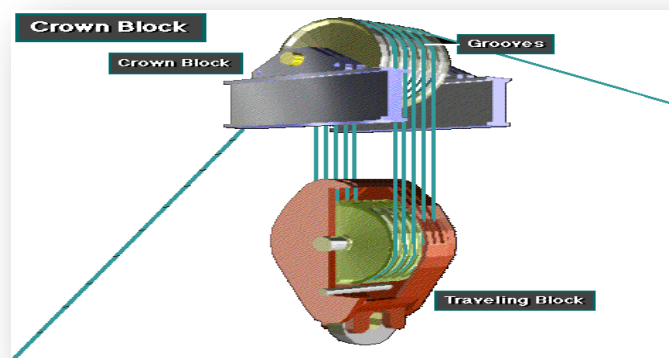


**Figure N°07:** Caractéristique idéale d'un treuil.

Le treuil est l'élément essentiel de toute installation de forage, sa capacité de levage et sa vitesse de manœuvre conditionnent pour une large part l'efficacité de la sonde. La caractéristique idéale pour un treuil de grande puissance est celle de la figure.

### 7.1.5. Le moufle fixe :

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.



**Figure N°08 :** Le moufle fixe.

### 7.1.6. Le moufle mobile et crochet :

Ils sont en général dits intégrés c.-à-d. que l'ensemble des poulies et du crochet sont assemblés d'une manière compacte. Le moufle mobile comporte une poulie de moins que le moufle fixe correspondant.

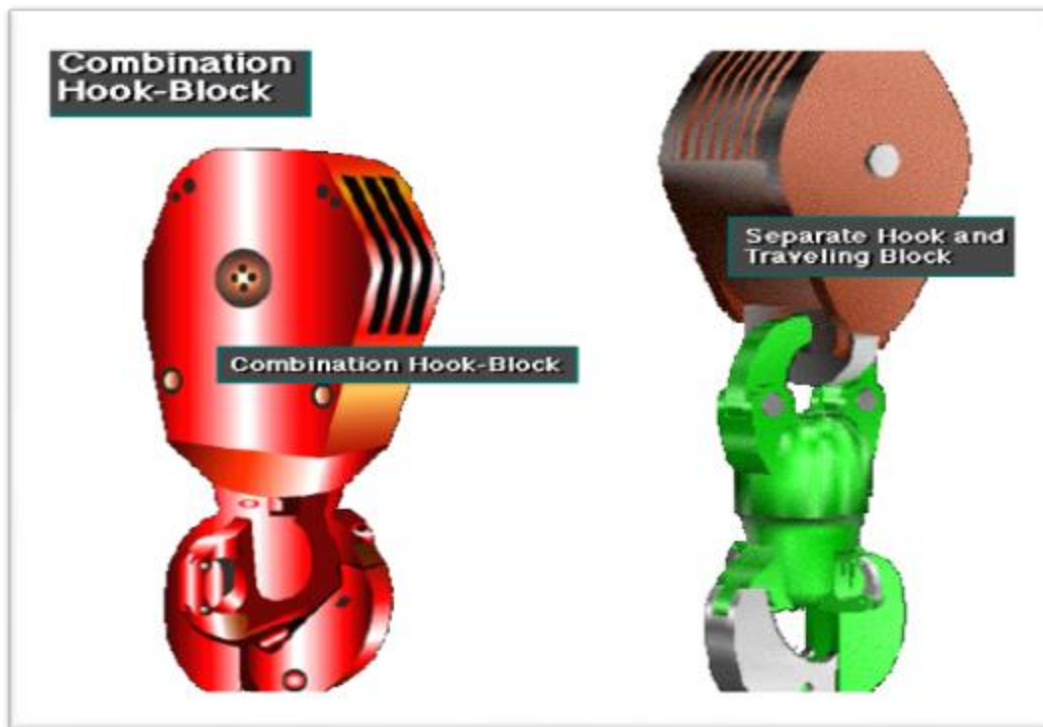


Figure N° 09 : Le moufle mobile et croche.

### 7.2. Système de rotation:

#### 7.2.1. La table de rotation :

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





Figure N°10: Table de rotation

### 7.2.2 Tête d'injection:

C'est le composant qui est suspendu par son anse au crochet de levage. Il doit être conçu à la fois pour la charge maximale de garniture et pour la vitesse de rotation maximale.

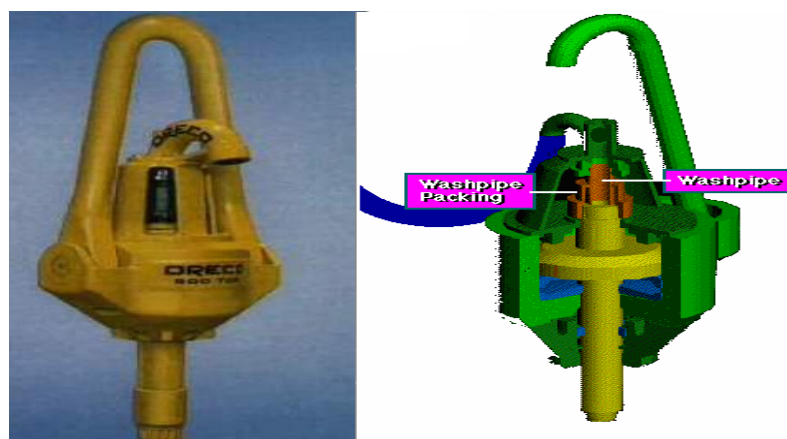


Figure 11 N° : La Tête d'injection

### 7.3. Le système de circulation:

Généralement, le liquide de forage circule en circuit fermé, à partir des pompes dans le puits et du puits avec les déblais de terrain vers équipements d'épuration et de nouveau vers les pompes.

## Chapitre I La Technique et équipements de la réalisation du forage

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

Dans la plupart des cas, les liquides de forage sont préparés directement sur les installations de forage. Dans les régions où le forage des puits est concentré, on les prépare d'une manière centralisée au% usines puis on les transporte au% installations de forage au moyen des camions citernes.

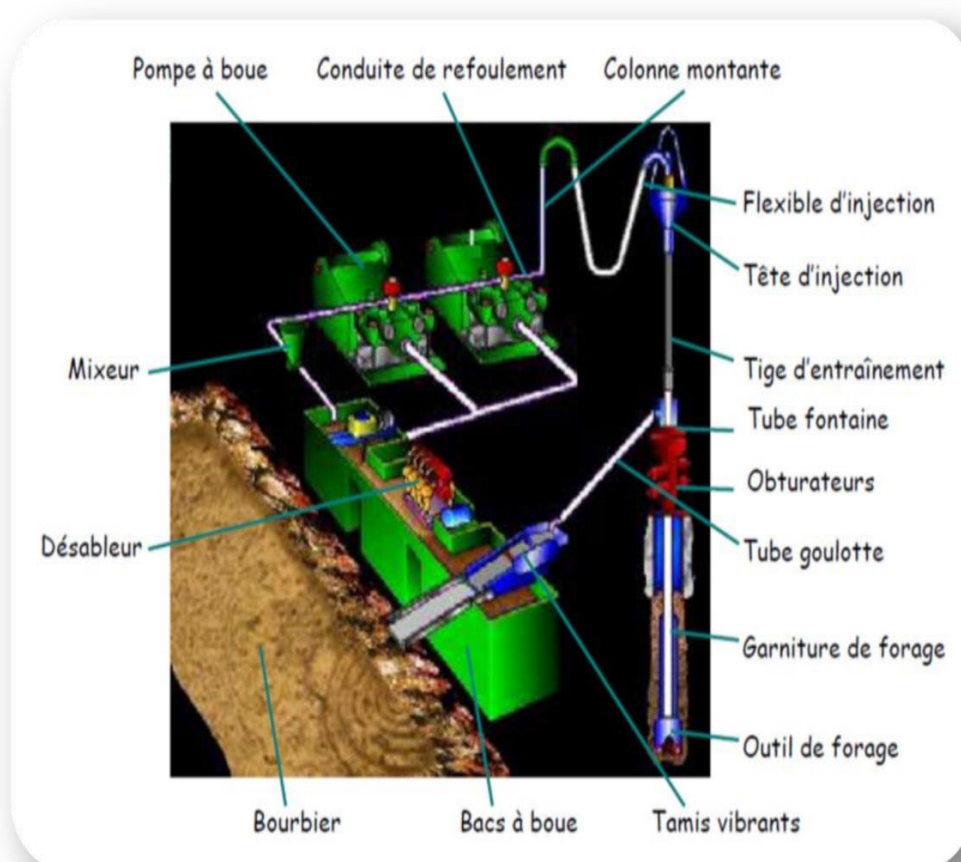


Figure N°12: Circuit hydraulique d'appareil de forage.

### 7.3.1. Rôle des pompes à boue :

Le rôle des pompes à boue est d'assurer l'aspiration de la boue de forage par la conduite d'aspiration, puis leur refouler dans la colonne de refoulement à travers un clapet de refoulement.

### 7.3.2. Type de pompes à boue :

#### ➤ Pompes à boue duplex à double effet:

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

#### ➤ Pompes à boue triplex à simple effet :

Ce sont des pompes volumétriques alternatives à mécanisme bielle - manivelle pour ces pompes les manivelles des trois pistons sont décalées à  $120^\circ$  et les clapets sont au nombre 6 (3 à l'aspiration et 3 au refoulement).

### 7.3.3. Avantages des pompes triplex par rapport au duplex :

- Facilité d'entretien et de manipulation ;
- Plus économique ;
- Facilité d'accès à la section du fluide ;
- Refoulement avec moins de suppression que la duplexe ;
- Q et P importants exigés dans le forage plus profond ;
- Refoulement avec moins de suppression que la duplexe ;

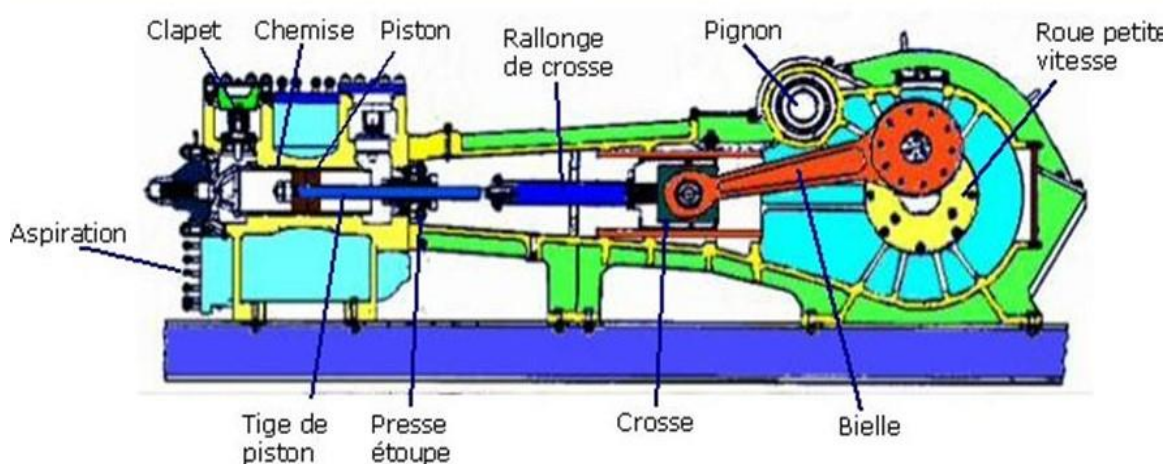


Figure N°13 : Pompe à boue

### 7.3.4. Compositions de la pompe à boue triplex à simple effet :

Elle se compose de deux parties principales :

#### a) Partie mécanique :

Elle sert à transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation alternatif communiqué au piston, et elle est constituée par :

- Un bâti qui supporte toutes les pièces composées de l'étalage.
- Arbre de transmission.
- Couple d'engrenage.
- Arbre, bielle, manivelle, crosse et rallonge de crosse.

#### b) Partie hydraulique :

C'est l'ensemble où circule la boue avec tous les éléments qui constituent au mouvement de la boue de l'aspiration au refoulement.

Cette partie est formée par trois chambres qui reçoivent des pistons et de refoulement, à la partie inférieure on a prévu un collecteur commun d'aspiration et à la partie supérieure un collecteur de refoulement et le corps de l'amortisseur de pulsation.

## 8. Garniture de forage:

### 8.1. Introduction:

La garniture de forage (drill stem ou drill string), appelée aussi train de sonde ou assemblage de fond, est un arbre reliant l'outil travaillant au fond de puits avec l'équipement de surface c'est donc le moyen de liaison entre le fond et la surface.

Le procédé de forage utilisé pour forer les puits d'eau ou gaz ou pétroliers est le forage Rotary (rotation d'un outil tout en lui appliquant du poids). La garniture de forage ou train de tiges (drill stem ou drill string) assure la liaison entre l'outil de forage et une motorisation rotative en surface.

### 8.2. Fonctions de la garniture de forage :

La garniture de forage permet de :

- Transmettre la rotation à l'outil de forage,
- Mettre du poids sur l'outil pour détruire la roche,
- Circuler le fluide de forage pour remonter à la surface les morceaux de roches détruits par l'outil,
- Guider l'outil et de réaliser la trajectoire prévue

### 8.3. Equipement d'une garniture de forage :

**8.3.1. Trépan (bit) :** le trépan est l'outil qui fore les terrains. On distingue différents types d'outils :

- Outil à molettes.
- Outil diamant.
- Outil PDC.
- Divers autres outils utilisés dans des opérations spéciales (carottage, le sur forage, le forage horizontal, etc.).



Figure N°14: Trépan

Les Phases	Diamètre
Phase I (0_60) m	36"
Phase II (60_300) m	26 "
Phase III (300 _1394)	17 " <sup>1/2</sup>
Phase IV (1394_1850)	12 " <sup>1/4</sup>

Tableau N° 01 : Les outils utilisés.

### 8.3.2. Les masses tiges :

(**drill collas**) leur rôle est essentiel dans la garniture car elles conditionnent la bonne utilisation de l'outil de forage. Il existe trois types de masse tiges :



- Masse tige cylindrique.
- Masse tige spirale.
- Masse tiges carrées.



Figure N° 15: Les masse-tiges.

### 8.3.3. Tige de forage (drill pipe) :

Sont des tubes métalliques fabriqués selon les normes API. Ils constituent en quelque sens un organe qui transmet au trépan le mouvement de rotation de la table, elles sont constituées d'un corps généralement uniforme de deux demi Tools joint : un mâle et un autre femelle des tiges.

Longeur Moy	Diameter extérieur	Diameter intérieur	Epaisseur	Poids nominal
9.60 m	110 mm	105mm	5 mm	26.71 kg/m

Tableau N° 02 : Caractéristique des tiges utilisées.



**Figure N°16:** Les tiges de forage.

### 8.3.4 Tiges d'entraînements:

C'est la liaison entre la table de rotation et la garniture de forage. C'est aussi une tubulaire qui supporte la charge totale de la garniture, on distingue deux types de tige d'entraînement :

- Tige carrée.
- Tige hexagonale.

### 8.4 Matériel accessoire :

- **Stabilisateurs** : Comme leur nom l'indique, ils sont incorporés à la garniture de forage et plus précisément au niveau des masses tiges afin de contrôler l'outil.
- **Les aléseurs** : ils ont un rôle d'alésage des parois de puits ils sont intercalés dans le train de sonde ils peuvent jouer un rôle analogue à celui des stabilisateurs.
- **Réduction** : pour adapter le filetage, les diamètres entre les tiges, les masse tiges, les stabilisateurs et les aléseurs.

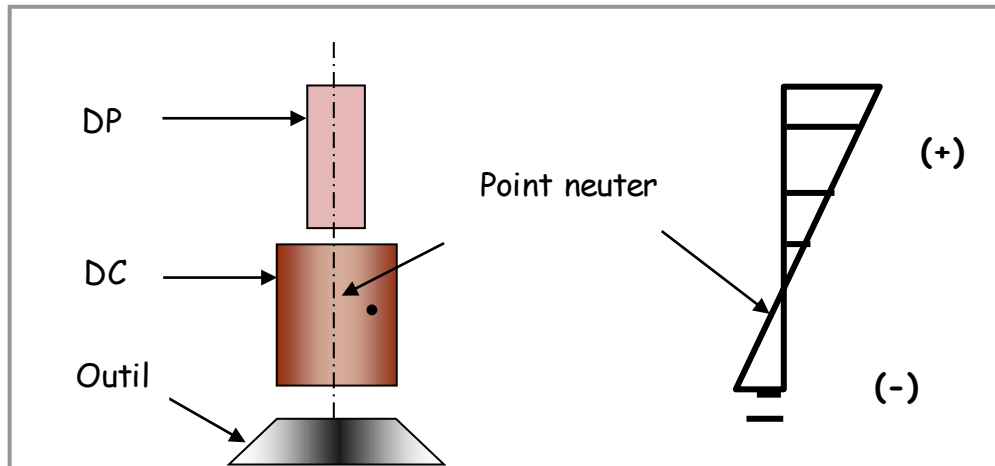
## 9. Etude de la garniture de forage :

### 9.1. Le train de sonde en cours de forage :

Pendant le forage, le train de sonde se subdivise en deux parties travaillant à deux actions opposées :

- Une partie travaille en traction.
- Une partie en compression.

Le point d'intersection entre ces deux parties s'appelle le point neutre.



Garniture pose

### 9.2 Le train de sonde pendant les manœuvres :

Pendant la manœuvre le train de sonde est soumis à la traction.

#### 9.2.1. Les tiges de forage :

Le diamètre extérieur des tiges utilisées généralement dans les forages pétroliers est de 3<sup>1/2</sup> à 5. Nous avons vu que les tiges 5 sont utilisées jusqu'à la phase de forage 8<sup>1/2</sup>, au-delà, après la cimentation du casing 7, il faut prendre une garniture 3<sup>1/2</sup>.

#### 9.2.2. Choix des tiges de forage :

Le choix des tiges de forage est conditionné par la formule suivante :

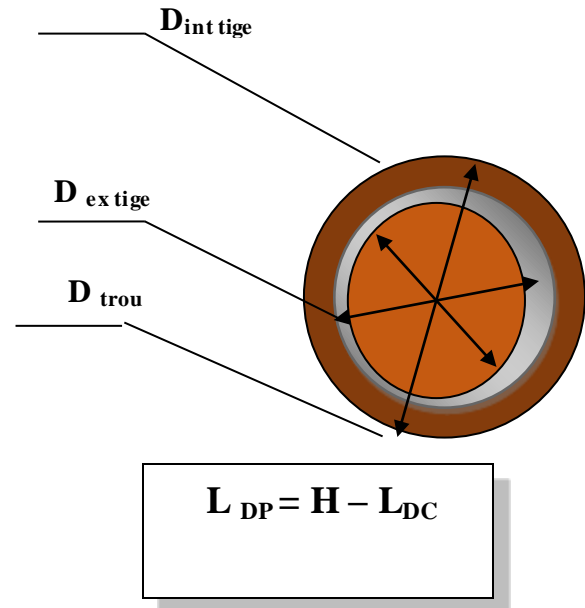
$S_{tr}$  : section de trou.

$S_{ex}$  : section extérieure des masses tiges.

$S_{in}$  : section intérieure des tiges

$$(S_{tr} - S_{ex})/S_{in} = 3 \text{ à } 5$$





### 9.2.3. Longueur des tiges :

$L_{DP}$  : Longueur des tiges.

$H$  : Profondeur de la phase.

$L_{DC}$  : Longueur des masses tiges

### 9.2.4. Le choix de grade d'acier des tiges de forage :

Le choix du grade des tiges de forage est fonction de :

- La profondeur maximale à atteindre.
- La densité de la boue utilisée.
- La réserve de traction à l'écrasement.
- Coefficient de sécurité à l'écrasement.
- Dimensions nominales et classes d'usures des tiges de forage utilisées.
- Diamètre de forage.

### 9.3. Les masses tiges :

Les diamètres extérieurs des masses tiges de forage doivent être limités par un diamètre maximal fonction du :

- Diamètre de forage.
- La possibilité d'être sur forée.
- La possibilité d'être repêchée par un over shoot.
- Des risques de coincement par pression différentielle.
- Des vitesses de remontées admissibles dans l'annulaire.

### 9.3.1 Le choix de masse tige :

Le choix de masse tige est conditionné par la relation suivante :

$S_{tr}$  : Section du trou.

$S_{ex}$  : Section extérieure.

$S_{in}$  : Section intérieure des masses tiges.

$$(S_{tr} - S_{ex})/S_{in} = 6 \text{ à } 8$$

### 9.3.2. La longueur des masses tiges :

Pour le forage d'un puits vertical la longueur des masses tiges est donnée par la formule suivante :

$K_s$  : coefficient de sécurité = 1.25

$P_{DC}$  : poids total des masses tiges.

$q_{DC}$  : la masse nominale des masses tiges [kg/m].

$F_f$  : facteur de flottabilité.

$$L_{DC} = (P_{DC} * K_s) / (q_{DC} * F_f)$$

## 10. Fluide de forage:

### 10.1. Boue à la bentonite:

On appelle boue un mélange plus ou moins complexe d'un liquide de base eau ou huile avec des produits divers (argile et produits chimiques). On distingue plusieurs types de boue de forage et l'argile utilisée est de la Bentonite.



Figure N° 17: Les sacs de bentonite.

### 10.2. Rôles des fluides de forage « boue » :

Les principaux rôles des fluides de forage sont :

- Consolide les parois du trou.
- Le refroidissement et lubrification des outils de forage.
- Circule à l'intérieur du train de tige.
- La facilité et le contrôle des opérations de mise en place du gravier et de cimentation.
- Remonte les déblais des terrains forés en surface.

### 10.3. Caractéristique de la boue de forage:

#### 10.3.1. Les caractéristiques rhéologiques :

a) La viscosité : une viscosité élevée provoque des difficultés pour le pompage de la boue, alors qu'une boue à viscosité moins élevée perd sa propriété pour consolider les parois. Une boue possédant une viscosité correcte permet : d'avoir un outil bien dégagé, une bonne remontée des cuttings, réduire les pertes de charge dans le train de sonde et le dépôt plus rapide des cuttings dans les fosses de décantation.

b) La densité d'une boue est dépendante de la pression de l'eau dans l'aquifère. La pression hydrostatique exercée par la colonne de boue, doit être légèrement supérieure à celle exercée par l'eau de l'aquifère.

La densité du fluide utilisé peut être déterminée soit dans le laboratoire, soit sur place, dans le chantier en utilisant une balance de BAROID.

c) Le potentiel d'hydrogène, Le PH constitue un contrôle de l'acidité et de l'alcalinité de la boue. Le calcul du pH est nécessaire, surtout, lorsque la boue est traitée chimiquement, d'ailleurs, il constitue un indice de contamination. [7]

ph	viscosité	Densité
(7 – 8.5)	(40 – 50)	(1.6 – 1.8)

Tableau N°03: Caractéristiques de la boue utilisé.

### 10.4. Circuit du fluide de forage:

La boue de forage est en circulation continue durant toute la durée du forage aussi bien dans le sondage qu'en surface.

Le fluide est préparé dans les bacs à boues ; il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil, ensuite, il remonte par l'espace annulaire chargé de déblais formés au front de taille.

A la sortie du puits, il subit divers traitements, (tamisage, dilution, ajout de produit, ...) de telle façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques par rapport aux valeurs importantes (avant injection).

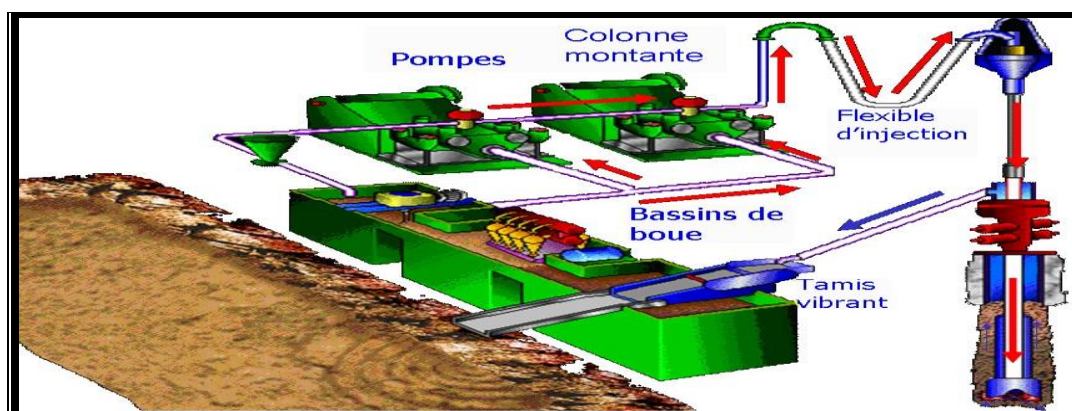


Figure N° 18 : Schéma de circulation de la boue sur le site de forage.

### 10.5. Quels sont les types de boues de forage? :

Il existe 3 principaux types de fluides de forage liquides, ou boues de forage, dont :

- Les fluides à base d'huile.
- Les fluides à base d'eau.
- Les fluides de forage gazeux.

La plupart des boues de forage sont à base d'eau (eau douce ou salée) ou de saumure (naturelle ou artificielle). Ces boues de forage contiennent également de l'argile et de la baryte pour lui donner du poids et de la viscosité. Tandis que les fluides à base d'huile utilisent des produits tels que le diesel ou l'huile minérale. Certaines boues de forage synthétiques utilisent des composés hautement raffinés qui peuvent être fabriqués selon des propriétés spécifiques.

### 10.6. Comment cela fonctionne-t-il ?

Lors du forage, cette boue est pompée dans le tuyau creux vers la mèche et est ensuite renvoyée dans le trou de forage jusqu'à la surface. Si de l'huile ou de la boue à base synthétique est utilisée, elle est généralement nettoyée et remise en circulation pour des raisons économiques et environnementales.

Les avantages des boues de forage

La boue de forage est utilisée pour diverses raisons dans ces industries. Combinée à la pression hydrostatique, elle permet de :

- Empêcher les fluides de formation d'entrer dans les puits de forage en fournissant une pression hydrostatique ;

## **Chapitre I La Technique et équipements de la réalisation du forage**

---

- Aider à prévenir les dommages à la formation, à limiter la corrosion et à stabiliser la roche.
- Suspendre les déblais de forage lorsque l'ensemble de forage est entré ou sorti ainsi que lorsque le forage est en pause.
- Maintenir le forage propre, frais et lubrifié.
- Pouvoir transporter des déblais de forage.
- Apporter la roche excavée du trou de forage à la surface.
- Maintenir la stabilité du forage.
- Transmettre l'énergie hydraulique aux trous de forage et aux outils

### **11. Conclusion:**

Les forages sont les plus adaptés pour exploiter les aquifères de Sahara septentrional, la méthode utilisée pour forer est le rotary, cette méthode est largement utilisée par les foreurs dans la région, car il adapte à la géologie de la région.

***Chapitre II***  
***PROGRAMME DE***  
***FORAGE***

**1. Introduction :**

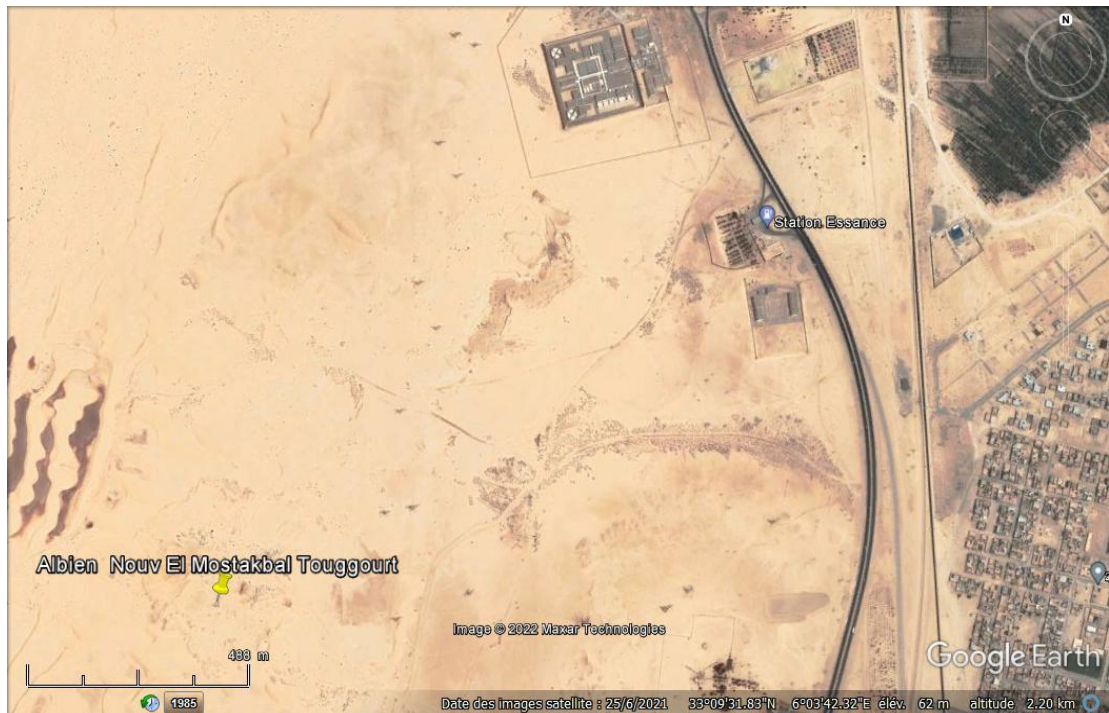
Le forage a été réalisé pour le renforcement et l'amélioration de L'AEP de la commune de city El mostakbal. Il a été prévu pour cela la réalisation d'un forage albien à profondeur 1850m.Ce programme a été confié à L'Enterprise SPA TASSILI.

**1.1 Implantation:**

Ce forage d'eau est situé à l'Ouest de Touggourt.

Les coordonnées de forage Nouveau Albo-barrémien El mostakbal Touggourt :

- X: 06° 03' 13''E
- Y: 33° 09' 15''N
- Z: 64 m



**Figure N° 19 :** Localisation du forage (Google Earth).

**2. construction plateforme :**

La plateforme est construite avant les travaux du forage par un ingénieur civil avant de commence les travaux du forage. La section de plateforme c'est 15\*15m , Bassins et rigoles.

**3. L'opération de forage:****3.1. Phase I Tube guide:**

- Forage avec un outil Ø 36".
- Profondeur (0 – 60) m

- Type de boue c'est (bentonite + l'eau) a densité 1.08
- Les caractéristiques de cutting c'est

Profondeur	Type de sols
0 - 10	Sable moyen siliceux
10 - 60	Argile

**Tableau N°04 :** Les caractéristiques de cutting.

### 3.2.Phase II Colonne de technique :

- Forage avec un outil Ø 26"
- Profondeur (60- 300) m
- Type de boue c'est (bentonite + l'eau) a densité 1.1
- Les caractéristiques de cutting c'est

Profondeur	Type de sols
60 - 114	Argile
114 - 130	Argile sableuse
130 - 138	Calcaire
138 - 146	Argile sableuse
146 - 160	Sable siliceux
160 - 210	Calcaire
210- 222	Marne anhydrite+gypse
222 - 254	Calcaire anhydrite+gypse
254 - 300	Calcaire

**TableauN°05 :** Les caractéristiques de cutting.

### 3.3. Phase III : Colonne production :

- Forage avec un outil Ø 17"<sup>1/2</sup>
- Profondeur (300 - 1394) m
- Type de boue c'est (bentonite + l'eau) a densité 1.2
- Les caractéristiques de cutting c'est



Profondeur	Type de sols
300 – 442	Calcaire
442 - 480	Calcaire gréseux+ gypse
480 - 534	Calcaire finement +gypseux
534 - 958	Alternance calcaire marneux
958 - 1128	Anhydrite calcaire+sel massif salifère
1128 – 1215	Calcaire
1215 – 1298	Marne gypse et calcaire
1298 – 1394	Calcaire, marne

**Tableau N°06** : Les caractéristiques de cutting

**3.4. Phase IV colonne de captage :**

- Forage avec un outil Ø 12<sup>n1/4</sup>
- Profondeur (1394 - 1850) m
- Type de boue c'est (bentonite + l'eau) a densité 1.4
- Les caractéristiques de cutting c'est

Profondeur	Type de sols
1394 - 1438	Calcaire, marne
1438 - 1578	Alternance argile et grés avec passage de calcaire dolomitique(Albien)
1578-1602	Calcaire et calcaire dolomitique (aptien)
1602 - 1850	Alternance argile sable (Barrémien)

**Tableau N°07:** La caractéristique de cutting.

**4. Description géologique**

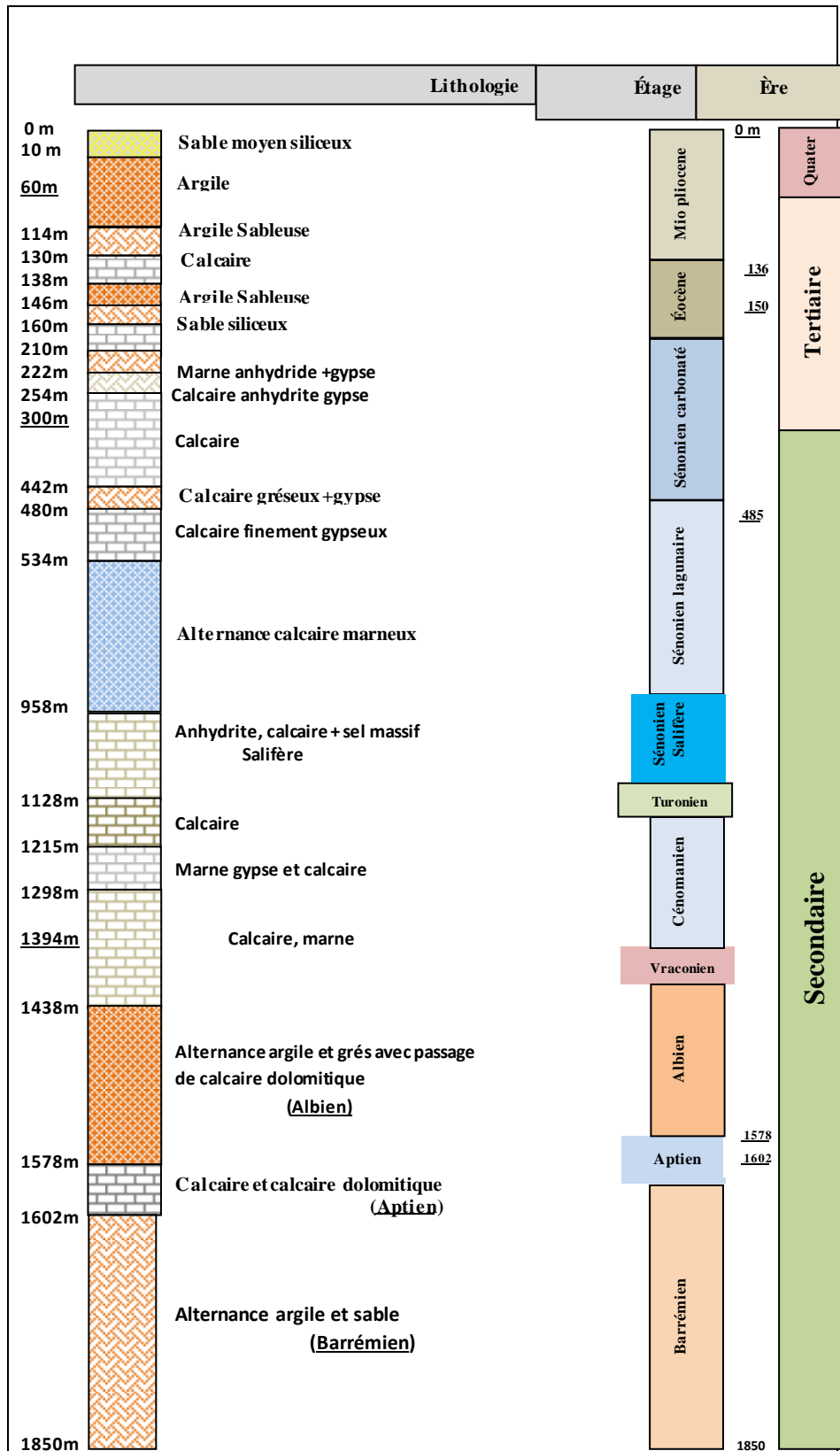
Les échantillons (cutting) pri mètre par mètre, nettoyé et séchés, puis ils sont mis dans des petites sachées étiquetés selon leur profondeur de prélèvement, puis acheminés vers l'ingénieur hydrogéologue pour faire la description et le programme d'équipement du forage.



**Figure N°20** : Echantillon de forage.

L'analyse macroscopique par l'hydrogéologue permet de déterminer la nature des couches géologiques traversées leur composition lithologique, leur caractère hydraulique 'l'étage géologique, et par la suite de fixer le toit de l'aquifère adapté.

4.1.Coupe lithologique:



**5. Tubage et cimentation:**

**5.1. Descente les tubes:**

Le tubage d'un puits de forage est une opération qui consiste à descendre dans le puits une colonne de tubes afin de protéger les parois de l'intervalle foré. Une fois la colonne dans le puits, l'espace annulaire sera rempli de ciment pour maintenir en place les formations sujettes à des éboulements.

Les Phases	Diameter	Longueur (m)
Phase I (0-60) m	28"	5.49
Phase II (0-300) m	18" <sup>5/8</sup>	11,58
Phase III (0_1394)m	13" <sup>3/8</sup>	11,58
Phase IV (1394_1850)m	9" <sup>5/8</sup>	11,58

**Tableau. N°08 :** Les tubages utilisés.

**5.2. Habillage de la colonne:**

La préparation de la colonne comporte en outre la mise en place des accessoires :

➤ **Le sabot :**

Généralement de forme arrondie, le sabot facilite le guidage et la descente de la colonne dans le découvert. On distingue les types suivants: sabot a canal avec ou sans événements : il permet la pénétration directe de la boue dans le tubage lors de la descente.



**Figure N° 21 :** casings shoes.

On distingue trois autres types :

▪ **Sabot à canal avec ou sans événements:**

Il permet la pénétration directe de la boue dans le tubage lors de la descente.

▪ **Sabot avec dispositif anti-retour permanent:**

- *Avantages :* empêche le retour du laitier, et évite tout risque d'éruption.

- *Inconvénients* : descente lentement afin d'éviter la surpression sur la formation, et remplissage par le haut (perte de temps).
- **Sabot avec dispositif anti-retour transformable:**
  - Sabot à remplissage automatique.
  - Sabot à remplissage différentiel.

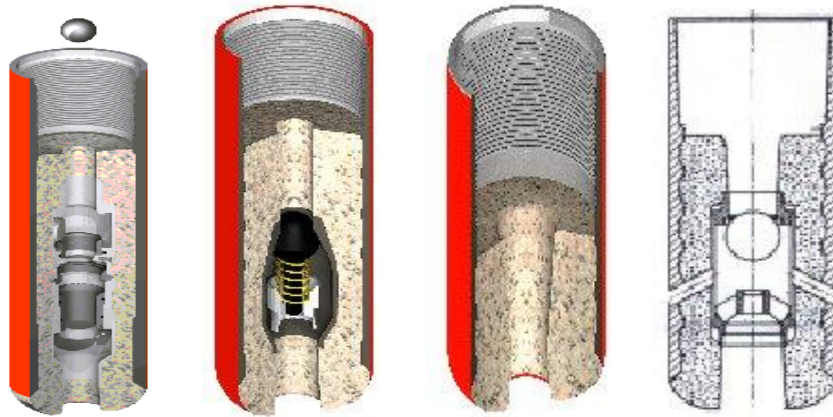


Figure N° 22 : Types des sabots (float shoe)

➤ **L'anneau de retenue (landing collar):**

- Servir un siège au bouchon de cimentation. 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.

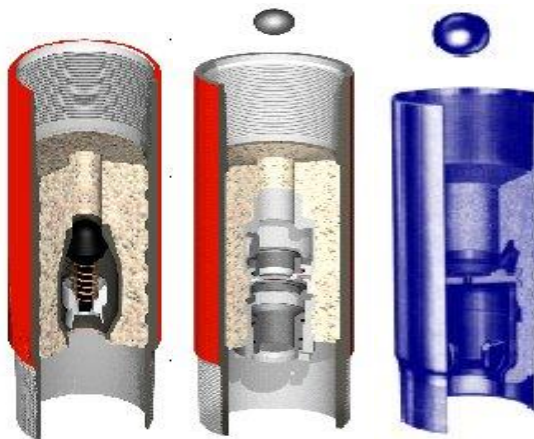


Figure N° 23: Types des anneaux (landing collar)

- **Les centreurs (centraliser) :** Il y a deux types :
  - Centreurs rigides (positifs): Avec lames en "U", ils sont utilisés aux espaces annulaires (Tubage-tubage).
  - Centreurs souples (droits et spiralé): Sont utilisés aux espaces annulaires (tubage-trou).



Figure N°24: Type de centreur.

- **Les gratteurs (scratcher) :**

Servent à gratter le cake. D'autres phénomènes pouvant perturber la qualité du laitier (filtration, déshydratation,...), ils seront choisis en fonction du mouvement que l'on compte imposer à la colonne pendant la cimentation:

- Rotation: gratteurs rotatifs.
- Va-et-vient (reciprocating): gratteurs alternatifs.

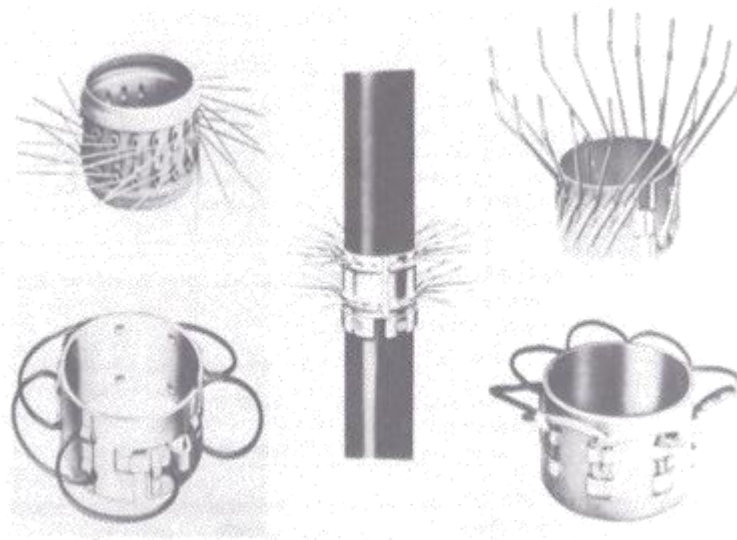


Figure N°25: Types des gratteurs (scratcher)

**5.3. Déroulement l'opération de cimentation:****5.3.1. Introduction:**

Cette opération consiste à mettre en place un laitier de ciment approprié à une cote donné de puits ou dans l'espace annulaire entre le trou foré et le cuvelage en place.

Il existe différents types de cimentation répondant chacun à un problème particulier

**5.3.2. Différents types de cimentation :**

Il existe différents types de cimentation, cependant chacune à un problème particulier :

- Les cimentations des cuvelages ou des casings, dont les buts sont multiples :
  - ❖ Isoler une couche de production des couches adjacentes ;
  - ❖ Contrôler le mouvement de fluide entre le fond et la surface ;
  - ❖ Protéger ces tubages contre la corrosion due aux fluides contenus dans Couches traversées ;
  - ❖ Fournir une base étanche aux équipements de contrôle et de sécurité Installés en tête du puits ;
  - ❖ Obturer les couches productrices épuisées ;
  - ❖ Isoler une couche des zones adjacentes dans le but de limiter la proportion D'eau
- Pose de bouchon de ciment en trou ouvert en cours de forage, dans le but de :
  - ❖ Colmater des venues fluides
  - ❖ Obturer les zones de perte de boue ;
  - ❖ Servir de point d'appuis à la déviation du forage (Sidé track) ;
  - ❖ Respecter les séquences d'abandon du puits.

**5.3.3. Type de cimentation:****a) Cimentation Primaire:(tube guide et colonne de surface)**

Les laitiers de ciment ainsi injectés s'écoulent à travers le sabot pour remonter ensuite dans l'annulaire. L'anneau de retenue est servi d'épaulement aux bouchons racleurs inférieur et supérieur qui encadre le volume de laitier dans le casing.

Un à-coup de pression perce le bouchon inférieur pour laisser circuler le laitier qui pousse directement la boue en place et lave à la fois les parois du trou et l'extérieur du casing au cours de son écoulement. Lorsque tout le laitier est injecté, on libère le bouchon supérieur déplacé par circulation de la boue de forage. Cette opération est appelée chasse. Le volume de



chasse est le volume de boue entrez l’anneau et la tête de cimentation. En fin de chasse on doit remarquer une montée en pression qui signifié l’arrêt du bouchon supérieur.

Le maintien d’une surpression pendant quelques minutes permet de faire en même temps un test d’étanchéité de la colonne.

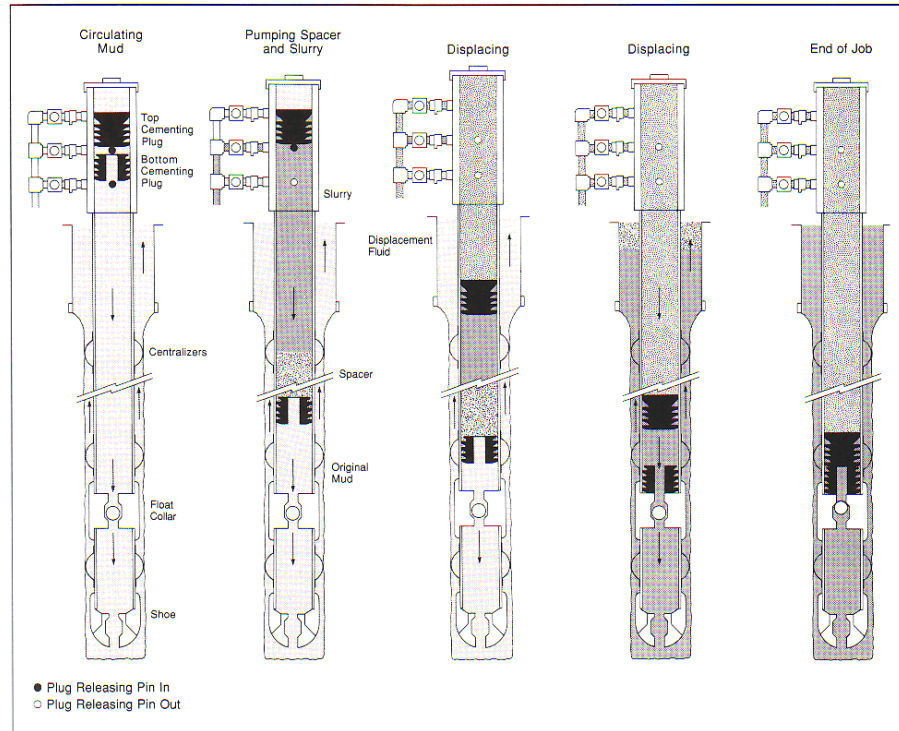


Figure N° 26: Déroulement Cimentation Primaire.

**b) Cimentation A Deux Etages : (colonne technique et colonne de productions) :**

La colonne est équipée de la DV à la côte désirée. La cimentation primaire est effectuée d’une manière classique avec toutefois l’utilisation de bouchons devant passer à travers le rétrécissement procuré par la DV. Après l’à-coup de pression, on laisse tomber la bombe (50 à 60 m/min suivant la déviation) ; la pression d’ouverture cisaille des goupilles et déplace la chemise (de l’ordre de 10 MPA). On peut alors injecter le laitier, mais on n’utilise pas de bouchon de tête.

En fin d’injection, on libère le bouchon de queue que l’on chasse jusqu’à la DV par déplacement d’une seconde chemise.



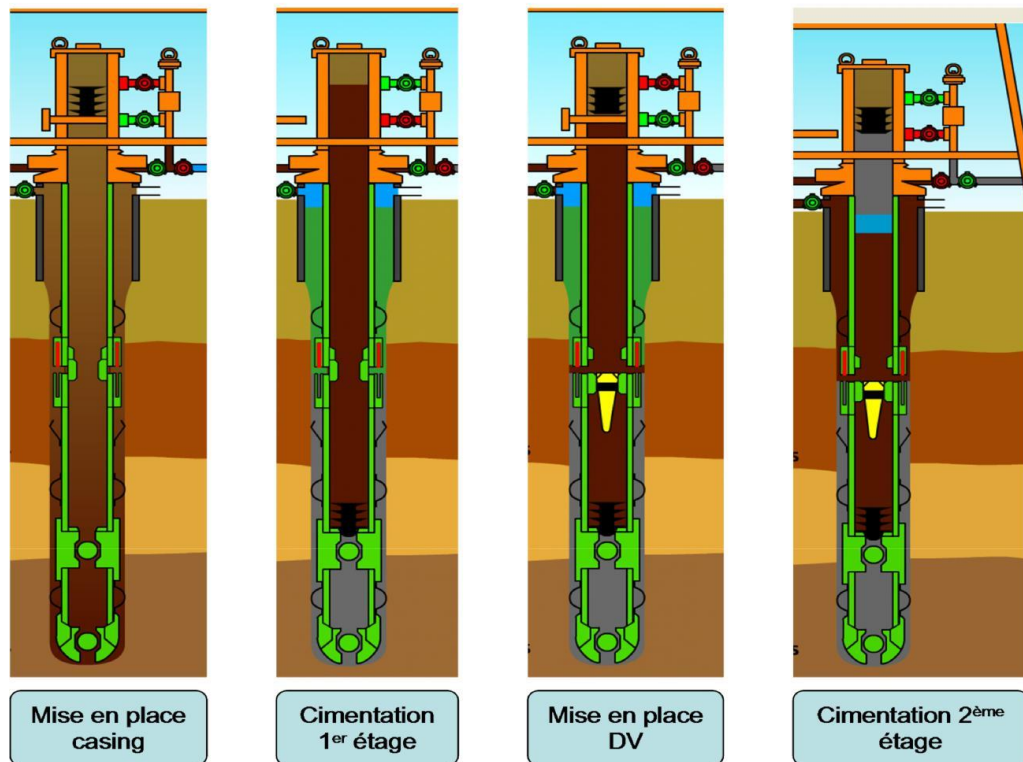


Figure N° 27 : Déroulement de la cimentation étagé.

#### 5.4. Equipement de cimentation:

L'équipement de cimentation primaire est standard, comme :

➤ **La tête de cimentation:**

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

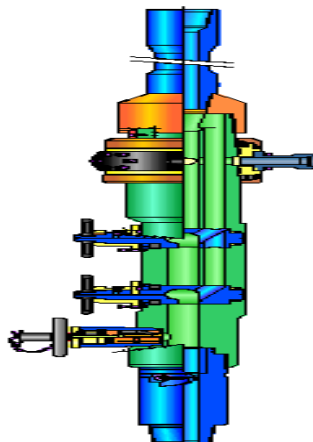


Figure N° 28: La tête de cimentation.

➤ **Les beacons de cementation:**

On distingue deux types :

- Bouchon inférieur (Botton Plug) : Sert à :
  - ↪ Séparer les fluides.
  - ↪ Racler les parois du tubage, évitant le plus possible la contamination du laitier.



**Figure N° 29 :** Bouchon inférieur.

- Bouchon supérieur (top Plug):
  - ↪ Etudier pour être étanche et résistant aux hautes Pressions.
  - ↪ Sert à chasser le laitier.
  - ↪ Vient se mettre en place normalement sur le bouchon inférieur (ou sur le dispositif d'arrêt).
  - ↪ Permet de réaliser un test en pression de la colonne.



**Figure N°30 :** Bouchon supérieur.

➤ L'anneau de cimentation étagé « DV » (Divertir Valve):

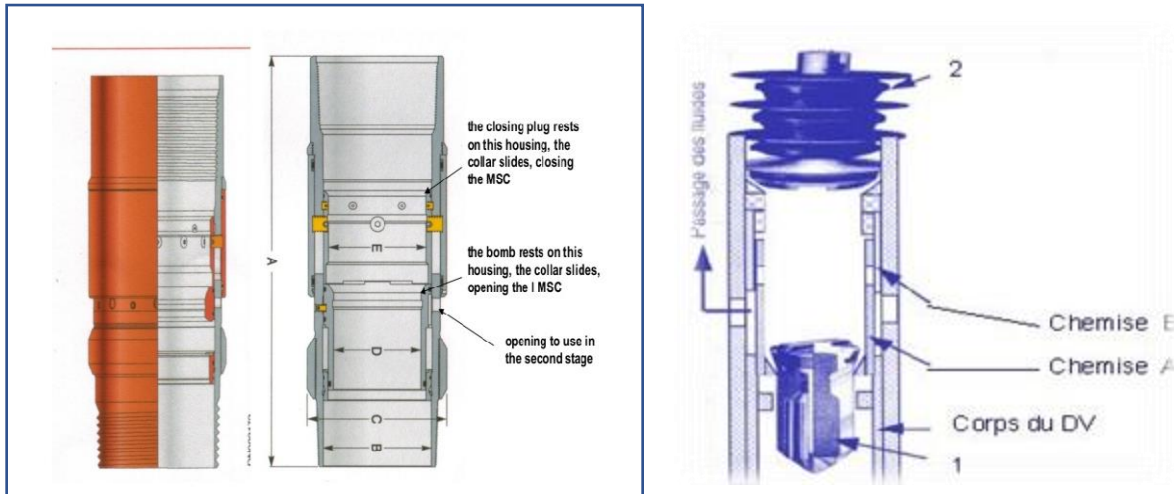


Figure N° 31: Dive Valve Tools.

Pour la cimentation à deux étages, il faut incorporer un anneau de cimentation étagé «DV » (Divertir Valve). Cet équipement joue le rôle d'un by-pass entre l'intérieur de casing et l'annulaire afin de pouvoir circuler et chasser du ciment dans cet annulaire à la côte choisie. Mode d'emploi: Lorsque la cimentation primaire est effectuée, on ouvre la DV par action de pression sur la bombe (1) obturant la chemise inférieure (A). La cimentation du deuxième étage peut alors avoir lieu. Puis l'envoi du bouchon de fermeture (2) déplace la chemise supérieure (B) en fin de chasse et referme les by-pass.

**5.5. Calcule le volume de laitier du ciment :**

**5.5.1. Colonne 1<sup>ère</sup> : Tube guide : (0-60)**

- Escape annular: (trou – casings)
- Trou forage Ø 36'' } l'espace annulaire 203.2 l/m
- Casing API Ø28'' }
- Profondeur = 60 m
- Volume =  $203.2 \times 60 = 12192 \text{liters} = 12.192 \text{ m}^3$
- Volume majoré à 15%
- Volume total =  $1,15 \times 12.192 = 14.0208 \text{ m}^3$
- Ciment HTS Densité 1,8

**5.5.2. Colonne de 2<sup>ème</sup> : Colonne de surface (0-300) m**

**Espace annulaire :**

a) Casings-casings (0-300)

Trou forage Ø 26'' } l'espace annulaire 166.73 l/m  
 Casing API Ø 18<sup>5/8</sup> '' } Profondeur = 300

- Volume = 166.73 × 300 = 50019 litres = 50.019 m<sup>3</sup>
- Volume majoré à 10%
- Volume total = 1,10 × 50.019 = **55.0209 m<sup>3</sup>**
- Ciment HTS Densité **1,72**

**5.5.3. Colonne de 3<sup>ème</sup> : phase colonne technique (0-1394m)**

**Espace annulaire :**

a) Casing-casing (0-300)

Trou forage Ø 18<sup>5/8</sup> '' } Espace = 69.08 l/m  
 Casing API Ø 13<sup>3/8</sup> '' } profondeur 300

Volume = 69.08 × 300 = 20724 litres = 20.724 m<sup>3</sup>

b) (Trou- casings)

Trou forage Ø 17<sup>1/2</sup> '' } Espace = 64.55 l/m  
 Casing API Ø 13<sup>3/8</sup> '' } profondeur 1094

Volume = 64.55×1094= 70617.7 litres =70.6177 m<sup>3</sup>

- Volume major 15%
- Volume total = 1.15× 70.6177 = **81.210 m<sup>3</sup>**
- Ciment HTS Densité **1,75**

**5.5.4. Colonne 4<sup>ème</sup> : production 1384 m**

**Escape annulaire: Casing—casing**

Casing API Ø 13<sup>3/8</sup> '' } Space = 30.30 l/m  
 Casing API Ø 9<sup>5/8</sup> '' } Profondeur = 1394 m

Volume = 30.30 ×1384 = 41935.2 litres = **41.9352 m<sup>3</sup>**

Ciment HTS Densité densité (1,6 et 1,8)

**5.6. Quantité de ciment sec :**

➤ **Quantité de ciment sec pour préparer 1 m<sup>3</sup> de laitier :**

$$Q_c = \frac{\gamma_c \cdot \gamma_e}{\gamma_e + W \cdot \gamma_c} = T/m^3$$

$q_C$  = quantité de ciment ;

$\gamma_c$  = densité de ciment = 3,15 ;

$\gamma_e$  = densité de l'eau de gâchage ;

$W$  = rapport eau/ciment. On prend  $W = 46\%$  c à d pour 100kg de ciment il nous faut 46kg d'eau.

**A.N:** 
$$q_c = \frac{3.15 \times 1}{1 + 0.46 \times 3.15} = 1.286 \text{ T/m}^3$$

➤ **Poids totale de ciment sec pour cimenter ce puits :**

$$Q_C = q_C \cdot V_T \cdot k_2$$

$Q_C$  : Quantité totale de ciment sec pour cimenter tout le puits.

$q_C$  : Quantité de ciment sec pour préparer 1 m<sup>3</sup> de laitier.

$V_T$  : Volume totale de laitier qui consommé par le puits.

$k_2$  : coefficient tenant compte des pertes de ciment lors de la fabrication. Prendre  $k_2 = 1,05$ .

$$V_T = V_{TL1Ph1} + V_{TL1Ph2} + V_{TL1Ph3} + V_{TL1Ph4}$$

$$V_T = 14.0208 + 55.0209 + 81.210 + 41.9352 = 192.1869 \text{ m}^3$$

**A.N:** 
$$Q_C = 1.286 \times 192.1869 \times 1.05 = 259.509 \text{ T}$$

➤ **Volume d'eau de gâchage :**

$$V_e = \frac{W \times Q_C}{\gamma_c}$$

$V_e$  = volume d'eau de gâchage ;

$Q_C$  = quantité total de ciment ;

$\gamma_c$  = densité de ciment ;

$W$  = rapport eau/ciment.

**A.N:** 
$$V_e = \frac{0.46 \cdot 259.509}{3.15} = 37.8765 \text{ m}^3 = 37876.5 \text{ liter}$$

### 6. La crépine :

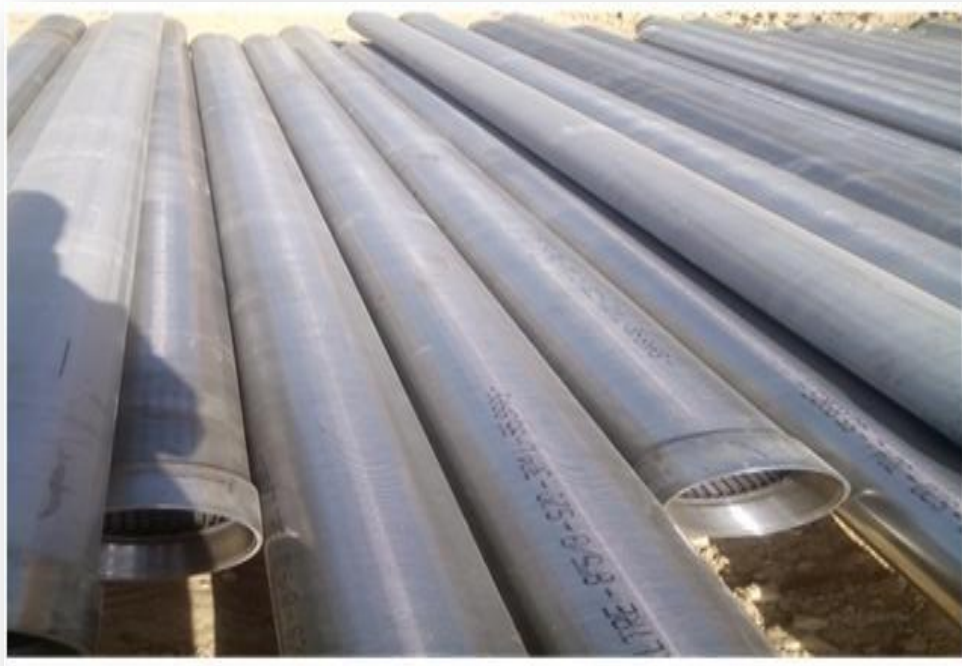
La crépine est constitué l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau.

C'est des tubes perforés placés à la suite du tubage plein pour capter l'eau dans son site tout en maintenant en place le terrain aquifère, directement ou par l'intermédiaire d'un massif filtrant. Leur emploi ne s'impose pas en terrains durs, fracturés ou fissurés mais de bonne tenue. La forme et la dimension de leurs ouvertures doivent être choisies en fonction de la

granulométrie du terrain aquifère et de la qualité chimique des eaux dans le but de faciliter le développement et d'éviter le colmatage.

### **6.1. Le rôles de la crépine :**

Elle est placée à la suite du tubage plein, 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.



**Figure N° 32:** crépine Johnson

### **6.2. Choix de la crépine :**

Les crépines sont définies pour laisser passer l'eau, tout en retenant les particules constituant l'aquifère. Pour obtenir cette combinaison, parfois complexe, l'ensemble des paramètres physiques de l'aquifère doivent être pris en compte. La crépine est choisie en fonction de la profondeur, du type de terrain (roche consolidée ou roche friable) ou de la granulométrie des sables du niveau aquifère capté et la qualité de l'eau de l'aquifère préalablement déterminée. Comme les tubages, les crépines en acier peuvent être vissées ou soudées. Les crépines en PVC sont vissées et/ou collées. Lorsque les tubages et les crépines sont en acier, on doit veiller à ce que les éléments en contact soient constitués d'acier de

composition identique pour minimiser la corrosion résultant de l'effet de pile. Pour rester optimale, la productivité d'un forage doit être suivie tout au long de son exploitation afin

De diagnostiquer et contrôler les effets du vieillissement. De ce fait, au cours de sa vie, un forage fera l'objet d'une ou plusieurs opérations de nettoyage/réhabilitation.

**6.3. Programme de Colonne de captage 8''5/8 et de production 9''5/8 Api :**

<b>Profondeur</b>	<b>Longueur de tronçon</b>	<b>Détails</b>
1850 - 1840m	10 m	Sabot inox 8''5/8 + 10m vide
1840 – 1759.1 m	80.1 m	09 Crépines Johnson
1759.1 – 1750.2m	8.9 m	01 Tube plein inox
1750.2 – 1696.8m	53.4m	06 Crépines Johnson
1696.8 – 1687.9m	8,9m	01 Tube plein inox
1687.9 – 1634.5m	53,4m	06 Crépines Johnson
1634.5 – 1625.6m	8,9m	01 Tube plein inox
1625.6- 1607.8m	17.8m	02 Crépines Johnson
1607.8 – 1572.2m	35.6m	04 Tubes pleins inox
1572.2 – 1527.7m	44.5m	05 Crépines Johnson
1527.7 – 1509.9m	17.8m	02 Tubes pleins inox
1509.9 – 1474.3m	35.6m	04 Crépines Johnson
1474.3 – 1465.4m	8,9m	01 Tube plein inox
1465.4 – 1429.8m	35.6m	04 Crépines Johnson
1429.8 – 1385.3m	44.5m	05 Tubes pleins inox
1385.3 – 1384.7	0.6m	Raccord diélectrique
1384.3 – 1371.3	13m	Tube 9"5/8 Ape (K55, Poids:40 lb./ft. + Packer Liner Hanger)
1371.3 – 1370.3	1m	DV de cimentation
1370.3 - 0m (sol)	1370.3m	Tubes 9"5/8 API, Grade K55, Poid :40 lbm/ft.

**Tableau N°09:** Programme de Colonne de captage



7. Ancrage de Liner Hanger Packer Dans le forage profond CI de 4<sup>ème</sup> Phase :



Figure N° 33 : Liner Hanger Packer

7.1. Les étapes de l'ancrage

Vérifier Liner Hanger (Chiens, ressorts et autre accessoires)

- contrôler le poids du liner (Crépines + tubes pleins + poids de moufle)
- contrôler le poids total du (liner + Casing Ø 9 " 5/8 + poids de moufle)
- Enregistrements du poids liner vers le haut et vers le bas
- suivre l'évolution du poids du liner Hanger au martin decker
- lors de la descente de la garniture ne pas tourner liner avec la colonne de Captage pour éviter le risque d'ouverture.
- ne pas mettre les centreurs sur le liner.
- à la fin de la descente du garniture dégagez un 01 mètre comme un repère Tracé pour atteindre la cote de l'ancrage.
- À l'aide de la clé à chaîne en tourne le garniture à droite avec une descente Lente suivie d'une vitesse constante sans dépasser le repère tracé. (01m)
- à la fin de l'ancrage le poids total (Liner + Casing) doit diminuer la valeur du Poids de liner.
- le martin decker indique uniquement le poids de casing ce la justifier la Réussite d'opération de l'ancrage



- en ajoute 3 tonnes pour mesure de sécurité.
- Gonflement de Packer de casing 9'' 5/8 vers le casing 13'' 3/8 pour isoler le Passage de ciment dans l'aquifère.
- fin opération de l'ancrage.
- début de la circulation (retour de la boue en surface)

**8. Développement du forage :**

Traitement par produit chimique en utilise Hexamétaphosphate

Dosage:

25kg de l'Hexamétaphosphate injecté dans 1m<sup>3</sup> d'eau soit 1000 litres

Calculer le volume du trou forage Ø 12'' ¼ de l'aquifère (épaisseur de la nappe CI) Volume d'eau nécessaire à injecter avec l'Hexamétaphosphate dans le trou forage Aquifère

$$CI.....V = S \times E$$

V =Volume

S = Surface (Trou forage en 12'' ¼ )

E = Épaisseur de la nappe CI

$$V = S \times E \quad A.N \quad v = 0.075 \times 460 = 34.95 \text{ m}^3$$

$$\text{Poids Hexamétaphosphate} = 34.95 \times 25 = 873.71 \text{ kg}$$

**9. La tête de puits :**

Une tête de puits est un élément à la surface d'un puits qui fournit une interface structurelle qui contient la pression pour le forage et la production d'équipements. L'objectif principal de la tête de puits est de fournir un point de suspension et des joints de pression pour les chaînes de tubage qui s'étendent du fond des sections de forage jusqu'à l'équipement de contrôle de la pression de surface. Lors du forage de puits d'eau, le contrôle de la pression de surface est assuré au moyen d'une obturatrice anti-éruption. Si la pression pendant le processus de forage n'est pas contenue par la colonne de fluide marin, les tubages, la tête de puits et l'obturateur anti-éruption ; Une explosion peut également se produire. Les têtes de puits sont généralement soudées à la première colonne de tubage qui est maintenue en place pendant les opérations de forage pour former une structure faisant partie du puits. Dans les puits d'exploration abandonnés par la suite, les têtes de puits qui s'y trouvent peuvent être récupérées pour être régénérées et réutilisées.

### 9.1. La tête de puits :

Les têtes de puits des forages géothermiques ont plusieurs fonctionnalités :

- ✓ elles assurent la fermeture hermétique du puits, ainsi que l'étanchéité en tête de forage dans le cas de nappes artésiennes jaillissantes.
- ✓ elles contrôlent l'accès aux forages et les protègent des pollutions externes.
- ✓ elles servent à la suspension du matériel de production et d'injection (éventuellement en matériaux composites) placés dans l'ouvrage.
- ✓ elles servent également à la suspension du matériel d'exhaure installé dans les puits de production (pompe).
- ✓ elles permettent le contrôle de l'artésianisme des puits lorsqu'ils sont jaillissants, soit par l'utilisation des vannes, soit par injection dans le puits de fluides spécifiques de densité adéquate (saumure par exemple) permettant de compenser la pression des formations.



Figure N° 34 : tête de puits.

**10. L’essai de début :**

Déterminer le début d’exploitation de forage.

**10.1. L’essai par palier :**

Série de paliers de débits différents et croissants, d’une courte durée, le temps de l’opération 12 heure divisée en 3 étapes.

Palier	P1=4h	P2=4h	P3=4h
Q	85	115	150
P	10.1	7.6	4.4

**Tableau N°10:** l’essai par palier

**10.2. L’essai début constant :**

« Longue durée », à débit constant pendant une durée d’un jour à une semaine (dans la plupart des cas). Le temps d’opération 3 jours.

Temps	Débit Q
72 hours	170 l/s

**Tableau N°11:** L’essai début constant

**10.3. Le but de l’opération l’essai du début :**

- Évaluer le rendement fiable à long terme (ou débit de production) d’un forage.
- Évaluer la performance hydraulique d’un forage, généralement par ses caractéristiques de rendement-rabattement.
- Tester le fonctionnement d’Équipement (colonne de production, la crépine, tête de puits).
- Définer des régimes exploitation optimum

**11. Les opérations électriques:**

**11.1 L’enregistreur CL (clipper loggings):**

**11.1.1. Introduction:**

Un outil de diagraphie d’épaisseur puits qui fournit une mesure continue de la taille et de la forme et l’inclination d’un trou de forage le long de sa profondeur.



Figure N°35: dessous explique le principe de travaille l'enregistreur CL

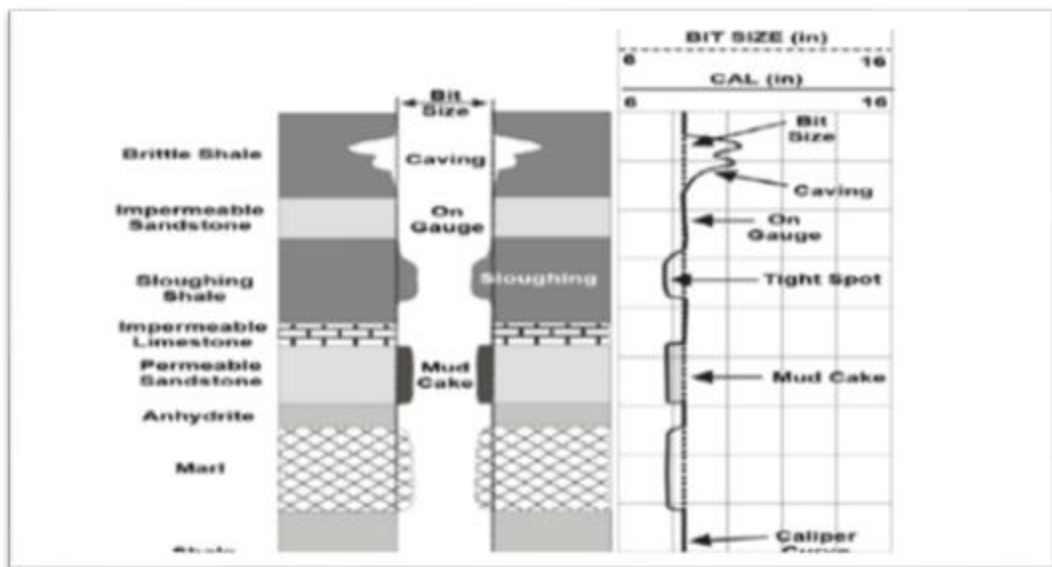


Figure N°36: Simulation d'un principe de fonctionnement (CL)

### 11.1.2 Interprétation de clipper logging (CL) :

Le journal de l'enregistrement contenir deux diagraphies :

- L'enregistrement de l'inclination d'un trou de forage.
- L'enregistrement la taille de trou de forage.

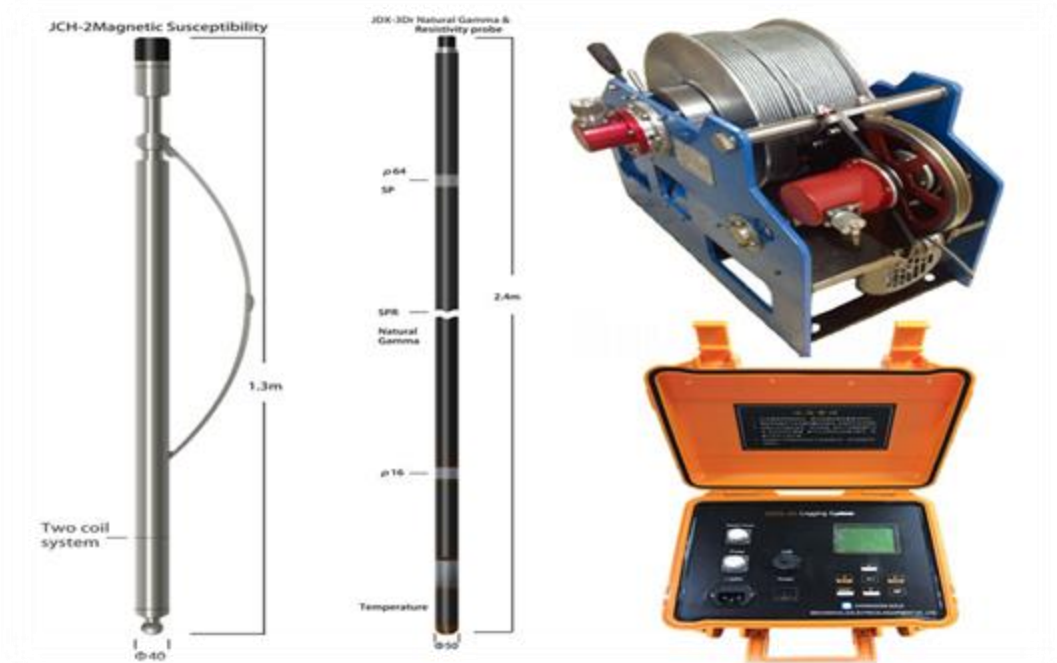
Nous remarquons que La première enregistrement de l'inclination c'est bien de sa profondeur, mais la deuxième enregistrement nous remarquons augmentation la volume du trou dans la profondeur entre (960 – 1360) cela est dû aux caractéristiques de la formation

rocheuse de la couche, c'est une roche calcaire aux propriétés hydrosolubles qui aboutit à ce qu'on appelle (casing).

**11.2. Gamma ray :**

**11.2.1. Introduction :**

Les diagraphies font un usage intensif de la mesure de la radioactivité dans les forages. Les logs nucléaires ont en effet un grand avantage, ils peuvent être enregistrés en trous ouverts ou tubés, vides ou remplis de n'importe quel type de fluide.



**Figure N° 37 :** l'équipement de gamma ray

**11.2.2. Interprétation de diagraphie :**

Les éléments radioactifs dominants De très nombreux isotopes naturels sont radioactifs. Seuls trois d'entre eux jouent un rôle notable dans la radioactivité naturelle des minéraux et des roches. Les autres sont extrêmement peu stables ou extrêmement rares. Les trois isotopes qui intéressent le géophysicien sont : l'uranium, le thorium et le potassium 40. Toutes les roches peuvent à priori être radioactives du fait de la dissémination très générale de ces éléments, cependant leur fixation préférentielle sur les sédiments fins fait que ceux-ci sont généralement plus radioactifs que les sédiments grossiers. D'autre part les argiles se montrent le plus souvent fortement radioactives cette particularité peut avoir des causes très diverses :

- Il s'agit d'argiles potassiques.

- Les argiles ne sont pas potassiques mais elles s'accompagnent de nombreux minéraux accessoires à potassium, uranium et thorium.
- Les argiles, à l'origine non-radioactive, ont adsorbé des cations comportant uranium et thorium. Ce cas est fréquent.

L'interprétation de gamma ray loggings la formation productive divisé en 5 étapes :

- **(1400-1570)** : Stabilité de la proportion d'isotopes radioactifs à ses niveaux les plus bas, Il indique que la Couche ne contient pas d'argile, Indique que la couche est perméable et transférable aux liquides
- **(1570-1580)**: Augmenter progressivement la proportion d'isotopes radioactifs, Il indique la fin de la couche perméable et le début de la couche imperméable, qui est l'argile.
- **(1580-1600)** : La stabilité du rapport isotopique radioactif au niveau le plus élevé indique la présence d'une couche imperméable (argiles).
- **(1600-1610)**: Diminution progressive de la proportion d'isotopes radioactifs pour atteindre son niveau le plus bas, Il indique la fin de la couche d'argile et le début d'une couche moins radioactive qui peut transporter des liquides.

# Conclusion générale

## **Conclusion générale**

Compte tenu de la rareté dans le Sahara algérien des précipitations et des ressources en eau, il est devenu nécessaire d'établir des puits pour exploiter les ressources souterraines de la région. Cette construction s'effectue selon des étapes qui doivent être suivies afin d'obtenir des puits de bonne qualité. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre thèse.

La fiche technique de chaque excavation, que ce soit pour les formations de surface, les formations de coiffe ou de socle, est une information claire sur la structure, la composition et les caractéristiques des différentes couches géologiques.

Selon la formation hydrogéologique actuelle dans la région de Touggourt, le technique rotary est utilisée pour réaliser des forages pour exploiter les ressources en eaux souterraines, car elle est adaptée à la géologie de la région, dans la partie supérieure Le climat de la zone d'étude est de type désertique, caractérisé par une différence importante entre la température estivale et la température hivernale, de faibles précipitations et une évaporation intense.

La région El mostakbal Parmi les localités qui connaît un déficit dans le système d'alimentation en eau potable, qui influe sur la disponibilité de l'eau ainsi que le régime de distribution d'une part, Pour satisfaire les demandes d'alimentation en eau potable de cette zone, on recourt à l'exploitation de la couche du réservoir profond contenu(CI).

Pour atteindre et exploiter ce grand réservoir on recourt à l'exécution des sondages profonds par la technique Rotary. La réalisation d'un forage hydraulique dans la région de El mostakbal passe par plusieurs phases, en fonction de la profondeur et de la pression de la phréatique.

Cette réalisation de forage comporte plusieurs étapes, commençant par la définition des objectifs de forage du puits jusqu'à l'exploitation de l'eau. Dans le cadre de notre étude, nous avons suivi le forage d'un puits destiné à une alimentation eau potable dans la région.

Nous avons montré l'importance et les effets de l'étude géologique de la zone dans la détermination de la strate appropriée pour le forage. L'étude prend également des mesures et des techniques de forage, ainsi que de se concentrer sur l'opération de cimentation et de le suivre de près pour obtenir un bon support pour le puits...

L'étude a conclu que la bonne réalisation du puits grâce à la bonne utilisation des techniques et des équipements de forage, se traduit par un puits bien productif.



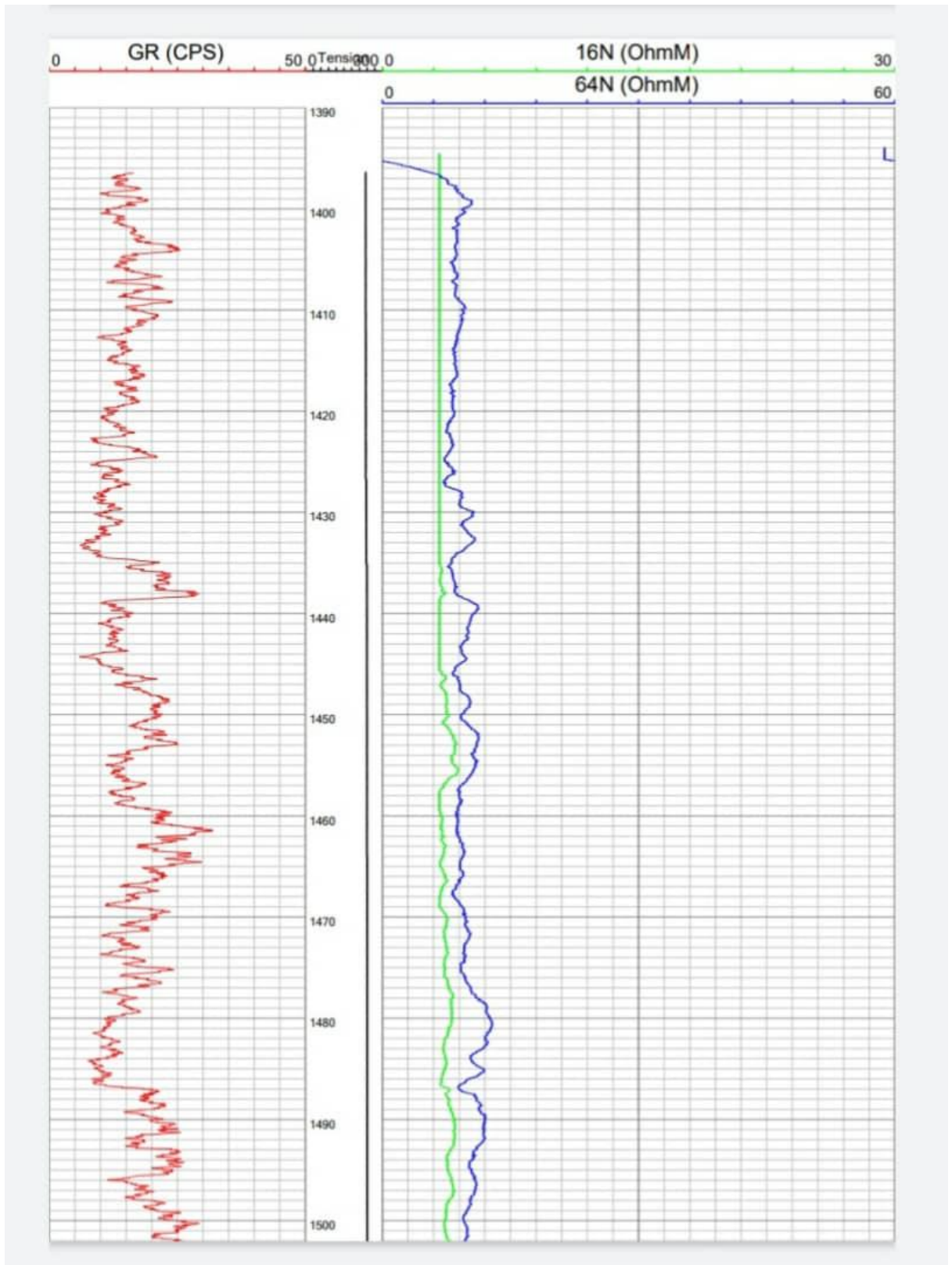
## *Références Bibliographique*

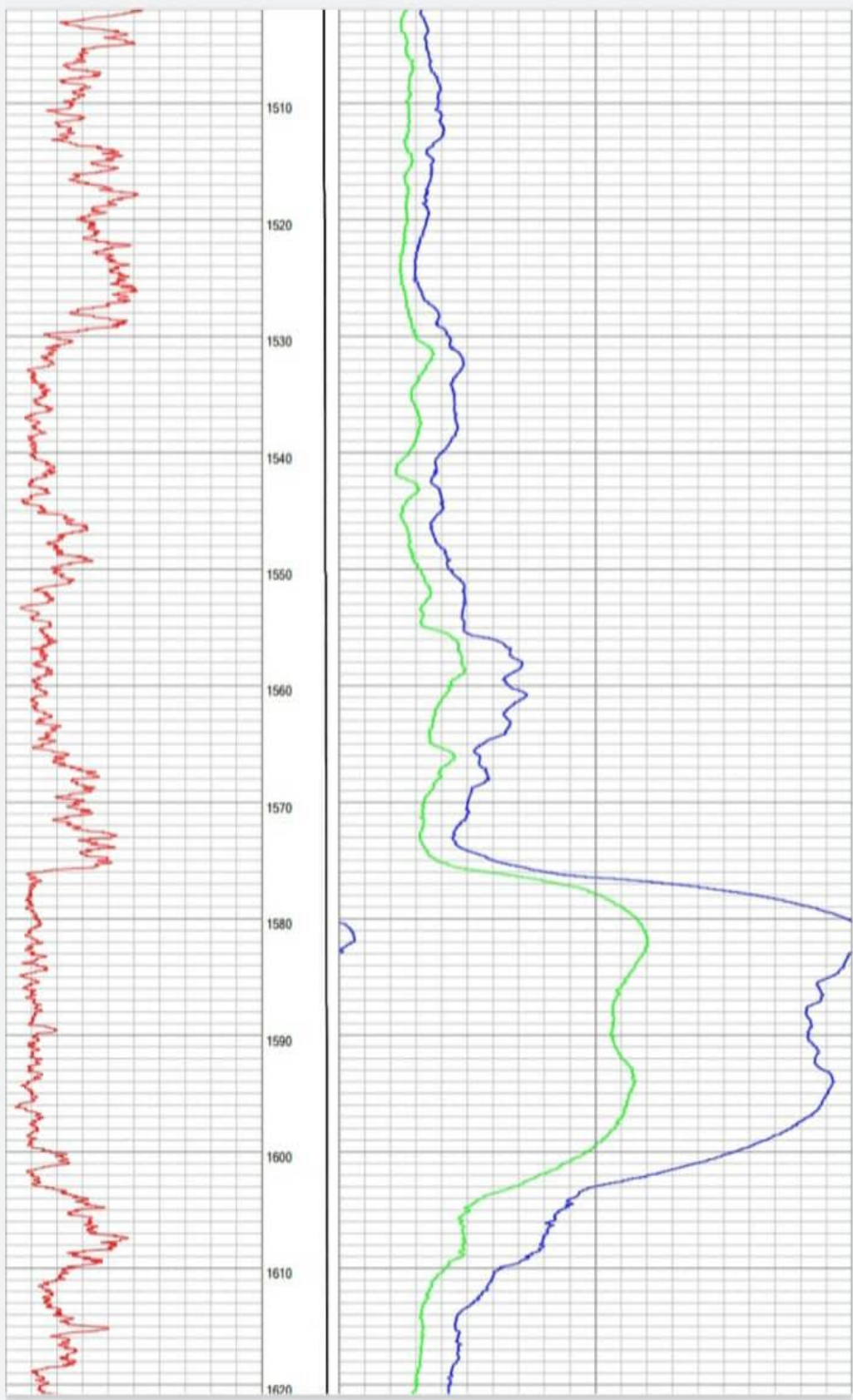
- [1] Bouselsal Boualem “ FORAGE D’EAU Procédés et mesures “ univ-Ouargla
- [2] Enseignant A. Ali « Forages d’Eau : Procédés et Mesures » univ batna 2
- [3] Dr Mehdi METAICHE « Maître de Conférences » FORAGE TECHNIQUES ET PROCEDES. Université de Bouira.
- [4] Dr. MEDJANI Fethi “ Forage 1 et Forage pétrolier “.
- [5] ANRH Agence Nationale De Ressources Hydrauliques (secteur de Touggourt).
- [6] Document de Entreprise SPA Tassili Hassi Messaoud.
- [7] COURS DE Méthodes de Forage d’eau, et construction des puits.
- [8] COURS DE FORAGE (IAP).
- [9] Cours forage univ kasdi merbah ouargla.
- [10] Drill String and BHA Design schlumberger.
- [11] IFP TRAINNING.
- [12] Oil and gas well drilling and servicing tools.

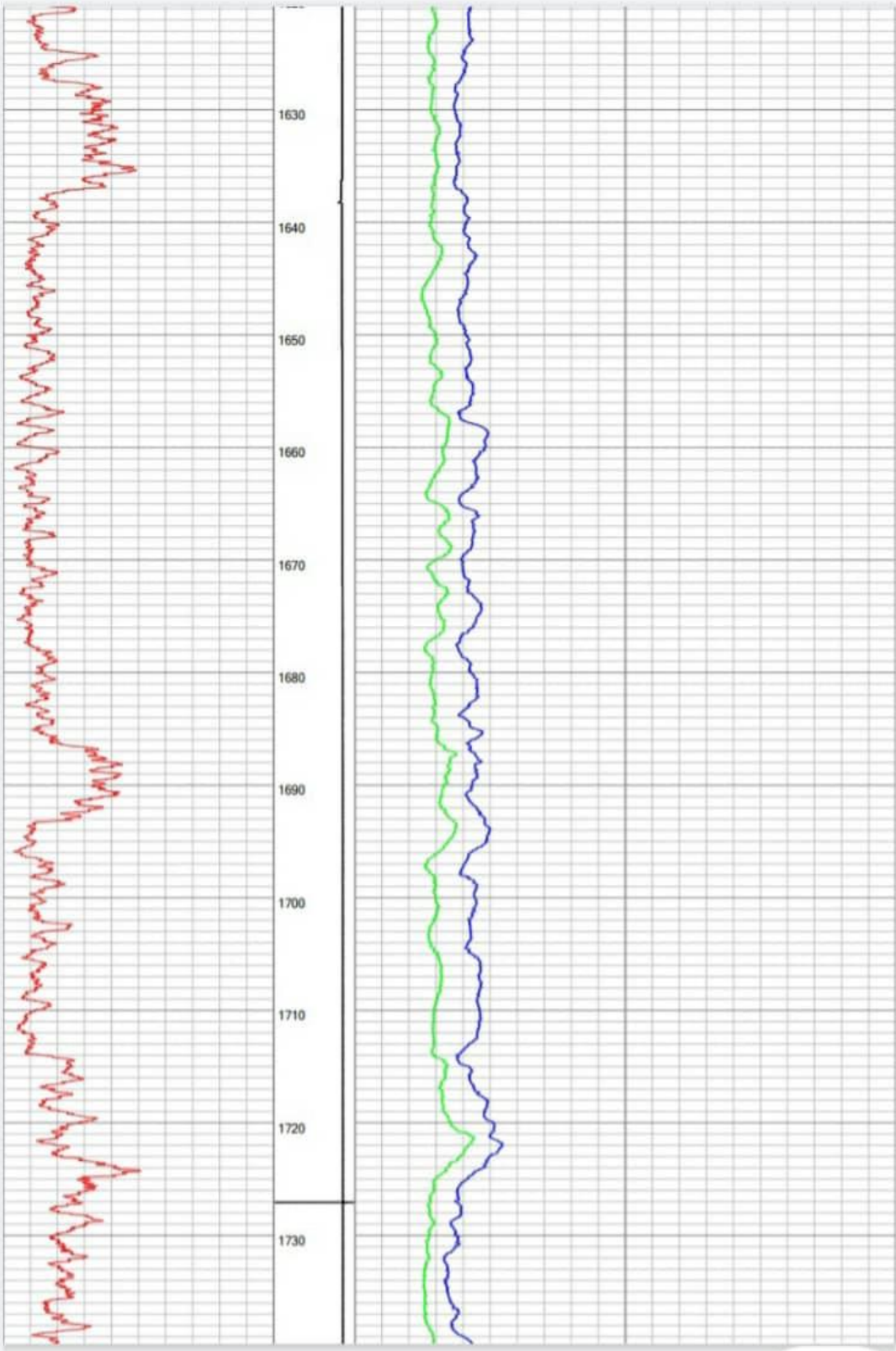


# **ANNEXES**

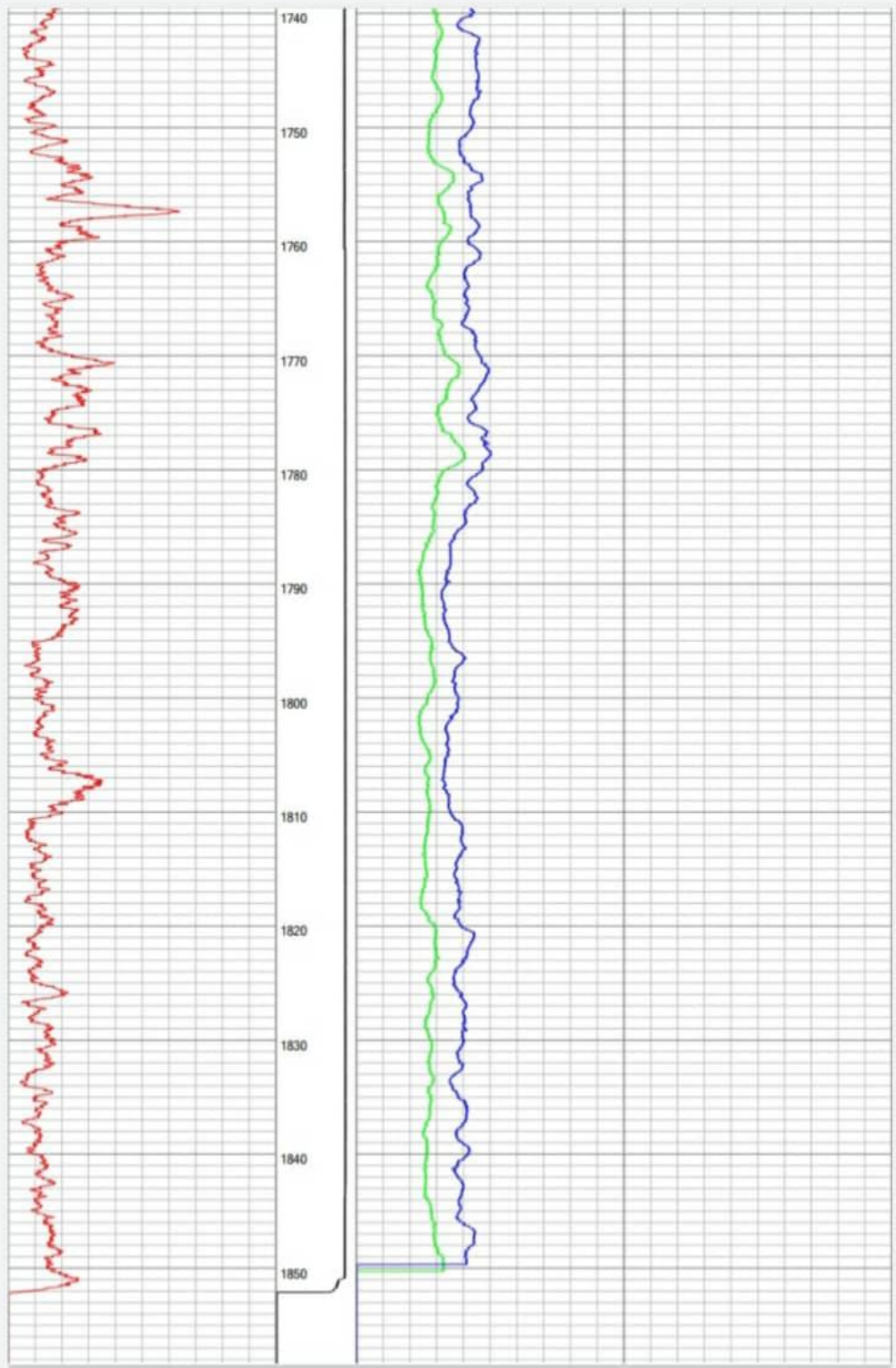
- **Diagraphie de RES-GR-INC (Gamma Ray et Résistivité):**



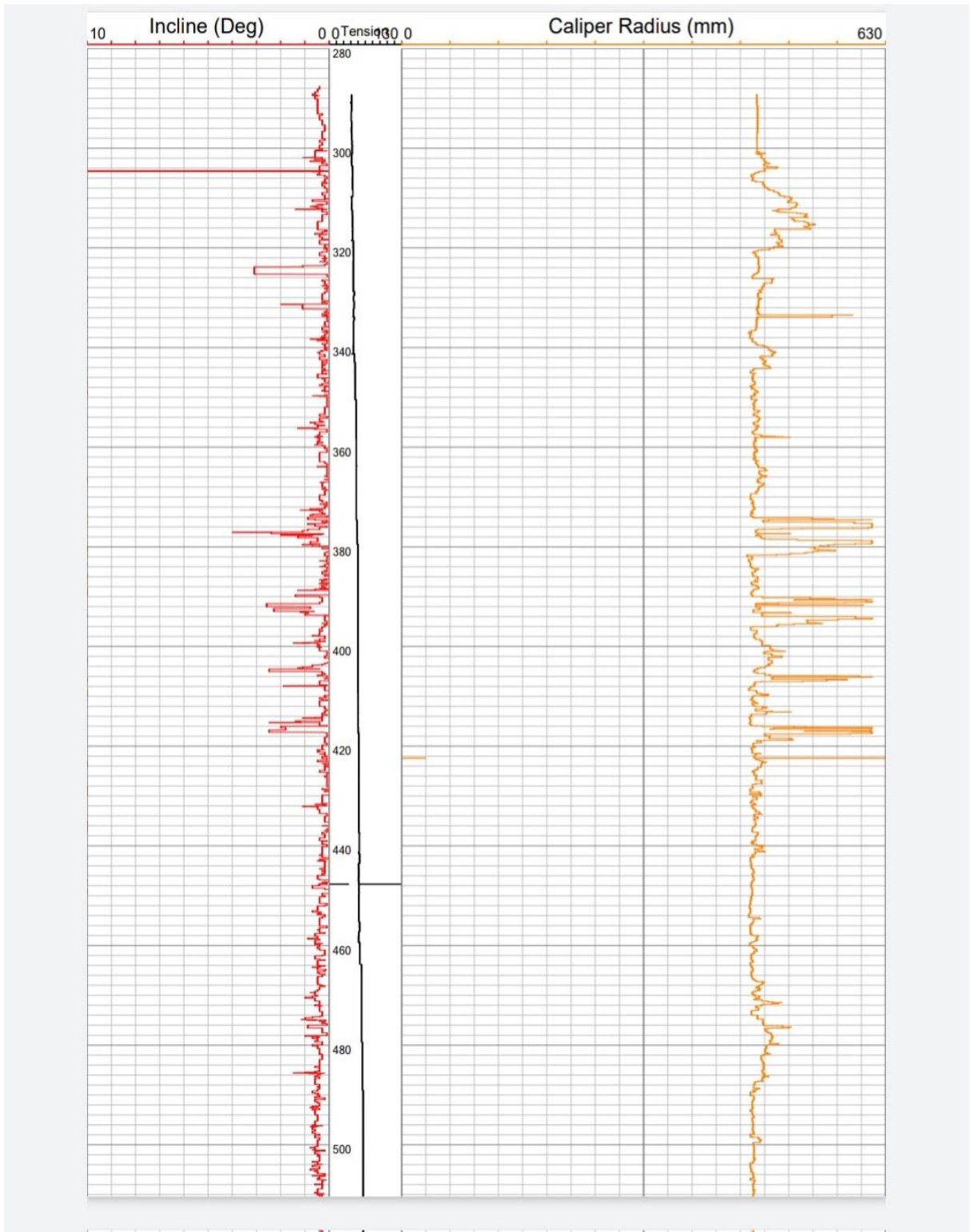


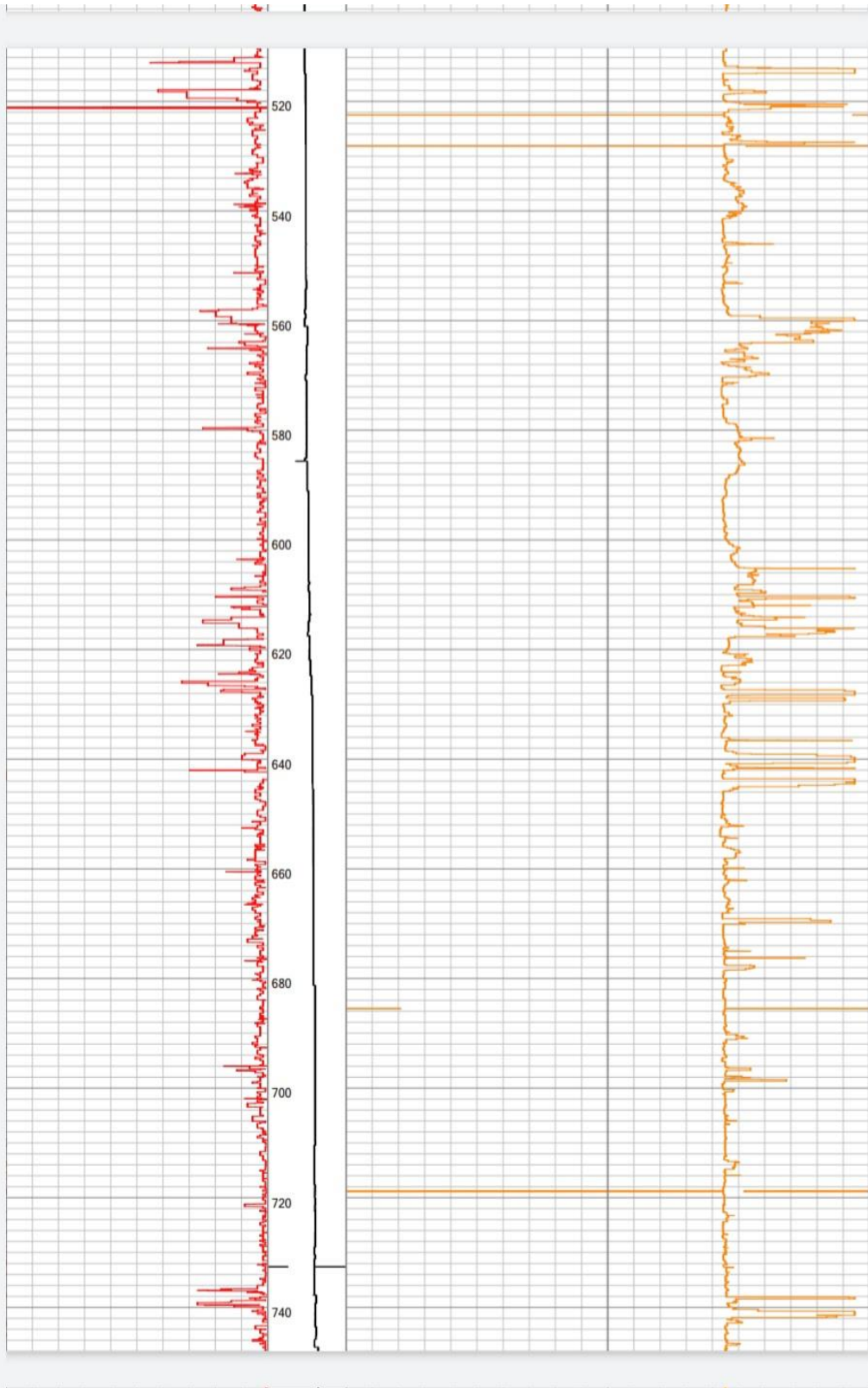




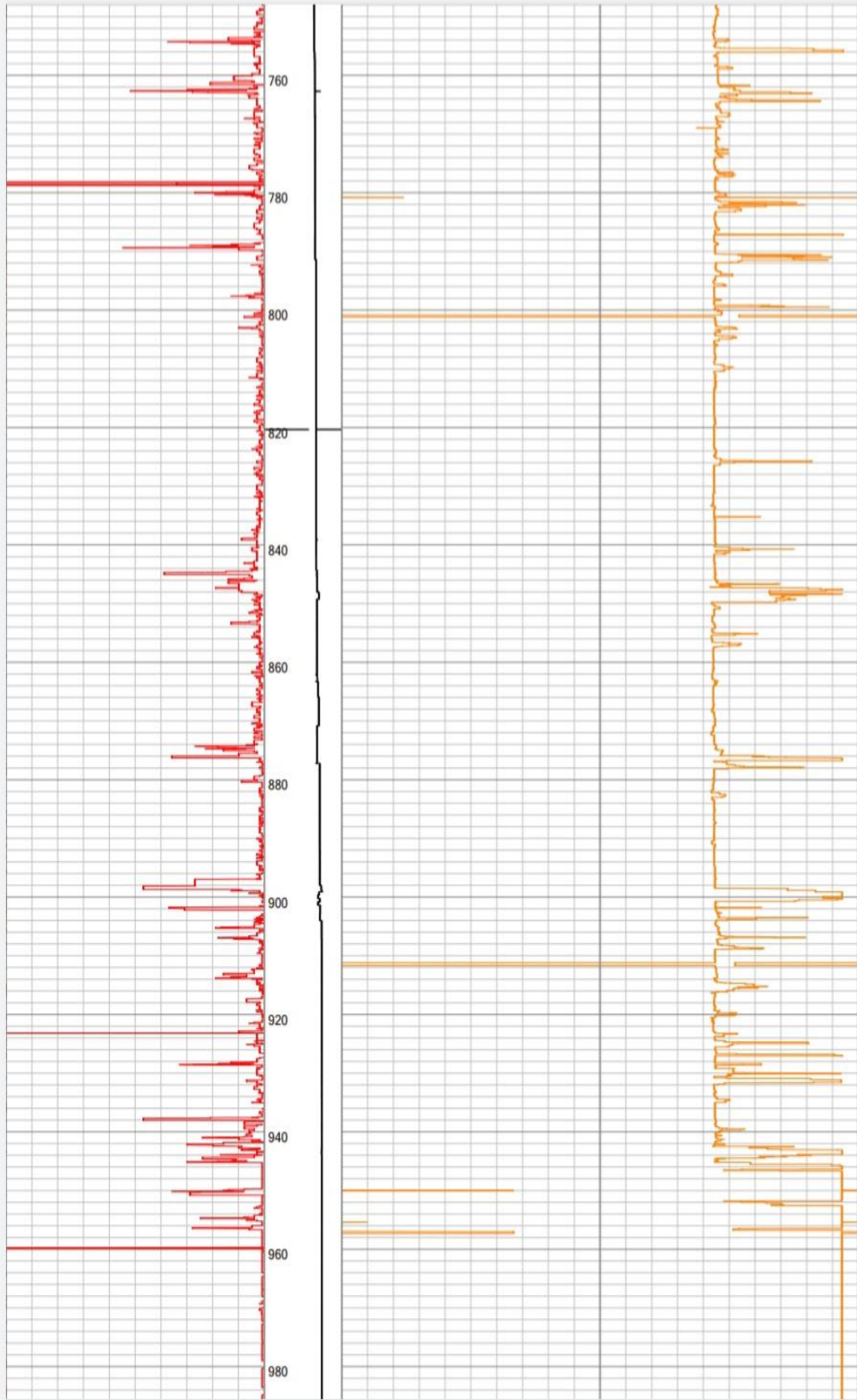


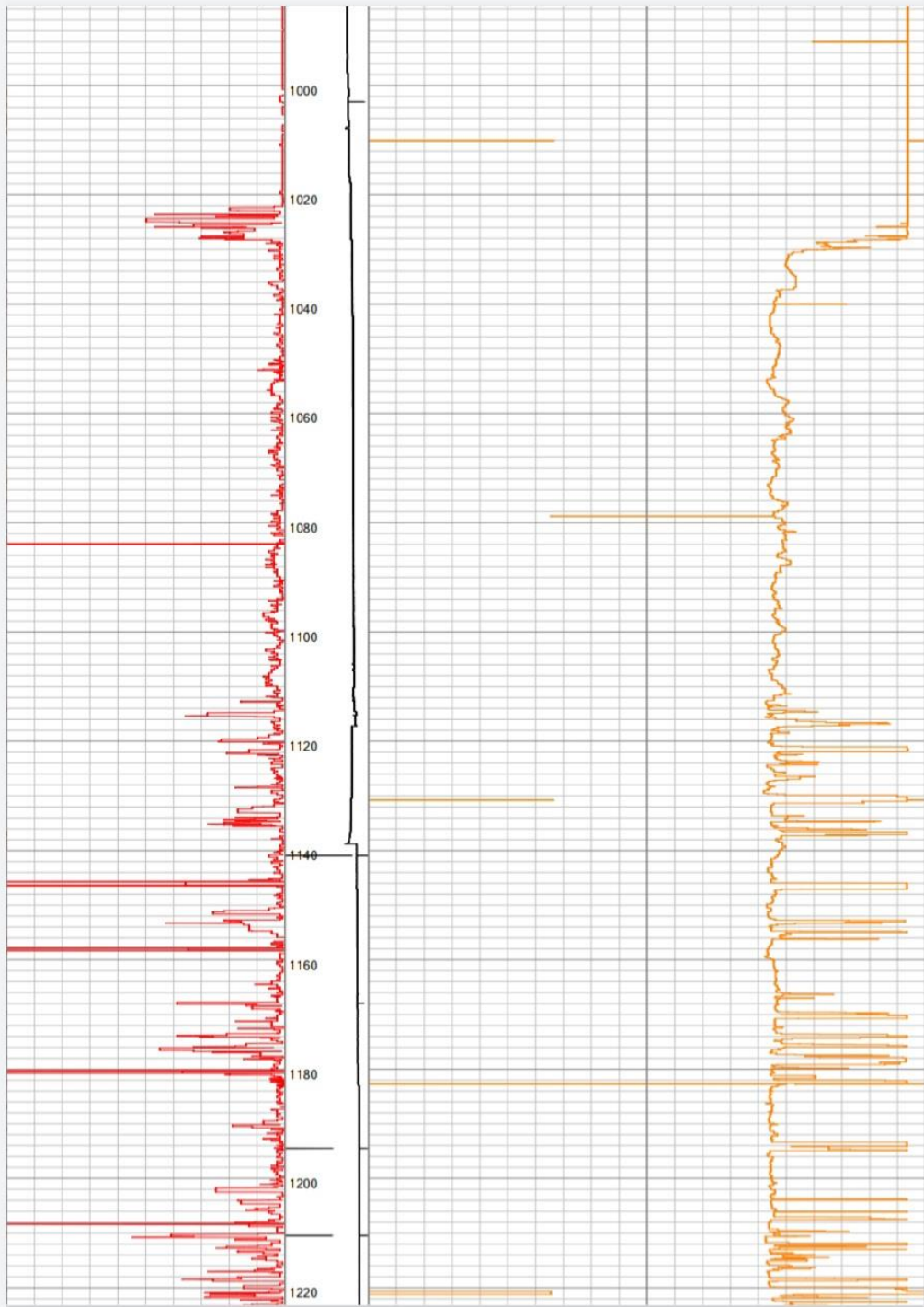
- **Diagraphie (INC\_ CAL) Caliper inclinasion**

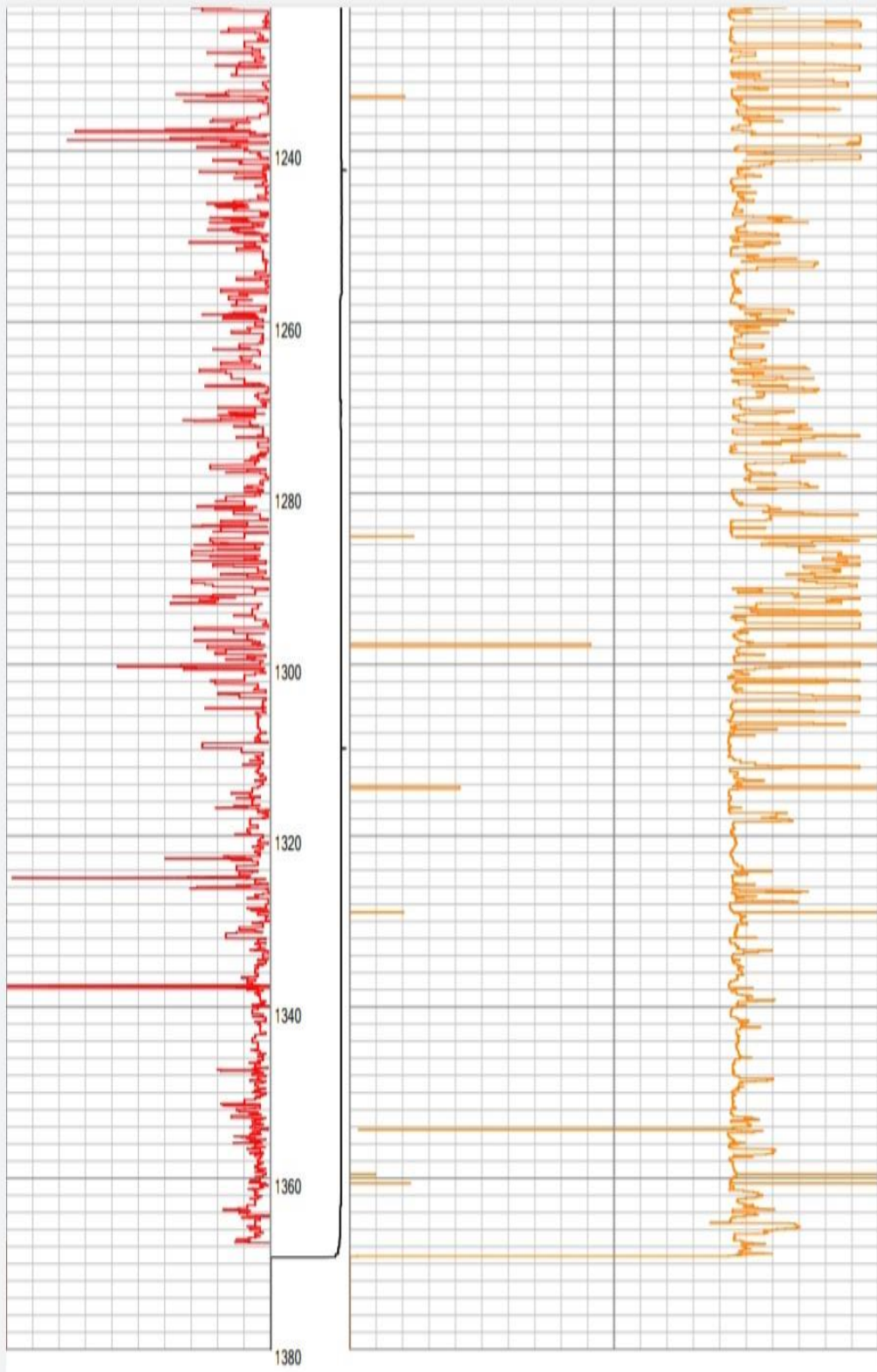






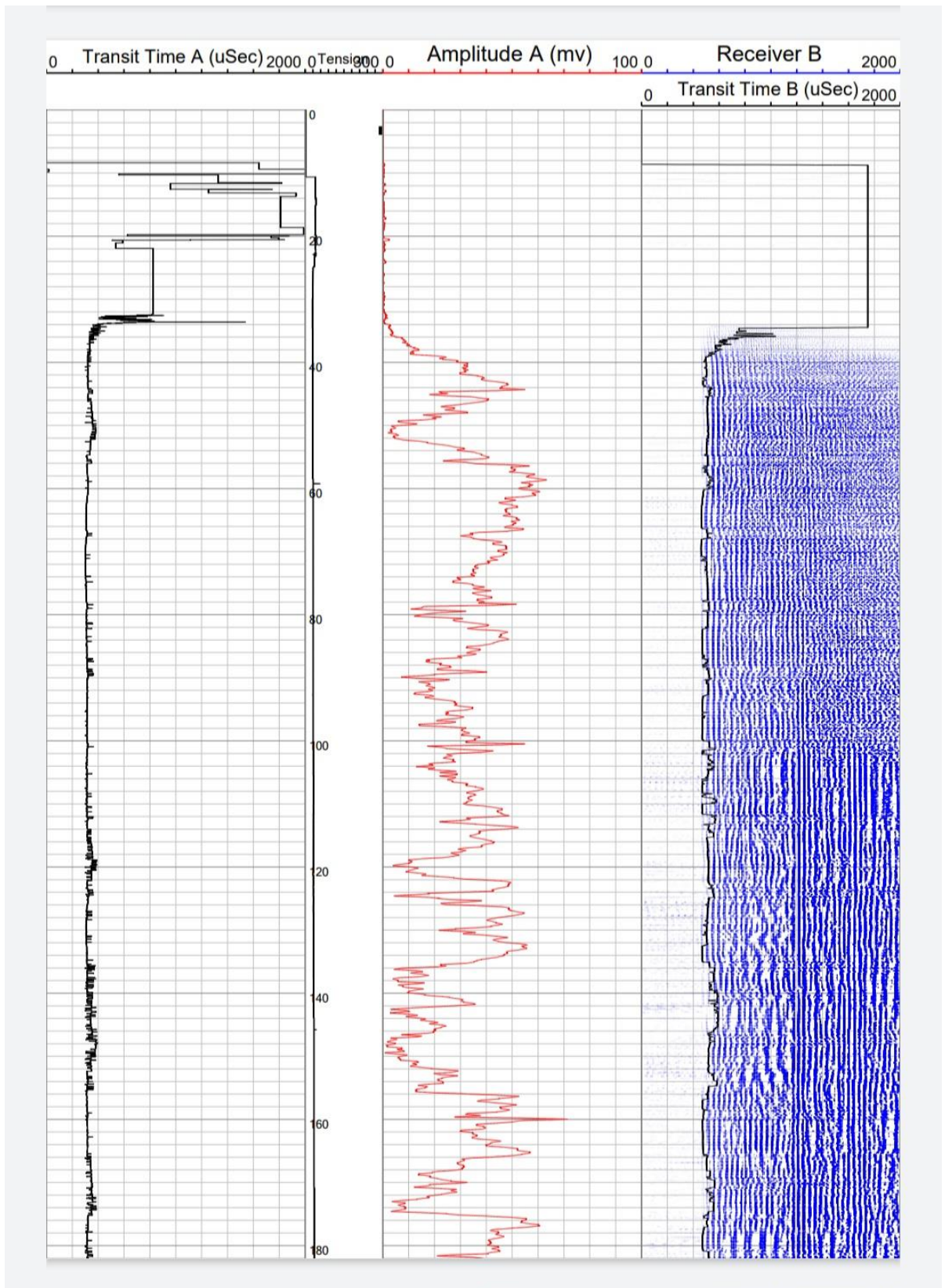


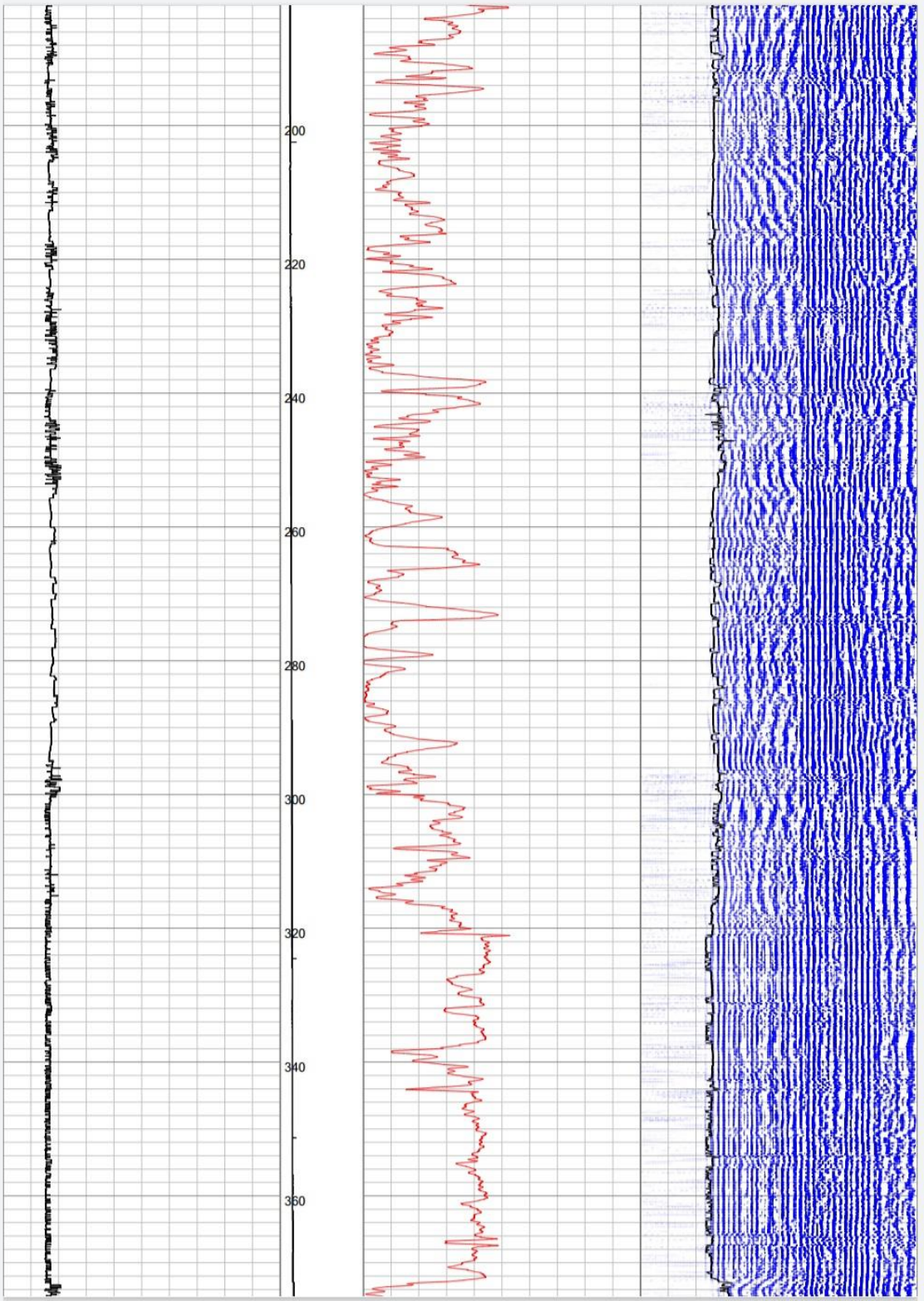




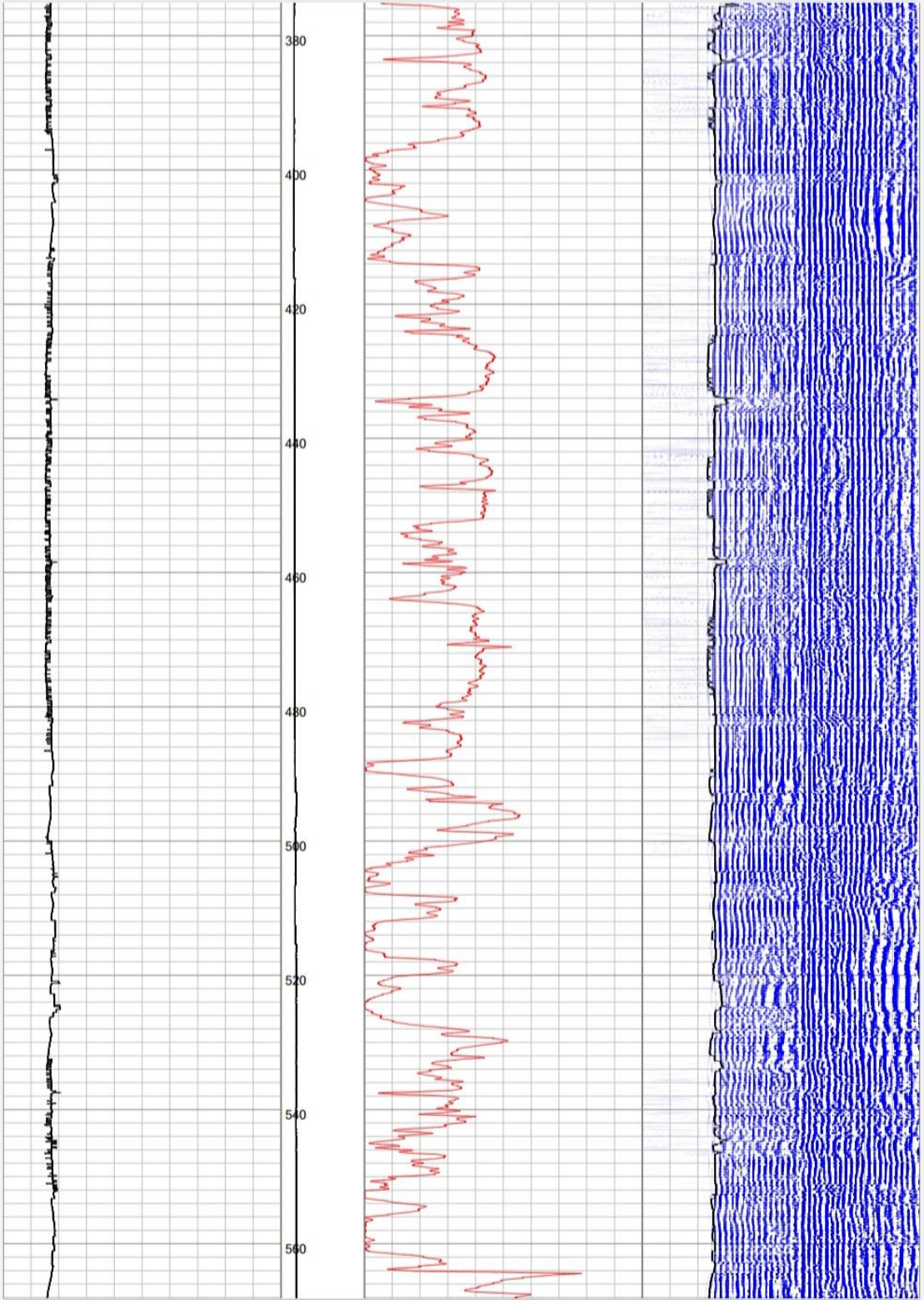


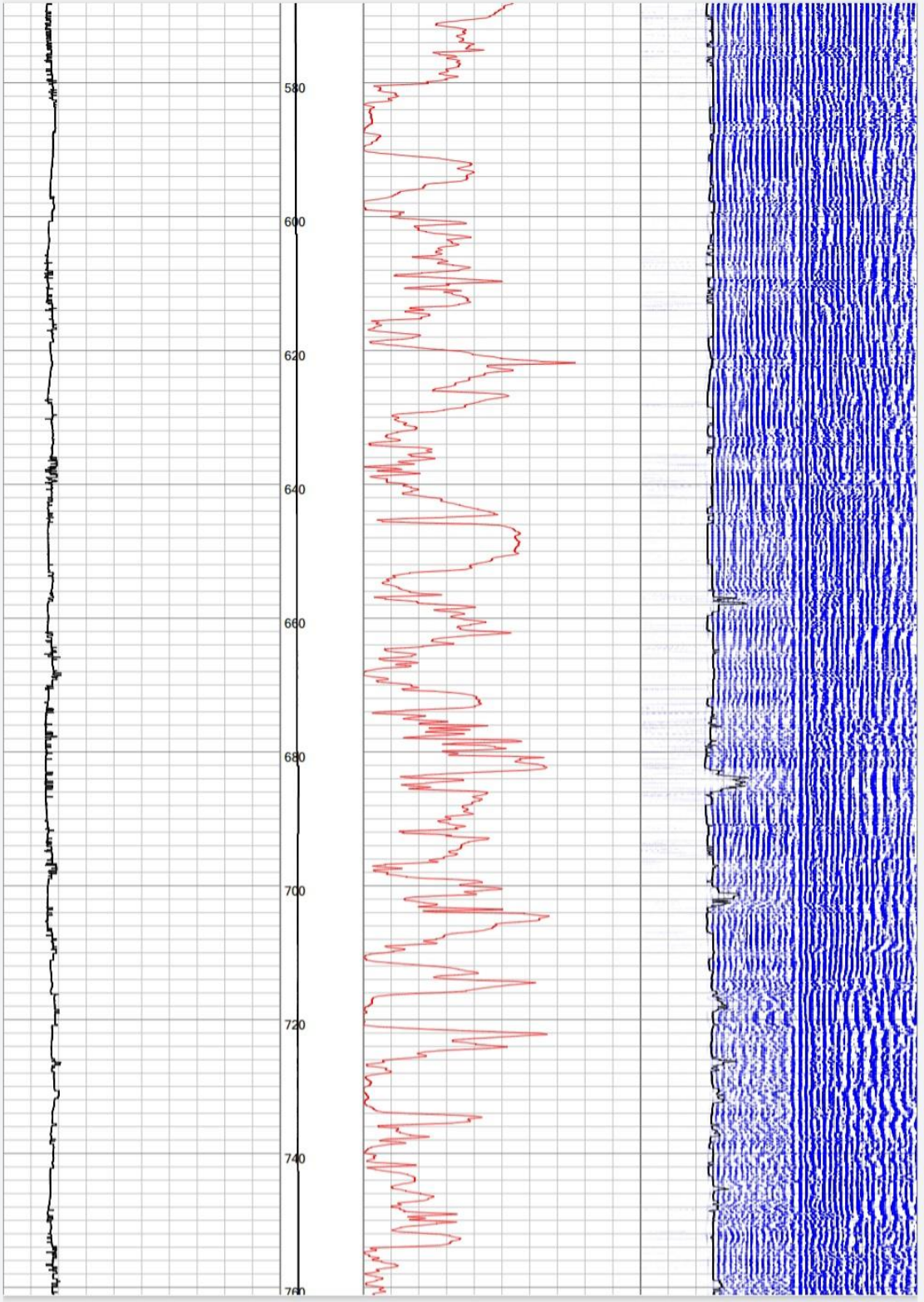
- **Diagraphie de CBL – VDL (Cément Bond Log – Variable Density Log)**



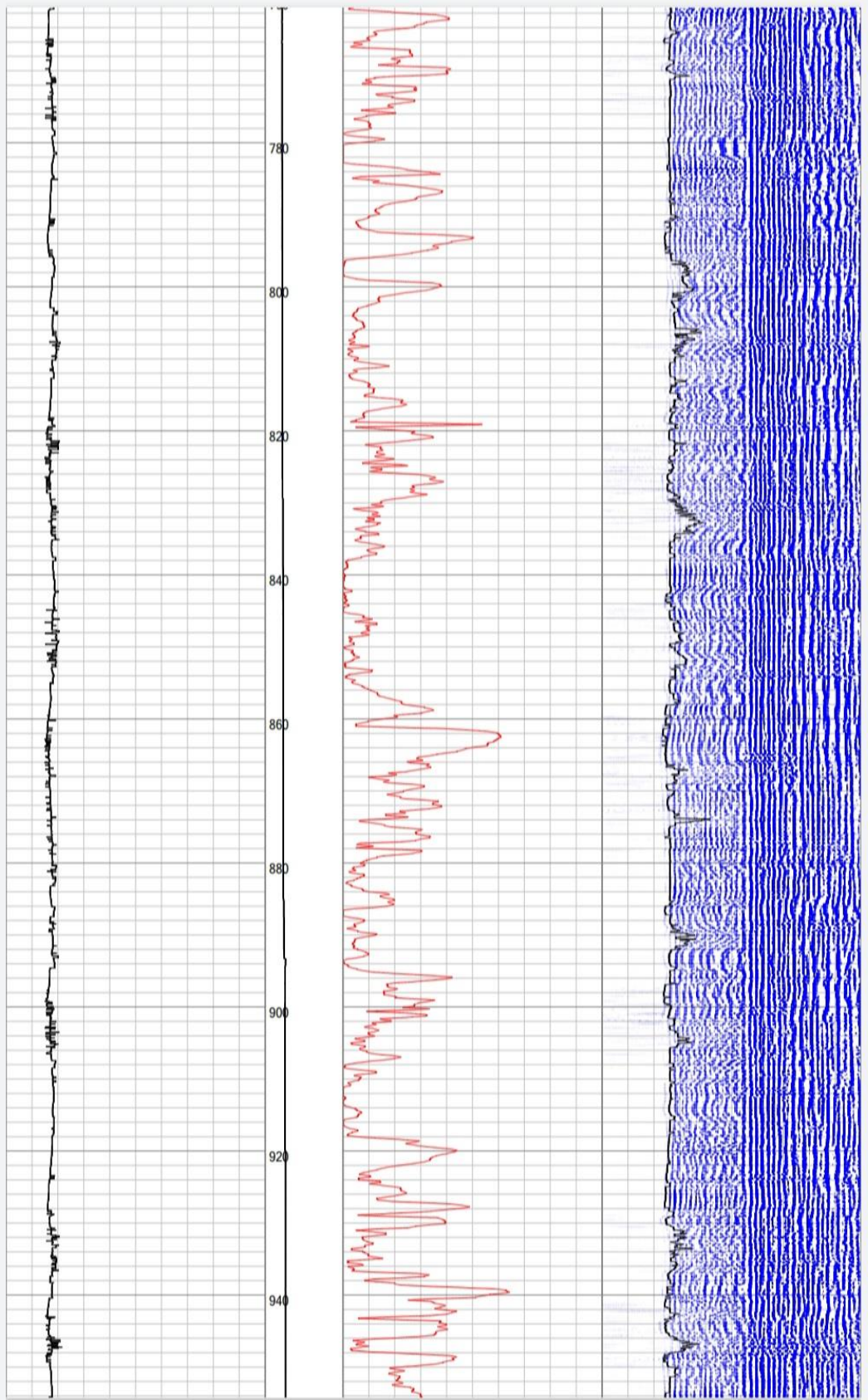




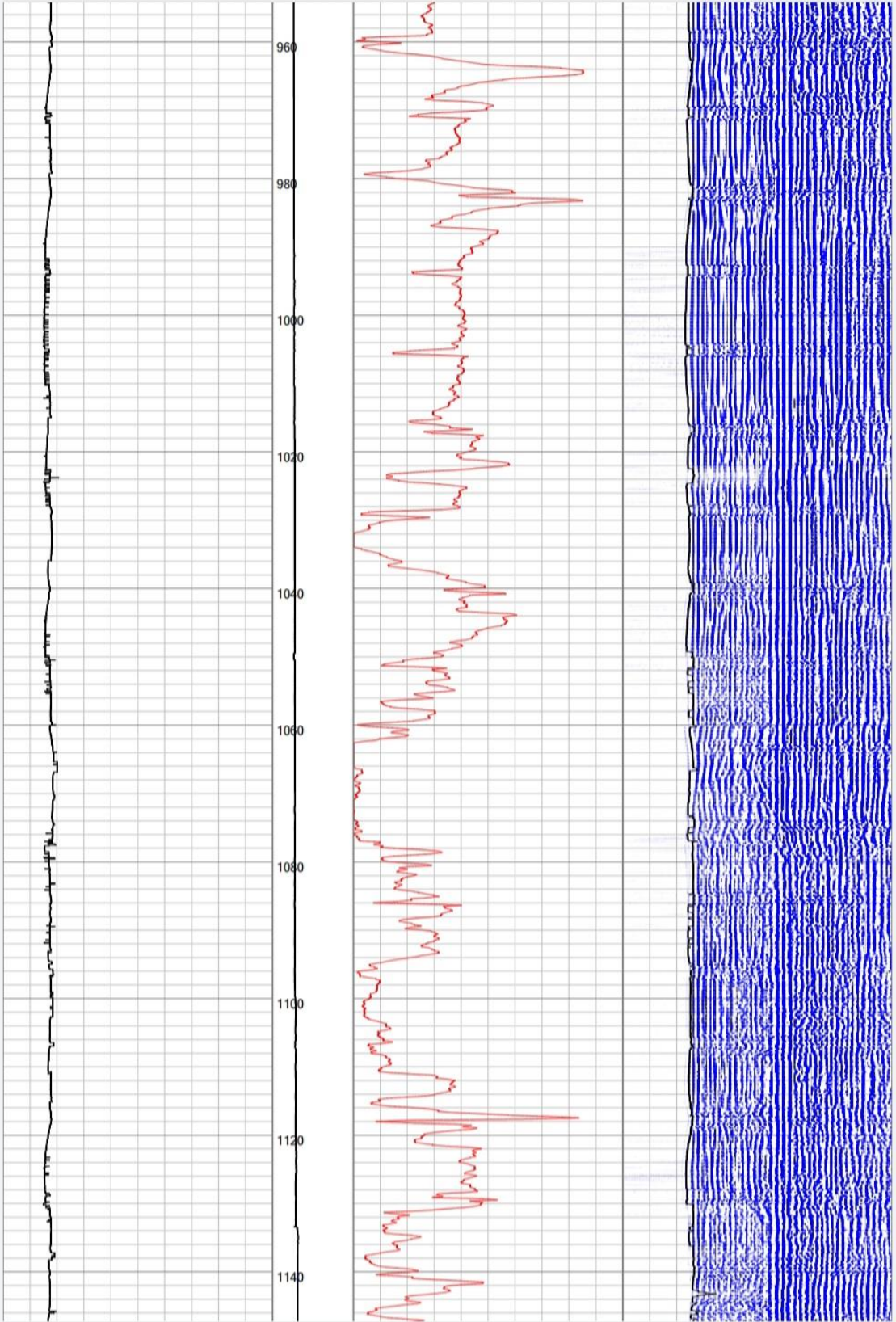


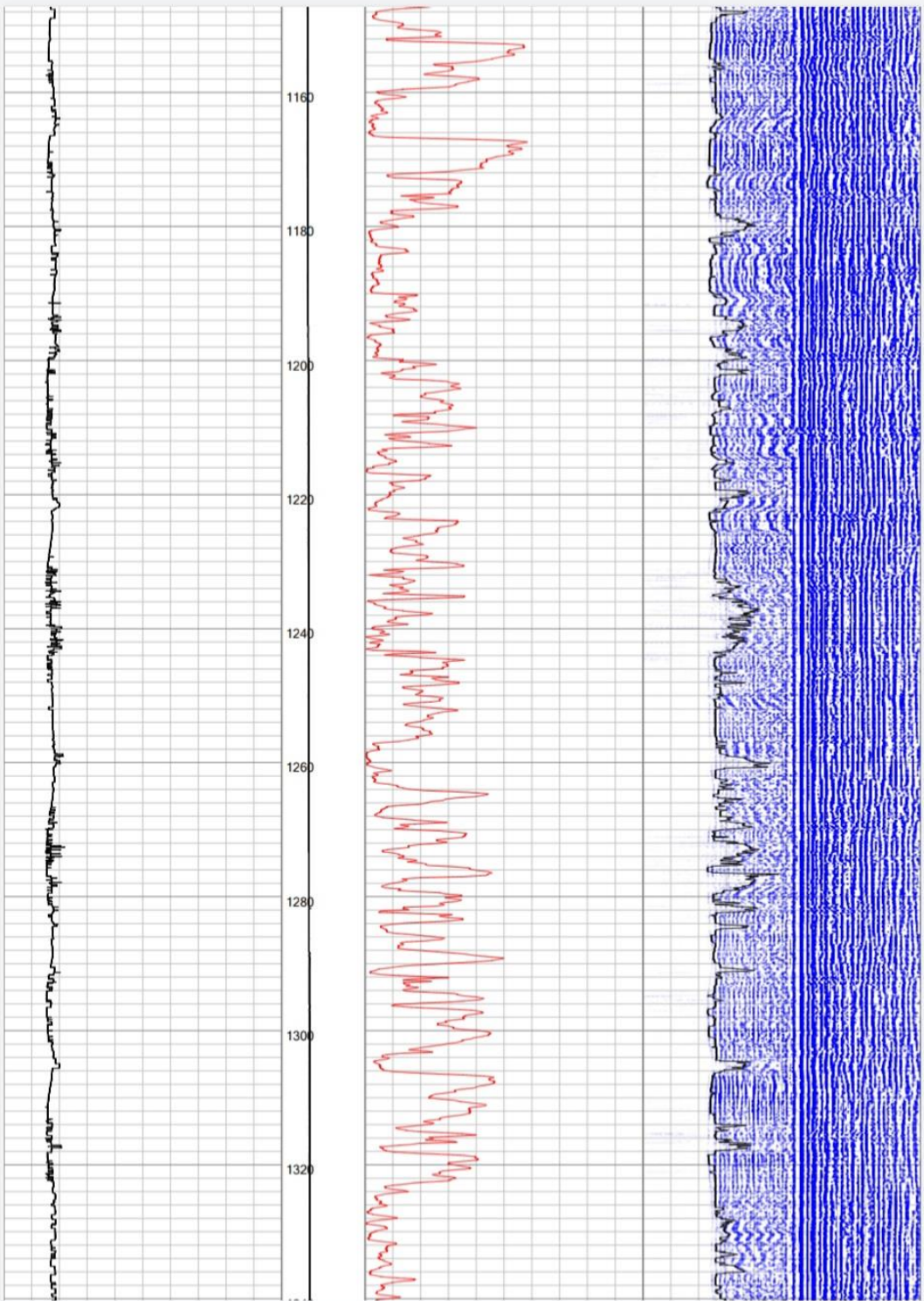


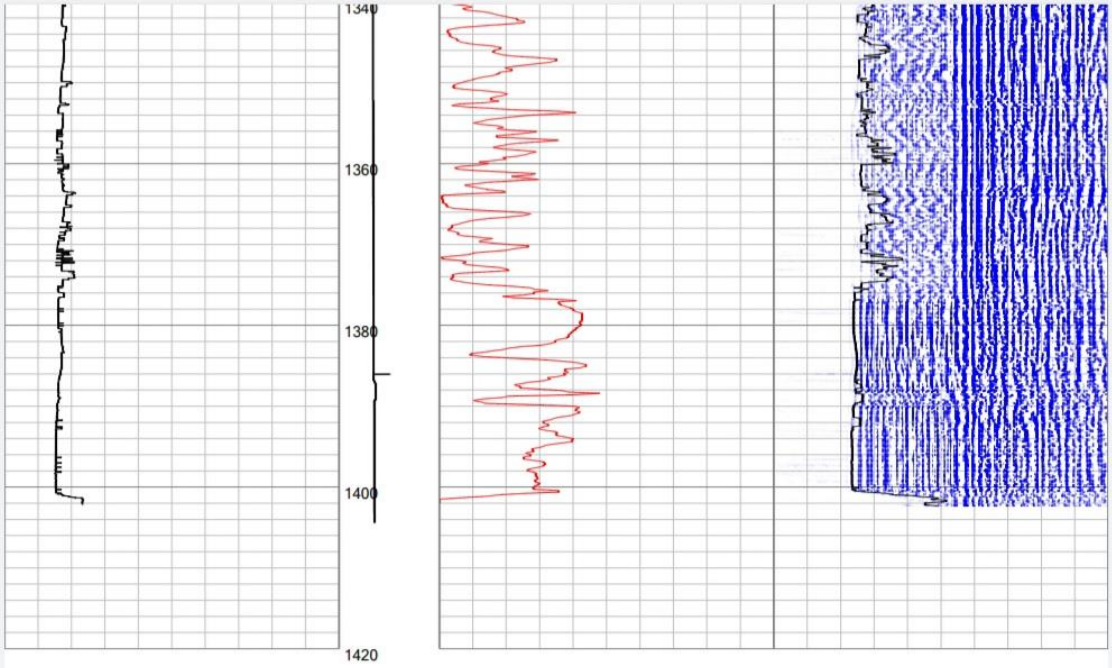












❖ Tableaux des Volumes de l'espace annulaire :

		Diamètre nominal du tube intérieur (pouces)																	
		0 (1)	4 1/2	5	5 1/2	6 5/8	7	7 5/8	8 5/8	9 5/8	10 3/4	11 3/4	13 3/8	16	18 5/8	20	30		
0 (2)		l/m	10.30	12.69	15.36	22.34	24.88	29.58	37.87	47.10	58.74	70.16	90.80	130.0	176.2	203.0	455.8		
Diamètre et masse nominale de tube extérieur	9 5/8	58.40 61.10 71.80	36.14 35.53 33.46	25.84 25.23 23.16	23.45 22.84 20.77	20.76 20.17 18.10	13.80 13.19 11.12	11.26 10.65 8.58	X X X	X X									
	10 3/4	32.75 40.50 45.50 51.00 55.50 60.70 65.70	52.60 51.15 50.15 49.13 48.27 47.26 46.30	42.30 40.85 39.85 38.83 37.97 36.96 36.00	39.91 38.46 37.46 36.44 35.58 34.57 33.61	37.24 35.79 34.79 33.77 32.91 31.90 30.94	30.26 28.81 27.81 26.79 25.93 24.92 23.96	27.72 26.27 25.27 24.25 23.39 22.38 21.42	23.02 21.57 20.57 19.55 18.69 17.68 16.72	14.73 X X X X X	X								
	11 3/4	42.00 47.00 54.00 60.00	62.24 61.31 59.96 58.79	51.94 51.01 49.66 48.49	49.55 48.62 47.27 46.10	46.88 45.95 44.60 43.43	39.90 38.97 37.62 36.45	37.36 36.43 35.08 33.91	32.66 31.73 30.36 29.21	24.37 23.44 22.09 20.92	15.14 X X X	X X							
	13 3/8	48.00 54.50 61.00 68.00 72.00	81.89 80.63 79.37 78.08 77.24	71.59 70.33 69.07 67.78 66.94	69.20 67.94 66.68 65.39 64.55	66.53 65.27 64.01 62.72 61.88	59.55 58.29 57.03 55.74 54.90	57.01 55.75 54.49 53.20 52.36	52.31 51.05 49.79 48.50 47.66	44.02 42.76 41.50 40.21 39.37	34.79 33.53 32.27 30.98 30.14	23.15 21.89 20.63 19.34 18.50	X X X X X						
	16	65.00 75.00 84.00	117.87 115.87 114.19	107.57 105.57 103.89	105.18 103.18 101.50	102.51 100.51 98.83	95.53 93.53 91.85	92.99 90.99 89.31	88.29 86.29 84.61	80.00 78.00 76.32	70.77 68.77 67.09	59.13 57.13 55.45	47.71 45.71 44.03	27.07 25.07 23.39	X X X				
	18 5/8	87.50	159.74	149.44	147.05	144.38	137.40	134.86	130.16	121.87	112.64	101.00	89.58	68.94	29.74	X			
	20	94.00 106.50 133.00	185.28 182.92 177.76	174.98 172.62 167.46	172.59 170.23 165.07	169.92 167.56 162.40	162.94 160.58 155.42	160.40 158.04 152.88	155.70 153.34 148.18	147.41 145.05 139.98	138.18 135.82 130.66	126.54 124.18 119.02	115.12 112.76 107.60	94.48 92.12 86.96	55.28 52.92 47.76	X X X			
	30	267.0 310.0	407.8 397.0	397.5 386.7	395.11 384.31	392.44 381.64	385.5 374.7	392.9 372.1	379.2 367.4	369.9 359.1	360.7 349.9	349.1 338.3	337.6 326.8	317.0 306.2	277.8 267.0	231.6 220.8	204.8 194.0	X X	

VOLUME DE L'ESPACE ANNULAIRE CACING-CASING (suite et fin) (litres par mètre)





DESIGNATION	VOLUME (l/m)	TROU										CASING									
		36"	26"	17 1/2"	16"	12 1/4"	8 1/2"	8 3/8"	6"	30 1/2 5/8"	18 5/8 8/25"	18 3/8 7/20"	13 3/8 6/80"	9 5/8 5/35"	9 5/8 4/20"	7 3/20"	7 1/290"	4 1/2"			
		656,7	342,5	155,2	129,72	76,04	36,61	35,54	18,24	426	159,73	77,24	78,	36,91	38,18	18,82	19,38	7,9			
GARNITURE		VOLUME TROU/GARNITURE (l/m)										VOLUME CASING/GARNITURE (l/m)									
DC 9 1/2" 5/8 Reg	4117	456	4573	61097	296,77	109,47	83,98	30,31		380,27	114,00	31,51	32,37								
DC 8 7/16 5/8 Reg	2842	401	3243	62427	310,07	122,77	97,29	43,61	4,18	383,57	127,30	44,81	45,67								
DC 6 1/2" 2 1/3 1/6 4" H	174	401	2141	635,29	321,09	133,29	108,31	54,63	16,20	404,59	138,32	55,83	56,69	15,50	16,77						
DC 3 1/4 2 1/4 3 1/2 H	887	256	1143	645,27	331,07	143,77	118,29	64,61	26,18	414,57	140,30	65,81	66,67	25,48	26,75	7,39	7,95				
HWOP 5" 1/2	1028	577	1605	640,65	326,45	139,45	113,67	59,99	20,66	409,95	143,68	61,19	62,05	20,86	22,13						
HWOP 5" 3" - Range I	936	461	1397	642,73	328,53	141,23	115,75	62,07	22,64	412,03	145,76	63,27	64,13	22,94	24,21						
HWOP 3 1/2 2 1/5 Reg	481	219	7	649,70	336,50	148,20	122,72	69,04	29,61	419,00	152,73	70,24	71,10	29,91	31,18	11,82	12,38				
DP 5 1/2 2 1/2 90 H-G105	479	1126	1605	640,65	326,45	125,18	113,67	59,99	20,66	409,95	143,68	61,19	62,05	20,86	22,13						
DP 5" 19 50H-G105	415	905	132	643,50	329,30	142,00	116,62	62,84	23,41	412,80	146,53	64,04	64,90	23,71	24,98						
DP9 1/2-1330 H-E75	264	386	65	650,20	336,00	148,70	123,22	69,54	30,11	419,50	153,23	70,74	71,60	30,41	31,68	12,32	12,88				
DP9 1/2-1330 H-895	277	384	661	650,09	335,89	148,59	123,11	69,43	30,00	419,39	153,12	70,63	71,49	30,30	31,57	12,21	12,77				
DP9 1/2-1330H-G105	279	382	661	650,09	335,89	148,59	123,11	69,43	30,00	419,39	153,12	70,63	71,49	30,30	31,57	12,21	12,77				
CASING		VOLUME TROU/CASING (l/m)										VOLUME CASING/CASING (l/m)									
30-157,5 H-x52-172400	30	426	456	200,70																	
18 5/8 87,5 H-K55-BTC	1604	159,73	175,77	480,93	166,73					250,23											
13 3/8 72H-P110-BTC	1341	77,24	90,65	566,05	251,85	64,55	39,07			335,35	69,08										
13 3/8 68H-P110-N80-BTC	1255	78,1	90,65	566,05	251,85	64,55	39,07			335,35	69,08										
9 5/8 53,5H-P110-BTC	1003	36,91	46,94	609,76	296,66	108,26	82,78	29,10		379,06	112,79	30,30	31,16								
9 5/8 47,4H-P110-BTC	876	38,18	46,94	609,76	295,56	108,26	82,78	29,10		379,06	112,79	30,30	31,16								
7"-32H-P110-BTC&NV	601	18,82	24,83	631,87	317,67	130,37	104,89	51,21	11,78	401,17	134,90	52,41	53,27	12,08	13,35						
7"-25 H-P110-BTC&NV	545	19,38	24,83	631,87	317,67	130,37	104,89	51,21	11,78	401,17	134,90	52,41	53,27	12,08	13,35						
4 1/2-1350H-P110-NV	247	7,79	10,26	646,44	332,24	144,94	119,46	65,78	26,35	416,74	149,47	66,98	67,84	26,65	27,92	8,66	9,12				
2 7/8-6/40H650H-N80-NV	117	3,02	4,19	652,61	338,31	151,01	125,53	71,85	32,42	421,81	155,64	73,05	73,91	32,72	33,99	14,63	15,19	3,60			
2 7/8-7/20H750H-NV	146	2,73	4,19	652,61	338,31	151,01	125,53	71,85	32,42	421,81	155,64	73,05	73,91	32,72	33,99	14,63	15,19	3,60			

VOLUME DE L'ESPACE ANNULAIRE TROU-CASING (suite et fin) (litres par mètre)