

N° Ordre ..... /Faculté/UMBB/2016

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGERA BOUMERDES**



**Faculté des hydrocarbures et de la chimie**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme :**

**MASTER**

Présenté par :

**LASLA Hicham**

Filière : Hydrocarbures

Option : Forage des puits

*Thème*

---

***POSE ET CIMENTATION D'UN LINER MIXTE 4<sup>1/2</sup> AVEC PACKER ECP  
À DOUBLE ÉTANCHÉITÉ DANS LE CHAMP DE DÉVELOPPEMENT  
DE RHOUD NOUSS  
APPLICATION SUR LE PUIT RNZ-127***

---

Devant le jury :

MELLAK Abderrahmane pro	UMBB	Président
BENTRIOU Abdelhak MC(A)	UMBB	Encadreur
BENYOUNES Khaled MC(A)	UMBB	Examineur
HADJADJ Ahmed MC(A)	UMBB	Examineur
AZRIL Nadjet MA(A)	UMBB	Examinatrice
BOUMAZA Nadian MA (A)	UMBB	Examinatrice

Année universitaire : 2015 /2016

## DEDICACE

*A ce qui j'aime le plus au monde, et qui sont sacrifiés pour me voir atteindre cet objectif :*

- *A mes très chers parents à qui je souhaite une longue vie.*
- *A mes très chère sœurs et frères.*
- *A mes très chers amis.*

*Je dédie ce modeste travail  
Lasla Hichem*

## REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et la patience de mener à bien ce modeste travail.*

*Je remercie également mes parents pour les soutient et leur encouragement au cours de mes études.*

*Je voudrais exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur le Dr : BENTRIOU ABDELHAK pour sa disponibilité, son sérieux et ses conseils judicieux.*

*En définitive, je remercie toute personne qui a participé de près ou de loin, de façon directe ou indirecte, à la réussite de ce travail.*

# SOMMAIRE

<b>Introduction général</b> .....	1
-----------------------------------	---

## **Chapitre I : : Géologie de la région de RHOUD NOUSS**

<b>I). <i>Présentation du champ de RHOUD NOUSS</i></b> :.....	2
1. Situation du champ de Rhourd Nouss :	2
2. Historique du champ :	2
<b>II). <i>Description du puits RNZ-127</i></b> :.....	5
1. Localisation :	5
2. Itinéraire d'accès :	5
3. Données du puits RNZ-127 :	7
4. Résumé de puits RNZ-127 :	8

## **Chapitre II : Partie technique et technologique**

### **I). PROGRAMME ET REGIME DE FORAGE :**

1. Phase 26" :.....	9
2. Phase 16" :	9
3. Phase 12 <sup>1/4</sup> :	9
4. Phase 8 <sup>1/2</sup> :	10
5. Phase 6" :	10

### **II). PROGRAMME D'OUTIL :**

1. Introduction:.....	11
2. Evaluation de l'usure des outils:.....	12
3. Programme d'outil pour le puits RNZ-127:.....	13

### **III). PROGRAMME DE BOUE:**

1. Introduction :	14
2. Programme de la boue de forage pour le puits RNZ-127 :	14

#### **IV). PROGRAMME DE TUBAGE:**

1. Les différentes colonnes de tubage :.....	19
2. Méthode de calcul de tubage :.....	20
3. Préparation de colonne de tubage :.....	21
4. Application sur le puits RNZ-127 :.....	22

#### **V). PROGRAMME DE CIMENTACION:**

1. Type de cimentation :.....	26
2. Calcul des Volumes dans la Cimentation :.....	27
3. Application au puits RNZ-127 :.....	29

### **Chapitre III : le liner**

1. Différents types de liner :.....	33
2. Les équipements constitutifs d'un liner conventionnel:.....	35
3. Packer ECP :.....	46
4. Choix des composants du liner :.....	55
5. Incidents de la cimentation d'un liner :.....	57

### **Chapitre IV : Pose liner 4 ½ et Calcule de ciment**

1. Caractéristique de la garniture utilisée :.....	59
2. Composition du liner 4 <sup>1/2</sup> avec packer ECP :.....	60
3. Vérification des résistances des casings aux différentes sollicitations :.....	61
4. Calculs de cimentation :.....	65
5. Caractéristiques des fluides utilisés :.....	73
6. Déroulement des opérations descente et cimentation de liner :.....	77

### **Chapitre V : Contrôle de la cimentation**

<b>Introduction :</b> .....	82
1. Contrôle de la hauteur de ciment dans l'espace annulaire.....	82
2. Contrôle de la qualité et d'étanchéité:.....	82
3. Interprétation du CBL-VDL :.....	85
4. Contrôle de la cimentation par l'imagerie USIT :.....	86
5. Facteurs pouvant influencer le contrôle de cimentation .....	87

6. Cas du puits RNZ 127 :.....	88
7. Conclusion :.....	93

<b>Conclusion et recommandation :.....</b>	<b>94</b>
--	-----------

## LISTE DES FIGURES

<b>Fig. 01</b> : Previsions geologique du champ de RHOUD NOUSS .....	04
<b>Fig.02</b> : Localisation et offset Wells de puits RNZ127 .....	05
<b>Fig.03</b> : Schéma synoptique du forage RNZ127 .....	06
<b>Fig.04</b> : Programme prévisionnel du puits RNZ127 .....	08
<b>Fig.05</b> : Différent outils utilisés lors de forage de puits RNZ-127.....	13
<b>Fig.06</b> : Les différents types de fluide de forage .....	18
<b>Fig.07</b> : Cimentation de tubage.....	29
<b>Fig.24</b> : Liner de forage.....	34
<b>Fig.25</b> : stub liner.....	34
<b>Fig.26</b> : Liner de production.....	34
<b>Fig.27</b> : Tie-back liner.....	34
<b>Fig.28</b> : scab liner.....	34
<b>Fig.29</b> : liner hanger mécanique .....	36
<b>Fig. 30</b> : Liner Top Packer .....	37
<b>Fig. 31</b> : PBR .....	37
<b>Fig. 32</b> : Liner Swivel .....	38
<b>Fig. 33</b> : Manchons de poses mécaniques.....	38
<b>Fig. 34</b> : Setting tool mécanique .....	40
<b>Fig.35</b> : Swab cups .....	41
<b>Fig. 36</b> : Cementing pack-off .....	41
<b>Fig.37</b> : PAC valve .....	41
<b>Fig.38</b> : landing collar pour bille .....	42
<b>Fig.39</b> : landing collar pour bouchons.....	42
<b>Fig.40</b> : Sabot à double clapet anti-retour .....	43

<b>Fig.41</b> : float collar .....	43
<b>Fig.42</b> : Ensemble wiper plugs et siège pour bille .....	44
<b>Fig. 43</b> : Tête de cimentation .....	45
<b>Fig.44</b> : Flag sub (témoin) .....	45
<b>Fig.45</b> : Packer ECP .....	46
<b>Fig.46</b> : Pressure balanced valve collar(run position) .....	50
<b>Fig.47</b> : Pressure balanced valve collar(inflated position) .....	51
<b>Fig. 48</b> : Pressure balanced valve collar(closed position).....	52
<b>Fig.49</b> : Principe de gonflage de l'ECP .....	53
<b>Fig.50</b> : Log. Caliper dans la zone d'ancrage du packer .....	55
<b>Fig.51</b> : Composition du liner 4 <sup>1/2</sup> avec packer ECP .....	60
<b>Fig.52</b> : Schéma du puits RNZ-127 .....	67
<b>Fig.53</b> : Evolution des différents paramètres lors de la cimentation .....	75
<b>Fig. 54</b> : Gonflage de l'ECP .....	80
<b>Fig.55</b> : Exemple de thermométrie .....	82
<b>Fig.56</b> : Principe du CBL .....	83
<b>Fig.57</b> : Parcours possible de l'onde envoyées .....	83
<b>Fig.58</b> : Exemple d'un bon CBL .....	84
<b>Fig. 59</b> : Exemple d'un mauvais CBL .....	84
<b>Fig. 60</b> : Principe du VDL .....	85
<b>Fig.61</b> : Outil de l'imagerie .....	87
<b>Fig.62</b> : Résultat du Log CBL-VDL (Section 2760 à 2811m).....	90
<b>Fig.63</b> : Résultat du Log CBL-VDL (Section 2811 à 2896m).....	91
<b>Fig.64</b> : Résultat du Log CBL-VDL (Section 3289 à 3334m).....	92

---

## Liste des Tableaux

### Partie générale :

Tab 1 : données du puits RNZ-127.....	07
Tab 2 : les paramètres de forage de la phase 26".....	09
Tab 3 : les paramètres de forage de la phase 16".....	09
Tab 4 : les paramètres de forage de la phase 12" <sup>1/4</sup> .....	09
Tab 5 : les paramètres de forage de la phase 8" <sup>1/2</sup> .....	10
Tab 6 : les paramètres de forage de la phase 6".....	10
Tab 7 : les usures des roulements.....	12
Tab 8 : Programme d'outil pour le puits RNZ-127.....	13
Tab 9 : Additifs de la phase 26".....	14
Tab 10 : Propriété de la boue de la phase 26".....	14
Tab 11 : Additifs de la phase 16".....	15
Tab 12: Propriété de la boue de la phase 16".....	15
Tab 13 : Additifs de la phase 12" <sup>1/4</sup> .....	15
Tab 14 : Propriété de la boue de la phase 12" <sup>1/4</sup> .....	16
Tab 15 : Additifs de la phase 8" <sup>1/2</sup> .....	16
Tab 16 : Propriété de la boue de la phase 8" <sup>1/2</sup> .....	16
Tab 17: Additifs de la phase 6".....	17
Tab 18: Propriété de la boue de la phase 6".....	17
Tab 19: résultats de type de tubage de puits RNZ-127.....	25

### Partie Spécial :

Tab 20: Caractéristique de la colonne utilisée.....	59
Tab 21 : Caractéristiques du matériel tubulaire.....	66
Tab 22 : volumes unitaires.....	66
Tab 23 : Temps d'injection du spacer et du laitier.....	71
Tab 24 : Temps de chasse.....	72
Tab 25 : Composition du Spacer.....	73
Tab 26 : Rhéologie du laitier.....	73
Tab 27: Gel du laitier.....	73
Tab 28 : Composition du laitier.....	74
Tab 29 : programme de logging du puits RNZ-127.....	88

---

# INTRODUCTION

En forage, la cimentation des colonnes de tubage est une étape très importante pour la réalisation d'un puits de forage et sa longévité par l'isolation des couches à problèmes. La réussite de cette opération est un facteur déterminant pour la qualité de l'ouvrage.

Auparavant, ces colonnes de tubage sont cimentées depuis le fond jusqu'à la surface. Mais aujourd'hui, pour des raisons économiques et grâce aux progrès technologiques on tend à utiliser des colonnes perdues (liners) qui n'arrivent pas au jour.

Ces liners apportent beaucoup d'avantages par rapport aux colonnes standards comme la réduction des coûts, du temps de réalisation et la diminution du poids.

Généralement, les liners sont totalement cimentés ou ancrés en open hole (crépinés), comme il existe une autre technique qui consiste en l'utilisation d'un liner mixte c'est-à-dire une partie cimentée et une autre non cimentée utilisé pour les réservoirs sus-jacents renfermant des fluides de natures différentes tout en assurant l'étanchéité par des Packer de formation spéciaux.

# CHAPITRE

# I

## GEOLOGIE DE LA REGION DE RHOUD NOUSS



**I) PRESENTATION DU CHAMP DE Rhourd Nous :****I.1. Situation du champ de Rhourd Nous :**

La région de Rhourd Nous fait partie de la Willaya d'ILLIZI, elle se positionne entre :

□ 29°16' et 30° parallèles.

□ 06°24' et 07° méridien.

Le champ de Rhourd Nous est l'une des principales zones productives d'hydrocarbures du Sahara Algérien. Il est situé à 850 Km au Sud Est d'Alger et à 280 km environ au Sud-Est de Hassi Messaoud. Il s'étend sur une superficie de 10000 Km<sup>2</sup>. Il est relié à la route nationale N3 (OUARGLA-ILLIZI) par une bretelle de 30 km goudronnée.

**I.2 Historique du champ :****I.2.1. Prévisions lithostratigraphiques :****1.1 TERTIAIRE :**

**MIO-PLIOCENE : surface (0 à 55m) (Ep. 55m)**

**1.2 MESOZOÏQUE****CRETACE SUPERIEUR :**

- a- Sénonien Carbonate : (55 à 242m) (Ep. 178m)
- b- Sénonien Anhydritique : (242 à 493m) (Ep. 251m)
- c- Sénonien salifère: (493 à 697m) (Ep. 204m)
- d- Turonien : (697 à 773 m) (Ep. 76m)
- e- Cénomaniens : (773 à 933m) (Ep. 160m)

**CRETACE INFÉRIEUR**

- a : Albien (933 à 1406 m) (Ep. 473m )
- b : Aptien : (1406 à 1433m) (Ep. 27m)
- c : Barrémien : (1433 à 1823m) (Ep 390m)
- d: Néocomien (1823 à 1977m) (Ep. 154m)

**JURASSIQUE :**

- a : Malm : (1977 à 2217m) (Ep. 240m)
- b : Dogger argileux: (2217 à 2355m) (Ep. 138m)
- c : Dogger lagunaire: (2355 à 2477m) (Ep. 122m)

d : Lias anhydritique: (2477 à 2737m) (Ep. 260m)

f : Lias Horizon "B" : (2791 à 2818m) (Ep. : 27m)

g: Lias S1 + S2 : (2818 à 3057m) (Ep.: 239m)

h : Lias S3 : (3057 à 3283 m) (Ep. : 226m)

I : Lias argileux: (3283 à 3348m) (Ep. : 65m)

#### **TRIAS :**

a : Trias S4 : (3348 à 3390m) (Ep.: 42m)

b :Trias Argileux inférieur :( 3390 à 3425m) ( Ep.: 35m)

c : Trias T2 : (3425 à 3430m) (Ep. : 05m)

d :Trias roches éruptives:( 3430 à 3444m) (Ep. : 14m)

e :Trias Série inférieure: ( 3444 à 3489m) (Ep. : 45m)

**Discordance Hercynienne à 3489m.**

### **1.3 PALEOZOÏQUE**

**Dévonien Inférieure: (3489 à 3619m) (Ep. :130m)**

**Silurien: (3619 à 3691m) (Ep.: 72m)**

#### **ORDOVICIEN :**

a- Dalle de M'kratta: (3691 à 3721m) (Ep.: 30m)

b- Argiles microconglomératiques : ( 3721 à 3803m) (Ep.:82 m)

c- Grès d'Oued Saret: (3803 à 3860m) (ép. : 57m)

d- Argiles d'Azzel : (3860 à 3893m) (ép. : 33m)

**e- Grès d'Ouargla : (3893 à 3981m) (ép. : 88m)**

Grès gris clair, à gris noir, indurée, silteuse, micacée, avec présence d'argile grisnoire, indurée, silteuse, avec passées d'argile silteuse, feuilletée, et de roches éruptives gris verdâtre, à inclusions de minéraux vert et blanc à aspect vitreux. Traces de calcite et de pyrite, présence de glauconie par endroits.

**f- Quartzites de Hamra : (3981 à 4098m) (ép. : 117m)**

Grès quartzitique, gris blanc à blanc, moyen, parfois grossier, sub-arrondi, compact, dur, avec rares passées d'argile gris noir, indurée, silteuse et pyriteuse. On y note aussi la présence de tigillites, de joints stylolithiques tapissés d'argiles, d'abondant ciment siliceux de nourrissage.

1.2.2 Previsions geologique :

PREVISIONS GEOLOGIQUES						
AGE	PROF	ETAGE	STRATIGR	LITHOLOGIE	Epais	carotte test
TERTIAIRE	9	MIO-PLIOGENE		Grès fin à moy et silt ciment carb	55	
CRETACE	64	Sénonien Carbonaté		Calcaire dolomitique et argileux marnes a la base	187	
	251	Sénonien Anhydritique		Anhydrite et argiles + dolomies argileuses Intercallées d'anhydrite.	251	
	502	Sénonien salifère		Sel massif avec passées d'anhydrite et de calcaire+argile	204	
	706	Turonien		Calcaire crayeux	76	
	782	Cénomanién		Argile+ calcaire +anhydrite	160	
	942	Albien		Grès fin à grossier Intercalation d'argile et de sable fin et grossier	473	
	1413	Aptien		Dolomie et marnes sableuses à grossier avec passées d'argile et dolomies massives	27	
	1442	Barrennién		Argiles et passées de calcaire grès et dolomies	350	
	1832	Néocomien		Argiles et passées de calcaire grès et dolomies	154	
JURASSIQUE	1986	Malm		Argile plastique + dolomie +anhydrite+ grès +calcaire	240	
	2226	Dogger Argileux		Argile indurée gréseuse passées de dolomie	138	
	2364	Dogger Lagunaire		Anhydrite, dolomie et passées d'argiles	122	
	2486	LIAS	ANHYDRITES MASSIVES	Anhydrite massive blanche Intercalation de dolomie et d'argile	260	
	2746		SEL MASSIF	sel massif + argile	54	
	2800		Horizon B	arg+calcaire+dol+anhyd	27	
	2827		Saltère S1+S2	Sel incolore à blanc rose, anhydrite et argile	239	
	3066		Salifère S3	Sel massif blanc et passées d'argiles	226	
	3292		Argileux supérieur	Argile plastique, salifère intercalée de sel	65	
3357	Salifère S4		Argile plastique ou indurée intercalée de sel	42		
TRIAS	3399	Trias	Argileux inférieur	Argile salifère	35	
	3434		T2	Argile avec passées de grès	5	
	3439		Roches Eruptives	Andesite + argile	14	
	3453		Sène Inférieure	Grès + Argiles	45	
	Dev.		3498	Devonien Int.	Argilo-gréseux	130
SIL	3628	Silurien	Argile noire fossilif	72		
ORDOVICIEN	3700	Dalle de MKraïta	Grès quartzitique	30		
	3730	Argiles Micro.	Argile grise noire silteuse	82		
	3812	GRES D'OUED SARET	Grès blanc à gris-blanc	57		
	3869	ARGILES D'AZZEL	Argile gris foncée à noire silteuse micacée	33		
	3902	GRES DE OUARGLA	Grès gris clair à gris-noir	88		
	3990	QUARTZITES DE HAMRA	Grès quartzitique	117		
	4107	GRES D'EL ATCHANE	Grès gris foncé très fin	36		
	4143	ARGILES D'EL GASSI	Argile grise noire à noire	>15		

Fig.01 Previsions geologique du champ de ROURD NOUSS

## II) Description du puits RNZ-127:

### II.1 Localisation :

RNZ127 c'est un puits dévié de développement ; il a été foré avec une inclinaison de  $70.9^\circ$  jusqu'à  $78^\circ$  dans le but de la production de gaz à partir de deux réservoirs Grès d'Ouargla et Quartzites De Hamra.

Le puits RNZ127 est situé à l'OUEST de puits RNZ120 à environ 314m ; à l'Est de puits RN117 à environ 447m et de Nord de RNZ114 à 832m.

Ce puits permet d'optimiser le projet de développement de Gassi Touil.

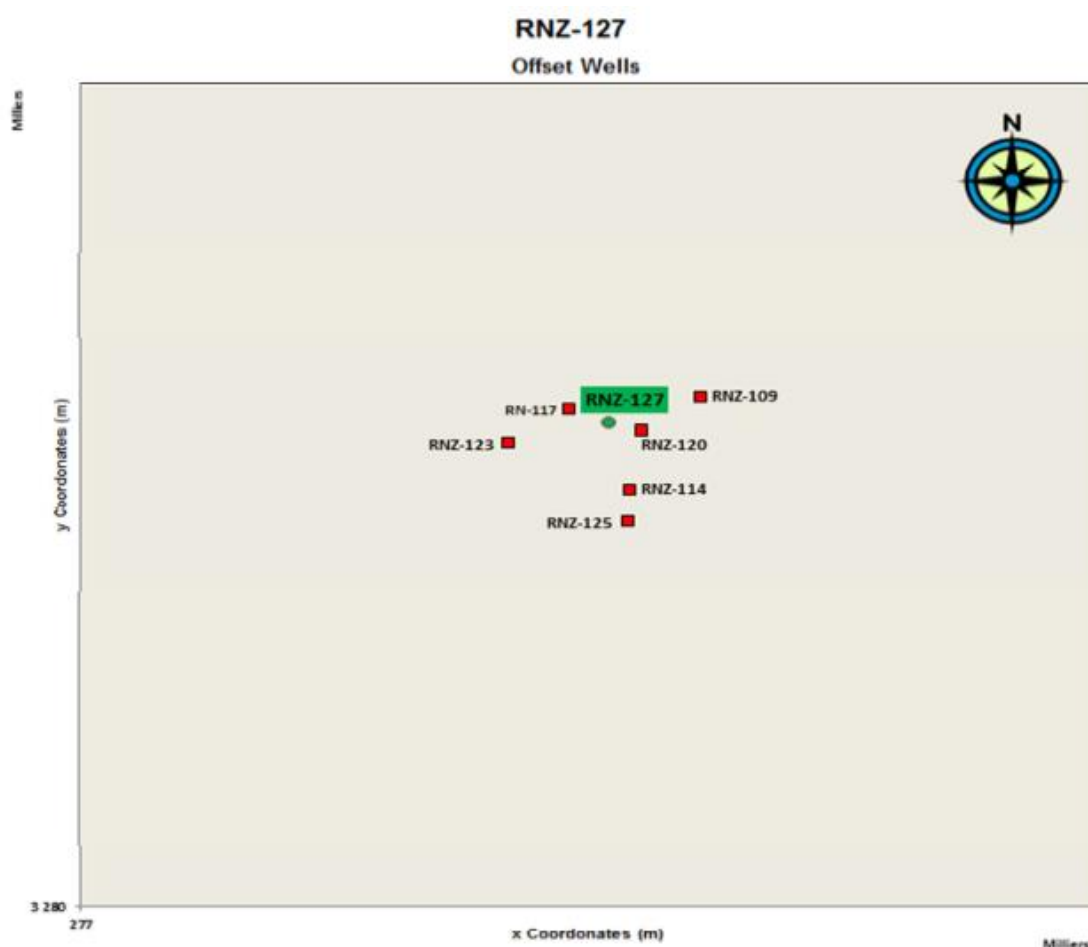


Fig.02 Localisation et offset Wells de puits RNZ127

### II.2 Itinéraire d'accès

L'accès à ce sondage se fera à partir de Hassi Messaoud selon l'itinéraire suivant :

De Hassi Messaoud en passant par Gassi Touil, soit 257 Km jusqu'a

l'embranchement de In Amenas- Rhourd Nous, tourner à gauche et prendre la route menant à la base de vie Rhourd Nous sur une distance de 33 Km, puis tourner à droite et suivre la rue vers rhourd Adraa avec une distance de 6.4 km puis tourner à gauche vers le puits RN109 sur 1.3Km; suivre le tracé jalonné sur 130 m se trouve le forage RNZ127. (Fig.II.2)

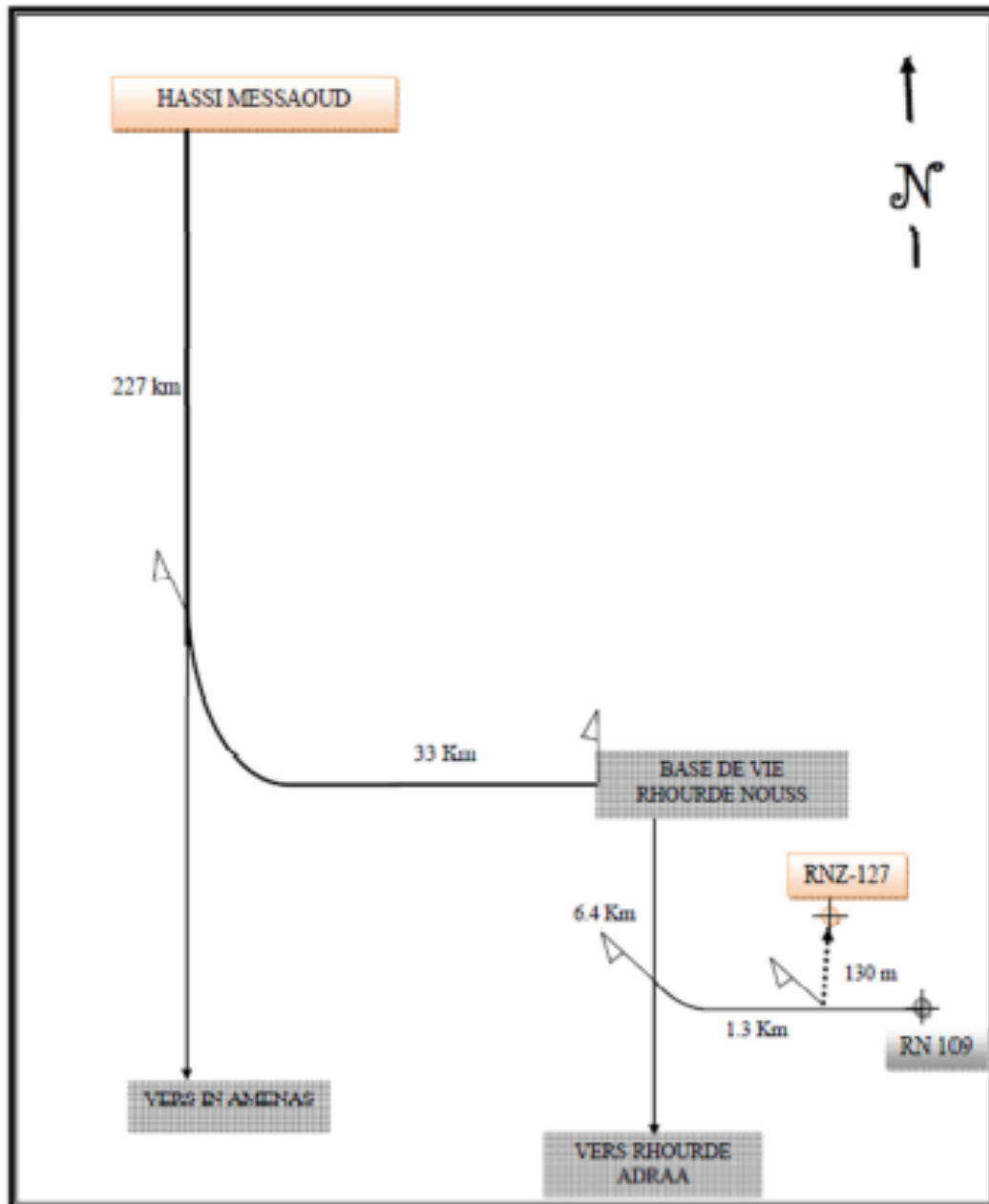


Fig.03 Schéma synoptique du forage RNZ127

**II.3 Données du puits RNZ-127**

Le tableau ci-dessous nous décrit les données du puits :

<b>Bassin</b>	<b>RHOUD NOUSS</b>
<b>Wilaya</b>	<b>Illizi</b>
<b>Type de puits</b>	<b>Développement/ les Quartzites de Hamra</b>
<b>Profile</b>	<b>Horizontal</b>
<b>UNITS SYSTEM</b>	<b>Depth (m), Flow rate (LPM) Density (SG Specific gravity), Pressure (psi) - Diamètre (in)</b>
<b>UTM Coordinats</b>	<b>X: 282 199,002m Y: 3 285 890,967m</b>
<b>Objectifs pétroliers</b>	<b>Grès de Ouargla : TVD=3154m, MD3280m Quartzite de Hamra : TVD=3199m, MD3466m</b>
<b>Profondeur finale prévue</b>	<b>+/- 4000m MD</b>
<b>Formation d'arrêt de forage</b>	<b>Quartzite de Hamra</b>
<b>Durée de forage estimée</b>	<b>Environ 04 mois</b>
<b>OPERATOR</b>	<b>SONATRACH</b>
<b>Appareil de forage</b>	<b>WDI815</b>
<b>Hauteur planché</b>	<b>9,25 m</b>

**Tab.1 données du puits RNZ-127**

II.4 Résumé de puits RNZ-127 :

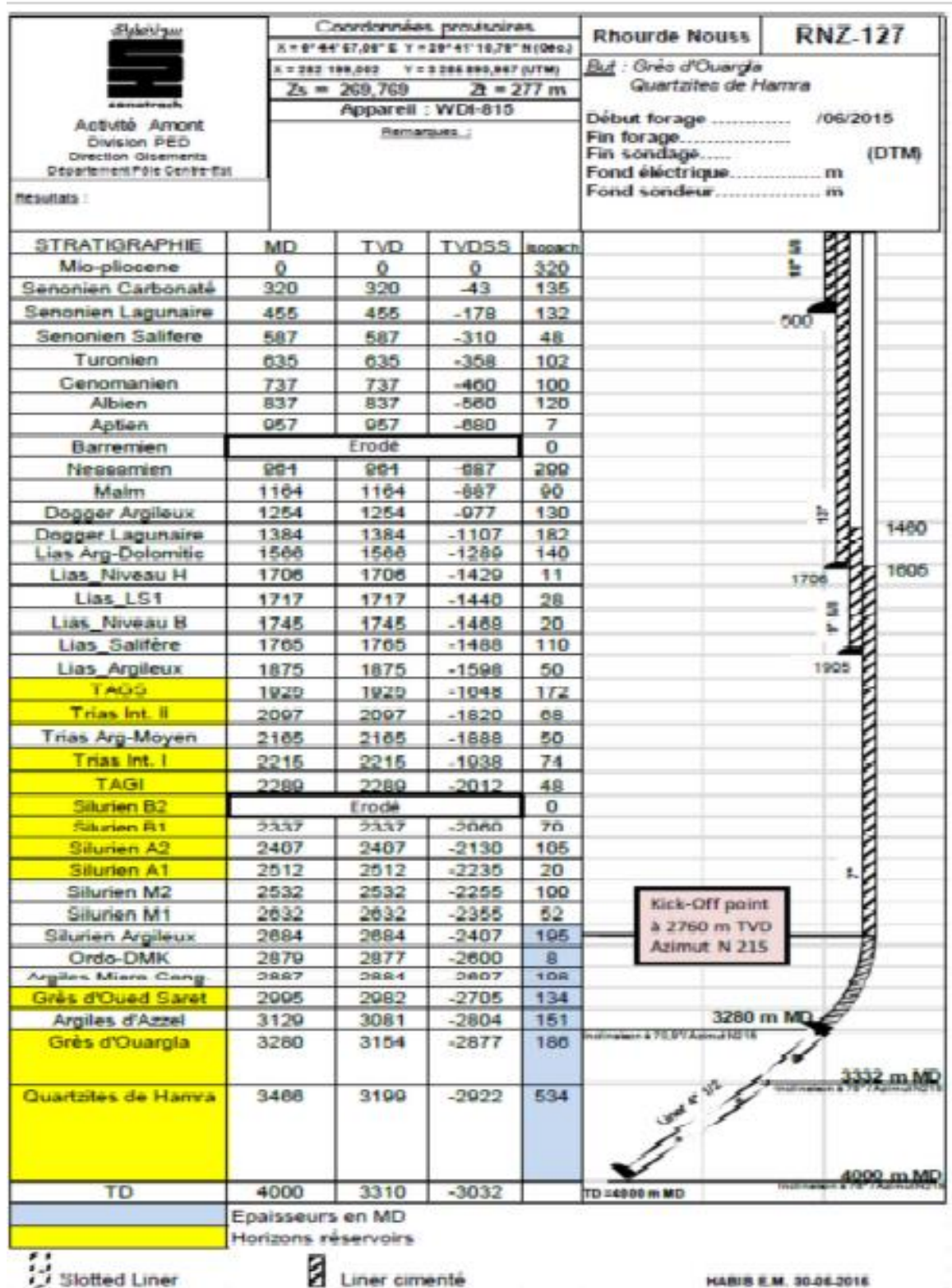
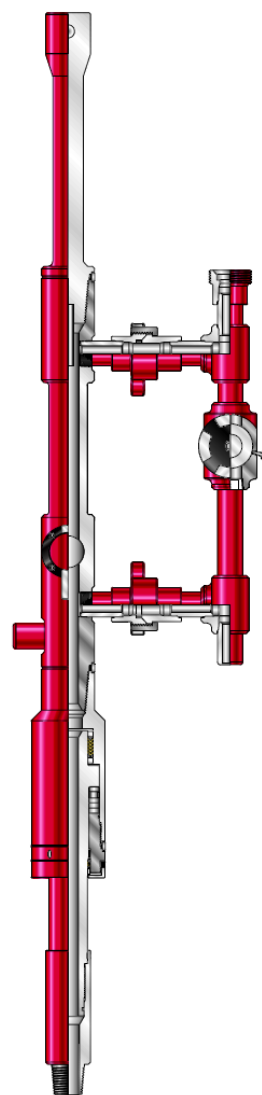


Fig.04 Programme prévisionnel du puits RNZ127

# CHAPITRE

# II

Partie  
technique et  
technologique



## I. PROGRAMME ET REGIME DE FORAGE

Le programme du forage RNZ-127 et un programme lourd réalisé en cinq phases :

### 1. Phase 26" :

Après la pose du tube guide à 2m.

- Le début de Forage est vertical jusqu'à pénétration du Sénonien anhydrique de 40m (la côte est 509m) ;
- Tubage avec le 18 5/8 ", cimenté jusqu'à la surface.

Avec les paramètres de forage suivants :

Intervalle (m)	Les paramètres		
	WOB (t)	RPM (tr/min)	Q (l/min)
2-509	15-20	80-110	3800-4100

**Tableau 2** les paramètres de forage de la phase 26"

### 2. Phase 16" :

- Forage est vertical jusqu'à pénétration du Dogger lagunaire à la côte 1674m ;
- Tubage avec le 13 3/8 ", cimenté par un seul étage avec un ciment allégé (light crite).

Avec les paramètres de forage suivants :

Intervalle (m)	Les paramètres		
	WOB (t)	RPM (tr/min)	Q (l/min)
509-1674	5-15	80-150	2800-3000

**Tableau 3** les paramètres de forage de la phase 16"

### 3. Phase 12"<sup>1/4</sup> :

- Forage vertical jusqu'à la côte du 1879m ;
- Tubage avec le 9 5/8 ", cimenté jusqu'à la surface.

Avec les paramètres de forage suivants :

Intervalle (m)	Les paramètres		
	WOB (t)	RPM (tr/min)	Q (l/min)
1674-1879	5-12	140-200	2800

**Tableau 4** les paramètres de forage de la phase 12"<sup>1/4</sup>

**4. Phase 8''<sup>1/2</sup>:**

- Forage vertical en traversant la côte du KOP 2760m par un PDM jusqu'à la cote 3300m.
- Tubage avec un liner 7'' ; le liner de forage est remonté et cimenté jusqu'à la surface.

Avec les paramètres de forage suivants :

Intervalle (m)	Les paramètres		
1879-3300	WOB (t)	RPM (tr/min)	Q (l/min)
	3-12	140-190	1800

**Tableau 5** les paramètres de forage de la phase 8''<sup>1/2</sup>

**5. Phase 6'' :**

- Forage en Build Up jusqu'à atteindre l'inclinaison finale 78° ;
- Forage droit avec une inclinaison constant jusqu'à la côte finale 3975m c'est la phase du drain horizontal ;
- Complétion en Open Hole (Trou ouvert).

Avec les paramètres de forage suivants :

Intervalle (m)	Les paramètres		
3300-3975	WOB (t)	RPM (tr/min)	Q (l/min)
	2-9	90-150	750-950

**Tableau 6** les paramètres de forage de la phase 6''

---

## II. PROGRAMME D'OUTIL

### 1) Introduction :

Avant d'entamer un puits, un programme d'outils doit être réalisé. Ce programme ne devra être modifié, lors de l'approfondissement du puits, que si les conditions rencontrées ne correspondent pas aux prévisions.

La raison d'un tel programme est fondamentale. L'efficacité de l'ensemble des opérations de forage repose sur ce facteur de base : le type de l'outil utilisé. Quelle que soit la puissance disponible d'un appareil de forage (pour la rotation, l'énergie hydraulique...) seul le type de l'outil choisi fera que cette puissance sera utilisée avec le maximum d'efficacité ou non.

Il existe un vaste choix d'outils de forage, cependant ces outils dans leur grande majorité ont été conçus pour forer des puits verticaux. Où il existe des différences majeures entre le travail demandé à un outil dans un puits vertical et celui dans un puits horizontal.

Les facteurs à prendre en considération lors de la sélection des outils pour un forage horizontal sont :

- la vitesse de rotation de l'outil ;
- Le poids sur l'outil ;
- Les charges d'impacts sur l'outil ;
- Nettoyage de front de taille ;
- La pilotabilité des outils.

#### a. La vitesse de rotation de l'outil :

Selon le type de moteur de fond et le diamètre de forage la vitesse de l'outil pourra varier de 100 à 500 Rpm, avec PDM (positif déplacement moteur), et de 300 à 1500 Rpm avec une turbine de déviation.

#### b. Le poids sur l'outil :

Contrairement aux puits verticaux où l'application du poids sur l'outil n'est pas un problème, dans le puits horizontaux, spécialement ceux à grands déports, le poids réellement appliqué sur l'outil est très faible. Pour cela il faut sélectionner des outils capables de bien forer avec de poids modestes.

- **Pour l'outil tricône** : les tricônes capables de forer avec des RPM faibles.
- **Pour l'outil PDC** : les outils PDC requièrent généralement moins de poids que les tricônes, la vitesse de rotation très élevée, générée par les moteurs de fond (PDM turbine) compense en quelque sorte la diminution de poids disponible.

#### c. Les charges d'impacts sur l'outil :

Les charges d'impact peuvent être causées par des vides, cassure fracture et chargement de formation, chacune de ces causes individuellement ou en combinaison, peut rendre difficile le maintien d'un effort uniformément reparti sur l'outil.

#### d. Nettoyage de front de taille :

C'est un phénomène spécifique aux puits horizontaux, c'est l'accumulation de cuttings sur la paroi basse de puits, cette situation aggrave l'usure de diamètre de l'outil et la dégradation de son étanchéité (tricônes).

L'accumulation des cuttings autour de l'outil peut être minimisée en augmentant la turbulence, et en choisissent une géométrie d'outil, ou un arrangement des duses qui favorise le nettoyage.

#### e. La pilotabilité des outils :

La pilotabilité est définie comme étant la facilité avec laquelle la course en direction d'un puits peut-être changée.

### 2) Evaluation de l'usure des outils :

Dès la constatation de la diminution de la vitesse d'avancement ou l'augmentation régulière de la vitesse du couple à la rotation (mais l'à-coup du couple n'est pas toujours l'indication de l'usure de l'outil), on est obligé de remonter l'outil.

#### a. Usure des tricônes :

L'état d'usure d'un tricône est défini par trois paramètres

- Usure de la denture ;
- Usure des roulements ;
- Perte de diamètre de l'outil.

#### b. Usure de denture :

L'usure de la denture est exprimée en 1/8 de la hauteur initiale. L'usure devra être la moyenne des valeurs mesurées sur une dizaine de dents.

#### c. Usure des roulements :

L'usure des roulements est examinée de 1/8 de leur durée de vie. Les roulements sont examinés de manière à définir que les roulements auront pu tenir au fond du trou avant l'usure complète et connaissant le temps que l'outil a réellement tourné au fond, on calcule le rapport de ces deux temps.

$T_e/T_f$  = temps de vie supplémentaire estimé / temps de forage réel.

Suivant les valeurs de ce rapport, l'usure des roulements est donnée dans le tableau suivant :

$T_e/T_f$	6.50	3.00	1.66	1.00	0.60	0.33	0.15	0.00
usure	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8

**Tableau 7** les usures des roulements.

#### d. Usure sur le diamètre :

L'usure sur le diamètre est exprimée en pouce perdu par rapport au diamètre nominal.

#### Usure des PDC :

**WT** : dent usée causée par l'abrasivité du terrain ; **ER** : c'est une perte de surface de PDC due à la collusion du fluide chargé par les solides ; **CT** : (chipped cutters) dents écaillées c'est

une petite perte au niveau de la surface des cutters PDC causée par les vibrations de l'outil, chute de l'outil ;

**BT :** (broken teeth) dents cassées causées par les vibrations de l'outil, forage à travers une fracture de formation.

### 3) Programme d'outil pour le puits RNZ-127 :

Outil	N° de phase (in)	Type	Série	Duses	Métrage (m)	Début (m)	Heures (h)
1	26"	GTXCG1	6039707	3*18+1*16	0 à 509	509	82
2	16"	DSX 92HF	209709	9*12	509 à 1674	1165	110,91
3	12¼"	DSX134HGNW	112451	6*18	1674 à 1879	205	61,64
4	8"1/2	SVH	MX5840	Open	1879 à 2652	773	113
5	8"1/2	SE3841i	10751384	4*15	2652 à 3300	648	45,31
6	6"	HHD372G8	7109030	1,05	3300 à 3380	80	57,28
7	6"	HDD372G8	7109021	1,05	3380 à 3450	70	37,09
8	6"	KGR50BEPX	SCA829	1,2	3450 à 3680	230	9,95
9	6"	XR40YDD2PD	PD0031	3*11	3680 à 3795	115	22,49
10	6"	XR40YDD2PD	PD6864	3*11	3795 à 3975	180	19,76

Tableau 8 Programme d'outil pour le puits RNZ-127



Fig.5 Différent outils utilisés lors de forage de puits RNZ-127.

### III. PROGRAMME DE BOUE

#### 1) Introduction :

La boue de forage qui, à l'origine était considérée uniquement comme un véhicule de transport des déblais de forage jusqu'en surface, actuellement, elle est reconnue comme un facteur majeur pour le succès d'une opération de forage.

La vitesse d'avancement, le rendement, la sécurité et le prix de revient de forage dépend de la qualité de la boue de forage utilisée.

#### 2) Programme de la boue de forage pour le puits RNZ-127 :

##### Phase 26''(0-509m):

On utilise une boue bentonitique simple de densité 1,05 et qui a les caractéristiques suivantes :

- Sa fabrication simple et coût faible ;
- Sa viscosité élevée d'où bon nettoyage de trou ;
- Une grande viscosité pour meilleur maintien du sale miopliocène ;
- Elle évite les pertes en utilisant les densités les plus faibles ;
- Elle s'infiltre entre les grains de sable pour fournir un cake interne et consolide les parois de puits.

##### Additifs :

Les additifs	La quantité (kg/m <sup>3</sup> )
Bentonite	90-100
Soude caustique	1
Carbonates de soude	0,5
Polysal	28,5

**Tableau 9** Additifs de la phase 26''

##### Propriétés :

Propriétés	D	Vm (Sec)	Yp (lb/100Ft <sup>2</sup> )	Gel (0-10) (lb/100Ft <sup>2</sup> )	PH	Filtrat (cc's)
Valeur Min Et Max	1,03 1,10	80 85	40 45	10 /25 25 /50	9 11	15 20

**Tableau 10** Propriété de la boue de la phase 26''

##### Phase 16''(509-1674m):

A partir de cette phase 16'', un nouveau type de boue est utilisé qui est la boue à émulsion inverse, saumure salée saturée NaCl ou CaCl<sub>2</sub>. Qui a les caractéristiques suivantes :

- Réduction des frottements sur les parois du puits.
- Diminution des risques de collage par pression différentielle.

- Contrôle facile des caractéristiques en l'absence des venues d'eau ou de bruit.
- Augmentation de la durée du vie des outils à molettes faible filtration d'huile.
- Insensibilité aux contaminants habituels des boues à base d'eau.

**Additifs :**

Les additifs	La quantité
Diesel	0,591(m <sup>3</sup> )
Eau	0,259 (m <sup>3</sup> )
Versacoat	13 (kg/m <sup>3</sup> )
Versawet	7 (kg/m <sup>3</sup> )
Lime	30 (kg/m <sup>3</sup> )
NaCl	95.07 (kg/m <sup>3</sup> )
Barite (Ba So <sub>4</sub> )	280.19 (kg/m <sup>3</sup> )

**Tableau 11** Additifs de la phase 16"**Avec :**

Versacoat : est un émulsifiant primaire.

Versawet : est un émulsifiant secondaire.

**Propriétés :**

propriétés	D	Vm (Sec)	Stabilité Electrique (volts)	Yp (lb/100Ft <sup>2</sup> )	Gel (0-10) (lb/100Ft <sup>2</sup> )	LGS (%)	O/W (%)	%NaCl dans l'eau
Valeur			Sup					
Min	1,25	50	à	18	6 /12	Inf à	70/30	26
Et			600			5	à	
Max	1,30	55		24	12/25		85/15	

**Tableau 12** Propriété de la boue de la phase 16"**Phase 12''<sup>1/4</sup>(1674m-1879m):**

La présence de l'eau chlorurée calcique dans le LD2 et d'argiles dans le TS2 impose l'utilisation d'une boue de densité 1,70 à 1,75 On utilisons une boue a émulsion inverse salée saturée NaCl.

**Additives :**

Les additives	La quantité
Desiel	0,514(m <sup>3</sup> )
Eau	0,094(m <sup>3</sup> )
Versacoat	10(kg/m <sup>3</sup> )
versawet	12(kg/m <sup>3</sup> )
Lime	30(kg/m <sup>3</sup> )
Barite	1396,18(kg/m <sup>3</sup> )
NaCl	34,56(kg/m <sup>3</sup> )

**Tableau 13** Additifs de la phase 12<sup>1/4</sup>**Propriétés :**

propriétés	D	Vm (s)	Stabilité Electrique (volts)	Yp (lb/100Ft <sup>2</sup> )	Gel (0-10) (lb/100Ft <sup>2</sup> )	%NaCl dans l'eau	O/W (%)
Valeur Min Et Max	1,70 1,75	50 55	Sup à 1000	10 14	8/12 12/20	26	80/15 90/10

**Tableau 14** Propriété de la boue de la phase 12<sup>1/4</sup>**Phase 8<sup>1/2</sup>(1879-3300m):**

Pour le forage de cette phase on a utilisé la boue à émulsion inverse saumure saturée NaCl

**Additifs :**

Les additifs	La quantité
Desiel	0,715(m <sup>3</sup> )
Eau	0,081(m <sup>3</sup> )
Versacoat	10(kg/m <sup>3</sup> )
versawet	8(kg/m <sup>3</sup> )
Lime	30(kg/m <sup>3</sup> )
Barite	619,86 (kg/m <sup>3</sup> )
NaCl	29,55(kg/m <sup>3</sup> )

**Tableau 15** Additifs de la phase 8<sup>1/2</sup>**Propriétés :**

propriétés	d	Vm (Sec)	Yp (lb/100Ft <sup>2</sup> )	Gel (0-10) (lb/100Ft <sup>2</sup> )	Stabilité Electrique (volts)	%NaCl dans l'eau	O/W (%)
Valeur Min Et	1,4	50	10	8/13	Sup à 1000	26	90/10

Max		51	12	12/20			
-----	--	----	----	-------	--	--	--

**Tableau 16** Propriété de la boue de la phase 8"<sup>1/2</sup>**Phase 6''(3300-3975m):**

Pour le forage de cette phase on a utilisé une boue à l'huile conventionnelle (versadril).

Cette phase étant la phase du réservoir la boue de forage doit assurer une bonne évacuation des cuttings hors puits, au même temps elle ne doit pas colmater le gisement.

**Additifs :**

Les additives	La quantité (kg/m <sup>3</sup> )
Desiel	0,9
Eau	0,05
Versacoat	17,12
versawet	4,12
Lime	22,8
CaCl <sub>2</sub>	17,12

**Tableau 17** Additifs de la phase 6''**Propriétés :**

Propriétés	D	Vm (Sec)	Yp (lb/100Ft <sup>2</sup> )	Gel (0-10) (lb/100Ft <sup>2</sup> )	F (cc's)	O/W (%)
Valeur Min Et Max	1,30	40  60	12  16	7  12	Sup. 10%	95/05

**Tableau 18** Propriété de la boue de la phase 6''

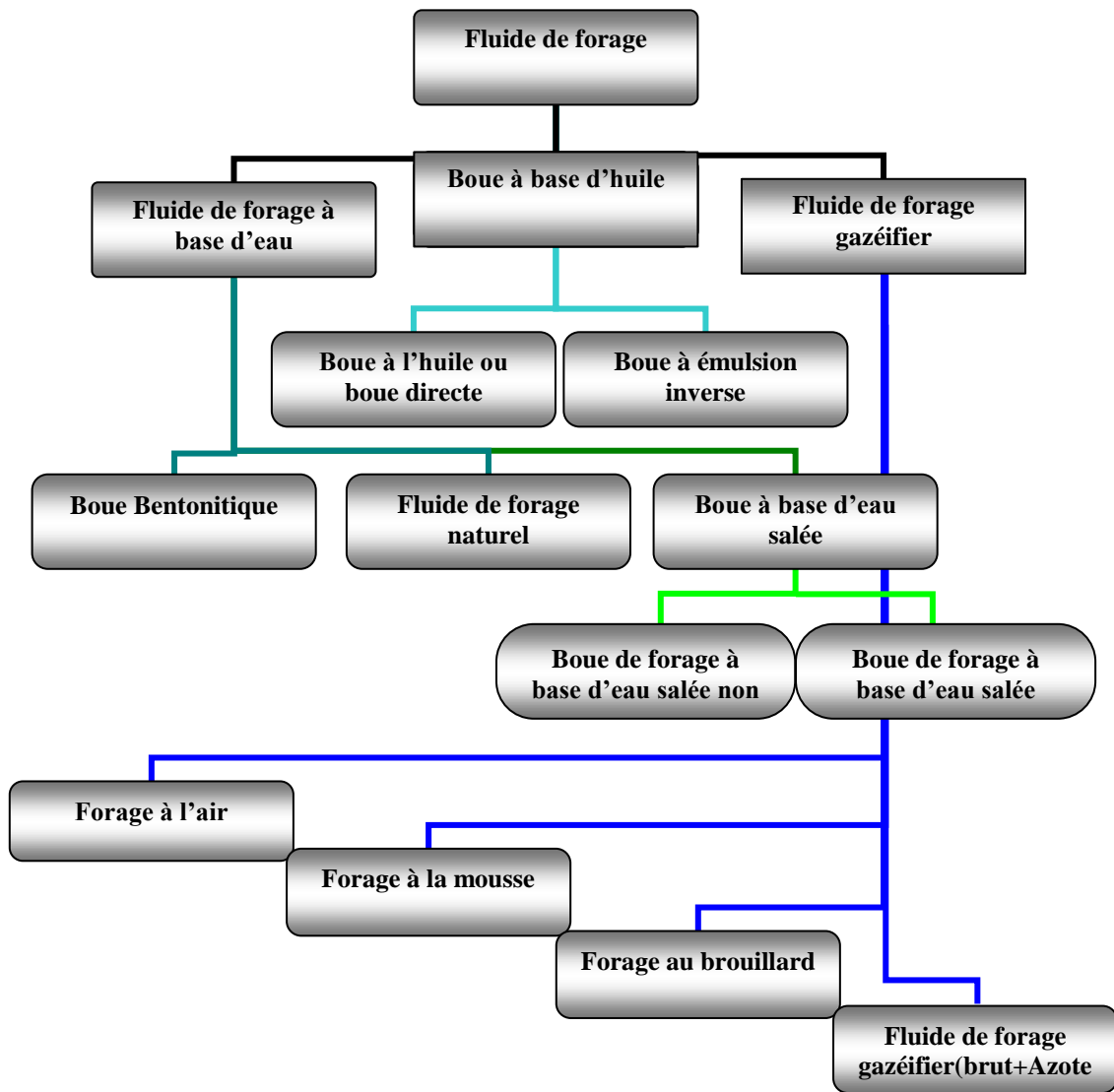


Fig.6 Les différents types de fluide de forage

## IV. PROGRAMME DE TUBAGE

### Introduction :

Le tubage et la cimentation sont deux opérations indispensables à la consolidation d'un puits et elles se succèdent systématiquement. Il n'existe pas en général une mise en place d'un tubage dans un forage sans que celui-ci soit cimenté, même partiellement.

### 1) Les différentes colonnes de tubage :

En général dans le domaine de forage pétrolier le nombre de phases peut être de 2, 3, 4, ou 5 dans tout les cas de programme on distingue :

#### a. Tube guide :

Ce tube n'est souvent qu'un tube roulé quelques mètres de longueur et descendu à une dizaine de mètres.

Son rôle est d'assurer la verticalité du trou dans les premiers mètres forés et de canaliser la circulation de la boue vers les bassins à boue. Son rôle devient négligeable à partir du moment où la première colonne technique est en place.

#### b. Colonne de surface :

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

- Isoler le sondage des nappes phréatiques d'eau douce contenues dans les couches supérieures ;
- Maintenir les terrains de surface non consolidés, servir généralement à l'ancrage des dispositifs de sécurité en tête de puits (BOP) et d'assise aux dispositifs de suspension des colonnes suivantes.

Son sabot doit être placé le plus bas possible (sans prendre de risque) dans la première couverture géologique escomptée, pour disposer en temps utile d'une fermeture en tête de puits.

#### c. Colonne technique suivante :

De profondeur variable selon les difficultés rencontrées elle permet :

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

Le sabot doit être placé :

- Dans les formations dites couvertures que l'on trouve en barrière entre des réservoirs perméables de gradients différents ou non ;
- A une profondeur minimale, en liaison avec la pression de couche attendue et avec les gradients de fracturations des terrains au sabot de la colonne ;
- A la base des formations de mauvaise tenue (argile fluente, sel...).

#### **d. Colonne de production :**

Indispensable dans le cas d'un sondage de production elle permet :

- D'isoler la couche productive ;
- La mise en oeuvre du matériel de production au fond du puits.

La cote du sabot ne pose pas de problèmes puisque la position et l'épaisseur du réservoir à exploiter sont bien déterminées.

#### **e. Colonne perdue (liner) :**

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

## **2) Méthode de calcul de tubage :**

Les critères de base pour l'étude d'un tubage sont :

- Considérations géologiques ;
- Considérations de pressions.

Chaque casings devra faire l'objet d'un calcul habituel afin de déterminer des résistances à l'effort de :

- Traction ;
- Ecrasement ;
- Eclatement.

Il existe deux méthodes de calcul :

#### **a. Méthode API :**

Elle est utilisée pour les calculs de colonne de production ; on retient les coefficients suivants :

- Pour les tractions  $C_s=1.125$ ;

- Pour les écrasements  $C_s=1.000$  ;
- Pour les éclatements  $C_s=1.750$ .

Les contraintes peuvent être des marges de sécurité dans le programme de forage, on choisit les différents grades pour établir les colonnes de forage. C'est évident que d'après les études la résistance à la traction la plus élevée est à la partie supérieure.

Les contraintes d'éclatement la plus élevée sont en surface tant dite que l'ensemble est plus élevé au fond.

### **b. Méthode la GULF :**

Cette méthode est utilisée essentiellement dans les sondages de développement. On peut avoir une précision sur le programme de forage, du tubage, de cimentation ainsi que la pression de formations et les logs de géologie.

Cette méthode ne convient qu'au calcul des colonnes techniques, elle admet que la cimentation diminue l'effort d'écrasement sur le tubage.

- **Partie cimentée**

$$C_{ecl} = 0.65 ;$$

$$C_{ecr} = 0.85.$$

- **Partie non cimentée**

$$\text{Ecrasement } C_{ecr} = 1.00 ;$$

$$\text{Eclatement } C_{ecl} = 1.00 ;$$

$$\text{Traction } C_{tr} = 1.75.$$

### **3) Préparation de colonne de tubage**

Cette préparation s'effectue généralement pendant les jours de forage qui précèdent l'opération de tubage.

La préparation de la colonne comporte entre autre la mise en place des accessoires suivants :

**a. Sabot :** le sabot de guidage, est la partie inférieure de la colonne de tubage il est destiné pour guider et faciliter la descente de tubage.

**b. Anneau de retenue :** il est placé à 10 à 20 m au-dessus de sabot de guidage il constitue une base pour les bouchons de cimentation.

On distingue deux types d'anneaux : anneau conventionnel (utilisé pour les cimentations à un seul étage.) et l'anneau différentiel (utilisé pour la cimentation à deux étages.) :

**c. Centreurs :** Les centreurs sont destinés à empêcher tout contact de tubage avec la paroi et avoir un espace annulaire uniforme.

**d. Gratteur (scratcher) :** les gratteurs servent à la destruction mécanique de cake et favorisent une meilleure adhérence de ciment sur la formation.

**e. Valve différentielle :** utilisée pour les cimentations à deux étages. Elle joue le rôle d'un by-pass entre l'intérieur du casing et l'annulaire afin de pouvoir circuler et chasser le laitier de ciment dans l'annulaire à la profondeur choisie.

#### 4) Application sur le puits RNZ-127 :

Calcule de la colonne de tubage 9<sup>5/8</sup> :

Données de départ

- H= 1879m ;
- $\Phi_t=9^{5/8}$  ;
- Phase :12<sup>1/4</sup> ;
- $d_b=2.02$ .

##### 1. Détermination de la pression hydrostatique :

$$P_h = H \cdot d_b / 10.2 = 1879 \cdot 2.02 / 10.2$$

$$P_h = 372,11 \text{ bars}$$

La pression d'écrasement est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{ecr}} = P_h \cdot C_s \text{ avec } C_s = 0.85$$

$$P_{\text{ecr}} = 37,11 \cdot 0.85 = 316,29 \text{ bars}$$

$$P_{\text{ecr}} = 316,29 \text{ bars}$$

D'après le formulaire de foreur (C17), les tubes qui vont résistés à cette sont :

$$p110, 53.50 \#, e = 13.84 \text{ mm}, q_2 = 78.72 \text{ kg/m}, P_{\text{ecr}} = 547 \text{ bars}$$

##### 2. Choix des tubes du deuxième tronçon :

Au fur et à mesure qu'on remonte, la pression d'écrasement diminue. Donc on peut choisir des tubes moins résistants que ceux du premier tronçon.

$$D'après le F.F, on prend le p110, 47.00 \#, e = 11.99 \text{ mm}, q_2 = 68.73 \text{ kg/m}, P_{\text{ecr}} = 366 \text{ bars}$$

##### 3. Côte de descente admissible du deuxième tronçon :

$$H_2 = 10.2 \cdot P_{\text{ecr}} / C_s \cdot d_b = 10.2 \cdot 366 / 0.85 \cdot 2.02$$

$$H_2 = 2174.25 \text{ m}$$

##### 4. Longueur non corrigée du premier tronçon :

$$L_1 = H - H_2 = 3307 - 2174.25$$

Soit H : côte du sabot (1m du fond)

$$L_1 = 1132.74\text{m}$$

Partie verticale :

$$L_{1v} = 3080 - 2174.25$$

$$L_{1v} = 905.75\text{m}$$

Partie en build :

$$L_{1b} = 1178.75 - 905.75 = 273\text{m}$$

$$L_{1b} = 273\text{m}$$

### 5. Poids non corrigé du premier tronçon :

$$Q_1 = L_{1v} * q_1 + L_{1b} * q_1 * \cos \alpha$$

$$Q_1 = 905.75 * 78.72 + 273 * 78.72 * \cos (20.13)$$

$$Q_1 = 91.46\text{T}$$

### 6. Pression d'écrasement corrigée du deuxième tronçon :

En tenant compte de poids de premier tronçon (F.F C<sub>37</sub> page 147)

$$P_{\text{ecr}} = 337.5 \text{ bars}$$

### 7. Côte de descente corrigée du deuxième tronçon

$$P_{\text{ecra}} = P' = \frac{H'_2 * d_b}{10.2} * C_s \implies H'_2 = \frac{P_{\text{ecr}} * 10.2}{d_b * C_s}$$

$$H'_2 = 2004.95\text{m}$$

### 8. Longueur corrigée du premier tronçon:

$$L'_1 = H - H'_2 = 3307 - 2004.95$$

$$L'_1 = 1302.05\text{m}$$

### 9. Poids corrigé du premier tronçon :

$$Q'_1 = L_{1v} * q_1 + L_{1b} * q_1 * \cos \alpha$$

$$Q'_1 = 1029.05 * 78.72 + 273 * 78.72 * 0.28$$

$$Q'_1 = 87.15 \text{ T}$$

### 10. Choix du troisième tronçon :

D'après le F.F on choisit le P<sub>110</sub> , 43.50#, e = 11.05mm, P<sub>ecr4</sub> = 305 bars q<sub>2</sub> = 63.6 kg/m.

### 11. Côte de descente non corrigée du troisième tronçon :

$$H_3 = \frac{P_{\text{ecr}} * 10.2}{d_b * C_s}$$

$$H_3 = 1811.88\text{m}$$

### 12. Longueur non corrigée du deuxième tronçon :

$$L_2 = H'_2 - H_3 = 2004.95 - 1811.88$$

$$L_2 = 193.07$$

**13. Poids non corrigé du deuxième tronçon :**

$$Q_2 = L_2 * q_2 = 193.07 * 63.6 = 12.27T$$

$$Q_2 = 12.27T$$

**14. Poids non corrigé du premier et deuxième tronçon :**

$$Q_{1.2} = Q_1 + Q_2 = 87.15 + 12.27 = 99.42T$$

$$Q_{1.2} = 99.42T$$

**15. Pression d'écrasement corrigé du troisième tronçon :**

D'après FF :

$$P_{\text{écr}} = 275 \text{ bars}$$

**16. Côte de descente corrigée du troisième tronçon :**

$$H'_3 = \frac{P_{\text{écr}} * 10.2}{0.85 * 2.02}$$

$$H'_3 = 1633.66m$$

**17. Longueur corrigée du deuxième tronçon :**

$$L_2' = H'_2 - H'_3$$

$$L_2' = 371.29m$$

**18. Poids corrigé du deuxième tronçon :**

$$Q_2' = L_2' * q_2 = 371.29 * 63.6 = 54.62T$$

$$Q_2' = 23.6 T$$

**19. Poids corrigé du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>eme</sup> tronçon :**

$$Q_{1.2\text{cor}} = Q_1' + Q_2' = 87.15 + 23.6$$

$$Q_{1.2\text{cor}} = 110.75T$$

**20. Longueur corrigée du troisième tronçon :**

$$L_3' = H_4 - L_2' - L_1' = 3307 - 371.29 - 1302.05$$

$$L_3' = 1633.66m$$

**21. Poids corrigé du troisième tronçon :**

$$Q_3' = L_3' * q_3 = 1633.66 * 63.6 = 70.21T$$

$$Q_3' = 103.90T$$

**22. Poids total corrigé du premier, deuxième et du troisième :**

$$Q_T = Q_1' + Q_2' + Q_3' = 87.15 + 23.6 + 103.90$$

$$Q_T = 214.65T$$

**23. Vérification de la traction :**

D'après le F.F la tension de traction égale à :

$$P_{tra} = 431 \cdot 10^3 \text{ da N}$$

La vérification se fait tout en comparant le rapport de la pression de traction sur le poids total avec le coefficient de traction, si le rapport est inférieur les tubes ne vérifient pas la condition, héla on fait retirer le dernier tronçon, et si le rapport est plus grand on continue à choisir un autre tronçon.

$$431 / 214.65 * 0.98 = 1.96 > 1.75$$

**Donc les tubes choisis résistent à la traction.**

**Tableau récapitulatif des résultats :**

Tronçon	Φ Casing (in)	Nuance	# (lb/ft)	epaisseur (mm)	P <sub>ecr</sub> (bars)	Longueur (m)
1	9 <sup>5/8</sup>	P110	53.50	13.84	556.84	1102.05
2	9 <sup>5/8</sup>	P110	47.00	11.99	337.50	271.29
3	9 <sup>5/8</sup>	P110	43.50	11.05	275.00	505,66

**Tableau 19 résultats de type de tubage de puits RNZ-127**

---

## V. PROGRAMME DE CIMENTATION

### Introduction :

L'opération de cimentation représente une part importante dans l'industrie de forage pétrolier. Sa réussite est un facteur déterminant pour la poursuite de la phase suivante.

La cimentation dans un puits pétrolier consiste en la mise en place d'un laitier de ciment approprié à une cote donnée de puits dans un espace annulaire entre la colonne descendue et les formations.

### 1) Type de cimentation :

Il existe différents types d'utilisation de ciment dans les sondages :

- Cimentation des cuvelages ou des casings ;
- La pose de bouchon de ciment ;
- Squeeze (injection de ciment sous pression) ;
- Cimentation ordinaire ;
- Cimentation a deux étages.

Dans tout les cas le but d'une cimentation dans un sondage est réalisé une étanchéité entre déférente formation et entre le terrain et le tubage.

#### a. Cimentation des cuvelages ou des casings:

- Isoler une couche de production des couches adjacentes ;
- Evité l'éboulement de trou ;
- Obturer les couches productrices épuisées ;
- Isoler une couche des zones adjacentes dans le but de limiter la proportion d'eau ou du gaz accompagnant la production d'huile.

#### b. La pose de bouchon de ciment :

- De fermer un puits que l'on abandonne ;
- De colmater les pertes de circulation ;
- Bloquer un niveau aquifère soit au cours de forage soit lors de la complétion ;
- Servir de point d'appuis à la déviation du forage (side track).

#### c. Squeeze :

- Injection de ciment complémentaire, à travers les orifices des perforations dans les tubages, pour consolider ou réparer la cimentation primaire de ces tubages ;
- D'obtenir une couche productrice épuisée ;
- D'isoler une couche des zones adjacentes dans le but de limiter la proportion d'eau ou gaz accompagnant la production d'huile.

#### d. Cimentation ordinaire: cimentation de casing 18<sup>5/8</sup>

- Elle a pour but l'ancrage de la colonne de sol (parois de puits) ;
- Prévoir le dévissage des tubes pendant le forage de la phase suivante ;
- Maintenir le terrain de la surface ;

- Sert d'ancrage aux dispositifs de sécurité et d'assise aux dispositifs de suspension des colonnes suivantes ;
- Isolement du sondage des eaux de surface.

Il s'agit d'une cimentation avec stinger ce dernier est un raccord qui se termine sur les deux extrémités par un filetage femelle. Ce vissant sur les tiges de forage et l'autre extrémité se termine par un certain nombre de joint qui s'ancre dans le sabot.

#### e. Cimentation à deux étages :(casing 13<sup>5/8</sup>)

C'est une cimentation à deux étages qui représente les avantages suivants :

- Réduction de risque de craquage de la formation ;
- Réduction de la pression finale de refoulement ;
- Moins de risque de contamination du laitier ;
- Admissibilité de cimenter deux zones distinctes, éloignées l'une de l'autre et grâce à DV (diverter valve) que nous pouvons faire cette cimentation double étage.

## 2) Calcul des Volumes dans la Cimentation:

### 2.1 Volume des laitiers de ciment

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

**V<sub>1</sub>** : Volume espace annulaire trou – tubage entre le sabot et la surface ;

**V<sub>2</sub>** : Volume de puit entre le fond de puit et le sabot ;

**V<sub>3</sub>** : Volume intérieur de tubage entre le sabot et l'anneau.

**NB** : le diamètre de trou est généralement plus grand que le diamètre de trépan à cause du cavage. Donc les volumes V<sub>1</sub> et V<sub>2</sub> doivent être majorés par un coefficient de sécurité qui devient de l'état de puit (K= 1.40).

### 2.2 Préparation du laitier de ciment :

#### a. Quantité de ciment :

Masse de ciment (T) = volume du laitier (l) / rendement du ciment (l/m)

#### b. Volume d'eau nécessaire :

$$V_{\text{eau}} = \text{volume du laitier} - [\text{masse de ciment} / \text{densité du ciment}] - \text{volume des additifs}$$

Si on a le rapport (eau/ciment), on peut avoir directement :

$$V_{\text{eau}} = \text{rapport (eau/ciment)} * \text{masse de ciment}$$

**c. Volume du fluide de refoulement (volume de chasse) :**

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

**d. Débit d'injection de laitier de ciment :**

Il dépend de l'unité de cimentation, pratiquement le débit d'injection est de l'ordre de 1000 l/m.

**e. Temps d'injection :**

$T_i$  : c'est le volume de laitier sur le débit d'injection.

**f. Temps de chasse :**

$T_c$  : C'est le volume de chasse sur le débit chasse.

**g. Durée de cimentation :**

$$d_c = T_i + T_c$$

**h. Pression de refoulement :**

La pression maximale prévisible en fin de refoulement est égale à la pression entre l'espace annulaire et l'intérieur de tubage (augmenter en charge)

$$P_r = (H - h) * (d_L - d_b) / 10$$

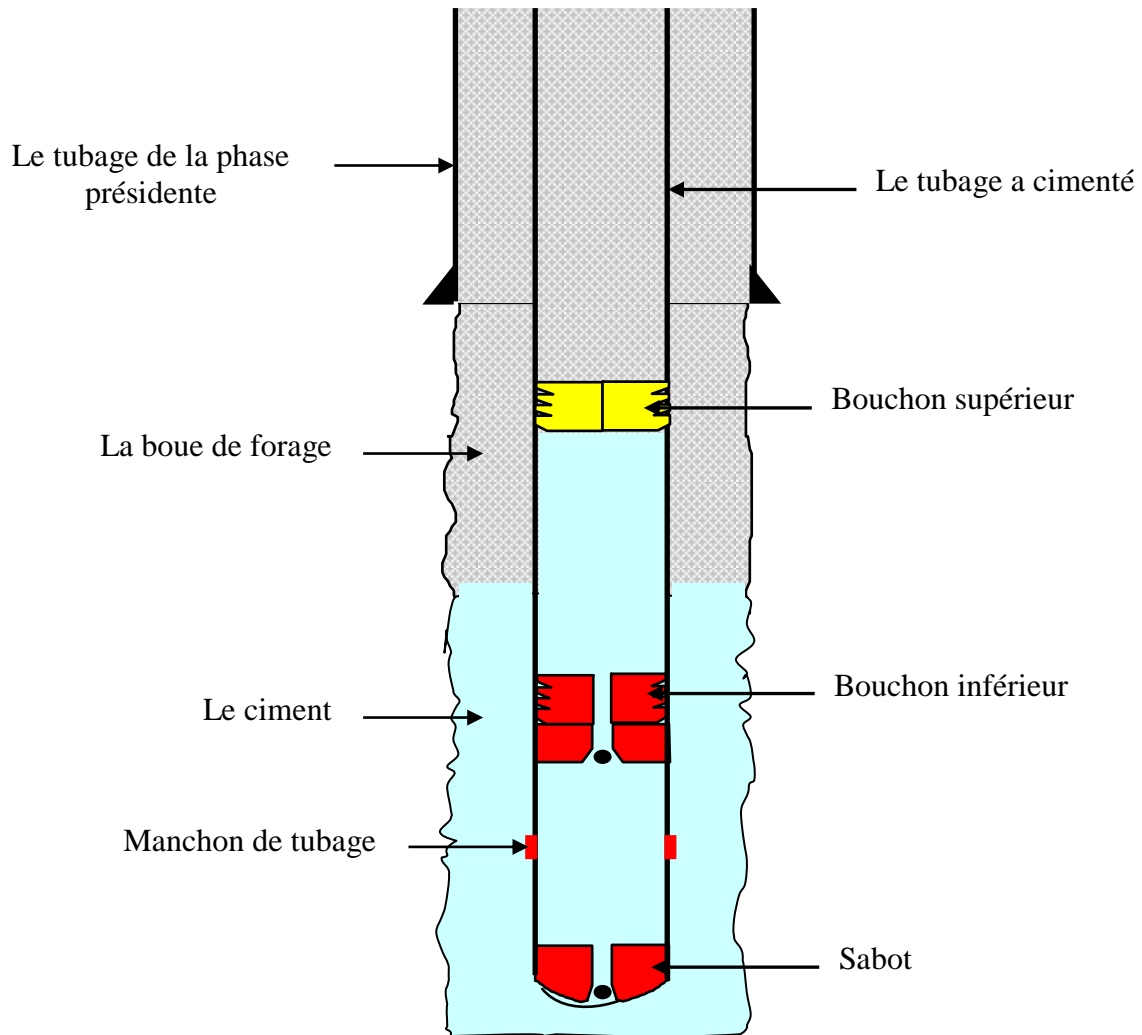
$P_r$  : pression de refoulement.

$H$  : profondeur au sabot.

$h$  : distance entre sabot et l'anneau.

$d_L$  : densité de laitier.

$d_b$  : densité de la boue.



**Fig.7 Cimentations de tubage**

### 3) Application au puits RNZ-127 :

#### La phase 12<sup>1/4</sup>

Donnée de la phase :

Tubage 9<sup>5/8</sup> ;

H=1881m;

H<sub>Sabot</sub>=1879m;

H<sub>anneau</sub>=1854m.

**FF** : Formulaire du foreur Edition 1989

#### a. Calcul de volume espace trou-casing V<sub>1</sub> :

D'après le FF on a :

Volume de l'espace annulaires trou casing (12<sup>1/4</sup>/9<sup>5/8</sup>) est 28.94 l/m

Donc  $V_1 = V_{ea} * H * K$

Avec  $k=1.25$

$$V_1 = 28.94 * 2773 * 1.25 + 533 * 30.98$$

$$V_1 = 119.6 \text{ m}^3$$

**b. Calcul de volume au fond de sabot  $V_2$  :**

D'après le FF on a :

Volume unitaire de trou est 76.04 l/m

Donc  $V_2 = V_u * 2 * K$

$$V_2 = 0.19 \text{ m}^3$$

**c. Calcul de volume comprimé entre l'anneau et le sabot  $V_3$  :**

D'après le FF on a :

Volume unitaire de casing est 47.11/m

Donc  $V_3 = V_u * 19$

$$V_3 = 0.89 \text{ m}^3$$

**d. Calcul de volume total  $V_t$  :**

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_t = 88.42 + 0.3425 * 1.4 + 1.6$$

$$V_t = 120.3 \text{ m}^3$$

**e. Calcul de la quantité de ciment  $Q_c$  :**

Elle dépend de la densité de laitier de ciment. On prend la densité de laitier de ciment :  $d=2.06$

D'après le FF on a : 2.06  $\longrightarrow$  62.4L (laitier)/100Kg

$$62.4 \longrightarrow 100 \text{ Kg}$$

$$120.3 \longrightarrow Q$$

Donc

$$Q = \frac{100 * 120.3 * 10^3}{62.4}$$

$$Q = 192.8 \text{ T}$$

**f. Calcul de volume d'eau de mixage  $V_{em}$  :**

Le volume d'eau de mixage dépend de la densité de laitier.  
D'après le FF on a : 2.06  $\longrightarrow$  30.40L (eau)/100kg

$$\begin{array}{l} 30.40L \longrightarrow 100kg \\ V_{em} \longrightarrow 192.8 \cdot 10^3 \end{array}$$

$$V_{em} = \frac{192.8 \cdot 10^3 \cdot 30.4}{100}$$

$$V_{em} = 58.61m^3$$

**g. calcul de volume de chasse  $V_{bch}$  :**

Généralement on utilise la boue de forage et les pompes de chantier pour refroidir le laitier de ciment.

C'est le volume de boue qui se trouve entre l'anneau et la surface

D'après FF volume unitaire intérieure et égale à 35.53l/m

$$V_{bch} = 35.53 \cdot 3296 = 118m^3$$

$$V_{bch} = 118m^3$$

**H. calcul de la pression finale de refoulement ( $P_{ref}$ ) :**

La pression maximale prévisible en fin de refoulement est égale à la différence de pression entre l'espace annulaire et l'intérieure de tubage

Soit :

H: profondeur de sabot ;

h : la distance entre le sabot et l'anneau ;

$d_1$  : densité de laitier ;

$D_b$  : densité de la boue;

$P_{ref}$  : la pression de refoulement de chasse ;

$$P_{ref} = \frac{H \cdot d_1}{10} - \frac{(H-h) \cdot d_b}{10} + h \cdot d_b = \frac{(H-h) \cdot (d_1 - D_b)}{10}$$

$$P_{ref} = \frac{(H-h).(d_1-D_b)}{10} = \frac{(3306-10).(2.08-2.02)}{10}$$

$$P_{ref} = 19.77 \text{Kgf/cm}^2$$

**i. Calcul de la durée de cimentation :**

1. fabrication et injection du laitier (unité de cimentation) ;
2. refoulement du laitier (pompe de chantier de forage).

**Calcul de temps d'injection  $T_{inj}$  :**

$$T_{inj} = \frac{V_{laitier}}{Q_i}$$

$Q_i$  : débit d'injection (1000 à 1500l/mn)

**AN**

$$T_{inj} = \frac{120.3 \cdot 10^3}{1200}$$

$$T_{inj} = 100.25 \text{mn}$$

**Calcul de temps de chasse :**

$$T_R = \frac{V_{boue\ chasse}}{Q_{chasse}}$$

$t_R$  : le temps de refoulement (chasse)

$$T_R = \frac{118 \cdot 10^3}{2000}$$

$$T_R = 59 \text{min}$$

**Calcul de la durée de cimentation :**

C'est la somme de temps d'injection et le temps de refoulement

$$D_c = t_i + t_R$$

$$D_c = 100.25 + 59 = 159.25 \text{ min}$$

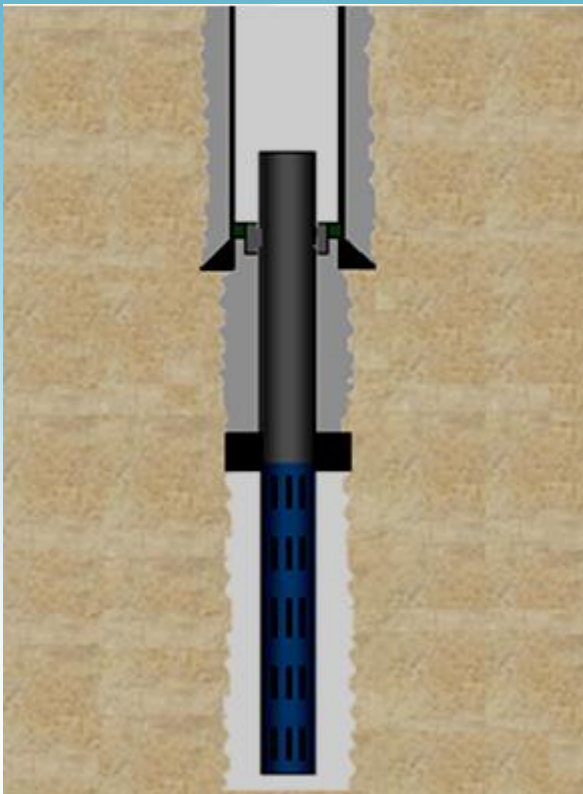
$$D_c = 159.25 \text{min}$$

Alors : la durée de cimentation  $D_c = 160 \text{min}$

# CHAPITRE

# III

## Le LINER



**1) Différents types de liner :**

Le liner peut être utilisé pour couvrir une partie du découvert comme une colonne normale pour permettre la poursuite du forage (liner de forage), ou couvrir le réservoir et le mettre en production (liner de production). Comme il peut être utilisé pour couvrir une partie détériorée d'un tubage (scab liner). Ce liner peut être cimenté ou isolé en haut et en bas par des packers.

On peut même utiliser un premier liner et, par la suite, lui raccorder un deuxième par l'intermédiaire d'un tie-back.

**1.1 Liner de forage :**

Appelé aussi liner intermédiaire, ce liner est une portion de tubage qui s'ancre dans le tubage précédent, déjà cimenté, il est utilisé pour isoler des zones à problèmes au-dessous de la colonne technique, comme :

- Les zones à pertes,
- Les zones à pression anormalement élevées,

Il peut être inscrit dans le programme prévisionnel comme une colonne intermédiaire.

**1.2 Liner de production :**

C'est une colonne de tubage utilisée dans la dernière phase (phase de production), elle est suspendue soit au liner de forage ou à la colonne technique. Il sera cimenté et perforé par la suite ou laissé en open hole (cas d'un liner crépiné).

**1.3 Stub Liners :**

Le stub liner est une colonne de tubage de même diamètre que le liner, raccordé à ce dernier par une garniture d'étanchéité d'une manière à obtenir une colonne continue, depuis le fond jusqu'à la surface pour les raisons suivantes :

- La colonne de tubage au-dessus du liner s'affaiblit ou endommagée (par corrosion, etc.)
- Mauvaise étanchéité au top du liner
- Nécessité de grande résistance due par exemple aux pressions anormalement élevées

**1.4 Scab Liners :**

Il est utilisé pour remédier a une partie détériorée d'un tubage, Ce liner peut être cimenté ou isolé en haut et en bas par des packers. Il est utilisé dans les mêmes conditions que le stub liner.

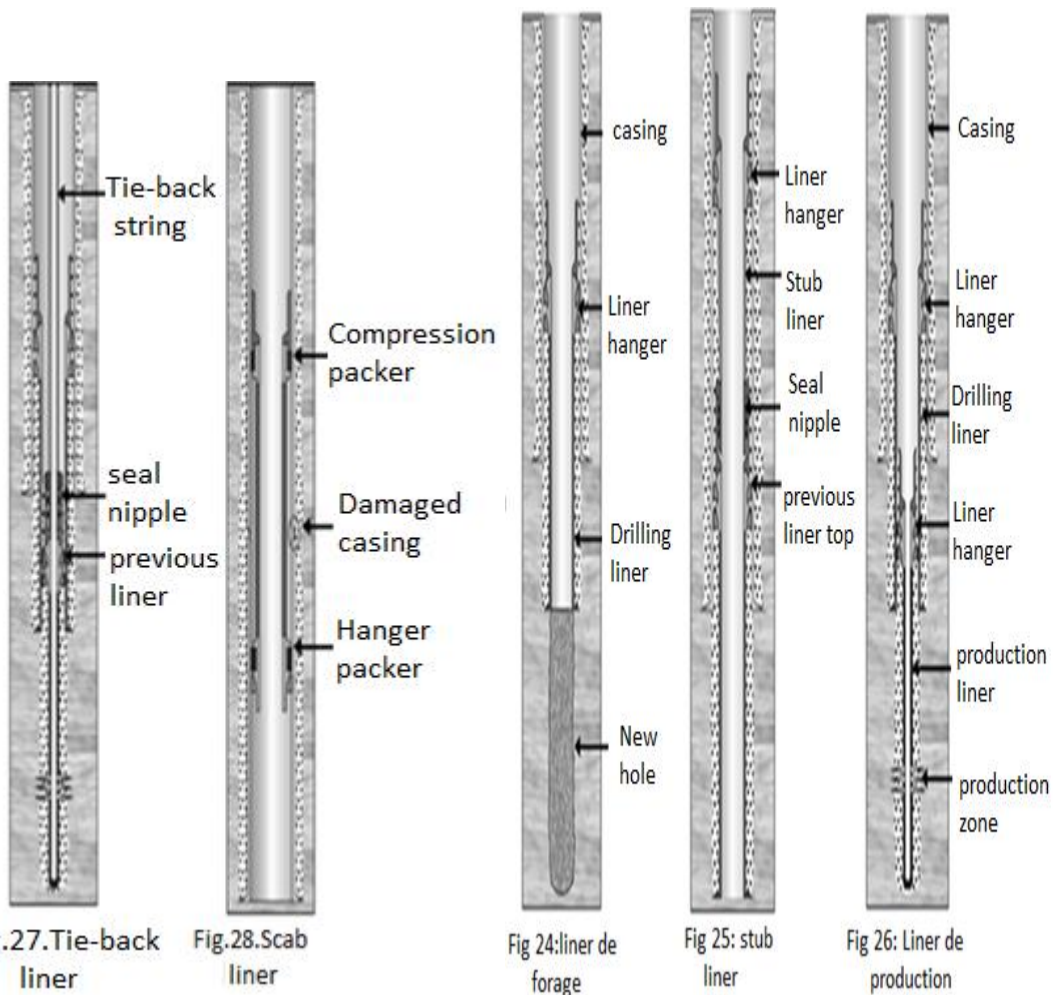
Le scab et le stub liner peuvent être posés sur le liner existant grâce à leur propre poids ou ancrés dans un tubage précédent.

**1.5 Tie-back liner :**

Un tie-back liner est une section de tubage qui s'étend depuis le top d'un liner déjà existant jusqu'à la surface. Il peut être cimenté ou non.

Ces différents types de liners sont représentés dans les figures (Fig. 24, 25, 26, 27 et 28) ci-dessous :

**Les figures ci-dessous représentent les différents types du liner :**



## 2) Les équipements constitutifs d'un liner conventionnel:

### 2.1 Dispositif de suspension (liner hanger) :

Ce dispositif placé en tête de la colonne perdue assure la suspension à l'intérieur du tubage précédent. Et qui est supposé supporter le poids de cette colonne. Il comporte des coins qui sont maintenus en position rétractée durant la descente, et l'ancrage du hanger consiste à les faire glisser sur une portée conique, qui les pousse vers l'extérieur et les applique contre les parois du tubage précédent. Cet ancrage peut être, selon les constructeurs, mécanique ou hydraulique.

### 2.2 Différents types du liner hanger :

Le choix du système d'ancrage se fait en fonction de la nature du liner et du puits : si on descend un liner qui pèse plus de 8 tonnes dans un puits vertical ou moyennement dévié, ne présentant pas assez de frottements, il est préférable d'utiliser un système mécanique. Dans tous les autres cas, le système hydraulique est préférable.

#### 2.2.1 Hanger mécanique : (Fig.29)

C'est un hanger qui s'ancre par rotation et translation. Il comporte une cage porte-coins dans laquelle est usinée une rainure en forme de J-slot et est munies de ressorts de friction qui s'appuient sur le tubage. Le corps comporte un ergot qui se déplace dans cette rainure.

#### A/ Principe de fonctionnement :

Pour ancrer ce hanger, il suffit de tirer vers le haut pour faire glisser le corps du hanger donc l'ergot vers le haut alors que la cage reste immobile grâce aux ressorts de friction qui s'appliquent contre le tubage. Une fois l'ergot dégagé, il faut tourner un quart de tour (plus ou moins 3 tours en surface, selon la règle du pouce : 1 tour par 1000 mètres) vers la droite (ou vers la gauche, selon le type) et poser rapidement entre cinq et dix tonnes : l'ergot suit le chemin du J-slot et le corps du hanger descend suffisamment pour permettre aux portées coniques du corps de glisser sous les coins d'ancrage de la chemise et les appliquer contre le tubage.

#### B/ Cas d'utilisation :

Il est utilisé dans les cas suivant :

- le liner pesant plus de 10 tonnes

- puits verticaux ou faiblement déviés (15 à 20°), dont les frottements et les couples ne sont pas importants.

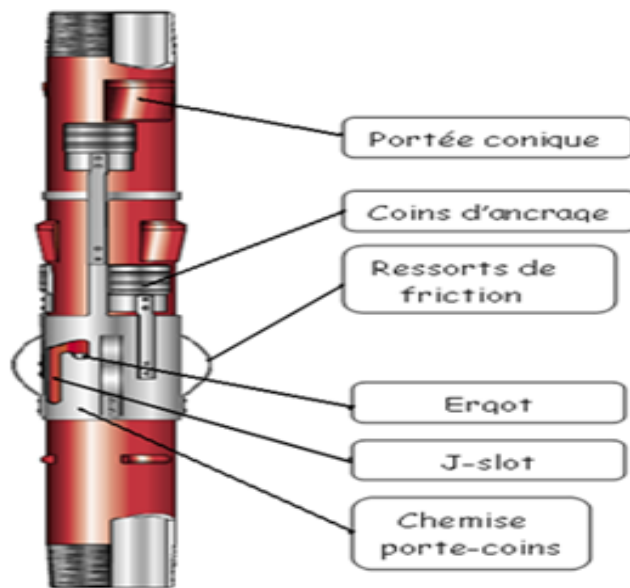


Fig.29 liner hanger mécanique

### 2.3 Le liner top packer et son principe de fonctionnement : (Fig.30)

Le liner top packer peut être ou non solidaire du setting sleeve. Il est utilisé dans le but de renforcer l'étanchéité derrière le liner, au-dessus du ciment, qui évite l'application de surpressions pendant la circulation inverse après la cimentation, ce qui peut causer des pertes de circulation, et empêche, par la suite, l'écoulement de l'effluent du réservoir vers le haut. Son utilisation reste optionnelle.

- **Principe de fonctionnement :**

Ce packer est constitué d'un métal de très faible dureté, voire du plomb, couvert d'une couche de caoutchouc. Pour le gonfler, il suffit de poser suffisamment de poids avec les tiges afin de le déformer d'une façon permanente. Pour éviter le risque d'ancrage prématuré, le packer est verrouillé soit par des goupilles de cisaillement, soit par un dispositif de verrouillage spécial (gonflent par rotation).

Le packer peut être une pièce indépendante placée au-dessus du hanger, ou jumelée avec ce dernier pour former le liner hanger-packer.

Cependant, le packer pose le problème de restauration si la cimentation est mauvaise. Pour cela, il est préférable, si le problème de pertes durant la circulation inverse ne se pose pas, de ne le gonfler qu'après s'être assuré de la qualité de la cimentation.

En plus, étant surdimensionné, il entraîne l'augmentation des pertes de charges qui risquent de provoquer des pertes de circulation pendant la descente, la circulation et la cimentation.

D'autres ne dotent pas le liner de packer et si, par la suite, on veut renforcer l'étanchéité, on réalise une restauration de la cimentation ou descendent un scab-liner doté de packers.

#### 2.4 Polish Bore Receptacle : (PBR) (Fig.31)

Elle vissée directement au setting sleeve, elle est d'une longueur qui peut aller jusqu'à 6 mètres qui reçoit le tie-back d'une colonne de tubage supplémentaire.

L'intérieur de cette extension est lisse et sa tête est biseautée pour permettre le passage des outils. Après la cimentation du liner, cette extension est nettoyée à l'aide d'une fraise spéciale ou un jet sub. L'ensemble PBR et tie-back forment un joint coulissant très étanche et très résistant, et permet un raccordement très facile au liner.

Le setting sleeve et l'extension PBR peuvent être fabriqués en une seule pièce.

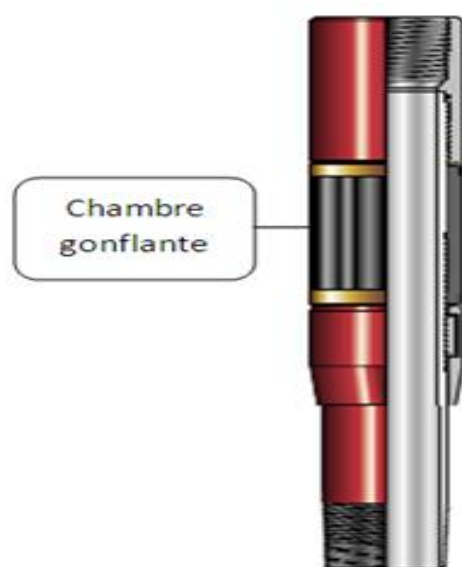


Fig.30 Liner Top Packer

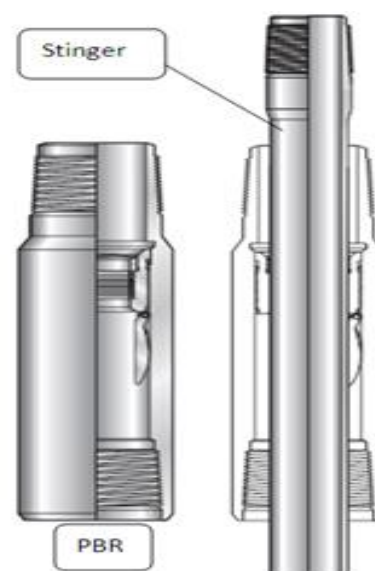


Fig. 31 PBR

#### 2.5 Le joint rotatif : (liner swivel) (Fig.32)

Ce dispositif est utilisé seulement dans le cas d'un hanger mécanique, il est vissé sous ce dernier. Il permet la rotation du train de tiges et de la suspension au moment de l'ancrage des coins du dispositif de suspension même si la partie inférieure de la colonne est coincée par la

formation. Il doit être situé dans l'espace annulaire tubage/colonne perdue et au-dessus du sabot du tubage précédent pour permettre une bonne cimentation.

## 2.6 Manchon de pose : (setting sleeve ou setting collar) (Fig.33)

Vissé au top du liner, il sert à la connexion de ce dernier aux tiges de forage par l'intermédiaire d'un outil de pose. Il est appelé à supporter tout le poids du liner avant son ancrage. Il sert également de point d'appui pour permettre le gonflement du packer, en posant du poids avec les tiges (dans le cas d'utilisation d'un packer).

On distingue deux types :

### A/ Setting sleeve mécanique :

La connexion entre ce manchon et l'outil de pose est assurée par un filetage carré de type ACME femelle généralement à gauche, de 4 à 6 filets par pouce, ou par un système comportant une rainure en J, de type 'J-slot'.

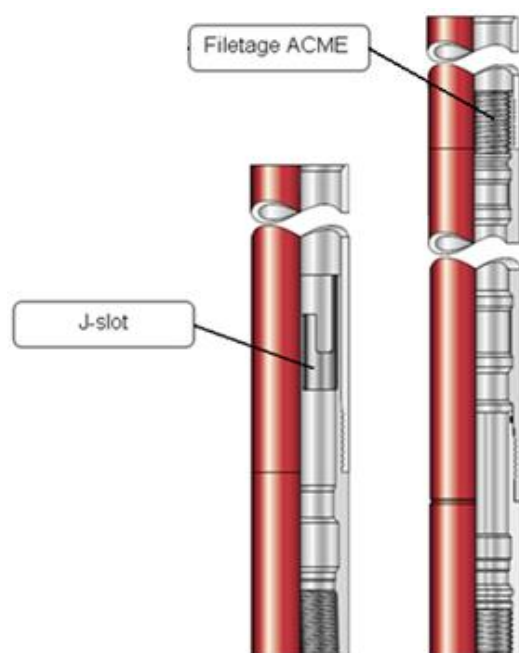


Fig.33 Manchons de poses mécaniques

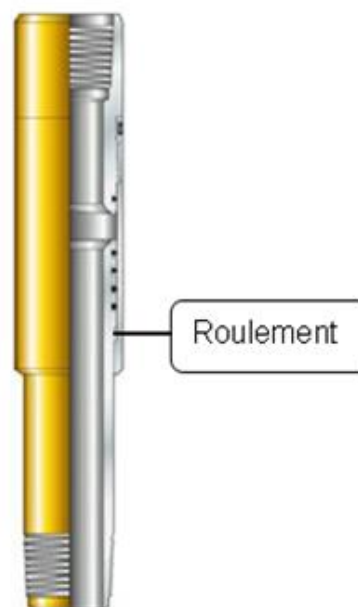


Fig.32 Liner Swivel

## **2.7 Outil de pose: (setting tool)**

Il assure la liaison entre le manchon de pose (setting sleeve) et le train de tiges de forage pour descendre la colonne perdue. Il assure aussi les fonctions suivantes :

- supporte le poids de la colonne lors de sa descente
- assure l'ancrage du dispositif de suspension et le gonflage du packer pour les modèles mécaniques

fait l'étanchéité entre l'intérieur de la colonne et l'extérieur des tiges de forage au moyen de coupelles d'étanchéité (swab cups) ou bien de garnitures (packings) en chevrons, ou encore d'une canule lisse engagée dans une vanne à soupape (slick stinger/flapper valve),

- fourni un point d'attache pour le bouchon racleur de cimentation (wiper plug) dans le cas d'un outil de pose avec coupelles d'étanchéité.

Le setting tool est dévissé avant la cimentation du liner, dégagé pour s'assurer de son dévissage, puis posé sans être vissé sur le setting sleeve d'environ 10 tonnes pour assurer l'étanchéité durant la cimentation. Il est remonté après la cimentation du liner.

### **2.7.1 Principe de fonctionnement :**

#### **A/ Setting tool mécanique: (Fig.34)**

Le setting tool mécanique possède un écrou flottant à filetage ACME mâle généralement à gauche, de 4 à 6 filets par pouce, nécessitant 8 à 15 tours à droite pour se dévisser. Cet écrou se visse sur le filetage de même type du manchon de pose (setting sleeve). Une butée à bille facilite son dévissage, en posant la garniture sur le setting sleeve, gardant ainsi libre l'écrou flottant. Des passages d'eau pour équilibrer les pressions et le remplissage au-dessus de l'étanchéité sont usinés soit sur le mandrin soit tout au long du filetage de l'écrou.

Le setting tool contient dans sa partie supérieure un couvercle qui évite la chute des déblais entre le setting tool et le liner.

Ce système présente l'inconvénient de se dévisser pendant la mise en place du liner.

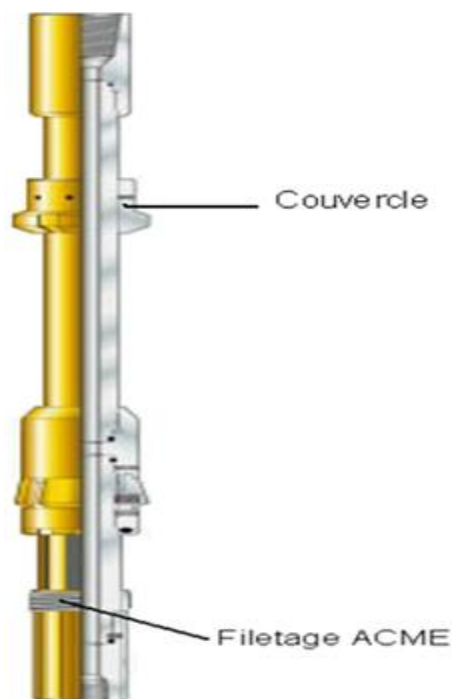


Fig.34 Setting tool mécanique

### 2.8 Système d'étanchéité :

Le setting tool est toujours muni d'un système d'étanchéité dans sa partie inférieure, on distingue :

#### A/ Swab cups: (setting cups) (Fig.35)

C'est un tube qui supporte des coupelles dirigées vers le bas, placé au bout de l'outil de pose, pour permettre le passage du haut vers le bas, et l'empêcher dans le sens contraire.

L'utilisation de ce système est limitée par la profondeur parce que les coupelles sont limitées en pression et en température,

#### B/ Cementing pack-off: (Fig.36)

C'est un presse-étoupe (pack-off bushing) placé sous le manchon de pose (setting sleeve). Ce système permet de garder l'étanchéité entre les tiges et le liner même après le relâchement de ce dernier. Il peut:

- Soit être solidaire du setting tool
- Soit être solidaire du liner et faire étanchéité autour du stinger du setting tool. Il sera alors reforé lors du contrôle du liner.

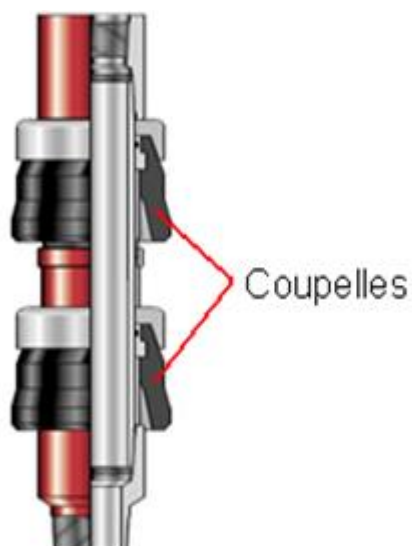


Fig.35 Swab cups

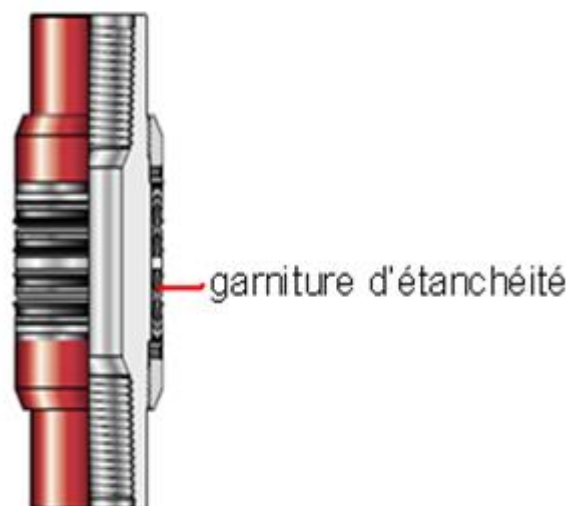


Fig.36 Cementing pack-off

### 2.9 Vanne à ouverture hydraulique : (Pac valve)

C'est une vanne utilisée pour les cémentations étagées et des liners crépinés, cet équipement joue le rôle d'un by-pass entre l'intérieur du casing et l'annulaire afin de pouvoir circuler et chasser du ciment dans cet annulaire à la cote choisie.

Cette pac valve contient des ouvertures latérales couvertes par deux chemise intérieure l'une au-dessus de l'autre fixées au corps par des shears pins qui selon le nombre définit leur pression de service.

Pour une cimentation étagée (d'un liner ou classique), l'activation de la pac valve est assurée par l'action de pression sur le bouchon de chasse du premier étage qui se siège sur la chemise inférieure, qui cisaille les shear pins, ainsi cette chemise est libérée. Le verrouillage se fait par

le déplacement de la deuxième chemise déplacée par le dernier bouchon de chasse.

Pour la cimentation du liner crépiné (avec packer ECP), la pac valve est associée à un ball seat, une fois la bille s'assiege, les à-coups de pression sont obtenus.

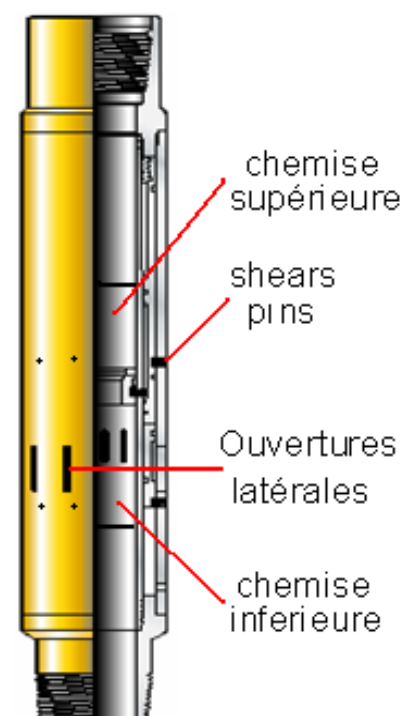


Fig.37 PAC valve

Pour avoir la pression de service des deux chemises on joue sur le nombre de shear pins. (Le nombre de shear pins qui tient la chemise inférieure est inférieur à celui de la chemise supérieure).

### 2.10 La garniture de pose (setting string) :

La garniture de forage utilisée pour la descente du liner est généralement composée de tiges. On peut utiliser des tiges lourdes dans le cas où le puits est très dévié. L'utilisation d'une coulisse est à proscrire. Les tiges doivent être calibrées avant l'opération de descente.

### 2.11 L'anneau de retenue : (landing collar) (fig. 38 et 39)

Positionné à un, deux ou trois joints au-dessus du sabot, il sert à retenir les bouchons de cimentation et indiquer la fin de la chasse.

Il peut être à clapet anti-retour, à soupape (flapper valve), à remplissage automatique ou à siège pour bille éjectable.

Dans le cas où on utilise deux bouchons de cimentation, le landing collar doit comporter un système de by-pass qui permet le passage du ciment.

L'anneau qui comporte un siège pour bille est utilisé dans le cas où l'ancrage du hanger est hydraulique. Ou dans le cas d'un liner avec un packer ECP.

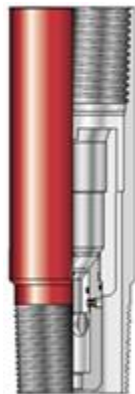


Fig.38 landing collar pour bille



Fig.39 landing collar pour bouchons

### 2.12 Le sabot: (set shoe) (Fig.40)

Le sabot sert à guider la colonne de tubage lors de sa descente, et évite le retour du laitier à la fin de cimentation (sabot à un ou deux clapets anti-retour, comme on peut l'associer à un float collar placé plus haut (Fig.41)). On distingue :

- sabot à canal ou à bille normalement employé pour les tubages
- sabot à soupape (set shoe)

- sabot à remplissage automatique (fill-up set shoe)

Dans le cas d'un liner, Il est souhaitable que le sabot soit muni d'évents latéraux de façon à pouvoir établir la circulation même si la colonne touche le fond.

Dans d'autre cas (liner crépiné avec packer ECP) le sabot est utilisé seulement pour le guidage,

Le sabot peut être muni de lames qui empêchent le liner de tourner lors du dévissage du setting tool, s'il n'y a pas de hanger.

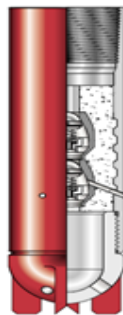


Fig.40 Sabot à double clapet anti-retour

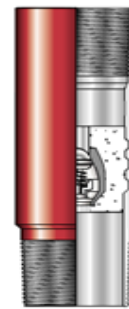


Fig.41 float collar

### 2.13 Bouchons de cimentation :

#### A/ Bouchon racleur de colonne perdue (liner wiper plug)

Il est descendu à l'extrémité de l'outil de pose (setting tool) sous les dispositifs d'étanchéité. Il possède des coupelles qui servent à essuyer l'intérieur du liner et un trou central qui permet le passage de la boue et l'injection du laitier. Il est déconnecté de la canule de l'outil de pose ou de son manchon spécial dans la colonne perdue, par cisaillement de goupilles lorsque le bouchon pompé en fin d'injection du laitier (pump-down plug) vient s'y ancrer, ce cisaillement est marqué par un à-coup de pression.

Ce bouchon assure la séparation entre le laitier et la boue ; à la fin de la chasse, il vient se placer sur l'anneau et reste solidaire de ce dernier grâce à un système de retenue (latch).

#### B/ Bouchon pompé dans les tiges (pump-down plug)

En fonction de la garniture de pose, il peut comporter de 3 à 5 lamelles en caoutchouc de différents diamètres extérieurs, destinées à essuyer l'intérieur des tiges et de l'outil de pose.

Il est largué de la tête de cimentation à la fin de l'injection du laitier de ciment. Ainsi, il racle l'intérieur de la garniture et de l'outil de pose et, à la fin de sa course, vient s'ancrer dans le

wiper plug, au bout de l'outil de pose. En augmentant la pression de chasse, le wiper plug se libère et les deux bouchons se déplacent simultanément dans le liner, jusqu'à ce qu'ils arrivent sur le landing collar où ils se verrouillent et font étanchéité grâce à un système de verrouillage (latch).

Dans certaines cimentations de liner, on peut utiliser un bouchon de queue et un autre de tête (c'est à dire deux couples pump down plug/wiper plug).

Parfois, dans le cas où la différence entre le diamètre intérieur du liner et celui des tiges est petite (slim hole), on n'utilise que les pump down plugs, qui racleront à la fois l'intérieur des tiges et celui du liner.

Dans le cas de l'utilisation de deux couples de bouchons ou du slim hole, le pump down plug de tête, une fois arrivé sur le landing collar, ne peut pas se percer sous l'effet de la pression pour laisser passer le laitier en raison de son diamètre qui est petit. Pour cet effet, c'est le landing collar qui permet le passage du laitier par un by-pass.

Pour la sécurité, le pump down plug est muni d'une plaque qui s'éclate dans le cas où le by-pass du landing collar n'est pas fonctionnel.

Dans certains cas, le wiper plug contient dans sa partie inférieure un siège pour bille dans le but d'activer certains équipements à fonctionnement hydraulique du top du liner.

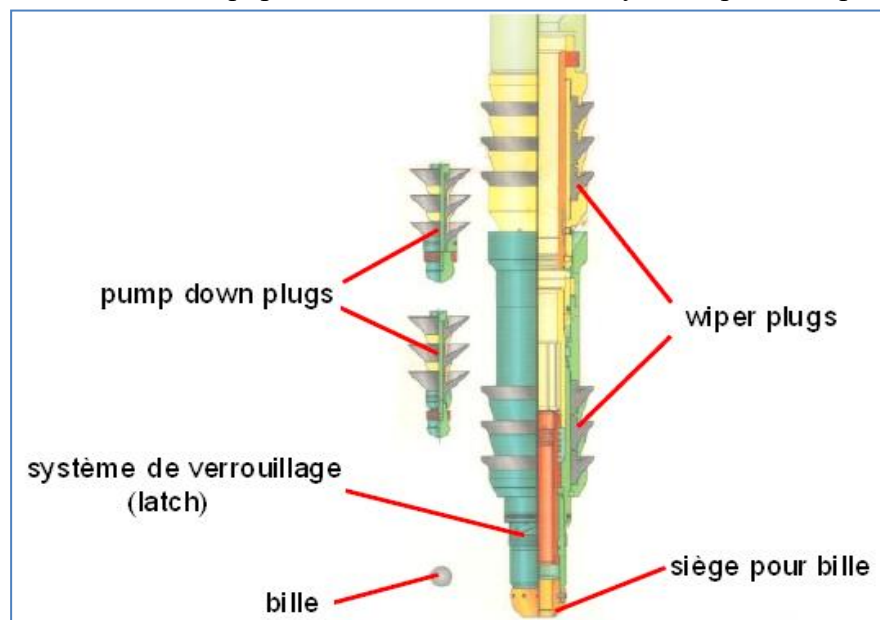


Fig.42 Ensemble wiper plugs et siège pour bille

### 2.14 Tête de cimentation : (cementing head)

Elle est vissée sur le train de tiges ; elle contient le bouchon qui doit être pompé à travers les tiges avant la chasse (pump-down plug) et, éventuellement, une bille de mise en pression dans le cas d'un dispositif de suspension hydraulique.

La tête de cimentation est équipée d'un raccord témoin optionnel (flag sub), qui signale le départ effectif du bouchon à pomper à travers les tiges. (Fig.43et44)

Elle est également dotée d'un raccord rotatif (swivel) qui la garde fixe avec la rotation du train de tige.

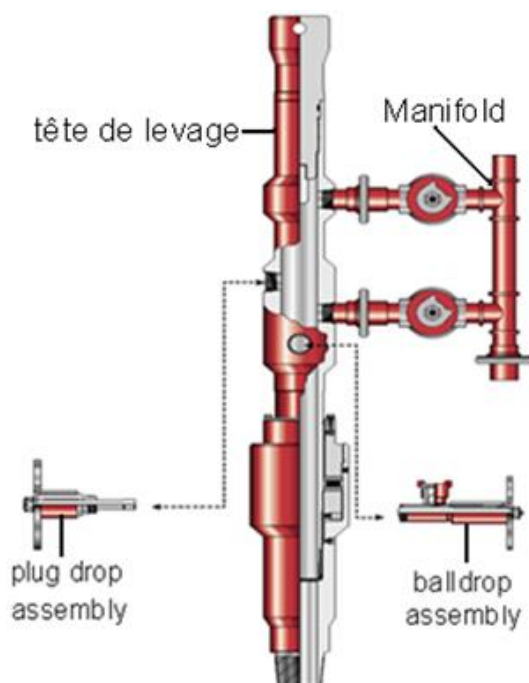


Fig.43 Tête de cimentation



Fig.44 Flag sub (témoin)

### 3) Packer ECP : (Fig.45)

L'External Casing Packer (ECP) fait partie intégrante de la colonne de tubage ou du Liner. Il est activé par la suite avec un fluide, généralement du laitier de ciment, assurant ainsi une étanchéité supplémentaire dans l'espace annulaire. Si la tendance actuelle est de faire appel de plus en plus à ce genre de packers, surtout après l'incident de l'effondrement du puits RNZ-127 suite au lessivage du sel du Sénonien Salifère par les eaux des réservoirs sous-jacents, actuellement, on utilise ces packers notamment sur les champs suivants :

Berkaoui et ses environs: utilisation d'un packer 11" 1/4 (avec le casing 9"5/8) comme deuxième barrière pour isoler le Sénonien salifère des autres horizons aquifères sous-jacents.

In Salah: utilisation des packers pour pallier le problème de cheminement de gaz dans les espaces annulaires.

Les Packers ECP les plus connus sont ceux de Baker.



Fig.45 Packer ECP

#### 3.1 Avantage d'un packer ECP :

- Le système de vanne est situé au-dessus du Packer. Elles ne sont pas affectées par des surpressions inattendues au-dessous de ce Packer
- Les Packers ECP sont conçus avec des matériaux résistants à l' $H_2S$  et au  $CO_2$

- Possibilité de changer les Wires des vannes en cas de changement des conditions du puits

### **3.2 Domaines d'application:**

- Prévenir les pertes de ciment dans les zones à pertes. Etant positionner au-dessus de ces zone ce packer évite la surpression due à la pression hydrostatique du ciment
- Prévenir la migration de gaz via la colonne ciment
- Eviter la production d'eau indésirables, en le positionnant juste au-dessus du contact huile-eau ou gaz- eau
- Diminuer le risque d'endommagement des formations sensibles et les barefoot complétion
- Utiliser pour centrer les casings dans les puits horizontaux
- Utiliser pour les liners crépinés pour séparer la partie crépinée de la partie cimentée.

### **3.3 Différents types de packer ECP :On distingue deux types**

#### **3.3.1 Isozone Packer :**

Il est plus économique qu'un packer Payzone, mais son utilisation est restreinte. On l'utilise dans les colonnes de tubages (étanchéité tubage-tubage) ou dans les découverts peu profonds et relativement bien calibrés.

Ils sont généralement employés lorsque les conditions du découvert sont modérément sévères et peuvent compromettre la réussite de la cimentation primaire du tubage.

La membrane du packer Isozone a une longueur nominale de 7ft (2.13 m).

#### **3.3.2 Payzone Packer:**

Ce sont les packers les plus longs et les plus utilisés. Ils sont disponibles en deux modèles: packers ayant une garniture d'étanchéité de 40ft (12.2 m) et 20ft (6.1 m). La garniture est montée sur un mandrin ayant des caractéristiques compatibles avec celles du tubage ou du liner à descendre, elle est renforcée avec des lamelles en acier flexible sur ces deux extrémités pour garder sa forme durant son gonflage. Le reste de la membrane n'est pas renforcé. Cette caractéristique lui permet de s'étendre jusqu'à 4 fois son diamètre d'origine, ce qui lui confère

la possibilité d'assurer l'étanchéité même dans un annulaire érodé ou ayant une forme elliptique.

#### **A/ Caractéristiques essentielles d'un Payzone Packer :**

##### ➤ **Pressure balanced seals : (étanchéité équi-pressions)**

Dans les Packers conventionnels, les joints O ring placés sur les différentes valves ont piégé entre eux une pression atmosphérique. Une fois le Packer descendu dans le puits, ces joints se trouvent soumis à une différence de pression très importante du fait de la pression hydrostatique très élevée. Ceci tend à écraser les joints vers l'intérieur de la vanne engendrant un coefficient de frottement élevé qui a tendance à empêcher l'ouverture de la valve. De ce fait, la pression requise pour cisailer les goupilles et ouvrir la Shear Valve se trouve augmentée de plusieurs centaines, voire milliers de psi. Pour pallier ce problème, le Payzone Packer est muni d'une vanne dite Pressure balance valve dont le rôle est de transmettre la pression hydrostatique qui règne au fond (dans l'annulaire) à tous les côtés du joint et par conséquent assurer à la vanne un fonctionnement normal et sans contraintes.

##### ➤ **Gonflage progressif du bas vers le haut:**

La conception de la garniture du Packer permet le gonflage de cette dernière à partir du bas et en allant vers le haut, ceci évite au Packer de piéger des fluides résiduels entre la membrane et la paroi du puits et donc assurer un contact continu entre celle-ci et le découvert sur toute la hauteur de la garniture du Packer.

Quand la Shear Valve s'ouvre sous l'effet de la pression différentielle, la boue passe en premier lieu dans la partie inférieure de la membrane. Le design de la membrane est tel que dès que la pression à l'intérieur de celle-ci augmente, elle commence à se gonfler tout d'abord à sa partie inférieure. Ensuite le gonflage se propage progressivement en allant du bas vers le haut en chassant le fluide se trouvant entre la membrane et la paroi du puits.

Lorsque la garniture est en contact avec la paroi du puits sur toute sa surface, l'augmentation de pression à l'intérieur du Packer contraint les lamelles (renforcements métalliques) se trouvant sur chaque extrémité de la garniture à s'ouvrir et à se plaquer fortement contre la paroi.

##### ➤ **Double système de gonflage :**

Pour pallier tout risque d'accident pendant la descente du Packer qui pourrait endommager l'une des vannes du système de gonflage, le Packer Payzone est muni d'un deuxième jeu de vannes de sécurité. Ceci donne plus de fiabilité à ce type de Packer.

Autre caractéristique de la garniture du packer Payzone:

- Garniture en Nitrile Caoutchouc qui fonctionne efficacement dans les milieux acides et d'hydrocarbures
- Fonctionnement à des températures très élevées
- deuxième jeu de vannes de sécurité pour le système de gonflage

### **3.4 Principe de fonctionnement du packer ECP:**

Le packer ECP est composé de trois vannes essentielles : la Shear Valve qui assure l'entrée du fluide à l'intérieur du packer pour son ancrage, la Check Valve et l'ICV qui assure la fermeture de chambre de gonflage. Le principe d'ouverture et de fermeture de ces vannes est le suivant :

Après la descente du casing au fond. La Shear Valve est jusqu'à présent maintenue en position fermée par une goupille (Fig.46 position de descente) qui se cisaille à une pression prédéterminée. C'est le premier tarage à effectuer sur le packer. Sa mise en fonctionnement est la suivante :

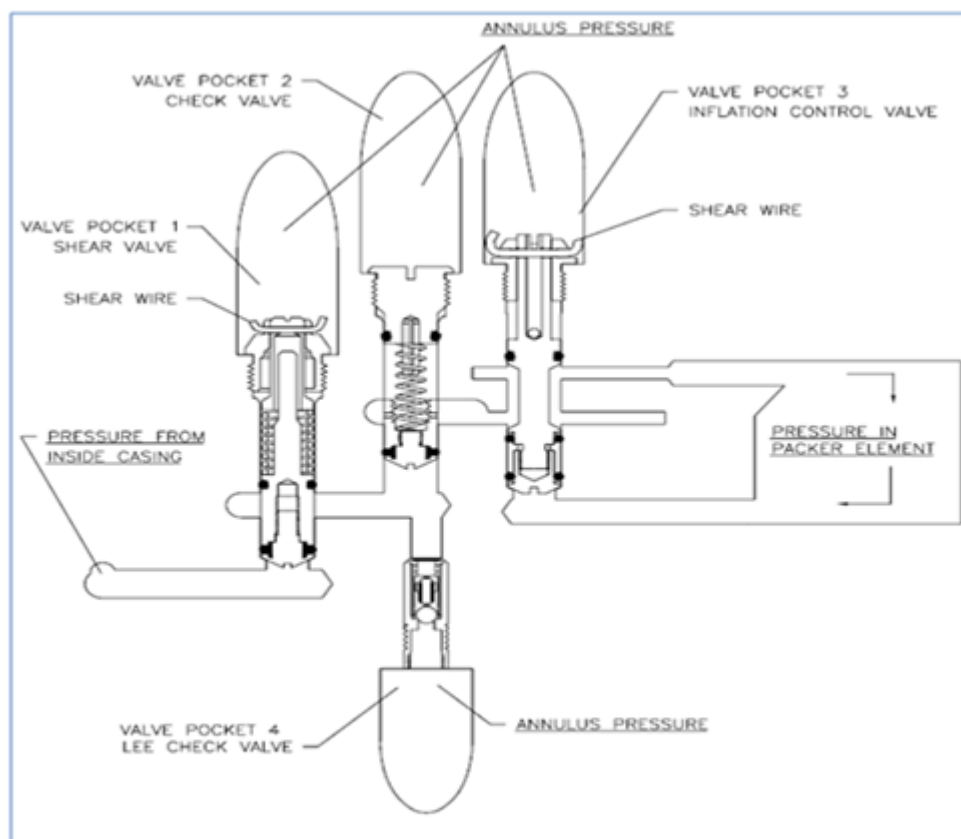


Fig.46 Pressure Balanced Valve Collar  
(run position)

#### A/ Principe et fluide de gonflage:

Lorsque la bille assiège sur le ball seat, on augmente la pression en tête, et lorsque la pression différentielle au niveau de la Shear Valve (ou Primary Control Valve) atteint la valeur du tarage, cette dernière (la Shear Valve) s'ouvre permettant à la boue de pénétrer à l'intérieur de la garniture du Packer en repoussant la Check Valve et en passant à travers Inflated Control Valve "ICV". (Fig. 47 position de gonflage)

A noté également la présence d'un élément filtrant au début du circuit qui a pour but d'éviter le passage des grosses particules risquant d'obturer le système.

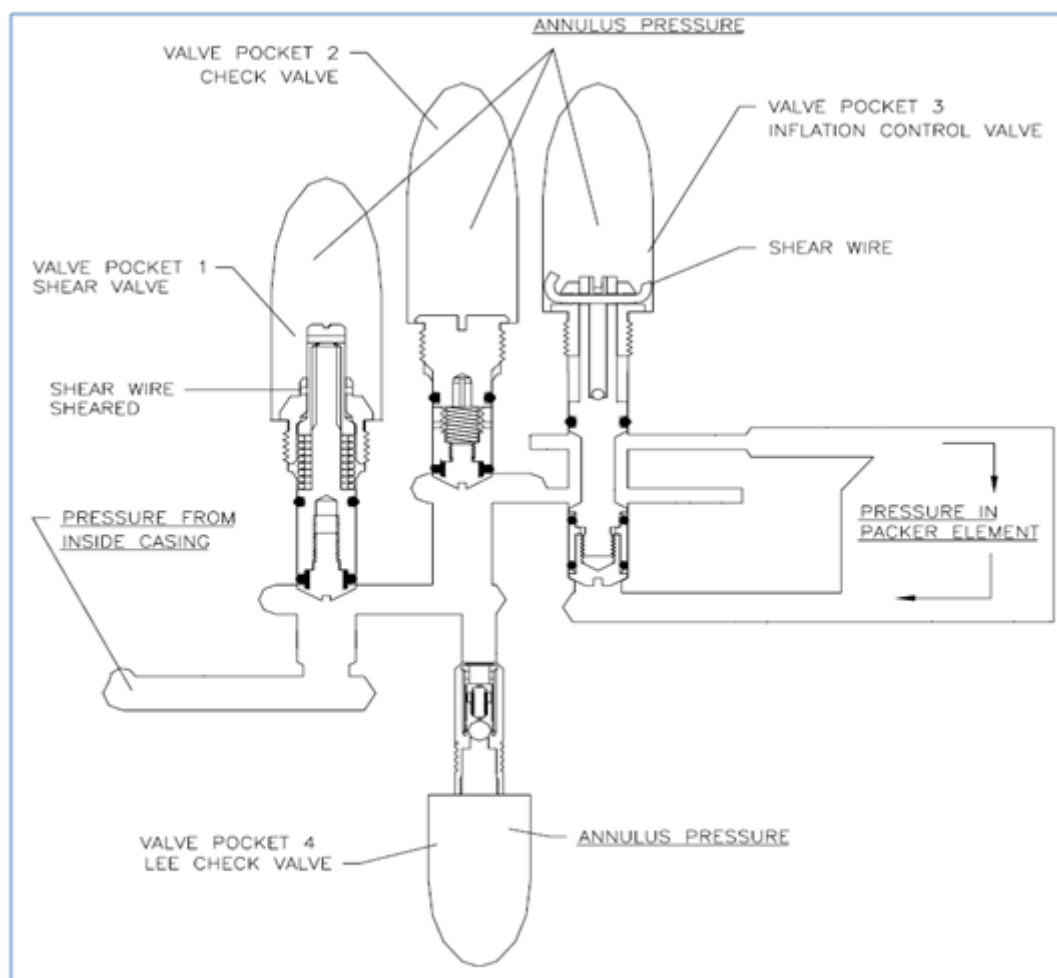


Fig. 47 Pressure Balanced Valve Collar  
(Inflated position)

### B/ Fermeture automatique du système :

Au cours du pompage de la boue dans l'élément gonflable, la différence de pression à l'intérieur de la membrane augmente, provoquant son gonflage progressif.

A la fin du gonflage, la boue pousse l'extrémité de la Pressure Control Valve. Cette valve est maintenue jusqu'à présent en position ouverte par une goupille qui se cisaille à une différence de pression prédéterminée (c'est le 2ème tarage du Packer). Une fois que cette valeur du tarage est atteinte, le cisaillement de la goupille se produit et la valve se ferme, obturant ainsi d'une manière définitive le circuit de gonflage. (Fig. 48 position de fermeture)

A l'arrêt du pompage, les deux valves Shear Valve et Check Valve se referment à leur tour sous l'effet de leurs ressorts de rappel.

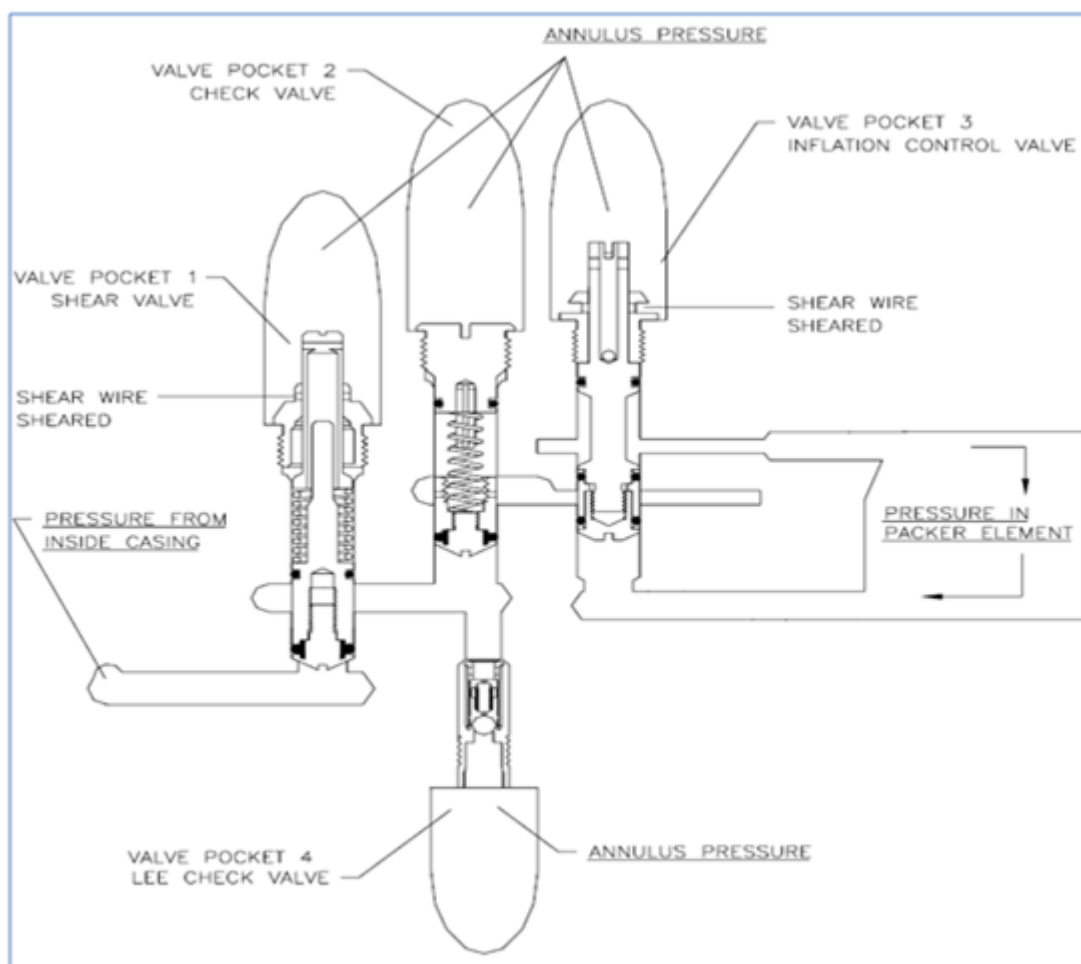


Fig. 48 Pressure Balanced Valve Collar  
(Closed Position)

**Le fluide de gonflage:** le fluide de gonflage du packer ECP peut être :

- la boue de forage
- fluide de complétion (packer de complétion)
- le laitier de ciment (cas d'une cimentation étagée)

➤ **Caractéristiques du fluide de gonflage du Packer :**

Généralement, le fluide de gonflage doit répondre aux caractéristiques suivantes:

- Ne pas être thixotropique
- Ne pas être corrosif
- Avoir une consistance ne dépassant pas 20 cP après 30 min de mixage.
- Avoir une eau libre nulle.

- Ne doit pas contenir de colmatants "LCM" ou de Gypse qui peut obturer les valves du Packer.

La position de descente et de gonflage du packer ECP sont représentés dans la figure suivante : (Fig.49)

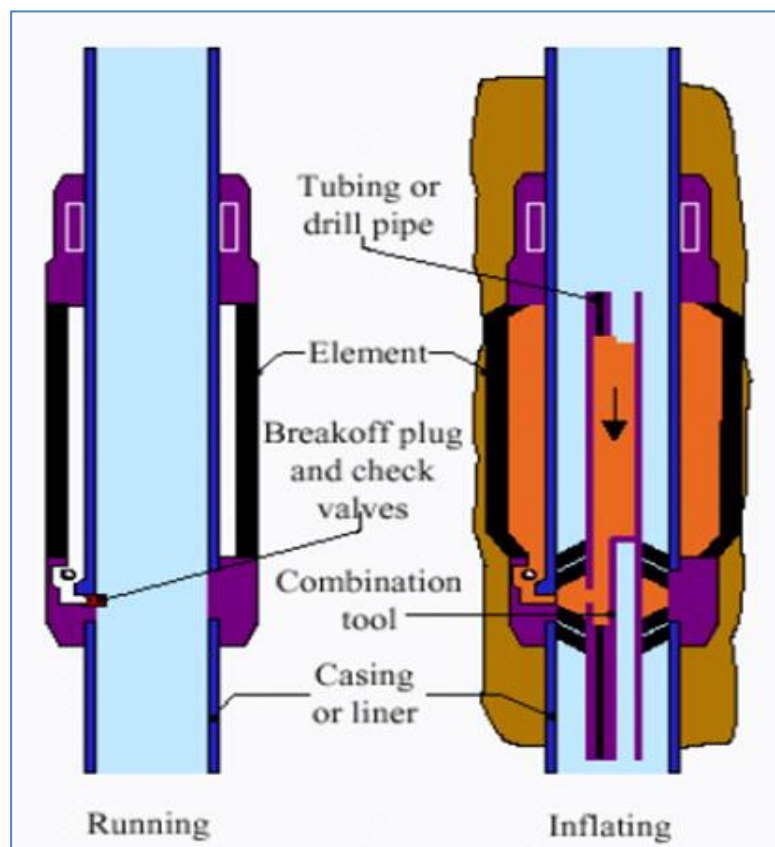


Fig.49 Principe de gonflage de l'ECP

### C/ Pression totale du gonflage : (P<sub>tg</sub>)

C'est la pression piégée à l'intérieur de la garniture du Packer à la fin du gonflage après la fermeture de l'ICV. Elle doit être au moins supérieure de 500 psi par rapport à la pression des pores de la zone à isoler. Pour pouvoir assurer cette valeur, il faut adapter le tarage de l'ICV (Inflation Control Valve). La pression totale du gonflage doit être également inférieure à la pression de fracturation de la formation dans laquelle le Packer sera ancré.

*P<sub>tg</sub>* = pression hydrostatique du fluide de gonflage à l'intérieur du casing (cote Packer) + pression en surface à la fin du gonflage = pression hydrostatique dans l'annulaire (cote Packer) + tarage ICV.

#### **D/ Pression différentielle de gonflage:**

C'est la différence de pression au niveau du packer nécessaire pour cisailer la goupille de l'ICV (Inflation Control Valve) correspondant au tarage de l'ICV. C'est elle qui détermine la pression totale du gonflage et par conséquent la qualité de l'étanchéité du Packer.

#### **E/ Contrainte radiale : (Seal load)**

C'est la différence entre la pression totale de gonflage et la pression des pores de la formation à isoler. Pour une bonne étanchéité, la contrainte radiale doit être au moins supérieure de 500 psi par rapport à la pression de pore.

$$\text{Contrainte radiale} = P_{tg} - \text{Pression Pore}$$

#### **Tarage du Packer ECP:**

Deux tarages sont à effectuer au niveau du Packer Payzone

#### **A/ Tarage de la SV (Shear Valve) : (1<sup>er</sup> Tarage de l'ECP)**

Il se fait en surface à l'aide d'un jeu de goupilles de cisaillement (fils métalliques) qui sont livrées normalement avec le Packer. Ces goupilles couvrent une large gamme de pressions.

Le tarage de la SV doit être suffisamment élevé pour éviter son ouverture intempestive lors de la descente. Il doit être, dans la mesure du possible, au moins, supérieur de 500 psi par rapport à la pression maximale attendue durant la descente.

#### **B/ Tarage de l'ICV (Inflated Control Valve): (2<sup>ème</sup> Tarage de l'ECP)**

Le tarage de l'ICV est un facteur déterminant dans la réussite de l'opération de gonflage du Packer. En effet, le tarage de l'ICV dépend des facteurs suivants:

- Diamètre réel du trou à l'endroit choisi pour l'ancrage du Packer.
- De la pression de pore de la zone à isoler. (Il faut avoir au moins 500 psi de Seal load: différence entre la pression totale du gonflage et la pression de pore).

- De la pression de fracturation à l'endroit de l'ancrage. Il ne faut en aucun cas, que la pression totale du gonflage "P<sub>tg</sub>", résultante du tarage de l'ICV, soit supérieure à la pression de fracturation.
- De la résistance du casing et des équipements en place.

### 3.5 Choix de la cote d'ancrage du packer ECP :

Une fois la cote du casing est atteinte, on procède au programme de diagraphie en incluant le caliper qui permet la détermination de la cote adéquate pour l'ancrage du packer ECP dans le découvert dans une formation bien calibrer (le diamètre du puits ne dépasse pas le maximum recommander) et relativement dure.

La figure ci-dessous montre la zone convenable à l'ancrage du packer ECP.

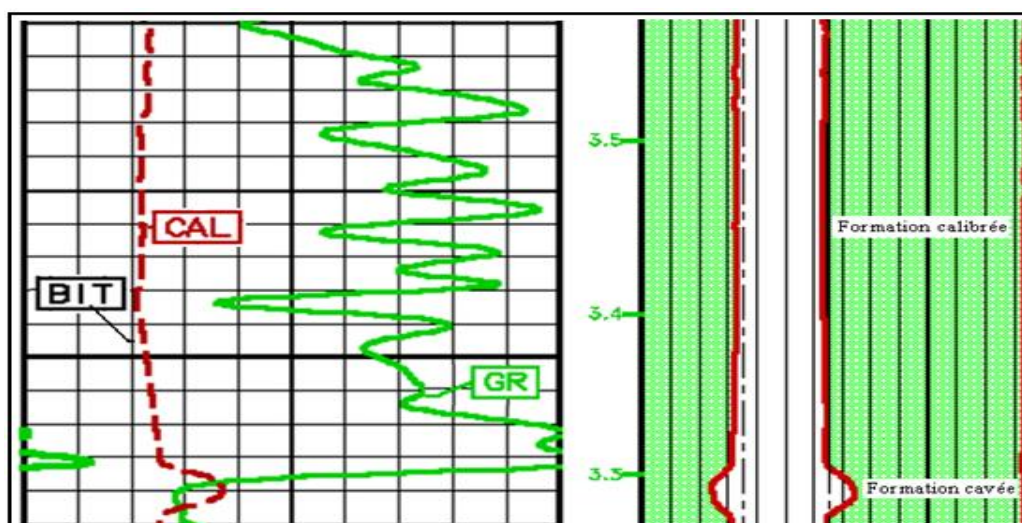


Fig.50 Log. Caliper dans la zone d'ancrage du packer

### 4) Choix des composants du liner:

Le matériel est sélectionné en fonction des conditions du puits et de la composition du liner avec lequel il va être descendu.

#### 4.1. Conditions du puits :

- Frottements : qui sont dus généralement à la mauvaise géométrie du puits (dog-legs, cavages, dépôts de cake, trou de serrure), à la nature de la formation (argile gonflante et fluente qui se rétrécissent après le forage) et au profile du puits ou une trajectoire relativement déviée, la garniture du liner a tendance à se coucher sur les parois du puits. Ces frottements

sont un facteur prédéterminant dans le choix du système de suspension. En effet, le hanger mécanique est utilisé lorsque l'opération mécanique est facile: pas trop de frottements ni de couple (puits vertical), liner assez lourd pour qu'on puisse s'assurer de son ancrage, dans le cas contraire, le système hydraulique est recommandé.

- La pression : les équipements à fonctionnement par pression sont limités par les conditions de fond. pour les puits à gaz de forte pression, il y a risque de fonctionnement prématuré dû à l'augmentation de pression (par exemple venue), dans ces cas il faut minimiser l'utilisation de ces équipements et agir sur leurs pression de service.

#### **4.2 Composition du liner:**

Le premier choix de la composition du liner se fait sur le système d'ancrage du liner, qui est déterminé en plus des conditions du puits, les caractéristiques du casing dans lequel il sera descendu: drift, grade de l'acier au niveau de l'ancrage.

Après le choix du système d'ancrage on choisit les autres éléments.

Le setting tool le plus utilisé est du type mécanique avec filetage ACME, mais dans le cas où le liner hanger est hydraulique, on peut utiliser un setting tool avec un système J-slot. Comme on peut utiliser un système hydraulique dans le cas d'un hanger mécanique.

Le packer de liner (optionnel), activé à la fin de la cimentation, permet l'étanchéité en tête du liner. Il est utilisé pour éviter d'appliquer la surpression de la circulation inverse sur le laitier s'il y a des risques de pertes, et/ ou pour éviter des venues de gaz ou d'huile. Compte tenu de ces exigences, descendre:

- un liner hanger avec packer pour les puits à gaz ou les puits avec pertes,
- un liner hanger sans packer pour les autres cas.

Le PBR (Polished Bore Receptacle) est utilisé au-dessus du hanger, il permet le raccordement (tie-back) ultérieur d'un tubage jusqu'à la surface. Dans certains cas il reçoit l'étanchéité de la garniture de pose du liner (cementing pack off).

Cementing pack off est placé au niveau du setting tool, il assure l'étanchéité entre le setting tool et le liner. L'utilisation des swab cups, qui risquent de se siffler et de fuir est à proscrire.

Le choix du type et du nombre de bouchons est déterminé par :

- Le diamètre intérieur du liner et de la garniture de pose, pour un liner 4<sup>1/2</sup> descendue avec des tiges 3<sup>1/2</sup> ou la différence des diamètres intérieurs est faible donc l'utilisation d'un seul pump down plug est suffisante pour la chasse. On n'utilise plus le bouchon de tête qui oblige d'insérer un landing collar avec by-pass car il est très petit pour contenir une membrane déformable. Il existe des systèmes de doubles bouchons qui seront largués de part et d'autre du laitier de ciment: deux wiper-plug (celui du bas a un diamètre intérieur plus petit que celui du haut), et deux pump down plugs, correspondant chacun à un wiper plug. Le landing collar est alors muni d'un by-pass du premier bouchon, par lequel se poursuit la cimentation, cet assemblage est utilisé pour les liners 7''.
- Le nombre de couple pump down plug/wiper plug est limité par le nombre d'à-coup de pression

Dans le cas d'un équipement hydraulique, le siège de la bille qui sera cisailé sous l'effet de la pression après ancrage du liner et libération du setting tool. Il sera placé selon le cas:

- au niveau du landing collar
- à la base du setting tool, notamment pour les puits très inclinés ou horizontaux, où l'on craint qu'une bille ne puisse atteindre la base du liner.

Les équipements différentiels, pas très fiables, sont déconseillés pour les liners.

### **5) Incidents de la cimentation d'un liner :**

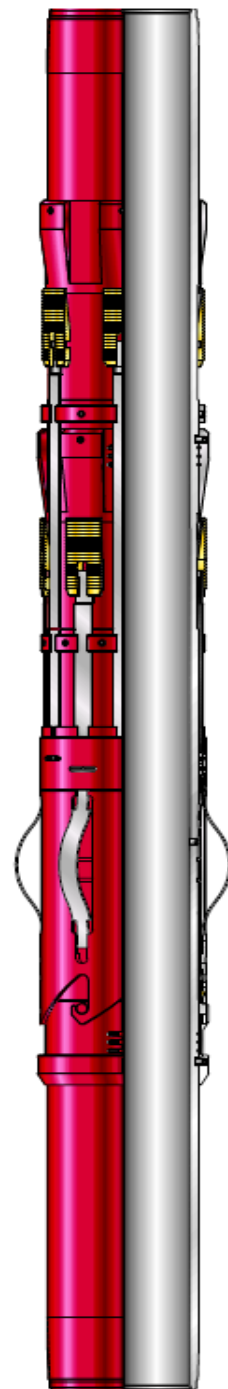
1. Pertes partielles <10% du débit de circulation :
  - Causes possibles : Terrains légèrement perméables
  - Remèdes : Procéder à la suite des opérations, en majorant le volume de laitier en liaison.
2. Pertes partielles >10% du débit de circulation :
  - Causes possibles : Terrains moyennement perméables
  - Remèdes : Tenter de colmater avec du CaCO<sub>3</sub>, en cas d'échec remonter le liner
3. Pertes pendant cimentation :
  - Causes possibles : Pertes dues aux modifications des conditions hydrostatiques du puits.

- Remèdes : N'ancrer le packer que si le bilan des volumes conduit à la présence de laitier dans au moins 50% de l'overlap. Si Packer non ancré, faire une circulation directe et non inverse.
4. Pression de circulation anormalement basse :
- Causes possibles : Stinger du running tool sorti de son logement : anomalie de poids, problème de pompe, tige sifflée ou fuite à la garniture d'étanchéité du setting tool, tige sifflée
  - Remèdes : Tenter de le réengager afin de reprendre la circulation, utiliser une autre pompe en cas d'échec remonté le liner
5. Pression de circulation anormalement élevée :
- Causes possibles : Restriction de l'annulaire
  - Remèdes : Circuler et traiter la boue si nécessaire, en tournant et réciproquant si possible jusqu'à obtenir des conditions convenables, essayer de déterminer la cause exacte du problème et décider au cas par cas
6. Coincement dans le découvert avec circulation :
- Causes possibles : Restriction de l'annulaire ou coincement par pression différentielle
  - Remèdes : Tenter de décoincer en traitant éventuellement la boue, en cas d'échec cimenter le liner en position
7. Coincement dans le découvert sans circulation :
- Causes possibles : Restriction de l'annulaire ou coincement par pression différentielle
  - Remèdes : Situation très critique qui sera traitée au cas par cas
8. Difficultés d'ancrage de la suspension :
- Causes possibles : Si hanger hydraulique : tarage des vis de cisaillement incorrectes, bille non siégée, problème mécanique, Si hanger mécanique : problème de slips non libérés, ou glissement des patins dans le tubage
  - Remèdes : Augmenter la pression par paliers de 200 psi maintenus plusieurs minutes, en se limitant à une pression inférieure à 85% de la pression de cisaillement du shear out ball sub, répéter les opérations de libération des slips et d'ancrage, après avoir circulé si nécessaire, en cas d'échec poser le liner au fond du puits ou le remonter

# CHAPITRE

# IV

## POSE LINER 4 ½ ET CALCULE DE CIMENT



## 1. Caractéristique de la colonne utilisée :

	Nombre	Longueur (m)	Cumule (m)	Profondeur (m) (MD)	Profondeur (m) (TVD)
Shoe	1	0,37	0.37	3974	3345,25
Crépine	63	617.27	617.64	3366	3202,08
X.Over	1	9.41	627.05	3356	3198.52
FLOT C	1	0.57	627.62	3347	3195,27
Casing	1	9	636.62	3346	3194,90
Landing C	1	0,35	636.97	3337	3191,62
BTM ECP	1	1.01	637.98	3337	3191,62
ECP	1	1.16	639.14	3336	3191,27
TOP ECP	1	0.78	639.92	3335	3190,91
Pup joint	1	2.11	642.03	3334	3190,55
Pac valve	1	1.15	643.18	3332	3189,82
Pup joint	1	5.35	648.53	3331	3189,46
Casings	61	544.31	1192.84	2782	2781,9
Pup joint	1	6.16	1199	2773	2772,93
Hanger	1	8.62	1207.62	2767	2766,93
Setting tool	1	2.48	1210.1	2759	2759
Drill pipe	324	2765	3975		

Tableau 20 Caractéristique de la colonne utilisée

2. Composition du liner 4<sup>1/2</sup> avec packer ECP:

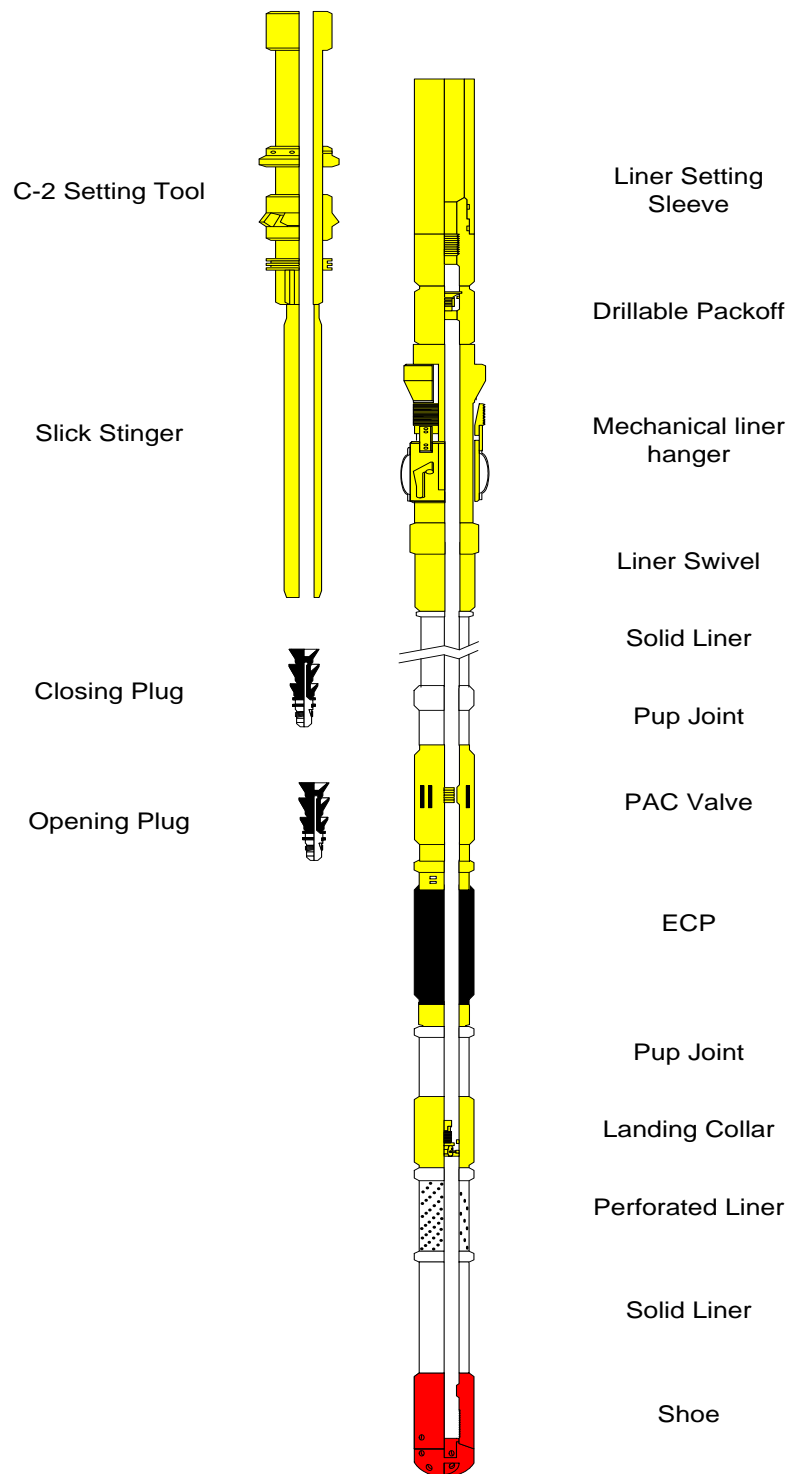


Fig.51.Composition du liner 4<sup>1/2</sup> avec packer ECP

### 3. Vérification des résistances des casings aux différentes sollicitations :

Pour les calculs on tient compte les efforts suivants :

- Pression d'écrasement avec un coefficient de sécurité  $K_{\text{écr}} = 0,85$ .
- Pression d'éclatement avec un coefficient de sécurité  $K_{\text{écl}} = 1,00$ .
- Charge de traction avec un coefficient de sécurité  $K_{\text{tra}} = 1,75$ .

Ainsi que des caractéristiques des casings qui sont:

Crépine 4<sup>1/2</sup>, 13, 5 #, grade N80, filetage Vam Top

Casing 4<sup>1/2</sup>, 13, 5 #, grade N80, filetage New Vam

#### A/ Pression d'écrasement ( $P_{\text{écr}}$ ):

C'est la pression hydrostatique dans l'espace annulaire open hole et casing. Pour la vérification on suppose que l'annulaire est rempli de boue et l'intérieur du casing est vide.

Calcul de pression hydrostatique

$$P_{\text{hyd}} = (H \times d_b)/10,2$$

H : la profondeur vertical du premier casing qui est égale à 3190 m

$$P_{\text{hyd}} = 3190 \times 1,55/10,2$$

$$P_{\text{hyd}} = 484,75 \text{ bars}$$

D'après le formulaire du foreur  $P_{\text{écr}} = 58,9 \text{ Mpa} = 589 \text{ bars}$

Pour vérification :

$$P_{\text{écr}}/ P_{\text{hyd}} > K_{\text{écr}}$$

$$P_{\text{écr}}/ P_{\text{hyd}} = 589/484,75 = 1,21 \text{ qui est supérieur à } 0,85$$

Donc la colonne vérifier la résistance à l'écrasement

#### B/ Pression d'éclatement ( $P$ ):

Pour la vérification on suppose que l'intérieur du casing est plein de gaz et l'annulaire rempli d'eau, le coefficient de sécurité API à l'éclatement est  $K_{\text{écl}} = 1.10$ .

Cette pression représente la différence entre la pression du gaz à l'intérieur du casing et celle

de l'eau dans le découvert

$$P = P_1 - P_a$$

- **Calcul de la pression du gaz en tête du liner :  $P_1$**

$$P_1 = P_g - P_{cg} = P_g - H_g \times d_g / 10,2$$

$P_g$ : pression de gisement avec  $P_g = 500$  bars

$P_{cg}$  : pression de la colonne de gaz jusqu'au top du liner avec  $P_{cg} = 27,42$ bars

$H_g$ : représente la hauteur de gaz jusqu'au top du liner avec  $H_g = 3345 - 2767 = 578$  m

$d_g$ : la densité de gaz avec  $d_g = 0,36$

$P_1 = 479,6$  bars

- **Calcul de la pression de l'eau dans le découvert :  $P_a$**

$$P_a = H_a \times d_e / 10,2 = 2767 \times 1 / 10,2 = 271,27 \text{ bars}$$

$H_a$ : hauteur de l'eau dans le découvert du top du liner à la surface avec

$$H_a = 2767 \text{ m}$$

$d_e$ : la densité de l'eau avec  $d_e = 1$

Donc :  $P = 479,6 - 271,27 = 208,33$ bars

D'après le formulaire du foreur :  $P_{ecl} = 62,2$  Mpa = 622 bars

On aura :  $P_{ecl} / P = 622 / 208,33 = 2,98 > 1,1$

Donc on a la résistance à l'éclatement est vérifiée.

### C/ Résistance à la traction : ( $T_{tr}$ )

Pour vérifier si notre tubage résiste à la traction, on devise la valeur de la résistance à la traction ( $T_{tr}$ ) donnée par le formulaire du foreur sur le poids apparent du tubage ( $G$ ) qu'on multiplie fois la gravité  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$G = G_{air} \times f$$

$f$ : le facteur de flottabilité qui est calculé comme suit :

$$f = 1 - d_b / d_a$$

$d_a$ : densité de l'acier qui est égale à 7,85

$$f = 1 - 1,55 / 7,85$$

$$f = 0,802$$

$G_{\text{air}}$  : poids du casing en air

$$G_{\text{air}} = G_u \times l$$

$G_u$  : poids unitaire du casing et des crépines.  $G_u = 13,5 \text{ lb/ft} = 20,088 \text{ Kg/m}$

$l$  : longueur total du liner.  $l = 1210 \text{ m}$

$$G_{\text{air}} = 20,088 \times 1210$$

$$G_{\text{air}} = 24306,48 \text{ Kg}$$

Donc le poids apparent du tubage est:

$$G = 24306,48 \times 0,802$$

$$G = 19493 \text{ Kg}$$

D'après le formulaire du foreur la résistance à la traction des tubes est  $T_{tr} = 137 \cdot 10^4 \text{ N}$

On aura :

$T_{tr} / G \times g = 137 \cdot 10^4 / (19493 \times 9,81) = 7,16$  qui est supérieur au coefficient de sécurité à la traction, donc notre tubage résiste à la traction.

#### **D/ Vérification de la résistance des tiges aux différentes sollicitations :**

Les tiges utilisées sont :

Tige 3<sup>1/2</sup>, 13, 30 #, grade G105, filetage IF

#### **Pression d'écrasement ( $P_{\text{ecr}}$ ):**

C'est la pression hydrostatique dans l'espace annulaire casing 7'' et drill pipe. Pour la vérification on suppose que l'annulaire est rempli de boue et l'intérieur du casing est vide.

#### **Calcul de pression hydrostatique :**

$$P_{\text{hyd}} = (H \times d_b) / 10,2$$

$H$  : la profondeur vertical (TVD) de la première tige qui est égale à 2765 m

$$P_{\text{hyd}} = 2765 \times 1,55 / 10,2$$

$$P_{\text{hyd}} = 420,17 \text{ bars}$$

D'après le formulaire du foreur  $P_{\text{ecr}} = 136,2 \text{ Mpa} = 1362 \text{ bars}$

Pour vérification :

$$P_{\text{ecr}} / P_{\text{hyd}} > K_{\text{écr}}$$

$$P_{\text{ecr}} / P_{\text{hyd}} = 1362 / 420.17 = 3.24 \text{ qui est supérieur à } 1,125$$

Donc on a la résistance à l'écrasement.

### Pression d'éclatement (P):

Pour la vérification on suppose que l'intérieur des tiges est plein de gaz et l'annulaire vide, le coefficient de sécurité API à l'éclatement est  $K_{\text{écl}} = 1.10$ .

- **Calcul de la pression du gaz en tête des tiges : P**

$$P = P_g - P_{\text{cg}} = P_g - H_g \times d_g / 10,2$$

$P_g$ : pression de gisement avec  $P_g = 500$  bars

$P_{\text{cg}}$ : pression de la colonne de gaz jusqu'au top des tiges avec  $P_{\text{cg}} = 142,48$  bars

$H_g$ : représente la hauteur de gaz jusqu'au top des tiges avec  $H_g = 3345$  m

$d_g$ : la densité de gaz avec  $d_g = 0,36$

$$P = 381,94 \text{ bars}$$

D'après le formulaire du foreur :  $P_{\text{ecl}} = 133,2 \text{ Mpa} = 1332 \text{ bars}$

$$\text{On aura : } P_{\text{ecl}} / P = 1332 / 381,94 = 3,48 > 1,1$$

Donc on a la résistance à l'éclatement est vérifiée.

### Résistance à la traction : ( $T_{\text{tr}}$ )

Pour vérifier si nos tiges résistent à la traction, on devise la valeur de la résistance à la traction ( $T_{\text{tr}}$ ) donnée par le formulaire du foreur sur le poids apparent des tiges (G) ajouté au poids apparent du liner qu'on multiplie fois la gravité  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$G = G_{\text{air}} \times f$$

f : le facteur de flottabilité qui est calculé comme suit :

$$f = 1 - d_b / d_a$$

$d_a$ : densité de l'acier qui est égale à 7,85

$$f = 1 - 1,55 / 7,85$$

$$f = 0,802$$

$G_{\text{air}}$  : poids des tiges à air

$$G_{\text{air}} = G_u \times l$$

$G_u$  : poids unitaire des tiges.  $G_u = 13,3 \text{ lb/ft} = 19,80 \text{ Kg/m}$

$l$  : longueur total du tiges.  $l = 2765 \text{ m}$

$$G_{\text{air}} = 19,80 \times 2765$$

$$G_{\text{air}} = 54747 \text{ Kg}$$

Donc le poids apparent du tubage est:

$$G = 54747 \times 0,802$$

$$G = 43907,1 \text{ Kg}$$

Il faut ajouter le poids apparent du liner dans la boue  $G_{\text{al}} = 12517,91 \text{ Kg}$

D'après le formulaire du foreur la résistance à la traction des tubes est  $T_{\text{tr}} = 169 \cdot 10^4 \text{ N}$

On aura :

$T_{\text{tr}} / (G + G_{\text{al}}) \times g = 169 \cdot 10^4 / [(43907,1 + 12517,91) \times 9,81] = 3,05$  qui est supérieur au coefficient de sécurité à la traction, donc nos tiges résistent à la traction.

#### 4. Calculs de cimentation :

Pour la cimentation de ce type de liner, on doit calculer :

- Volume de laitier nécessaire pour couvrir tous l'annulaire du liner, du top jusqu'au packer ECP
- Quantité de ciment nécessaire pour ce volume de laitier
- L'eau de mixage
- Le volume de boue nécessaire pour la chasse
- Temps d'injection, de chasse et la durée totale de cimentation
- Débit de refoulement (chasse)
- La pression de refoulement

Pour cela on a les données suivantes :

- Diamètre de l'outil 6''
- Profondeur du puits :
  - ✓ Cote mesurée : 3975 m
  - ✓ Cote verticale (TVD) : 3345,44 m
  - ✓ KOP = 2760 m
- Position de sabot 7" : MD = 3300 / TVD = 3177,56
- Top du liner : MD = 2759 / TVD = 2759

- Cote d'ancrage du Liner Hanger-Packer : MD = 2767 / TVD = 2766,93
- Cote du packer ECP : MD = 3336 / TVD = 3191,27
- Cote du landing collar : MD = 3337 / TVD = 3191,62
- Distance landing collar-top liner = 578m
- Top du laitier : MD = 2710 m
- Densité de la boue :  $d = 1,30$
- Gradient géothermique :  $2,8\text{C}^\circ/100\text{ m}$

**a. Caractéristiques du matériel tubulaire :**

	Poids		Grade	Filetage
	Lb /ft	Kg /m		
Casing 7"	32	47,62	P110	New Vam
Liner 4.5"	13,5	20,00	P110	New Vam
Crépine 4.5"	13,5	20,00	N80	Vam Top
DP 3.5"	13,30	19,80	G105	IF

**Tableau 21** Caractéristiques du matériel tubulaire

**b. Tableau des volumes unitaires :**

(D'après le formulaire du foreur édition 1999)

	volumes unitaires (l/m)
CASING 7" ( $U_{C7}$ )	18,81
casing 4.5" ( $U_{C4}$ )	7,79
DP 3.5" ( $U_{DP}$ )	3,82
CASING 7"- DP 3.5" ( $U_{CD}$ )	12,21
CASING 7"- casing 4.5" ( $U_{CC}$ )	8,52
Open Hole 6" -casing 4.5" ( $U_{CT}$ )	7,94

**Tableau 22** volumes unitaires

c. Schéma du puits :

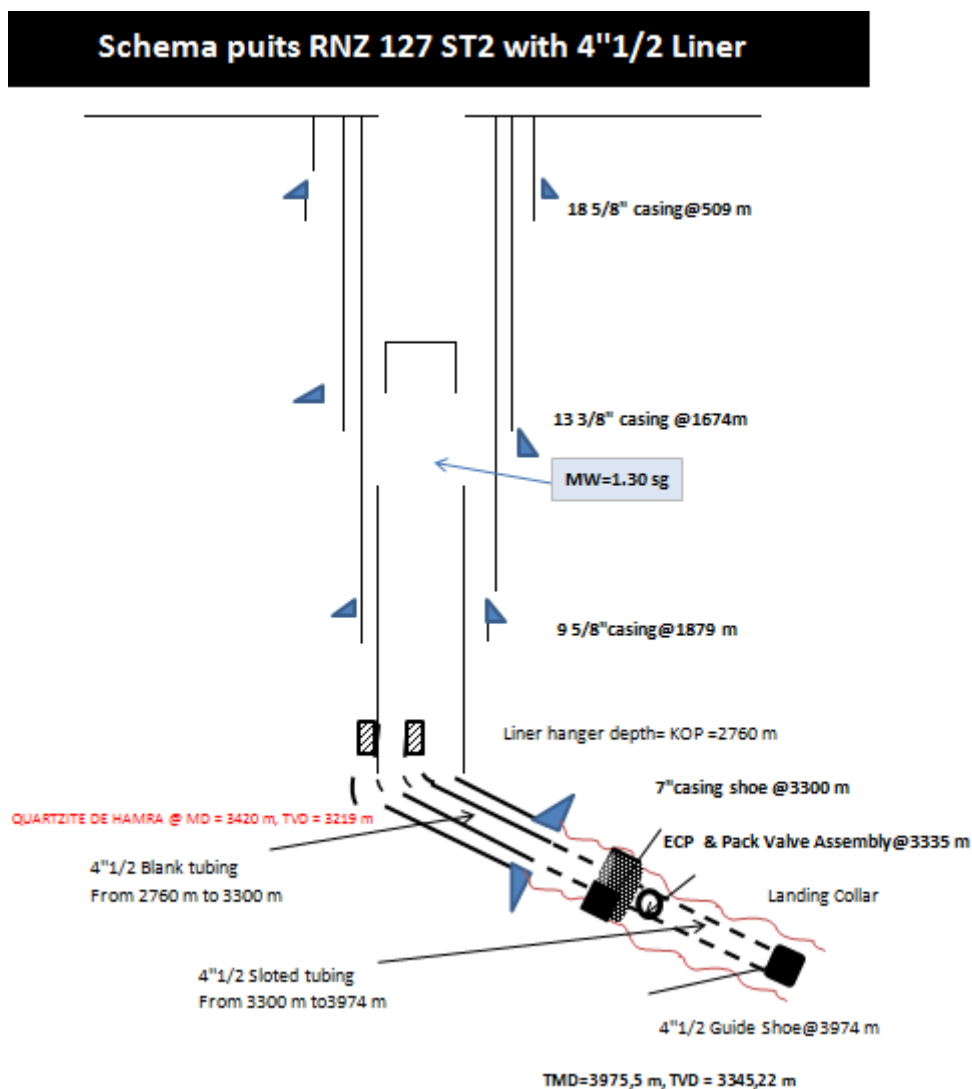


Fig.52.Schéma du puits RNZ127 ST2

d. Détermination de la hauteur maximale du laitier:

La hauteur du laitier dans l'espace annulaire est limitée par la pression de fracturation de la roche de la zone la plus fragile (au niveau du sabot).

Calcul de la pression de facturation:  $P_{frac}$

$$P_{frac} = Z_s \times d_{frac} / 10,2$$

$Z_s$  : cote du sabot 7''.  $Z_s = 3177$  m (TVD) ,  $Z_s = 3300$  m (MD)

$d_{frac}$  : densité de fracturation de la roche au niveau du sabot.  $d_{frac} = 1,8$

Donc :  $P_{frac} = 3177 \times 1.80 / 10,2$

$P_{frac} = 560,64$  bars

Calcul la hauteur maximum admissible de laitier (H) par rapport au point fragile

On doit avoir :

$$P_{hyd l} + P_{hyd b} < P_{frac}$$

On aura :  $h_{l max} < \left( \frac{d_{frac} - d_b}{d_l - d_b} \right) h_s$

D'où  $h_{l max} = 2647,5$  m

On pourra donc mettre 2647,5 m de laitier au-dessus de sabot 7'' et le top laitier sera à :

$3177 - 2647,5 = 529,5$  m

#### e. Calcul du volume total du laitier:

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3$$

$V_1$ : volume Open hole 6" -casing 4.5"

$V_2$ : volume casing 7" - casing 4.5"

$V_3$ : volume casing 7" - DP 3.5"

#### ➤ Calcul de $V_1$ :

$$V_1 = V_a \times (1 + E_c)$$

$V_a$ : volume du laitier dans l'open hole plus l'excès du aux pertes

$$V_a = U_{CT} \times H_{CT} \times (1 + E)$$

E : représente l'excès du laitier pris par mesure de sécurité pour palier au problème de perte dans le puits,  $E = 4,58\%$

$E_c$ : représente l'excès du laitier pris par mesure de sécurité qui est dû aux irrégularités du puits, sa valeur est obtenue par le caliper,  $E_c = 100\%$

$H_{CT}$ : représente la hauteur: bottom cement –sabot 7"

$$H_{CT}=3335 - 3300 = 35\text{m}$$

$$V_a = 7,94 \times 35 \times (1+0,0458)$$

$$V_a = 290,63 \text{ L}$$

Donc

$$V_1 = 290,63 \times (1+1)$$

$$V_1 = 581,26 \text{ L}$$

➤ Calcul de  $V_2$  :

$$V_2 = U_{CC} \times H_{CC}$$

$H_{CC}$ : représente la hauteur sabot 7"- top liner

$$H_{CC} = 3300 - 2760 = 540 \text{ m}$$

$$V_2 = 8,52 \times 540$$

$$V_2 = 4600,8 \text{ L}$$

➤ Calcul de  $V_3$  :

$$V_3 = U_{CD} \times H$$

H : hauteur exige par le maitre d'œuvre prise par mesure de sécurité

$$H = 2760 - 2710 \Rightarrow H = 50 \text{ m}$$

$$V_3 = 12,21 \times 50$$

$$V_3 = 610,5 \text{ L}$$

Donc on aura le volume total :

$$V_{\text{tot}} = 581,26 + 4600,8 + 610,5$$

$$V_{\text{tot}} = 5,8 \text{ m}^3$$

#### f. Calcul de la quantité de ciment et le volume d'eau douce utilisée :

La densité du laitier utilisé est  $d_l = 1,9$  de classe G, d'un rendement  $R = 1,046 \text{ m}^3/\text{T}$

D'après le formulaire du foreur, le volume d'eau douce nécessaire pour 100 Kg de ciment

est : 44,1 L/100Kg, et le volume du laitier obtenu pour la même quantité de ciment est :

75,8L/100Kg

- **La quantité de ciment :  $Q_C$**

$$Q_C = V_{\text{tot}} / R = 5,8 / 1,046$$

$$Q_C = 5545 \text{ Kg}$$

- **Calcul de la quantité de silica flour  $Q_{\text{silica}}$  qui correspond à  $Q_C$  :**

$$35\% \text{ de silica en masse} \longrightarrow 1 \text{ T de ciment}$$

$$Q_{\text{silica}} ? \longrightarrow 5,545 \text{ T}$$

$$\text{On aura : } Q_{\text{silica}} = 1,94 \text{ T}$$

- **Le volume d'eau douce:  $V_E$**

$$V_E = V_{\text{tot}} - V_C - V_{\text{silica}} = V_{\text{tot}} - Q_C / d_c - Q_{\text{silica}} / d_{\text{silica}}$$

$$V_E = 5,8 - 5,545 / 3,17 - 1,94 / 2,65$$

$$V_E = 3,31 \text{ m}^3$$

Avec  $d_c$  : densité du ciment  $d_c = 3,17$

$d_{\text{silica}}$  : densité du silica  $d_{\text{silica}} = 2,65$

**g. Calcul du volume total de chasse :  $V_c$**

$$V_c = V_{IT} + V_{IC}$$

- $V_{IT}$ : représente le volume intérieur des tiges, il est calculé comme suit :

$$V_{IT} = U_{DP} \times H_{IT}$$

$H_{IT}$ : représente la longueur totale des tiges depuis le top du liner à la surface

$$H_{IT} = 2759 \text{ m}$$

$$V_{IC} = 3,82 \times 2759$$

$$V_{IC} = 10539,38 \text{ L}$$

- $V_{IC}$  : représente le volume intérieur du tubage, il est calculé comme suit :

$$V_{IC} = U_{C4} \times H_{IC}$$

$H_{IC}$ : représente la longueur du tubage 4<sup>1/2</sup> entre le landing collar et le top du liner

$$H_{IC} = 3337 - 2759 = 578 \text{ m}$$

$$V_{IC} = 7,79 \times 578$$

$$V_{IC} = 4502,62 \text{ L}$$

Finalement, le volume de chasse  $V_C$  est :

$$V_C = 10539,38 + 4502,62$$

$$V_C = 15 \text{ m}^3$$

- **Le temps de mixage est de :**

$$T_m : 40 \text{ mn}$$

#### h. Calcul du temps d'injection du laitier: $T_I$

Le temps d'injection égale a la somme des temps d'injection du laitier, et du spacer

$$T_I = T_{IL} + T_{IS}$$

$T_{IL}$ : temps d'injection du laitier

$T_{IS}$ : temps d'injection du spacer

$$T_{ii} = V_i / Q_i ; T_{ii} = T_{IL}, T_{IS}$$

$Q_i$ : est le débit d'injection

$V_i$ : le volume à injecter

	Volume (l)	Débit (l /mn)	temps d'injection (mn)
Spacer	7000	600	11,66
Laitier	5800	600	9,66

**Tableau 23** Temps d'injection du spacer et du laitier

On aura le temps d'injection total :

$$T_I = 21,32 \text{ mn}$$

#### i. Calcul du temps de chasse : $T_C$

La chasse est effectuée par 1,6 m<sup>3</sup> d'eau suivie par 13,4 m<sup>3</sup> de la boue de forage à différents débits

$$T_C = V_C / Q_C$$

	volume (l)	débit (l /mn)	temps de chasse (mn)
Eau	1600	600	2,66
Boue	6000	500	12
	2000	300	6,66
	5400	200	27

Tableau 24 Temps de chasse

Donc le temps total de la chasse est :

$$T_C = 48,32 \text{ mn}$$

#### j. Calcul de la durée totale de cimentation : T

$$T = T_I + T_C + T_{TL} + T_{CD}$$

$T_{TL}$  : représente la durée de test du liner qui est égale à 10 mn

$T_{CD}$  : représente la durée de la circulation de l'excès de ciment qui est calculé comme suit :

$$T_{CD} = (U_{CD} \times H_{IT}) / Q$$

Q: débit de circulation de l'excès de ciment qui est égale à 1000 L

$$T_{CD} = (2759 \times 12,21) / 1000$$

$$T_{CD} = 33,68 \text{ mn}$$

$$T = 21,32 + 48,32 + 10 + 33,68$$

Donc le temps total de la cimentation est 113,32 mn

#### k. Calcul de la pression de refoulement : ( $P_{ref}$ ) en bars

La pression maximale prévisible en fin de refoulement est égale à la différence de la pression entre espace annulaire et l'intérieure du tubage.

$$P_{P_{ref}} = \frac{H_b \cdot d_b}{10,2} + \frac{H_s \cdot d_s}{10,2} + \frac{(H - H_b - H_s) \cdot d_L}{10,2} - \frac{(H - H_e) \cdot d_b}{10,2} - \frac{H_e \cdot d_e}{10,2}$$

$H_b$  : hauteur de la boue dans l'espace annulaire (m).

$$H_b = 2142 \text{ m.}$$

$H_s$  : hauteur de spacer dans l'espace annulaire (m).  $H_s = 568 \text{ m.}$

**H:** cote du Packer ECP: **H =3336 m.**

**H<sub>e</sub> :** hauteur de l'eau a l'intérieur des tiges(m). **H<sub>e</sub>=418,84 m**

**d<sub>L</sub>, d<sub>b</sub>, et d<sub>s</sub>** sont les densités respectivement du laitier de ciment, boue et celle du space

**P<sub>ref</sub> = 54,71 bar**

**5. Caractéristiques des fluides utilisés :**

➤ **Spacer :** Volume : 7 m<sup>3</sup>

Densité : 1,4

Additif	Description	Unité	Rendement par m3	Total
Eau	Eau douce	l	860	6020
D42L	Anti-Mousse	kg	10	70
GW 22	Agent Gélifiant	kg	3	21
MCSB	Solvant	l	25	175
Barite	Alourdissant	kg	515	3605

**Tableau 25** Composition du Spacer

➤ **Laitier :** Le ciment utilisé est du type Blend qui est un ciment de classe G mixé avec 35% de silica flour en poids de ciment (35% de silica pour une tonne de ciment). Utilisé dans les hautes températures dans le but de prévenir le retrait de ciment après prise.

Les données suivantes sont obtenues au laboratoire :

- Temps de prise : Il est égale à 4 h 20 mn pour une viscosité de 40 cP  
Il est égale à 4 h 35 mn pour une viscosité de 100 cP
- Rhéologie : Type du laitier : binghamien

FANN 35 data

RPM	BHCT
300	126
200	84
100	58
6	26
3	15
PV (cP)	102
YP (lb /100ft <sup>2</sup> )	24

**Tableau 26** Rhéologie du laitier

	Gel Strength (lb/100 ft <sup>2</sup> )
10 s:	15
10 min:	32

**Tableau 27** Gel du laitier

- Eau libre : 0 cc
- Fluid loss: 26 cc / 30mn à 1000 psi
- Composition: Volume: 5,8 m<sup>3</sup>

Densité : 1,90

La composition du laitier est représenté dans le tableau suivant :

Additif	Description	Unité	Rendement par m3	Total
Dyckerhoff	Cement "G" HSR	Tonne	1	5,8
S-8	Silicate de Fluor	Kg	350	2030
Eau	Eau Douce	m <sup>3</sup>	0,539	3,1262
D 42 L	Anti mousse	L	1	5,8
A2	Stabilisateur	Kg	2	11,6
BA-56	Agent liant	Kg	12	69,6
CD-32	Dispersant	Kg	8	46,4
R 15 L	Retardateur	L	3	17,4

Tableau 28 Composition du laitier

- Calcul du débit de chasse critique: ( $Q_c$ ) (l/mn)
- Détermination du débit critique de chasse :

Il faut déterminer le débit de chasse adéquat pour avoir la turbulence dans l'annulaire (évite l'effet de channeling, poche de boue), pour un fluide binghamien on utilise l'équation suivante :

$$Q_c = V_c S$$

$$V_c = \frac{3,04}{(D_{OH} - D_{Liner}) d} \left( \mu_p + \sqrt{\mu_p^2 + 40,05 \tau_0 (D_{OH} - D_{Liner})^2 d} \right)$$

Les données:

$$S = \pi(D_h^2 - OD^2) = 3,14 ( (0,1524)^2 - (0,1143)^2 ) = 0,0319 \text{ m}^2$$

$$D_{OH} - OD_{Liner} = 6'' - 4^{1/2} = 1,5 \text{ in}$$

$$= 152,4 - 114,3 = 38,1 \text{ mm}$$

$$\tau_0 : 24 \text{ lb}/100\text{ft}^2 \quad \mu_p : 102\text{Cp}$$

Avec: OD : diamètre extérieur (in) / D<sub>OH</sub> : diamètre du puits (in) / μ<sub>p</sub> : par (Cp)

D : diamètre intérieur (in) / d : masse volumique en (Kg/l) / τ<sub>0</sub> : seuil de cisaillement lb/100ft<sup>2</sup>

Q : débit en (l/mn) / V<sub>c</sub> : vitesse critique (m/min) / S : section de l'espace annulaire

$$AN: \quad V_c = \frac{3,04}{(6-4,5) \times 1,90} \left( 102 + \sqrt{102^2 + 40,05 \times 24 \times (1,5)^2 \times 1,90} \right)$$

$$V_c = 237,3 \text{ m/mn}$$

On aura:

$$Q_c = 237,3 \times 0,0319$$

$$Q_c = 7570 \text{ L/mn}$$

Donc le débit de chasse du laitier sera supérieur à 7570 l/mn pour avoir un bon régime d'écoulement (turbulence). Mais en tenant compte des formations fragiles ce débit n'est pas réalisable. Pour cela on opte pour des débits qui donnent un régime laminaire effectif.

- Evolution des différents paramètres lors de la cimentation:

Ce sont représenter dans la figure suivante: (Fig.53)

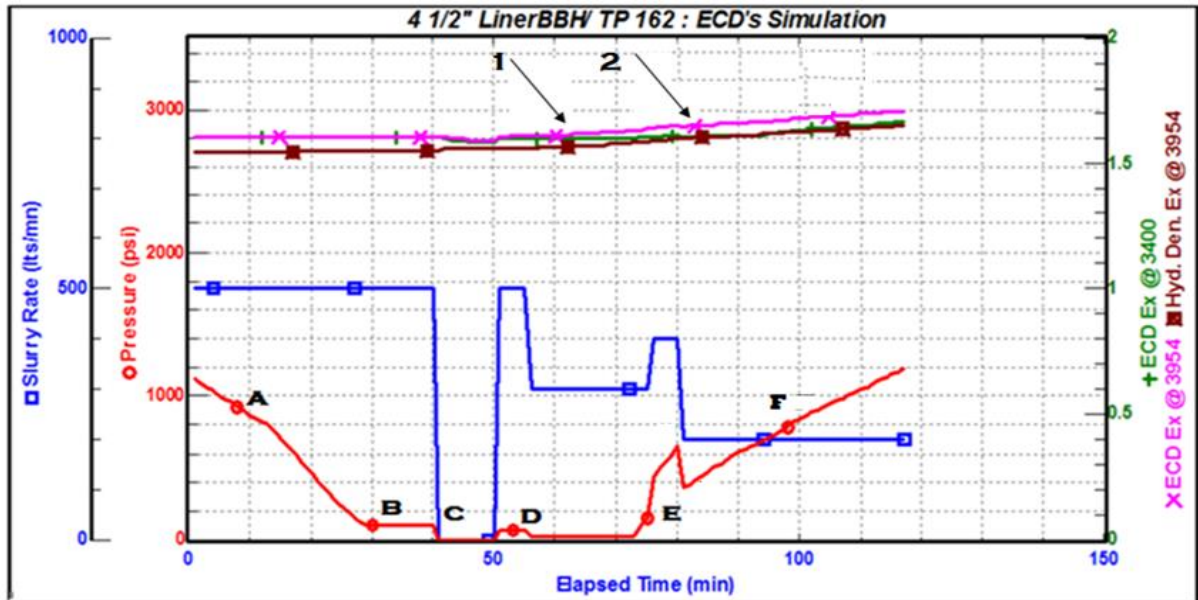


Fig. 53 Evolution des différents paramètres lors de la cimentation

La figure ci-dessus représente les courbes prévisibles de :

- Le graphe en rouge représente la pression lors de l'injection et la chasse du laitier
  - A-B-C** : l'injection du spacer puis laitier par l'unité de cimentation, un à-coup de pression puis chute du fait que la densité à l'intérieur des tiges et du liner est supérieure à celle de la boue dans l'espace annulaire (le laitier et spacer, chasse de la boue par l'effet du tube en U) pendant **26,6 min.** à partir du point **B**, on continue de la chasse avec une pression stable à cause de la longue durée d'injection.
  - C** : montage du 2<sup>ème</sup> bouchon (pump down Plug).
  - D-E** : c'est la chasse du ciment jusqu'à Pac valve par la boue par la pompe à boue avec une pression stable ( $P = 80$  psi), afin d'éviter la fracturation.
  - E-F** : c'est la chasse du laitier dans l'espace annulaire par la boue, donc il faut augmenter la pression de refoulement, le point **E** correspond au temps où le laitier sera au Packer ECP
  - À partir du point **F**, la pression augmente à cause de la fermeture de la pac-valve
- Le graphe en bleu représente les débits de refoulement des différents fluides utilisés.
  - Injection  $5 \text{ m}^3$  de spacer avec 600 l/mn, puis  $11 \text{ m}^3$  de laitier avec 600 l/mn et la chasse Avec  $2,5 \text{ m}^3$  d'eau avec 600 l/mn, puis 6 ; 2 et  $7 \text{ m}^3$  de boue avec respectivement 500, 300 et 200 l/mn
- Le graphe en rose représente la variation de l'ECD (Equivalent Circulating Density) au niveau du Packer ECP
  - Le point 1** : première déflexion correspondant au temps de l'arrivée du spacer dans l'annulaire (à la cote 3954), qui est due à l'augmentation de la densité équivalente dans l'annulaire ajoutée aux pertes de charge.
  - Le point 2** : deuxième déflexion correspondant au temps de l'arrivée du laitier dans l'annulaire (à la cote 3954), pour la raison citée ci-dessus.
- Le graphe en vert représente la variation de l'ECD (Equivalent Circulating Density) au niveau du sabot 7''.
  - Le point 4** : première déflexion correspondant au temps de l'arrivée du spacer à la cote 3400, qui est due à l'augmentation de la densité équivalente dans l'annulaire ajoutée aux pertes de charge.

**Le point 5 :** deuxième déflexion correspondant au temps de l'arrivée du laitier dans à la cote 3400, pour la raison citée ci-dessus.

**Remarque :**

L'ECD est la densité équivalente d'un fluide en circulation calculée en un point comme suit :

$$ECD = d + 10,2 P / TVD$$

d: la densité du fluide considéré en état statique

p : perte de charge dû au mouvement

TVD : la hauteur verticale du point considéré.

**6. Déroulement des opérations descente et cimentation de liner :**

**a. Préparation du trou :**

Le puits doit être soigneusement préparé, car descendre une colonne perdue est une opération plus délicate que descendre une colonne entière. Pour cela, il faut réaliser les opérations suivantes :

- Enregistrement de la déviation du puits à l'aide de MWD et de Gyro (à l'intérieur de tubage). Et circulation pendant trois heures
- Mesure de la température de fond pour déterminer le temps de pompabilité du laitier à l'aide du log PS-résistivité
- Descente d'un caliper pour calibrer le trou pour déterminer le volume approximatif du puits

Après les diagraphies électriques, la descente de la garniture de forage et la circulation ont un double objectif :

- Contrôler la tenue des parois du trou.
- traiter la boue et circuler éventuellement un bouchon de gaz.

**b. Préparation du matériel sur chantier :**

Avant de procéder à la descente du liner, on doit inspecter le matériel comme suit :

**A / habillage de la colonne et inspection du matériel tubulaire:**

- Stockage, nettoyage et calibrage des tubages
- Calibrer les joints avec un calibre API
- Mesure et numérotation des tubages

- Installation des centreurs sur les casings selon le programme d'habillage qui est comme suit :

Deux centreurs pour chacune des deux casings crépines et deux centreurs pour le premier casing au dessus de pac valve.

Un centreur pour les autres casings.

- Vissage du sabot au premier casing crépine avec la colle bakerlock
- Vissage des x-overs aux donnés pour l'adaptation des connexions

### **B/ inspection des composants spéciaux du liner :**

En plus des contrôles habituels relatifs à l'opération tubage -cimentation, il faut s'assurer que :

- Vérification de l'efficacité de la connexion du filetage ACME du setting tool au setting sleeve
- Vérification de l'état du Packer ECP (pas d'endommagement lors du transport)
- Vérification du nombre de shear pins des deux chemises de la pac valve qui correspond à la pression de service
- Vérifier que le filetage du packer ECP correspond à celui du tubage
- Vérifier l'état du filetage du packer.
- Vérifier que Le poids et le grade du packer correspondent à ceux du casing.
- Vérifier que La résistance du casing et celle des équipements (LC, PV, ST) sont suffisamment élevées pour permettre le gonflage du packer.
- Au moment de la descente, retirer l'emballage (protection) de la garniture du packer.

### **C/ Inspection les équipements de cimentation :**

- Graissage de la tête de cimentation et contrôle de l'étanchéité des vannes ainsi que la mise en place du bouchon de cimentation

### **D/ Equipements spéciaux pour la manutention :**

Placer la clé automatique de ENSP et autre équipement nécessaires sur le plancher pour descendre liner (calles pour tubage, collier de sécurité).

### **Procédure de descente :**

- ✓ Visser du sabot au premier casing crépine avec la colle bakerlock et deux centreurs et 4 s.collar,
- ✓ Descente le 2 eme casing crépine avec 2 centreur et 4 s.collar,

- ✓ Remplissage avec la boue et on remonte pour vérifie le bon fonctionnement de sabot
- ✓ Continue à descendre les crépines une par une en appliquant la couple de serrage recommandé 4900 lb /ft (5 crépine),
- ✓ Visser de X-Over avec la colle bakerlock,
- ✓ Visser de flot collar avec la colle bakerlock,
- ✓ Descente un casing plein
- ✓ Visser de landing collar avec la colle bakerlock,
- ✓ Visser le payzone ECP, visser la pup joint avec la colle bakerlock, et le PAC VALVE (présence de l'opérateur de Baker 'liner man' est obligatoire),
- ✓ Visser une deuxième pup joint pour l'adaptation des connexions,
- ✓ Visser et descendre le casing plein 4 1/2 avec couple de serrage 4920 lb /ft on utilise la graisse API pour le vissage des casing
- ✓ Visser une pup joint pour l'adaptation des connexions,
- ✓ Visser le liner hanger-packer avec la clé de serrage à chaîne et avec la clé de serrage automatique (présence de l'opérateur de Baker 'liner man' est obligatoire), Faire un test de fonctionnement,
- ✓ Contrôle de l'assemblage, remplir le setting sleeve avec des polymères,
- ✓ Noter le poids **vers le haut : 13 T** et **vers le bas : 13 T**,
- ✓ Placer la tête de circulation et faire une circulation en augmentant peu à peu le débit,
- ✓ Noter le poids **vers le haut : 10 T** et **vers le bas : 10 T**,
- ✓ Descendre le liner avec des tiges 3<sup>1/2</sup> (3 min pour chaque longueur), tout en les calibrant avec un calibre 2<sup>3/8</sup>. On remarque un retour important de boue.
- ✓ Arrêter la descente au niveau de sabot 7,
- ✓ Noter le poids **vers le haut : 63 T** et **vers le bas : 62 T**,
- ✓ Visser la tête de circulation et faire une circulation en augmentant peu à peu le débit
 

<b>5 SPM</b>	-----	<b>460 PSI</b>
<b>10 SPM</b>	-----	<b>550 PSI</b>
<b>13 SPM</b>	-----	<b>620 PSI</b>
- ✓ Noter le poids **vers le haut : 62 T** et **vers le bas : 62 T**,
- ✓ Continue la descente par les tiges 3<sup>1/2</sup>, lorsque en reste 9 m au fond arrêter la descente
- ✓ Visser la tête de circulation et faire une circulation pendant la descente pour nettoyer le puits,

**Ancrage liner hanger (mécanique) :**

- ✓ Avant l'ancrage monter la tête de cimentation, Tester la ligne de cimentation à **5000 psi** pendant **10min**
- ✓ Circuler un volume annulaire (minimum **BOTTOM UP**) avec pression max: 800 psi),
- ✓ Après le **BOTTOM UP** en lever la calle et descente jusqu'à le point de pose,
- ✓ On remonter avec une vitesse rapide jusqu'à la position de circulation **BOTTOM UP**,
- ✓ Poser sur la calle et tourner la table de rotation à gauche **4 tours**,
- ✓ Remonter juste pour lever la calle, poser le poids du liner plus de **10 à 15T**
- ✓ Juste le poids de liner est perdu on arrête la descente donc le hanger est ancré bien,

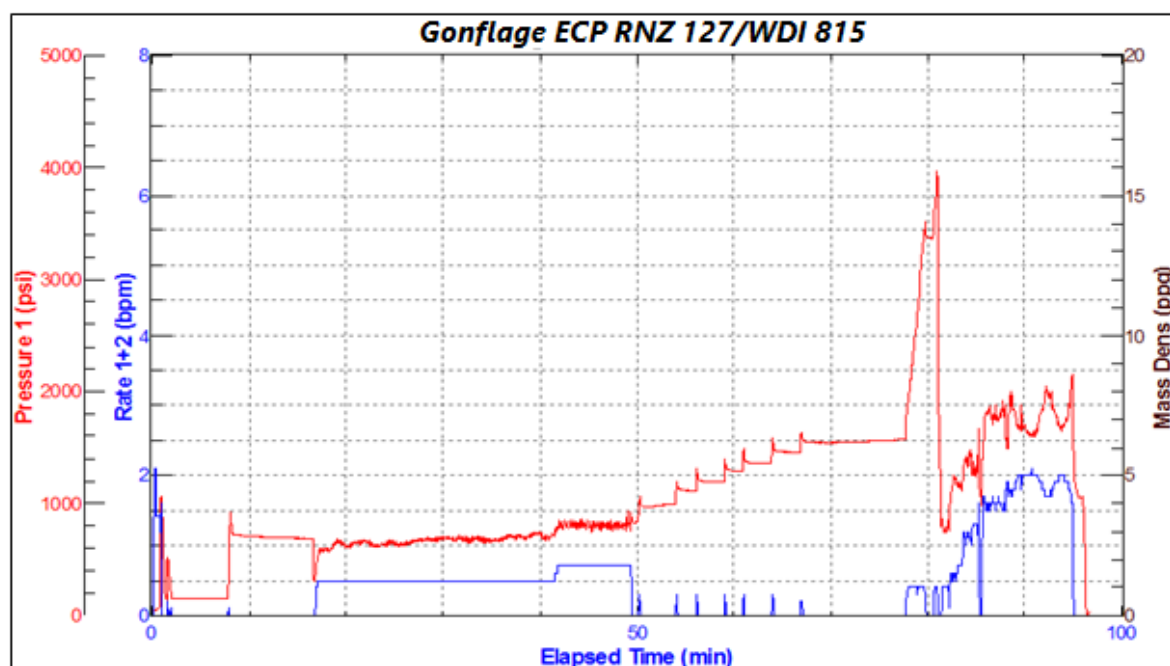
**Gonflage de l'ECP :**

Fig.54. Gonflage de l'ECP

- ✓ Larguer le premier bouchon,
- ✓ Pomper **15 m<sup>3</sup>** de boue lorsqu'on remarque une augmentation de pression et l'absence de retour à la goulotte (le bouchon arriver sur le siège de landing collar),
- ✓ Augmenter la pression avec les pompes de l'unité de cimentation par paliers de **200 PSI** jusqu'à **1250 PSI** les shear valve de l'ECP s'ouvre sous l'effet de la pression différentielle, l'intérieur de la membrane rempli par la boue

- ✓ Si la pression à l'intérieur de l'ECP atteint à **1250 PSI** les check valve se ferme immédiatement,
- ✓ Augmenter la pression jusqu'à **1600 PSI** pour confirmer que l'ECP à fonction bien,

**Pac valve :**

- ✓ Augmenter la pression jusqu'à **3980 PSI** on remarque une chute de pression donc les portes de PAC VALVE s'ouvrent

**Procédure pour réaliser le running tool :**

- ✓ Tourner la table de rotation 10 tours à droite pour Dévisser le setting tool, Remonter 1,5 m pour confirmer définitivement l'ancrage du hanger avec perte 8T de poids (poids de liner),
- ✓ Posé 10 tonnes sans calle,

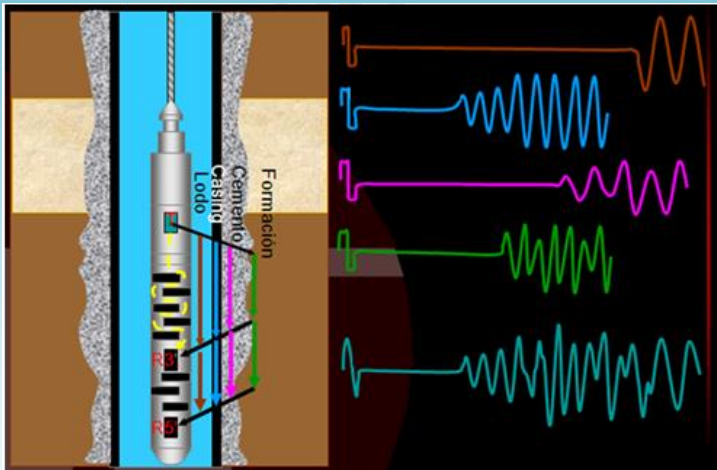
**Cimentation :**

- ✓ Faire une circulation pour nettoyer bien et refroidir le puits,
- ✓ Pompé **7 m3** spacer et **5,8 m3** ciment,
- ✓ Largué le deuxième bouchon,
- ✓ Pompé **1,6 m3** d'eau douce ensuite **13,4 m3** de boue (volume de chasse=15 m3) pour chasser le ciment,
- ✓ Lorsqu'on a une à coup de pression donc les portes de pac valve se ferme à **2400 PSI**,
- ✓ Augmenter la pression jusqu'à **3500 PSI** pendant **10 min** pour tester la colonne, purgé en mesurant le volume au retour
- ✓ Posé 30 tonnes sans calle, pour faire ancrer le top packer
- ✓ remonter de **9 m** du top liner et commencer l'évacuation de l'excès de ciment avec un débit de **1000 lpm** (en fais pas la circulation inverse dans notre cas parce que en doit forer les équipements de liner par la suite par un moteur de fond 'PDM' avec un MWD)
- ✓ démonter la tête et les lignes de cimentation pour libérer le plancher
- ✓ Remonter la garniture et récupérer le setting tool a la présence de l'opérateur de baker.

# CHAPITRE

V

## CONTROLE DE LA CIMENTATION



**Introduction :**

Après avoir cimenté, il est nécessaire de vérifier :

- La hauteur de ciment dans l'espace annulaire
- La qualité de la cimentation
- L'étanchéité du tubage et parfois de la cimentation du sabot

**1. Contrôle de la hauteur de ciment dans l'espace annulaire : (fig.55)**

La méthode la plus courante consiste à effectuer une thermométrie du trou, 6 à 12 heures après la cimentation.

La réaction exothermique de prise du ciment élève la température de la boue au voisinage du ciment. La lecture du diagramme doit permettre de

- déterminer la hauteur de ciment dans l'espace annulaire
- préciser les zones de mauvaise cimentation.

Pour faire cette lecture, il est bon de caler le diagramme de thermomètre sur la courbe du caliper effectué avant de descendre le tubage.

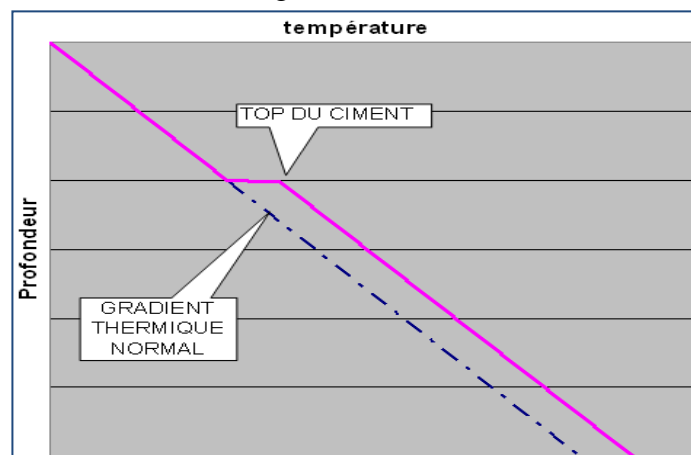


Fig.55 Exemple de thermométrie

**2. Contrôle de la qualité et d'étanchéité:**

Si la thermométrie donne quelques renseignements sur la présence ou non de zones polluées dans la cimentation, elle ne précise pas si le ciment adhère correctement aux parois du tubage. Pour cela on utilise les diagraphies soniques ; CBL – VDL (Cement Bond Log – Variable Density Log). Ce sont des outils sonique qui enregistrent l'amplitude d'une onde sonore dans le tubage dont le taux d'atténuation est fonction de la compression du ciment et du pourcentage de circonférence cimentée.

### 2.1. Principe du CBL : (fig.56)

Elle permet d'étudier et de quantifier la qualité de la cimentation par la mesure d'adhérence.

Un train d'onde de fréquence variant entre 15 et 30 KHz selon les appareillages, est périodiquement généré par un émetteur.

Cette onde traverse la boue, passe dans le tubage, le ciment et la formation si ces divers milieux sont couplés acoustiquement, puis est détectée par un récepteur qui se trouve sur le corps de l'outil (généralement à 3 pieds de l'émetteur).

L'énergie acoustique voyageant le long d'un tube se propage plus rapidement que les ondes de formation elles-mêmes plus rapides que les ondes de boue.

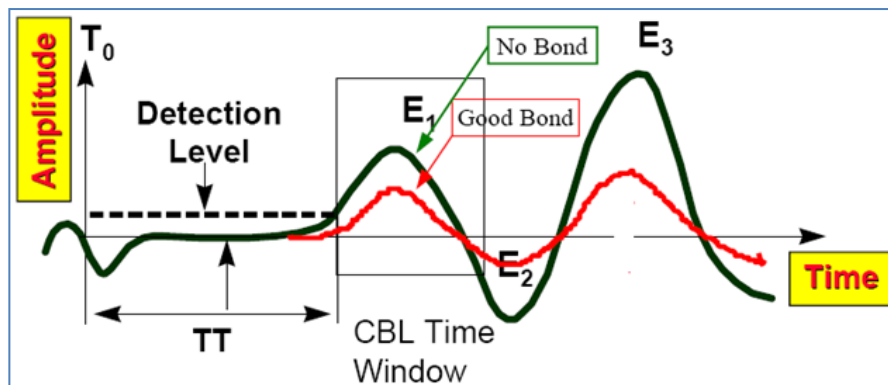


Fig. 56 Principe du CBL

#### 2.1.1. Chemins acoustiques possibles : (Fig.57)

1. Dans le corps de l'outil : Pas vu, à cause de la conception de l'outil
2. Dans la boue : Vu mais arrive très tard
3. Dans le casing : Vu et mesuré
4. Dans la gaine de ciment : Pas vu
5. Dans la formation : Vu dans le cas de bon ciment

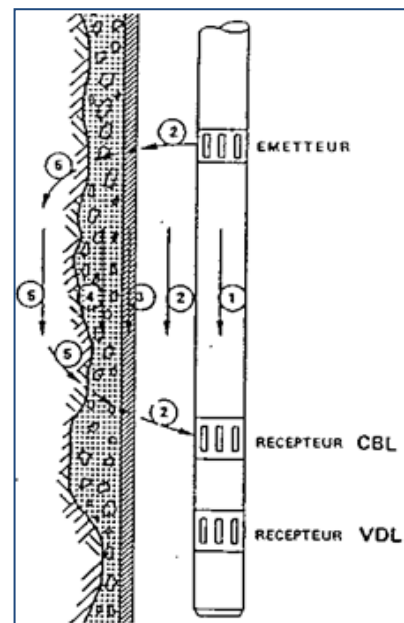


Fig. 57 Parcours possible de l'onde envoyée

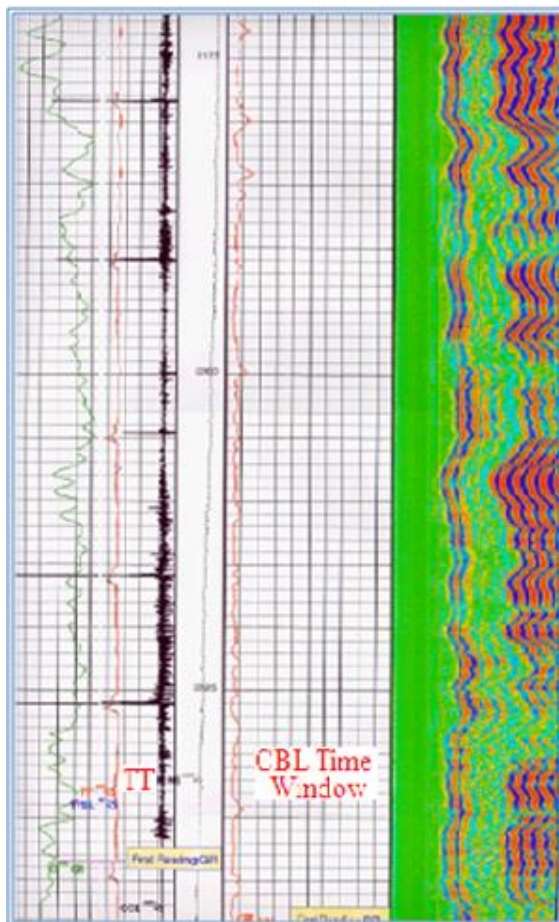


Fig. 58 Exemple d'un bon CBL

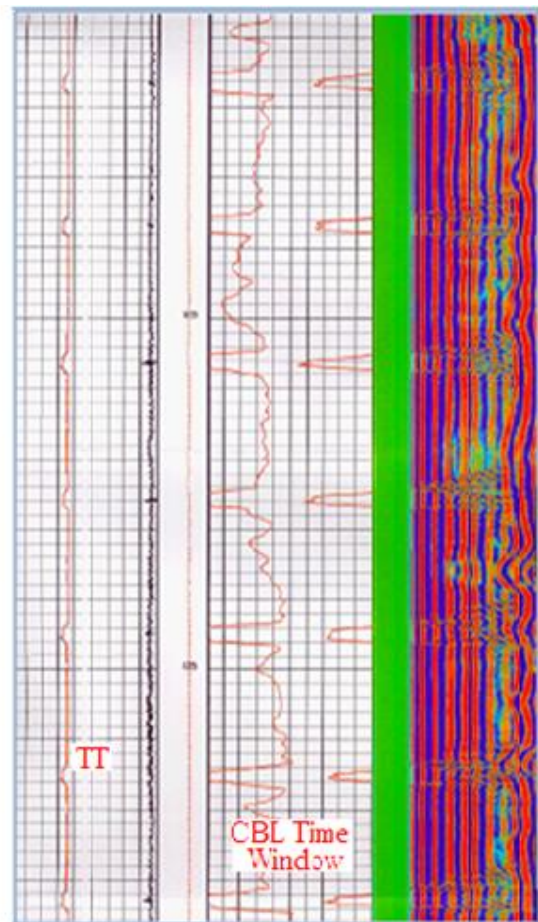


Fig. 59 Exemple d'un mauvais CBL

### 2.1.2 Interprétation du CBL :

- Dans le cas d'un **tubage "libre"** (non cimenté) toute l'énergie acoustique circule le long de l'acier : il y a très peu d'atténuation de l'onde et de l'amplitude de la première arche du signal est importante
- Dans le cas d'un tubage **parfaitement cimenté**, cette énergie se propagera à travers le ciment jusque dans la formation. Il y a grande atténuation de l'amplitude.
- Dans le cas d'un **tubage mal cimenté**, l'énergie se répartit entre le tubage et la formation. L'amplitude mesurée  $A$  sera comprise entre  $A_{\text{maxi}}$  et  $A_{\text{mini}}$ .

## 2.2. Principe du VDL : (fig.60)

Enregistré en complément du CBL, le VDL permet de définir l'adhérence Ciment Formation, par la reconnaissance des arrivées de la formation, et l'atténuation du signal qui permet la détection du microannulus.

L'étude de la qualité de la cimentation peut être faussée par un certain nombre de phénomènes. Il s'est avéré utile d'enregistrer l'ensemble du train d'ondes sonores reçues par un récepteur situé généralement à 5 pieds de l'émetteur.

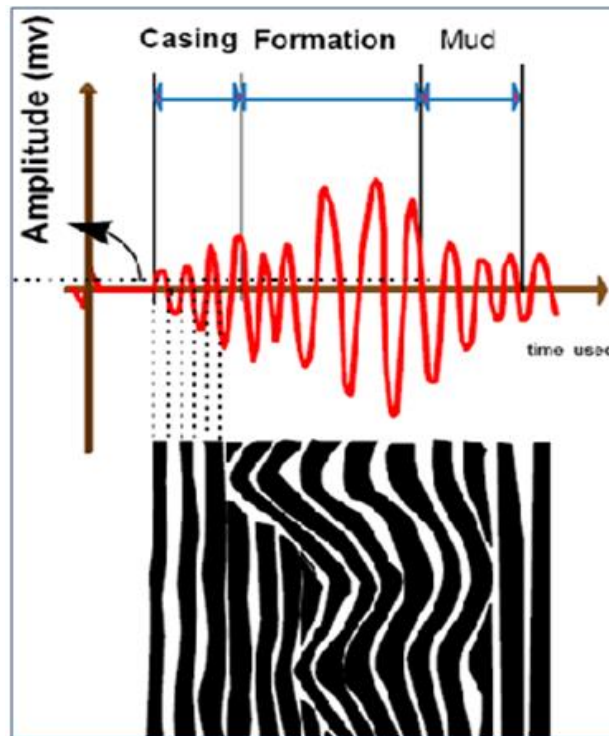


Fig. 60 Principe du VDL

## 3. Interprétation du CBL-VDL :

### A/ Tubage libre (non cimenté) :

- L'amplitude CBL est forte (correspondant à celle attendue en fonction du diamètre du tubage).
- TT approximativement égal à celui calculé à partir des données de la boue et du tubage.
- Ondes du tubage très nettes, rectilignes et bien parallèles sur le VDL.
- Joints de tubage net pour tous les logs.

**B/ Tubage bien cimenté :**

- L'amplitude du CBL est faible.
- Le T.T. est peu différent de celui mesuré dans le tubage libre.
- Dans tous les cas, le VDL montre des ondes de tubage très faibles voire inexistantes et des ondes de formation très nettes dont les variations correspondent à celles vues sur le sonique enregistré en trou ouvert.

**C/ Renardage (tubage faiblement cimenté ou "channeling")**

- L'amplitude du CBL est moyenne.
- Le VDL montre des ondes de tubage relativement bien visibles.
- Bonne liaison tubage-ciment (ondes de tubage sont très atténuées), pas de liaison ciment-formation (ondes formations n'apparaissent pas et seules les ondes de boue arrivent après les ondes de tubage)

**4. Contrôle de la cimentation par l'imagerie USIT : (Ultra Sonic Imager Tool)**

L'outil d'imagerie ultrasonique, représente les majeurs développements sur les outils d'évaluation du ciment. Il est conçu pour donner une image de haute résolution de la paroi du casing et de la distribution du ciment.

L'USIT donne quatre mesures de base:

- L'impédance acoustique du ciment derrière le casing.
- L'épaisseur du casing.
- Le rayon interne du casing.
- L'estimation des conditions de la surface interne du casing.

Le transducteur rotatif de l'outil assure une couverture de 100% de la paroi du casing en faisant 7.5 rotations par seconde en émettant des pulses ultrasoniques à raison de 18 pulses par rotation.

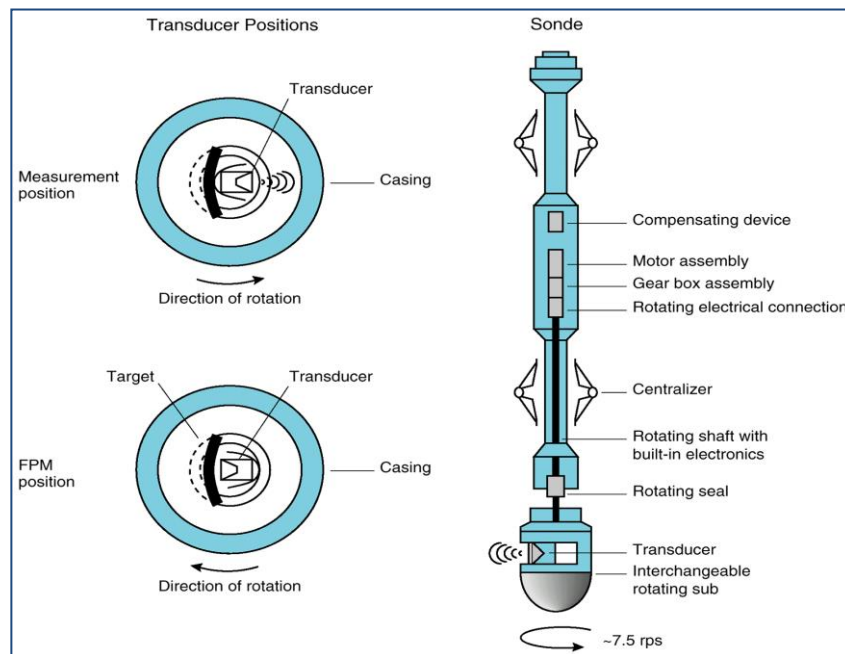


Fig. 61 Outil de l'imagerie

### 5. Facteurs pouvant influencer le contrôle de cimentation :

- La taille du casing et son épaisseur
- La compressibilité du ciment
- Le type et la densité de la boue dans le puits
- Les conditions de fonds (température et pression)
- L'excentricité du casing

### 6. Cas du puits RNZ 127 :

Le tableau ci-dessous montre les différentes opérations de Logging effectués dans notre puits:

HOLE SIZE	PLANNED LOGGING	DELIVERY	INTERVAL
26 in	<i>NO LOGGING REQUIRED</i>		
16''in	GR - SONIC P&S – DENSITY – 06-ARMS CALIPER	WIRELINE	ALL 16 in OPEN HOLE
12.25 in	GR – SONIC – DENSITY – CALIPER	WIRELINE	FROM 13 3/8 in CASING SHOE TO TD
	CBL / VDL/ CCL	WIRELINE	RUN OVER 13 3/8 in CASING TO TOC
8'' 1/2 in	GR – SONIC – DENSITY – NEUTRON	TLC(with DP)	FROM 9 5/8 in CASING SHOE TO TD
	CBL / VDL/ CCL	TLC(with DP)	RUN OVER 9 5/8 in CASING TO TOC
6 in	GR – DENSITY – NEUTRON - SONIC - RESISTIVITY – NGT – IMAGERIES – PRESSIONS – ECHANTILLONNAGE -	TLC(with DP)	FROM 7 in CASING SHOE TO CIMENT DEPTH (SLOTTED CASING)
	CBL-VDL-CCL	TLC(with DP)	RUN OVER 7 in CASING TO TOC

**Tab 29 programme de logging du puits RNZ 127**

#### 6.1. Interprétation des logs CBL-VDL :

Le CBL-VDL du puits RNZ 127 auquel nous avons assisté, est effectué sur une profondeur de 577m, c'est un log très long, pour cela nous avons choisis quelques parties à interpréter. Nous avons pris les parties où apparaissent les cas de mauvaise cimentation. En ce qui concerne

la bonne cimentation nous avons mentionné un exemple qui s'applique pour tout le reste du log.

Selon le type du bonding partiel, nous allons citer tous les cas trouvés dans le log :

Ci-après sont des exemples tirés du log pour certains intervalles :

**De 2760m à 2811m:**

C'est la zone d'ancrage, une bonne cimentation sur cette zone est primordiale pour la suspension de la colonne du liner, mais le CBL enregistré a une amplitude importante ce qui veut dire une cimentation médiocre, ce jugement est renforcé par l'enregistrement foncé d'onde VDL. Ce n'est pas nécessaire d'effectuer un squeeze car on a la double protection des tubages 7" et 4"<sup>1/2</sup>. Et cela est dû au changement du régime d'écoulement.

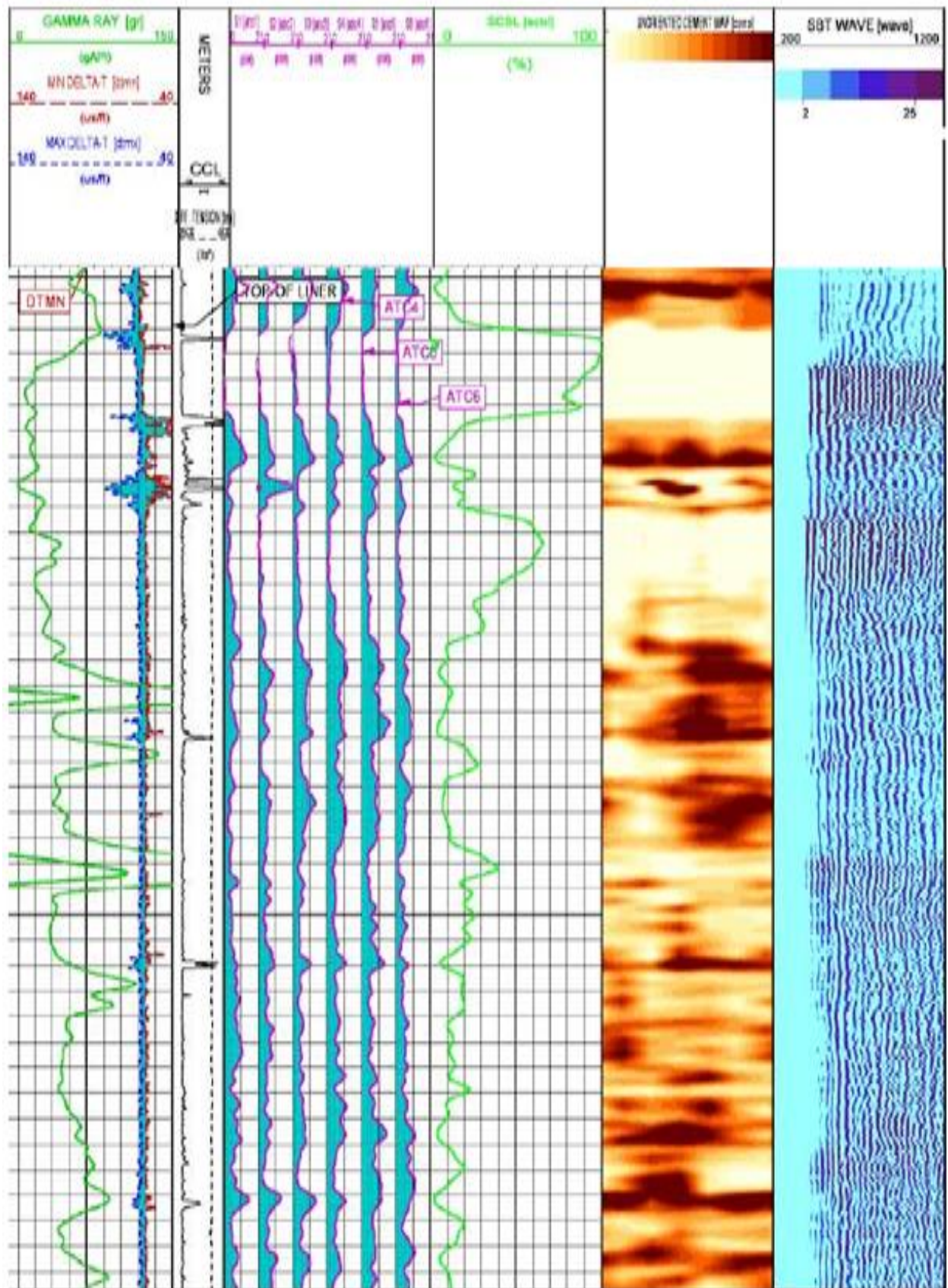
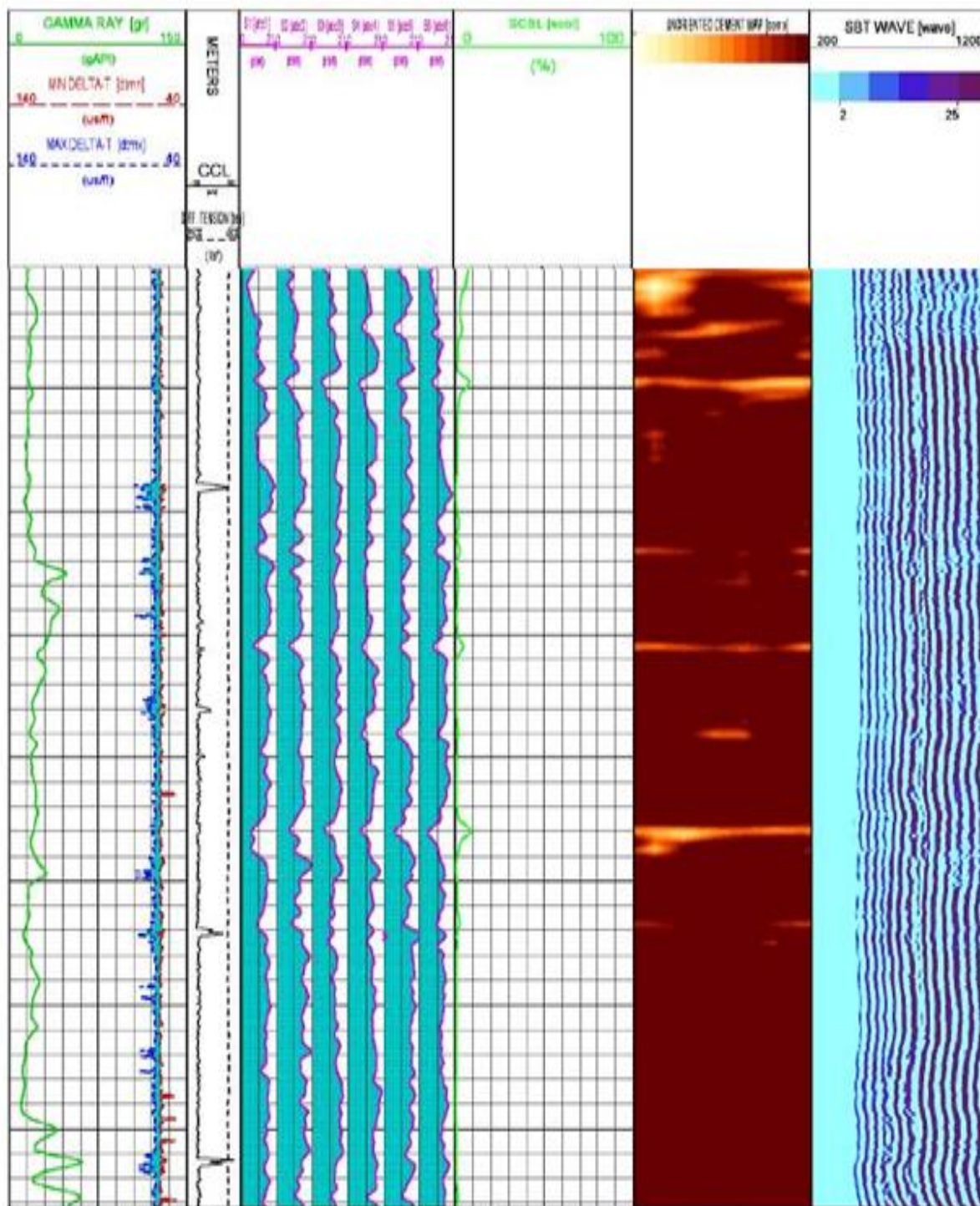


Fig.62 Résultat du Log CBL-VDL (Section 2760 à 2811m)

**De 2811m à 2896m:**

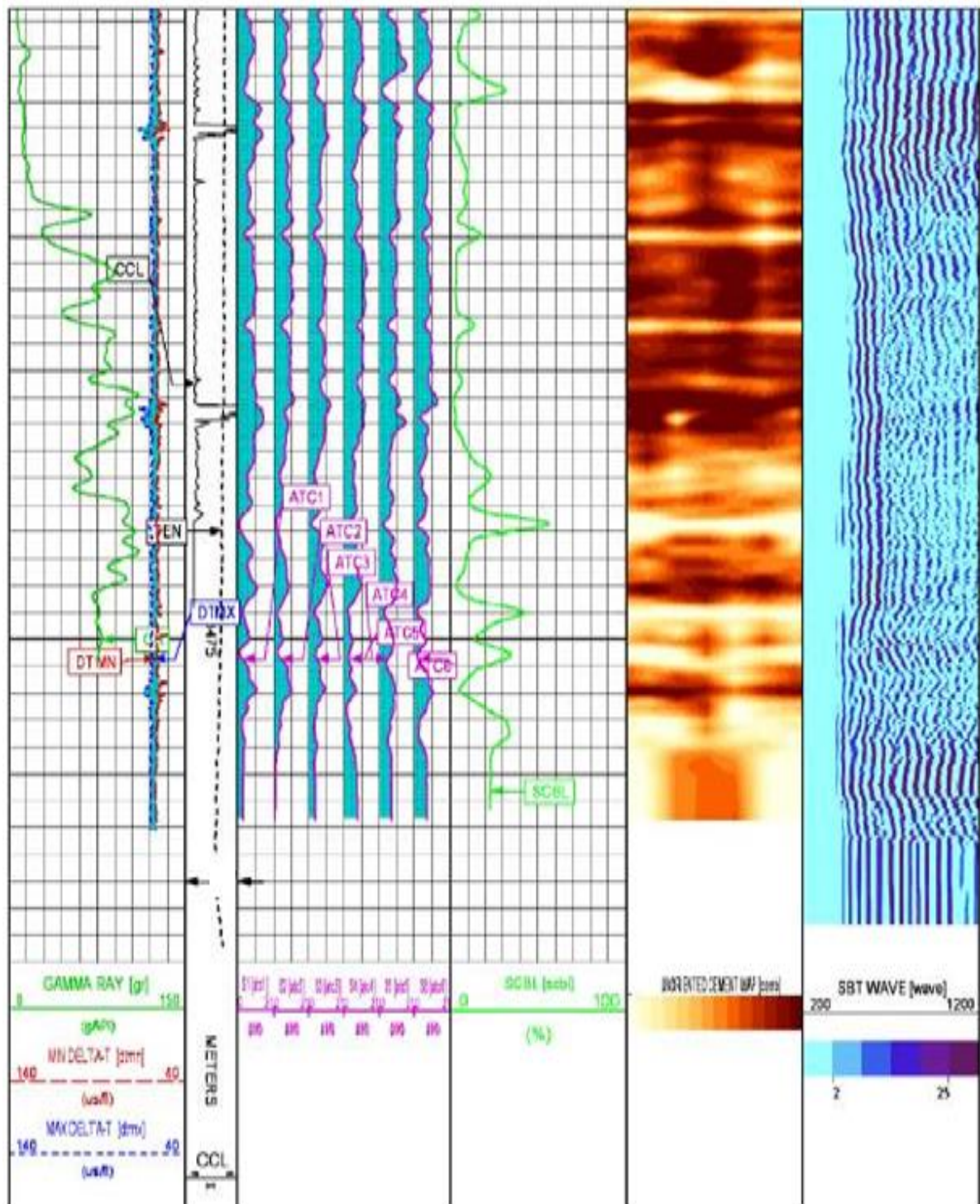
Dans toute cette hauteur le CBL –VDL nous donne les symptômes d’une bonne cimentation. L’enregistrement CBL montre une amplitude très faible de l’onde reçue, un indice d’une très bonne cimentation confirmé par l’image ambiguë de l’onde VDL. D’où une réussite complète de l’opération pour cette zone.



**Fig.63 Résultat du Log CBL-VDL (Section 2811 à 2896m)**

**De 3289m à 3334m:**

l'enregistrement montre qu'elle est comme une sorte de zone de transition entre une zone bien cimentée et une autre mal cimentée, cela peut être due à un changement du régime d'écoulement lors du passage par cette zone jusqu'à la fin de la chasse. C'est dû au mauvais nettoyage du cake.



**Fig.64 Résultat du Log CBL-VDL (Section 3289 à 3334m)****6.2. Commentaire :**

D'après notre analyse on distingue trois parties en ce qui concerne la qualité de cimentation: La première est celle située au top du liner, entre les deux tubages 4<sup>1/2</sup>" et 7", il y a des endroits de mauvaise cimentation, mais on n'a pas besoin d'un squeeze du moment qu'on a une double protection avec un top packer.

La deuxième est celle au-dessus du sabot du liner 7" le log nous montre que c'est une bonne cimentation le travail n'a pas besoin d'intervention.

La troisième qui est de 3289m jusqu'au top du packer ECP est moyennement cimentée surtout au-dessus de ECP cela est dû à un mauvais nettoyage du cake au fond du découvert.

**7. Conclusion :**

Dans le but d'une meilleure évaluation de ciment aujourd'hui, il est nécessaire d'enregistrer les deux outils sonique et ultrasonique de façon à ce que la nature complémentaire de leurs mesures puisse être utilisée pour distinguer les effets sur chaque log qui pourraient être masqué par l'utilisation d'un log seul.

Finalement, l'évaluation du ciment est plus qu'une simple interprétation de logs acoustiques. Pour une évaluation complète de la qualité du ciment, il faut s'intéresser et regarder à toutes les composantes d'une de chaîne de cimentation.

# CONCLUSION



### Conclusion :

L'opération de descente et cimentation de liner est toujours représenté comme une opération très délicate. Elle requiert à la fois une planification rigoureuse et une mise en œuvre parfaitement contrôlée qui seront tracés par des ingénieurs qualifiés en se basant sur diverses études. Toute erreur peut avoir des conséquences très sérieuses.

Elle est différente d'une cimentation d'une colonne de tubage simple car on doit utiliser des équipements spéciaux parfois difficiles à mettre en place, comme par exemple les systèmes de suspension sont différents d'un fabricant à un autre et leur choix soit mécanique ou hydraulique y compris l'utilisation du top packer ou non est assez compliqué et dépend de plusieurs paramètres.

Donc le choix du matériel se fait en fonction du liner avec lequel il va être descendu et en fonction des conditions du puits (pression température et nature de roche du gisement (dure, friable..), type de fluide de formation .....etc.). Et pour que l'opération de la cimentation du liner soit réussite il faut respecter les paramètres suivants :

- ✓ Les éléments constitutifs du liner ;
- ✓ Type de Hanger mécanique ou hydraulique
- ✓ L'existence d'un top packer ou non
- ✓ Les conditions du puits (pression, température, ...)
- ✓ Caractéristiques des fluides utilisés (laitier, spacer, preflush et la boue)

Donc avant le commencement de la descente de liner ou sa cimentation il faut déterminer les paramètres précédant qui influent sur le choix du matériel et de type de fluide utilisé par des opérations du test du puits comme la diagraphie, le DST et le carottage et leak off test par exemple :

✓ Pour les couches productrices minces ou fractures (connaisse par l'opération digraphie ou carottage), Il est préférable de faire un forage horizontal donc obligatoirement le Hanger du liner sélectionné est hydraulique par contre on peut utiliser celui de mécanique pour les puits verticaux ou moyennement déviés.

✓ Pendant le DST si le fluide de formation est gaz il faut utiliser le top packer pour empêcher toute venues lors ou après la cimentation, mais il n'est pas nécessaire dans le cas où le fluide de formation est de huile.

- ✓ L'existence des couches multiples productrices implique une spécification de liner.

## Conclusion et recommandation

---

✓ La densité de fracturation détermine lors de L.O.T est nécessaire pour limité la pression utilisé pendant la circulation, la détermination de la hauteur maximale du ciment ou l'utilisation de deux laitiers de ciment, ou la nécessité de l'utilisation de cimentation étagée, activation de packer ....etc.

✓ Le DST détermine la température et la pression qui servent à connaître les caractéristiques du ciment à utiliser et le temps de circulation avant la cimentation.

### **Recommandations :**

Pour notre puits RNZ-127, il est recommandé d'utiliser:

- ✓ L'utilisation d'une extension Tie-Back est fortement recommandée, pour que, en cas de besoins on peut raccorder la colonne perdue jusqu'à la surface.
- ✓ Assurer de la présence des colmatants sur site pour les ajouter au laitier en cas de pertes lors de la cimentation.
- ✓ Il était préférable d'utiliser la diagraphie de thermométrie pour localiser le sommet du ciment dans l'espace annulaire et la présence de ciment derrière le tubage

L'utilisation d'un chemical wash est recommander pour :

Nettoyage des parois du tubage et de la roche de la boue à l'huile pour les rendre mouillables à l'eau et permettre une meilleure adhérence du ciment.

Le contrôle de la cimentation aide à déterminer les zones à mauvaise cimentation et aussi pour connaître la qualité de cimentation du liner qui doit être bonne, sa hauteur et son étanchéité avec le tubage et la formation sont contrôlées au cours de cette opération, si la cimentation n'est pas bonne on procède à la cimentation supplémentaire (squeeze).

Suite à cette étude, l'opération de descente et cimentation du liner est très sensible, elle a besoin d'une suite d'études et d'opérations du test du puits (carottage, dst, lot...), Pour définir les composantes de liner, le type de complétion le plus adapté....etc., le contrôle de cimentation reste toujours obligatoire, et malgré que la pose et la cimentation de liner vient à la fin du forage de puits mais la réussite de toute l'exploitation dépend de cette opération en première place.

# Bibliographie

1. *Ciments et laitiers*, © Copyright 2006 ENSPM Formation Industrie — IFP Training (pages : 26, 27, 28, 29)
2. *Cimentation d'une colonne perdue ou liner*, © Copyright 2005 ENSPM Formation Industrie — IFP Training (pages : 20, 21, 22, 81)
3. *Les bouchons de ciment*, © Copyright 2006 ENSPM Formation Industrie — IFP Training (pages : 26, 44, 45)
4. *Drilling program well RNZ-127*, SONATRACH (pages: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13)
5. *Rapport d'implantation du sondage RNZ-127*, SONATRACH (pages : 2, 3, 4, 5,6)
6. *Mud Program proposal*, AVA drilling fluids & services (pages: 14, 15, 16, 17, 18)
7. *A. Slimani (SONATRACH) : Le Liner*, Décembre 2002 (pages : 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 56, 57)
8. *Diagraphies de cimentation*, © Copyright 2006 ENSPM Formation Industrie — IFP Training (pages : 82,83, 84, 85, 86,87)
9. *Drilling data Handbook*, 1999 Editions Technip, paris
10. *Procédures de descente des Liners de Baker Hughes*(pages :44, 45,46,47,48,49,50,51,52,53,54)
11. *Procédures générales et spécifiques de pose des Liners*, SONATRACH (pages : 77, 78, 79, 80, 81)
12. *CBL ADVANCED INTERPRETATION*. DOMINIQUE Guillot. SCHLUMBERGER (pages : 88, 89,90, 91, 92)
13. *DAILY REPORTS DU PUIITS RNZ-127*.