

N° Série:/2014

Université KasdiMerbah Ouargla



Faculté des hydrocarbures énergies renouvelables et science de la terre et de l'univers

Département de Forge et MCP

MEMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option :Forage

Présenté Par :

HDAJI Ahmed, MOULAY BRAHIM Abdelouahab

-THEME-

***Evaluation de l'opération du Tubage et Cimentation de la
Phase 8^{1/2} à Hassi-Bekra (Cas du Puits OML72BIS)***

Soutenu le : 28/05 / 2014 devant la commission d'examen

Jury:

Président : M. MEHASSOUEL Ammar

Rapporteur: M. HEDJAB Riad

Examineur : M. OUAZAZI Mohamed

Remerciement

Tout d'abord, nous devons remercier « Allah » le tout puissant de nous avoir donnée tout le courage et la santé pour achever ce travail.

A Mr. HEDJAB Riad, pour la confiance dont il a toujours fait preuve à mon égard et pour ses perpétuels encouragements.

Nous tenons à remercier Mr. MEHASSOUEL Ammar pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Nous présentons également nos profondes reconnaissances à Mr. OUAZAZI Mohamed qui a accepté d'examiner notre travail.

Enfin, dans ces dernières lignes Nous tenons à remercier nos parents, et nos frères, les conseils et les encouragements qu'ils nous ont toujours prodigués ainsi que pour leur soutien tant moral que financier. Sans eux, nous ne serons pas où nous sommes et ce que nous sommes.

Merci encore à tous...

The background features a dark blue gradient with a large, glowing circular frame in shades of blue and yellow. Several blue flowers with yellow centers are scattered around the frame, and a yellow flower bud is visible in the lower right quadrant.

DEDICACE

Je dédie ce travail à mes très chers parents, mes frères et sœurs

Pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches

*Et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de
la réalisation de ce mémoire.*

Merci à tous et à toutes.

Hadaji Ahmed



DEDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste mémoire à :

Mes très chers parents

Mes frères et sœurs

Enfin à tous mes amis (es) sans exception.

Moulay Brahim Abdelouahab

Résumé

Dans cette étude on effectue une évaluation de volume employé lors de l'encrage des tubes 7 in dans la dernière phase du puits à partir plusieurs étapes, premièrement la dicente du tube 7 in et la confirmation de leur encrage, après le calcul de volume de chasse , puis la préparation de volume ciment et les produits chimiques nécessaire pour remplir cette volume avec une exécution d'un test pour vérifier que les zones sont bien cimentés. on note que dans cette phase l'utilisation de volume de ciment et des tubes vent réduits par rapport aux phases précédentes.

الملخص

قسي هذه الدراسة قما بتقييم حجم الأسمنت المستعملة في تثبيت الأنبوب في المجال الأخير من البئر و ذلك بعدة مراحل انطلاقا من نزول الأنبوب 7 إنش و التأكد من تثبيته, ثم بحساب الفراغ بين الأنبوب و التربة , أيضا نقوم بتحضير الاسمنت مع المركبات الكيميائية اللازمة للتثبيت , وأخيرا نقوم بحقن الاسمنت لملاء الفراغ (التربة-الأنبوب) مع إجراء عملية اختبارية للتأكد من أن الاسمنت تشمل كل الفراغ. من بين مميزات هذه العملية تعتبر أكثر اقتصادية في استغلال حجم الأسمنت و طول الأنبوب.

TABLE DES MATIERES

Introduction	01
Chapitre I - Description de Champ des puits HMD	02
1. Historique de champ de Hassi Messaoud	02
2. Description du puits	03
Chapitre II - Cimentation du Liner	06
I. Définition Liner 7"	06
I.1 Avantages du liner	08
I.2 Inconvénients du liner	08
I.3 Préparation du Liner	09
I.4 Caractéristiques des tubes 7"	10
I.5 Vérification de la colonne du tubage 7"	10
I.6 Données de départ pour le Liner 7" P110 32#	11
II. La mise en œuvre du liner	12
II.1 Habillage de la colonne	12
II.2 Les centreurs	12
II.2.1 Calcul du taux de centrage ou stand off (SO)	13
II.3 Descente du Liner	15
II.4 Suspension du Liner Hanger	15
II.5 L'outil de pose (Setting Tool)	15
II.6 Ancrage du Liner Packer	16
II.6.1 Ancrage avec suspension mécanique	16
II.6.2. Ancrage avec suspension hydraulique	17

III. Cimentation du Liner	18
III.1 Les équipements de la cimentation	19
III.1.1 Bouchons de cimentation	19
III.1.2 Tête de cimentation	20
III.2. Tableau résumé des principaux équipements standards	22
III.3 Déroulement de l'opération de cimentation	23
III.4 Réception et contrôle de la colonne et de son équipement	27
Chapitre III - Procédure et calcul de cimentation	
III.1. Procédure de calcul de cimentation primaire	28
III.2 Calcul de cimentation et évaluation.	28
III.3 Contrôle et évaluation de la cimentation	34
III.3.1 contrôle de la qualité	34
III.3.2 Evaluation	35
III.3.3 Interprétation	37
Conclusion	39
Bibliographie	40

Liste des figures

Figures	Titre de figures	Page
I.01	Carte de distribution d'hydrocarbures d'Algérie.	2
I.02	Le puits OML72.	3
I.03	Carte de position OML72 Hassi Messaoud Zone #9.	5
II.1	Liner.	8
II.2	Raccordement d'une colonne au liner.	7
II.3	Éléments d'habillage de la colonne.	14
II.4	Bouchon pour liner (liner wiper plug).	20
II.5	Bouchon pour tiges (pump down plug).	20
II.6	Liner Hanger .	21
II.7	Liner Packer .	21
II.8	Tête de cimentation.	21
II.9	Packer NODECO.	24
II.10	Ancrage du Liner Hanger.	25
II.11	Test de la Colonne et ancrage du Liner Packer.	26
III.1	Schéma de calcul.	29
III.2	Sans titre.	35
III.3	Outil CBL-VDL.	35
III.4	Gain de cimentation.	36
III.5	Enregistrement d'un train d'onde.	37
III.6	Diagraphie de cimentation.	37

L*iste des tableaux*

Tableaux	Titre de tableau	Page
Tab.I.01	Les données de puits OML72.	4
Tab. II	Tableau résumé des principaux équipements standards	22

INTRODUCTION

La cimentation d'une colonne de tubage représente une part indispensable et importante de la réalisation d'un puits de forage. La réussite de cette opération est un facteur déterminant pour la continuité du forage.

Un puits de pétrole et de gaz nécessite une suite chronologique d'opérations suivant un planning de forage-tubage préalablement élaboré.

Chaque phase du programme représente un intervalle foré qui doit impérativement être protégé avant d'entamer la phase suivante.

En effet, il s'agit d'introduire dans le trou foré une colonne de tubage et de la cimenter le long du découvert pour maintenir en place les parois du puits. Les programmes techniques de forage, notamment ceux des puits profonds, comportent de plus en plus la pose des colonnes perdues " Liners " au lieu des colonnes entières, dans la gamme des dimensions allant des diamètres de 8^{1/2} " 4^{1/2}. La raison de cette tendance est son incidence sur le prix de revient du sondage.

Le programme de forage du champ HBM est composé de 4 phases dont la colonne de tubage 7" est un liner posé à 3363 m de profondeur.

Ce document présente une étude détaillée de la technique de « pose et cimentation d'un Liner » qui sera illustrée par un cas de forage du puits OML72BIS du champ HMD.

Ce travail est structuré comme suite :

- Introduction
- Description de Champ des puits HMD.
- Cimentation de liner.
- Procédure et calcul de cimentation.
- conclusion

Chapitre I

Description de champ des puits HMD

Chapitre I : Description de Champ des puits HMD

1. Historique de champ de Hassi Messaoud :

Le champ pétrolier de Hassi-Messaoud est situé à 850 Km au sud-est d'Alger (Fig. I. 1). Sa superficie est d'environ 2000 Km² et son climat est saharien.

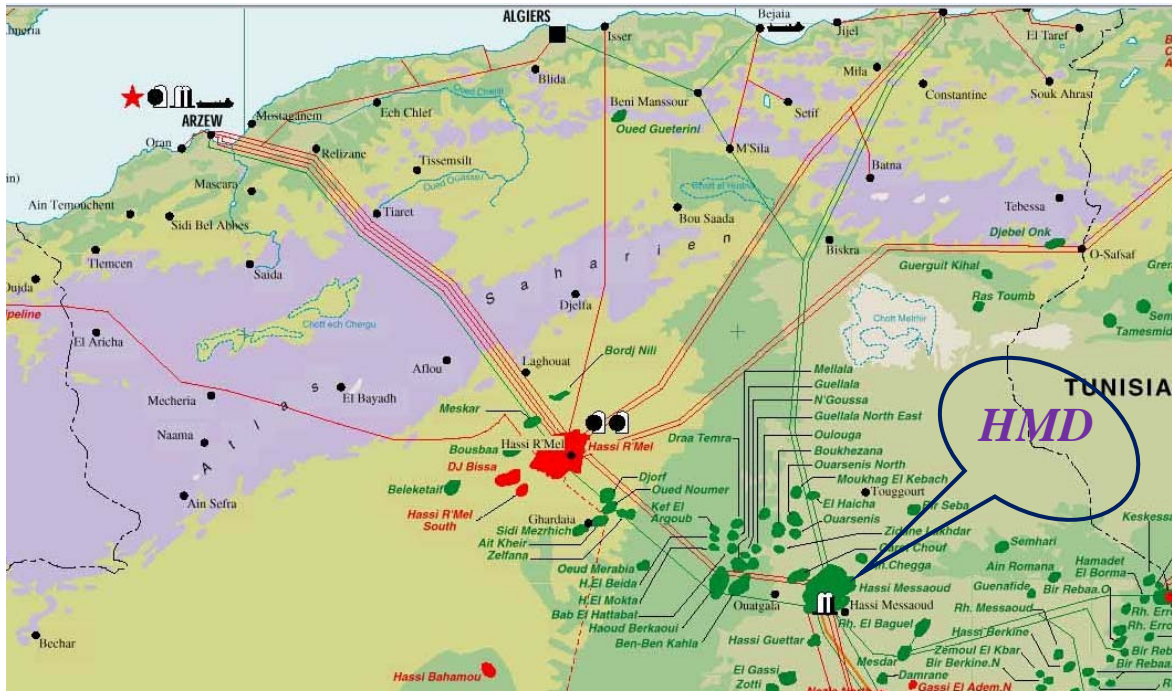


Fig. I. 1 : Carte de distribution d'hydrocarbures d'Algérie.

Le champ de Hassi-Messaoud fait partie des plus grands champs pétroliers du monde et est divisé dans le sens Est -Ouest en deux parties distinctes: Champ Nord (HMD/N) et Champ Sud (HMD/S).

- 15 janvier 1956 : Forage du premier puits pétrolier (HMD1).
- 16 mai 1957 : Exploitation d'un puits dans la partie Nord du champ.
- 1957 à 1958 : L'exploitation du champ de Hassi Messaoud atteint les 20 puits, ce qui conduit à la réalisation de plusieurs unités de séparation (Séparation LDHP, Séparation LDBP) et la production atteint 400,000 tonnes pour l'année 1958.
- 1959 à 1964 : 153 puits producteurs sont en exploitation et 7 puits injecteurs sont équipés pour la première phase de récupération avec le démarrage :

- Des deux premières stations de réinjection de gaz à haute pression (SC1 pour HMD/S en 1961 et UC1 pour HMD/N en 1964).
- De la réalisation d'une mini raffinerie en 1961 (RHM1) et de centres de stockage en 1960 et de deux unités de stabilisation (1961 et 1964).

- 1964 à 1968 : Le développement du champ connaît un ralentissement pendant cette période. 40 puits additionnels seulement ont été exploités entre 1963 et 1967, soit une moyenne de 8 puits par an.

- à partir de 1968 le rythme a repris avec une moyenne d'exploitation qui atteint 30 puits par an, soit une production de 23,2 millions de tonnes en 1970.

- 1972 à 1977 : 34 puits forés en moyenne par an, permettent l'augmentation de la production.

2. Description du puits:

OML72 est un puits injecté verticalement situé dans la région OML in Hassi-Messaoud. OML72BIS va être forée jusqu'à le Cambrian réservoir à une profondeur de ± 3433 m.

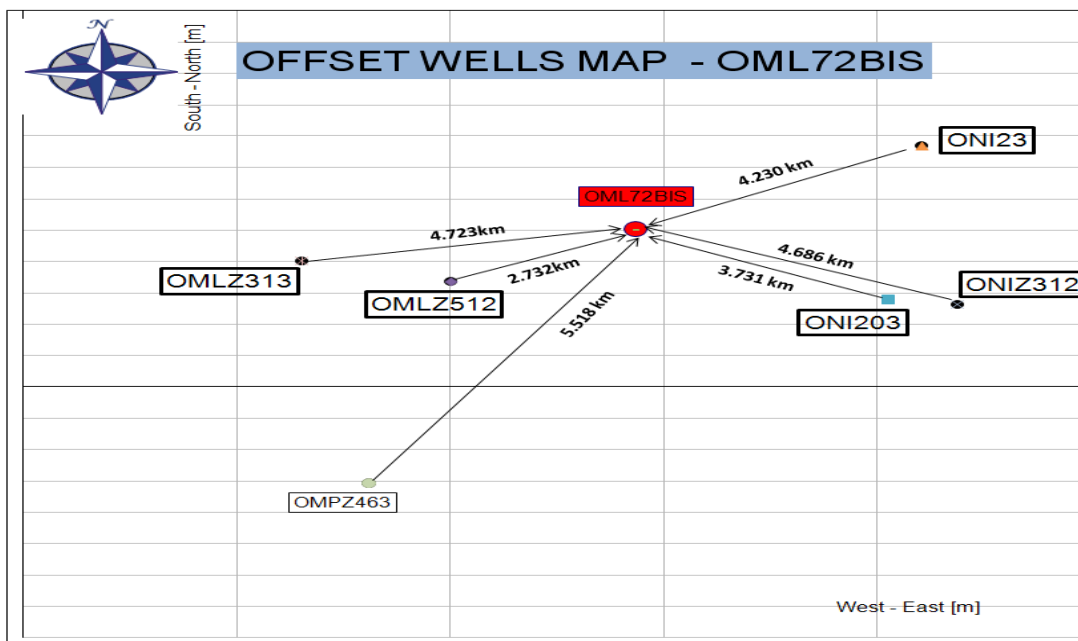


Fig. I. 2 : Le puits OML72.

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

WellName		OML72BIS
Field	HASSI MESSAOUD	
Block	OML72BIS	
Well Classification	Development	
Operator	SONATRACH	
Drilling Contractor	ENTP	
Drilling Rig	TP222	
Surface Location	LSA Latitude	X =828605,41,Y=142512,02
	Longitude	N 31° 49' 45.65616" E 06° 10' 13.48358"
	UTM Zone 31	X =800 093.98 Y = 3525 632.96
WellLocatedin coordinate system	UTM Zone 31on North Sahara, Clarke 80 (This system will be used as reference in all documents)	
Elevations	Ground Level	141.929m Above Mean Sea Level (AMSL)
	Rotary Table Elevation	10.67m Above Ground Level (AGL)
	Rotary Table Elevation	152.59m Above Mean Sea Level (AMSL)
WellTD	TVD	3433 m (-3280m TVDSS)

Tableau. I. 1 : Les données de puits OML72. .

Chapitre I

Cimentation du Liner

Chapitre II : Cimentation du Liner

I. Définition Liner 7 ":

Une colonne perdue (liner) (Fig.II. 1) est une colonne de tubage utilisée pour couvrir le découvert en – dessous d'un tubage existant ; sa hauteur s'étend depuis la cote de pose jusqu'à entrer d'une certaine distance à l'intérieur de la colonne précédente. Selon le cas, cette distance (overlap) est comprise entre 50 et 150 mètres. 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.

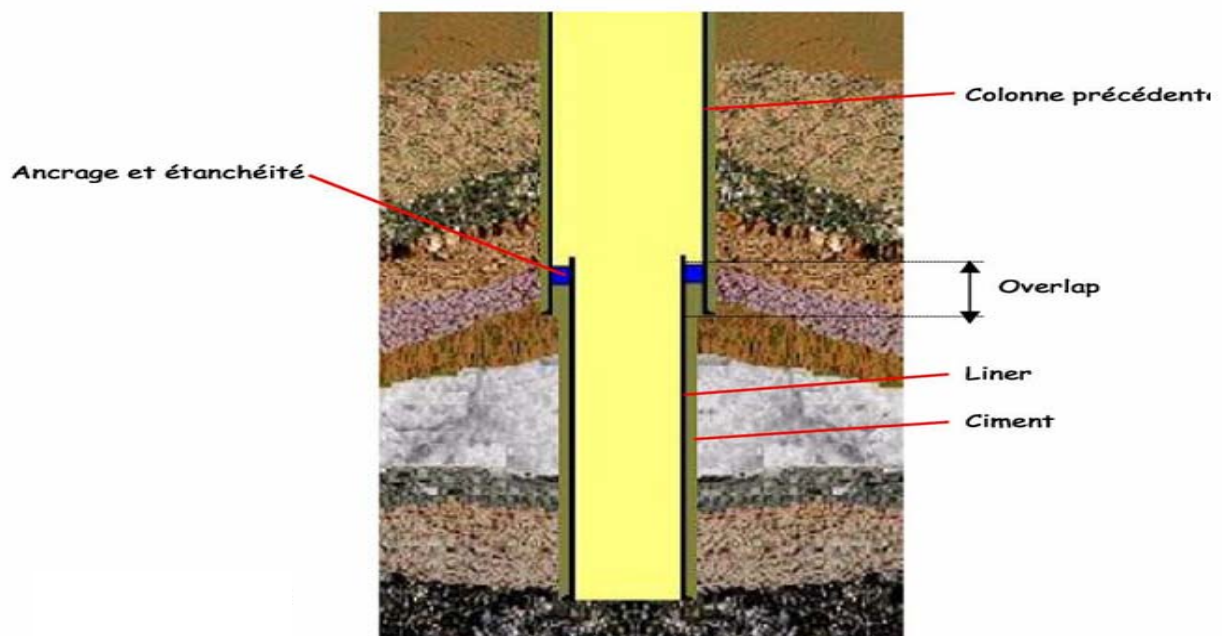


Fig.II.1 Liner

Selon le programme, la capacité de l'appareil et les conditions du puits, on peut utiliser une colonne perdue, deux, ou même plus.

Les colonnes perdues de production sont souvent descendues au bout du tubing, tandis que celles posées en cours de forage sont descendues au bout des tiges et sont toujours cimentées.

Il est possible de poser une colonne perdue de faible longueur sur le fond sans la suspendre dans le tubage précédent, mais les tubes seront comprimés et la cimentation ne sera pas bonne, même si le centrage est bon. Cette technique est utilisée surtout dans les puits fortement déviés et horizontaux, puisque le liner est posé sur le flanc et les tubes situés en bas ne supportent pas le poids de tous les tubes au dessus.

Si, par la suite (au cours du forage ou même pendant la production), la colonne de tubage au-dessus du liner s'affaiblit, il est possible de descendre une autre colonne de même diamètre que le liner et la raccorder à ce dernier par l'intermédiaire d'une extension contenant des garnitures d'étanchéité (tie-back), de manière à obtenir une colonne continue, depuis le fond jusqu'à la surface (Fig.II. 2).

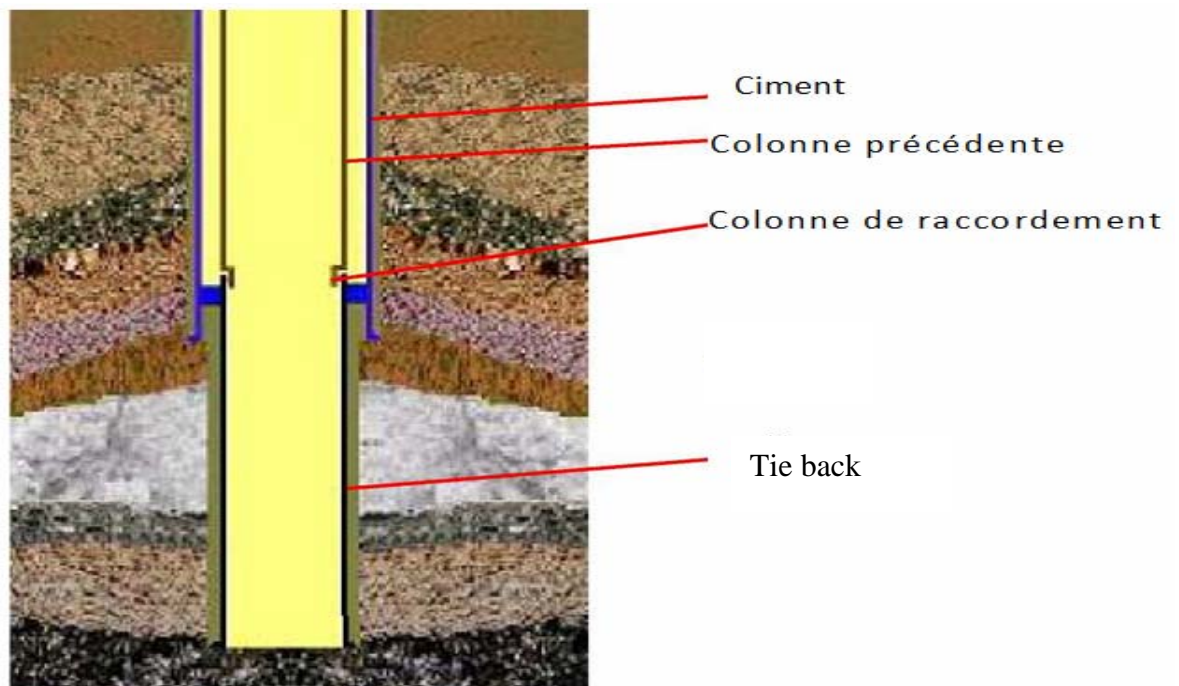


Fig.II.2 : Raccordement d'une colonne au liner

I.1. Avantages du liner :

Les principaux avantages d'un liner sont liés au nombre réduit de tubes. Ceci entraîne la réduction des coûts et des risques sans pour cela porter atteinte à la qualité de l'ouvrage.

On peut citer :

- ✱ une descente rapide, ce qui réduit les risques de coincement dus à l'arrêt de circulation,
- ✱ le coût est réduit,
- ✱ 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.

I.2. Inconvénients du liner :

Les principaux inconvénients sont :

- ✱ 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.

I.3. Préparation du Liner :

- ☀ **1.** A l'aide de la liste d'équipement et du bon de livraison, vérifier que tous les consommables nécessaires du liner, de l'outil de pose, etc... sont sur le chantier, en bon état.
- ☀ **2.** Prendre toutes les dimensions utiles de l'équipement- longueurs, OD, ID, etc., inspecter les goupilles de cisaillement du hanger, +/- 1500 psi en standard (voir la liste d'équipement).
- ☀ Le liner hanger aura été testé à la base Baker (test en pression et test de fonctionnement), inspecter la pression d'ancrage sur l'enregistrement du test.
- ☀ **3.** Vérifier la compatibilité de la bille avec son siège de cisaillement. Vérifier que la bille passe à travers le système de bouchon du LFC liner. Vérifier aussi la compatibilité du système de bouchon du LFC liner avec le bouchon des tiges et le liner.

- ☀ **4.** Vérifier la pression de déconnexion du running tool HR, +/-2200 psi en standard (voir la liste d'équipement), vérifier qu'il est verrouillé à l'intérieur de l'extension du tie-back. Vérifier sur les plans d'inspection que le running tool HR a été livré avec deux goupilles de cisaillement pour la déconnexion mécanique de secours, (3400ft.lbs couple à gauche). Le cisaillement du ST landing sub serait approximativement de 3300 psi.
- ☀ **5.** Le sabot, le floatcollar et le landing collar seront vissés au Tubelock(ainsi que les manchons des tubes) sur chantier. Le siège de la bille dans le landing collar se cisillera à +/- 3500 psi en standard (voir la liste d'équipement) . Avant vissage de ces équipements les tubes seront calibrés.
- ☀ **6.** Il est essentiel de calibrer la garniture de descente, soit en lançant un calibre de minimum 2½" de diamètre pour les tiges 5" lors de la dernière remontée, soit quand les tiges sont encore dans le mât avant la descente du liner. Toutes les tiges seront calibrées ainsi que les joints courts.
- ☀ **7.** Vérifier que les tests en rotation sont effectués au cours de la dernière manoeuvre, au fond et au sabot, à +/- 10 et 20 RPM. S'il n'y a pas de contrôle de trou, ces essais en rotation doivent être faits à l'occasion de la dernière manoeuvre avant de descendre le liner. Si nécessaire, ajuster les pins anti-

rotation du hanger (3 pins de 7/16" - 4500 ft.lbs).

- ✱ 8. Visser toutes les connexions du liner hanger 4½" au couple recommandé par l'API.
- ✱ 9. Si un packer doit être descendu, inspecter l'état du packer ZXP ainsi que le nombre de goupilles de cisaillement.

I.4. Caractéristiques des tubes 7" :

- Diamètre : 7" (177,8 mm).
- Masse nominale : 32# (lbs.ft).
- Filetage : Buttress.
- Nuance d'acier : P 110 (une bande blanche).
 - Résistance à l'écrasement : 742 bars.
 - Résistance à l'éclatement : 859 bars.
 - Tension à la limite élastique : 455 (10³ daN).

I.5. Vérification de la colonne du tubage 7" :

Pour les calculs on tient compte les efforts suivants :

- 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 :

- $K_{\text{ecr}} = 1,125$;
- $K_{\text{ecl}} = 1,1$;
- $K_{\text{tra}} = 1,75$.

I.6. Données de départ pour le Liner 7" P110 32# :

Diamètre du Liner : $7'' = 177,8 \text{ mm}$

Masse nominale : $q = 32 \text{ lbs/ft}$

$$= 47,62 \text{ kg/m}$$

Résistance à l'écrasement : $R_{\text{ecr}} = 742 \text{ bars}$

Résistance à l'éclatement : $R_{\text{ecl}} = 859 \text{ bars}$

Tension à la limite élastique : $T = 455 \cdot 10^3 \text{ daN}$

Densité de la boue : $d = 1,40$

Longueur de la colonne : $L = 730 \text{ m}$

Profondeur du puits : $H = 3260 \text{ m}$

- Pression hydrostatique :

$$P_h = H \times d / 10,2$$

$$= 3260 \times 1,40 / 10,2$$

$$= 447,45 \text{ bars}$$

- Pression d'écrasement :

$$P_{\text{ecr}} = P_h \times K_{\text{ecr}}$$

$$= 447,45 \times 1,125$$

$$= 503,38 \text{ bars}$$

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

- Pression d'éclatement :

$$P_{\text{ecl}} = P_h \times K_{\text{ecl}}$$

$$= 447,45 \times 1,1$$

$$= 492,2 \text{ bars}$$

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

- Tension à la limite élastique :

$$T_1 = q \times L \times K_{\text{tra}}$$

$$= 47,62 \times 730 \times 1,75$$

$$= 60,83 \cdot 10^3 \text{ daN}$$

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

Alors, les caractéristiques du tube sont vérifiées.

II. La mise en œuvre du liner:

II.1. Habillage de la colonne :

- Sabot (Shoe) à clapet anti-retour vissé sur le premier tube à descendre dans le puits ;
- Anneau de retenue (Float collar) à clapet anti-retour vissé sur le manchon du premier tube ;
- Landing collar vissé sur le manchon du troisième tube. Il permet de retenir les bouchons de cimentation en fin d'opération ;
- Un centreur souple spiralé placé sur chaque tube ;
- Deux stop collars fixés aux extrémités de chaque centreur.

II.2. Les centreurs :

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

- au droit des zones à cimenter,
- au droit des dog-legs,
- de part et d'autre des caves,
- dans les zones à risques de collage ou à pertes.

Le centrage minimal pour un puits subvertical est défini de la façon suivante :

- deux centreurs par tube entre l'anneau et le sabot,
- deux centreurs par tube au droit du réservoir,
- un centreur par tube de part et d'autre du réservoir,
- deux centreurs sur l'avant dernier tube dans l'entrefer,
- un centreur par tube sur toute la partie à cimenter avec un laitier de remplissage,
- un centreur rigide sous le casing head housing pour faciliter la pose sur slip.

Il existe deux types de centreurs :

- les centreurs rigides qui sont utilisés en trou bien calibré et dans des puits très déviés. Ils ont l'avantage de limiter les forces de frottements (pas de running force).

On peut également les utiliser sur des casings ou liners rotatifs, car ce sont de parfaits paliers de frictions.

Dans le cas d'espaces annulaires très faibles, les centreurs rigides peuvent être vissés entre chaque joint.

- les centreurs souples sont les plus employés, car adaptés aux trous irréguliers s'ils ont des running forces plus importantes que les centreurs rigides, ils donnent un meilleur centrage dans les découverts irréguliers.

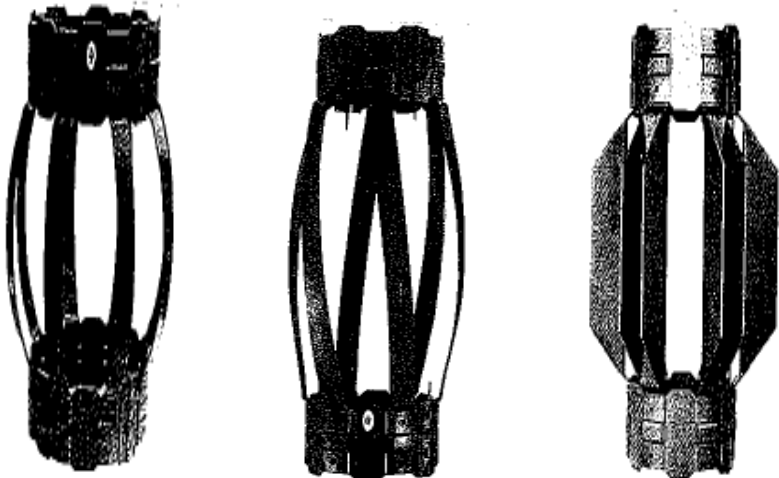
II.2.1. Calcul du taux de centrage ou stand off (SO) :

$$\text{Taux de centrage} = \frac{0.75}{\frac{D_o - D_i}{2}} \times 100$$

Le taux minimum recommandé pour avoir une "bonne" gaine de ciment est de 0.75".

Le calcul de centrage sera fait par l'utilisation de logiciel et peut être optimisé par le calcul des forces de frottement estimés en descente et remontée. La précision du calcul dépendra :

- du profil du puits,
- du caliper,
- de la performance des centreurs.



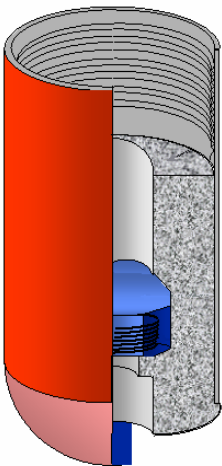
Dispositifs de centrage des colonnes



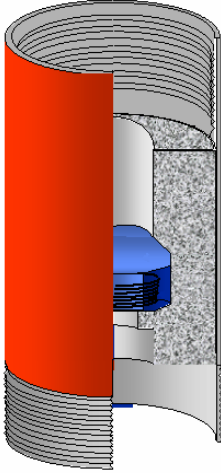
Stop Collars à broches



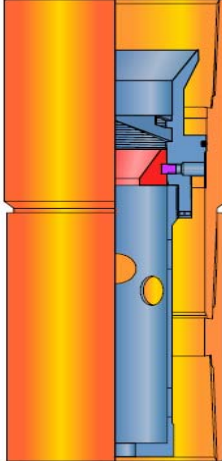
Stop Collars à vis



Sabot



Anneau de retenue



Landing Collar

Fig.II.3. Eléments d’habillage de la colonne

II.3. Descente du Liner :

- Visser le sabot ;
- Descendre le premier tube ;
- Visser l'anneau de retenu ;
- Descendre deux tubes ;
- Visser le Landing collar ;
- Continuer la descente des tubes (57 tubes) ;
- Visser le Packer et le setting tool ;
- Enregistrer le poids du Liner ;
- Continuer la descente par les DP 5^{1/2} avec calibrage de la garniture et le remplissage chaque 5 longueurs ;
- Circulation (chaque 400 à 500 m) durant toute la descente.

II.4. Suspension du Liner Hanger :

L'ancrage du Liner Hanger se fait par la mise en pression de l'intérieur du Liner qui fera monter une chemise coulissante portant les coins qui viendront s'engager sur les cônes, un ressort de rappel est placé pour ramener les coins à leurs positions initiales dès que la pression est relâchée, cette chemise peut être verrouillée par des goupilles de cisaillement tarées à une pression déterminée, dès que la pression nécessaire au déplacement est atteinte, ce qui se signal par un léger à-coup au manomètre de pression au moment de la rupture des goupilles de cisaillement, lâcher rapidement du poids sur la suspension qui doit s'ancrer immédiatement.

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.

II.5. L'outil de pose (Setting Tool) :

Ses fonctions sont :

- Relier le train de tige au Liner ;
- Assurer l'étanchéité entre l'intérieur du Liner et l'intérieur des tiges ;
- Supporter le poids du Liner ;
- Fournir une attache pour les bouchons de cimentation.

L'ancrage du liner hanger et le relâchement de l'outil de pose sont réalisés avant la cimentation.

II.6. Ancrage du Liner Packer :

- Si un mouvement rotatif est prévu, on pourra ancrer la colonne (rotating liner hanger) puis la faire tourner pendant la circulation jusqu'à la fin de la cimentation.

Si un mouvement alternatif est appliqué, il conviendra d'ancrer la suspension en fin de circulation ou avant la fin du déplacement du laitier (en général, par sécurité, on préférera réaliser l'ancrage avant l'injection du laitier).

Si la cimentation doit être faite au droit d'une zone à gaz, le mouvement alternatif n'aura lieu que pendant la circulation.

- Si aucun mouvement n'est appliqué à la colonne, l'ancrage aura lieu en fin de circulation.

La suite des opérations est donnée ci-après.

- Monter la tête de circulation et tester les lignes ; prévoir une longueur de flexibles compatible avec les mouvements à appliquer.
- Remonter la colonne perdue de 2 m au-dessus de la cote théorique de pose et déplacer par circulation au moins son volume intérieur augmenté de celui des tiges. La pression ne devra jamais être suffisante pour ancrer la suspension hydraulique;

II.6.1. Ancrage avec suspension mécanique

- Poser sur cales.
- Tourner un tour à gauche, puis maintenir la garniture avec une clé (les lames rigides de centrage appliquées sur l'intérieur du tubage précédent cimenté empêchent l'ensemble de la colonne perdue de tourner ; seul tourne le joint rotatif ou swivel).
- Dégager lentement et retirer les cales
- Relâcher pour ancrer les coins de la suspension
- Relâcher le poids de la colonne pour vérifier que l'ancrage a bien eu lieu et poser un poids de 100 à 150 kN (10 à 15 tonnes). Les coins de suspension (slips) doivent s'ancrer après une descente de 50 cm. Sinon recommencer l'opération.

II.6.2.Ancrage avec suspension hydraulique :

- Jeter la bille et attendre le temps nécessaire pour qu'elle atteigne son siège (vitesse de chute : environ 150 m/min). Ne pas pomper pendant la chute.
- Une fois la bille placée sur son siège, accroître la pression jusqu'à 1200 – 1400 psi et poser le poids de la colonne augmenté de 10 à 15 tonnes. Si la suspension n'est pas ancrée, refaire autant d'essais que nécessaire en accroissant, à chaque fois, la pression de 200 psi en ne dépassant jamais 2000 psi..
- Une fois la suspension ancrée, augmenter la pression 2600 – 2800 psi pour éjecter la bille après cisaillement des goupilles de retenue. Cette bille sera récupérée par le récepteur (ball catcher).

Note : La pression à appliquer dépend du matériel utilisé.

III. Cimentation du Liner :

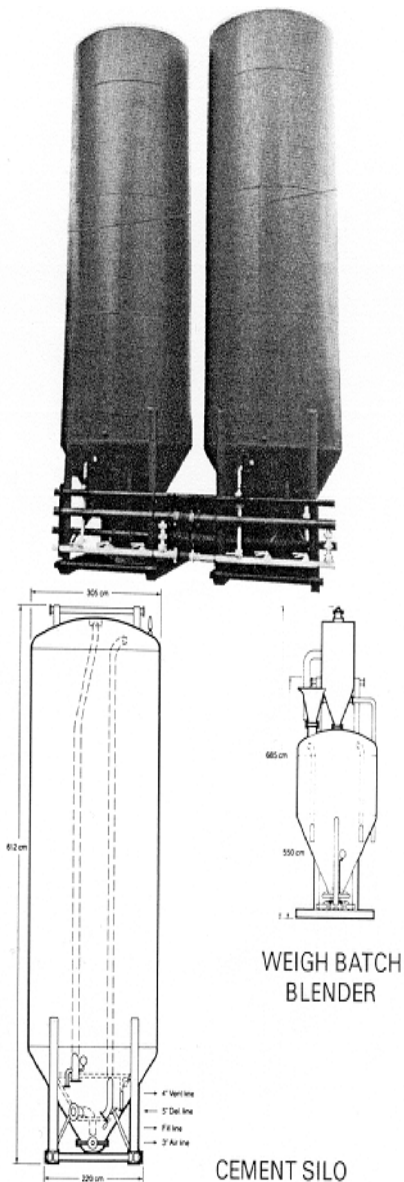
Le Liner ne remonte pas jusqu'à la tête de puits mais sur une hauteur limitée, à l'intérieur du tubage précédent. Il est cimenté avec un recouvrement dans le dernier tubage (overlap).

Pour avoir le maximum de chances d'obtenir une bonne cimentation du sommet du Liner, il faut un recouvrement d'environ de 50 m.

Le but de la cimentation du Liner est double :

- le sceller mécaniquement dans la colonne précédente ;
- Garantir l'étanchéité entre les deux colonnes.

Unité fixe (skid)



Unité mobile

Mobile Bulk Cement Units



III.1 Les équipements de la cimentation :

III.1.1. Bouchons de cimentation :

Le matériel de cimentation des colonnes perdues traditionnelles ne comprend pas de bouchon de cimentation en tête du laitier (bottom plug). On utilise seulement un bouchon de queue, composé de deux éléments : le bouchon racleur ou wiper plug (Fig.II.4) qui reçoit le bouchon pompé dans les tiges avant le début de chasse ou pump-down plug (Fig.II.5).

III.1.1.a Bouchon racleur de colonne perdue (liner wiper plug)

Il est descendu à l'extrémité de l'outil de pose (setting tool) sous les dispositifs d'étanchéité. Il est creux afin de permettre la circulation de la boue et l'injection du laitier. Il est déconnecté de la canule de l'outil de pose ou de son manchon spécial dans la colonne perdue, par cisaillement de goupilles lorsque le bouchon pompé en fin d'injection du laitier (pump-down plug) vient s'y ancrer.

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

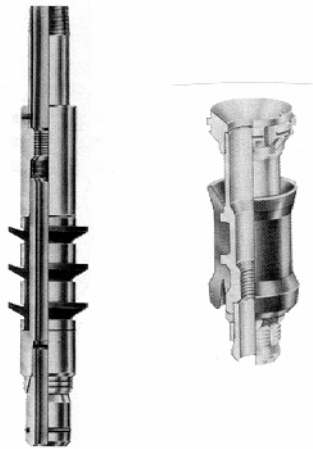


Fig.II .4 – Bouchon pour liner
(liner wiper plug)

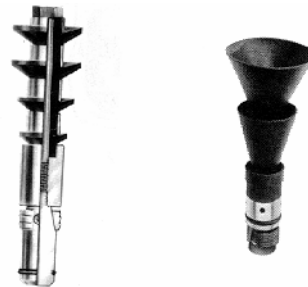


Fig.II.5 – Bouchon pour tiges
(pump down plug)

III.1.1.b Bouchon pompé dans lest tiges (pump-down plug) :

Il est adapté à chaque garniture de tiges, étant envoyé à l'intérieur de celle-ci, à la fin de l'injection de laitier (donc avant le début de la chasse) depuis la tête de cimentation (plug dropping head). Lorsqu'il arrive sur le bouchon racler (wiper plug), il se solidarise à ce dernier par un système de retenue (latch) et obstrue de façon étanche le passage intérieur.

III.1.2. Tête de cimentation :

Il est préconisé d'utiliser une tête de cimentation rotative avec logements de balle et des bouchons (Pump Down Plug), d'un témoin de départ des bouchons et d'un jeu de vannes (Fig.II.4).

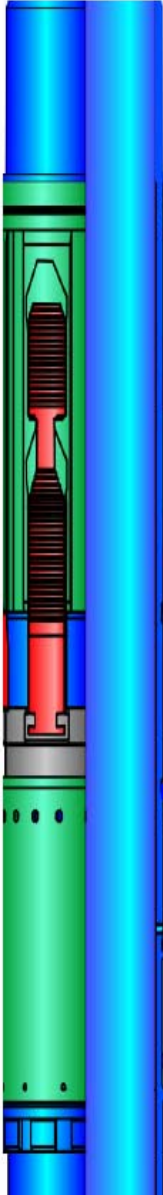


Fig.II.6. Liner Hanger



Fig.II.7. Liner Packer

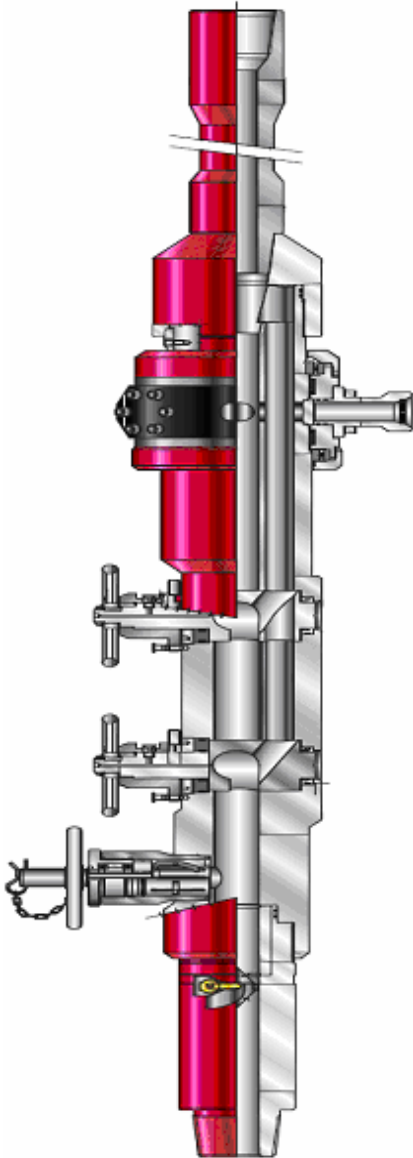


Fig.II.8. Tête de cimentation

III.2. Tableau résumé des principaux équipements standards :

Équipement standard de la colonne perdue	
Colonne perdue sans packer	Colonne perdue avec packer
<p>Manchon de pse (setting sleeve)</p> <ul style="list-style-type: none"> • avec extension (tie-back) • sans extension (tie-back) 	<p>Packer de colonne perdue (line packer)</p> <ul style="list-style-type: none"> • avec extension (tie-back), permettant le gonflement du packer soit par mise en rotation, soit par application de poids. Les filetages de connexion à l'outil de pose font partie du packer
<p>Étanchéité de l'outil de pose : canule/vanne à soupape ou coupelles</p>	<p>Étanchéité de l'outil de pose : canule/vanne à soupape ou coupelles</p> <p>Nota : La vanne à soupape peut faire partie du packer</p>
<p>Système de suspension :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mécanique • hydraulique 	<p>Système de suspension :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mécanique • hydraulique
<p>Joint rotatif (swivel) : dans le cas d'une suspension mécanique</p>	<p>Joint rotatif (swivel) : dans le cas d'une suspension mécanique</p>
<p>Manchon support le bouchon racleur (wiper plug holder sub) : uniquement avec utilisation de la canule/vanne à soupape ; si étanchéité par coupelles, le bouchon racleur est retenu au bout de l'outil de pose par des goupilles.</p>	<p>Manchon support le bouchon racleur (wiper plug holder sub) : uniquement avec utilisation de la canule/vanne à soupape ; si étanchéité par coupelles, le bouchon racleur est retenu au bout de l'outil de pose par des goupilles.</p>
<p>Anneau de retenue (landing collar) : anneau recevant les bouchons venant s'ancrer en fin de chasse dans un siège reforable.</p>	<p>Anneau de retenue (landing collar) : anneau recevant les bouchons venant s'ancrer en fin de chasse dans un siège reforable.</p>
<p>Siège de bille séparable (shear-out landing sub) : siège sur lequel vient se placer une bille de façon à accroître la pression pour ancrer les suspension dans le cas d'une suspension hydraulique.</p>	<p>Siège de bille séparable (shear-out landing sub) : siège sur lequel vient se placer une bille de façon à accroître la pression pour ancrer les suspension dans le cas d'une suspension hydraulique.</p>
<p>Collecteur de bille (ball catcher) plaque à trous récupérant la bille initialement placée dans le siège séparable et dont elle est éjectée après l'ancrage hydraulique.</p>	<p>Collecteur de bille (ball catcher) plaque à trous récupérant la bille initialement placée dans le siège séparable et dont elle est éjectée après l'ancrage hydraulique.</p>
<p>Sabots : à événements latéraux, de préférence.</p>	<p>Sabots : à événements latéraux, de préférence.</p>
<p>Bouchon racleur (wiper plug) et bouchon pompé à travers les tiges (pump-down plug).</p>	<p>Bouchon racleur (wiper plug) et bouchon pompé à travers les tiges (pump-down plug).</p>

III.3. Déroulement de l'opération de cimentation :

- Après l'arrivée du sabot au fond du puits, lancement de la Ball ;
- Circulation et observation d'une augmentation de pression « le premier à-coup de pression » ;
- Ancrage du Liner Hanger à 2000 Psi ;
- Cisaillement des goupilles du siège de la Ball à 3200 Psi ;
- Circulation et injection de 7 m³ de Chemical Wash de densité 1,01 ;
- Libérer le bouchon inférieur et injecter le volume du laitier ;
- Après l'arrivée du premier bouchon sur le Wiper Plug inférieur, on observe un deuxième à-coup de pression ;
- Libérer le bouchon supérieur et injecter 3m³ d'eau plus le volume de boue de chasse ;
- Après l'arrivée du deuxième bouchon sur le Wiper Plug supérieur, on observe le troisième à-coup de pression ;
- Continuer la circulation jusqu'à l'arrivée des bouchons sur le landing collar.
- Test de la colonne à 5000 Psi ;
- Poser un poids de 20 tonnes pour l'ancrage du Liner Packer ;
- Dégager la garniture de 3m pour confirmer le poids restant ;
- Dégager la garniture de 9 m (pour sortir du packer) et circulation jusqu'à l'éjection de 7 m³ de C.Wash plus la boue contaminée ;
- Dévisser la tête de cimentation et remonter la garniture de pose.

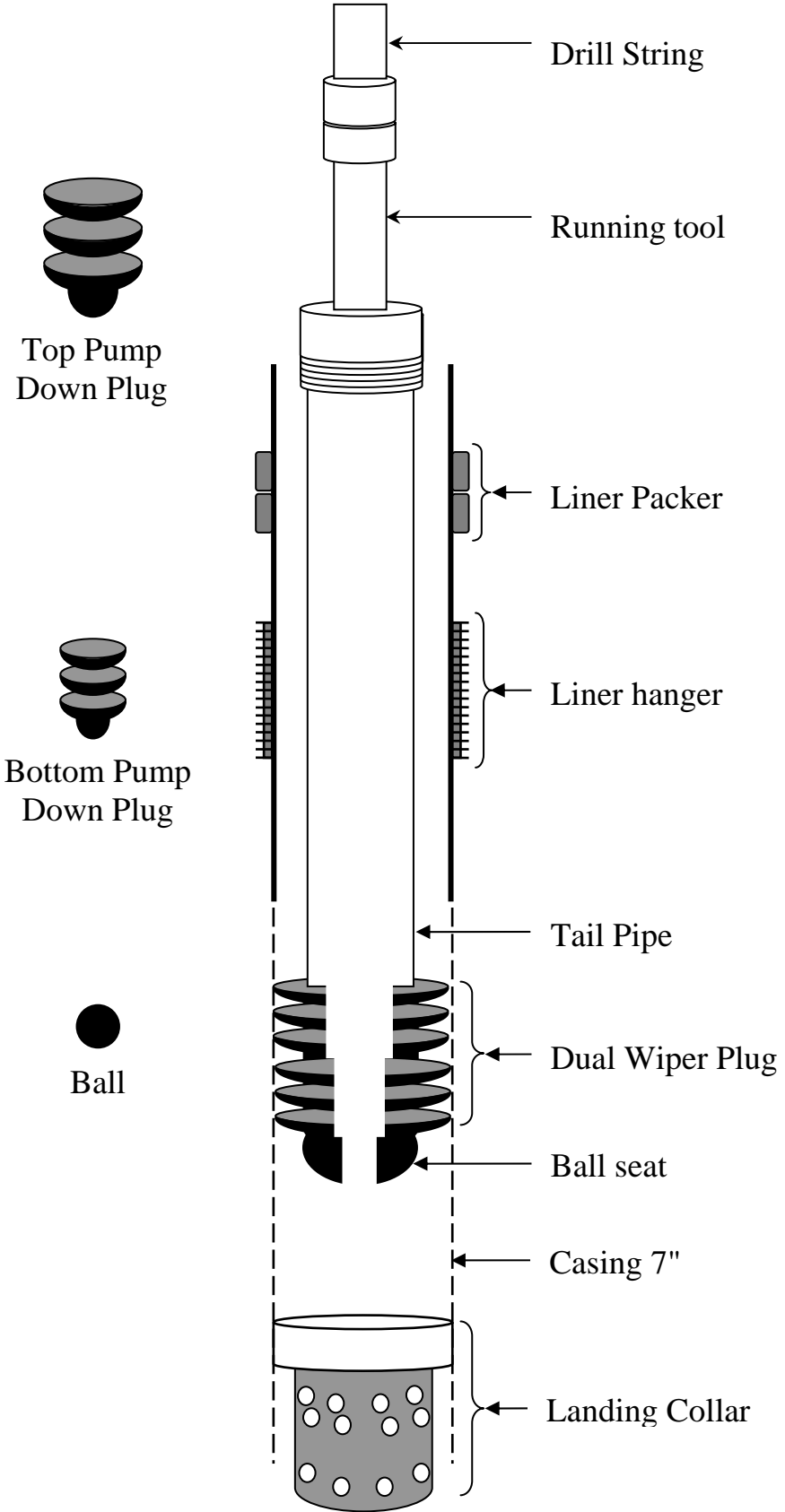
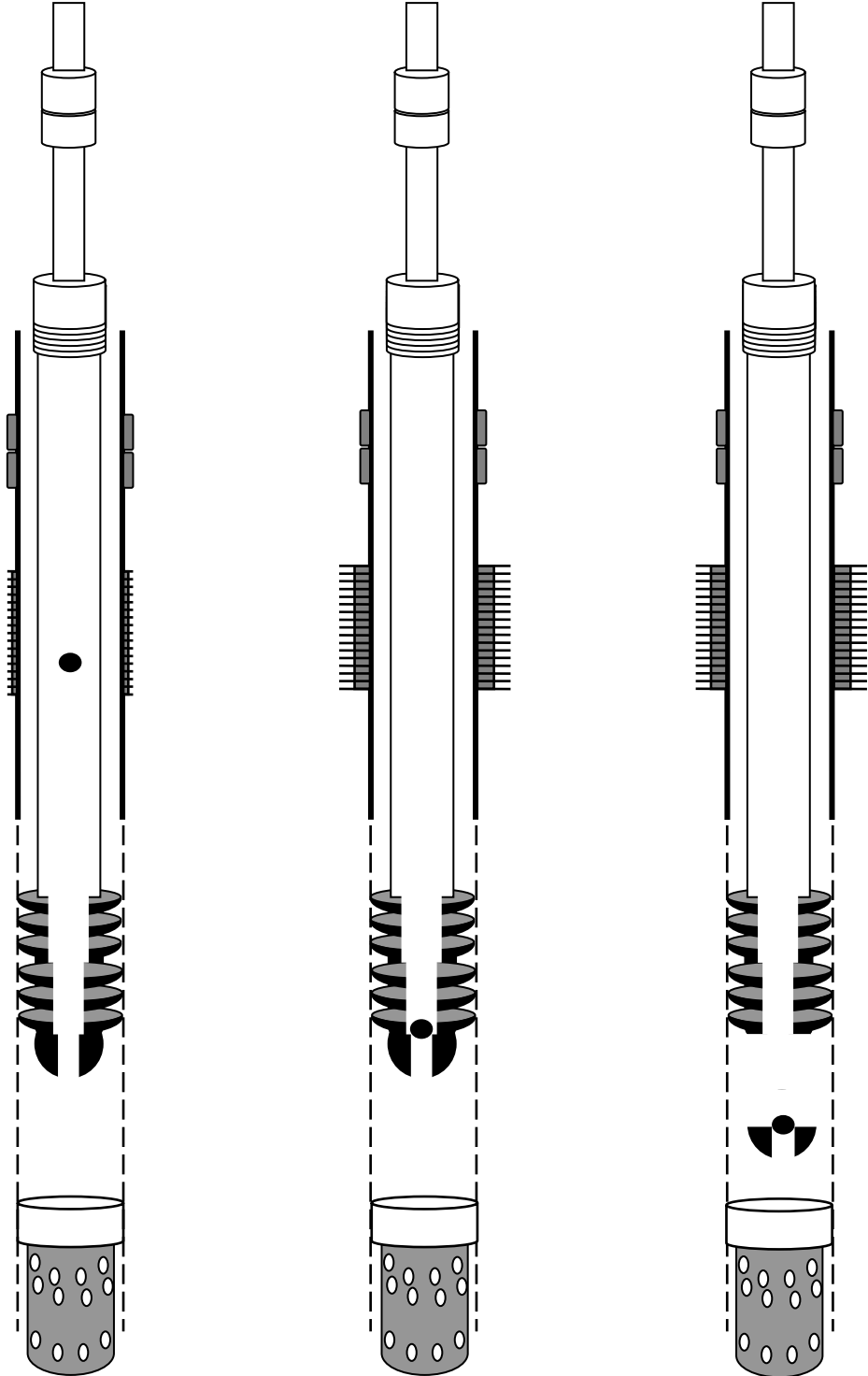


Fig.II.9. Packer NODECO



Lancement de la Ball

Ancrage du Liner Hanger

Cisaillement des goupilles du siège de la Ball

Fig.II.10. Ancrage du Liner Hanger

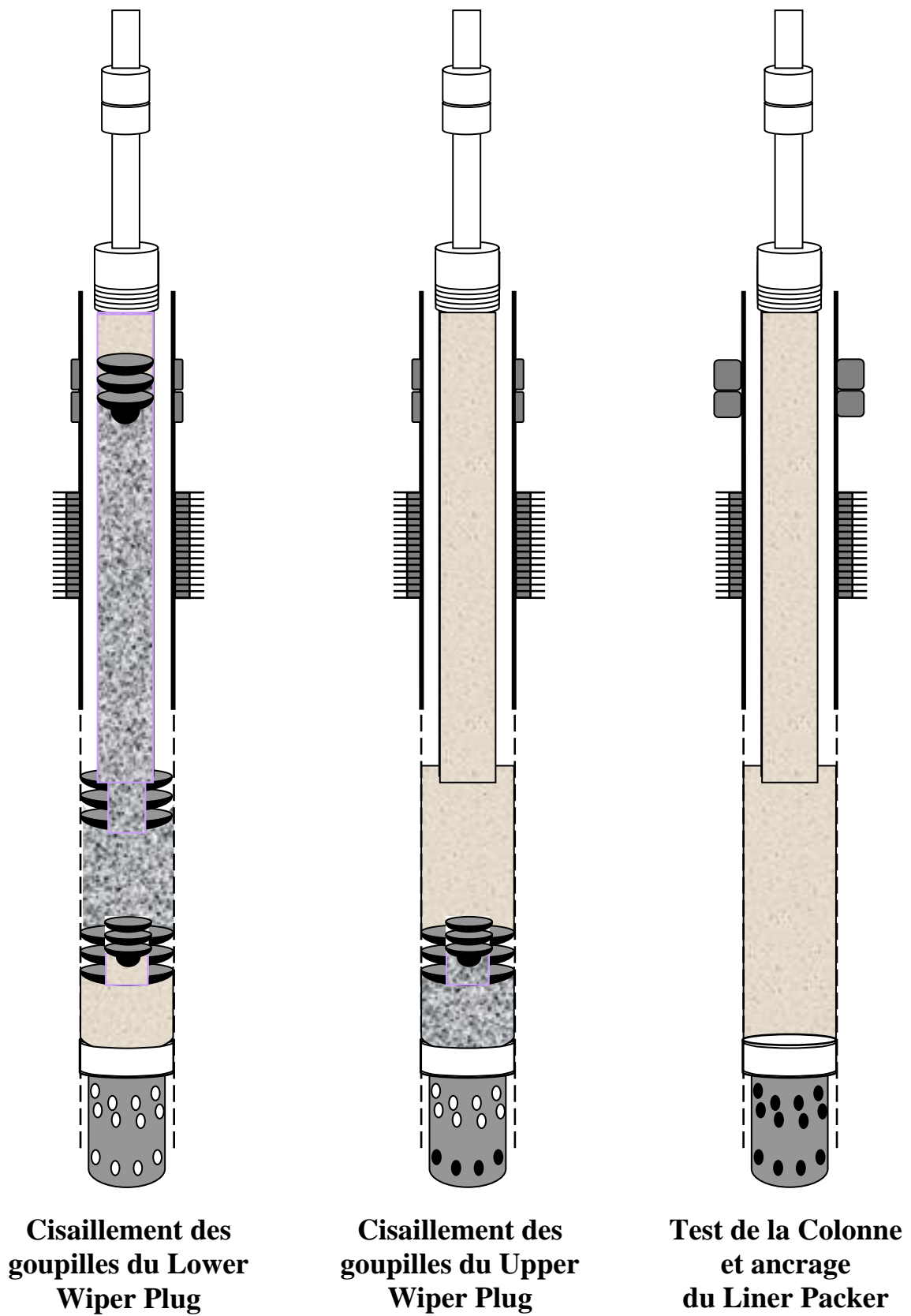


Fig.II.11. Test de la Colonne et ancrage du Liner Packer

III.4.Réception et contrôle de la colonne et de son équipement :

La première chose à vérifier est que le bordereau d'envoi corresponde bien à la requête d'achat. Tant en ce qui concerne leur désignation que leur nombre, tous les équipements doivent être inspectés soigneusement, comme indiqué ci-après :

- D.V. : vérifier que les orifices de circulation ne soient pas ouverts. Contrôler le bon diamètre des bouchons (s'assurer que les numéros de nomenclature des bouchons de cimentation correspondent bien au type de matériel utilisé).
- Sabot à canal ou avec anti-retour permanent : inspection visuelle
- Sabot avec dispositif anti-retour transformable : nettoyage au gasoil et vérification de la chemise. S'il s'agit d'un modèle transformable par bille, s'assurer que la bille est bien présente.
- Centreurs et anneaux de butées: vérifier qu'il s'agit bien du matériel prévu et qu'ils sont en nombre suffisant.
- Gratteurs : vérifier leur nombre et s'assurer que leur type correspond bien au mouvement de colonne prévu.
- Anneau de cimentation avec ou sans dispositif anti-retour : inspection visuelle.
- Bouchons de cimentation : s'assurer de leur nombre et de leur compatibilité avec le matériel mis en œuvre. Pour les bouchons de cimentation à double étage, s'assurer qu'ils peuvent se mettre en place correctement sur leurs sièges et que les coupelles de caoutchouc sont bien verrouillées.
- Colonne mixte : inspection et vérification des diamètres de la réduction.
- Rotule de cimentation (dans le cas d'une cimentation en rotation) : inspection et vérification du bon fonctionnement.

Chapitre III

Procédure et calcul de cimentation

Chapitre III : Procédure et calcul de cimentation

I. Procédure de calcul de cimentation primaire :

Cette procédure s'applique à toutes les cimentations primaires de tubages, c'est-à-dire du tube guide à la colonne de production. Les calculs concernant les cimentations à 2 étages et les cimentations des colonnes perdues sont expliqués dans les chapitres correspondants.

- A)
 1. Faire un schéma du puits en inscrivant toute les données utiles
 2. Calculer le volume total de laitier nécessaire à la cimentation.
- B) Calculer la quantité de tous les produits nécessaires à la préparation du laitier :
 1. Nombre de sacs de ciment
 2. Volume d'eau de mixage
 3. Nombre de sacs ou poids des additifs au ciment.
- C) Calculer le déplacement du laitier.
- D) Estimer la durée de l'opération en fonction du temps de pompabilité du laitier de ciment.

II. Calcul de cimentation :

Pour calculer une cimentation, on doit disposer les données suivantes :

- Diamètres du puits et de tubage ;
 - Profondeurs du puits et hauteurs à cimenter ;
 - Types de boues ;
 - Températures de fond ;
-

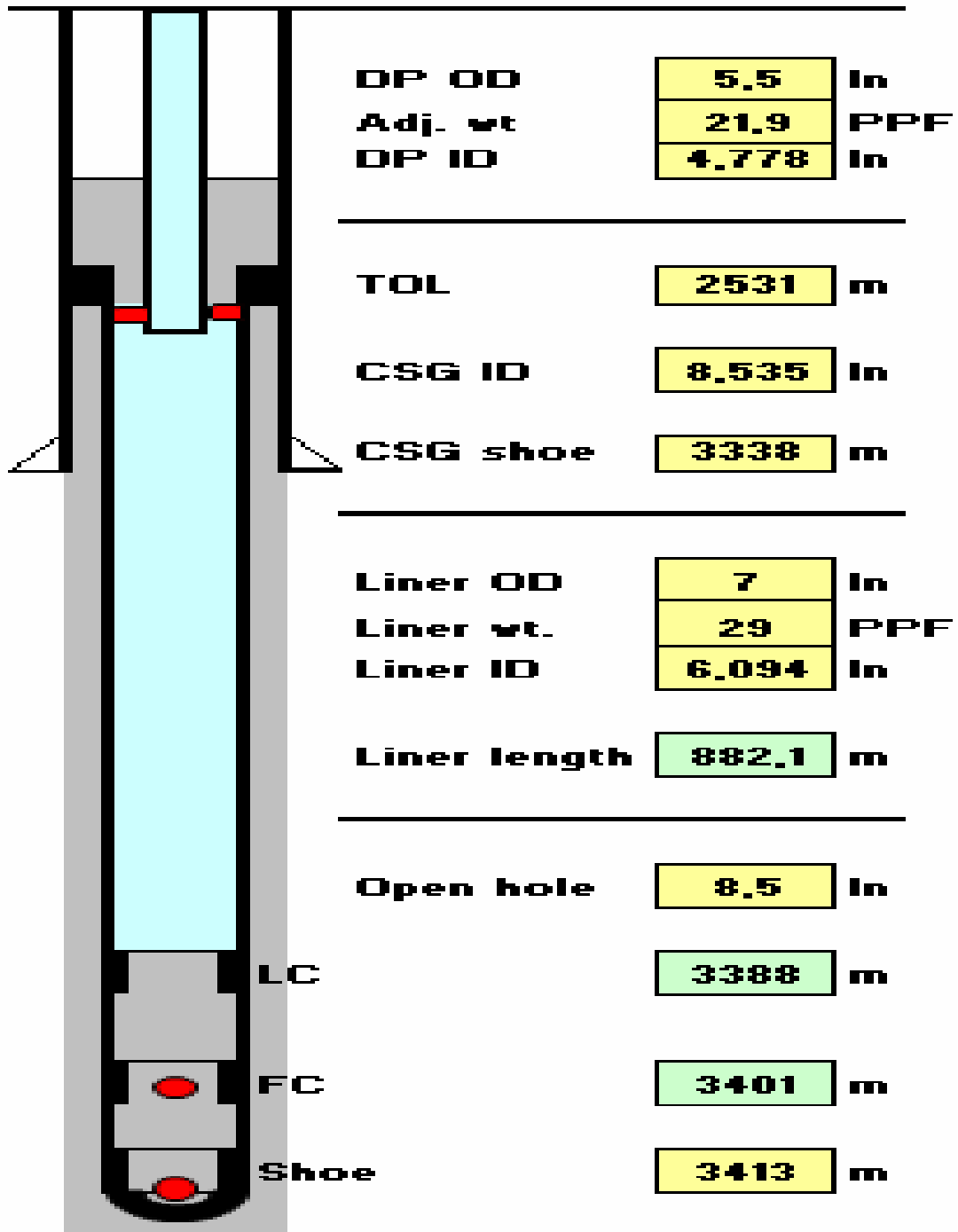


Fig.III.1 Schéma de calcul

Données de Départ

	Volume Unitaire (lt/m)
Annulaire 8 ^{3/8} x 7" 29#	10,66
+ excès 75% OH	18,66
Intérieur 7" 29#	19,38
Intérieur 7" 32#	18,82
Intérieur DP 5 ^{1/2} "	11,60
Annulaire 9 ^{5/8} 47# x DP5 ^{1/2}	22,10
Annulaire 9 ^{5/8} 53,5# x DP5 ^{1/2}	20,80
Annulaire 9 ^{5/8} 53,5# x 7" 32#	12,04

a. Volume de laitier de ciment :

	Capacité (lts/m)	Profondeur(m)		Hauteur (m)	Volume (m³)
		Top	Bottom		
Volume annulaire OH-liner7"	0,45	3338	3413	75	2.01
Volume annulaire csg-csg	8,95	2531	3338	807	7.18
Volume (FC-FS)	2,73	3401	3413	12	1.003
Volume Csg9 ^{5/8} x DP5 ^{1/2}	0,08	2531	2581	50	2.02
Volume totale					12,21

Laitier de ciment : 1,90kg/lt

b. Quantité de ciment et Volume d'eau de mixage:

Ils dépendent de la densité du laitier.

Connaissant la densité et le volume du laitier obtenu, on peut déterminer :

- La quantité de ciment :

Le volume d'eau nécessaire :

La densité du laitier : $d = 1,90$ et d'après le FF on a :

Densité	Eau (lt / 100 Kg)	Laitier (lt / 100 Kg)
1,45	44,2	75,8

$$\begin{aligned}
 Q_c &= \text{Volume total} * 100 / \text{Laitier} \\
 &= (12,21 * 1000) * 100 / 75,8 \\
 &= 16108,18 \text{ Kg} \\
 &= 16,1 \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= Q_c * \text{Eau} / 100 \\
 &= 16108,18 * 44,2 / 100 \\
 &= 7119,8 \text{ lt}
 \end{aligned}$$

$$= 7,1 \text{ m}^3$$

c. Volume du fluide de refoulement ou de chasse :

On utilise l'eau (3 m^3), la boue et les pompes de forage pour refouler le laitier de ciment.

Le volume de chasse est égal aux volumes intérieurs de DP 51/2 et casing 7" entre Landing Collar et la surface.

$$\begin{aligned} V_c &= V_{\text{int DP } 5 \text{ 1/2}} + V_{\text{int csg } 7''} \\ &= 3401 \times 11,05 + 100 \times 18,82 + (559 + 427) \times 19,38 \\ &= 58571,73 \text{ lt} \end{aligned}$$

$$V_c = 58,57 \text{ m}^3 \text{ (eau + boue).}$$

d. Temps d'injection du diesel, spacer et du laitier :

On a le débit d'injection : $Q_i = 700 \text{ lt / min}$

$$\begin{aligned} T_i &= (\text{Volume spacer} + \text{Volume du laitier} + \text{diesel}) / Q_i \\ &= (8000 + 12210 + 5000) / 700 \end{aligned}$$

$$T_i = 36 \text{ min}$$

e. Temps de chasse :

Pour la chasse on a procédé avec des débits différents : 700, 300 et 200 lts/min

$$T_c = V_{200}/200 + V_{300}/300 + V_{700}/700$$

$$T_c = 6000/200 + 32940/300 + 3620/700$$

$$T_c = 145 \text{ min}$$

f. Durée de cimentation :

$$\begin{aligned} D_c &= T_i + T_c \\ &= 41 + 145 \\ D_c &= 186 \text{ min} \end{aligned}$$

g. Pression finale de refoulement :

La pression maximale prévisible en fin de refoulement est égale à la différence de pression entre l'espace annulaire et l'intérieur du casing 7" et DP 51/2".

$$P_r = P_{\text{ext}} - P_{\text{int}}$$

$$P_r = [(h_c * d_c + h_s * d_s + h_d * d_d + h_b * d_b) / 10,2] - [(h_c * d_c + h_e * d_e + h_b * d_b) / 10,2]$$

Hc	883	Hs	385	Hd	240	Hb	1878
Dc	1,9	ds	1,6	dd	0,85	Db	1,46

$$P_r = 5239,58 - 4880,651$$

$$P_r = 35,18 \text{ bars} \quad P_r = 510,24 \text{ Psi} \quad \text{EMW} = 0,10$$

III] Contrôle et Évaluation de la cimentation : **« Attention nouveau paragraphe »**

III].1. Contrôle :

Après avoir cimenté, il est nécessaire de vérifier :

1. La hauteur de ciment dans l'espace annulaire
2. La qualité de la cimentation
3. L'étanchéité du tubage et parfois de la cimentation du sabot.(3).

III].1.1 Contrôle de l'hauteur dans l'espace annulaire :

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

La réaction exothermique de prise du ciment élève la température de la boue au voisinage du ciment. La lecture du diagramme doit permettre de déterminer la hauteur de ciment dans l'espace annulaire préciser les zones de mauvaise cimentation.

Pour faire cette lecture, il est bon de caler le diagramme de thermomètre sur la courbe du diamètreur effectué avant de descendre le tubage.

III].1.2 Contrôle de la qualité : (fig. III.2)

Si la thermométrie donne quelques renseignements sur la présence ou non de zones polluées dans la cimentation, elle ne précise pas si le ciment adhère correctement aux parois du tubage. L'enregistrement CBL "Ciment Bond Log" permet de déterminer les zones de bonne et mauvaise cimentation.

III].1.3 Contrôle de l'étanchéité de tubage et de cimentation de sabot :

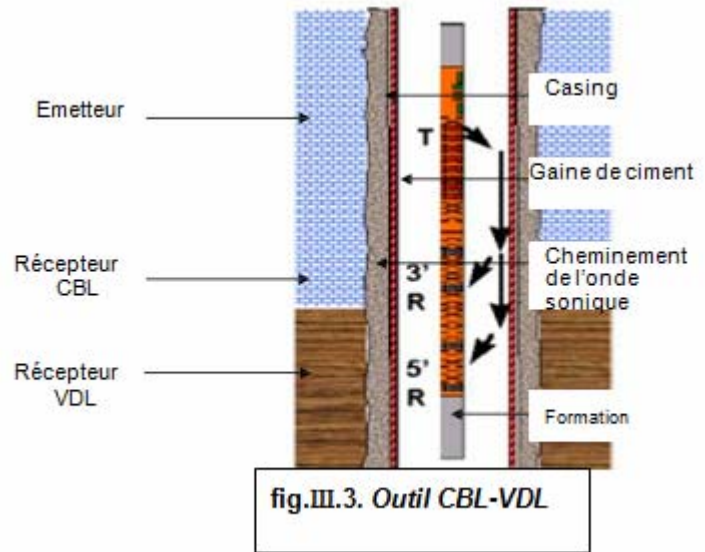
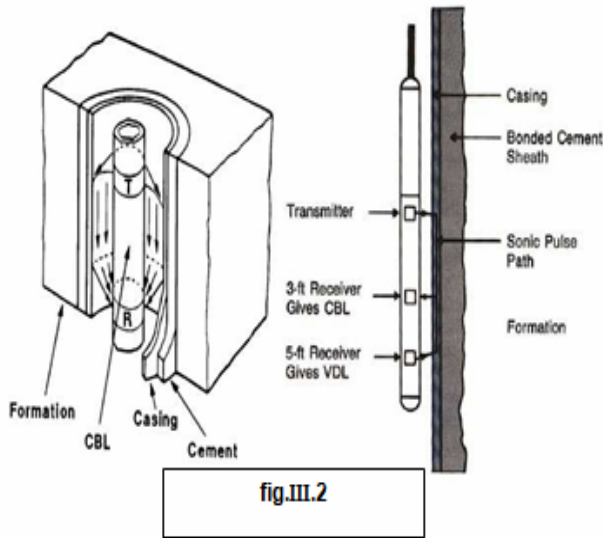
Il est bon, après cimentation de vérifier l'étanchéité de la colonne Cet essai se fait soit :

Après l'arrivée du bouchon supérieur sur l'anneau.

Après forage d'une partie du ciment et forage de 1 ou 2m au dessous du sabot.

III].2 Évaluation : (fig. III.3)

Le «Cement Bond Log»(**CBL**) et le «Variable Density Log»(**VDL**) utilisent une pulse sonore omnidirectionnelle pour mesurer la moyenne radiale de la gaine de ciment.(2).



Le gain de cimentation peut avoir plusieurs défauts.

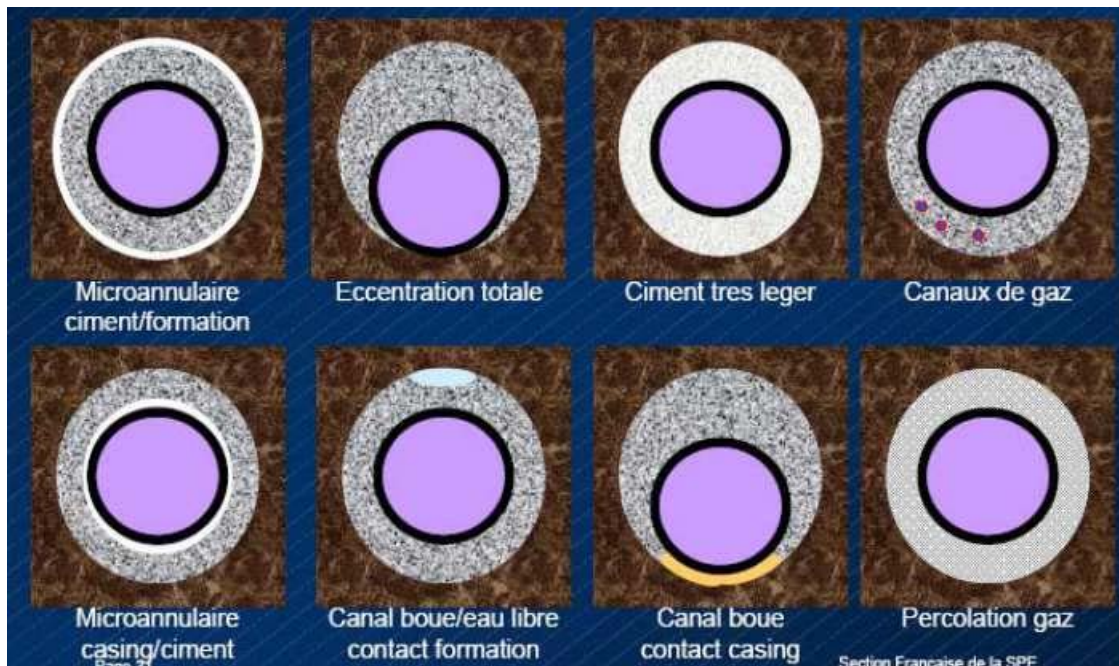


Fig.III.4. gain de cimentation

III].2.1 Mesure de l'amplitude et du temps de transit :

L'amplitude d'une onde acoustique diminue lors de son cheminement dans le milieu qu'elle traverse. Cette atténuation est en fonction des propriétés

élastiques du milieu. Sa mesure est appliquée à la détermination de la qualité de cimentation d'un tubage.

Principe :

Un train d'onde de fréquence variant entre 15000 et 30000 Hz selon les appareillages est périodiquement généré par un émetteur.

Cette onde traverse la boue, passe dans le tubage, le ciment et la formation si ces divers milieux sont couplés acoustiquement, puis elle est détectée par un récepteur qui se trouve sur le corps de l'outil (généralement à 3ft de l'émetteur).

Les vitesses des différentes ondes émises et créées, lors des passages successifs d'un milieu à un autre, sont fonction des caractéristiques physiques

du milieu et du type d'onde. L'énergie acoustique voyageant le long du tubage se propage plus rapidement que les ondes de formation, elles-mêmes plus rapides que les ondes de boue.

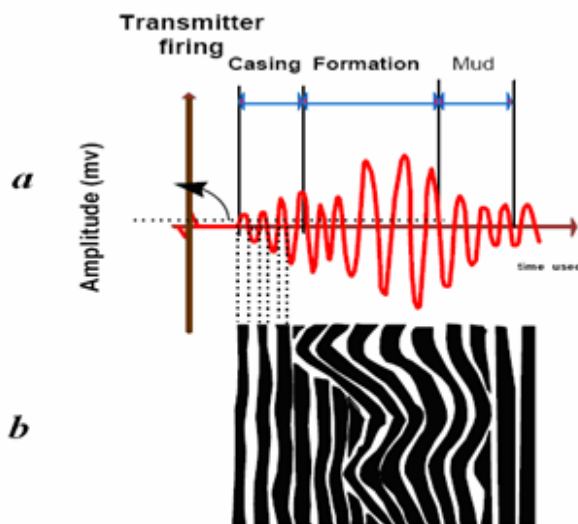


Fig.III.5. Enregistrement d'un train d'onde -

La détection de la première arrivée se fait suivant le même principe que celui de la mesure du temps de propagation d'une onde acoustique dans une formation, par un seuil minimum d'énergie détectable. L'amplitude de cette première arrivée (généralement l'onde de tubage) est mesurée par

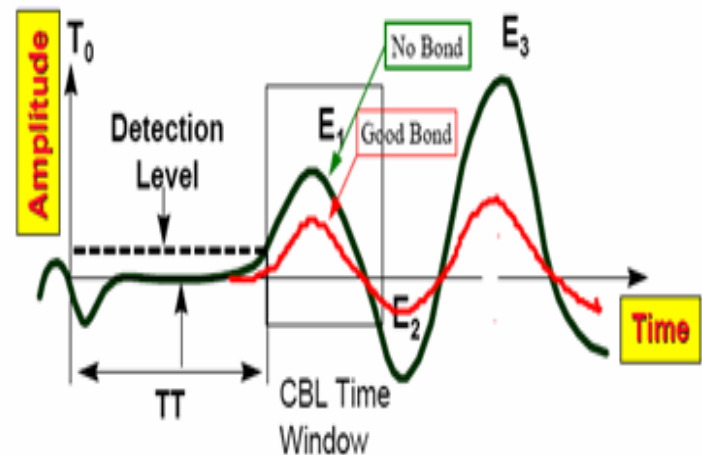


Fig. III.6. Diagramme de cimentation

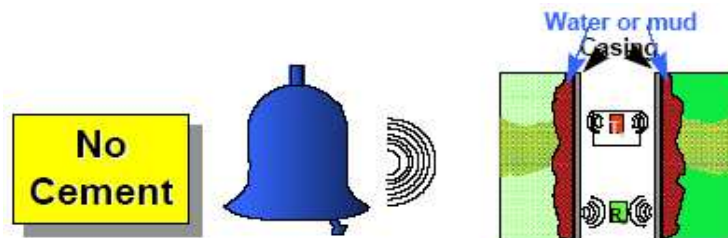
positionnement d'une fenêtre (E_1).

Cette diagraphie est appelée couramment CBL ; elle permet d'étudier et de quantifier la qualité de la cimentation

III.3 Interprétation :

Lorsque le casing est bien lié au ciment, les vibrations sont atténuées proportionnellement à:

- L'aire de la surface liée (bonded)



- Le compressive strength du ciment.



Dans le cas d'un tubage libre (non cimenté), toute l'énergie acoustique circule le long de l'acier ; il y a très peu d'atténuation de l'onde et l'amplitude du premier pic du signal est importante.

Si le tubage est parfaitement cimenté, cette énergie se propage à travers le ciment jusque dans la formation. L'onde tubage est alors très affaiblie.

Dans le cas d'un tubage mal cimenté, l'énergie se répartit entre le tubage et la formation.

CONCLUSION

Le tubage de puits de pétrole et de gaz est une partie très importante de la construction du puits. La tendance actuelle pour les tubages des puits est l'utilisation de colonne perdue (Liner) qui permet de remplir correctement les fonctions d'une colonne entière.

Ceci grâce aux techniques que ne cessent de se développer depuis des années. L'utilisation de Liner offre des avantages économiques et techniques, il est généralement préférable à une colonne complète, car il limite les coûts dus :

- ✓ Aux tubes.
- ✓ Au temps de mise en place.
- ✓ Ainsi que les éléments de la tête de puits.

La réussite d'une cimentation est l'objectif de mettre dans l'espace annulaire sans pertes et sur les hauteurs souhaités un volume de laitier qui après la prise, constituera une gaine de cimentation résistante et étanche.

BIBLIOGRAPHIE

- COURS DE FORAGE (IAP)
- FORAGE AUJOURD'HUI
- CEMENTING TECHNOLOGY (DS).
- CEMENT DISPLACEMENT MECHANICS
- AIDE MEMOIRE POUR CIMENTATION PRIMAIRE.
- COURS DE FORAGE (ENSPM).
- DESCENTE DE TUBAGE (ENSPM)
- FORAGE ROTARY –TUBAGE ET CIMENTATION (EDITION TECHNIP).
- TECHNIQUES D'EXPLOITATION – LE FORAGE –(EDITION TECHNIP).
- WWW.SLB.COM.
- WWW.SPE.COM.