REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté d'Hydrocarbures et des Energies Renouvelables et Sciences de la Terre et l'Univers

Département de Forage et MCP

MÉMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention De Diplôme duMasteren forage pétrolière

Option:FORAGE

THÈME

POSE ET CIMENTATION DU LINER 7" avec liner hanger hydraulique (Application sur le puits BBKNP-1)

Réalisé par :

DERRADJI Mansour

HAMOUDA Hicham

Encadré par :

Mr. KHEBBAZ Mohammed El-Ghali

Année Universitaire : 2016/2017

REMERCIMENTS

Nous remercions tout d'abord notre Dieu qui nous a donné la force et la puissance pour terminer ce modeste travail.

Tous nos vifs remerciements à notre promoteur :

Mr KHEBBZ MOHAMMED EL-GHALI

qui nous a guidé à réaliser ce travail, pour son suivi, ses conseils judicieux et sa disponibilité

Nous remercions également ***Mr : ATLILI MOHAMED ELHADI*** *pour son aide*

Et à Ceux qui nous ont accueillis sur le milieu professionnel,

Aussi un spécial remerciement à tous les enseignants du département ***FORAGE ET MCP*** *et à tous les enseignants de la faculté des Hydrocarbures pour les efforts qu'ils ont fournis à tous les étudiants.*

Nous profitant de l'occasion pourremercier aussi tous ceux qui ontcollaboré deprès ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

- ***Mes très chers parents qui ont beaucoup sacrifié à mon bonheur;***
- ***Mes très chers frères et sœurs;***
- ***Très chère à mon cœur Fadhila***
- ***Tous mes amis; et mes enseignants durant toute ma vie ;***
- ***Et à tous ceux qui m'ont encouragé durant ma vie estudiantine.***

DERRADJI Mansour

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

- ***Mes très chers parents qui ont beaucoup sacrifié à mon bonheur;***
- ***Mes très chers frères et sœurs;***
- ***Tous mes amis; et mes enseignants durant toute ma vie ;***
- ***Et à tous ceux qui m'ont encouragé durant ma vie estudiantine.***

Hicham Hamouda

Sommaire

Titres	Pages
Remerciement	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures et liste des tableaux	
Liste des sigles	
-INTRODUCTION	
Chapitre I:Généralités sur le champ de Berkine	
I-1: Présentation du champ de Berkine	02
I-2:Stratigraphie du champ	03
I-3:Descriptiondréservoir	05
I-4.Situation du puits BBKNP-1	06
I-5:L'objectif de sondage	08
I-6:Différentes phases et problèmes attendus	08
Chapitre II: Généralité sur le tubage et cimentation	
II.1.Tubage :	10
II.1.1.Rôle du tubage :	10
II.1.2.Les différentes colonnes de tubage	10
II.1.3.Caractéristiques des tubages	12
II.1.3.1.Fabrication	12
II.1.3.2.Diamètre	13
II.1.3.3.Epaisseur	13
II.1.3.4.Poids	13
II.1.3.5.Types de filetages	13
II.1.3.5.1. Filetages API	14
II.1.3.5.2.Filetages non API	15
II.1.4. Les contraintes sur les tubages	16
II.1.5.Centralisation de la colonne de tubage	16
II.1.6.Harmonisation des diamètres de forage	17
II.1.6.1.Diamètres de l'outil à utiliser pour la phase considérée	17
II.1.6.2.Diamètre intérieur de la colonne précédente	18
II.1.7.Préparation du tubage	19
II.2:Généralité sur la cimentation	20
II.2.1:Introduction	20
II.2.2:Buts de la cimentation	20

II.2.3:Différents types de cimentation	21
II.2.3.1:Cimentation au Stinger	21
II.2.3.2:Cimentation primaire	21
II.2.3.3:Cimentation sous pression : (squeeze ou ésquichage)	22
II.2.3.4:Bouchons de ciment	22
II.2.3.5: Cimentation étagée	22
II.2.4:Paramètres affectant la cimentation	23
II.2.4.1:Le stand-off	23
II.2.4.2:Effet du stand-off sur le déplacement de la boue	24
II.2.4.3:Effet de la rotation de la colonne de tubage sur la cimentation	24
II.2.4.4:L'effet de canalisation	25
II.2.5:Les équipements de préparation et pompage de ciment	25
II.2.6:Ciments et laitiers	26
II.2.6.1: Définition du ciment	26
II.2.6.2: Les différents types de laitiers de ciments	26
II.2.6.3:Fabrication du ciment Portland	30
II.2.6.4:Les différentes classes de ciment	31
II.2.6.5:Les caractéristiques du laitier de ciment	31
II.2.6.6:Critères de choix du laitier	33
II.2.7:Additifs pour ciments pétroliers	34
II.2.8: Fluide intermédiaire (preflush et spacer)	36
II.2.9: Choix des fluides et des écoulements	37
II.2.10: Différents types de régimes d'écoulement	37
Chapitre III: généralités sur le liner	
III.1: Définition	39
III.2: Avantages du liner	39
III.3: Inconvénients du liner	39
III.4: Différents types de liner	40
III.4.1: Liner de forage	40
III.4.2: Liner de production	40
III.4.3: Stub Liners	40
III.4.4: Scab Liners	40
III.4.5: Tie-back liner	41
III.5: Réception et contrôle des équipements du liner sur chantier	42
III.6: Opérations à effectuer avant descente de la colonne	42
III.7. Procédure de descente et ancrage d'un conventionnel liner	43
III.8: Incidents & Solutions	46
Chapitre IV: Descente et Cimentation du Liner du puits BBKNP1	
IV.1:Equipements spécifiques de la colonne suspendue01	49

IV.1.1:Lemanchon de pose (setting sleeve ou setting collar)	49
IV.1.2:Le liner top packer	50
IV.1.3: Dispositif de suspension (liner hanger)	52
IV.1.4:Le joint rotatif (liner swivel)	54
IV.1.5:L'outil de pose (setting tool)	55
IV.1.6:La garniture de pose (setting string)	57
IV.2: Suspension du Liner Hanger	57
IV.3:Ancrage du Liner Packer	57
IV.4:Phase 8 ½" x 7" Production Liner [3152m – 4855m]:	57
IV.5:Calcule de Cimentation	59
IV.6.Procédures de cimentation	66
IV.7.Evaluation de la qualité de cimentation	69
IV.7.1. Contrôle d'une cimentation	69
IV.7.2.Thermométrie: IV.7.3.Principe du CBL (Cement Bond Log)	69
IV.7.3.Principe du CBL (Cement Bond Log)	70
IV 7.4.Principe du VDL (Variable Density Log)	70
IV.7.5.Vérification de la qualité de ciment	71
-Conclusion	
-Bibliographie	

Liste des figures

Figures	**page**
Figure I.1: Situation du Champ de Bassin de Berkine	3
Figure I.2 : les puits voisins de BBKNP-1	6
Figure I.3 : Situation du puits BBKNP-1	7
Figure I.4 : Coupe lithologique du champ de Basin de Berkine	9
Figure II.1:Différentes colonnes de tubage	11
Figure II.2: Différents types de filetage	15
Figure II.3: Filetage New Vam	15
Figure II.4:Les différents types de centreurs	17
Figure II.5: Représentation du jeu manchon	18
Figure II.6: Représentation du jeu outil tubage	18
Figure II.7: déroulement de la cimentation étagée	23
Figure II.8: Effet du stand-off sur le déplacement de la boue	24
Figure.II.9: Effet de la rotation sur la cimentation	24
Figure.II.10:L'effet canalisation causé par laboue	25
Figure.II.11:L'effet canalisation caussé par la migration du gaz	25
Figure.II.12: Régimes d'écoulements	38
Figure III.1: Liner de forage	41
Figure III.2: Stub Liner	41
Figure III.3: Liner de production	41
Figure III.4: Scab liners	41
Figure III.5: Tie-back liner	41
FigureIV.2:Setting sleeve avec PBR	49
Figure IV.1:Le comportement d'un liner	50
Figure IV.3: Ensemble packer, setting sleeve et PBR	51
Figure IV.4: Packer seu	51
Figure IV.5: Ensemble hanger-packer	51
Figure IV.6 :Hanger mécanique	53
Figure IV.7: Hanger hydraulique	53
Figure.IV.8: Liner swivel	54
Figure IV.9:Settingtool mécanique et hydraulique	55

Figure IV.10: Swab cups	56
Figure IV.11:Pack-off bushing et stinger	56
Figure IV 12:Packer	67
Figure IV.13:Ancrage du Liner Hanger	68
Figure IV 14: variation de la profondeur en fonction de la température pour un test de thermométrie	69
Figure IV.15:Outil CBL-VDL	70
Figure IV 16: Bon cimentation par CBL et VDL	71

Liste des tableaux

Tablaux	**Page**
Tableau I.1: Les coordonnées du puits BBKNP-1	6
Tableau II.1:Grades des tubages	12
Tableau II.2:Longueurs des casing	13
Tableau II.3: jeu entre le manchon-trou	18
Tableau II.3:Jeu entre le diametre du trépan et outil de tubage	19
Tableau II.4:Les différentes classes de ciment	31
Tableau IV.1:BottomHoleAssembly pour la phase 6"	57
Tableau IV.2: Paramètres de la boue	58
Tableau IV.3: Programme de tubage: 7" Liner	59
Tableau IV.4: Caractéristiques du matériel tubulaire	61
Tableau IV.5: Volumes unitaires	61
Tableau IV.6 : caractéristiques de laitier	63
Tableau IV.7: caractéristiques de spacer	64
Tableau IV.8:Conditions de bonne qualité de ciment par diagraphie sonique CBL et VDL	71

Liste des sigles

API : American Petroleum Institut

bar:unité de préssion

$BaSO_4$:sulfate de baryum

BHA : BottomHoleAssembly

CO_2 : dioxyde de carbone

Cm : centimètre

CBL : Cement Bond Log

d : densité

daN : decanewton

DC:drill collar

DP:drill pipe (tiges)

ft:feet

H:profondeur

HP:haute préssion

HT:haute temperature

HW : heavyweight

H_2S : sulfur of hydrogen

In:inch

IF:internal flush

KHz:kilo hertz

KN:kilo newton

Km : kilomètre

Kg: kilogramme

K_{ecr} : coefficient d'écrasement

K_{ed} : coefficient d'éclatement

K_{tra} : coefficient de traction

L : longueur

Lbs : livre

Lpm : litre par minute

m:mètre

MD : mudweight

NE-SW : NordEst-SudWest

o/w ration: oil water ration

Poise:unité de la viscosité

Psi : unité de préssion

Pieds : unité de longueur

Pt: poids de tiges

PV : Plastic viscosité

P110 :grade 110

Rpm : Rotate per minute

SG :specific gravity

Spm :strokes par minute

STB : stabilisateur

Std:stands

T : tonne

TT : Travel Time

TVD :true vetical depth

USIT : Ultra Sonic Imager Tool

UTM : Universal Transverse Mercator

VDL : Variable Density Log

WOB :weight on bit

YP : Yield Point

″ : pouce

′ : feet

⁰ : dégrée

#: la masse linéaire

Introduction Générale

L'opération de forage est une opération délicate et coûteuse et dont le but est de rendre un réservoir accessible Ce qui fait appel à plusieurs spécialités et techniques pour minimiser le coût du puits, atteindre l'objectif en toute sécurité et bien préparer le puits (complétion) pour la production, comme la construction métallique et mécanique en travaillant sur les designs des différentes pièces de forage (l'outil de forage par exemple), en se référant sur les expériences antérieures pour améliorer les performances des pièces utilisées.

Le liner (colonne perdue ou suspendue), c'est aussi l'une de ces techniques qui diminue considérablement le coût du forage par rapport au cas de la descente d'une colonne complète, c'est une technique utilisée depuis longtemps, et elle est devenue de plus en plus habituelle et facile à gérer mais malgré cela, elle reste une opération délicate qui nécessite une préparation spéciale, pour cela les recherches sont toujours en cours pour une procédure de descente et de cimentation ou un design du hanger qui tenteront d'éliminer ces complications et réaliser cette opération au moindre coût.

Dans ce travail nous allons suivre la réalisation d'un programme de forage d'un puits pétrolier, celui du puits **BBKNP-1** avec descente et cimentation d'un liner **7 ''**, et en parlant aussi de le liner hanger comme une innovation dans la technique du liner, Notre travail se termine par le contrôle de la cimentation qui déterminera la réussite ou pas de l'opération.

Chapitre I:Généralités sur le champ de Berkine

I-1: Présentation du champ de Berkine

Le champ de Berkine (fig.1) est situé dans la partie nord de la plateforme saharienne, il est limité par[3]:

- ✓ les frontières : tunisiennes et libyennes à l'est
- ✓ bassin d'Ilizi au sud
- ✓ dôme de Dahar au nord
- ✓ Hassi-Messaoud à l'ouest

Le bassin de Berkine constitue la partie occidentale d'un plus grand bassin (Celui de Ghadamès) qui se prolonge vers la Lybie et au sud de la Tunisie.

La partie Algérienne de ce bassin qui est connue sous le nom du grand Erg Oriental, s'étend sur une surface estimée à 120,000 km2 et prolonge en E – W et NS sur 350 Km.[3]

Des activités d'exploration dans le bassin de Berkine ont commencés vers la fin des années 1950 avec la découverte du gaz et du condensât en 1958 dans les quartzites de Hamra (Ordovicien) et les réservoirs Triasiques, environ 150 puits ont étés forés ayant pour résultat la découverte d'un important nombre des gisements d'huile et du gaz.

Le bassin de Berkine est influencé par une série structurale « moles » où sa structure et sa sédimentation sont contrôlées par le temps géologique. Ce bassin est le résultat des différentes phases tectoniques depuis le Précambrien jusqu'au Tertiaire.

Le bassin de Berkine est le bassin le moins exploré de la province orientale. Les travaux récents ont mis en évidence des accumulations de pétrole et montrent également que cette zone peut receler des réserves importantes d'hydrocarbures.

Les principaux réservoirs sont constitués par :[6]

- ✓ Les grés du dévonien inférieur
- ✓ Les grés de l'ordovicien et du cambrien
- ✓ Les niveaux gréseux du carbonifère
- ✓ Les sable et grés du trias

Les roches mères sont constituées par les argiles du gothlandien dont l'épaisseur peut atteindre 250à 300m et du dévonien supérieur et moyen.

Les argiles de l'Ordovicien et du Carbonifère ont également des caractéristiques de roches mères. [6]

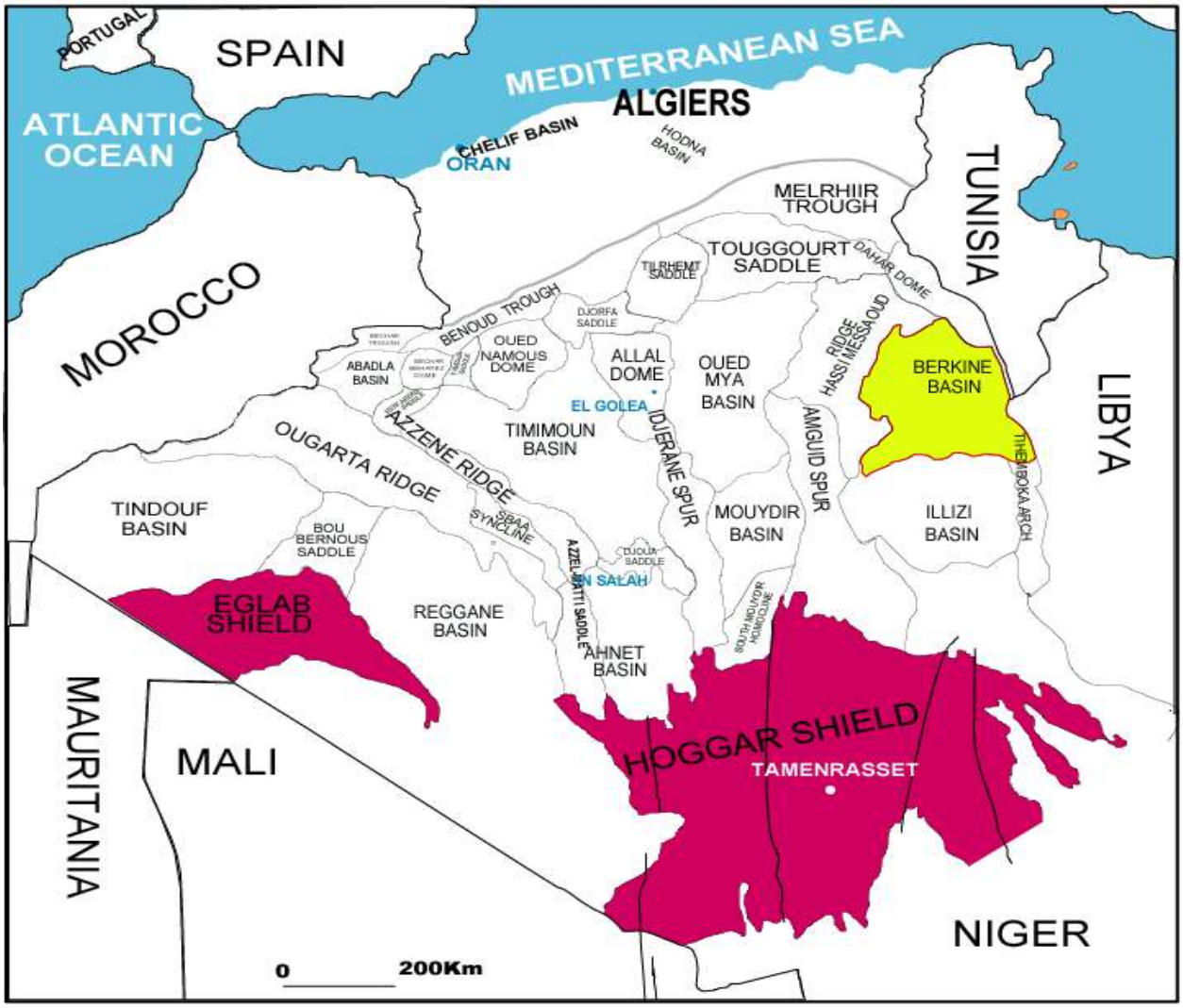


Figure I.1: Situation du Champ de Bassin de Berkine[3]

I-2-Stratigraphie du champ: [6]

a-Cénozoïque (Tertiaire):

- ✓ **Mio- pliocènes :** Son épaisseur moyenne est de 200 mètres. Il est constitué de sable jaune, argile plastique et grés nlanchatre .

b-Mésozoique (secondaire): Son épaisseur moyenne est de 1661 mètres. Il se compose des **:**

- ✓ **Sénonien carbonaté :** Son épaisseur moyenne est de 184 mètres. Il est constitué de calcaire et dolomie avec des passées d'argile et marnes .
- ✓ **Sénonien Anhydritique :** Son épaisseur moyenne est de 221 mètres. Il est constitué de anhydrite avec passées marnes dolomitiques et d'argiles .
- ✓ **Sénonien Salifère :** Son épaisseur moyenne est de 152 mètres. Il est constitué de sel et

anhydrite.

- ✓ **Turonien :** Son épaisseur moyenne est de 58 mètres. Il est constitué de dolomie et argiles.
- ✓ **Cénomanien:** Son épaisseur moyenne est de 216 mètres. Il est constitué des argiles.
- ✓ **Albien :** Son épaisseur moyenne est de 159 mètres. Il est constitué de sable et argiles.
- ✓ **Aptien :** Son épaisseur moyenne est de 30 mètres. Il est constitué de dolomie.
- ✓ **Barrémien :** Son épaisseur moyenne est de 341 mètres. Il est constitué de alternance de sable et argile .
- ✓ **Néocomien :** Son épaisseur moyenne est de 300 mètres. Il est constitué de alternance de grès et d'argile sableuse.

c-Le Jurassique: Son épaisseur moyenne est de 1242 mètres il se compose des :

- ✓ **Malm :** Son épaisseur moyenne est de 232 mètres. Il est constitué de alternance de argile et marnes.
- ✓ **Dogger : :** Son épaisseur moyenne est de 260 mètres. Il est constituéde argile avec de grès anhydritiques et sel.
- ✓ **Lias Anhydritique:** Son épaisseur moyenne est de 210 mètres. Il est constituédeanhydritiques et argile.
- ✓ **Lias Salifere**: Son épaisseur moyenne est de 60 mètres. Il est constitué de alternance sel anhydrite.
- ✓ **Horizon « B »**: Son épaisseur moyenne est de 23 mètres. Il est constitué de dolomie.
- ✓ **S1+S2 +S3:** Son épaisseur moyenne est de 401 mètres. Il sont constitué de Sel massif , passées d'argiles silteuses et d'anhydrite Argile brun rouge, silteuse Grès argileux, fins a grossiers Alternance: Argile dolomitique brun-rouges et calcaires dolomitiques
- ✓ **Lias Argilo-salifère** : Son épaisseur moyenne est de 56 mètres. Il est constitué de grès fin

d-Trias : Son épaisseur moyenne est de 193 mètres il se compose de :

- ✓ **S4:** Son épaisseur moyenne est de 38 mètres il se composede sel avec passées d'argile.
- ✓ **Argilo-salifère** : Son épaisseur moyenne est de 54 mètres. Il est constitué de argile anhydrite et calcaire.
- ✓ **Trias carbonate:** Son épaisseur moyenne est de 64 mètres. Il est constitué de argile calcaire et dolomie .
- ✓ **TAGI:** Son épaisseur moyenne est de 37 mètres. Il est constitué de grés.

e-Dévonien : Son épaisseur moyenne est de 802 mètres , il se compose de:

- ✓ **Frasnien :**Son épaisseur moyenne est de 85 mètres. Il est constitué deargile radioactive.
- ✓ **Givetien :** Son épaisseur moyenne est de 95 mètres. Il est constitué deargile , calcaire.
- ✓ **Emsien :** Son épaisseur moyenne est de 32 mètres. Il est constitué de argile et grès argileux
- ✓ **Siégenien:**Son épaisseur moyenne est de 270 mètres. Il est constitué de Alternance: Grès et Argiles.
- ✓ **Gédinien:** Son épaisseur moyenne est de 320 mètres. Il est constitué de Grès Massif

f-Silurien: Son épaisseur moyenne est de 748 mètres , il se compose de**:**

- ✓ **Silurien Argilo-greseux:** Son épaisseur moyenne est de 648 mètres. Il constitué de Alternance: Argile et Grès.
- ✓ **Silurian Argileux:** Son épaisseur moyenne est de 100 mètres. Il constitué de argile gris a noire silteuse: Pyriteuse

I-3:Description du réservoir :

Le réservoir est constitué de 06 ensembles ou litho zones, qui sont à partir de bas le M1,M2,A1,A2, B1et B2.

Le A1 est compris entre 4566 à 4677 mavec une épaisseur de 100 m, il représente le réservoir principal dans sa partie inferieure , il est formé de grès et d'argile

Le A2 est compris entre 4492 à 4577 m avec une épaisseur de 85 m, il est constitué de grès et d'argile. (6)

- ❖ **Description de la 1ère carotte de 4447 à 4492m dans le SAG unité A2:**

Intercalation de Grés gris blanc, gris beige, parfois gris sombre, très fin à fin, argileux àsilico-argileux, micacé, dur et Argile grise à gris foncé, silteuseà fortement silteuse, feuilletée, micacée, indurée. Fluorescence : Néant, Porosité visuelle: faible.

- ❖ **Description de la 2éme carotte de 4543 à 4470 m dans le SAG unité A2:**

Grés blanc, gris blanc, gris à gris foncé, très fin à fin, subarrondi, siliceux, localement silico-argileux, slico-quartzitique, micacé, dur avec rares films d'Argile grise à gris foncé, silteuseà fortement silteuse, feuilletée, micacée, indurée. Traces de Pyrites et présence des fissures horizontales remplie des calcites Fluorescence : Néant Porosité visuelle: faible(6)

❖ **Description de la carotte de 4660 à 4678m dans le SAG unité M2:**

Intercalations de Grès gris clair à gris foncé. Tès fin à fin, siliceux à silico-argileux, consolidé et d'Argile gris foncé, silteuse, micacée, tendre à indurée, présence des fissures horizontales remplies des argiles gris-noir. Fluorescence de l'ensemble gréseux : Néant. Porosité visuelle : faible. [6]

I-4.Situation du puits BBKNP-1 :

Le puits vertical BBKNP-1 (Fig 3) est situé au bloc 404a du gisement de basin de berkine , il est voisinée par les puits: BBKN8, BBKN9, BBKN20, BBKPSE-1 et BBKPSE2 (fig2).[3]

Les coordonnées UTM « Lambert Sud Algérie» de la plate forme sont les suivantes:

Tableau I.1: Les coordonnées du puits BBKNP-1. [3]

X (m)	Y (m)	Zsol (m)	Ztable (m)
409508.007	3438086.382	182.233	192.233

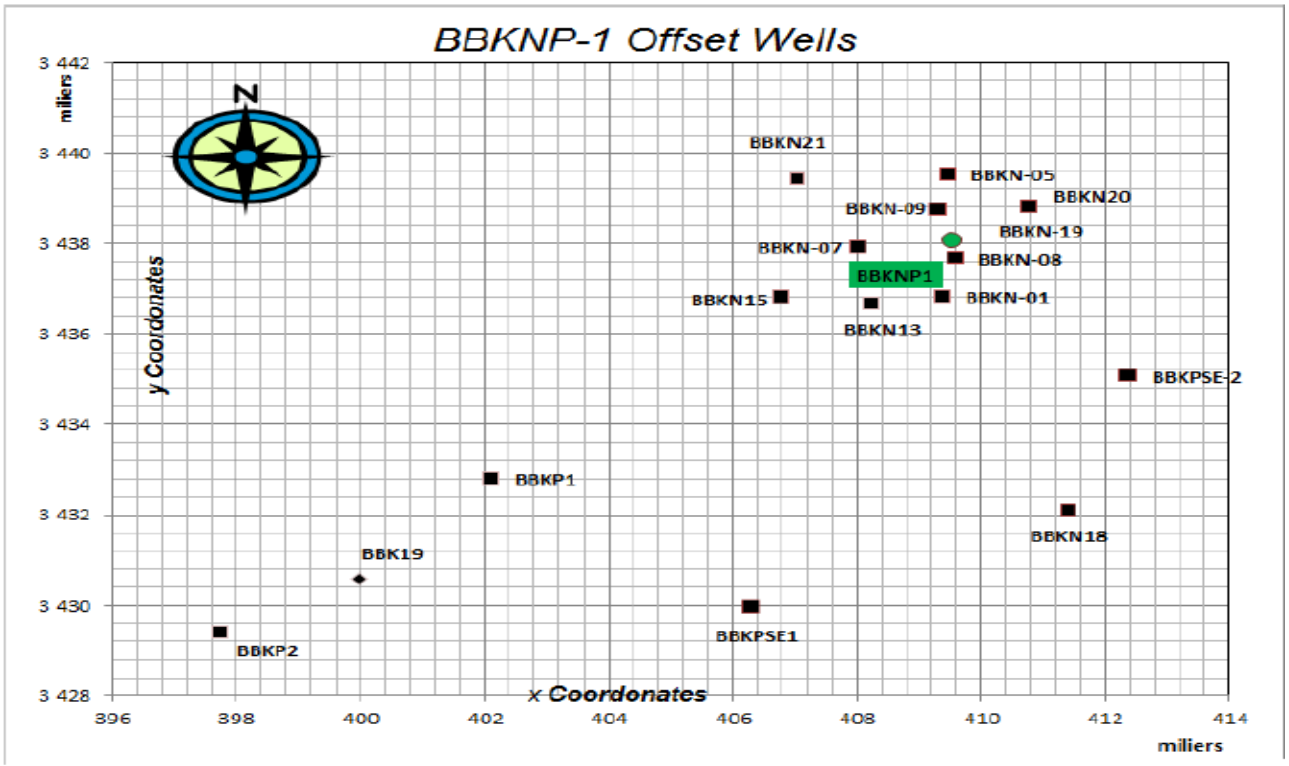


Figure I.2: les puits voisins de BBKNP-1.[2]

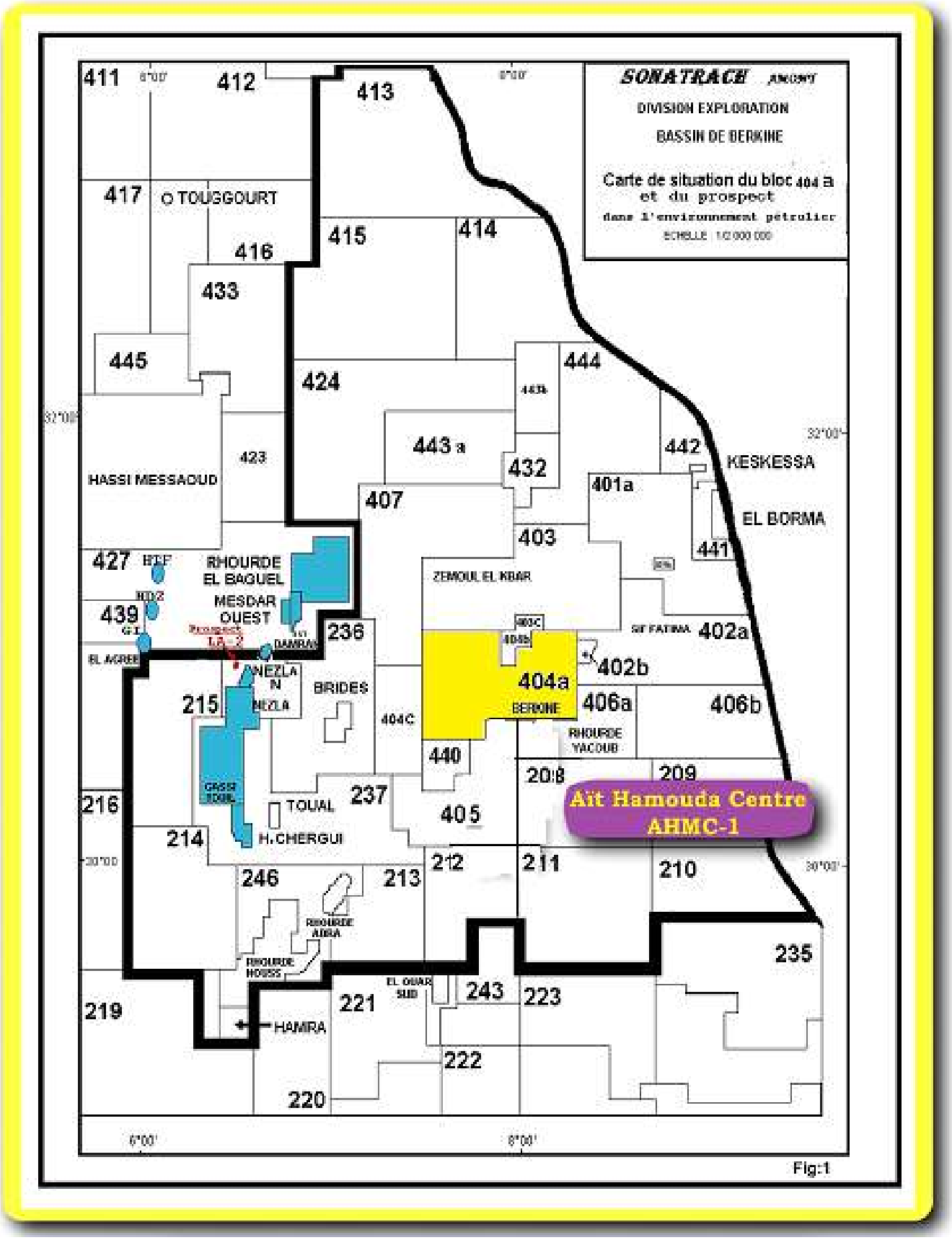


Fig I.3: Situation du puits BBKNP-1. (3)

I-5:L'objectif de sondage: .

Le puits vertical BBKNP-1 est un puits d'exploration pour but d'estimation le potentiel d'hydrocarbure dans le réservoir dans le TAGI ,Siegenian ,Gedinnian et SAG F6 .

Aussi, il accomplit toutes les opérations sans accidents et viser bien la cible en assurant un profil vertical.

I-6:Différentes phases et problèmes attendus: (Fig4)

Il composée de:[14]

Phase 26":

Le but de cette phase est de tuber en 185/8″ les formations de surface (tertiaire), La côte d'arrêt est à environ de 60 m à 433 m au maximum dans le sénonien anhydritique. Les problèmes en cours de cette phase sont liés aux possibilités de pertes partielles ou totales, d'éboulement des sables, risque de déviation sur les niveaux mio-pliocène pouvant entraîner des difficultés de descente du tubage 185/8". [14]

Phase 16":

Le but de cette phase est de tuber en $13^{3/8}$" les formations du Crétacé et une partie du Jurassique, les problèmes de cette phase sont le reforage, la traction et les coincements fréquents dans le Sénonien salifère et le Turonien.

Phase$12^{1/4}$" :

Le but de cette phase est de tuber en $9^{5/8}$" les formations du Lias el une partie du Trias, les problèmes de cette phase sont: le reforage dans le TS2 (coincement), risque de perte dans le Trias argileux et Trias argilo gréseux et risque de la contamination du fluide de forage par les eaux chlorurées calciques .

Phase $8^{1/2}$":

Le but de cette phase et de tuber en 7" les formations inférieures du Trias et l'Ordovicien, les problèmes de cette phase sont les pertes dans les séries inférieures du Trias.

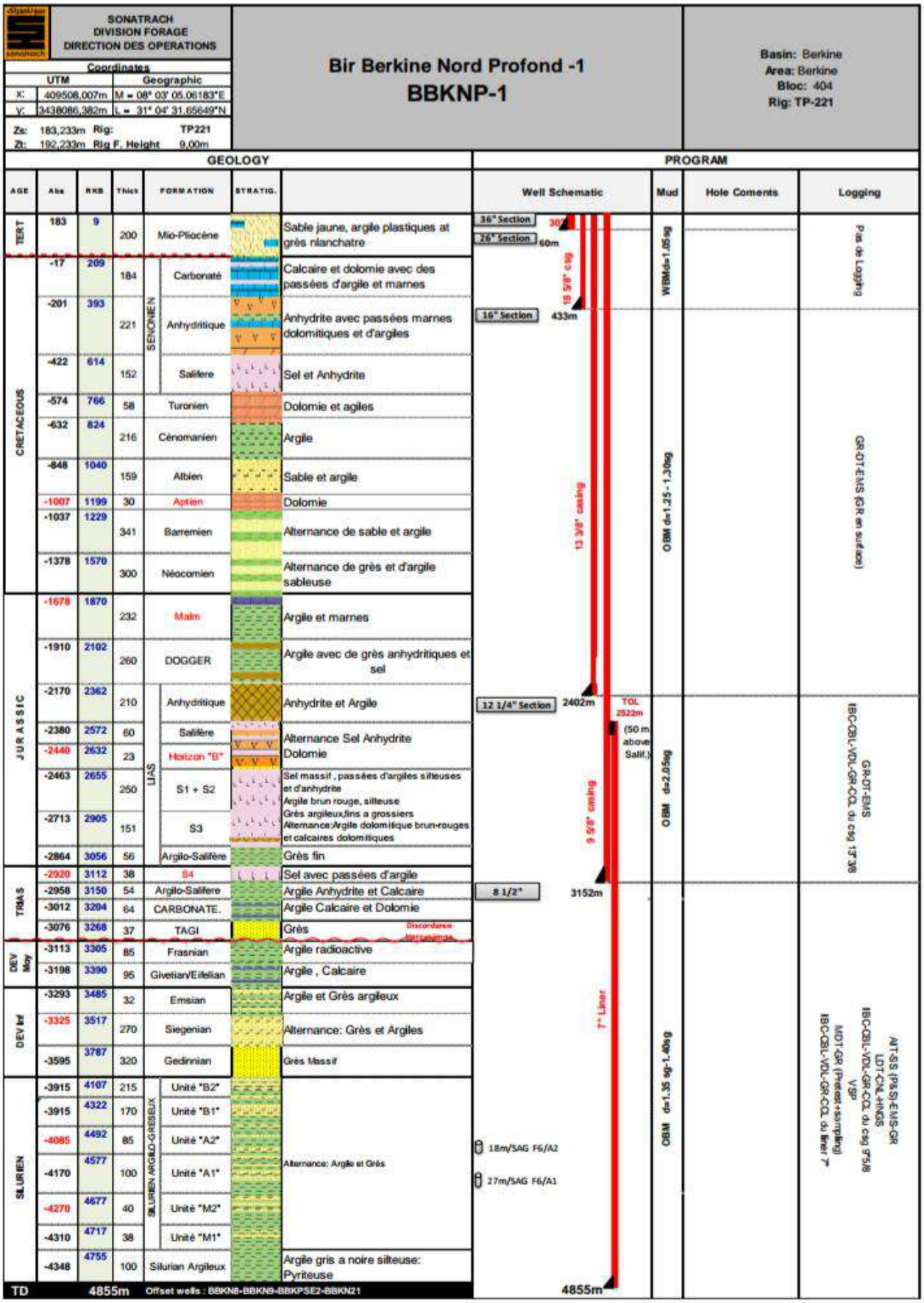


Figure I.4: Coupe lithologique du champ de Basin de Berkine[7]

Chapitre II: Généralité sur le tubage et cimentation

II.1.Tubage :

II.1.1.Rôle du tubage :

Le tubage sert à empêcher les parois du puits de l'effondrement dans le but de continuer le forage sans problèmes.[1]

Le choix des tubages, aussi bien en ce qui concerne leur diamètre que leur résistance, est conditionné par plusieurs facteurs, dont les principaux sont[1] :

- ✓ la profondeur prévue,
- ✓ les pressions attendues,
- ✓ le type d'effluent attendu : huile ou gaz,
- ✓ les risques de corrosion.

II.1.2.Les différentes colonnes de tubage :

Les colonnes de tubage sont: [1]

- ✓ tube guide,
- ✓ colonne de surface,
- ✓ colonne technique,
- ✓ colonne de production,
- ✓ colonne perdue.

a-Tube guide : elle sert à :

- ✓ maintenir les formations de surface non consolidées (sables),
- ✓ canaliser la boue vers la goulotte,
- ✓ guider l'outil en début de forage.

b-Colonne de surface : Sert à :

- ✓ isoler les eaux contenues dans les couches supérieures,
- ✓ maintenir les terrains de surface,
- ✓ supporter les têtes de puits avec les colonnes suivantes ancrées dedans,
- ✓ supporter les équipements d'obturation du puits.

c-Colonne technique :

De profondeur variable selon les difficultés rencontrées, elle permet :

- ✓ d'éviter de poursuivre un forage dans un découvert présentant des risques (éboulements),

- ✓ d'isoler les formations contenant des fluides sous fortes ou faibles pressions,
- ✓ d'éviter la rupture des terrains autour du sabot de la colonne de surface en cas d'éruption.

La profondeur et le nombre des colonnes techniques dépendent, entre autres, des pressions rencontrées dans la phase suivante. La résistance des formations au droit de son sabot doit être suffisante pour résister à ces pressions.

d-Colonne de production :

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

- ✓ Canaliser les fluides de formation en surface
- ✓ isoler la formation productrice des autres formations
- ✓ mettre en œuvre le matériel de production

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

Le choix des tubes et des connexions sera déterminé en fonction du type d'effluent attendu (huile ou gaz).

d-Colonne perdue : (liner)

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

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

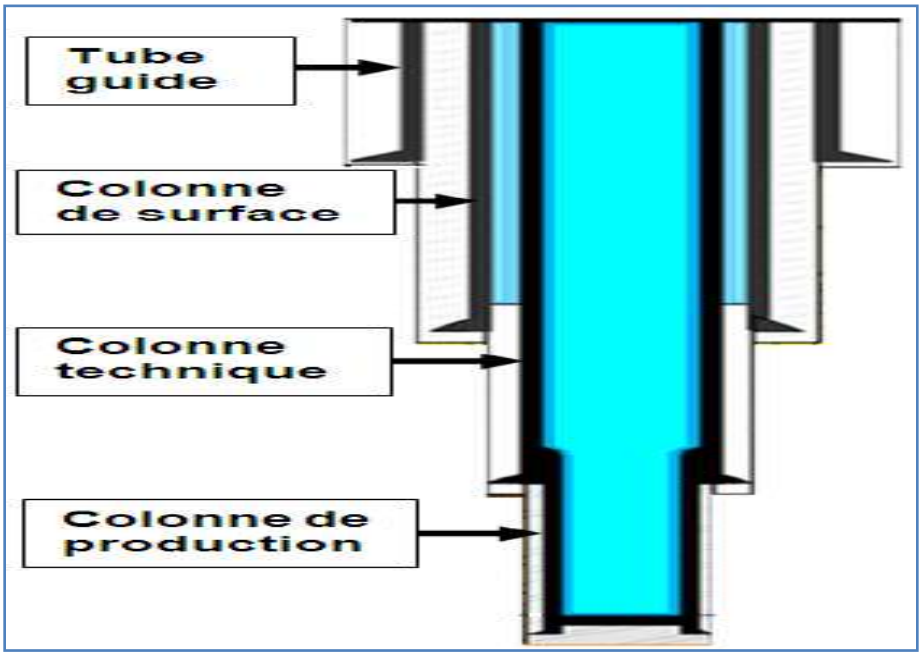


Figure.II.1: Différentes colonnes de tubage(1)

II.1.3.Caractéristiques des tubages :

II.1.3.1.Fabrication :

Les tubes sont fabriqués dans différents grades d'acier, d'épaisseurs différentes selon les contraintes auxquelles ils seront soumis, lors de leur descente et durant la vie du puits.

Les grades d'acier utilisés sont les suivants : H40 - J55 - K55 - C75 – L80-N80 - C90- T95 - P110 - Q125. (1)

La lettre représente la composition chimique de l'acier, et les chiffres la limite élastique minimale, en milliers de psi.

Certains grades ne sont pas normalisés par l'API dans certaines dimensions.

Les tubes peuvent être fabriqués :

- ✓ par étirage sans soudure,
- ✓ par soudure électrique longitudinale sans apport de métal,
- ✓ par soudure par recouvrement.

a. Identification par couleurs :

La couleur et le nombre de bandes seront comme suit :

–**H40** : pas de marque ou noir, - **N80** : une bande rouge, - C95 : une bande brune,

-**J55** : une bande verte, - **K55** : deux bandes vertes, - **C75** : une bande bleue,

Les bandes sont marquées à une distance du manchon femelle n'excédant pas 0,60 m.

b. Description des grades des tubages les plus utilisés :

Tableau II.1: Grades des tubages. (1)

Grade	Description
H40	Grade inférieur, limite d'élasticité max 80 000 psi, convenable pour les puits à H_2S
J55	bon pour les puits à H_2S,
K55	Resistance à l'écrasement et l'éclatement même que le J55 mais une plus grande résistance à la traction. Résistant à l'H_2S à toute température,
L80	Généralement c'est le plus utilisé dans l'industrie. convenable pour les puits à H_2S,
N80	D'acier allié, il n'est pas convenable à l'H_2S à toute température,
C90	Utilisé dans les puits à haute température contenant l'H_2S,
T95	D'acier allié, conçu pour améliorer le C95 qui ne résiste pas à l'H_2S à basse températures

P110	conçu pour résoudre les problèmes rencontrés dans les puits profonds
Q125	Utilisé souvent pour les puits profonds à haute pression, spécialement pour les fortes pressions d'écrasement, peut utiliser dans des environnements à H_2S à des températures avoisinant 107 °C ou plus

c.Longueurs des casings : (rangées)

L'API a spécifié trois rangées de casing qui sont :

Tableau II.2: Longueurs des casing

Rangée	Longueur (ft)	Longueur (m)
1	**16-25**	**4,8 - 7,5**
2	**25-34**	**7,5 – 10,2**
3	**Plus de 34**	**Plus de 10,2**

II.1.3.2.Diamètre :

Le diamètre nominal d'un tube correspond à son diamètre extérieur exprimé en pouces. La tolérance admise est de ±0,75 %.

Le jeu entre corps de tube et trou varie généralement de 1"1/2 pour les petites dimensions à 4"1/2 pour les plus grandes.

II.1.3.3.Epaisseur :

Pour un même grade d'acier, l'épaisseur peut être différente en fonction des efforts à subir.

La tolérance maximale admise par l'API sur l'épaisseur des tubes est de 12,5 %.

La plus grande dimension d'outil pouvant être descendue dans un tube est égale au diamètre du mandrin, qui est inférieure au diamètre intérieur du tube.

II.1.3.4.Poids :

Le poids nominal exprimé en lb/ft, il est donné pour l'identification.

A chaque épaisseur dans une dimension de tube donnée correspond un poids nominal qui ne peut pas servir pour le calcul car il ne prend pas en charge le poids des manchons.

II.1.3.5.Types de filetages :

En général, le casing et les manchons sont caractérisés par leur type de filetage, l'API a spécifiée quatre propriétés d'un filetage, qui sont :

Hauteur de filetage (thread height) : qui est la distance verticale par rapport à l'axe du filetage entre la base et la crête du filetage

- ✓ Le pas définit comme étant la distance entre deux crêtes successives d'un filetage
- ✓ La conicité : c'est le changement du diamètre du filetage exprimé en in/ft
- ✓ La forme : les filetages sont ronds ou carrés

On distingue deux types de filetage : API et non API

II.1.3.5.1. Filetages API : L'API a normalisé trois types de filetages :[1]

a. Filetage rond:Caractérisé par 8 filets par pouce, ayant une rainure en V, sa conicité est de ¾ in/ft pour tous diamètre du casing.

b. Filetage buttress :C'est un filetage carré avec 5 filets par pouce ayant une conicité de ¾ in/ft pour les casings de diamètre supérieur à $7^{5/8}$, et 1 in/ft pour les casings de diamètre supérieur à 16 pouces.

c. Extreme – line:C'est un filetage à profile trapézoïde qui assure une bonne étanchéité métal-métal, c'est le plus adapté pour les hautes pressions et températures. Il est caractérisé par :

- ✓ 6 filets par pouce et une conicité de 11/2 in/ft pour les diamètres de 5 à 75/8 pouce
- ✓ 5 filets par pouce et une conicité de 11/4 in/ft pour les diamètres de 85/8 à 103/4 pouce

Les deux premiers sont utilisés pour le raccordement par manchon ; le troisième pour raccordement par joint intégral.

Le filetage rond peut être court ou long (résiste à la traction ; ne se fait que dans les grades d'acier supérieurs à H40 et pour des dimensions de tubes égales ou inférieures à 9"5/8). Le filetage rond assure généralement une résistance à la traction plus faible que la limite élastique minimale du corps du tube (sauf quelques exceptions : tubes les plus minces en grade inférieur dans les petites dimensions).

Les filetages buttress et extreme – line permettent une résistance des joints supérieure ou au moins égale à la limite élastique minimale du tube.

Les avantages des joints intégraux par rapport aux joints à manchons sont :

- ✓ meilleure étanchéité,
- ✓ encombrement extérieur plus faible (meilleure introduction dans le puits),
- ✓ meilleure résistance à la traction que les joints à filetage rond.

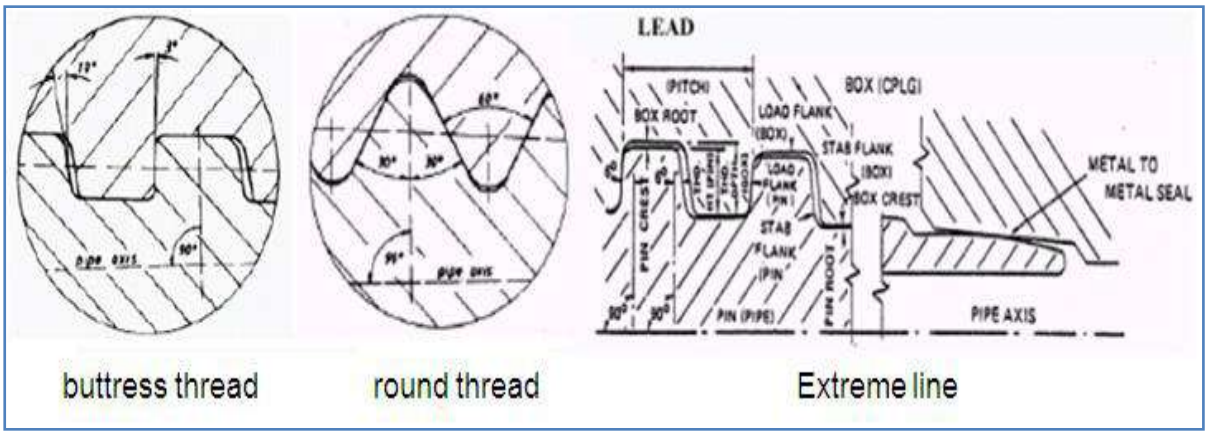


Figure.II.2: Différents types de filetage API. (1)

II.1.3.5.2.Filetages non API :

Ces filetages peuvent être réalisés sur des tubes normalisés par l'API. (1)

Les plus importants sont : le VAM et le NEW VAM.

L'étanchéité est obtenue par un contact métal sur métal (chaque extrémité de tube s'appliquant sur un épaulement conique usiné à l'intérieur du manchon) et le raccordement se fait par un filetage de type buttress (6 filets par pouce pour les tubes 4''1/2 au lieu de 5 habituellement).

Ce joint peut être à :

- ✓ manchon normal,
- ✓ manchon à encombrement spécial de diamètre extérieur plus faible.

Le joint VAM a une résistance à la traction comparable à celle du joint API à filetage buttress, mais il a l'avantage d'avoir une meilleure étanchéité, même sous fortes pressions.

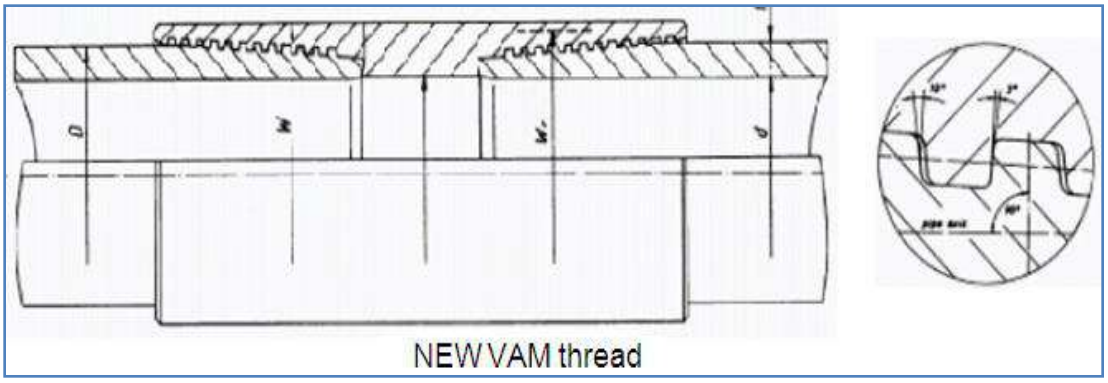


Figure.II.3: Filetage

II.1.4. Les contraintes sur les tubages :

a. Contraintes à l'écrasement :Elles sont dues à la pression hydrostatique exercée par le fluide présent dans l'espace annulaire tubage – trou ; cette pression est contrebalancée par la pression régnant à l'intérieur de la colonne.

Au cours des opérations de forage, tubage et cimentation, la colonne peut se vider soit partiellement, soit complètement, et la pression intérieure diminue ou même s'annule.

Les contraintes à l'écrasement dues à la pression hydrostatique de l'espace annulaire augmentent avec la profondeur.

L'API a défini un coefficient de sécurité pour l'écrasement égale à 1.125, compte tenu de la traction, le tubage étant supposé vide et l'espace annulaire plein de boue (descente du tubage complètement vide) ou le tubage plein de boue et l'espace annulaire plein de ciment (fin de cimentation et avant prise de ciment). Prendre la valeur la plus élevée.

b. Contraintes à l'éclatement :Elles ont pour origine la pression intérieure due aux fluides pouvant être produits par le puits (eau, gaz ou huile) ainsi que leur pression. Cette pression intérieure est contrebalancée par la pression hydrostatique du fluide présent dans l'espace annulaire tubage – trou.

La pression hydrostatique augmente avec la profondeur, les contraintes à l'éclatement sont donc plus élevées en tête de colonne.

L'API a défini un coefficient de sécurité pour l'éclatement égale à 1.10, avec l'annulaire étant supposé rempli d'eau et l'intérieur du casing est plein de gaz (en ces de venue).

c. Contraintes à la traction : Chaque tube descendu dans le puits subit une contrainte de traction due au poids de l'ensemble des tubes situés au dessous de lui.

On peut diminuer cette contrainte en faisant flotter la colonne (remplissage partiel à la descente).

Pour des raisons de sécurité, l'API a défini un coefficient de sécurité pour la traction qui est égale à 1,75 avec la colonne de tubage supposée dans la boue. Ce coefficient ne doit pas descendre au – dessous de 1.30 lors de la vie du puits.

II.1.5.Centralisation de la colonne de tubage :

Le centrage d'une colonne est un élément déterminant pour l'obtention d'une bonne cimentation, pour cela on utilise des centreurs placés: [(1)]

- ✓ au droit des zones à cimenter,
- ✓ au droit des dog-legs,

- ✓ de part et d'autre des caves
- ✓ dans les zones à risques de blocage ou pertes.

On distingue trois types de centreurs flexibles utilisés dans les puits verticaux et moyennement déviés, rigides utilisés dans les puits horizontaux et les centreurs rotatifs utilisés dans le cas d'une cimentation en rotation comme une colonne de liner.

Il est préférable d'utiliser des centreurs de forme spiralée qui favorise la turbulence lors de l'injection du laitier.

Figure.II.4: Les différents types de centreurs

II.1.6.Harmonisation des diamètres de forage :

L'harmonisation des diamètres a pour but de choisir des diamètres du forage et sélectionner les diamètres des colonnes descendues dans le puits. Pour déterminer les diamètres respectifs des outils et des tubages on s'appuie sur le diamètre de la colonne de production c'est à dire de diamètres de tubing et mode de complétions donnés par la direction de la production. L'harmonisation des diamètres de forage se fait du bas en haut et la réalisation pratique se fait du haut en bas. Pour établir ce programme, on doit tenir compte des diamètres du manchon, de jeu manchon / paroi et de jeu outil / tubage. Donc l'harmonisation doit répondre aux exigences suivantes :[1]

- ✓ Passage libre de la colonne à descendre ;
- ✓ Epaisseur suffisante de ciment dans l'espace annulaire ;
- ✓ Possibilité d'introduire des appareillages de mesure ;

Les calculs se font comme suit :

II.1.6.1.Diamètres de l'outil à utiliser pour la phase considérée:

$$D_t = D_m + 2\,\delta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.1)$$

Avec:

D_t: diamètre de trou ou de l'outil en mm;

D_m : diamètre de manchon en mm;

δ : jeu manchon trou en mm

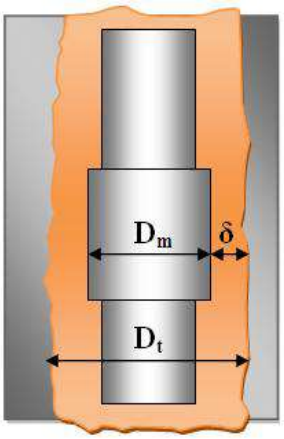


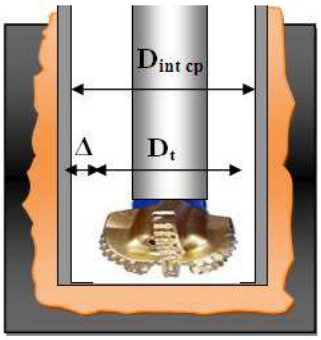
Figure.II.5: Représentation du jeu manchon

Les valeurs des jeux manchon trou dépendent des diamètres extérieurs du tubage (manchon) et des diamètres d'outil, ces valeurs sont représentées dans le tableau suivant [(1)]:

Tableau II.3: jeu entre le manchon-trou. [(1)]

Diamètres extérieurs du casing (in)	**δ : jeu manchon / trou (mm)**
4½ à 5	**5 à 7**
5½ à 6⅝	**7 à 10**
7 à 8⅝	**10 à 15**
8⅝ à 9⅝	**15 à 20**
10¾ à 11¾	**20 à 30**
13⅜	**30 à 40**
> 13⅜	**40 à 78**

II.1.6.2.Diamètre intérieur de la colonne précédente :



$$D_{intcp} = D_t + 2\Delta \qquad \text{.....I.2}$$

Figure.II.6: Représentation du jeu outil tubage

Avec :

D_t: diamètre de trou ou de l'outil en mm;

D_{intcp}: diamètre intérieur de la colonne précédente en mm;

Δ : jeu outil / tubage en mm;

Tout en connaissant le diamètre intérieur de la colonne, on peut connaître son diamètre extérieur à partir du formulaire du foreur. Les valeurs des jeux outil / tubage dépendent des diamètres intérieurs du tubage et des diamètres d'outils, ces valeurs sont représentées dans le tableau suivant: (1)

Tableau II.3: Jeu entre le diametre du trépan et outil de tubage(1)

Diamètre du trépan (in)	**Δ : jeu outil tubage (mm)**
4½ à 8⅝	**3 à 4**
9⅝ à 13⅜	**4 à 5**
16 à 20	**10 à 15**
> 20	**15 à 25**

II.1.7.Préparation du tubage:

La préparation du tubage s'effectue pendant les jours de forage.

Elle consiste à: (1)

- Décharger les tubes sur les tréteaux. Le manchon doit être orienté vers le plancher.
- Identifier clairement les différents grades des tubes reçus pour éviter toute confusion.
- Enlever les protecteurs de filetage.
- Calibrer les tubes. Cette opération est très importante. Elle consiste à vérifier le diamètre intérieur de chaque tube. Les tubes défectueux seront enlevés des tréteaux.
- Nettoyer les filetages.
- Effectuer les mesures de longueurs avec un décamètre en acier.
- La longueur et le numéro de chaque tube seront enregistrés sur un registre spécial.
- Remettre le protecteur de l'extrémité mâle et graisser le filetage de l'extrémité femelle.

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

a- Sabot: Le sabot est vissé sur le premier tube à descendre dans le puits, généralement de forme arrondie, il facilite le guidage et la descente de la colonne dans le découvert.

b-Anneau de retenue: La fonction de l'anneau est de retenir les bouchons de cimentation en fin d'opération. Il est toujours intercalé à deux tubes au dessus du sabot de façon à ce que le volume intérieur de la colonne compris entre le sabot et l'anneau réserve le laitier pollué par le dernier raclage du bouchon supérieur.

c -Centreurs : Le centrage d'une colonne est un paramètre déterminant pour l'obtention d'une bonne cimentation. Suivant qu'ils sont situés à l'intérieur d'un tubage ou bien au droit du découvert, ils sont de type rigide ou bien de type souple:

- Centreurs rigides: sont réservés aux annulaires tubage-tubage.
- Centreurs souples: sont utilisés pour le centrage des colonnes dans le découvert.

d-Les gratteurs (scratcher) : Servent à gratter le cake**.**

e- Stop collars : Ils sont fixés sur les tubes à l'aide des vis ou des broches. Ils permettent d'éviter le glissement des centreurs le long des tubes .

f -Tête de cimentation : Elle doit permettre la circulation de la boue de forage, l' injection du laitier après le largage du bouchon inférieur et la chasse du bouchon supérieur avec la boue initiale.

g- Bouchons de cimentation : Le rôle essentiel des bouchons est de séparer positivement les différents fluides (boue, laitier) pendant leur déplacement à l'intérieur du tubage afin de retarder le plus possible leur mélange et les risques de contamination.

II.2:Généralité sur la cimentation :

II.2.1:Introduction :

Cimenter une colonne de tubage consiste à mettre en place un laitier de ciment dans tout ou partie de l'espace annulaire entre le tubage et le trou foré. Ce laitier, après sa prise, assurera la liaison entre le tubage et la formation, [(1)]

II.2.2:Buts de la cimentation :

- ✓ fermer les couches à haute pression pour éliminer les risques d'éruption
- ✓ isoler les différentes formations pour prévenir le contact des différents fluides
- ✓ supporter la colonne de tubage
- ✓ protéger le casing contre les fluides corrosifs
- ✓ prévenir l'affaissement des parois du puits

- ✓ éviter la pollution des nappes phréatiques

II.2.3:Différents types de cimentation :

II.2.3.1:Cimentation au Stinger :

La cimentation au stinger est utilisée dans les colonnes de surface de grands diamètres. Exemple : Colonne $18^{5/8}$ dans un trou 24" ou 26", dans le but de :[(1)]

- ✓ réduire l'excès de ciment
- ✓ éviter la contamination
- ✓ réduire la durée de cimentation

Pour réaliser la cimentation au stinger, on utilise un outil appelé Stinger vissé au bout d'une garniture de tiges.

La profondeur du puits dépasse rarement 500 m. La colonne de tubage est munie d'un sabot spécial pour recevoir le stinger.

La garniture de tiges est descendue à l'intérieur du tubage jusqu'au sabot. Le stinger est ancré dans le sabot spécial.

On effectue ensuite les opérations suivantes :

- ✓ Circulation à l'intérieur des tiges. Le retour de boue se fait normalement par l'espace annulaire Trou-Casing
- ✓ Injection d'un bouchon laveur à l'intérieur des tiges.
- ✓ Pomper le volume de laitier à l'intérieur des tiges.
- ✓ Lancer le bouchon de chasse à l'intérieur des tiges.
- ✓ Chasser avec de la boue
- ✓ Lorsque le bouchon arrive au niveau du sabot, on note un à-coup de pression.
- ✓ Désancrer le stinger
- ✓ Circulation à l'intérieur des tiges. Le retour de boue doit se faire par le tubage. On fait cette circulation pour vérifier l'étanchéité du sabot.
- ✓ Remonter la garniture et attendre la prise de ciment.

II.2.3.2:Cimentation primaire

Les laitiers de ciment ainsi injectés s'écoulent à travers le sabot pour remonter ensuite dans l'annulaire. L'anneau de retenue, comme son nom l'indique sert d'épaulement aux bouchons racleurs inferieur et supérieur qui encadre le volume de laitier dans le casing. [(1)]

Un à-coup de pression crève le bouchon inferieur pour laisser circuler le laitier dans l'annulaire. C'est le laitier qui pousse directement la boue en place et lave à la fois les parois

du trou et l'extérieur du casing au cours de son écoulement. Lorsque tout le laitier est injecté. On libère le bouchon supérieur qui est déplacé par circulation de la boue de forage.

Cette opération est appelée chasse. Le volume de chasse est le volume de boue entre l'anneau et la tête de cimentation. En fin de chasse on doit remarquer une montée en pression qui signifie l'arrêt du bouchon supérieur. (1)

II.2.3.3:Cimentation sous pression : (squeeze ou ésquichage)

C'est la mise en place d'un laitier de ciment sous pression à un point donné du puits. Le but de l'opération est de remédier à un défaut d'étanchéité ou de créer une nouvelle étanchéité (perforation d'une couche dépletée). Cette opération consiste à appliquer de la pression sur une formation perméable pour que le laitier se déshydrate progressivement et forme un cake de ciment faisant prise et colmatant les défauts d'étanchéité ou les zones à pertes.

L'injection du laitier s'effectue généralement suivant la méthode « hésitation squeeze », qui consiste à injecter par volumes de quelque centaines de litres entrecoupés d'arrêts de pompage de quelque minutes, en augmentant graduellement la pression jusqu'à atteindre la pression de squeeze. (1)

II.2.3.4:Bouchons de ciment:

Les bouchons de ciment trouvent de nombreuses applications, soit en cours de forage, soit après la production d'un puits.

Parmi ces applications nous pouvons citer :

- ✓ colmatage de zones à pertes,
- ✓ isolation de zone à Problèmes,
- ✓ bouchon d'abandon,
- ✓ déviation,
- ✓ ancrage d'un packer en trou ouvert.

Ces applications sont très variées et les propriétés recherchées dans ces applications sont, elles aussi, très diverses. La composition, la mise en place et les propriétés finales du ciment devront donc être adaptées au problème à résoudre.

II.2.3.5: Cimentation étagée :

La cimentation à double étage est utilisée:

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

La colonne est équipée d'une différential valve ou diverter valve (DV) à la cote désirée, la cimentation primaire est effectuée d'une manière classique avec toutefois l'utilisation de bouchon devant passé a travers le rétrécissement procuré par la DV. Après l'à-coup de pression on laisse tomber la bombe. La pression d'ouverture cisaille des goupilles et déplace la chemise. On peut alors injecter le laitier, mais on n'utilise pas de bouchons de tête. En fin d'injection, on libère le bouchon de queue que l'on chasse jusqu'à la DV. Celui-ci refermera la DV par le déplacement d'une seconde chemise.

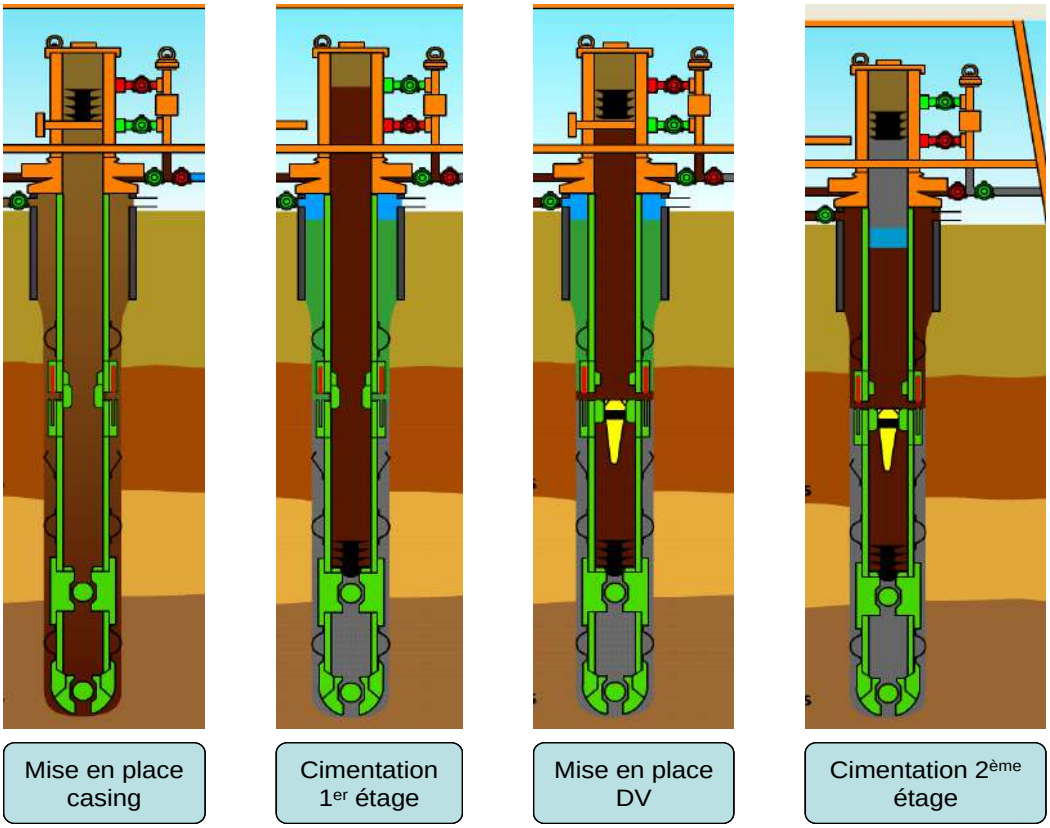


Figure. II.7: déroulement de la cimentation étagée

II.2.4:Paramètres affectant la cimentation :

II.2.4.1:Le stand-off :

La centralisation de la colonne de tubage doit procurer une distance de séparation entre le tubage et la paroi du trou. Cette distance de séparation est appelée Stand off.

L'API recommande un stand-off de 67%, sachant que 100% désigne un centrage parfait, et 0% un centrage où le tubage touche la paroi du trou. (1)

Pour les puits verticaux ou déviés ne dépassant pas 60°, des centreurs flexibles seront utilisés dans tout le découvert. Au delà de cette inclinaison, n'utiliser que des centreurs rigides.

Pour les liners très légers tels les liners 4-1/2" courts, rajouter une dizaine de centreurs à la partie supérieure: cela augmente les frottements et facilite les opérations de déconnexion du setting tool

II.2.4.2:Effet du stand-off sur le déplacement de la boue:

Le stand-off a un effet nefaste sur la cimentation en favorisant l'effet channeling par le piegeage de la boue. (1)

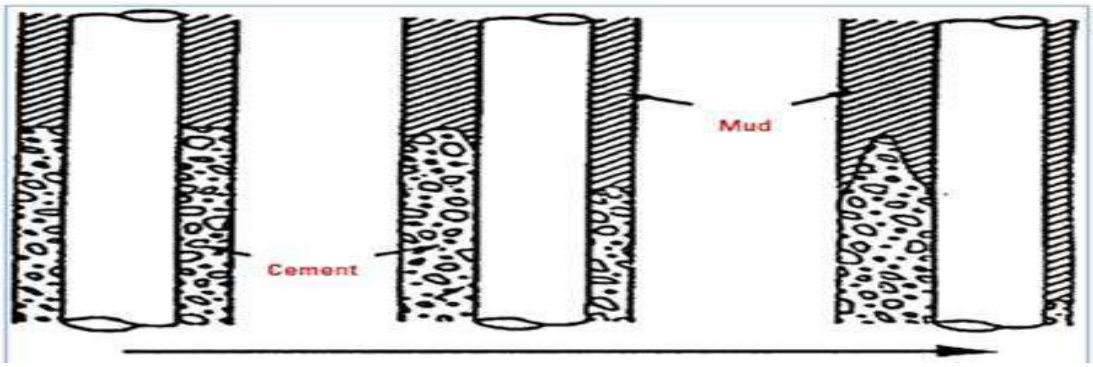


Figure.II.8: Effet du stand-off sur le déplacement de la boue

II.2.4.3:Effet de la rotation de la colonne de tubage sur la cimentation :

La rotation de la colonne de tubage favorise la turbulence meme dans le cas ou le stand-off est faible.

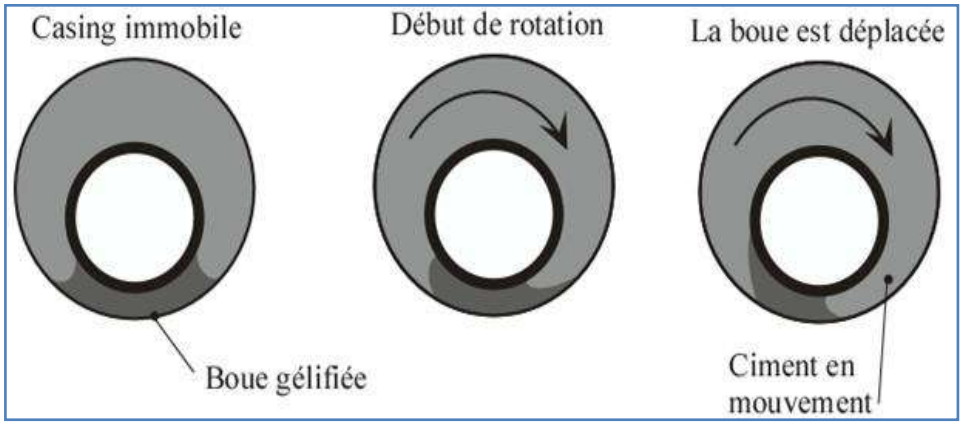


Figure. II.9: effet de la rotation sur la cimentation(1)

II.2.4.4:L'effet de canalisation :

Il est définit comme étant l'emprisonnement de la boue ou du gaz au milieu de la gaine de ciment, ce phénomène est influe sur la qualité de la cimentation.

Pour éviter ce phénomène, il faut : (1)

- ✓ Assurer une bonne centralisation de la garniture
- ✓ Choix un débit de chasse adéquat (régime turbulent)
- ✓ Utiliser des preflush et spacers
- ✓ Procéder a la rotation de la colonne de tubage pendant la cimentation si possible

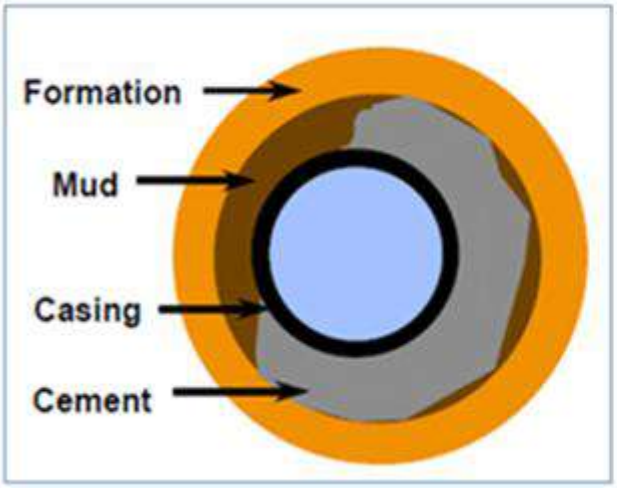


Figure.II.10: L'effet canalisation causé par la boue

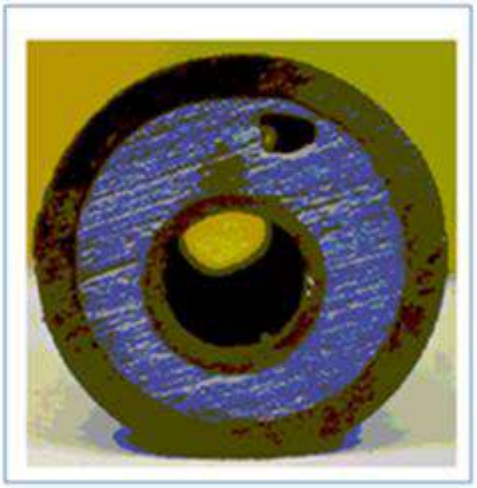


Figure.II.11:L'effet canalisation caussé par la migration du gaz

II.2.5: Les équipements de préparation et pompage de ciment :

a.Les unités de cimentation : Les unités de cimentation permettent d'effectuer simultanément : (1)

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

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

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

La transmission est assurée par des boîtes délivrant de 300 à 620 ch.

Suivant l'alésage des pistons, la capacité de ces pompes peut permettre un débit minute allant jusqu'à 1700 litres et de fonctionner sous des pressions de travail atteignant 1035 bar (15000 psi).

Les unités de cimentation sont équipées de systèmes de mixage haute et basse pression.

Le mixage de ciment-eau-additifs se fait par l'aspiration de l'eau dans un bol a l'aide d'une pompe centrifuge qui sera mélange avec le ciment et les additifs, une fois le laitier ait la densité désirée il sera refouler dans le puits a l'aide des pompes triplex de l'unité de cimentation.

b-Les lignes de cimentation: Les chiksans ou conduites métalliques peuvent généralement supporter des pressions élevées, mais ils ne sont pas faciles à manier et les rotules supportent mal les à-coups provoqués par les pompes de cimentation, ce qui finit souvent par provoquer des fuites.

Il existe maintenant des flexibles haute-pression dont le diamètre maximal est 2 pouces, qui sont plus faciles à utiliser que les conduites métalliques et qui peuvent supporter des pressions équivalentes; ce type de ligne est de plus en plus utilisé.

II.2.6: Ciments et laitiers :

II.2.6.1: Définition du ciment :

Les ciments sont des liants hydrauliques, c'est à dire qu'au contact de l'eau, leurs constituants minéralogiques s'hydratent en formant une pâte ou laitier qui durcit et devient un matériau doué de propriétés mécaniques capables de lier d'autres matériaux. (1)

Les propriétés du laitier et du matériau dur dépendent de la nature des hydrates formés. Elles sont également fortement influencées par la pression et température, ce qui est le cas dans les puits de forage. Il est donc indispensable de tenir compte de ce phénomène.

II.2.6.2: Les différents types de laitiers de ciments : ils sont: (1)

a.Laitiersallégés : Les ciments de base utilisés pour la cimentation possèdent des caractéristiques telles (composition chimique, granulométrie) qu'une fois mélangés à l'eau de gâchage, on obtient des laitiers de densité normalement comprise entre 1.78 et 1.98.

Ces densités peuvent parfois présenter des inconvénients. En effet, certaines formations ne tolèrent pas de colonnes de ciment d'un tel poids. Il est donc parfois nécessaire d'alléger les laitiers de ciment pour diminuer les pressions hydrostatiques au droit des couches fragiles et

éviter ainsi les fracturations. Il est utile, également, pour colmater les zones à pertes en cours de forage, de confectionner des bouchons de ciment de faible densité.

Il ne faut pas, également, rouvrir en cours de cimentation une zone à pertes et il faut pouvoir cimenter plus haut que ces pertes.

Les laitiers de ciment ayant une densité voisine de 2.00 requièrent des pressions de pompage élevées pour la mise en place. De plus, ces laitiers imposent des pressions statiques et dynamiques importantes, non seulement sur la formation traitée, mais également sur les autres formations avoisinantes. Au droit des formations perméables, ces pressions peuvent entraîner une déshydratation du laitier. (1)

Dans l'utilisation des ciments allégés on distingue généralement : (1)

- ✓ les bouchons de ciment destinés à colmater les pertes,
- ✓ les cimentations des cuvelages couvrant ces zones.
- ✓ Le colmatage par la boue n'ayant pas réussi, on procède généralement par mise en place de plusieurs bouchons de petit volume.
- ✓ Le temps de pompabilité est réglé le plus court possible et, au besoin, accéléré.
- ✓ Nous pouvons classer les ciments allégés en 4 grandes catégories :
- ✓ les gels ciments (ou à la bentonite), de densités minimales de 1.4
- ✓ les laitiers ultra-fins, de densités minimales de 1.3
- ✓ les laitiers à la mousse, une densité minimum de 1 à 1.1 en surface, mais qui varie en fonction de la profondeur
- ✓ les laitiers allégés aux billes de verre, de densités minimales de 1.2

b. laitiers denses ou alourdis : Un laitier de ciment présente une densité comprise entre 1.78 et 1.98. Cette limite peut être repoussée jusqu'à 2.15 par l'emploi de dispersants, mais pour obtenir des densités de laitier supérieures, il faut leur incorporer des produits alourdissant.

Les densités élevées sont utilisées lorsqu'une pression hydrostatique importante est nécessaire au contrôle du puits. Dans ce cas, la densité de la boue peut être supérieure à 2.00. Celle du laitier devra être légèrement supérieure pour avoir un bon déplacement de la boue.

c-Laitiers pour températures élevées : Les ciments Portland peuvent être utilisés jusqu'aux environs de 80°C ; au-delà de cette température, on utilise des ciments dits retardés, afin d'avoir un temps de pompabilité suffisant pour mettre en place les laitiers dans les puits.

Les ciments haute température normalisés par l'API sont :

- ✓ Classe D : température de 77 à 100°C (température statique)

- ✓ Classe E : température de 110 à 143°C
- ✓ Classe F : température de 110 à 160°C

d-Laitiers basse température : Lorsque la température des forages à cimenter s'abaisse au-dessous de + 10°C, les ciments classiques ne donnent pas de résultats satisfaisants. Toutefois si la température reste supérieure au point de congélation de la phase aqueuse, on constate un retard dans la prise de plus en plus prononcé avec une résistance à la compression très lente à se développer.Pour les températures plus basses, la phase aqueuse gèle, le ciment ne s'hydrate plus et la prise n'intervient pas. Deux remèdes peuvent être appliqués : soit élever la température pour accélérer la prise, soit utilisé des systèmes de ciment pouvant faire prise à basse température. (1)

On distingue les ciments fondus et les ciments au gypse

-Les ciments fondus:Les ciments fondus ou ciments alumineux sont obtenus par fusion à 1600°C d'un mélange de bauxite et de calcaire ou de chaux.

-Ciment au gypse :L'ingrédient de base est un ciment pétrolier non retardé, le classe G est souvent utilisé, mélangé avec une forte proportion de plâtre spécialement étudié pour cet usage.

e.Les laitiers thixotropes : Les ciments thixotropes sont des laitiers de ciment qui possèdent des propriétés rhéologiques particulières et auxquelles sont associées des propriétés mécaniques intéressantes.

- ✓ formation rapide de gel en l'absence d'agitation ou d'écoulement,
- ✓ Ces ciments sont expansifs, ce qui assure une meilleure liaison entre casing et formations consolidées.
- ✓ La résistance mécanique de ces ciments est convenable bien qu'elle se développe plus lentement que pour un laitier classique.
- ✓ la thixotropie réduit les pertes car le laitier se gèle dans les fissures et empêche le cheminement du gaz,
- ✓ densités légèrement plus basses que celles des laitiers classiques,
- ✓ Quelques minutes après sa mise en place, il n'exerce pas de pression hydrostatique, du fait de son gel élevé,
- ✓ Malgré une viscosité supérieure à celle des ciments classiques, les pertes de charge restent faibles du fait de sa mise en place à débit réduit.

f.Les laitiers expansifs : L'étanchéité des cimentations est un problème qui n'a pas encore été résolu dans tous les cas.

En supposant respectées toutes les règles connues et devant assurer une bonne cimentation, on pense qu'il peut y avoir manque d'étanchéité, soit par retrait du ciment au cours de la prise, soit par création d'un micro-annulaire par contraction du tubage. Les ciments purs conservés sous eau s'allongent d'environ 2 mm/m alors que les ciments conservés à l'air libre diminuent d'une quantité du même ordre.

La contraction du tubage conduisant à la formation d'un micro-annulaire, peut être due à plusieurs causes :

- ✓ changement d'une boue lourde utilisée pour la chasse du laitier par une boue légère nécessaire à la reprise du forage,
- ✓ fermeture du puits sous pression pendant la cimentation et ensuite ouverture du puits,
- ✓ chaleur d'hydratation du ciment : lorsque le ciment fait prise, la chaleur dégagée par le laitier fait dilater le tubage ; ce dernier se contracte par la suite, il se crée alors un micro-annulaire non étanche.

L'utilisation d'un ciment expansif permettrait d'éviter le retrait du ciment et la formation d'un micro-annulaire.

g.Laitiers pour zones à gaz : Dans les puits à gaz, le laitier est appelé à couvrir les réservoirs, il a été souvent observé des venues de gaz dans l'annulaire quelques heures ou quelques jours après une telle cimentation ; venues dont l'importance peut être telle qu'il faut entreprendre des cimentations complémentaires, difficiles, coûteuses et parfois dangereuses.

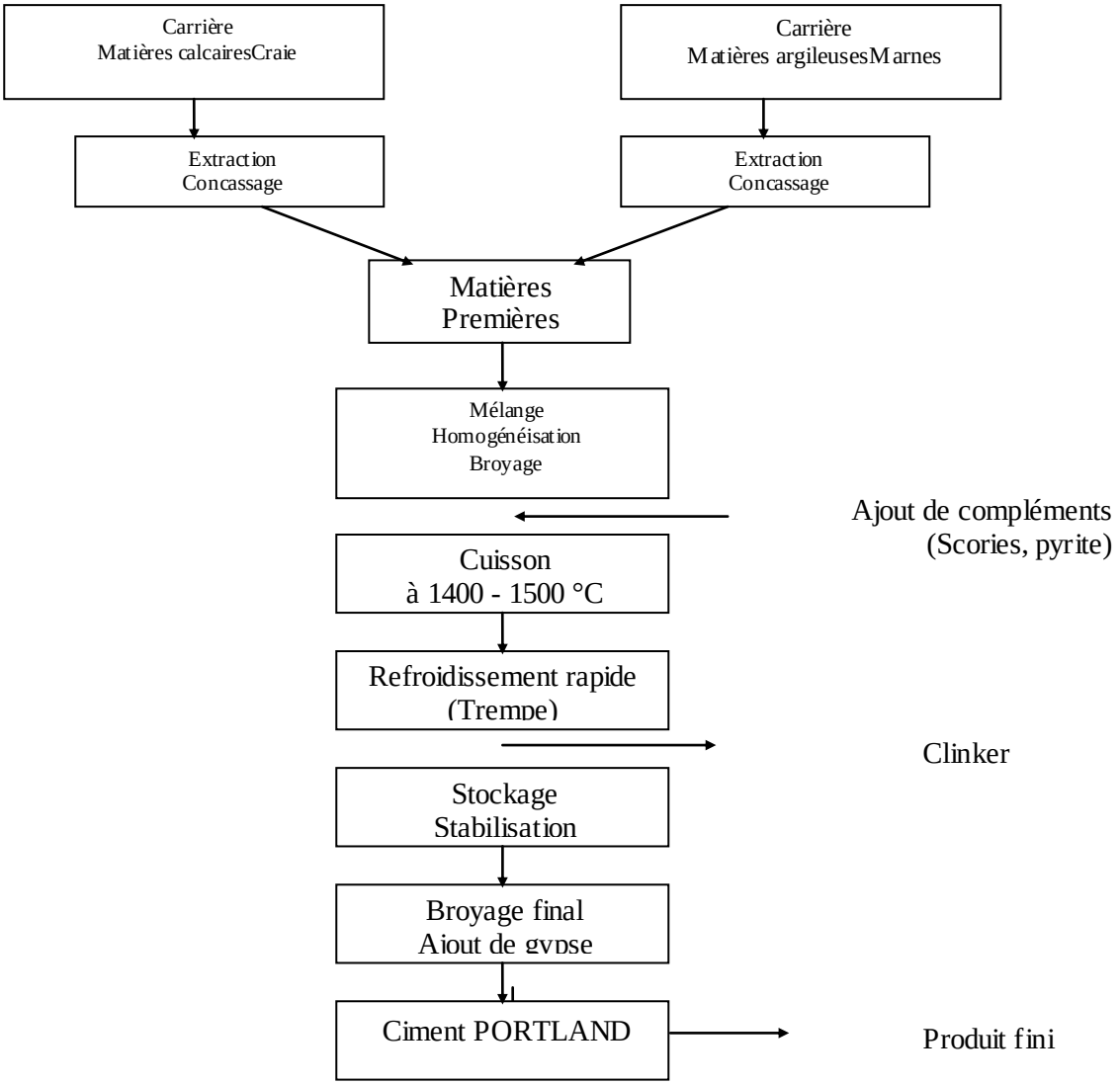
Si la mauvaise adhérence du ciment à la formation et au casing peut parfois être mise en cause, particulièrement lorsqu'on a employé une boue à base d'huile, les diverses études consultées et les travaux ont montré qu'il s'agit le plus souvent d'un problème directement lié au phénomène de prise de ciment.

Pour résoudre ce problème, dans l'état actuel des connaissances sur ce sujet, plusieurs solutions sont possibles et complémentaires :

- ✓ Contrôler la perte en eau du laitier de ciment en réduisant la vitesse de filtration par l'ajout d'un réducteur de filtrat
- ✓ On limite ainsi la perte de volume, donc la perte de pression ainsi que le risque de déshydratation, tout en réduisant la mobilité de l'eau inter-granulaire et rendant ainsi difficile le déplacement de celle-ci par le gaz.

- ✓ Opposer une barrière au gaz soit en le confinant dans la formation, soit en le piégeant dans le ciment (tensio-actifs piégeant le gaz sous forme de bulles), soit encore en rendant impossible le déplacement de l'eau du ciment par le gaz (résine, latex,...).
- ✓ Avoir un très bon déplacement de la boue, surtout à la paroi (régime turbulent conseillé).
- ✓ Réduire le gel à une valeur très faible (maintien de la pression) ou à une valeur très élevée supérieure à 300 lb/100 ft^2 (blocage du gaz).
- ✓ Avoir une prise franche : bonne connaissance de la température BHCT ou BHST, utilisation de la micro-silice et des ciments "fins".
- ✓ Ajuster le temps de pompabilité en ne prenant pas de sécurité trop forte pour que le ciment débute sa prise juste après la fin de la mise en place

II.2.6.3: Fabrication du ciment Portland: comme suite: (15)



II.2.6.4: Les différentes classes de ciment :

Tableau II.4: Les différentes classes de ciment :[1]

classe	Utilisation
A	Utilisé de 0 à 1830 m lorsque des propriétés spéciales ne sont pas nécessaires. Type ordinaire
B	Utilisé de 0 à 1830 m lorsque les conditions nécessitent un ciment à résistances moyenne a forte aux sulfates
C	Utilisé de 0 à 1830 m lorsque l'on désire une forte résistance initiale a la compression. Existe en faible, moyenne et forte résistance aux sulfates.
D	Utilisé de 1830 à 3050 m lorsque la température et la pression sont moyennement fortes. Existe en moyenne et forte résistance aux sulfates.
E	Utilisé de 3050 à 4270 m pour les fortes températures et pressions. Existes en moyenne et fortes résistances aux sulfates.
F	Utilisé de 3050 à 4880 m pour les très fortes températures et pressions. Existes en moyenne et fortes résistances aux sulfates.
G	Utilisé de 0 à 2440 m, est un ciment de base. Il peut être utilisé avec des accélérateurs ou retardateurs de prise pour couvrir une grande gamme de profondeurs et de températures. Existes en moyenne et fortes résistances aux sulfates.
H	Utilisé de 0 à 2440 m, est un ciment de base. Il peut être utilisé dans les mêmes conditions que le ciment de classe G. il n'existe qu'en moyennes résistances aux sulfates.
J	Utilisé de 3660 à 4880 m pour des températures et pression extrêmement élevées. Existe uniquement en type résistant aux sulfates.

II.2.6.5:Les caractéristiques du laitier de ciment : ils sont:[1]

a. La densité: *La densité du laitier peut être calculée très simplement à partir de la densité de poudre de ciment, de celle de l'eau de gâchage, et de celles des différents additifs entrant dans la composition du laitier.*

$$d_L = \frac{M_c + V_E \cdot d_E + \Sigma M_{AD}}{\frac{M_c}{d_c} + V_E + \Sigma V_{AD}} \quad \text{.....(I.3)}$$

M = Masse (kg) c = Ciment

V = Volume (l) E = Eau

d = Densité AD = Additifs

L = Laitier

b. Rendement : C'est le volume de laitier obtenu par tonne de ciment. On ne le mesure pas, il se calcule simplement par la formule :

$$R = 1\,000 \times \frac{\frac{M_c}{d_c} + V_E + \Sigma V_{AD}}{M_c} \quad ; \qquad \text{Exprimé en l/t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.4)$$

Précisons que tous produits, autres que le ciment, est considéré comme un additif même s'il apparaît en grande quantité (farine de silice, allégeant, ...)

c. La thixotropie :Les laitiers de ciments thixotropiques ont une grande capacité de développer un gel qui se forme rapidement en l'absence d'agitation ou d'écoulement. Ce gel est détruit après agitation.

L'emploi de laitier de ciment thixotropique paraît adapté aux problèmes de pertes dans des terrains fissurés. Par la gélification du laitier dans les fissures et qui empêche par la suite le cheminement du gaz et d'autres fluides de formation

d. Le filtrat :Le laitier de ciment est une suspension de solides dans l'eau. De ce fait, placé devant une formation perméable, et soumis à une pression, il va perdre une quantité plus ou moins grande d'eau. Le phénomène de filtration va entraîner une déshydratation prématurée du laitier qui pourra devenir impompable et fera prise dans de mauvaises conditions.

La filtration du laitier de ciment est mesurée comme celle de la boue avec un filtre-presse API à température ambiante et sous 7 bars ou d'un filtre-presse HP-HT, lorsqu'on veut simuler les conditions de fond.

e. L'eau libre : Après sa mise en place dans le puits, le laitier de ciment a tendance à se précipiter et à former un anneau d'eau à la partie supérieure de la gaine de ciment. Ce phénomène est dû à la différence de densité des différents produits composants du laitier. L'eau, étant de densité la plus faible par rapport aux autres particules, remonte à la partie supérieure de la colonne de ciment.

Ce phénomène d'eau libre est plus néfaste dans les drains horizontaux.

f. Le temps de pompabilité :C'est le temps mis par le laitier, maintenu en agitation sous conditions de pression et de température, pour atteindre une consistance de 100 Poises. Pratiquement, il correspond à la durée pendant laquelle le laitier reste pompable.

Le temps de pompabilité d'un laitier est estimé à l'aide d'un consistomètre tout en tenant compte des paramètres influençant sur la prise (l'agitation, la pression et la température qu'il subira lors de son refoulement dans le puits).

g. La résistance à la compression :Le ciment doit supporter :

- ✓ Les vibrations dues au forage et aux perforations
- ✓ Les contraintes dues à la pression régnant à l'intérieur du tubage
- ✓ Les contraintes dues aux différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur de la gaine de ciment

Ces contraintes dépendent des conditions du puits et peuvent nécessiter des résistances supérieures à 100 bars.

h. La perméabilité : La perméabilité est définie comme étant l'aptitude d'un ciment durci à se laisser traverser par les fluides.

Elle dépend du type de ciment, des conditions de pression et température, de l'âge du ciment.

La perméabilité d'un ciment durci évolue parallèlement à sa résistance à la compression.

La perméabilité doit être la plus faible possible afin que le ciment remplisse sa fonction d'étanchéité.

i. Hydratation du ciment : Décrire en détail les réactions physico-chimiques qui ont lieu lors de l'hydratation du ciment Portland est totalement impossible. Il faut bien savoir, en effet, que la réaction d'hydratation du ciment n'a rien de comparable, par exemple, à la prise du plâtre qui est une réaction chimique simple et bien connue :

$$Ca\,SO_4, 1/2\,H_2O + 1/2\,H_2O \rightarrow Ca\,SO_4\,H_2O$$

Hemihydrate (Plâtre) (Gypse)

L'hydratation du ciment est en fait une succession complexe d'équilibres chimiques instables qui ne sont d'ailleurs pas encore complètement connus.

Toutefois on ne peut pas parler du ciment sans expliquer, même brièvement, ce qui se passe lorsqu'il fait prise et qu'il durcit. Aussi nous faisons ici une sorte de synthèse simplifiée, de tout ce que nous avons pu lire dans les ouvrages spécialisés et qui puisse expliquer clairement les comportements du ciment que nous avons pu observer lors de notre étude.

II.2.6.6:Critères de choix du laitier :

Il est imposé par les paramètres suivants :

- ✓ La température statique de fond de trou qui conditionne le temps de prise et donc le temps de pompabilité.
- ✓ La température de fond de trou sous circulation, lors de la mise en place du laitier, qui modifie le temps de prise et donc le temps de pompabilité.
- ✓ La densité du laitier imposée par les limitations de pression hydrostatique de certaines formations rencontrées.
- ✓ La viscosité plastique du laitier et ses caractéristiques de filtrations.
- ✓ Les paramètres rhéologiques du laitier.
- ✓ Le temps de prise et de développement d'une résistance à la compression.

II.2.7:Additifs pour ciments pétroliers :

On est couramment amené à utiliser un certain nombre d'additifs, pour adapter les caractéristiques du ciment aux différentes conditions d'utilisation.

Ces additifs peuvent être classés comme suit :

a. Accélérateurs : Ces additifs sont destinés à accélérer le durcissement du ciment, mais ils provoquent également une diminution du temps de pompabilité. Précisons qu'à l'inverse une réduction du temps de pompabilité n'implique pas forcément un durcissement plus rapide.

On les utilise dans les cas suivants :

- ✓ Cimentation de casing de surface et bouchons à faible profondeur
- ✓ Bouchons de ciments pour colmatage de zone à pertes
- ✓ Cimentation avec additifs à effet retardateur tel que les réducteurs de filtrat

On cite : chlorure de calcium ($CaCl_2$), silicate de sodium, chlorure de sodium (NaCl).

b. Retardateurs : Dans un grand nombre de cas le ciment fait prise trop rapidement pour laisser le temps à l'opérateur de le mettre en place. On utilise alors des retardateurs qui vont permettre d'ajuster le temps de pompabilité du ciment à la valeur désirée.

Les produits, en passant en solution dans l'eau, se retrouvent sous forme d'ions et peuvent se fixer à la périphérie des grains de ciment par attraction électrostatique. Ils forment alors autour des grains une pellicule qui les isole de l'eau et retarde ainsi la réaction d'hydratation.

Les plus utilisés sont les lignosulphanates de calcium et solution salée saturée.

c. Les dispersants :Ce sont utilisés pour résoudre le problème d'eau libre qui est dû à la précipitation des particules solides dans le laitier de ciment, ces produits dispersants vont

maintenir en suspension toutes les particules pendant la prise du laitier. On distingue : les polymères et les lignosulphanates de calcium**.**

d. Réducteurs de filtrat : Les cas les plus classiques d'emploi de réducteurs de filtrat sont :

- ✓ Squeeze
- ✓ Cimentation de colonnes de production
- ✓ Cimentation des zones à gaz

Un ciment net a un filtrat "infini". C'est-à-dire que si on le pompe devant une formation perméable (squeeze, cimentation de zones réservoirs...) il va rapidement se déshydrater. Cette déshydratation prématurée du laitier va provoquer une prise "flash" du ciment, si elle est très rapide et donner lieu, dans tous les cas, à la formation d'une gaine de ciment poreuse et fragile.

La plupart des additifs employés agissent en accroissant la viscosité de la phase aqueuse.

Mais comme le liquide va filtrer à travers les particules de ciment, il est nécessaire que ces dernières soient parfaitement dispersées. Il est donc courant de trouver des dispersants associés aux réducteurs de filtrats. Les plus utilisés sont : les polymères organiques.

e. Allégeants :Se sont des matières inertes légères mélangées au ciment dont l'effet est d'une part de réduire la densité du laitier, d'autre part d'en réduire les couts. Par contre, la plupart des allègent ont un effet sur le temps de prise et sur la résistance a la compression du ciment il sera souvent nécessaire de compenser par des additifs appropries.

Les principaux allègent utilisés sont :

- ✓ L'eau qui est le principal produit utilisé
- ✓ Les produits solides à faible densité a titre d'exemple les billes de verre creuses de densité de 0,3 et 0,7, la chaux
- ✓ l'inclusion d'agents moussants au laitier comme de l'azote ou de l'air par l'intermédiaire d'un compresseur ou d'une unité d'azote.

f. Alourdissants : Ils servent à augmenter la densité du laitier. Ils sont inertes et mélangés au ciment sec.

Les principaux Alourdissants utilisés sont : la Baryte ou sulfate de baryum $BaSO_4$ (d=4,2), L'Hématite ou minerai de fer (d=4,9 à 5,3), L'Ilménite ou l'oxyde de fer (d=4,7), La Galène et l'arséniure de fer (d > 7)

Tout produit alourdissant doit, pour être incorporé au ciment, posséder les caractéristiques suivantes :

- ✓ exiger le moins d'eau de mouillage possible,

- ✓ ne pas réduire la résistance du ciment,
- ✓ ne pas influer sur le temps de pompabilité,
- ✓ avoir une granulométrie uniforme et comparable à celle du ciment,
- ✓ provoquer un accroissement minimum du volume du laitier,.

g. Additifs spéciaux et spécifiques :

- ✓ Fluidifiants, qui compensent une très grande viscosité ou une tendance à gélifier de certains laitiers, facilitent l'établissement de régimes d'écoulement tourbillon lorsqu'ils sont exigés.
- ✓ Les anti-moussants, qui évitent l'excès de mousse produite au mixage de certains ciments, laquelle risque d'interférer avec le bon fonctionnement des pompes.
- ✓ Les gélifiants, qui modifient les caractéristiques thixotropiques de certains laitiers. Utilisés pour la cimentation des zones à pertes pour que le ciment se durcie dès l'arrêt du pompage pour qu'il ne puisse pas s'infiltrer dans les drains de la formation.
- ✓ La silice, qui est utilisée pour protéger le ciment contre les fortes températures (plus de 110 °C statique). On l'utilise à un pourcentage fixé de 30 à 40 %.Elle est impérativement mélangée à sec au ciment.
- ✓ Additifs pour cimentation des zones à gaz, qui sont des additifs destinés à bloquer le cheminement du gaz dans le ciment au moment de la prise. Ce sont, par exemple, le gas-check d'Halliburton ou le gas-block de Dowell.

II.2.8: Fluide intermédiaire (preflush et spacer) :

Pour avoir une bonne cimentation, il faut que le ciment chasse tout le volume de la boue au tour du casing, mais la boue et le ciment sont généralement incompatibles et leur contact génère des sévère channeling ou la formation des fluides impompable de grande viscosité, pour éviter ces problèmes, l'utilisation des fluides intermédiaires est très importante.

Le fluide intermédiaire déplacé en tête du laitier a pour but de[1] :

- ✓ Faciliter le déplacement de la boue dans l'annulaire
- ✓ Isoler le laitier de ciment du contact avec la boue pour éviter tout gèle de boue
- ✓ Faciliter l'élimination de la boue gelée sur les parois du tubage en assurant un régime turbulent,

En effet, le calcium présent dans le ciment flocule les particules argileuses des boues, causant la formation de bouchon de boue très visqueux. Ces bouchons risquent d'être transpercés par le ciment d'où il peut résulter une mauvaise cimentation.

Les fluides intermédiaires agissent principalement comme tampon pour éviter la contamination de la boue en contact avec le ciment. Son volume est calculé de telle sorte qu'il assure un contact avec la formation pour une durée bien déterminée (7 à 15 mn).

- ***Le preflush* :** est généralement de l'eau, mélangée avec des surfactants
- ***Le spacer* :** est un fluide complexe du fait qu'il soit a la fois compatible au laitier et a la boue et il doit avoir de bonnes propriétés rhéologiques pour minimiser la contamination du laitier qui cause de mauvaise cimentation.

II.2.9: Choix des fluides et des écoulements :

La cimentation d'une colonne perdue impose, en plus des différents choix et déterminations faits pour la cimentation d'une colonne, des précautions spécifiques.

La boue sera traitée, colonne perdue au fond, pour obtenir la fluidité optimale.

Le fluide intermédiaire de tête obéit aux règles déjà énoncées pour les cimentations à simple étage. (1)

Le fluide intermédiaire de queue doit se trouver, en fin de chasse de part et d'autre de la connexion entre le train de pose et la tête de colonne perdue. Ses caractéristiques chimiques doivent être adaptées au laitier.

Le volume doit être tel que la circulation inverse puisse se faire après déconnexion sans que le laitier soit en contact avec la boue.

Pour le laitier, les quantités étant faibles, la totalité du volume pourra être fabriquée et homogénéisée en surface. L'eau libre du laitier doit être faible (< 1 %).

La détermination du débit de remontée du laitier dans le découvert doit être très soigneusement établie.

II.2.10: Différents types de régimes d'écoulement :

On distingue trois types de régimes :

- ✓ **Laminaire :** dans lequel chaque lame de fluide se déplace l'une par rapport à l'autre parallèlement dans la direction de l'écoulement avec une propre vitesse.
- ✓ **Turbulent :** caractérisé par la formation de petits tourbillons répartis dans toute la masse de liquide.
- ✓ **Transitoire :** les conditions d'écoulements viennent d'être modifiés et le régime définitif n'est pas encore établit.

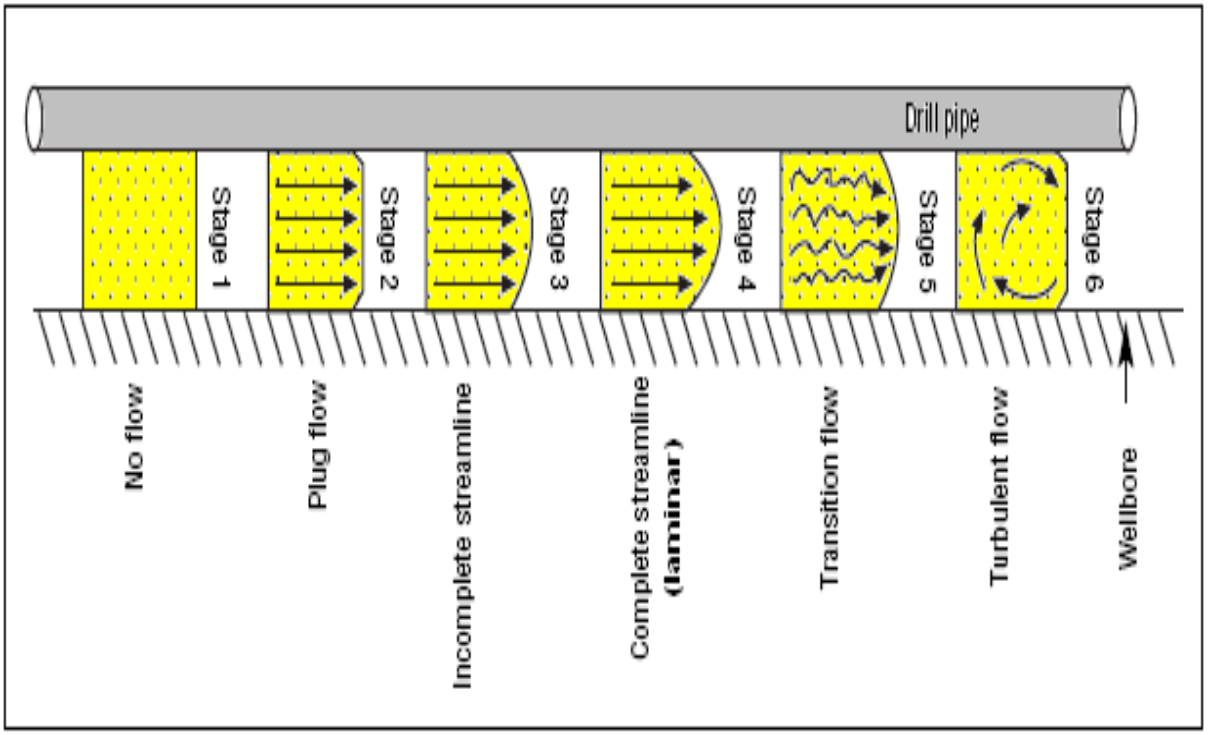


Figure.II.12: Régimes d'écoulements.[1]

Chapitre III: généralités sur le liner

III.1: Définition :

Un liner est une colonne perdue qui ne remonte pas jusqu'à la tête de puits, mais sur une hauteur limitée, à l'intérieur du tubage précédent. Il est cimenté avec un recouvrement dans le dernier tubage (overlap), qui s'étend depuis la cote de pose jusqu'à une certaine distance à l'intérieur de la colonne précédente. Ceci est nécessaire pour bien sceller la colonne perdue dans la colonne précédente et avoir une bonne étanchéité entre les deux. Cette étanchéité est très importante pour prévenir, durant la production, toute fuite d'effluent derrière la colonne perdue. Quelquefois, cette étanchéité est renforcée par l'utilisation d'une garniture supplémentaire (packer) tout en haut de la colonne perdue.[1]

III.2: Avantages du liner :

Les principaux avantages d'un liner sont : [15]

- ✓ le coût est réduit, du aux nombres réduits des casings.
- ✓ la capacité de levage durant la descente du liner est réduite,
- ✓ la possibilité d'utiliser, après la descente du liner, une garniture de forage mixte (5'' en haut et 3''1/2 en bas, par exemple), ce qui réduit la capacité de levage,
- ✓ la capacité de la tête de puits est réduite,
- ✓ le temps de préparation de la colonne avant sa descente est réduit,
- ✓ le liner est plus flexible qu'une colonne entière,
- ✓ les pertes de circulation sont évitées par le fait que les pertes de charges annulaires sont réduites au niveau des tiges,
- ✓ possibilité de complétion dans le tubage précédent si les équipements de complétion ne passent pas à travers le liner.

III.3: Inconvénients du liner :

Les principaux inconvénients sont : [15]

- ✓ La suspension du liner dans le tubage est plus difficile que celui d'une colonne entière dans la tête du puits,
- ✓ peu de colonnes sont exposées à l'effluent et si elles s'affaiblissent, il est obligatoire de compléter le liner par une colonne complète, ce qui nécessite la reprise du puits.
- ✓ Le temps de descente et très grand dans le cas d'un liner qui comporte des équipements à activation hydrauliques.

III.4: 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.[16]

III.4.1: 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 a 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.

III.4.2: 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).

III.4.3: Stub Liners :

Le stub liner est une colonne de tubage de même diamètre que le liner, raccordé a 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

III.4.4: Scab Liners :

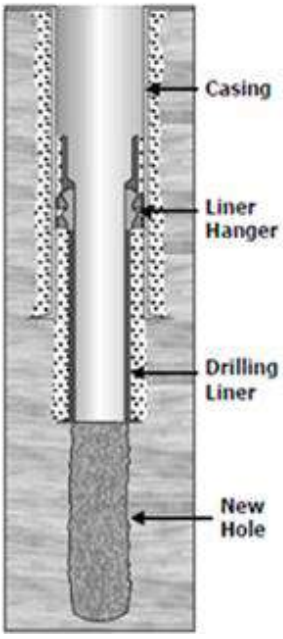
Il est utilisé pour remédier a une partie détériorée d'un tubage, Ce liner peut être cimenté ou isolé en haut et en bas par des packers. Il est utilisé dans les mêmes conditions que le stub liner.

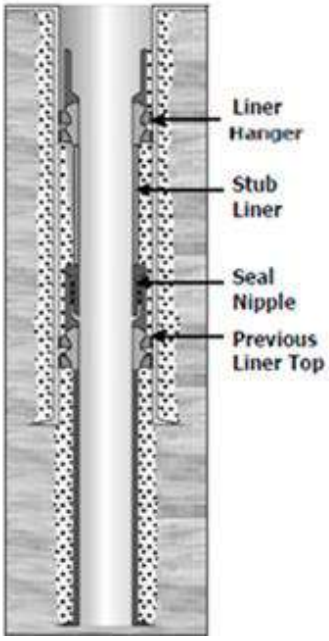
Le scab et le stub liner peuvent être posés sur le liner existant grâce à leur propre poids ou ancrés dans un tubage précédent.

III.4.5: 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 cimente ou non.

Ces différents types de liners sont représentés dans les figures (Fig.1.2.3.4 et 5) ci-dessous :





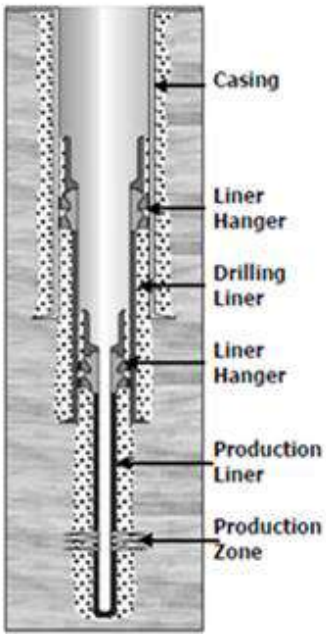
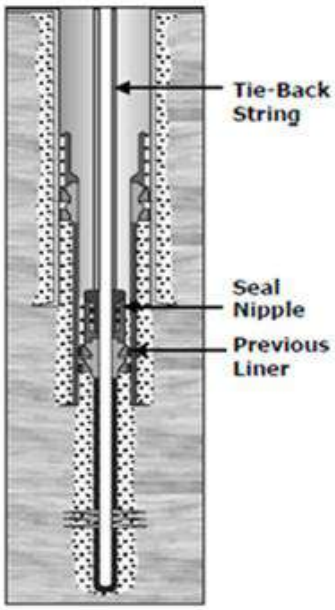


Figure III.1: Liner de forage **Figure III.2:** Stub Liner **Figure III.3**: Liner de production



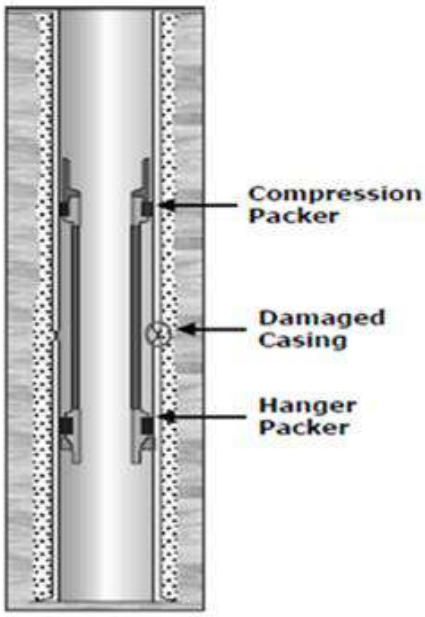


Figure III.4: Scab liners **Figure III.5:** Tie-back liner

III.5: Réception et contrôle des équipements du liner sur chantier :

Les différents équipements seront présentés dans leur ordre de montage pour vérifier qu'ils sont bien complets et que les filetages sont bien compatibles.[4]

On vérifiera :

- ✓ le diamètre intérieur et la longueur de chaque élément,
- ✓ le packer (il doit être en bon état),
- ✓ le diamètre du bouchon racleur du tubage (liner wiper plug) qui doit être égal au diamètre intérieur de la colonne et celui du bouchon pompé dans les tiges (pump-down plug) qui doit être égal au diamètre intérieur de celles-ci,
- ✓ la compatibilité des deux bouchons,
- ✓ la compatibilité du bouchon racleur avec l'anneau de retenue (landing collar),
- ✓ le nez du bouchon pompé (latch),
- ✓ dans le cas d'une suspension hydraulique, le diamètre de la bille qui doit passer dans les équipements,
- ✓ dans le cas d'une suspension mécanique, ajouter un joint rotatif,
- ✓ les coins de la suspension en les actionnant (ils doivent être en bon état),
- ✓ la compatibilité de la suspension avec le poids de la colonne à suspendre,
- ✓ l'extension (tie-back) qui être en bon état,
- ✓ sur l'outil de pose :
  - la canule (elle doit être lisse et chanfreinée, on le mesurera),
  - les filetages (ils doivent être en bon état, on les graissera),
  - le diamètre des coupelles,

III.6: Opérations à effectuer avant descente de la colonne :ils sont;[5]

- ✓ On s'assurera que toutes les dimensions de l'équipement de la colonne et du matériel de pose ont été relevées (diamètres intérieurs, extérieurs, longueurs).
- ✓ De même que pour les autres tubages, les équipements de la colonne seront vissés à la graisse sur leurs tubes respectifs, en contrôlant le couple appliqué. Ils seront ensuite dévissés, nettoyés et enduits de "Backerlock" avant d'être revissés au couple nécessaire. Il s'agit :
  - du sabot,
  - du récepteur de bille (ball catcher) si l'ancrage est hydraulique,
  - du raccord de retenue (shear-out landing sub),

- de l'anneau de retenue (landing collar),

✓ La tête de cimentation (plug dropinghead) sera ouverte pour vérification et les vannes seront actionnées.

✓ Le bouchon à pomper dans les tiges (pump-down plug) y sera introduit dans la tête de cimentation. On vérifiera au préalable que le système de retenue est en position fermée.

✓ Avant le dernier contrôle de trou, on assurera la manœuvre des gratteurs (scrapers) à l'intérieur de la colonne précédente, dans la zone d'ancrage du dispositif de suspension (hanger) et du packer.

✓ On s'assurera que les tiges de forage, ainsi que les tiges courtes ou autres qui serviront à la descente et à la cimentation de la colonne perdue ont été bien calibrées.

✓ Les tool-joints devront être rebloqués à la dernière remontée.

✓ La garniture de descente sera calculée et ajustée de telle manière que :

- le dispositif de suspension soit au milieu d'un tube.
- la tête de cimentation soit à 1.5 ou 2 m de la table de rotation.

III.7. Procédure de descente et ancrage d'un conventionnel liner :

Une fois le trou et le matériel nécessaire sont préparés on commence la descente du liner suivant la procédure ci-dessous [10] :

✓ Descendre le set shoe, le floatcollar, le landing collar et les tubes entre eux, jusqu'à celui au-dessus du landing collar, en les vissant au Bakerlock ou Tubelock ;

✓ Mettre la tête de circulation et circuler pour vérifier que le set shoe, le floatcollar et le landing collar ne sont pas bouchés ;

✓ Descendre le liner en remplissant tous les 5 joints maximum, tout en respectant la vitesse de descente et en vérifiant que les centreurs sont installés conformément au programme ;

✓ A l'arrivés du dernier tube, remplir complètement le liner ;

✓ Mettre en place le wiper plug au bout du setting tool et visser l'ensemble setting tool/top liner sur les tubes ;

✓ Si la suspension est mécanique, faire un essai de fonctionnement des coins, vérifier que chaque coin se positionne sur son cône, verrouiller le mécanisme en position de descente. Le blocage de l'écrou flottant se fait à la clé à chaîne ;

✓ Descendre l'ensemble et poser sur cale, en utilisant éventuellement une tige courte ;

✓ Mettre en place la tige d'entraînement ou le top drive et circuler le volume intérieur du liner, sans dépasser 70% de la pression d'ancrage du liner si le hanger est à ancrage hydraulique, ou,

dans le cas d'un liner mécanique, à 500 l/mn environ. Noter le débit et la pression et s'assurer de la bonne étanchéité au niveau du setting tool ;

- ✓ Remplir l'espace entre la setting sleeve et le setting tool par la boue ou l'eau, pour empêcher les débris de s'y déposer et rendre le relâchement du setting tool difficile ;
- ✓ Enlever la cale et noter le poids du liner vers le haut et vers le bas ;
- ✓ Descendre avec les longueurs de tiges stockées, tout en manœuvrant lentement lors du passage du hanger au niveau des BOP et de la tête du puits. Il est recommandé de mettre un essuie-tiges pour éviter toute chute d'objets dans le puits ;
- ✓ Bloquer la table de rotation et le crochet du moufle mobile ; utiliser une clef de retenue durant la descente pour éviter la rotation du liner, ce qui peut entraîner l'ancrage accidentel du hanger ;
- ✓ Remplir toutes les 5 longueurs maximum. Ceci est particulièrement nécessaire si le setting tool comporte des swab-cups, qui ne supportent par une pression extérieure importante
- ✓ Arrivés au sabot du dernier tubage:
  - Circuler le volume des tiges (sans dépasser 70 % de la pression d'ancrage du hanger s'il est hydraulique) et noter les débit et pression ;
  - Noter le poids vers le haut et vers le bas ;
  - Si le hanger est rotatif, mettre en rotation à ±20 rpm et noter le couple ;
  - Il est recommandé d'assembler la tête de cimentation à une tige de manœuvre et la positionner sur le plan incliné afin de réduire le temps d'immobilisation de la garniture au fond du puits, où il y a les risques de coincement par pression différentielle.
- ✓ Descendre le liner dans le découvert tout en respectant la vitesse préconisée, pour éviter les pertes ;
- ✓ Avant de toper le font on maitre la tête de cémentation et démarrer la circulation progressivement en limitant la pression si le liner est a ancrage hydraulique, et on commence l'ancrage du liner selon la procédure ci-dessous :
- ✓ Mesurer les poids vers le haut et vers le bas ;
- ✓ Toper le fond en circulation, puis dégager et faire un repère sur la tige au niveau de la table de rotation dès qu'on reprend tout le poids vers le haut ;
- ✓ Continuer la circulation tout en manœuvrant la garniture sur quelques mètres ;
- ✓ Si le liner est rotatif, démarrer la rotation progressivement dès que la circulation est établie, de préférence en cours de descente. Surveiller le couple et arrêter la rotation s'il tend à dépasser sa valeur maximale ;
- ✓ Surveiller le retour de la boue pour détecter d'éventuelles pertes ou venues ;

- ✓ Circuler au minimum un cycle tout en conditionnant la boue si nécessaire, jusqu'à ce que le puits soit propre ;
- ✓ Arrêter la rotation progressivement en évitant le retour de la table ;
- ✓ Procéder à l'ancrage du liner le plus bas possible, pour que le stinger ne sorte pas de son étanchéité si le liner glisse jusqu'au fond du puits. Le hanger doit être ancré dans le corps du tubage et non sur le manchon ;
- ✓ Si le hanger est à ancrage mécanique :
  - remonter de 2 m environ par rapport à la marque faite auparavant ;
  - tourner 1 à 2 tours/1000m à gauche (ou à droite selon le cas), puis maintenir le couple avec les clés de forage ou le top-drive ;
  - poser rapidement 30 à 40 tonnes tout en maintenant le couple pour ancrer le hanger ;
  - poursuivre cette opération sur 1 à 1.5 m jusqu'au moment où l'on obtient la pose (perte de poids au MD). Recommencer l'opération plusieurs fois si nécessaire ;
  - si le hanger s'ancre, poser rapidement le poids du liner, augmenté de 5 à 10 tonnes ;
  - dégager pour reprendre le poids des tiges dans la boue ;
  - poser 1 tonne et faire un repère ;
  - poser sur les cales, enfoncer à la masse dans la table de rotation ;
  - tourner lentement à droite (ou à gauche, selon le cas) à la table, au moins 2 fois le nombre de tours compté au vissage en surface ;
  - dégager pour vérifier que le setting tool est relâché, sans sortir le stinger de son étanchéité ;
  - une fois le poids du liner perdu, reposer ±10 tonnes sur le liner, et garder ce poids durant toute la cimentation pour garder l'étanchéité.
- ✓ Si le hanger est à ancrage hydraulique :
  - remonter de 2 m environ par rapport à la marque faite auparavant (liner au fond) ;
  - lancer la bille et pomper derrière à 500 l/mn ;
  - lorsqu'elle arrive sur son siège, monter en pression et la maintenir à la pression d'ancrage du hanger ;
  - lorsqu'on constate l'ancrage (à-coup de pression), poser rapidement ±10 tonnes pour bien ancrer le hanger ;
  - libérer le setting tool, puis dégager pour vérifier qu'il est relâché, sans sortir le stinger de son étanchéité ;
  - reposer ±10 tonnes sur le liner, et garder ce poids durant toute la cimentation pour garder l'étanchéité ;
  - monter en pression pour cisailler le shear out ballsub ;

- circuler quelques instants pour s'assurer que le passage est libre.

III.8: Incidents & Solutions:

Pendant la descente et l'ancrage du liner des problèmes peuvent se manifester, due au personnel ou au matériel, dont on situe les suivants[(5)(14)] :

a.Coincement durant la descente du liner :

Mettre en circulation très lentement en manœuvrant la garniture à très petite vitesse. Dès que la circulation est rétablie, augmenter progressivement le débit en surveillant la pression, qui ne doit pas atteindre la pression d'ancrage du hanger s'il est à activation hydraulique. Manœuvrer sans arrêt, très lentement, jusqu'à libération du liner. Circuler au moins un cycle en observant la remontée des déblais.

S'il est impossible de décoincer, cimenter le liner là où il est coincé, si l'accord est donné par la hiérarchie.

b.Pertes de circulation :

Si les pertes sont partielles, il est recommandé de continuer les opérations d'ancrage et de cimentation en majorant le volume du laitier.

Si les pertes deviennent plus importantes, tenter de les colmater par l'emploi de colmatants non fibreux ($CaCO3$), puis procéder à la suite des opérations d'ancrage et de cimentation.

S'il devient impossible de colmater ces pertes, remonter le liner lentement en remplissant en continu.

c. Ancrage accidentel :

Si hanger à ancrage mécanique : le liner a tourné en cours de descente. Dégager le poids des tiges dans la boue, bloquer la table de rotation et le crochet du moufle mobile, puis remonter lentement en tournant lentement à la clé à chaîne, 2 ou 3 tours à droite pour re-verrouiller le hanger.

Si le hanger à ancrage hydraulique : cet incident ne peut être du qu'à une descente trop rapide et un arrêt brutal qui ont provoqué une surpression dans le liner, suffisante pour cisailler les goupilles de retenue des coins. Il ne reste qu'à remonter, remplacer le hanger et redescendre.

d. Pression de circulation anormale :

Pression basse : si le problème ne provient pas de l'installation de surface, il peut être due à une fuite au niveau des tiges ou au niveau de l'étanchéité de la tête du liner. Il faut essayer de ré-engager le stinger dans la garniture d'étanchéité. Si l'anomalie persiste, il faut remonter en contrôlant les tiges.

Pression élevée : ceci peut être due à un bouchage dans les tiges, dans le liner ou dans l'espace annulaire. Essayer de remédier au problème en tournant et manœuvrant la garniture.

e. Difficultés d'ancrage du hanger :

-Hanger mécanique :

Ceci peut être causé par :

- ✓ coins mal adaptés, mal nettoyés ou cassés,
- ✓ système de verrouillage usé par frottement pendant la descente,
- ✓ couple de rotation non retransmis au hanger à cause de la déviation ou des frottements,
- ✓ blocage du swivel alors que le liner n'est pas libre en rotation,
- ✓ manœuvre d'ancrage pas assez rapide pour éviter un glissement des coins,
- ✓ le fonctionnement du système n'a pas été testé avant la descente.

Si ce cas se présente, il faut répéter l'opération d'ancrage plusieurs fois, après avoir effectué une circulation si nécessaire.

Si le résultat est toujours négatif et avec l'accord de la hiérarchie, il est possible de poser le liner au fond sans l'ancrer, si ça ne présente pas des problèmes d'écrasement des tubes situés en bas (cas d'un liner lourd dans un puits vertical) ou des problèmes de cimentation.

-Hanger hydraulique :

Ceci peut être causé par :

- ✓ mauvais tarage des goupilles de retenue de la chemise porte-coins,
- ✓ la bille n'est pas arrivée sur son siège,
- ✓ bouchage des orifices de passage de la boue vers le piston.

Dans tous ces cas, il faut augmenter la pression par paliers de 200 psi maintenus plusieurs minutes, sans dépasser 80 à 85% de la pression de cisaillement du siège de la bille.

Si on remarque qu'il y a un retour de boue, ceci explique que le siège de la bille s'est éjecté avant l'ancrage du hanger, parce que les goupilles qui le retiennent sont mal tarées.

Dans ces cas, il faut cimenter sans désengager le setting tool, et le liner sera ancré à l'à-coup de pression en fin de la chasse du ciment.

f.Glissement du hanger :

Les coins glissent dans le tubage parce qu'ils sont mal adaptés, la manœuvre d'ancrage est trop lente, ou l'ancrage se fait dans un joint de tubage, ce qui casse les coins.

Dans ce cas, si possible et avec l'accord de la hiérarchie, il faut poser le liner sur le fond.

Le glissement peut se faire après dévissage du setting tool, à cause de la rupture des coins, leur mal adaptation, ou un ancrage mal fait, peut-être par manque de poids. Cet incident peut entraîner la chute du liner jusqu'au fond, ce qui écraserait les tubes de la partie basse, surtout si le liner est lourd. Ce serait moins grave si le sabot n'est pas très loin du fond (la hauteur est inférieure à celle du stinger). Si la chute est constatée avant la cimentation, il faut raccorder le setting tool et remonter le liner.

g. Impossibilité de désengagement de l'outil de pose :

Cet incident peut être due au dépôt de déblais sur l'écrou flottant du setting tool, ce qui nécessite la remontée du liner.

Quelquefois, cet incident peut survenir si le liner est léger. Si c'est le cas, le poser sur le fond en appuyant 5 à 6 tonnes pour dévisser l'outil de pose. Les liners léger doivent être dotés de hangers qui possèdent des coins dirigés vers le haut et d'autres dirigés vers le bas, pour empêcher le déplacement dans ces deux sens.

Chapitre IV: Descente et Cimentation du Liner du puits BBKNP1

IV.1:Equipements spécifiques de la colonne suspendue:

En général un liner doit comporter les éléments suivants (Fig. 1):[10][11]

IV.1.1:Le manchon de pose (setting sleeve ou setting collar) :

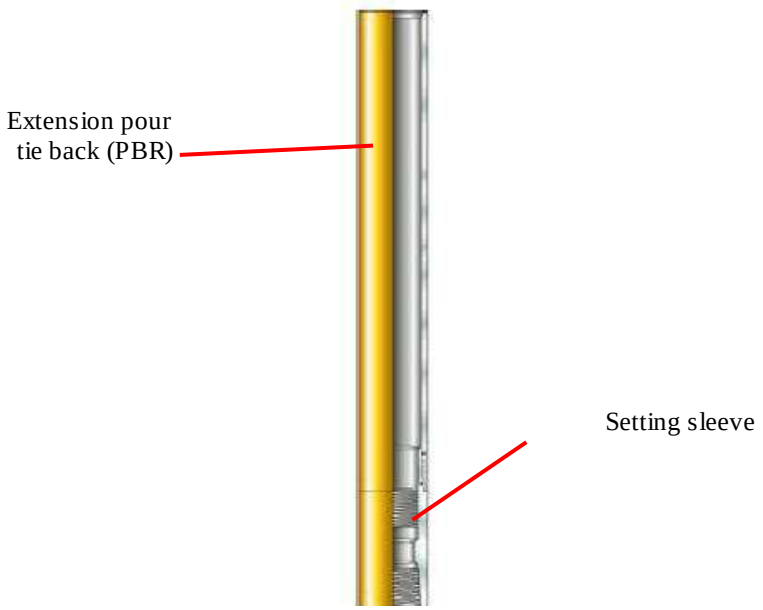
Vissé à la tête du liner, ce dispositif sert à la connexion de ce dernier aux tiges de forage par l'intermédiaire de l'outil de pose pour le descendre et l'ancrer. Par conséquent, il doit être capable de supporter tout le poids du liner avant son ancrage.

Il sert également de point d'appui pour permettre le gonflement du packer, en posant du poids avec les tiges.

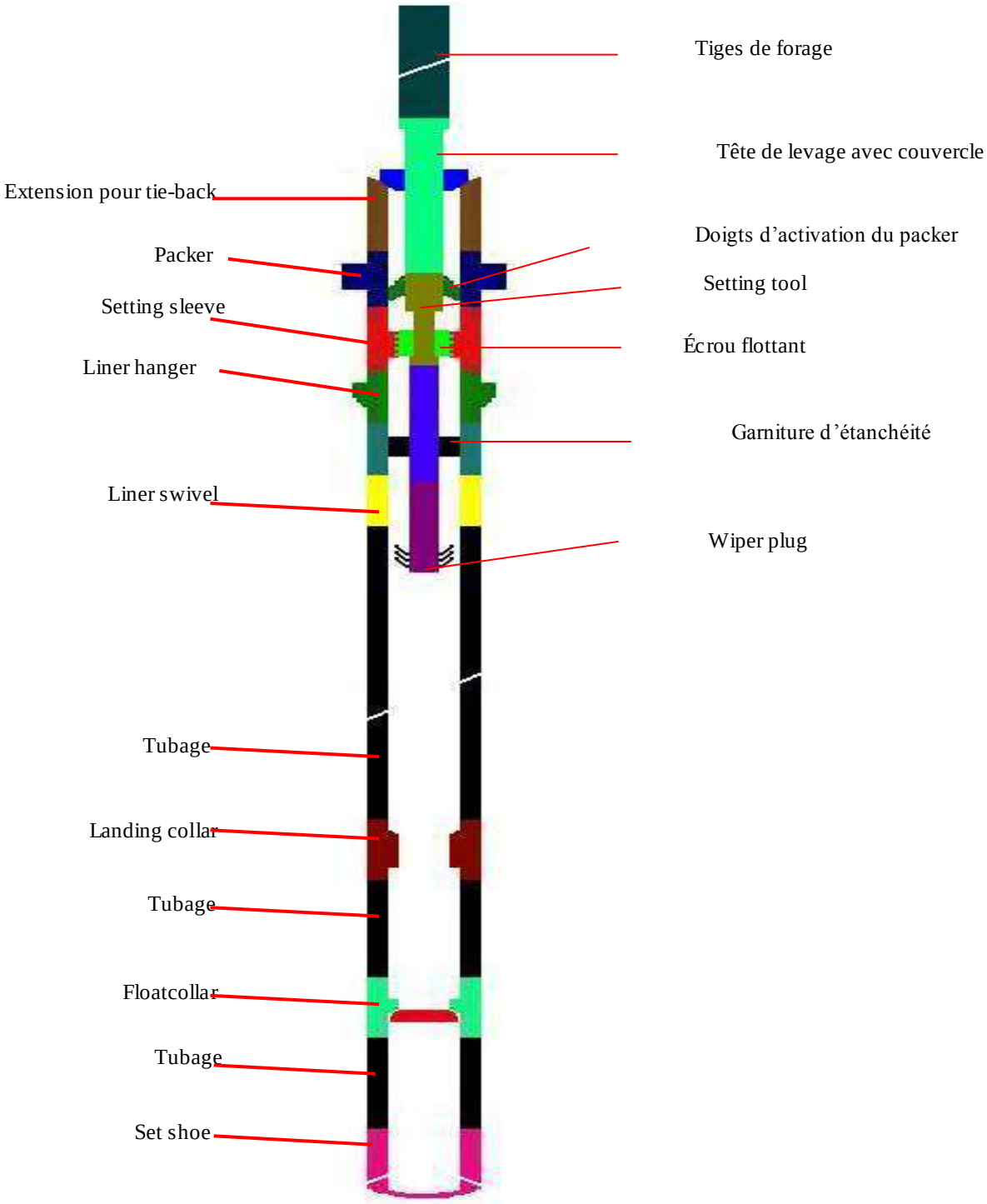
La connexion entre ce manchon et l'outil de pose peut être assurée par un filetage carré femelle généralement à gauche (il peut être à droite, selon le type), de 4 à 6 filets par pouce.

Cette connexion peut être hydraulique, comprenant une collerette dans le setting tool, qui entre dans une gorge du manchon de pose. Cette collerette se libère de la gorge par l'augmentation de la pression, ce qui libère l'outil de pose.

Il peut être surmonté d'une extension (PBR : Polish Bore Receptacle) (fig.2) 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.



FigureIV.2: Setting sleeve avec PBR



FigureIV.1: Le comportement d'un liner

IV.1.2:Le liner top packer:

Le liner top packer peut être ou non solidaire du setting sleeve (fig. 3). Il est utilisé dans le but de renforcer l'étanchéité derrière le liner, au-dessus du ciment.

Le renforcement de l'étanchéité 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 si la cimentation est mauvaise (surtout dans le cas des puits à gaz). Il n'est pas nécessaire s'il n'y a pas de risques de pertes de circulation ou de venues.

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. Il existe également des packers qui gonflent par rotation. Le packer peut être une pièce indépendante (fig. 4) placée au-dessus du hanger, ou jumelée avec ce dernier pour former le liner hanger-packer (fig. 5). Il peut être gonflé en même temps que l'ancrage du liner (système non utilisé dans le cas de liner cimenté) ou après la cimentation.

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 à l'aide du CBL.

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, ils veulent renforcer l'étanchéité, ils réalisent une restauration de la cimentation ou descendent un scab-liner doté de packers.

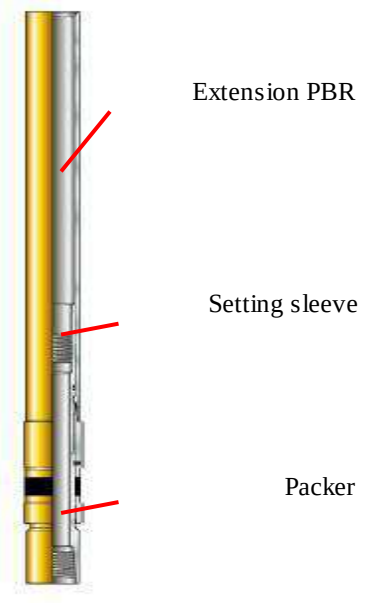


Figure IV.3: Ensemble packer, setting sleeve et PBR

Figure IV.4: Packer seul

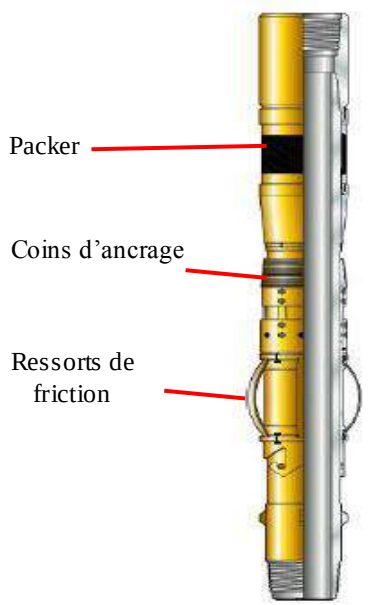


Figure IV.5: Ensemble hanger-packer

IV.1.3: Dispositif de suspension (liner hanger) :

Le liner hanger sert à suspendre le liner dans le tubage précédent, et par conséquent, doit supporter son poids. Il comporte un ou deux jeux de 3 coins. Celui à deux jeux de coins permet un meilleur passage de la boue et assure une meilleure répartition de la charge.

Ces coins 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.

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 convient mieux.

Le liner hanger peut être rotatif pour permettre la rotation du liner durant la cimentation, après son ancrage. Il est utilisé si le couple de rotation est inférieur à celui de vissage des tubes du liner.

Afin d'assurer une bonne suspension et éviter de détériorer les coins d'ancrage, il est recommandé d'ancrer le liner hanger dans le corps d'un tube du tubage précédent et éviter de l'ancrer dans un manchon.

***a.Linerhanger mécanique* (fig. 6) :**

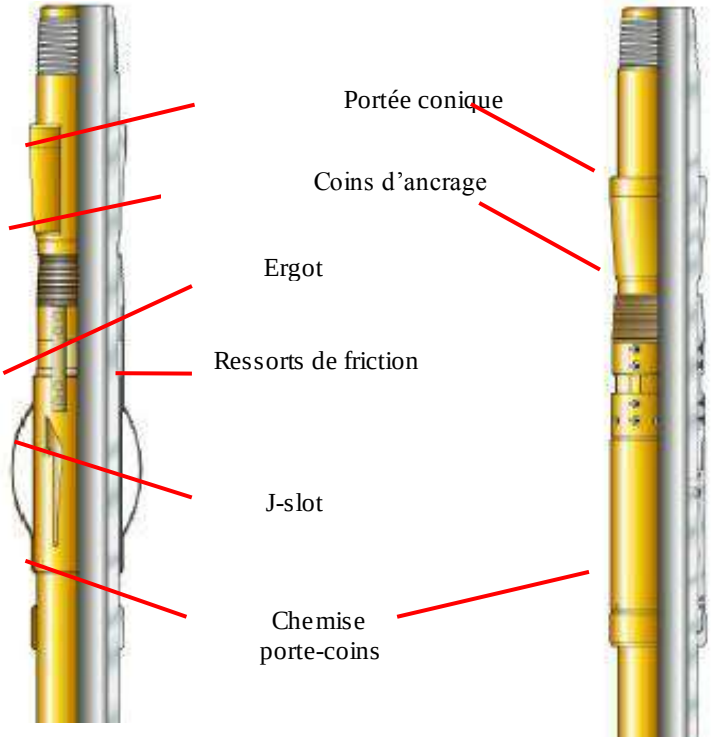
C'est un hanger qui s'ancre par rotation et translation. Il comporte une cage porte-coins munies de ressorts de friction dans laquelle est usinée une rainure en forme de J-slot. Le corps comporte un ergot qui se déplace dans cette rainure.

Pour ancrer cet 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.

Ce hanger peut être désancré facilement, en tirant suffisamment vers le haut et en tournant au sens contraire de celui de l'ancrage. Ce type de suspension est utilisé avec des liners assez lourds (poids supérieur à 10 tonnes),descendus dans des puits verticaux ou faiblement déviés (15 à 20°), dont les frottements et les couples ne sont pas importants.

Figure IV.6 :
Hanger mécanique

Figure IV.7:
Hanger hydraulique



b.Linerhanger hydraulique (fig. 7) :

Ce type de suspension s'ancre par l'augmentation de la pression à l'intérieur du liner. Étant donné qu'il ne nécessite aucun mouvement de la garniture, il est utilisé dans les puits déviés, présentant des frottements importants, en forage en mer, ou pour ancrer un liner dans un autre.

Pour ancrer ce hanger, il faut lancer une bille pour obturer l'intérieur du liner (sous le hanger), puis remonter en pression. Lorsque celle-ci atteint une certaine valeur, elle déplace la chemise porte coins vers le haut jusqu'à ce que ces derniers s'engagent sur les cônes du corps et s'appliquent contre le tubage.

Afin d'éviter l'ancrage accidentel suite à un bouchage qui augmente la pression, la chemise porte-coins est retenue par des goupilles de cisaillement tarées à une certaine pression. Pour la faire coulisser, il faut atteindre la pression de tarage des goupilles pour les cisailler avant. Le cisaillement des goupilles est observé en surface par un à-coup de la pression. A ce moment-là, il suffit de poser rapidement pour aider les coins à glisser entre le tubage et le cône.

Certains liners comportent des ressorts de rappel qui ramènent les coins à leur position initiale si la pression est relâchée.

Le liner hanger peut être rotatif pour permettre la rotation du liner durant la cimentation, pour améliorer le déplacement des fluides lorsque le puits est cavé ou ovalisé, ou le liner est mal centré. Il est utilisé si le couple nécessaire pour mettre le liner en rotation est inférieur au couple de serrage des tubes du liner.

IV.1.4:Le joint rotatif (liner swivel) (fig. 8) :

Lors de la descente du liner à suspension mécanique dans le découvert, si l'on pose accidentellement et le liner tourne, on risque d'ancrer le hanger plus haut. Quelquefois, le liner peut coincer plus haut que sa cote d'ancrage et on décide de l'ancrer là où il est coincé. Mais, étant coincé, il ne tourne pas, et peut empêcher la rotation au niveau du hanger pour ancrer les coins.

Afin d'éviter ces problèmes, il est recommandé d'utiliser un joint rotatif (swivel) qui permet la rotation du liner tout en gardant le haut immobile, ou vice-versa. En général, on évite d'utiliser ce dispositif si l'on souhaite cimenter le liner en rotation. Toutefois, il est possible de faire tourner le liner en posant du poids sur le swivel : ceci a pour effet d'engager des dentelures rendant les deux parties du swivel solidaires en rotation à droite.

Ce joint doit être positionné au-dessus du sabot du tubage précédent et doit être bien cimenté pour éviter toute fuite par la suite.

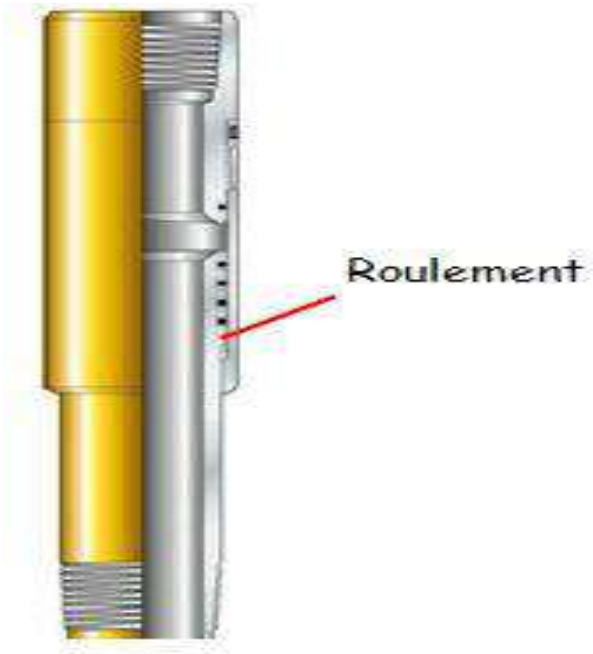


Figure.IV.8: Liner swivel

IV.1.5:L'outil de pose (setting tool) : (fig.9)

Il sert à :

1. Relier le liner aux tiges :

   Pour cela, le setting tool mécanique possède (fig. 9) un écrou flottant à filetage ACME mâle généralement à gauche (il peut être à droite, selon le type), 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. 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'étanchéités sont usinés soit sur le mandrin soit tout au long du filetage de l'écrou.

   Le setting tool hydraulique possède (fig.9) une collerette qui s'engage dans une gorge de la setting sleeve et qui se libère hydrauliquement.

2. Supporter le poids du liner pendant le descente.

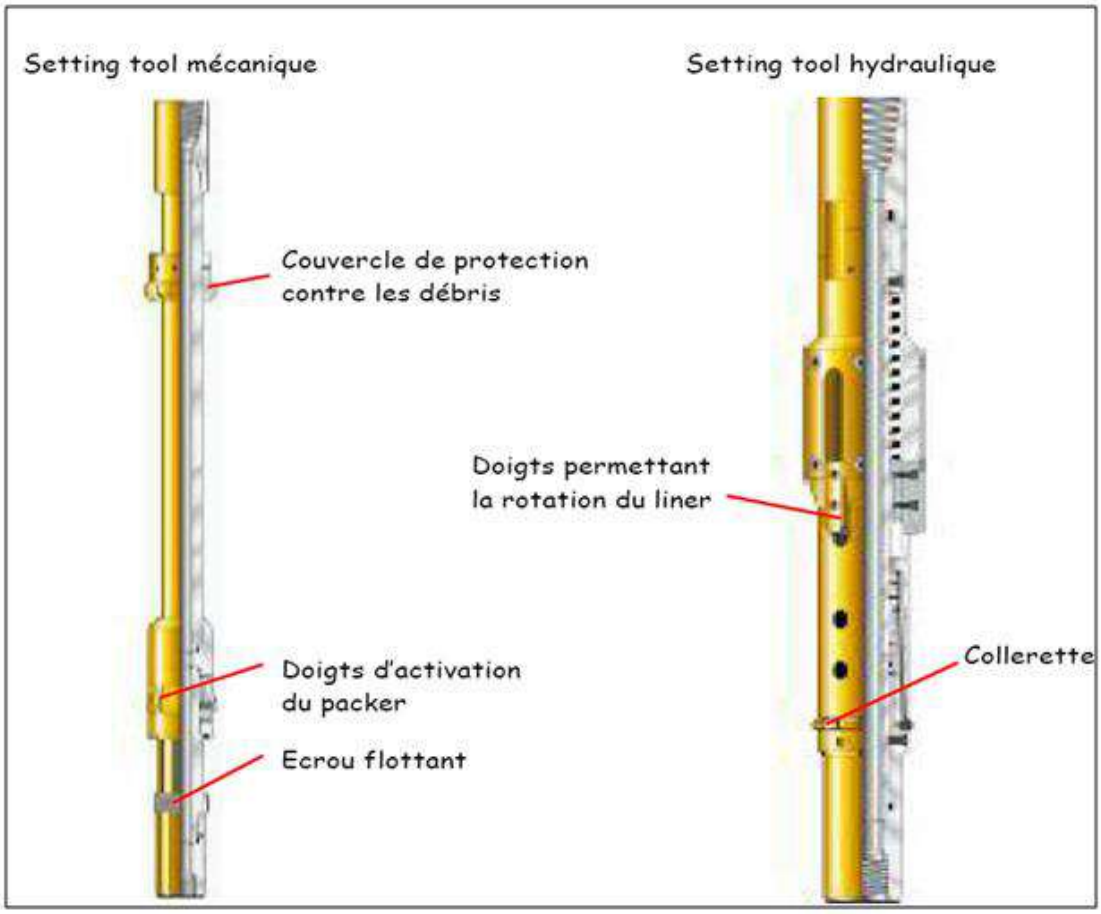


Figure IV.9: Setting tool mécanique et hydraulique

3. Assurer l'étanchéité entre le liner et les tiges :

   Cette fonction est nécessaire pour obliger la boue ou le ciment de passer dans le liner et sortir par le sabot vers l'espace annulaire liner/trou, et l'empêcher de passer entre le liner et le setting tool. Elle est également nécessaire pour permettre l'activation des différents outils dans le cas d'un liner hydraulique.

   Le dispositif d'étanchéité (cementing pack-off) peut être :

   - un tube qui supporte des coupelles (setting cups ou swabcups) (fig. 10) 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,
   - une tige lisse (stinger) s'insérant dans un presse-étoupe (pack-off bushing) (fig. 11) 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.

4. Comporter, à son bout, le(s) bouchon(s) de cimentation du liner

Le setting tool est dévissé avant la cimentation du liner, dégagé .pour s'assurer de son dévissage, puis reposé 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.

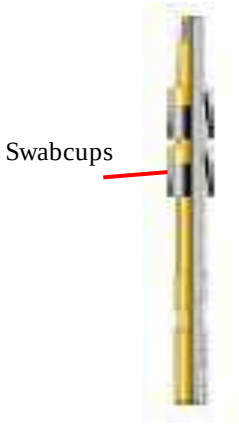


Figure IV.10: Swab cups

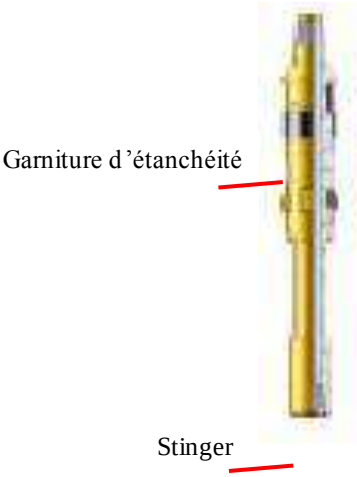


Figure IV.11: Pack-off bushing et stinger

IV.1.6:La garniture de pose (setting string) :

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

IV.2: Suspension du Liner Hanger :

L'ancrage du Liner Hanger se fait par l'augmentation de la pression à l'intérieur du liner, Par le lancement d'une une bille pour obturer l'intérieur du liner
(sous le hanger) puis remonter en pression, lorsque celle-ci atteint une certaine valeur, elle déplace la chemise porte coins vers le haut jusqu'à ce que ces derniers s'engagent sur les cônes du corps et s'appliquent contre le tubage.

Afin d'éviter l'ancrage occidentale suite à un bouchage qui augmente la pression, la chemise porte coins est retenue par des goupilles de cisaillement tarées à une certaine pression, Pour la faire coulisser, il faut atteindre la pression de tarage des goupilles pour les cisailler.

Le cisaillement des goupilles est observé en surface par un à-coup de la pression, a ce moment-là, il suffit de poser rapidement pour aider les coins à glisser entre le tubage et le cône, des ressorts de rappel ramènent les coins à leur position initiale dés que la pression est relâchée.

La montée en pression du Liner s'obtient par le jet d'une bille qui va se poser sur le siège éjectable fixé au dessous du Dual Wiper Plug, cette bille ne devra jamais être pompée au moment de son arrivée sur son siège, elle devra y parvenir de son propre poids.

IV.3:Ancrage du Liner Packer :

L'ancrage du Liner Packer est réalisé par un système mécanique, en exerçant un poids pour l'ouverture du système d'étanchéité. Généralement, cet ancrage se fait après l'opération de cimentation.

IV.4: Phase 8 ½" x 7" Production Liner [3152m – 4855m]:

- **Programme de forage : BottomHoleAssembly pour la phase $8^{1/2}$" :**

Tableau IV.1: BottomHoleAssembly pour la **phase** 6".(2)

No	Type	OD (in)	ID (in)	Connections
1	PDC Bit	$8^{1/2}$	-	-
1	NB Stabilizer	$6^{1/2}$	2.8	4 ½" REG box x 4" IF box
1	Drill collar short	$6^{1/2}$	2.8	4" IF Pin x Box
1	STB	$6^{1/2}$	2.8	4" IF Pin x Box
2	Drill colar	$6^{1/2}$	2.8	4" IF Pin x Box
1	STB	$6^{1/2}$	2.8	4" IF Pin x Box
17	Drill collar	$4^{3/4}$	2.8	4" IF Pin x Box
6	HWDP	5	3	4" IF Pin x Box

- **Paramètres de forage et de boue :**

WOB: 5-15 tonne , RPM: 60-150 tr/mn, Debit: 1400-1800 l/mn.

Tableau IV.2: Paramètres de la boue.(8)

Proprieté	Exigence
MudWeight SG	1,35
Yield Point lb/100 ft^2	9
Plastic VISC (cP)	ALAP
Gels (10sec/10min)	11
HP/HT	4
O/W ratio	92/8
OIL%	72
WATER%	6
SOLID%	22

- **Problèmes attendus :**
  - Possibilité de coincement différentiel
  - Possibilité de perte dans le réservoir
  - Risque de venue

- **Programme de tubage: 7" Liner**

Tableau IV.3: Programme de tubage: 7 " Liner.[7]

Nombre	**Description**
1	FloatShoe - 7" 29#, P110, NVAM
1	Float Collar - 7" 29#, P110, NVAM
1	Landing Collar - 7" 29#, P110, NVAM
1	X-Over new vam' vam top
212	Liner - 7" 29#, P110, NVAM
Liner Hanger System	-L/C (landing collar) -top packer - hanger-running tool -PBR
Drill pipe	Stick out setting tool

IV.5: Calcule de Cimentation :

IV.5.1: Vérification de la colonne du tubage 7" :

Pour les calculs on tient compte les efforts suivants [1]:

- Pression d'écrasement
- Pression d'éclatement
- Tension à la limite élastique (traction).

Donc la colonne doit vérifier ces trois efforts avec des coefficients de sécurité[1] :

- $K_{ecr} = 1,125$
- $K_{ecl} = 1,1$
- $K_{tra} = 1,75$

IV.5.2: Données de départ pour le Liner 7" P110 29 #: ils sont ;[4]

Diamètre du Liner : 7" = 177,8 mm

Masse nominale : Q = 29 lbs/ft

Résistance à l'écrasement : R_{ecr} = 586 bars

Résistance à l'éclatement : R_{ecl} = 773 bars

Tension à la limite élastique : T = 455 10^3daN

Densité de la boue : d = 1,35

Longueur de la colonne : L = 2333 m

Profondeur du puits : H = 4780 m

IV.5.3:Calcul de lapression hydrostatique:

$P_h = H \times d / 10,2$……IV.1

$P_h = 4780 \times 1,35 / 10,2$

$P_h = 632,64$ bars

IV.5.4:calcul de la pression d'écrasement:

$P_{ecr} = P_h \times K_{ecr}$……IV.2

$P_{ecr}= 632.64 \times 1,125$

$P_{ecr}= 711,72$ bars

$P_{ecr}<R_{ecr}$ donc le tube résiste à l'écrasement.

IV.5.5:calcul de la pression d'éclatement:

$P_{ecl} = P_h \times K_{ecl}$……IV.3

$P_{ecl}= 632,64\times 1,1$

$P_{ecl}= 695,9$bars

$P_{ec\ l} <R_{ecl}$ donc le tube résiste à l'éclatement.

IV.5.6:Calcul de la tension à la limite élastique :

$T_1 = Q \times L \times K_{tra}$……IV.4

$T_1 = 29 \times 2333 \times 1,75$

$T_1 = 118,40\ 10^3$daN

$T_1 < T$ donc le tube résiste à la traction.

Alors, les caractéristiques du tube sont vérifiées.

IV.5.7:Calculs de cimentation:

IV.5.7:1.donné de départ:

Pour la cimentation de ce type de liner, on a les données suivantes[9]:

- Diamètre de l'outil $8^{1/2}$"
- Profondeur du puits :
- Cote mesurée : 4780 m
- Position de sabot $9^{5/8}$= 3161 m
- Cote d'ancrage du Liner Hanger : 2536 m
- Densité de la boue : d = 1,35

A. Caractéristiques du matériel tubulaire :

Tableau IV.4: Caractéristiques du matériel tubulaire(4)

	Poids		**Grade**	**Filetage**
	Lb /ft	**Kg /m**		
Casing $9^{5/8}$"	53.5	79,61	P110	New Vam
Liner 7"	29	43.15	P110	New Vam
Crépine 7"	29	43.15	N80	New Vam
DP 5"	21.90	37.58	G105	IF

B. Tableau des volumes unitaires

Tableau IV.5: Volumes unitaires(9)

	Volumes unitaires (l/m)
casing 7" (U_{C7})	18.820
DP 5" (U_{DP})	9.151
DP 5" – CASING $9^{5/8}$ (Ucd	25.522
CASING 7"- CASING $9^{5/8}$" (U_{CC})	13.310
OPEN HOLE$8^{1/2}$" - CASING7" (UCT)	12.422

Open holeexcess est de 30% donc la capacité entre l'open hole et liner 7" est : 16,149(l/m).(9)

IV.5.7.2: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 ($\mathbf{P_{frac}}$):

$$P_{frac} = Z_s \times d_{frac} / 10,2 \quad \text{……(IV.5)}$$

$\mathbf{Z_s}$: cote du sabot $9^{5/8}$" .$\mathbf{Z_s}$= 3161 m

d_{frac} : densité de fracturation de la roche au niveau du sabot. **d_{frac}**= 1,95

Donc :**P_{frac}** = 3161× 1,95 / 10,2

P_{frac} = 604, 308 bars

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

On doit avoir :

……(IV.6)

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

$$h_{lmax} = 3448.36m$$

IV.5.7.3:Calcul du volume total du laitier:

$$V_{tot} = V1+V2+V3+V4$$

…….(IV.7)

V1: volume Open hole $8^{1/2}$" -casing 7"

V2: volume casing 7"- casing $9^{5/8}$"

V3: volume casing 7"- DP 5"

V4: volume shoe - landing collar

IV.5.7.3.1.Calcul de V1 :

$$V_1 = U_{CT} \times H_{CT}$$

……...(IV.8)

H_{CT}: représente la hauteur: bottomcement –sabot $9^{5/8}$"

H_{CT} = 4780-3161=1619m

V_1 = 16,149× 1619

V_1 = 26145,231 L

IV.5.7.3.2.Calcul de V2 :

$$V2 = U_{CC} \times H_{CC}$$

…….(IV.9)

H_{CC} = 3161 - 2474 = 687 m

V2 = 13,31 × 687

V2 =9143,97 L

IV.5.7.3.3.Calcul de V3 :

$$V3 = U_{CD} \times H$$

……(IV.10)

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

H = 50m

V3 =25.522 × 50

V3 = 1276,1 L

IV.5.7.3.4.Calcul de V4 :

$$V4 = U_{S.L} \times H \quad \text{……..(IV.11)}$$

H = 4780 - 4692= 9m

V4 = 9 ×18.820

V4 = 169,38

Donc on aura le volume total :

V_{tot}= V1+V2+V3+V4 = 26145,231 + 9143,97 + 1276,1 + 169,38

V_{tot}=36734,681 L

V_{tot} =36,735 m^3

- **Le laitier :** Volume : **36,735** m^3

  Densité : 1,90 sg

Tableau IV.6 : caractéristiques de laitier.[9]

additif	Codes	Concentration	Densité (Kg/l)	Volume (litre)	MixagedeFluide (min)
Antifoam	D206	1,000 L/tone	1,00	**35,1195**	10
Fluid loss	D167	0,250 % BWOC	1,31	87,79	30
Dispersant a	D121	0,200 % BWOC	1,38	70,24	30
Retarder	D028	0,650 % BWOC	1,25	228.28	30
GASBLOK	D600G	100,000 L/tonne	1,02	3511.95	20
Antisettling	D701	0,300% BOWC	1,05	105.35	30
Silica	D066	35,0% BWOC	2,65	4638.4	

$V_{tot\ additif}$ **= 8671,13 L**

- **Spacer :** Volume : 9 m^3

  Densité :1,65 sg

Tableau IV.7: caractéristiques de spacer.(9)

Additif	**Mixage Water/Spacer Min**	**Concentration**
Antifoam	10	1,000 L/m^3 de spacer
Turb. Spacer	30	8,000 kg/m^3 fluid de base
weight agent	30	836,95 kg/m^3 de spacer
Extender	30	20,000 kg/m^3 fluid de base
Surfactant	30	15,000 L/m^3 de spacer
Mutual solve	30	15,00 L/m^3 de spacer

IV.5.7.4:Calcul de la quantité de ciment :

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

D'après le formulaire du foreur, le volume d'eau douce nécessaire pour 100 Kg de ciment est : 44,1 L/100Kg

$Q_C = 36,735/ 1,046$

$$Q_C = V / R \quad \text{……(IV.12)}$$

Q_C = 35,1195T

IV.5.7.5:Calcul de la quantité de silicaflourQ_{silica} qui correspond à Q_C :

35% de silica en masse ⟶ 1 T de ciment

Q_{silica} ?35.1195T ⟶

On aura : **Q_{silica}= 12,29 T**

IV.5.7.6:Calcul le volume d'eau douce utilisée :

$$V_E = V_{laitier} - V_C - \sum V_{AD} \quad \text{……(IV.13)}$$

$$V_E = V_{tot} - (Q_C / d_c) - \sum(Q_{AD} / d_{AD})$$

V_E = 36,735- (35.1195/3,17) – 8,67113

V_E = 16,985m^3

IV.5.7.7Calcul du volume total de chasse (V_{chasse}) :

$$V_c = V_{int\ DP\ 5''} + V_{int\ CSG\ 7''} \quad \text{……(IV.14)}$$

- **DP5"**

$$x\ H_{DP"} V_{intDP5"} = U_{DP5} \quad \text{.....(IV.15)}$$

V_{int}: représente le volume intérieur des tiges 5", il est calculé comme suit :

H_{DP}: représente la longueur totale des tiges 5 "

H_{DP} = 2474 m

$V_{intDP5"}$= 9.151× 2474

$V_{intDP5"}$ = 22,64 m^3

- **Casing7"**

$$x\ H_{CSG7"} \mathbf{V_{int\ CSG\ 7"}} = U_{CSG7} \quad \text{……(IV.16)}$$

$H_{CSG7"}$=2146.6m

$V_{int\ CSG\ 7"}$= 18.820×2146.6

$V_{int\ CSG\ 7"}$= 40.4 m^3

Finalement, le volume de chasse **V_{chasse}** est :V_C=63,04

IV.5.8.Calcul du temps de chasse : T_C

$$T_C = V_C / Q_C \quad \text{……..(IV.17)}$$

T_C = 63040 / 300

T_C = 210,13 min

IV.5.9.Temps d'injection du spacer et du laitier :

On a le débit d'injection : Q_i = 300 lt / min

T_i = (Volume spacer + Volume du laitier) / Q_i

= (9000 + 36735) / 300

T_i = 152.45 min

IV.5.10Durée de cimentation :

Dc = Ti + Tc

= 152,45 + 210,13

Dc = 363 min

IV.5.11.Calcul de la pression de refoulement : (P_{ref})

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

..(IV.18)

H_l : hauteur du laitier dans l'espace annulaire (m). **H_l=2306m**

H : anneau. **H = 4692 m**

H_{s1} : hauteur de spacer à l'intérieur (m). **H_s=159,4 m**

H_{S2}.hauteur de spacer à l'intérieur (m).**H_s=450,79 m**

d_L, d_b, et **d_s** sont les densités respectivement du laitier de ciment, boue et celle du spacer

$$P_{ref} = \frac{2306 \times 1,90}{10,2} + \frac{450,79 \times 1,65}{10,2} + \frac{(4780-2306) \times 1,35}{10,2} - \frac{(4780-159,4) \times 1,35}{10,2} - \frac{159,4 \times 1,65}{10,2}$$

$$P_{ref} = 192,57 bars$$

IV.6. Procédures de cimentation:comme suite;([10])[11]

1. Après l'arrivée du sabot au fond du puits, lancement de la Ball ;
2. Circulation et observation d'une augmentation de pression « le premier à-coup de pression » ;
3. Ancrage du Liner Hanger à 2000 Psi ;
4. Cisaillement des goupilles du siège de la Ball à 3200 Psi ;
5. Circulation et injection de 6 m^3 de spacer de densité 1,65 ;
6. Libérer le bouchon inférieur et injecter le volume du laitier ;
7. Après l'arrivée du premier bouchon sur le Wiper Plug inférieur, on observe un deuxième à-coup de pression ;
8. Libérer le bouchon supérieur et injecter 1m^3 de spacer et le volume de boue de chasse ;
9. Après l'arrivée du deuxième bouchon sur le Wiper Plug supérieur, on observe le troisième à-coup de pression ;
10. Continuer la circulation jusqu'à l'arrivée des bouchons sur le landing collar.
11. Poser un poids de 20 tonnes pour l'ancrage du Liner Packer ;
12. Dégager la garniture de 9 m (pour sortir du packer) et circulation jusqu'à l'éjection de 2 m^3 de spacer;
13. Dévisser la tête de cimentation et remonter la garniture de pose(setting tool).

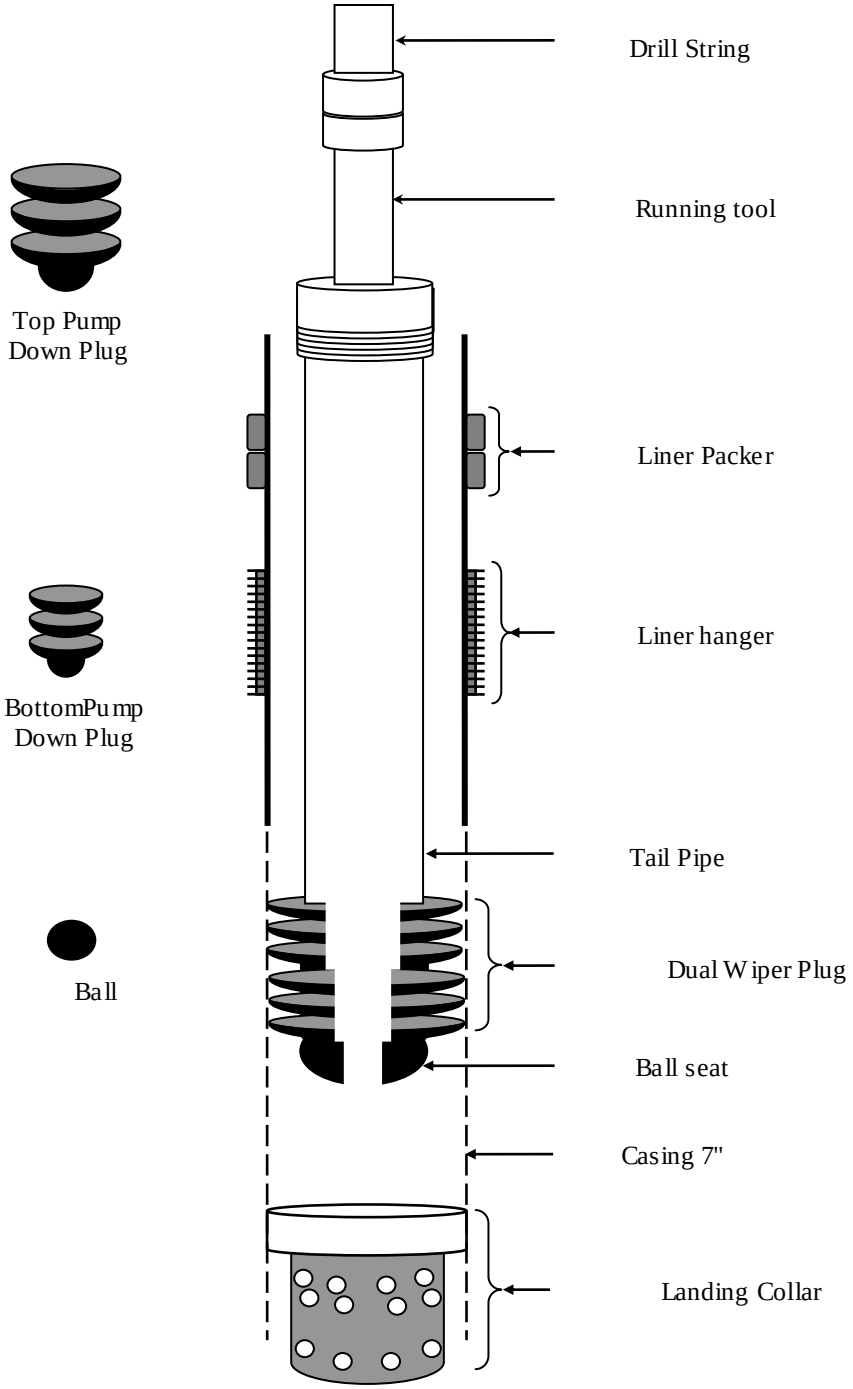
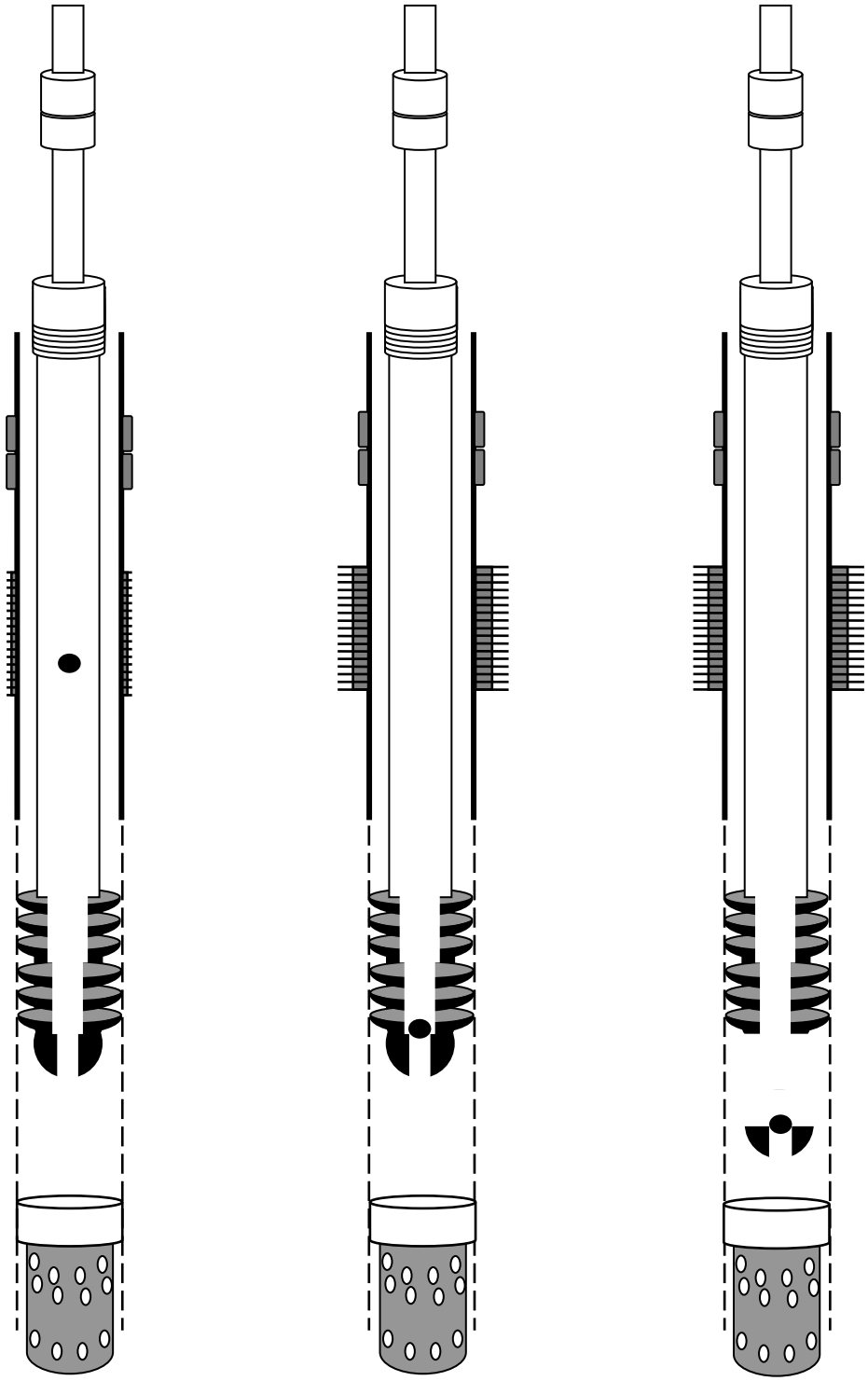


Figure IV.12: Packer[11]



Lancement de la Ball | Ancrage du Liner Hanger | Cisaillement des goupilles du siège de la Ball

Figure IV.13: Ancrage du Liner Hanger.[11]

IV.7.Evaluation de la qualité de cimentation :

IV.7.1. Contrôle d'une cimentation:

Le dégagement de chaleur et l'augmentation de la contrainte d'adhérence du ciment lors de sa prise permettent d'étudier la cimentation d'un tubage et sa qualité grâce aux diagraphies suivantes :[13]

- Thermométrie.
- Sonic (CBL-VDL) [Cement Bond Log-Variable Density Log].

IV.7.2.Thermométrie:

La méthode la plus courante consiste à effectuer une thermométrie du trou, 6 à 12 heures après la cimentation. [13]

La réaction exothermique de prise du ciment élève la température de la boue au voisinage du ciment. La lecture du diagramme doit permettre de :[13]

- 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.

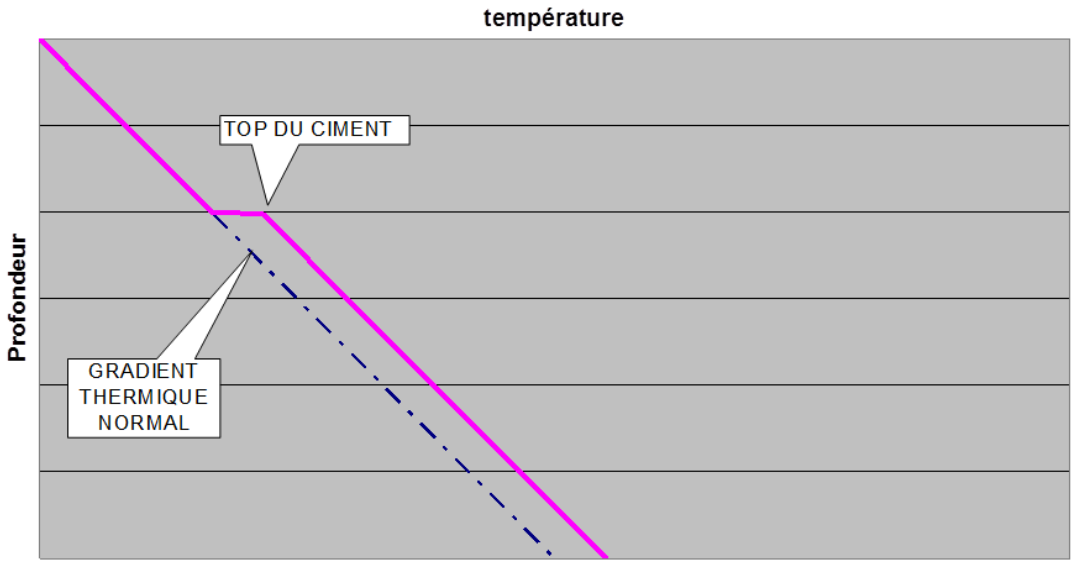


Figure IV 14: Variation de la profondeur en fonction de la température pour un test de thermométrie[13]

Interprétation : La figure 12 présente la hauteur de ciment en fonction de l'augmentation de la température qui est due a l'effet de réaction exothermique de prise de ciment qui augmente la température de la boue au voisinage de ciment.

IV.7.3.Principe du CBL (Cement Bond Log):

Elle permet d'étudier et de quantifier la qualité de la cimentation par la mesure d'adhérence entre tubage et ciment [13]

Un train d'onde de fréquence variant entre 15 et 30 KHz selon les appareillages, est périodiquement généré par un émetteur. [13]

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). [13]

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. [13]

III.7.4.Principe du VDL (Variable Density Log) :

Le VDL permet de définir l'adhérence entre ciment et formation, par la reconnaissance des arrivées de la formation, et l'atténuation du signal qui permet la détection du microannulus. [13]

L'étude de la qualité de la cimentation est faite par l'enregistrementde l'ensemble du train d'ondes sonores reçues par un récepteur situé généralement à 5 pieds de l'émetteur. [13]

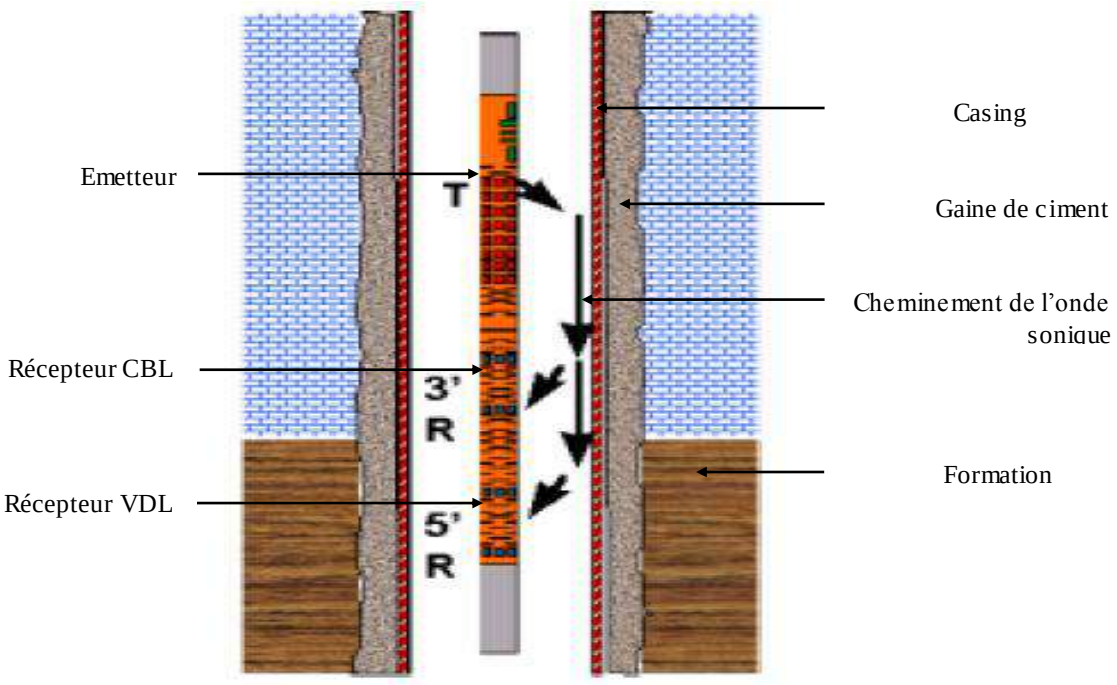


Figure IV.15: Outil CBL-VDL. [13]

IV.7.5.Vérification de la qualité de ciment :

Tableau IV.8: Conditions de bonne qualité de ciment par diagraphie sonique CBL et VDL. [13]

Diagraphie utilisé	Bonne cimentation
CBL	-L'amplitude du CBL est faible. -Le Travel time. est peu différent de celui mesuré dans le tubage libre.
VDL	- ondes de tubage très faibles -des ondes de formation très nettes dont les variations correspondent à celles vues sur le sonique enregistré en trou ouvert. -le signal de formation vient en haut et claire

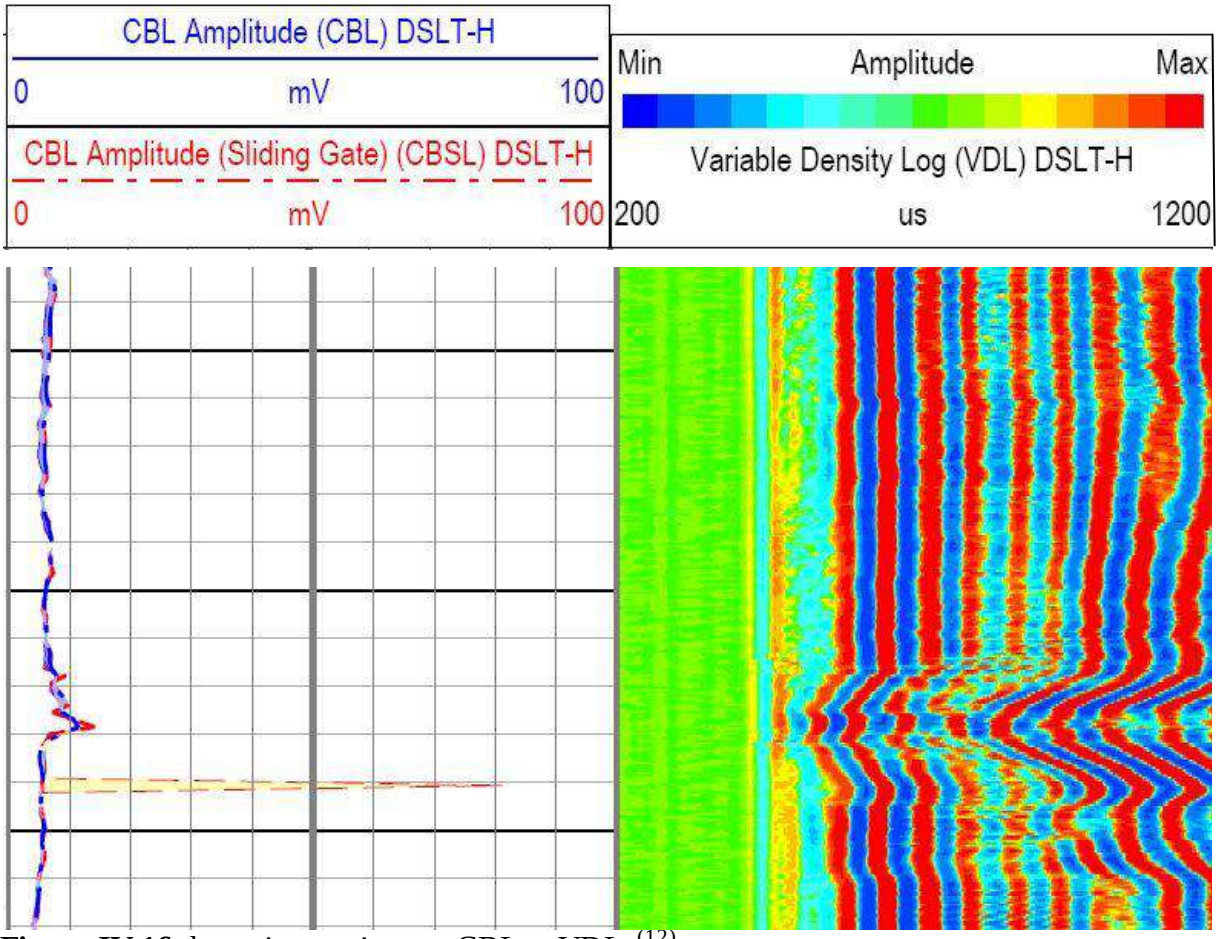


Figure IV 16: bon cimentation par CBL et VDL. (12)

La combinaison entre le graphe (fig.14) et le tableau III.8,(vérification par CBL) nous permet de dire que notre cas de cimentation de liner 7"présente une bonne qualité de cimentation entre tubage et ciment.

La combinaison entre le graphe (fig.14) et le tableau III.8, (vérification par VDL) nous permet de dire que notre cas de cimentation de liner 7" présente une bonne qualité de cimentation entre ciment/formation.

Conclusion et recommandations

Le suivi de l'opération de descente, ancrage et cimentation du liner nous permet d'examiner la difficulté et les préparations que nécessitent ces opérations, vu les dommages qu'on peut engendrer au puits comme la fracturation causée par une ECD (equivalent circulation dencity) élevée qui engendre par la suite des pertes de circulation…

Il existe plusieurs variétés de liner hanger (chacun a son principe de fonctionnement), aussi, il est recommandé de bien comprendre le principe de fonctionnement des différentes parties du liner et s'assurer de son bon état, de la préparation du trou, avant d'entamer la descende et de rester vigilant pendant toutes les étapes de l'opération en assurant l'application parfaite des consignes et recommandations de l'opération (Débit de refoulement, Vitesse de descente, remplissage…), pour réaliser la descente du liner dans les meilleures conditions techniques et économiques les plus intéressantes

L'équipement hanger utilisé pour le puits BBKNP-1 est du type hydraulique très récent dans l'industrie pétrolière. Son fonctionnement nécessite un suivi très rigoureux et indispensable dans la séquence des pressions générées pour l'ancrage de l'outil et le cisaillement des goupilles

Dans notre cas, puits BBKNP-1, il est recommandé :

- bien choisir le type de système et de comprendre son fonctionnement avant de descendre le Liner
- d'utiliser un top packer pour éviter l'acheminement du gaz dans l'espace annulaire en cas de présence de microfissures après la prise du ciment.
- L'utilisation des scratcher est indispensable afin de gratter les parois du puits pour éliminer le cake et assurer par la suite une bonne adhérence du laitier de ciment.
- 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.
- Vue les caractéristiques pétrophysiques de la région de Berkine (bloc 404), (réservoirs sus-jacent de caractéristiques médiocres, présentant des fissures)

BIBLIOGRAPHIE

[1] [J.P.N 93] Jean-Paul NGUEN: Techniques d'exploitation pétrolière -Le Forage ,Editions TECHNIP,1993,PARIS.

[2] Etabli par: H.DERBAL Drilling program BirBerkine nord profond-1 BBKNP1 DIVISION FORAGE Direction des opérations, Le 29-06-2016.

[3] Rapport d'implantation du puits BBKNP-1, SONATRCH

[4] Rapport journalier de ENTP Le 20/02/2017.

[5] Rapport journalier de sonatrach .

[6] Rapport journalier de ENSP.

[7] Programme de forage du puits BBKNP-1, SONATRCH .

[8] Programme de Boue du puits BBKNP-1,EMEC

[9] Programme de cimentation du puits BBKNP-1, Schlumberger,le 13/03/2017.

[10] Liner Hanger systems application for sonatrach, baker Hughes

[11] Liner Hanger systems,Boutil (Indian company)

[12] Evaluation de la qualité du ciment (CBL, VDL, USIT), Schlumberger

[13] [IFP 05] Institut Français du pétrole publications: Diagraphie de cimentation,2005.

[14] Documentation sonatrach

INTERNET:

[15] Http://www.Books,google.com

[16] Http://www.Fersaflex.com

Résumé

Ce travail a été menée pour le but de cimenter le liner 7 inchavec liner hangerau niveau de puits BBKNP-1 dans la zone de Berkine (bloc 404).La cimentation de puits est réalisé pour but de isoler différant couches productrice contenu des différents fluides aux différents conditions opératoires .

L'Objectif principale de notre travail est vérifié le tubage d'une part , et d'autre part calculer la cimentation en utilisant les caractéristiques et les volumes des matériels tubulaires et les propriétés des fluides utilisés (laitier ,spacer ,et la boue de chasse), la qualité de cimentation a été vérifier par thermométrie et les outils de diagraphie sonique (CBL ,VDL)

Les principaux résultats obtenus montrent que :

-le tubage résiste les efforts (d'écrasement, d'éclatement et de traction).

-la cimentation de liner nécessite le volume de laitier dans l'espace annulaire de $V_{t\ laitier} = 36{,}735 m^3$avec une quantité de ciment Q_C = 35,1195T, l'eau utilisé est $Ve=16{,}985 m^3$et la quantité d'additif Q_{silica}=12,29 T, le volume total de chasse $V_{chasse}=63{,}04 m^3$ d'après le calcul de la duré total de cimentation Tt=363 min, avec une pression de refoulement de chasse P_{ref}=192,57 barsbar, , la vérification de notre ciment par thermométrie, et diagraphies soniques (CBL , VDL) présente une bonne qualité de ciment entre tubage - ciment et entre ciment –formation.

الملخص

يسمح لنا عملنا هذا بأسمنت le liner 7inch بواسطة liner hanger على مستوى البئر BBKNP-1 في منطقة Berkine, تتم أسمنت البئر بهدف عزل مختلف الطبقات الإنتاجية المحتواة على مختلف الموائع تحت شروط مختلفة.الهدف الرئيسي من عملنا هذا التحقق من الغلاف من جهة,ومن جهة أخرى التحقق من حساب الإسمنت باستعمال خصائص و أحجام المعدات,ومميزات الموائع المستعملة إضافة إلى جودة الإسمنت المتحقق منها بواسطة thermométrie و أدوات diagraphie sonique (CBL ,VDL) .

أهم النتائج المتحصل عليها موضحة كالتالي:

_ مقاومة الغلاف للإجهادات (الإنطواء, الإنفجار, الجَرُ).

_ أسمنت liner تتطلب حجما ضروريا من الإسمنت السائل ليتم وضعه في l'espace annulaire حيث $V_{t\ laitier} = 36{,}735 m^3$ باستخدام كمية من الإسمنت Q_{ciment}=35.1195T, حجم من الماء $Ve=16.985 m^3$, وكمية من المواد المضافة مثل السيليكا Q_{silica} =12.29T, الحجم الكلي لطين السحب $V_{chasse}=63.04 m^3$,بعد حساب المدة الكلية للأسمنة Tt=363mn, باستخدام ضغط الدفع P_{ref}=192.57 bar , ,التحقق من الإسمنت بواسطة thermométrie, و diagraphies soniques (CBL , VDL) الذي يمثل إسمنت جيدة بين tubage – ciment و ciment – formation.