

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département de Génie Minier

Mémoire de master en Génie Minier

Thème :

**La cimentation et son importance dans un forage
pétrolier**

Cas de cimentation d'un Liner 7'' d'un puits réel

Présenté par : Djennadi Idriss Moulay

Proposé et encadré par : Mme Bentallaa-Kaced Souaad

Présidente jurys : Mme Boutria Samira

Examineur : Mr Akkal Rezki

Promotion Juin 2015

ملخص:

واحدة من العمليات الهامة في إنتاج التنقيب عن النفط، هي السمنتة. يتم تنفيذ هذه العملية بعد كل مرحلة الغلاف. هذه الدراسة هي فهم لهذه العملية ومعرفة أساليب مراقبة الجودة.

الكلمات المفتاحية : السجلات الصوتية .سي بي ال-في دي ال .السمنتة .غلاف.

Résumé:

L'une des opérations importante dans la réalisation d'un forage pétrolier, est la cimentation.

Cette opération est réalisée après chaque phase de tubage.

Cette étude consiste à comprendre cette opération et de connaître ses méthodes de contrôle de qualité.

Mots clés: diagraphie sonore. CBL-VDL. Cimentation. Tubage.

Abstract:

One of the important operations in the production of oil drilling is cementing. This operation is performed after each casing phase.

This study is to understand the operation and to know its quality control methods.

Key words: sonic logs. CBL-VDL. Cementation. Casing.

REMERCIEMENT

Avant tout, je remercie mon dieu ALLAH le tout puissant, de m' avoir donné le courage et la

Volonté pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier vivement mes encadrants Monsieur EL HADJ MAHHAMAD BELHADJ formateur au sein de Sonatrach et Madame SOUAAD BENTALLAA pour leur disponibilité, leurs écoutes et leurs conseils avisés et pour m' avoir accompagné durant la réalisation de ce travail

Mes remerciements vont aussi à toute l'équipe du chantier ENF # 47 pour avoir su m' accueillir dans un environnement de travail stimulant, tout en étant agréable et même amusant.

Merci à l'ensemble des enseignants du département génie minier de m' avoir formé pour être apte à accomplir ce travail.

Je remercie les membres de jury de me faire l'honneur d'évaluer mon travail.

DEDICACES

Que ce travail soit dédié ;

A mes parents ;

A mon défunt père, que j'ai tant souhaité qu'il soit présent à mes côtés et qu'il ait la joie de me voir réaliser ses souhaits. Je prie dieu de l'accueillir en son vaste paradis ;

A ma très chère et douce mère, qu'elle trouve ici ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera à la hauteur de ses sacrifices et ses prières pour moi ;

A ma sœur NIHAD à qui je souhaite beaucoup de réussite et de bonheur ;

A ma grand-mère qui a toujours prié pour ma réussite ;

A ma tante SOUMIA et les membres de sa famille ; BENYOUCEF, AYMEN, YOUSRA et le petit YOUNES ;

A mes tantes ZOHRA, DJAHIDA et KHALIDA ;

A mes cousins MOUNIR, MAJDI ;

A tous mes amis et mes collègues surtout AMINE, FARES, YUCEF ;

DJENNADI IDRIS MOULAY

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Types de tubages..... | 12 |
| Figure 2 : Colonne perdue (liner)..... | 13 |
| Figure 3 : Utilisation d'un liner | 13 |
| Figure 4 : Tête de cimentation | 16 |
| Figure 5 : Anneau de retenu | 17 |
| Figure 6 : Sabot de cimentation | 18 |
| Figure 7 : Centreur rigide et centreur souple..... | 19 |
| Figure 8 : Unités de cimentation skid et camion | 19 |
| Figure 9 : Les étapes de cimentation..... | 20 |
| Figure 10 : Principe du CBL..... | 25 |
| Figure 11 : Dispositif CBL-VDL..... | 25 |
| Figure 12 : Enregistrement CBL-VDL..... | 25 |
| Figure 13 : Principe du VDL | 26 |
| Figure 14 : Représentation des amplitudes d'ondes acoustiques..... | 27 |
| Figure 15 : Résultats de la diagraphie CBL-VDL | 29 |

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION GENERALE | 8 |
| CHAPITRE I LE SOUTÈNEMENT D'UN Puits PETROLIER..... | 9 |
| I.1 Introduction | 10 |
| I.2 Définition du tubage | 10 |
| I.3 Rôle du tubage | 10 |
| I.4 Types de tubage | 10 |
| I.4.1 Tube guide | 10 |
| I.4.2 Colonne de surface | 11 |
| I.4.3 Colonne intermédiaire | 11 |
| I.4.4 Colonne de production | 11 |
| I.4.5 Colonne perdue (liner) | 12 |
| I.5 Conclusion | 13 |
| CHAPITRE II LA CIMENTATION..... | 14 |
| II.1 Introduction | 15 |
| II.2 Définition de la cimentation | 15 |
| II.3 Objectif de la cimentation | 15 |
| II.4 Equipements de cimentation | 16 |
| II.4.1 Tête de cimentation | 16 |
| II.4.2 Les bouchons de cimentations | 17 |
| II.4.3 anneaux de retenue pour bouchons | 17 |
| II.4.4 les sabots de cimentation | 17 |
| II.4.5 Les centreurs | 18 |
| II.4.6 Unités de cimentation | 19 |
| II.5 Procédure de cimentation | 20 |
| II.6 Conclusion | 21 |
| CHAPITRE III LE CONTROLE DE CIMENTATION | 22 |
| III.1 Introduction : | 23 |
| III.2.1 Hauteur de ciment dans l'espace annulaire | 23 |
| III.2.2 Etanchéité de la colonne | 23 |
| III.2.3 Etanchéité de cimentation du sabot | 23 |
| III.2.4 Contrôle qualité de cimentation | 24 |
| III.2.4.1 Le CBL (cement bond log) | 24 |

| | | |
|-----------|--|----|
| III.2.4.2 | Le VDL (variable density log)..... | 26 |
| III.2.4.3 | Interprétation CBL-VDL..... | 27 |
| III.2.4.4 | Facteurs influençant sur le contrôle de cimentation..... | 28 |
| III.3.1 | Présentation du puits XN-1..... | 28 |
| III.3.2 | Cimentation de la colonne perdue 7"..... | 28 |
| III.3.3 | Evaluation de cimentation..... | 28 |
| III.4 | Conclusion..... | 29 |
| | CONCLUSION GENERALE..... | 30 |
| | BIBLIOGRAPHIE..... | 31 |

INTRODUCTION GENERALE

L'opération de forage est bien l'étape la plus importante et la plus délicate, depuis l'installation de l'appareil de forage jusqu'à la mise en production du puits. À l'aide d'un programme, on élabore un planning d'opérations successives qui nous aide à atteindre le réservoir dans des bonnes conditions. La protection, ainsi que la complétion se fait en introduisant dans le trou foré une colonne de tubage, et de la cimenter le long du découvert pour maintenir en place les parois du puits, et assurer la conduite de l'effluent jusqu'en surface. Chaque phase du programme représente un intervalle foré qui doit impérativement être protégée avant d'entamer la phase suivante.

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

L'évaluation de cette cimentation se fait à l'aide des diagraphies du CBL-VDL, où l'on peut vérifier l'étanchéité casing-trou.

Dans un premier chapitre, nous allons voir quels sont les différents tubages utilisés pour soutenir les parois du trou, pour les différentes phases du forage.

Le deuxième chapitre, est consacré à la compréhension de l'opération de cimentation, sa procédure et la méthode du contrôle de qualité.

Et finalement, le dernier chapitre, où on prend un cas de cimentation d'un liner qu'on lui a fait un contrôle de cimentation.

CHAPITRE I
LE SOUTÈNEMENT
D'UN PUIT
PÉTROLIER

I.1 Introduction

Connaissant qu'un forage pétrolier est subdivisé en plusieurs phases, dans le but d'assurer la stabilité du puits, il est alors nécessaire de protéger les parois du trou foré, par des tubes de longueurs différentes appelées tubages.

I.2 Définition du tubage

Une fois foré, le puits est couvert par des tubes, appelés tubages, pour empêcher les parois de s'effondrer et pouvoir continuer le forage sans problèmes. Le choix des tubages, aussi bien en ce qui concerne leurs diamètres que leurs résistances, est conditionné par plusieurs facteurs, dont les principaux sont : (Nguyen, 1993)

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

I.3 Rôle du tubage

La mise en place d'un tubage répond au souci de coffrer solidement le trou foré afin de :

- l'isoler des terrains et fluides traversés.
- lui permettre d'encaisser les pressions susceptibles d'être rencontrées au cours du forage de la phase suivante.
- assurer une assise mécanique aux éléments de la tête de puits.

Ces principales fonctions ne sont effectives que lorsque le tubage est correctement cimenté.

I.4 Types de tubage

Un forage pétrolier est subdivisé en plusieurs phases (fig.1), où pour chaque phase correspond un certain type de soutènement (tubage)

I.4.1 Tube guide

Il s'agit d'une colonne de tubes très légers, ancrée dans le sol à une profondeur de dizaine de mètres. Elle a pour but, de canaliser la boue en début de forage et de maintenir les formations de surfaces non consolidées. (Slimani., et al, 2004)

I.4.2 Colonne de surface

C'est la première vraie colonne de tubes descendue et cimentée. Elle a pour objet de maintenir les terrains de surface qui sont assez souvent éboulants, d'assurer la fermeture des eaux douces de surface pour empêcher leur pollution par la boue et de servir d'ancrage pour les obturateurs et les têtes de puits.

Pour assurer toutes ces fonctions, cette colonne est cimentée jusqu'au jour, pour donner une bonne stabilité mécanique de l'ensemble de l'architecture du puits. Le but recherché pour cette colonne, est la solidité et l'étanchéité à tous les niveaux. (Nguyen, 1993)

I.4.3 Colonne intermédiaire

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 intermédiaires dépendent, entre autres, des pressions rencontrées dans la phase suivante. (Slimani., et al, 2004)

I.4.4 Colonne de production

Cette colonne est indispensable pour assurer la protection complète de la couche productrice, et la mise en œuvre du matériel de production. Si le puits est positif, à l'intérieur de cette colonne sera descendu un tube d'écoulement de l'effluent.

C'est grâce à ce tubage de production, que les tubings et les équipements du puits seront protégés ; c'est ce qui permettra à tout moment de pouvoir retirer le tubing du puits, afin de le remplacer ou inspecter tout autre équipement de production. (Nguyen, 1993)

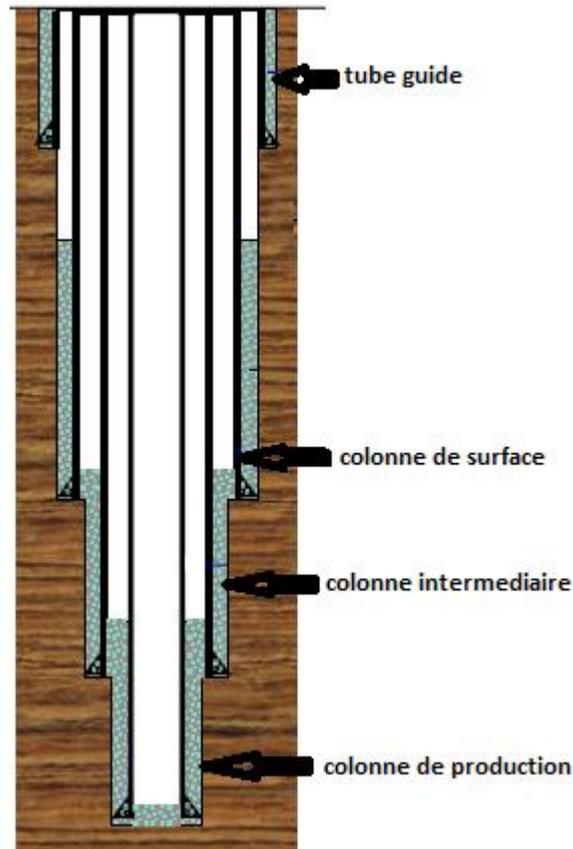


Figure 1 : Types de tubages

I.4.5 Colonne perdue (liner)

Toutes les colonnes précédentes couvrent le trou du fond à la surface et sont suspendues dans la colonne précédente. Par contre, ces colonnes perdues (fig.2) sont accrochées dans la partie inférieure de la colonne précédente par un système mécanique (liner hanger) et est cimentée avec un recouvrement. Ceci est nécessaire pour avoir une bonne étanchéité entre les deux colonnes. Elles présentent les avantages d'économie de tubes, de diminution du poids et de flexibilité. Mais il y a des inconvénients de grande complexité de suspension et de cimentation, et la colonne précédente doit être bien dimensionnée à la même pression d'éclatement que le liner. (Nguyen, 1993)

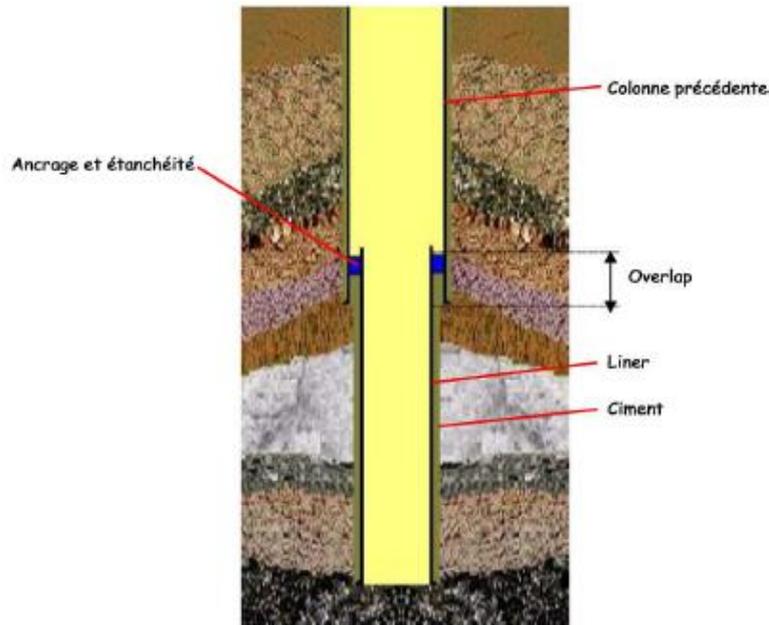


Figure 2 : Colonne perdue (liner)

Le liner est utilisé, soit pour couvrir une partie du découvert (liner de forage) (fig.3.a), soit pour couvrir le réservoir et le mettre en production (liner de production) (fig.3.c). Mais il peut également être utilisé pour couvrir une partie détériorée d'un tubage (scab liner) (fig.3.b). Ce liner peut être cimenté ou isolé en haut et en bas par des packers. (Ferrahh, 2014)

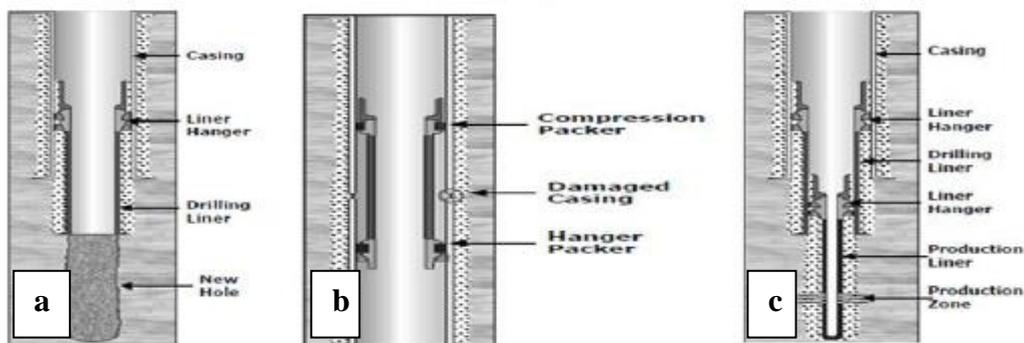


Figure 3 : Utilisation d'un liner

I.5 Conclusion

Une fois le tubage complètement descendu, on doit le cimenter pour bien le sceller dans le puits. Le ciment utilisé doit résister à la température élevée qui règne dans le puits.

CHAPITRE II

LA CIMENTATION

II.1 Introduction

A la fin de chaque phase de forage, avec la descente du tubage, une opération de cimentation doit être bien exécutée, afin de sceller le tubage dans le puits.

II.2 Définition de la cimentation

La cimentation d'une colonne de tubage, s'effectue par pompage d'un laitier de ciment dans l'espace annulaire existant, entre l'extérieur du tubage en place et la paroi de trou foré, en injectant directement à l'intérieur du tubage ou à travers les tiges de forage, de façon à le faire ensuite remonter dans cet annulaire jusqu'à une hauteur prédéterminée. (M.Bouhadda, 2012)

Pour qu'une cimentation soit correctement effectuée, il faut que:

- le ciment ne soit pas pollué par la boue.
- le ciment adhère bien aux parois.
- le volume du laitier soit bien calculé.
- le laitier soit de bonne qualité et ait un temps de pompage permettant l'achèvement de l'opération dans de bonnes conditions de sécurité.
- le sabot soit parfaitement cimenté.
- le refoulement soit arrêté au moment voulu.
- la chasse soit arrêtée lorsque le laitier est à l'emplacement prévu.

II.3 Objectif de la cimentation

En outre la nécessité de séparer les niveaux productifs d'huile ou de gaz des formations contenant des fluides indésirables comme l'eau, la cimentation de tubage a également d'autres buts tel que : (M.Bouhadda, 2012)

- Eviter l'éboulement du trou;
- Eviter le dévissage des tubes pendant le forage;
- Encren les colonnes de tubage sur lesquelles sont fixées les équipements de sécurité en tête de puits;
- Réduire la corrosion des tubes par les fluides contenus dans les couches traversées;
- La fermeture de l'espace annulaire et son étanchéité pour la mise en production;
- Isoler le trou aux eaux des couches superficielles
- Protection de la tête de forage contre les éventuelles pollutions par la surface.

Cependant, une mauvaise cimentation peut engendrer les problèmes suivants:

- Mélange de l'effluent produit avec des fluides indésirables;
- Migration des fluides en surface à travers les zones mal cimentées;
- La corrosion du tubage;
- La déformation du tubage

II.4 Equipements de cimentation

II.4.1 Tête de cimentation

Elles sont généralement conçues pour contenir deux bouchons ; plusieurs capacités de pression sont disponibles en accord avec les capacités du tubage.

Les systèmes de retenue des bouchons sont constitués soit par une tirette de retenue qui est tirée vers l'extérieur pour libérer le bouchon, soit par une demi-bague qui est manœuvrée depuis l'extérieur.

Normalement, il existe sur ces têtes un témoin qui permet de voir le départ du bouchon. La mise en place et le verrouillage de bouchons dans la tête doit être fait sérieusement. Plusieurs cimentations ont été ratées parce que les bouchons sont partis intempestivement ou qu'ils ne sont pas partis du tout. (Slimani., et al, 2004)

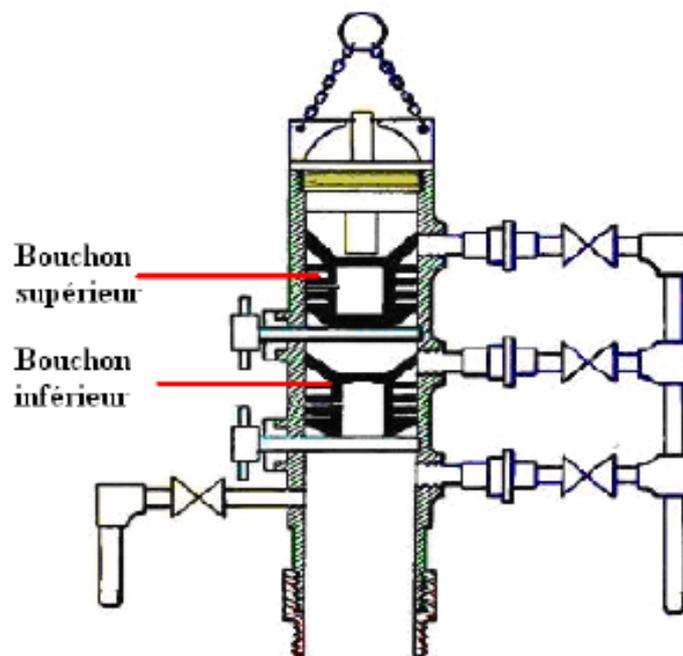


Figure 4 : Tête de cimentation

II.4.2 Les bouchons de cimentations

Le rôle essentiel des bouchons est de séparer positivement les différents fluides pendant leur déplacement à l'intérieur du tubage afin de retarder leur mélange et les risques de contamination. Ils sont de deux types :

- bouchon inférieur muni d'un diaphragme destructible sous l'effet d'une légère surpression. Outre qu'il sépare les fluides, il racle les parois du tubage lors de son déplacement, évitant la contamination du laitier qui le pousse
- bouchon supérieur étanche et résiste aux hautes pressions ; il est situé en queue de laitier. En fin de chasse, il se met sur le bouchon inférieur permettant de réaliser un test en pression de la colonne. (Belalia, 2012)

II.4.3 anneaux de retenue pour bouchons

Presque toutes les colonnes de tubage (sauf certaines colonnes de surface) sont équipées d'un anneau de retenue placé généralement entre le deuxième et le troisième tube à partir du sabot (quelquefois entre le troisième et le quatrième). Cet anneau retient les bouchons de cimentation et permet d'indiquer la fin de l'opération de cimentation lorsque le bouchon supérieur arrive à son niveau (à coup de pression). (Slimani., et al, 2004)

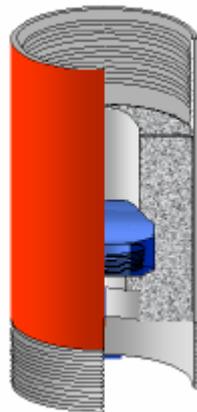


Figure 5 : Anneau de retenu

II.4.4 les sabots de cimentation

Un sabot de tubage est un élément vissé à l'extrémité inférieure d'une colonne. Il est spécialement aménagé de façon à faciliter la descente du tubage dans le trou. Il existe différents types de sabots dont le plus courant est :

Sabot à soupape : Ce sabot est muni d'une soupape à bille qui permet la circulation normale, mais interdit la circulation inverse. Il joue un double rôle :

- empêcher le laitier de revenir dans la colonne en fin de cimentation,
- alléger la colonne pendant la descente, ce qui est surtout intéressant pour les tubages profonds lorsque la colonne est à la limite de charge pour l'appareil de surface.

Avec ce type de sabot, il est nécessaire, en cours de tubage, de remplir régulièrement la colonne pour accélérer sa descente et la protéger contre les efforts d'écrasement. (Slimani., et al, 2004)

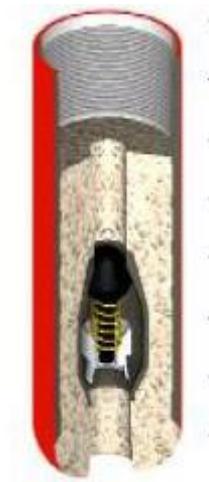


Figure 6 : Sabot de cimentation

II.4.5 Les centreurs

Le centrage d'une colonne est un élément déterminant pour l'obtention d'une bonne cimentation, 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. (Hadji, 2014)



Figure 7 : Centreur rigide et centreur souple

II.4.6 Unités de cimentation

Les unités de cimentation permettent d'effectuer simultanément :

- 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 hautes pressions montées soit sur camion soit sur skid. (Belalia, 2012)



Figure 8 : Unités de cimentation skid et camion

II.5 Procédure de cimentation

Avant l'injection du ciment, un nettoyage préalable des parois du trou, est effectué pour assurer une bonne adhérence du ciment et une bonne étanchéité.

Le tubage est muni, à son bout, d'un sabot qui le guide durant sa descente dans le puits, et, une vingtaine de mètres plus haut, d'un anneau qui retient les bouchons de cimentation.

Une fois le tubage au fond, on place, à sa tête, la tête de cimentation, contenant les deux bouchons, et on la connecte aux conduites arrivant de la pompe de forage et de l'unité de cimentation. (M.Bouhadda, 2012)

Pour cimenter (fig.9), on commence par libérer le bouchon inférieur (1), puis fabriquer et pomper simultanément le ciment (2). Ce dernier descend dans le tubage derrière le bouchon inférieur, jusqu'à ce que ce dernier pose (3) sur l'anneau. En continuant le pompage, le bouchon étant retenu par l'anneau, ne pouvant pas se déplacer, éclate (4) sous l'effet de la pression et laisse le ciment passer. Une fois le volume total de ciment pompé (5), on libère dessus le bouchon supérieur (6) et on continue à déplacer le ciment par la boue (7). Le ciment arrive au bout du tubage, sort par le sabot et remonte dans l'espace annulaire. On arrête le pompage de la boue lorsque le bouchon supérieur repose (8) sur le bouchon inférieur, déjà bloqué sur l'anneau, ce qui est indiqué par une augmentation brusque de la pression, appelé à-coup de pression. (Daddou, 2011)

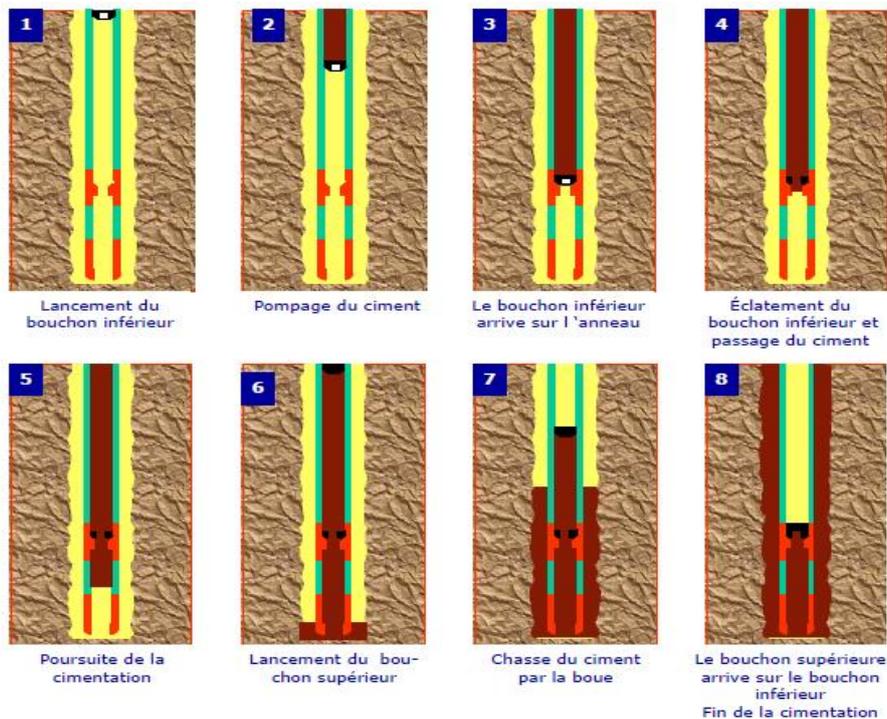


Figure 9 : Les étapes de cimentation

Une fois le pompage est terminé, on maintient la pression finale de refoulement jusqu'à ce que le ciment soit suffisamment fait prise. Pratiquement le temps de prise varie de:

- 5 à 8 h pour les colonnes de surfaces
- 12 à 24 h pour les colonnes techniques

II.6 Conclusion

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

CHAPITRE III
LE CONTROLE DE
CIMENTATION

III.1 Introduction :

Une cimentation d'un soutènement, est toujours poursuivie par un contrôle afin de concrétiser la cimentation et évaluer sa qualité. On prend le cas de cimentation d'une colonne perdue (liner) 7" d'un puits XN-1 du bassin de Berkine.

III.2 Contrôle de cimentation :

Après l'opération de cimentation, il est nécessaire de vérifier :

III.2.1 Hauteur de ciment 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 thermométrie sur la courbe du diamètreur effectué avant la descente du tubage. (M.Bouhadda, 2012)

III.2.2 Etanchéité de la colonne

Lorsque le ciment a fait prise, on refore la hauteur de sécurité de ciment restée dans la colonne jusqu'à 1 m environ au-dessus du sabot. On procède alors au contrôle d'étanchéité de la colonne, en fermant l'obturateur de sécurité sur tige et en pompant la boue par l'intérieur de manière à atteindre la valeur des pressions voulues. Cette pression doit être maintenue pendant 30 min. (Belalia, 2014)

III.2.3 Etanchéité de cimentation du sabot

Après le reforage, on met à nouveau la colonne sous pression de manière à vérifier si l'anneau de ciment est bien étanche. La pression d'éprouve doit être limitée à une valeur inférieure à la pression de rupture du caoutchouc de sabot.

On fait l'évaluation du ciment pour :

- Avoir des informations sur la conception primaire de la cimentation : Le foreur ou bien l'ingénieur de conception du ciment doit avoir des informations sur la contrainte de compression du ciment au fond du puits ainsi que le top ciment.
- Bonne interprétation des données des essais de production : des informations sur l'isolation des zones sont très indispensables pour évaluer la production de surface.
- Des informations sur les zones mal cimentées seront très utiles pour assurer qu'une opération de squeeze sera efficace (après l'échec d'une cimentation primaire)

III.2.4 Contrôle qualité de cimentation

Si la thermométrie donne quelques renseignements sur la présence ou non de zones polluées dans la cimentation, elle ne précise pas si le ciment adhère correctement aux parois du tubage. Pour cela on utilise les diagraphies soniques ; CBL – VDL (Cément Bond Log – Variable Density Log).

C'est la mesure, par méthode acoustique, de la qualité du comblement, par le ciment de l'annulaire formé entre le tubage et la formation. Il faut savoir qu'un tubage acier parfaitement adhérent à la formation par l'intermédiaire du ciment, est pratiquement transparent et ne perturbera pas les temps d'arrivée des ondes de compression transitant par la formation. Par contre, un tube libre réalise un véritable court-circuit dans la transmission de l'onde de compression, elle transite alors exclusivement par l'acier à la vitesse de celui-ci soit 5400 m/sec.

Dans les terrains dont les vitesses sont inférieures à 5400 m/sec., il sera donc facile de discriminer les arrivées dues au terrain de celles dues à l'acier. On mesure alors dans la fenêtre de temps calée sur la vitesse de l'acier, l'amplitude de quelques alternances de la première arrivée qui sera d'autant plus forte que le tubage sera libre de toute adhérence de formation.

Cependant, dans des terrains dont la vitesse de propagation des ondes est égale ou supérieure à 5400 m/sec., on aura recours à une analyse de la signature du signal acoustique. En effet, le signal ayant transité par le terrain est différent de celui ayant transité par l'acier. (Hadji, 2014)

III.2.4.1 Le CBL (cement bond log)

C'est une diagraphie sonique, où l'on mesure l'atténuation des ondes sonores dans les tubes et le ciment. Plus exactement, elle consiste en la mesure de l'amplitude de la première arrivée de l'onde de compression émise par l'émetteur de la sonde (fig.11). L'amplitude de l'onde est minimale (donc l'atténuation est maximale) si une couche épaisse du ciment adhère à la colonne, elle est maximale si la colonne est libre (fig.10).

Le CBL est cependant difficile à interpréter, car l'expérience a montré qu'un très léger décollement entre le tube et le ciment donne la même réponse qu'une absence totale de ciment. (Maget, 1983)

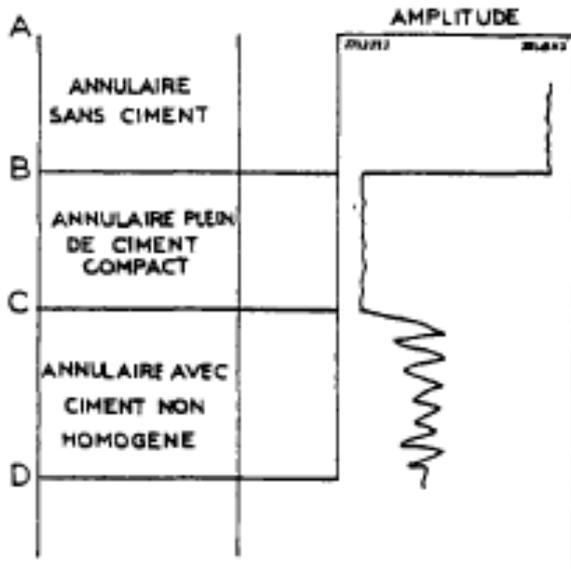


Figure 10 : Principe du CBL

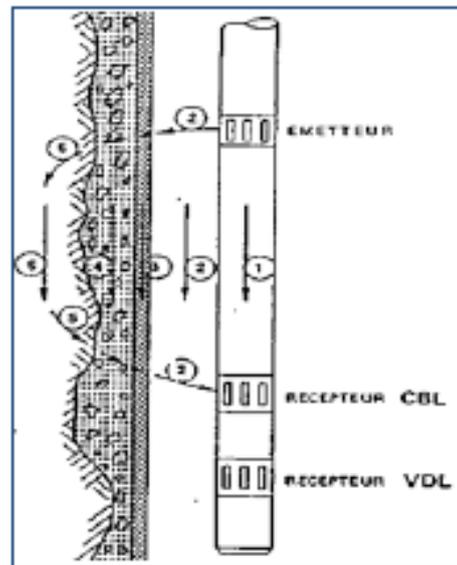


Figure 11 : Dispositif CBL-VDL

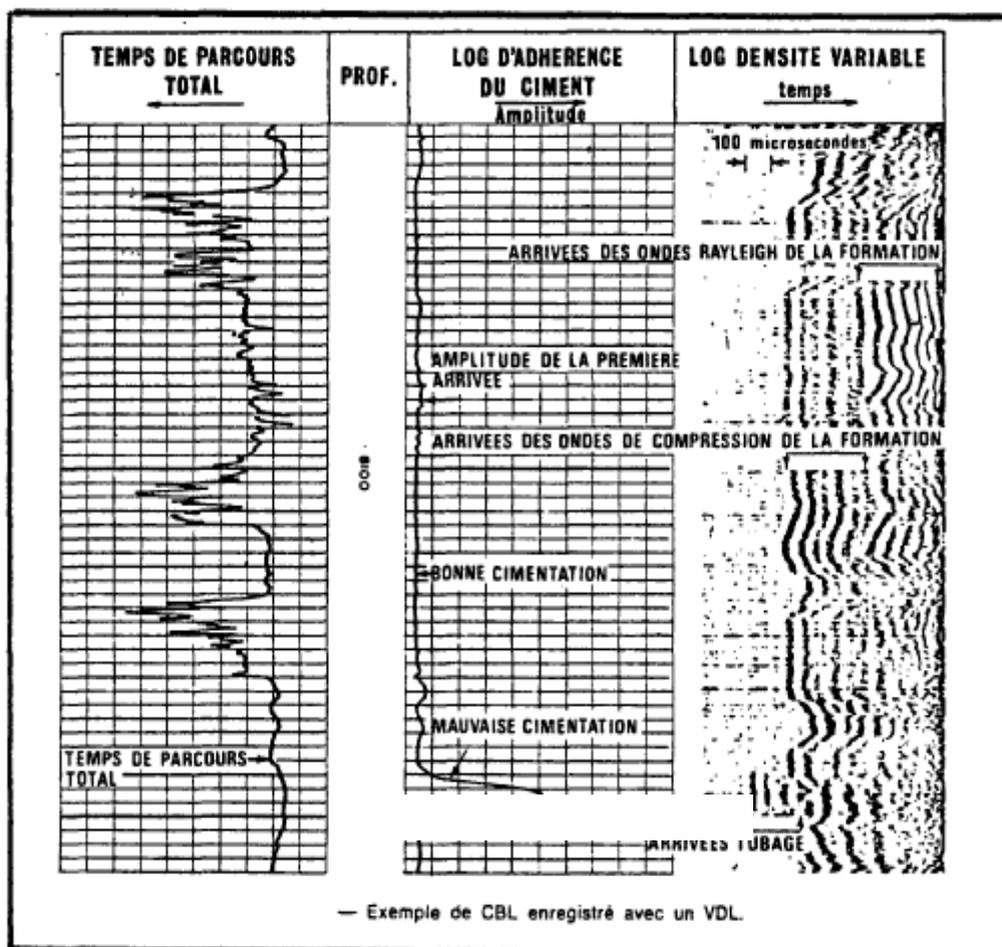


Figure 12 : Enregistrement CBL-VDL

Interprétation :

Dans le cas d'un tubage "libre" (non cimenté) toute l'énergie acoustique circule le long de l'acier : il y a très peu d'atténuation de l'onde et de l'amplitude de la première arche du signal est importante

- Dans le cas d'un tubage parfaitement cimenté, cette énergie se propagera à travers le ciment jusque dans la formation. Il y a grande atténuation de l'amplitude.
- Dans le cas d'un tubage mal cimenté, l'énergie se répartit entre le tubage et la formation. (Hadji, 2014)

III.2.4.2 Le VDL (variable density log)

Enregistré en complément du CBL, le VDL permet de définir l'adhérence Ciment Formation, par la reconnaissance des arrivées de la formation, et l'atténuation du signal qui permet la détection du microannulus (fig.13).

L'étude de la qualité de la cimentation peut être faussée par un certain nombre de phénomènes. Il s'est avéré utile d'enregistrer l'ensemble du train d'ondes sonores reçues par un récepteur situé généralement à 5 pieds de l'émetteur, afin de bien différencier les arrivées successives. (ferrah, 2014)

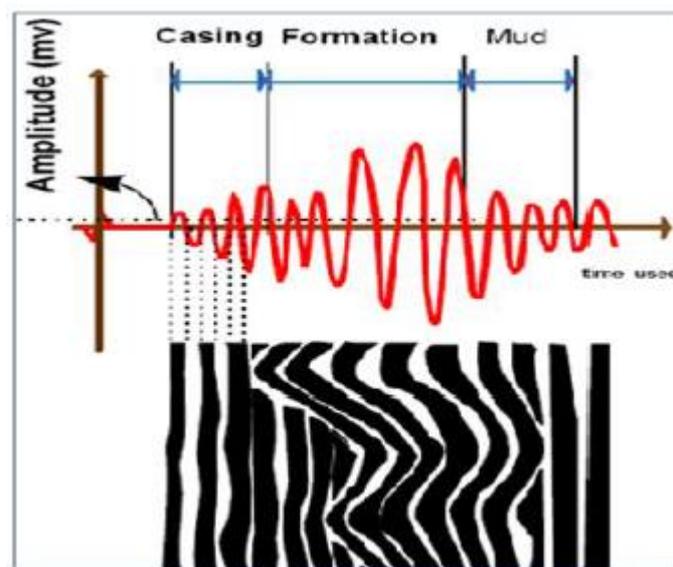


Figure 13 : Principe du VDL

Le (VDL) est créé par transformation de la forme d'onde acoustique à chaque intervalle de profondeur en une série de lignes noires et blanches qui représentent l'amplitude des différents pics positifs ou négatifs (fig.14).

L'amplitude zéro est représentée en gris, l'amplitude négative en blanc et l'amplitude positive en noir. La représentation visuelle de la forme d'onde fournit une évaluation simple de la présence de ciment ou d'un tube libre.

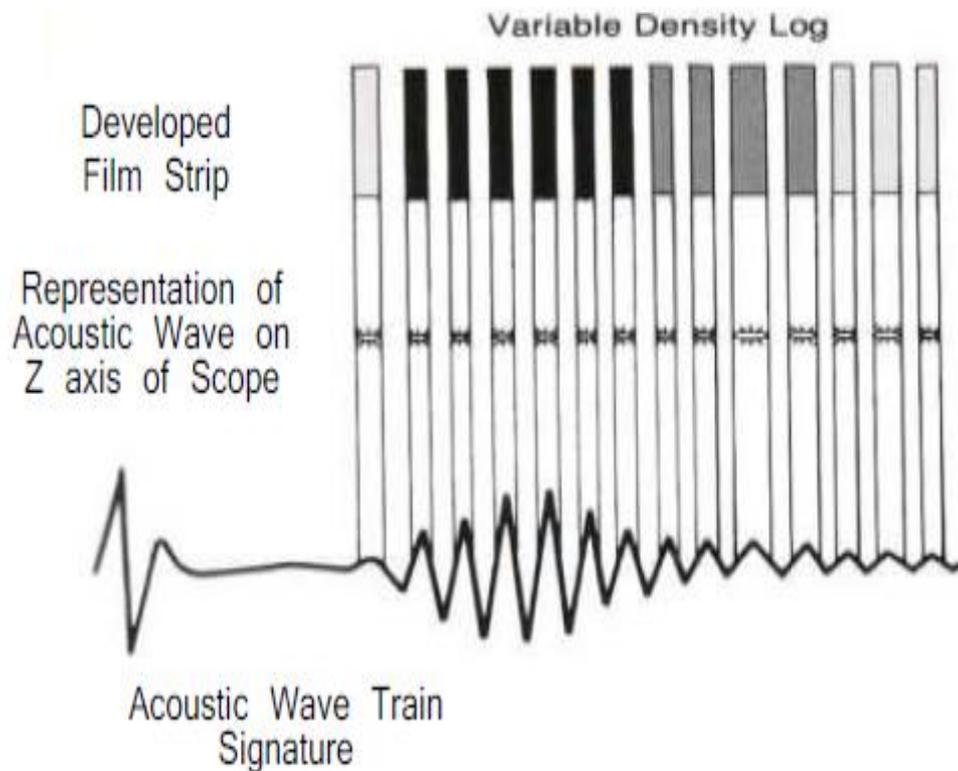


Figure 14 : Représentation des amplitudes d'ondes acoustiques

Interprétation :

- Dans le tubage libre, les ondes de tubage apparaissent très nettement, parallèles et rectilignes sur toute la partie libre. On ne voit pas les ondes de formation.
- Dans le tubage bien cimenté, elles sont très affaiblies et peuvent même pratiquement disparaître. Les ondes de formation apparaissent très nettement.
- Dans une partie moyennement cimentée, les ondes de tubage sont visibles, plus ou moins sombres, ainsi que les ondes de formation.

III.2.4.3 Interprétation CBL-VDL

a- Tubage libre (non cimenté) :

- L'amplitude CBL est forte (correspondant à celle attendue en fonction du diamètre du tubage).
- Ondes du tubage très nettes, rectilignes et bien parallèles sur le VDL.
- Joints de tubage net pour tous les logs.

b- Tubage bien cimenté :

- L'amplitude du CBL est faible (fig.12).
- Dans tous les cas, le VDL montre des ondes de tubage très faibles, voire inexistantes et des ondes de formation très nettes, dont les variations correspondent à celles vues sur le sonique enregistré en trou ouvert (Ferrah, 2014).

III.2.4.4 Facteurs influençant sur le contrôle de cimentation

- La taille du casing et son épaisseur.
- La compressibilité du ciment.
- Le type et la densité de la boue dans le puits.
- Les conditions de fonds (température et pression).
- L'excentricité du casing.

III.3 Contrôle de cimentation d'un liner 7"**III.3.1 Présentation du puits XN-1**

Le puits d'étude est un puits de prospection du bassin de Berkine, foré verticalement dans le Trias argileux Gréseux Supérieur, à une profondeur de 3810m.

III.3.2 Cimentation de la colonne perdue 7"

Le but de la descente de la colonne perdue (liner) 7" est de couvrir les formations salifères et le niveau aquifère. Sa cimentation s'est déroulée comme suit :

- Descente de liner 7" avec 5"1/2 DP dans le trou ouvert jusqu'au sabot (3605m) et le top liner à 2504m.
- Faire une circulation de 3h avant l'opération de cimentation.
- Larguer le premier bouchon.
- Mixer et pomper 16.65m³ de laitier de ciment de densité 2.17.
- Lâcher le deuxième bouchon manuellement et pomper 1m³ de l'eau froide.
- Déplacer le ciment avec 44.74m³ de boue de forage de densité 2.15.
- Déconnecter la tête de cimentation la conduite de cimentation.

III.3.3 Evaluation de cimentation

Une garniture de forage fut descendue avec un outil PDC pour le reforage du ciment où on a constaté qu'une partie entre le sabot et le top liner ne contenait pas du ciment.

- Les opérations de diagraphie sonique (CBL – VDL) furent achevées pour l'évaluation de la cimentation.
- Résultats :

L'interprétation des logs CBL- VDL a montré que l'annulaire du liner 7" est mal cimenté mise à part quelque bonde par endroit.

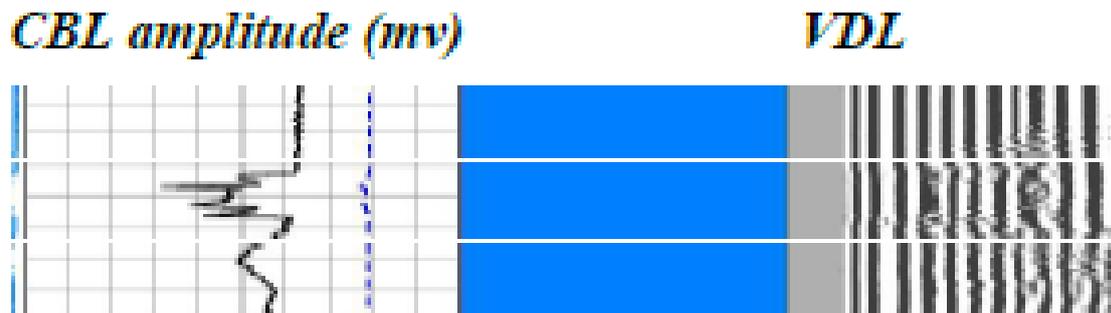


Figure 15 : Résultats de la diagraphie CBL-VDL

III.4 Conclusion

L'évaluation de la cimentation du liner 7" par CBL/VDL nous a aidé à déterminer les zones mal cimentées, où la cause est non justifiée, mais elle est peut être due à un problème durant le lâchement du bouchon supérieur, et donc le ciment n'a pas bien rempli l'espace de la zone de recouvrement du liner.

CONCLUSION GENERALE

L'opération de descente et cimentation des tubages, nécessite une préparation particulière vu qu'elle présente des difficultés de réalisation, surtout dans le cas d'un liner.

L'objectif d'une cimentation, est de mettre dans l'espace annulaire, un volume de laitier qui après prise, constituera une gaine de cimentation assez résistante et étanche, permettra de protéger le soutènement du puits.

L'évaluation de la qualité d'une cimentation nécessite l'application des diagraphies soniques CBL et VDL, qui nous aident à déterminer les zones ayant une mauvaise adhérence du ciment, où on peut le voir dans le cas d'un liner étudié dans ce travail. La poursuite des opérations effectuées sur le puits sont alors interrompus.

BIBLIOGRAPHIE

A.Ferrah, K.Aissaoui, évaluation et résolution du problème de mal cimentation de liner 7'', thèse de master, Mai, 2014, pp71

A.Hadji, A.Moulay Brahim, évaluation de l'opération du tubage et cimentation de la phase 8''1/2 à Hassi Bekra (cas de puits OML72BIS), thèse de master, Juin, 2014, pp53

A.Slimani, M.Daddou, division forage, département formation, Module M1, Mars, 2004, pp168

J-P. Nguyen, technique d'exploitation pétrolière, 1993, pp385

M.Belalia, élaboration d'un programme de forage, pose et évaluation de la cimentation du liner 7'' dans la région HMD cas puits OMLZ 662, thèse de master, Juin, 2012, pp64

M.Bouhadda, module de fluides et ciments, généralités sur la cimentation, 2012

M.Daddou, initiation au forage pétrolier, avril, 2011, pp 22

Ph.Maget, les diagraphies en forage, initiations aux méthodes et aux interprétations, application en géothermie, Orléans, 1990