

N° d'ordre : / Faculté / UMBB / 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Présenté par:

MOUCHACHE Amine

DEGOUAH Abderraouf

Filière : Hydrocarbures

Option : Forage des puits

Thème

Etude des pertes de circulation dans le Lias Carbonaté lors du forage de la phase 12^{1/4}”, analyse et interprétation des résultats du traitement, et proposition de solution. Cas du puits HDB-1.

Soutenu publiquement, le 04/07/2017

Devant le jury :

MELLAK Abderrahmane	Professeur	UMBB	Encadreur
CHIEB Bachir	DGA	ENTP	Président
HADJADJ Ahmed	Professeur	UMBB	Examineur
BOUMAZA Nadia	MA(A)	UMBB	Examinatrice
AISSANI Rabah	Cadre division forage	SONATRACH	Examineur

Année universitaire 2016 / 2017

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



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie
Département : GISEMENTS MINIERES ET PETROLIER
Filière : HYDROCARBURE
Option : FORAGE DES PUIITS DES HYDROCARBURES

Mémoire de Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Etude des pertes de circulation dans le Lias Carbonaté lors du forage de la phase 12^{1/4}" , analyse et interprétation des résultats du traitement, et proposition de solution. Cas du puits HDB-1.

Présenté par :

Etudiant(1): MOUCHACHE Amine

Etudiant(2): DEGOUAH Abderraouf

Avis favorable de l'encadreur :

Nom et Prénom

signature

Pr. MELLAK Abderrahmane

Avis favorable du président du jury

Nom et Prénom

Signature



Remerciements

Louange et gratitude à Allah le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux pour nous avoir donné la force, la santé et le courage pour achever ce travail.

On tient à remercier en premier lieu et très chaleureusement notre encadreur:

*Le Professeur **MELLAK Abderrahmane** pour son aide, ses précieux conseils, ses remarques, sa grande disponibilité et sa générosité dans le partage de ses connaissances scientifiques.*

On adresse nos vifs remerciements à nos enseignants de l'université de Boumerdès pour leurs sacrifices dans leur noble tâche de transmettre le savoir.

Nos remerciements vont également aux superviseurs de la Sonatrach division forage et l'ensemble du personnel de l'Entreprise Nationale du Forage en particulier ceux du chantier ENF#51 pour leurs accueil et leur soutien durant notre séjour de stage.

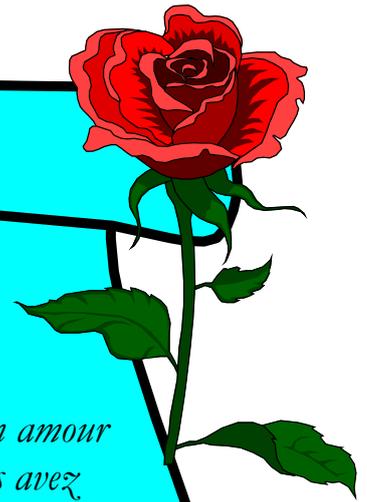
On adresse nos remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, même avec un sourire ont contribué à la finalisation de ce travail.

Enfin, on tient à remercier les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et apporter leurs critiques et corrections.

Amine & Abderraouf.



Dédicaces



Je dédie ce travail à

Ma chère Mère

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tous le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, puisse Dieu le Très Haut vous accordez santé, bonheur, et longue vie.

Mon cher Père

Celui qui fut brave des hommes, m'ouvrant ses bras dans les sombre moments et m'aidant à aller de l'avant vers le meilleur et qui m'a tant soutenu moralement et matériellement.

Mon cher Frère

Mohand Ameziane, vous êtes mon bonheur, que Dieu vous protège et qu'il vous oriente vers le bon chemin, je vous souhaite la réussite dans votre vie estudiantine.

MOUCHACHE Amine.

Dédicaces

Au nom d'Allah le clément et le miséricordieux, salut et paix sur le fidèle messager d'Allah.

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mes grands-parents qui n'ont pas pu être présents en ce jours, qu'ils reposent en paix.

A mes parents, les être les plus chers à mon cœur

« Ma chère mère et mon cher père »

A mes frères : Fawzi et Amine.

A mes sœurs : Ghania et fouzia.

A toute la famille DEGOUAH et MEFLAH
Oncles et tantes, cousins et cousines

A mon binôme Amine.

A mes amis : Hocine, Walid , Riad, Islam, Hamza, Majid, Anes, Mohammed, Sofiane, Mounir, Oussama, Anis, Youcef, Karim, Abdennour, Zaki, Bogel, Zinnedine, Azzedine.

En enfin
à toute personne qui m'est chère

Abderraouf DEGOUAH

AVANT PROPOS

Ce document est conçu pour répondre aux exigences de la formation master académique en forage des puits à l'université de Boumerdès. Une mise en situation professionnelle en fin de cycle est prévue au programme d'études et s'est déroulée au sein de l'Entreprise Nationale de Forage ENAFOR, division forage où nous étions affectés à l'appareil ENF#51.

On s'est intéressé à un problème auquel on avait assisté qui est important et d'actualité, pour la réalisation de notre mémoire de fin de cycle master et qui porte sur :

Etude de perte de circulation dans le Lias Carbonaté lors du forage de la phase 12^{1/4"}, analyse et interprétation des résultats du traitement, et proposition de solutions. Cas du puits HDB-1.

Ce document est structuré en trois parties :

➤ **Une partie générale qui comprend:**

- Présentation de la région d'Oued Mya.
- Présentation du puits HDB-1.

➤ **Une partie théorique qui comprend:**

- Généralités sur les fluides de forage.
- Généralités sur les pertes de circulation.
- Traitement des pertes de circulation.

➤ **Une partie spéciale qui comprend:**

- Difficultés géologiques de la région.
- Etude du cas, analyse et interprétation des résultats du traitement de la perte survenue au niveau du puits HDB-1.
- Proposition des bouchons Hydro Plug LCM comme solution adéquate.
- Etude technico-économique comparative entre le traitement de la perte sur chantier et la solution bouchon LCM Hydro Plug proposée.
- Conclusion et recommandations.

Sommaire

Avant-propos.

Introduction.....1

Chapitre I : Partie géologique et généralités sur le puits HDB-1.

Introduction.....	2
I. Situation du bassin d'Oued Mya.....	3
I.1 Situation géographique du bassin d'Oued Mya.....	3
I.2 Cadre géologique du bassin d'Oued Mya.....	4
I.3 Cadre géologique et structural local.....	5
I.4 Rappel des résultats pétroliers de la région.....	5
I.5 Localisation du puits HDB-1.....	5
I.6 Objectifs pétroliers.....	7
I.7 Les puits voisins.....	7
II. Prévisions litho-stratigraphiques.....	9
III. Programme prévisionnel de forage.....	15
III.1 Fiche technique du puits HDB-1.....	15
III.2 Programme de forage et de boue de forage	16
III.3 Programme de tubage.....	17
III.4 Programme des outils de forage.....	17
III.5 La vitesse d'avancement prévue lors du forage du puits HDB-1.....	18
III.6 Variation des pressions vierges en fonction de la profondeur.....	19
III.7 Programme de surveillance géologique.....	20

Chapitre II : Généralités sur les fluides de forage.

I. Rhéologie des fluides.....	22
I.1. Définitions.....	22
I.2. Equations rhéologiques	23
I.3. Types d'écoulements	26
II. Fluides de forage	27
II.1. Définition	27
II.2. Rôles des fluides de forage.....	27
II.3. Les caractéristiques des fluides de forage.....	29
II.4. Types et compositions.....	34

Chapitre III : Généralités sur les pertes de circulation.

I.	Définitions.....	36
II.	Les principaux types des pertes	36
	II.1 Pertes partielles	36
	II.2 Pertes totales.....	36
III.	La nature des pertes	37
	III.1. Perte naturelle	37
	III.2. Pertes par craquage	37
	III.3. Perte par filtration	37
IV.	Causes des Pertes	38
	IV.1. Causes liées à la boue de forage.....	38
	IV.2. Les causes liées aux caractéristiques des formations.....	40
	IV.3. Causes Diverses.....	44
V.	Localisation et Identification des zones à pertes.....	46
	V.1. Les Indices de perte de circulation.....	46
	V.2. Localisation des zones à Pertes.....	46
VI.	Les conséquences des pertes	48
VII.	Recommandations préventives et précautions à prendre pour combattre les pertes de circulation	48

Chapitre IV : Traitement des pertes de circulation.

Introduction	50	
I.	Classification des colmatants	50
II.	Agents de colmatage dans la boue de forage	51
	II.1. Les colmatants granulaires	51
	II.2. Les colmatants fibreux	51
	II.3. Les colmatants lamellaires	52
	II.4. Les colmatants gonflants	52
	II.5. Choix des colmatants à utiliser	52
	II.6. Influence de la concentration des colmatants sur le pouvoir de colmatage.....	53

III. Système de mélange en surface - bouchons de ciment	56
III.1. Méthodologie générale	56
III.2. Bouchons de ciment pour colmatage des pertes	58
III.3. Types de laitiers à base d'eau pour le traitement des pertes et leur mise en place.....	58
III.4. P.D.O.C et D.O.C et leur mise en place	60
IV. Systèmes de mélange au fond	62
V. Bouchons à grand pouvoir déshydratant	63
V.1. Terre diatomée	64
V.2. Attapulgite	65
VI. Raisons de l'échec du traitement	67

Chapitre V: Etude du cas de la perte totale de circulation au niveau du lias carbonaté lors du forage du puits HDB-1, analyse et interprétation des résultats.

Introduction	68
I. Identification de la cause de la perte.....	70
I.1 Rappel sur les prévisions litho-stratigraphiques.....	70
I.2 Les problèmes rencontrés au niveau du Lias Carbonaté lors du forage des puits voisins.....	70
Conclusion.....	71
II. Déroulement des opérations de traitement de la perte totale sur chantier.....	71
II.1. Propriétés et composition des bouchons de ciments utilisés.....	72
II.2. Pompage et interprétation du résultat du premier bouchon de ciment.....	73
II.3. Pompage et interprétation du résultat du premier bouchon LCM.....	76
II.4. Pompage et interprétation résultat du deuxième bouchon de ciment.....	76
Technique de forage à l'eau claire sans retour	79
II.5. Pompage et interprétation du résultat du deuxième bouchon LCM.....	81
II.6. Pompage et interprétation résultat du troisième bouchon de ciment.....	81
II.7. Propriétés et composition des bouchons de ciments thixotrope utilisés.....	83
II.8. Pompage et interprétation résultat du quatrième bouchon de ciment (Thixotrope)	85
II.9. Pompage et interprétation du résultat du troisième bouchon LCM.....	87
II.10. Pompage et interprétation du résultat du quatrième bouchon LCM.....	88

II.11. Pompage et interprétation du résultat du cinquième bouchon LCM.....	89
II.12. Pompage et interprétation résultat du cinquième bouchon de ciment (Thixotrope)	89
II.13. Pompage et interprétation du résultat du sixième bouchon LCM.....	91
II.14. Pompage et interprétation résultat du sixième bouchon de ciment.....	92
II.15. Pompage et interprétation du résultat du septième bouchon LCM.....	94
II.16. Pompage et interprétation résultat du septième bouchon de ciment.....	94
II.17. Pompage et interprétation du résultat du huitième bouchon LCM.....	96
II.18. Pompage et interprétation du résultat du neuvième bouchon LCM.....	97
II.19. Pompage et interprétation résultat du huitième bouchon de ciment.....	98
II.20. Pompage et interprétation résultat du neuvième bouchon de ciment.....	100
II.21. Pompage et interprétation du résultat du dixième bouchon LCM.....	102

III. La répartition du temps en fonction des activités lors du traitement de la perte de circulation survenue au niveau du lias carbonaté lors du forage du puits HDB-1.....	104
---	------------

IV. Etude économique et évaluation des coûts du traitement de la perte de circulation sur chantier.....	105
IV.1. Cout des volumes de boue de forage perdue.....	105
IV.2. Cout de la mise en place des bouchons de ciment.....	106
IV.3. Coût des bouchons LCM.....	107
IV.4. Coût des services.....	108
IV.5. Coût de location de l'appareil de forage.....	108
IV.6. Coût total du traitement la perte de circulation.....	108

Chapitre VI: Solution proposée.

Introduction	111
I. Le bouchon HYDRO-PLUG LCM.....	111
I.1. Définition.....	111
I.2. Avantages.....	111
I.3. Recommandation pour le traitement	112
I.4. Des exemples réels d'utilisation du bouchon HYDRO-PLUG LCM.....	113
I.4.1 LE BOUCHON HYDRO-PLUG® LCM a remédié des pertes de circulation dans la zone perforée, en éliminant le besoin d'une opération de cimentation qui coute 50 000 USD en EST KALIMANTAN, INDONESIE - 2016.....	113
I.4.2 Résolution des pertes de fluides très grave avec réduction des coûts de traitement dans les puits géothermiques très fracturés en Geysers, Northern California - 2010.....	116

I.4.3 Bouchon HYDRO PLUG LCM à remédier une perte de circulation sévère dans le Deep Water à Luanda, Angola - 2014.....	117
I.4.4 HYDRO PLUG LCM pour traitement des pertes totales de circulation dans des formations à haute perméabilité en Est Kalimantan, Indonésie - 2015.....	118
I.4.5 Traitement des pertes totales de circulation et prévention des effondrements des puits avec l'utilisation des bouchons fabriqués a base d' Hydro-plug ® et STOPPIT ® LCM en Arabie Saoudite - 2015.....	119

II. Application de la solution d'utilisation des bouchons Hydro Plug pour la perte de circulation survenue sur le puits HDB-1 lors du forage de la phase 12^{1/4}" dans le lias carbonaté.....	122
II.1 Etude de possibilité d'application de la solution Hydro Plug pour notre cas de perte.....	122
II.2 Etude technique et préparation des bouchons Hydro Plug a pomper sur chantier.....	122
II.3 Etude du coût de l'opération de mise en place des 3 bouchons Hydro Plug.....	123

III. Etudes économique comparative entre le coût du traitement de la perte survenue sur chantier et la solution Hydro Plug proposée.....	126
---	------------

Recommandations.....	129
-----------------------------	------------

Conclusion.....	131
------------------------	------------

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Bibliographie.

Annexes.

Introduction

INTRODUCTION:

Les pertes de circulation sont parmi les problèmes de forage les plus difficiles à résoudre. Elles peuvent survenir dans n'importe quel type de roche, il peut s'agir de zones à pertes systématiques ou des fractures induites au cours des opérations de réalisation du puits.

La difficulté de résoudre le problème de perte de retour tient à deux aspects : l'aspect technique revêt de la difficulté de localiser exactement la formation dans laquelle pénètre le fluide de forage, choisir le traitement adéquat et résoudre les problèmes éventuellement conséquents et l'aspect économique réside dans l'utilisation de produits chers. Il est estimé que les pertes de circulation engendrent annuellement à l'industrie pétrolière mondiale des coûts qui s'élèvent à 10^9 \$ US.

Diverses techniques peuvent être mises en œuvre afin de rétablir la circulation, en l'occurrence, les colmatants classiques, les laitiers de ciments et les bouchons spéciaux.

Les forages réalisés dans la région de Ghardaia ont rencontrés le problème de pertes massives de boue, comme par exemple la perte totale survenue au niveau du puits MJR-1 en janvier 2017 à une profondeur de 1704 m. Les pertes de circulation rencontrées dans cette région sont dut à la présence des fractures naturelles au niveau des formations carbonatées traversées par les forages.

Le puits d'exploration HDB-1 a été le siège de pertes sévères lors du forage de la phase 12^{1/4} dans le lias carbonaté. Ces pertes ont été localisées au niveau de formations carbonatées et ont été délicates à traiter.

Ce travail consiste à analyser le problème de pertes de circulation au niveau de ce puits, à étudier les différentes opérations faites sur chantier pour remédier à ce problèmes, interpréter les résultats obtenus lors du traitement, proposer l'utilisation des bouchons LCM Hydro Plug comme solution adéquate pour le traitement de cette perte et de faire une étude technico-économique pour prévoir la réussite et estimer le gain économique de la solution proposée.

Chapitre I:
Partie Géologique et
Généralités sur le puits
HDB-1.

Introduction:

Dans le cadre des travaux de recherche et d'exploration dans le permis Ghardaïa II, détenu à 100% par SONATRACH, et suite aux résultats encourageants des puits CEN-1 et TRFN-1, le puits HAOUD M'DAHBA-1 (HDB-1) a pour objectif l'exploration des grès triasiques comme premier objectif. Le puits a comme second objectif la recherche du biseau sous DH des Quartzites de Hamra de l'Ordovicien afin d'évaluer leur potentiel.

Le sondage HDB-1 est implanté sur une structure anticlinale révélée par l'interprétation du cube sismique 3D-MET acquis en 2014 par SONATRACH dans le cadre des travaux de recherche dans le permis cité ci-dessus.

La structure ciblée par le puits HDB-1 est allongée en direction N-S et s'étend sur une surface de 5.5km² avec une fermeture structurale de 33m.

L'objectif triasique est prévu à la profondeur 2401m (1809m msl) avec une épaisseur cumulée des niveaux gréseux de 50m et une pression de gisement de l'ordre de 4920psi au top du réservoir. Ce réservoir a produit 18.76m³/h et 25.12m³/h d'huile au niveau des puits CEN-1 et CEN-2.

Les Quartzites de Hamra d'âge Ordovicien sont prévus à la cote 2493m (-1902m msl) sous discordance hercynienne. Pour rappel, les grès quartzitiques de l'ordovicien ont donnés des indices de gaz dans les puits AF-1 et AF-2.

Le puits commencera dans les calcaires et dolomies du Turonien et se terminera à la profondeur 2610m dans l'Ordovicien / Argile d'El Gassi.

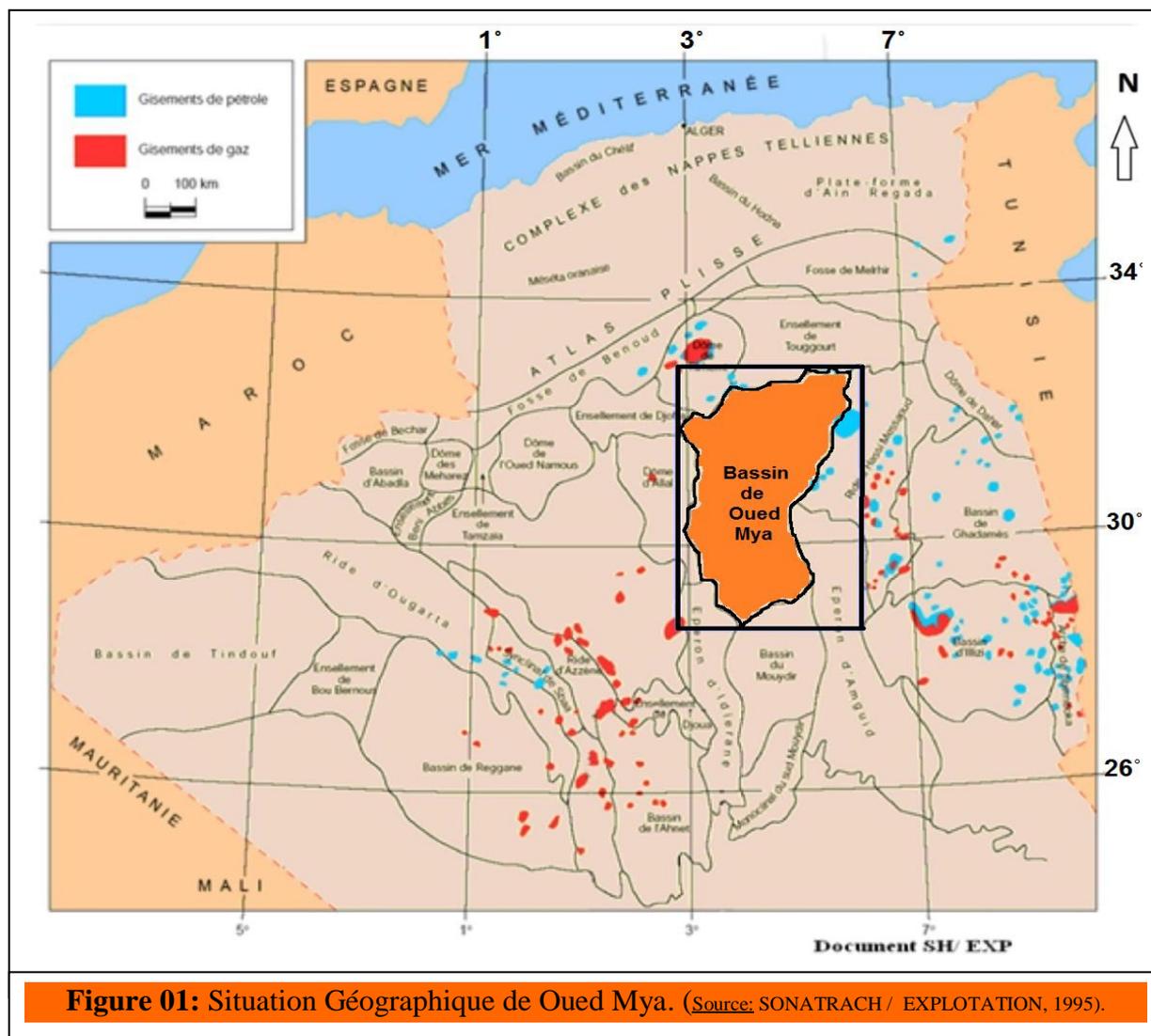
I. Situation du bassin d'Oued Mya:

I.1 Situation Géographique du bassin d'Oued Mya:

Oued Mya est un bassin de la plate-forme saharienne, correspondant à la partie occidentale de la province triasique, couvrant une superficie de 400 000 km². Les limites géographiques se présentent comme les meilleurs repères (Figure 1).

Les parallèles 31°15' et 33°00' limitent respectivement ensemble au sud et au nord, et les méridiens 6°15' et 3°30' le limitent de l'est et à l'ouest, englobant les blocs : {438-425-422-437-436-3178-420-419-418-417 et 416}, appartenant au district IV de la SONATRACH.

Le bassin est limité par le haut structural Djemaa-Touggourt au nord, le bassin du Mouydir au sud, le haut structural d'Amguid-Messaoud à l'est, et la voûte d'Allal à l'ouest (Figure 01).



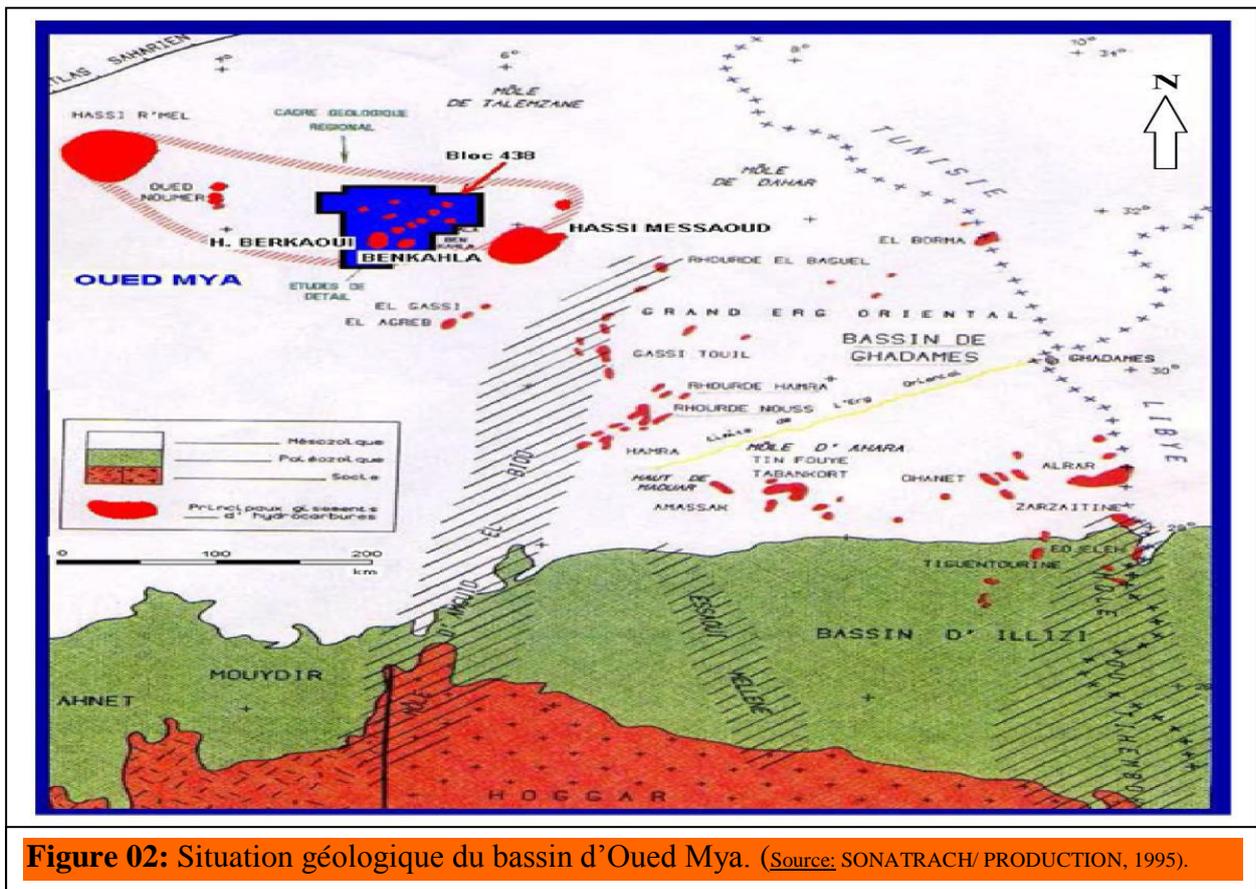
I.2 Cadre Géologique du bassin d'Oued Mya:

La région de Oued Mya ne constitue qu'un sous bassin intracratonique. Sa bordure Nord s'ennoie progressivement vers la flexure saharienne où l'existence d'un fossé très subsidient au mésozoïque donnera naissance à la chaîne péricratonique de l'atlas saharien (Figure 2).

L'évolution de la région d'Oued Mya depuis le Cambrien comporte deux étapes majeures :

- a. La sédimentation du paléozoïque, pratiquement restreinte au paléozoïque inférieur et sa structuration pré-hercynienne.
- b. La création d'un bassin au trias et son évolution au cours du mésozoïque et du tertiaire.

Ces deux étapes principales de l'histoire régionale conduisent à considérer deux mégacycles sédimentaires, paléozoïque et mésozoïque, classiquement séparés par la discordance hercynienne, avec la pérennité pendant tout le paléozoïque des zones hautes structurant la région.



I.3 Cadre géologique et structural local:

D'un point de vue régional la structure HDB se situe dans le flanc SE du dôme de Hassi R'mel. Elle représente un monoclinal sur lequel apparaissent localement des zones de replats ou gradins structuraux au profit desquels se développent des structures anticlinales greffées sur des accidents subméridiens.

La structure HDB est une structure anticlinale contre faille d'orientation N-S, faisant partie d'un ensemble de structures alignées en direction N-S situées au Nord du gisement de Sidi Mezghich. Sa superficie est de l'ordre de 5.5km² pour une fermeture structurale de 33m. La structure est limitée à l'Ouest par une faille de direction N-S.

I.4 Rappel des résultats pétroliers de la région:

Dans la région de Ghardaïa les grès du Trias représentent le principal réservoir productif d'huile et de gaz à condensat, dans les gisements d'Oued Noumer, Ait Kheir, Makouda, Djorf et Sidi Mezghich.

Les travaux réalisés par SONATRACH durant les dernières années ont aboutis à la découverte de plusieurs accumulations (Chaabet En Nakhla, Oued Ghofrane et Hassi Boukhellala Nord, Trefis et Trefis Nord, Glib El Djemel).

I.5 Localisation du Puits HDB-1:

Le sondage HDB-1 se situe à 14 km au Sud-Ouest des puits CEN-1 et CEN-2 productifs d'huile et de gaz dans les grès du Trias T2A et T1B et à 12 Km au Nord du gisement de Sidi Mezghich productif d'huile à partir des grès triasique depuis 1988 à ce jour.

Le puits est implanté au croisement de l'Inline 3695 et de l'Xline 6947 du volume sismique 3D-MET-2014.

a. Coordonnées du sondage HDB-1:Clarke 1880 UTM 31 :

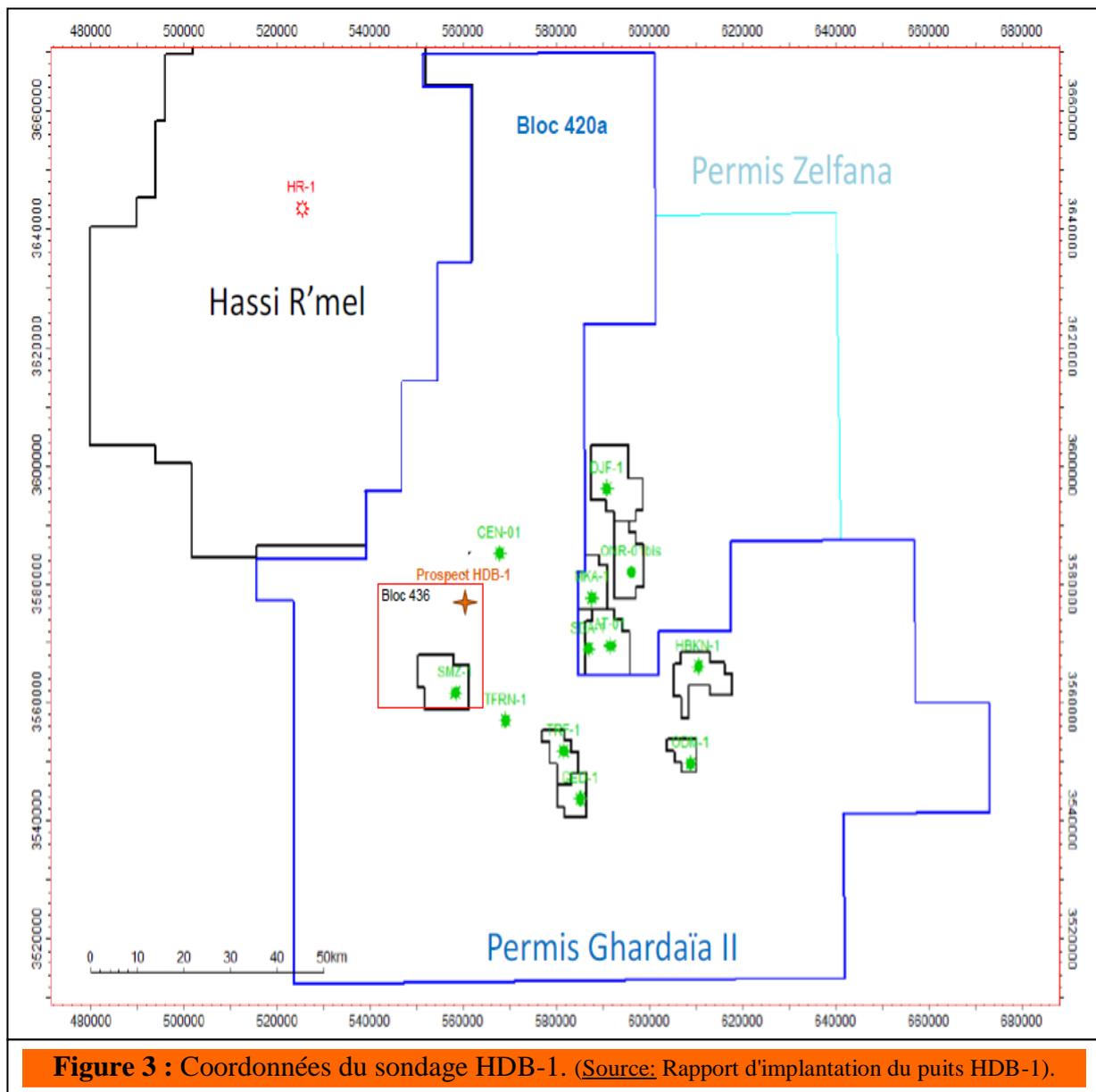
X : 558 449m

Y : 3 575 269m

Altitude :Z_{sol} : 583.464mGéographiques :

Longitude : 03°37'15.268''E

Latitude : 32°18'54.629''N

**Figure 3 : Coordonnées du sondage HDB-1. (Source: Rapport d'implantation du puits HDB-1).**

b. Itinéraire et voies d'accès:

A partir de Hassi Messaoud (base 24 février), prendre la route vers la ville de Ghardaïa sur une distance de 250Km jusqu'au rond-point. Prendre à gauche vers Metlili sur une distance de 15.4Km. après tourner à droite sur la route menant à Brizina sur une distance de 2Km, puis tourner à droite sur la piste existante sur une distance de 2.3Km, de la bifurquer à droite et suivre l'itinéraire jalonné sur une distance de 1.6Km, se trouve l'emplacement du futur forage HDB-1.

c. Alimentation en eau:

L'alimentation du chantier en eau se fera par citerne à partir des puits d'eau existants dans la région. Le support logistique peut se faire à partir de Hassi Messaoud.

I.6 Objectifs Pétroliers:

Les objectifs principaux du sondage sont les grès du T2A et T1B productif d'huile et de gaz à CEN-1. Le sondage explorera également les quartzites de Hamra.

I.7 Les puits voisins:

Puits	Latitude	Longitude	Zs	Distance (Km)
HDB-1	32°18'54.62"N	3°37'15.26"E	583.46	
CEN-1	32°22'45.63"N	3°43'45.39"E	-	13.90
CEN-2	32°24'21.96"N	3°43'18.31"E	-	12.45
MJR-1	32°23'42.18"N	3°37'21.09"E	-	8.92

Tableau 1: Les Puits voisins du sondage HDB-1. (Source: Rapport d'implantation du puits HDB-1).

Position des puits voisins par rapport au puits HDB-1:

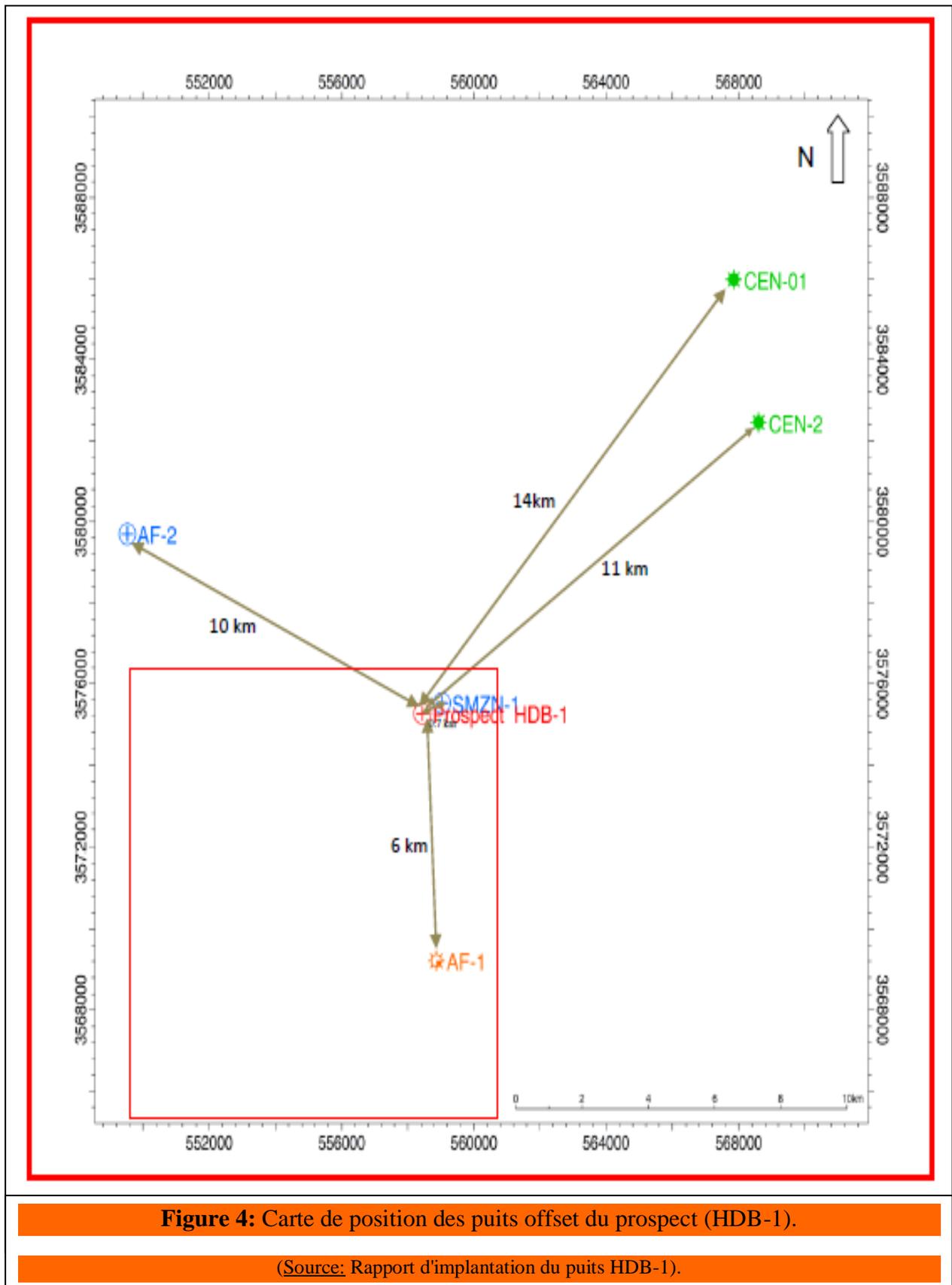


Figure 4: Carte de position des puits offset du prospect (HDB-1).

(Source: Rapport d'implantation du puits HDB-1).

II. Prévisions Litho-Stratigraphiques:

Les prévisions litho-stratigraphiques de HDB-1 sont calculées à partir des prévisions sismiques des horizons Aptien, Dogger argileux, Lias S1+S2, Trias S4 et la DH ainsi que les tops des puits avoisinants.

Le forage traversera une série mésozoïque de 2464m d'épaisseur avant de pénétrer de 116m dans le paléozoïque. Le forage pénétrera dans l'Ordovicien-Quartzite de Hamra sous discordance hercynienne et se terminera dans l'Ordovicien-Argile d'El Gassi à la profondeur 2610m (-2018m msl).

Le Trias T2A est prévu à la côte 2401m (-1809m msl). Le Trias T1B est prévu à la profondeur 2415m (-1823m msl).

Mésozoïque: (2464m)

Crétacé Supérieur: surface à 280m (250m)

Turonien : Surface à 115m (85m)

Dolomie beige, cristalline, compacte, dure, avec fine passée de dolomie calcaire, blanchâtre, compacte, moyennement dure.

Cénomaniens : 115 à 280m (165m)

Au sommet, intercalations de calcaire dolomitique et dolomie calcaire, cristallin, moyennement dure. Traces de Gypse blanc translucide, fibreux et de calcite blanche.

Vers la base intercalations de grés gris-vert, gris-blanc, blanc-beige, très fin à fin, argileux à silico-argileux, friable à moyennement dur à dur, et marne grise à gris beige, tendre à pâteuse, argile grise, gris vert, légèrement carbonatée, tendre à pâteuse, d'anhydrite blanche, pulvérulente, et de gypse blanc, blanc beige, translucide ou fibreux.

A la base, argile gris-vert à verdâtre, brun rouge, légèrement carbonatée, tendre à indurée, avec intercalations de calcaire blanc beige, cristallin, crayeux, moyennement dur, et d'anhydrite blanche, pulvérulente, moyennement consolidé.

Crétacé inférieur : 280 à 1137m (857m)**Albien : 280 à 670m** (390m)

Au sommet, alternances de grès gris vert, gris blanc à blanc, gris beige, très fin à fin, argileux, friable et d'Argile gris vert à verdâtre, brun rouge, tendre à indurée. Traces de calcaire dolomitique blanc beige, crayeux.

Remarque : la partie basale du Cénomaniens et la partie sommitale de l'Albien représentés par des argiles verdâtres carbonatées avec intercalations de calcaires dolomitiques et grès gris verdâtres peut être attribuée au Vraconien.

Le reste est formé par une épaisse série de grès brun rouge, beige, rougeâtre, blanc, fin à moyen, argileux à silico-argileux, friable à moyennement consolidé avec intercalations d'argile verdâtre, brun rouge, rarement gris noir, sableuse, tendre à indurée. Présence de sable blanc à blanc beige, jaune, moyen à grossier, subarrondi.

Aptien : 670 à 695m (25m)

Dolomie beige à gris beige, gris clair, microcristalline, moyennement dure avec intercalations d'argile gris vert à verdâtre, gris clair, carbonatée, tendre à indurée.

Barrémien : 695 à 921m (226m)

Grès brun rouge à gris brun, blanc beige, gris vert, fin à moyen, par endroits grossier, siliceux à silico-argileux, par endroits argileux carbonaté, moyennement consolidé avec intercalations d'argile verdâtre à rougeâtre carbonatée, tendre à indurée et de sable blanc, beige, translucide, fin à moyen, sub-arrondi. Traces de dolomie beige et de calcaire blanc.

Néocomien : 921 à 1137m (217m)

Argile verdâtre, brun rouge, carbonatée, tendre à indurée avec intercalation de grès brun rouge, blanc beige, gris vert, fin à moyen, argileux à argilo-carbonaté, par endroits siliceux, friable à moyennement consolidé, et dolomie blanc beige, microcristalline, moyennement dure à dure. Traces de marne grise, tendre à indurée.

Grès gris vert, blanc, fin à moyen, argilo-carbonaté, friable avec intercalations d'argile gris vert à verdâtre, légèrement carbonatée, tendre à indurée et de Sable blanc, translucide, fin à moyen, sub-arrondi. Traces de Dolomie blanc beige et de Pyrite.

Jurassique : 1137 à 2347m (1212m)**Malm : 1137 à 1296m** (159m)

Intercalations de grès gris blanc à blanc, gris vert, très fin à fin, silico-argileux, friable à moyennement consolidé et d'argile brun rouge, gris vert à verdâtre, tendre à indurée.

Présence d'un banc décamétrique de dolomie à la base.

Dogger argileux : 1296 à 1454m (158m)

Argile versicolores, tendre à indurée, avec intercalations de grès blanc à gris blanc, gris vert à gris foncé, fin à moyen, silico-argileux, friable à moyennement consolidé et de dolomie gris blanc à gris clair, blanc beige, microcristalline, moyennement dure.

Dogger lagunaire : 1454 à 1586m (132m)

Alternances d'Argile grise à gris foncé, gris vert, brun rouge, tendre à indurée et de dolomie grise à gris blanc, blanc beige, microcristalline, moyennement dure à dure. Présence d'anhydrite blanche, pulvérulente, moyennement dure.

Lias marneux : 1586 à 1612m (26m)

Argile grise à gris vert, gris foncé, carbonatée, tendre à indurée. Présence de marne grise, tendre à indurée.

Lias carbonaté : 1612 à 1691m (79m)

Dolomie calcaire, beige à gris beige et gris blanc, microcristalline, moyennement dure avec fines intercalations d'argile gris vert à grise, brune, carbonatée, tendre à indurée.

Lias anhydritique : 1691 à 1800m (109m)

Anhydrite blanche à blanc beige, pulvérulente, moyennement dure à dure avec intercalations de dolomie calcaire grise, microcristalline, moyennement dure à dure. Traces d'argile grise, tendre à indurée.

Lias Salifère : 1800 à 1836m (35m)

Alternances d'argile brun rouge à brune, légèrement pâteuse, tendre avec passées d'anhydrite blanche, pulvérulente, moyennement dure à dure. Sel blanc, rosâtre, translucide à la base.

Lias Horizon "B" : 1836 à 1858m (22m)

Marne grise, tendre à pâteuse et argile brun rouge à brune, gris foncé, légèrement carbonatée, tendre à pâteuse avec intercalations de dolomie calcaire gris clair à gris foncé, microcristalline, moyennement dure à dure.

Lias (S1 + S2) : 1858 à 1993m (135m)

Au sommet, alternances d'anhydrite blanche, pulvérulente moyennement dure à dure et d'argile brune à brun rouge, gris foncé, pâteuse, tendre à indurée avec passées de marne grise, tendre à pâteuse.

A la base, sel blanc à rosâtre, translucide avec intercalations d'anhydrite blanche, pulvérulente, moyennement dure à dure et d'argile brune à brun rouge, gris foncé, pâteuse, tendre à indurée.

Lias S3 : 1993 à 2271m (278m)

Sel blanc à rosâtre, translucide avec fines intercalations d'argile brune à brun rouge, gris foncé, pâteuse, tendre à indurée.

A 2210m niveau décimétrique de dolomie blanc beige à gris beige, microcristalline, dure avec intercalations de sel blanc à rosâtre, translucide (**repère dolomitique D1**).

Lias argileux supérieur : 2271 à 2347m (76m)

Argile brun rouge à brune, rarement gris clair à gris foncé et gris vert, pâteuse, tendre à indurée avec fines intercalations de Sel blanc à rosâtre, translucide.

Repère dolomitique D2 : 2342 à 2347m (05m)

Dolomie grise à gris clair, microcristalline, dure.

Trias : 2347 à 2494m (147m)**Trias S4 : 2347 à 2394m (47m)**

Sel blanc à rosâtre, translucide avec fine intercalations d'Argile brun rouge, gris vert, tendre à indurée.

Trias argileux inférieur: 2394 à 2401m (7m)

Argile brune à brun rouge, gris vert à gris foncé, salifère, silteuse, légèrement carbonatée, tendre à indurée, avec fines passées de sel blanc à rosâtre, translucide au sommet.

T2A : 2401 à 2415m (14m)

Grès très fin à fin, à ciment silico-argileux localement salifère, friable à moyennement dur avec passées d'argile brun rouge, silteuse, tendre à indurée, micacée. Présence de siltstone gris-verdâtre moucheté au sommet.

T1B : 2415 à 2471m (56m)

Niveau décamétrique d'argile brun rouge, brun-chocolaté, localement gris verdâtre, légèrement silteuse, micacée, indurée.

Grès fin à moyen, sub-anguleux à subarrondi, silico-argileux, moyennement consolidé avec des films et passées d'argile brun rouge, verte, micacée, silteuse, indurée.

T1C : 2471 à 2481m (11m)

Intercalation d'argile brun rouge, brun chocolat, légèrement silteuse tendre a indurée et de grès fin à moyen sub-anguleux à sub-arrondi, silico argileux, moyennement consolidé.

Série inférieure : 2481 à 2494m (13m)

Argile brun-rouge, brun chocolat, légèrement silteuse, tende à indurée avec passées de grès fin à très fin, silico-argileux friable, micacée et de dolomie blanc- beige, rosâtre, pulvérulente, microcristalline, moyennement dure.

Ordovicien : 2494 à 2610m (Epaisseur partielle : 116m)**Quartzite de Hamra : 2494 à 2544m (50m)**

Grès quartzitiques et quartzite gris-clair, fin, moyennement classé, subarrondi à subanguleux, glauconieux. Nombreuses inclusions argileuses et intercalations millimétriques d'argile gris-noir, micacée

Grès d'El Atchane : 2544 à 2589m (45m)

Grès très fin et Siltstone rougeâtre, gris verdâtre, silico-argileux, localement quartzitique, micacé, glauconieux, moyennement dur à compact, avec intercalations d'argiles gris noire, silteuse, micacée, indurée

Argile d'El Gassi : 2589 à TD 2610m (Epaisseur partielle 21m)

Argile gris-vert, plastique, légèrement carbonatée, silteuse et siltstone brun à noir, argileux, finement lité, friable, micacé.

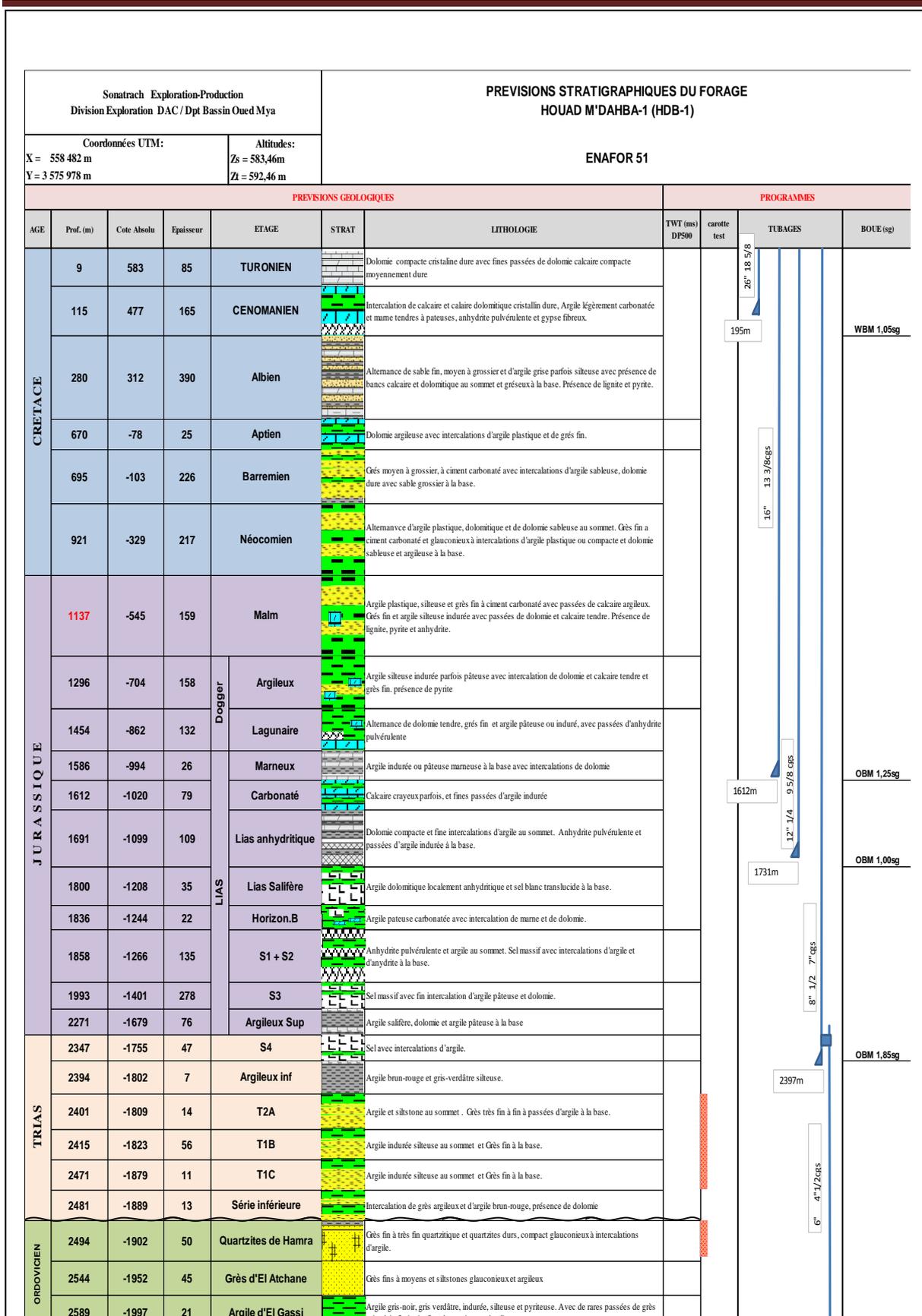


Figure 5: Architecture du Puits proposée et les prévisions Litho-Stratigraphiques.

(Source: Rapport d'implantation du puits HDB-1).

III. Programme prévisonnel de forage:

III.1 Fiche Technique du Puits HDB-1:

Bassin	Oued Mya	
Périmètre	GhardaïaII	
Bloc	436	
Classification du forage	Exploration	
Emplacement (point de tir sur la ligne sismique)	Compagnesismique3D-14MET Croisementdel'Inline3694etdel'Xline6947	
Coordonnées géographiques	Longitude=03°37'15.268''E Latitude =32°18'54.629''N	
Coordonnées UTM N° fuseau31	X: 558449m Y: 3575269m	
Altitude	Zs=583.464m	Zt=592.464
Objectifs primaires	TriasT2A	à2401m (-1809mmsl)
	TriasT1B	à2415m (-1823mmsl)
Objectif secondaire	Ordovicien Quartzite de Hamra	à2494m (1902mmsl)
Fermeture structurale	Min: 27m	Max: 33m
Superficie	Min: 3.9km ²	Max: 5.5km ²
Ressources	Réservoir	Ressources
	T1	1.76millionsm ³
	T2	3.35millionsm ³
	Total	5.11millionsm ³
Profondeur finale prévue	+/-2610m (-2018mmsl)	
Formation d'arrêt de forage	Ordovicien (Argile d'ElGassi)	
Durée du sondage estimée	(80jours)	
Appareil de forage	ENAFOR51	

Tableau 2: Fiche Technique du Puits HDB-1. (Source: Programme du forage du puits HDB-1).

III.2 Programme de forage et de boue de forage:

Le programme établi par la Division Forage prévoit la réalisation du sondage en 05 phases. Le forage HDB-1 commence en 26" et se termine en 6".

Les objectifs du sondage (grès triasiques et quartzite de Hamra) seront traversés en phase 6" (dernière phase).

Le programme est établi comme suit :

Phase	Cote d'arrêt	Longueur	La boue
26"	195m	195m	WBM/d=1.05sg
16"	1612m	1417m	OBM/d= 1.25sg
12 ^{1/4} "	1731m	119m	OBM/d= 1.00sg
8 ^{1/2} "	2397m	666m	OBM/d= 1.85sg
6"	2610m	213m	OBM/d= 1.50sg

Tableau 3: Programme de forage et de boue. (Source: Programme du forage du puits HDB-1).

III.3 Programme de Tubage:

Casing/liner	Phase	Top du ciment	Cote du Sabot (m)	Longueur de la colonne (m)
Casing 18 ^{5/8} " #87.5 lb/ft, K55, BTC	26"	Surface	195	195
Casing 13 ^{3/8} " #68 lb/ft, N80, BTC	16"	Surface	1612	1417
Casing 9 ^{5/8} " #47 lb/ft, P110.	12 ^{1/4} "	Surface	1731	119
Casing 7" P-110, 29 lb/ft N.VAM	8 ^{1/2} "	Surface	2397	666
Liner 4 ^{1/2} " 4"1/2, P-110, 13.5 lb/ft N.VAM	6"		2610	213

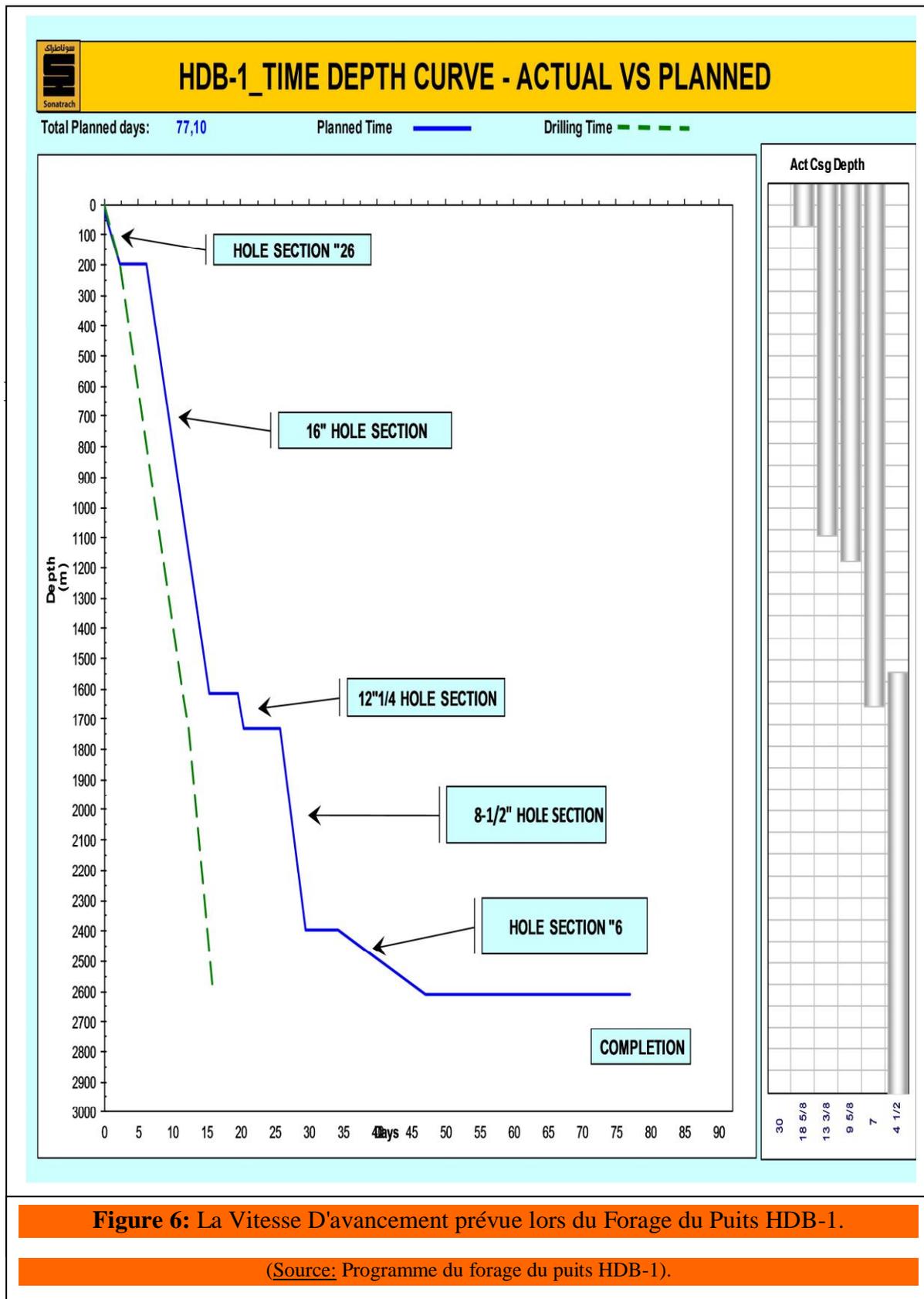
Tableau 4: Programme de Tubage. (Source: Programme du forage du puits HDB-1).

III.4 Programme des Outils de Forage:

La Phase	Fabrication	Type d'Outil	Model	Statut	IADC	Nozzeles (1/32)
26"	SMITH	SB435C	TCI	Nouveau	435	1 X16+3X18
16"	VAREL	R713SPDGHX	PDC	Nouveau	M 422	10 X12
12 ^{1/4} "	NOV	DSF813M	PDC	RR	M423	8*12
8 ^{1/2} "	VAREL	R613 DGX	PDC	Nouveau	M432	6X14
6"	DBS	MM74	PDC	Nouveau	M434	5*12 + 2 small
	NOV	DD5560	IMP	Nouveau	-	-

Tableau 5 : Programme des Outils de Forage. (Source: Programme du forage du puits HDB-1).

III.5 La Vitesse d'avancement prévue lors du Forage du Puits HDB-1:



III.6 Variation des pressions vierges en fonction de la profondeur:

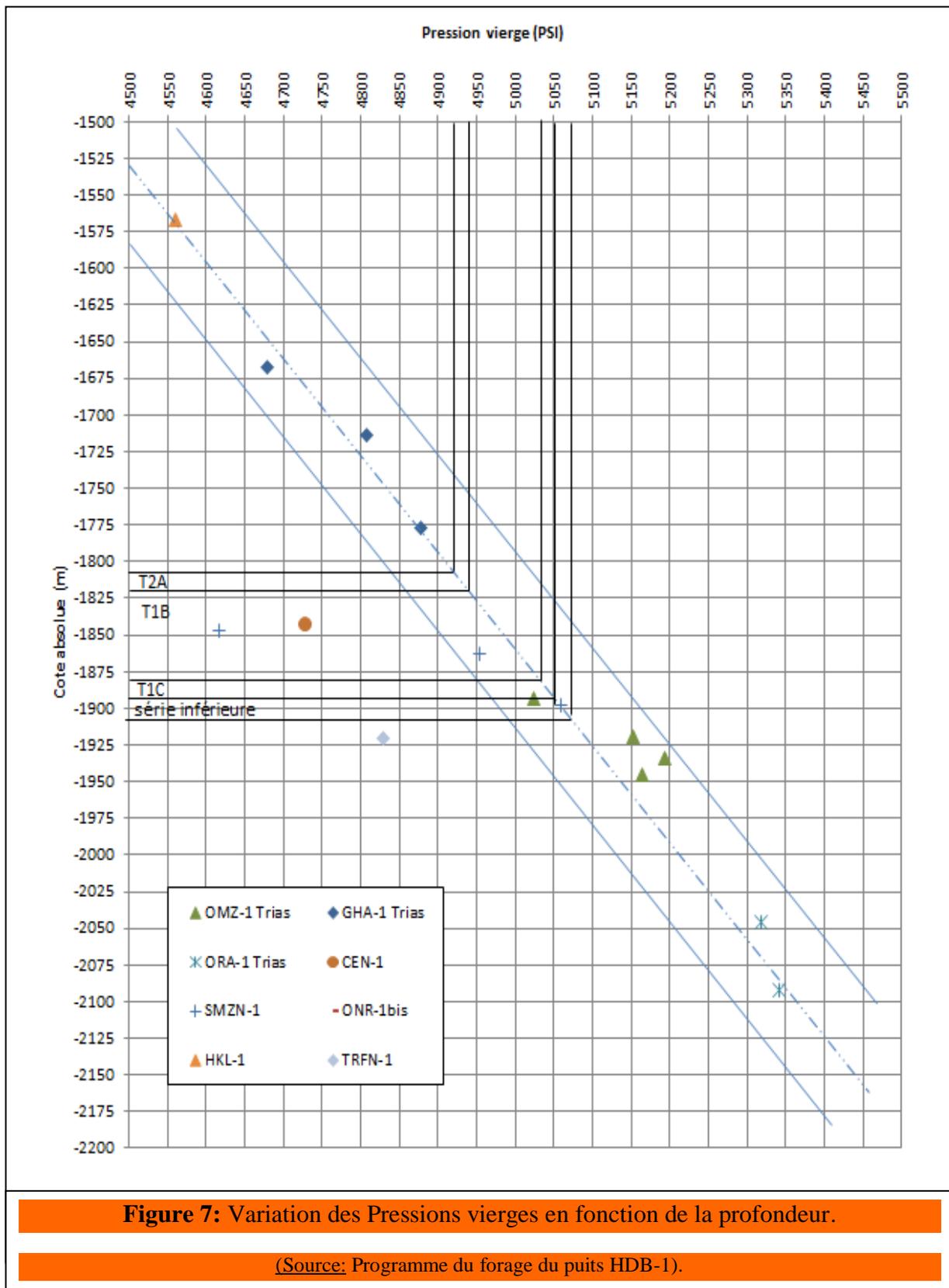


Figure 7: Variation des Pressions vierges en fonction de la profondeur.

(Source: Programme du forage du puits HDB-1).

III.7 Programme de surveillance géologique:

a- Échantillonnage des déblais:

Des échantillons seront prélevés tous les 5m de la surface jusqu'au toit de l'Argileux Inférieur du Trias, puis tous les 1m jusqu'à la profondeur finale.

b- Carottage et analyses pétro physiques:

Procéder à un carottage continu à partir du top des grès T2A jusque top de la série inférieure (longueur prévue 80m) et prélèvement d'une carotte de 18m dans les Quartzites de Hamra. Des mesures pétro-physiques (porosités, perméabilités) et des mesures de saturations seront effectuées sur les intervalles gréseux carottés. Les résultats des analyses seront nécessaires avant la fin du sondage pour établir le programme de fin de puits et de complétion.

N.B : prendre un échantillon de carotte paraffiné dans les premiers grès carottés du Trias T2A.

c- Diagraphies:

Le programme de diagraphies pour la reconstitution de la lithologie et l'évaluation des réservoirs et comme suit:

1. Phase 26" x 18^{5/8}" :

Pas de diagraphies

2. Phase 16" x 13^{3/8}" :

GR-SONIC-Caliper avec GR jusqu'en surface, GR-CBL-VDL sur casing 13^{3/8}

3. Phase 12^{1/4}" x 9^{5/8}" :

GR-SONIC-Caliper, GR-CBL-VDL sur casing 9^{5/8}

4. Phase 8^{1/2}" x 7" :

GR-SONIC-Caliper, GR-CBL-VDL sur casing 7"

5. Phase 6" x liner 4^{1/2}" :

GR-SONIC-Résistivité-Caliper Neutron-densité-GR spectral

GR-MDT (Optionnel)

GR-CBL-VDL sur liner 4^{1/2}

d- Enregistrement de sismique de puits:

Un VSP avec 0 offset. La longueur de sweep et le drive de la source doivent être testés

e- Tests:

Le programme de tests sera établi sur la base de l'interprétation des diagraphies et des indices d'hydrocarbures. Le build Up doit être en minimum 120 heures.

f- Échantillonnage des fluides:

Les fluides prélevés seront envoyés pour des analyses PVT au laboratoire.

Tous les fluides récupérés en surface ou en circulation inverse doivent être échantillonnés systématiquement au cours et à la fin des tests, et devront être acheminés le plus tôt possible au Laboratoire du CRD pour analyses.

Remarque:

Selon les données des puits avoisinants le forage risque de rencontrer des problèmes de pertes de boue au niveau du Turonien, un coincement et des pertes de boue dans le Malm et le Lias carbonaté.

Chapitre II:
Généralités sur
les fluides de forage

I. Rhéologie des fluides:

Dans les conditions de pression et de température données, les fluides sont caractérisés par :

- a. Leur comportement rhéologique modélisé par la courbe d'écoulement expérimentale (rhéogramme) dont les coefficients (constants) de l'équation d'écoulement représentatifs de cette courbe sont les paramètres rhéologiques caractérisant le fluide.
- b. Leur comportement au repos représenté par la structure développée.
- c. Leur comportement en régime transitoire représenté par le temps de réponse aux modifications d'écoulement. L'équation d'écoulement d'un fluide est donnée par la relation reliant la tension de cisaillement (τ) et le taux ou la vitesse de cisaillement ($\dot{\gamma}$) à un régime laminaire. Il est à noter que lorsque l'écoulement du fluide est laminaire, les contraintes de cisaillements sont parallèles à la direction de l'écoulement. Les lames de fluides se déplacent chacune à une vitesse propre.

I.1. Définitions:

- a. **Taux de cisaillement ou shear rate ($\dot{\gamma}$)** (figure 8):

C'est le rapport entre la différence de vitesse et la distance de deux lames voisines.

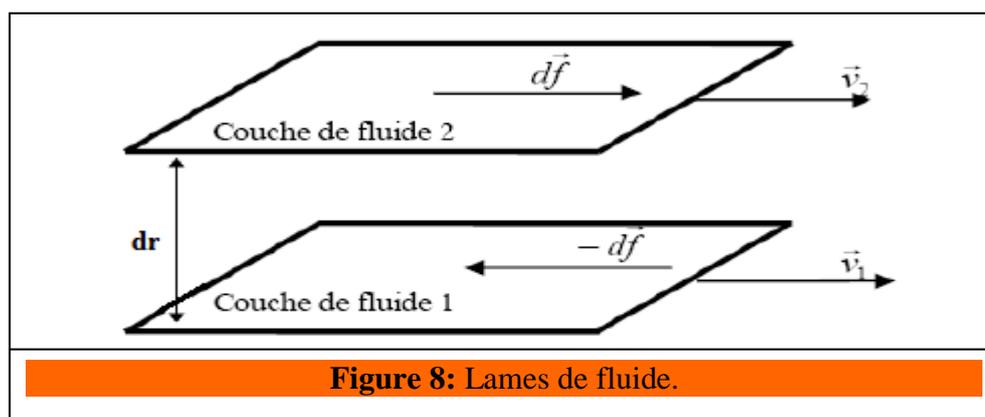
$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dr}$$

Avec :

dv (m/s) : différence de vitesse entre deux lames voisines

dr (m) : la distance entre les deux lames.

$\dot{\gamma}$: taux de cisaillement, il s'exprime en (s^{-1}):



b. Tension de cisaillement (τ) ou shear stress:

Lors de l'écoulement d'un fluide, les forces existantes s'opposent au déplacement. Ces forces connues sous le terme tension de cisaillement sont d'origine frictionnelle, elles apparaissent lors du glissement des lames fluides les unes sur les autres.

La tension de cisaillement τ en (pa) est donc définie comme étant la force df en (N) par unité de surface de la lame ds en (m^2), qui provoque le cisaillement :

$$\tau = \frac{df}{ds}$$

I.2. Equations rhéologiques:

Ce sont les modèles mathématiques qui décrivent la relation qui existe entre la vitesse de cisaillement et la contrainte de cisaillement. Selon leur comportement à l'écoulement, les fluides peuvent être classés en deux grandes catégories :

a. Fluides newtoniens:

Il s'agit des fluides les plus simples (eau, eau de mer, l'alcool). Le modèle mathématique de ces fluides est une relation de proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement.

b. Fluides non newtoniens:

Plusieurs modèles rhéologiques font partie de cette catégorie où la variation de la contrainte de cisaillement avec le taux de cisaillement n'est pas linéaire. Les boues de forage obéissent en général à deux modèles : le fluide de Bingham et le fluide d'Ostwald de Waele.

❖ Les fluides binghamiens:

Pour les fluides binghamiens plastiques, la tension de cisaillement varie linéairement avec le taux de cisaillement. A la différence des fluides newtoniens, il est nécessaire d'appliquer une certaine force minimale pour mettre le fluide en mouvement. Cette force minimale est appelée contrainte seuil. Elle correspond à la yield value YV anglo-saxonne.

❖ Les fluides en puissance:

Comme pour les fluides newtoniens, les fluides pseudo-plastiques d'Ostwald se mettent en mouvement dès qu'on leur applique une force de cisaillement assez faible. Néanmoins, les fluides pseudo-plastiques ont un rhéogramme non linéaire mais caractérisé

par une variation en puissance n de la contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement.

Tableau récapitulatif:

Système rhéologique	Equation rhéologique	rhéogramme	Commentaire	
Fluide newtonien	$\tau = \mu \gamma$		μ viscosité apparent	
fluide non newtonien	Fluide binghamien	$\tau = \tau_0 + \mu_p \gamma$		τ_0 yield point μ_p viscosité plastique
	Fluide en puissance	$\tau = K\gamma^n$		K : indice de consistance n : indice rhéologique

Tableau 6: Récapitulatif des modèles rhéologiques.

(Source: Cours de Rhéologie, Gareche Mourad, FHC, UMBB, 2016).

Nota:

Les paramètres n et k sont obtenus avec la lecture des valeurs de cisaillement sur le Rhéomètre Fann :

$$n = \frac{\log\left(\frac{\Theta_2}{\Theta_1}\right)}{\log\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)}$$

$$K = \frac{\Theta_1}{\omega_1^n}$$

Avec:

Θ_2 = Lecture Fann à faible vitesse.

Θ_1 = Lecture Fann à grande vitesse.

ω_1 = vitesse grande de cisaillement.

ω_2 = vitesse faible de cisaillement.

Il a été remarqué que la majorité des fluides de forage présentent une allure rhéologique combinée entre le pseudo plastique à faibles vitesses de cisaillement et le modèle binghamien à grandes vitesses de cisaillement. Une boue de forage typique possède un rhéogramme comme montré dans la figure 9.

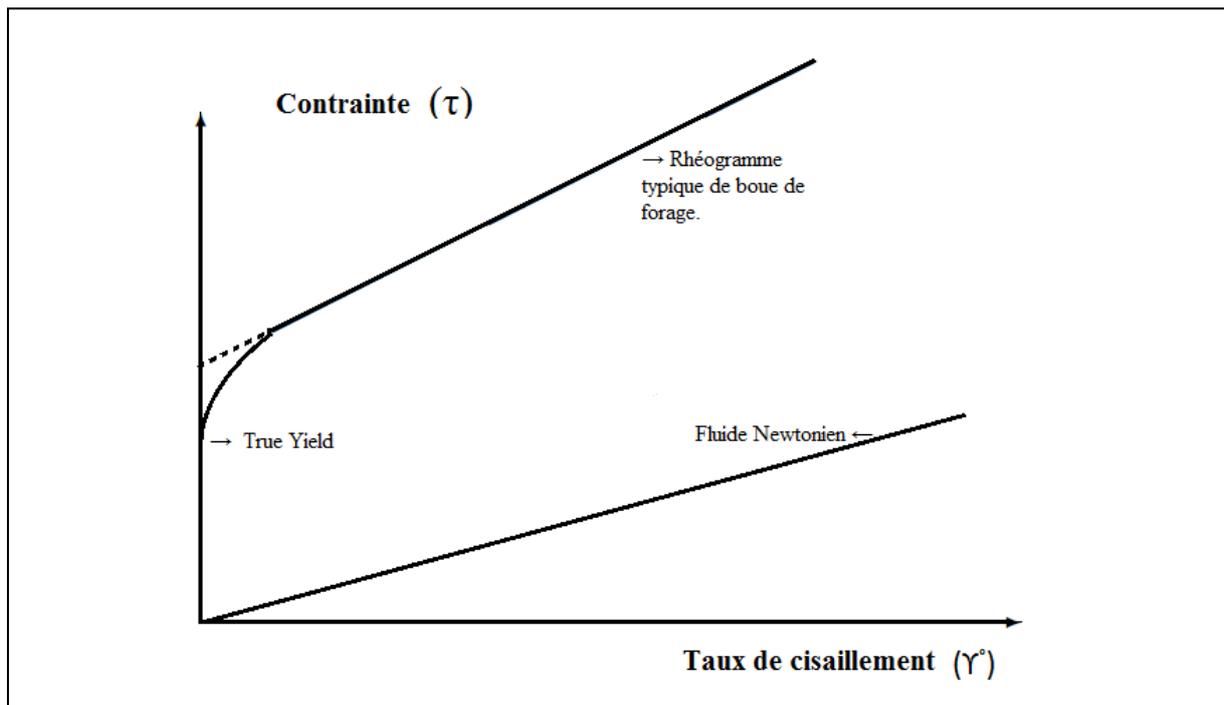


Figure 9: Rhéogramme typique d'une boue.

I.3. Types d'écoulements:

Le fluide de forage est sujet à une variété de modes d'écoulements pendant le processus de forage d'un puits, figure 10. Selon la présentation on distingue deux catégories de régime d'écoulement :

a. Régime permanent:

L'écoulement est parfaitement établi, ceux-ci se classent comme suit :

- **Régime laminaire (laminar flow):**

Dans ce régime, les lames de fluide se déplacent l'une par rapport à l'autre parallèlement dans la direction de l'écoulement avec une propre vitesse.

- **Régime turbulent (turbine flow):**

Il est caractérisé par la formation de petits tourbillons répartis dans toute la masse de liquide.

- **Écoulement en bouchon (plug flow):**

Le fluide se déplace comme un bouchon le long de tube, la vitesse est uniforme sur tout le rayon.

b. Régime transitoire:

Les conditions d'écoulements viennent d'être modifiées et le régime définitif n'est pas encore établi.

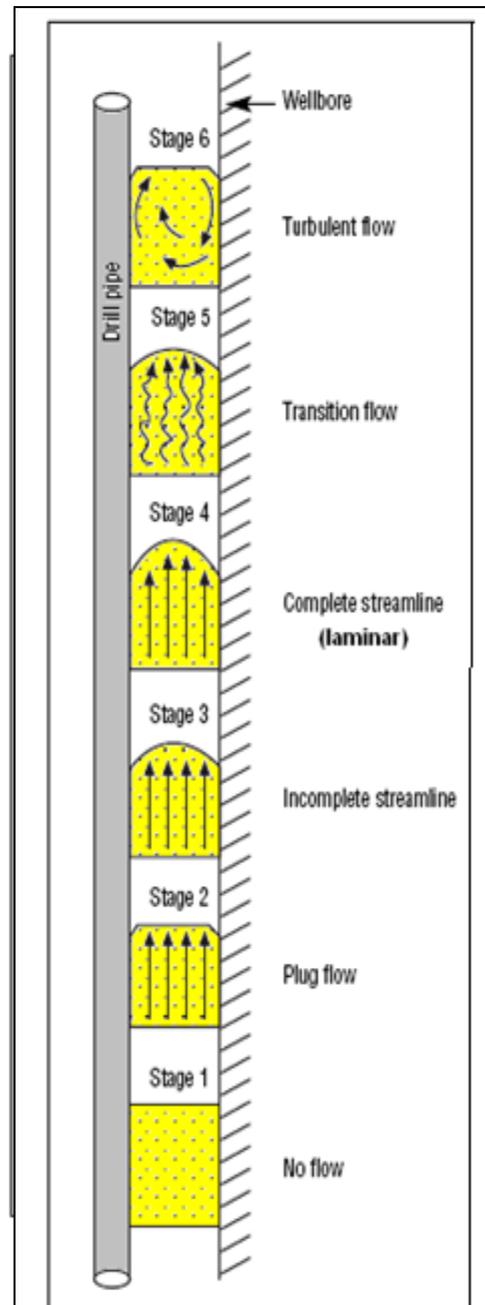


Figure 10: Régimes d'écoulement.

(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).

Nota: pour déterminer le régime d'écoulement, on calcule le nombre de Reynolds par la formule suivante:

$$N_{Re} = V D \rho / \mu$$

Avec: V = vitesse de déplacement (m/s).

D = diamètre (m).

ρ = masse volumique (kg/m^3).

μ = viscosité dynamique (Pa.s).

Si $N_{Re} < 2300$: le régime est laminaire.

Si $N_{Re} > 2300$: le régime est turbulent.

II. Fluides de forage:

II.1. Définition:

Le terme fluide de forage est préféré au terme générique « boue de forage ». Il est un mélange plus ou moins complexe d'un liquide (eau, huile) avec des produits divers ajoutés volontairement et agissant physiquement ou chimiquement pour donner en finalité des caractéristiques idéales, offrant les meilleures conditions pour la traversée des horizons lithologiques avec le moins des difficultés possible.

Le forage de certaines couches peut mener à la modification des propriétés de la boue, par suite d'intrusion des éléments souvent indésirables, cela nécessite un traitement adéquat afin de rétablir la formulation initiale.

La formulation spécifique du fluide de forage est calculée de sorte à assurer certaines fonctions primaires et secondaires qui sont également dépendantes du facteur économique : La boue idéale est la moins chère qui permet d'éviter le maximum de problèmes.

II.2. Rôles des fluides de forage:

a. L'évacuation des déblais (cuttings):

L'une des fonctions importantes des fluides de forage est l'évacuation efficace des particules qui viennent d'être désagrégés par l'outil de forage, et de les remonter correctement à travers l'espace annulaire jusqu'en surface d'où ils peuvent être éliminés.

b. Le maintien des déblais en suspension:

Dans le cas d'arrêts de circulation plus ou moins prolongés, pouvant survenir en cours de forage soit accidentellement ou d'une façon volontaire. Pendant ce temps, les déblais qui viennent de remonter ne sont plus soumises au courant ascensionnel et peuvent donc se sédimenter. La propriété de maintenir les déblais en suspension grâce à la gélification en statique est appelée « thixotropie ».

c. Contrôle des fluides souterrains:

Il est courant de traverser des formations contenant des fluides interstitiels sous une pression parfois importante résultant de la pression litho-statique ainsi que des contraintes tectoniques. Si le poids de la colonne hydrostatique du fluide est insuffisant pour équilibrer celle du fluide en place, il y'a un risque d'intrusion ou « venue ». Il est important dans un contexte pareil d'ajuster la densité de la boue de telle façon à ce qu'on élimine ce risque.

d. Maintien des parois de puits:

La filtration à travers une formation perméable de la phase liquide d'une boue de forage est accompagnée d'une déposition d'un film des colloïdes sur les parois du trou, cette pellicule connue sous le nom cake «gâteau», assure l'isolation des niveaux perméables. Il agit comme un ciment provisoire.

e. Refroidissement et lubrification de l'outil et diminution de frottement de train de sonde:

Le travail de l'outil génère une température parfois très grande. Une boue dite de qualité est celle qui est capable de refroidir l'outil par échange thermique et de minimiser les frottements du train de sonde avec les parois du trou par création d'un film lubrifiant. Cela n'est pas toujours possible, ce qui nécessite donc l'ajout de substances « antifricion ».

f. Remontée des informations géologiques:

Lors de sa circulation du fond du trou vers la surface, la boue de forage est considérée comme le moyen porteur de petits échantillons rocheux des formations traversées mais également des fluides des formations. Elle permet de recueillir pas mal de connaissances géologiques instantanément, c'est ce qu'on appelle la diagraphie instantanée. La nouvelle technologie de forage stipule que ce fluide doit avoir les propriétés adéquates pour transmettre le signal des enregistreurs préalablement intercalés dans l'assemblage du fond (sonde de mesures en cours de forage MWD).

g. Transmission de la puissance hydraulique au moteur de fond:

Pour certaines applications du forage dirigé, où il est nécessaire d'introduire un moteur de fond que peut être une turbine ou un moteur volumétrique pour réaliser la trajectoire voulue. La boue de forage joue le rôle de transmetteur d'énergie, mettant seulement l'outil en rotation ce qui permettra de l'orienter facilement par l'intermédiaire d'un coude installé juste en dessus.

h. Allègement de la garniture:

Pour les profondeurs importantes dont le poids de la garniture est très élevé, l'effet de flottabilité (poussée d'Archimède) a une importance significative dans l'allègement de la garniture.

II.3. Les caractéristiques des fluides de forage:

Les caractéristiques des fluides de forage peuvent être subdivisées en trois groupes principaux.

A. Caractéristiques physiques:**❖ Densité et masse volumique:**

La densité est un nombre sans dimension déterminé normalement dans des conditions bien déterminées de pression et de température. Elle est définie comme étant le rapport de la masse volumique de la substance en question et celle d'une référence. Cette dernière est l'eau à 4°C et 1atm pour les liquides et les solides, et l'air atmosphérique pour les gaz.

La masse volumique est la fraction masse-volume de la même quantité de matière dans les conditions définies de température et de pression.

La densité peut être exprimée en différentes unités selon le système utilisé.

Pour les mesures de densité sur le chantier, on utilise un outil appelé densimètre, son principe est analogue à celui de la balance romaine.

❖ Densité équivalente en circulation:

Au cours de la circulation de la boue de forage la pression estimée que la densité de notre boue va nous fournir est inférieure un peu à sa valeur réelle, cette différence est due à l'existence des pertes de charge dans l'intérieur de la garniture et d'outil de forage ainsi que dans l'espace annulaire. Lors du calcul de la densité de la boue on doit tenir compte de cette augmentation en termes de densité et de pressions.

$$ECD = 10.2 \times P_{\text{fond}} / Z = d_a + 10.2 \times P_{ca} / Z$$

ECD = densité équivalente en circulation.- P_{fond} = la pression de fond du puits. (Bars)

Z = la profondeur du puits. (m) - d_a = densité de la boue -

P_{ca} = perte de charge dans l'espace annulaire. (Bars)

❖ Teneur en solides:

La teneur en solides dans les fluides de forage est une caractéristique assez importante notamment celle des particules dite sables.

En terminologie du forage, est considéré comme sable toute particule inerte de dimension supérieur ou égale 74 micromètre. Le pourcentage en volume du sable ne doit pas dépasser 1% pour une raison de limiter l'abrasion des équipements tubulaires du circuit de boue. Le pourcentage en volume du solide se mesure à l'aide d'un distillateur et la teneur en sable par un désableur.

❖ Filtrat et cake:

Dans le but de prévenir contre la venue des fluides de formation, la pression hydrostatique de la colonne de boue doit être supérieure à la pression des pores. Par conséquence, la boue a tendance à envahir les formations perméables, des pertes massives à travers ces formations sont souvent prévenues par suite du dépôt du mud-cake. Ce cake est relativement moins perméable et ne laisse passer que la phase liquide dite filtrat. La boue doit être traitée de telle sorte à offrir un cake le moins perméable possible dans l'ordre de maintenir stables les parois du puits et de minimiser l'invasion par filtration.

Cependant un épais cake est l'origine de certains problèmes tels que la réduction du diamètre du puits, un excès du torque, une traction importante lors des manœuvres et favorise aussi les pistonages vers le haut et vers le bas. Le problème majeur engendré par la filtration est le coincement par pression différentielle, son traitement est difficile et parfois très coûteux. Dans le forage pétrolier on connaît deux types de filtration :

- **Filtration en statique:** qui prend place lorsque le fluide est en statique, dans ce cas-là l'épaisseur du cake grandit continuellement.
- **Filtration en dynamique:** lorsque le fluide est en circulation l'épaississement de cake est limité par l'action érosive de la boue en mouvement. Les propriétés de filtration sont souvent évaluées par les filtres presses API et HP/HT.

B. Caractéristiques rhéologiques:

La rhéologie est la science qui étudie les déformations de la matière et l'écoulement qui en résulte pour mettre au point les règles régissant l'écoulement des fluides sous diverses conditions y compris la température, la pression et la vitesse de cisaillement. L'étude rhéologique des fluides consiste à déterminer les paramètres suivants:

❖ La viscosité:

En terminologie rhéologique, la viscosité porte une large signification car elle décrit la résistance à l'écoulement des substances. Dans le domaine pétrolier ce terme est utilisé pour définir la viscosité des fluides de forage ainsi que leurs propriétés rhéologiques. Quatre types de viscosité sont à définir:

a. Viscosité Marsh:

La viscosité Marsh est utilisée comme indication relative au changement d'un fluide de forage, elle ne peut pas fournir des informations suffisantes pour déterminer les propriétés rhéologiques ou les caractéristiques de l'écoulement d'un fluide. Elle est surtout utilisée pour évaluer rapidement les contaminations éventuelles qui peuvent modifier d'une manière importante les caractéristiques du fluide. Dans son principe, elle mesure le temps d'écoulement d'un volume déterminé d'un liquide à travers un alésage calibré d'un entonnoir dit « viscosimètre Marsh ».

b. Viscosité effective:

La viscosité d'un fluide non newtonien est en fonction de cisaillement, sa viscosité effective (μ_e) est la viscosité sous des conditions spécifiques incluant la vitesse de cisaillement, la pression et la température.

c. Viscosité apparente:

La viscosité effective est parfois référée à la viscosité apparente (μ_a). La viscosité apparente est rapportée de part ou d'autre à la lecture de viscosimètre Fann, qui est un système à deux cylindre coaxiaux dont on met celui de l'extérieure en rotation à différentes vitesses, celui de l'intérieur représente la référence de lecture car il est relié à un cadran gradué par l'intermédiaire d'un système élastique. La détermination de la viscosité apparente s'effectue en appliquant la formule suivante :

$$\mu_a (cP) = \frac{\Theta_{600}}{2}$$

Avec μ_a : La viscosité apparente.

Θ_{600} : Lecture Fann 600.

d. Viscosité plastique (μ_p):

La viscosité plastique, exprimée en centi-poise (cP) et en (pascal *seconde) est calculée par la formule suivante (Θ_{300} est la lecture Fann 300) :

$$\mu_p (cP) = \Theta_{600} - \Theta_{300}$$

La viscosité plastique est usuellement décrite comme la résistance à l'écoulement causée par les frictions (frottements mécaniques), elle est affectée principalement par:

- Concentration en solides.
- La taille et la forme des particules solides.
- La viscosité de la phase fluide.
- Présence des polymères à longue chaîne tel que hydroxy-méthyl-cellulose (HMC) et le carboxyméthyl-cellulose (CMC).
- Le rapport huile eau (O/W).
- Type d'émulsifiant dans une boue inverse.

Le responsable majeur de tout changement de la viscosité plastique est donc la taille, la forme, et surtout la teneur en solides car toute augmentation en surface des solides sera reflétée par une augmentation de μ_p .

❖ Le yield point ou contrainte seuil:

A l'aide de mesures sur le viscosimètre Fann, le yield point est déterminé par la formule suivante :

$$Yp (lb / 100 ft^2) = 2 \times \Theta_{300} - \Theta_{600}$$

Le yield point est la seconde composante de la résistance à l'écoulement d'un fluide de forage, c'est une mesure de la force d'attraction. Ces forces sont le résultat de l'attraction

coulombienne des charges négatives et positives. Le yield point mesure donc ces forces sous les conditions d'écoulement, les facteurs qui interviennent dans cette résistance électrochimique sont :

- Les propriétés de la surface des solides.
- La concentration en volume des solides.
- L'environnement électrique de ces solides (types des ions).

Une viscosité élevée est le résultat d'un yield point élevé d'où des forces d'attractions pouvant être causés par :

- Introduction de contaminants solides tels que les sels, le ciment, les anhydrites et le gypse, provoquant la floculation de l'argile et des réactifs solides.
- La désintégration des particules d'argiles par l'action « meulage » de l'outil ou de la garniture de forage, créant des nouvelles forces résiduelles sur la face résultante. Ces forces tendent à pousser les particules à être désorganisées formant une structure floculée.
- L'introduction des solides inertes dans le système augmente le yield point, cela vient de l'occupation des interstices entre particules réduisant la distance de part et d'autre, en augmentant les forces d'attraction.
- La traversé des horizons d'argiles hydratées introduisant des nouveaux solides actifs dans le système et augmentant le nombre total des charges.
- La réalisation d'un traitement chimique riche en charges augmentant les forces d'attraction.
- Le traitement par des argiles organophiles ou une modification rhéologique de la boue émulsionnée inverse influencera le yield point.

De ce fait, toute décision de diminuer le yield point doit se baser sur:

- l'élimination des forces d'attraction par l'ajout des agents adsorbant.
- l'éloignement des particules solides par délutions.

❖ Thixotropie et gels:

La thixotropie est une propriété présentée par certains fluides mis au repos formant une structure de gel (structure rigide), cette structure peut être détruite par une simple agitation (cisaillement). Le fluide est dit thixotrope si le phénomène est réversible et non instantané. La plupart des fluides à base d'eau présentent cette propriété qui est due à la présence des particules électriquement chargées ou des polymères spéciaux qui tendent à lier l'ensemble formant une matrice rigide.

La lecture du gel s'effectue sur un intervalle de 10 secondes à 10 minutes et même à 30 minutes du temps. La différence entre le gel 10 minutes (gel 10) et le gel 0 secondes (gel 0) représente le degré de thixotropie des fluides, la structure du gel formée est en fonction de la quantité et du type des solides en suspension, du temps, de la température et du traitement chimique.

Autrement dit toute promotion ou prévention d'enchaînement des particules, va augmenter ou diminuer la tendance des fluides à se gélifier. Un gel excessif peut causer les complications ci-dessous :

- L'occlusion d'air ou de gaz dans le fluide.
- Une pression excessive (surpression) lors de reprises de circulation après manœuvre.
- La réduction de l'efficacité des équipements de traitement des solides.
- L'augmentation des risques de pistonnage lors des manœuvres.
- Présente une nuisance à l'utilisation des enregistrements (logging tools).

Il est à noter que si les valeurs de gel initial et le gel 10 sont très importantes et proches entre elles, il s'agit d'un indice qu'une floculation est déjà produite.

II.4. Types et compositions:

Les fluides de forage sont habituellement classés en trois groupes :

a. Boue à base d'eau:

Dans ce type les particules solides se retrouvent suspendues dans l'eau ou la saumure. L'huile peut exister (à faible teneur) et doit être émulsionnée dans l'eau. Dans tous les cas, la phase continue est l'eau.

b. Boues à base d'huile:

Les solides sont suspendus dans l'huile ; l'eau obligatoirement existante, même à faible teneur, sera émulsionnée dans l'huile qui représente la phase continue.

c. Boues aérées:

Les cuttings sont entraînées par la grande vitesse de jet de l'air ou de gaz. Des additifs moussants sont ajoutés pour enlever les faibles intrusions de l'eau.

Dans la boue à base d'eau la phase solide est constituée d'argiles ajoutées pour ajuster la viscosité et le filtrat. Des minéraux lourds agissant par effet de masse jouent le rôle d'alourdissant, usuellement la baryte, sont à additionner ainsi que les solides de la formation qui viennent se dispersées dans la boue en cours de forage.

Concernant les boues dont la phase continue est l'huile, on distingue les boues à l'huile contenant 5% d'eau au maximum et les boues à émulsion inverse pouvant contenir jusqu'à 50% d'eau. Pour ces deux types de boue l'émulsion formée est toujours de type eau dans l'huile. Tout comme les boues à base d'eau, les boues à base d'huile sont constituées de trois phases distinctes:

- Les savons et les argiles organophiles, qui confèrent de la viscosité et du corps à la boue et qui réduisent le filtrat.
- L'huile qui peut être raffinée ou du brut et l'eau d'émulsion qui peut être douce, salée ou salée saturée.
- Les produits inertes: qui peuvent être de la baryte, du carbonate de calcium, du sable ou de la dolomie.

Chapitre III:
Généralités sur les pertes
de circulation

I. Définition:

La perte de circulation est la situation dans laquelle le fluide de forage pénètre dans les différentes formations géologiques traversées par un forage plutôt que de remonter à travers l'espace annulaire à la surface. Elle est la conséquence logique des déséquilibres de pression, existants ou créés, entre le milieu traversé et le fluide utilisé en forage.

II. Les principaux types des pertes:

II.1. Pertes partielles:

Une perte est dite partielle si la circulation se maintient même à une très faible valeur, le trou restant rempli, il y a donc une diminution de retour de boue.

Les pertes sont importantes lorsque : $Q_{perte} > 5m^3 / h$. Au-dessous de $1.5 m^3/h$, les pertes sont considérées de type filtration, Tableau 7.

II.2. Pertes totales:

Une perte est dite totale si la circulation ne se maintient plus. Le puits se vide alors jusqu'à une cote telle que la pression hydrostatique exercée par la colonne restante dans le puits est équilibrée par la pression propre de découvert.

Types de pertes	Degré
Par filtration (faible)	<1.5 m ³ /h (10bb l/h)
Partielle (moyenne)	1.5 à 75 m ³ /h (10 à 500 bbl/h)
Totale (sévère)	Totale (impossible de garder le puits plein)

Tableau 7: Degrés des pertes de circulation.

III. La nature des pertes:

III.1. Perte naturelle:

La boue de forage peut s'écouler naturellement dans les vides de la roche, pores, fissures ou fractures, lorsque $P_{boue} > P_{couche}$.

Les pertes de circulation naturelles se rencontrent dans :

- ✓ Les formations très mal consolidées (sable, gravier, etc.....).
- ✓ Les formations à perméabilité excessive : présence des vacuoles dues à la dissolution et lessivage d'une partie de la roche.
- ✓ Les formations naturellement fissurées ou cavernueuses.
- ✓ Les formations micro perméables récentes et non cimentées telles que l'élite de graviers de sables très grossiers.
- ✓ Les zones faillées, broyées, au sein desquelles les mouvements tectoniques ont développé des ressauts de fissures sub-verticales qui sont restées ouvertes.

III.2. Pertes par craquage:

Elles se produisent dans les vides créés, fissures ou fractures, lorsque la pression exercée par la boue est supérieure à la pression de fracturation de la roche:

- ✓ Soit à peu près systématiquement dans n'importe quel type de formation chaque fois que la formation contient des grès, sables, sables argileux ou argiles sableuses.
- ✓ Soit au niveau du plan de moindre corrosion tel que : surface de contact plan de schistosité.

III.3. Perte par filtration:

Dans la mesure de prévenir contre la pénétration des fluides de formation dans le puits durant le forage (OBD : Over Balanced Drilling), la pression hydrostatique de la colonne de boue doit être supérieure à celle de la formation. Cette différence de pression entrainera l'invasion des pores des couches poreuses et perméables. La filtration est le mécanisme selon lequel la phase liquide du fluide de forage passe dans la formation, c'est le filtrat. Les particules solides se déposeront sur la paroi du trou en formant un film argileux imperméable, c'est le mud-cake. Ce gâteau de boue empêchera ultérieurement l'invasion de la formation par le fluide de forage. Les boues sont traitées afin de réduire au maximum le filtrat : c'est l'ajout de produits réducteurs du filtrat.

IV. Causes des Pertes:

IV.1. Causes liées à la boue de forage:

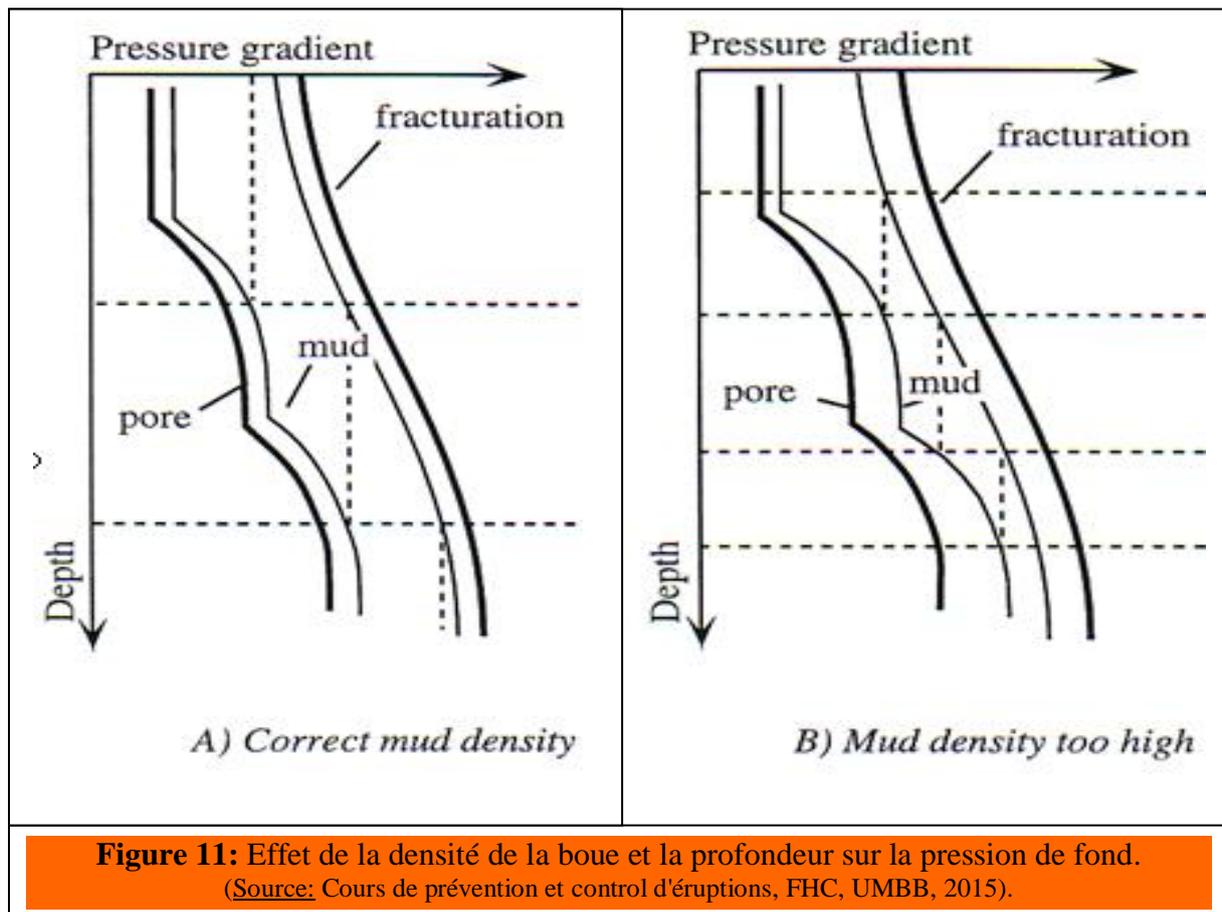
Le forage de réservoir est toujours accompagné par une circulation de boue dans l'ordre des raisons reconnues. Cependant, les particules fines et le filtrat de boue pouvant envahir et endommager les zones environnantes.

Pratiquement on utilise des boues types à base d'huile, à base d'eau ou émulsionnée (eau/huile). Usuellement, des fines particules sont à additionner comme agents alourdissant.

a. Pression au sein de la boue trop élevée:

Comme les venues, les pertes de circulation sont la conséquence logique et directe d'un déséquilibre de pression existant ou créé, momentané ou permanent, entre le milieu traversé et les fluides utilisés en forage. Ceci peut être d'une, soit d'une densité trop élevée, soit d'une pression de refoulement (débit, caractéristique rhéologique) trop élevée.

Donc la raison principale des pertes de circulation est que la pression dans le puits dépasse la pression de couche compte tenu de la résistance de milieu poreux au mouvement du fluide dans la couche.



b. Mauvais traitement en surface:

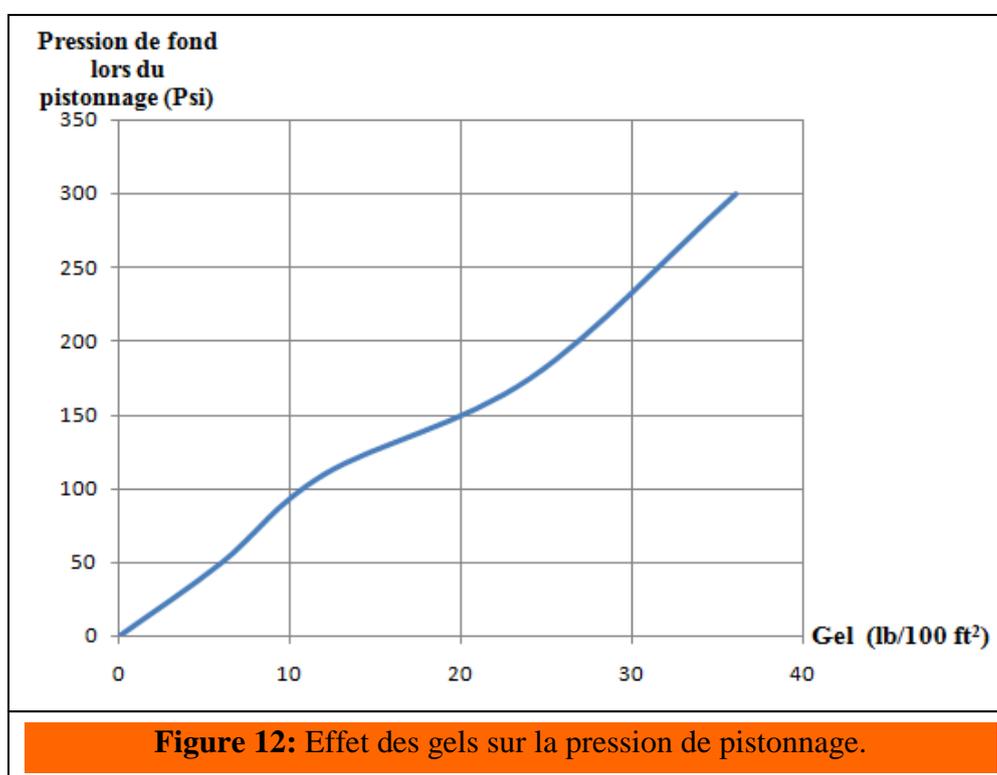
L'augmentation de la densité de la boue en circulation due à un mauvais traitement en surface (mécanique ou chimique).

c. Cause liée avec les caractéristiques rhéologiques:

La viscosité plastique et la yield value trop fortes entraînant à grande profondeur des pertes de charge élevées dans l'annulaire.

d. Cause liée à la thixotropie:

Une reprise de circulation ou une manœuvre trop rapide avec une boue à gel élevé provoque une surpression importante au fond. Il faut noter qu'à faible profondeur et dans le cas des pertes par infiltration dans les terrains à perméabilité moyenne, le maintien d'une thixotrope élevée permet souvent l'arrêt des pertes. En effet, d'une part il y a colmatage des terrains en profondeur par la gelée et d'autre part, les pertes de charge dans l'annulaire sont négligeables pendant les premiers centaines de mètres forés en gros diamètre.



Pression de fond lors du pistonage (psi)	10	20	30	35
Gel (lb/100ft ²)	95	150	230	300

Variation de la pression du fond lors du pistonage en fonction du gel.

IV.2. Les causes liées aux caractéristiques des formations:

Il existe cinq catégories de formation offrant des possibilités de perte :

- ✓ Les formations poreuses à haute perméabilité,
- ✓ Les formations fracturées,
- ✓ Les formations cavernueuses,
- ✓ Les formations déplétées.
- ✓ Formations naturellement fissurées

a. Formation poreuse à haute perméabilité:

Ce type de pertes se manifeste dans les formations à grande perméabilité dont les pores sont de dimensions élevées, d'où les solides de la boue n'arrivent pas à obstruer les chenaux de la matrice.

Les pertes ne peuvent être que partielles dans les milieux dont la forte perméabilité est due à des vacuoles ou des fissures de faible épaisseur.

Elles peuvent devenir totales si les pressions au fond du puits par la boue provoquent l'élargissement des fissures.

b. Formation fracturée:

Deux types distincts de fractures peuvent être envisagées, naturelles et provoquées.

Les pertes dans les fractures naturelles se manifestent brusquement à des cadences assez rapides, et dans n'importe quel type de réservoir à compacité plus ou moins considérable. L'écoulement de la boue riche en solides à travers les fractures conduit logiquement à l'obstruction et le bouchage de celles-ci par suite d'agrégation des solides à différentes tailles, car le flux est important et les fractures sont assez restreintes. Cependant, une continuité de forage avec le même régime risque de provoquer une perte partielle voir parfois totale.

Le deuxième type de pertes est dit par craquage, apparaissant lorsque la Densité Equivalente de Circulation (ECD) dépasse la densité de fracturation, à cause de :

- ✓ Densité de boue élevée.
- ✓ Mauvais nettoyage du puits.
- ✓ Mauvais choix du sabot de tubage.
- ✓ Pistonnage vers le bas.
- ✓ Surpression due à un démarrage brusque des pompes.

c. Formations caverneuses:

Lors de processus de l'évolution des diverses lithologies, un lessivage des minéraux solubles par les eaux souterraines est possible, ce qui conduit à la création des vides sur un étendu plus au moins important. La traversée par forage de ces endroits favorise les pertes de circulation.

Elle se produit le plus souvent dans les calcaires présentant des cavernes suite au phénomène de dissolution et érosion. Ces pertes sont difficilement colmatables.

d. Formations déplétées:

Vu le nombre important des puits implantés sur les champs pétroliers et gaziers et leurs mise en production en continu, une quantité considérable de matière était extraite, d'où une chute intense de pression est enregistrée. Dans un contexte pareil et sans révision des paramètres hydrauliques de forage, des pertes de boue par filtration peuvent se manifester.

Cette hypothèse porte une partie de la réalité. Mais elle n'est pas la seule raison, puisque le phénomène de filtration est régit par plusieurs paramètres et non seulement par la différence de pression.

e. Formations naturellement fissurées:

Une perte de boue est déclenchée en face de ces formations (calcaire) dès que la pression de la colonne de la boue dépasse la pression de couche. Cette perte sera proportionnelle à la vitesse d'avancement dans la zone fracturée.

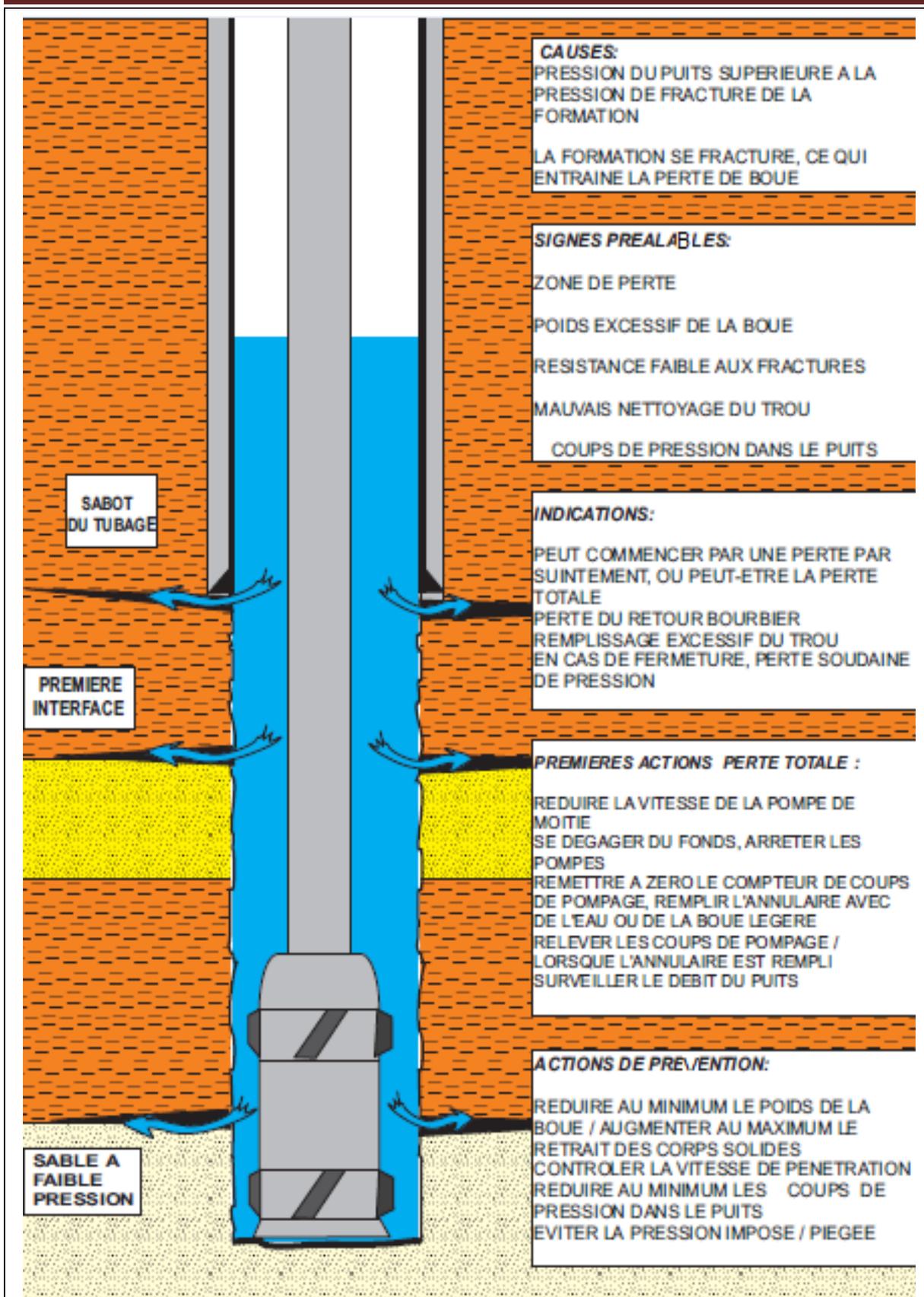


Figure 13: Les causes des pertes de circulation liées aux caractéristiques des formations.

(Source: Sonatrach Document, " Problèmes au cours du forage", 2014).

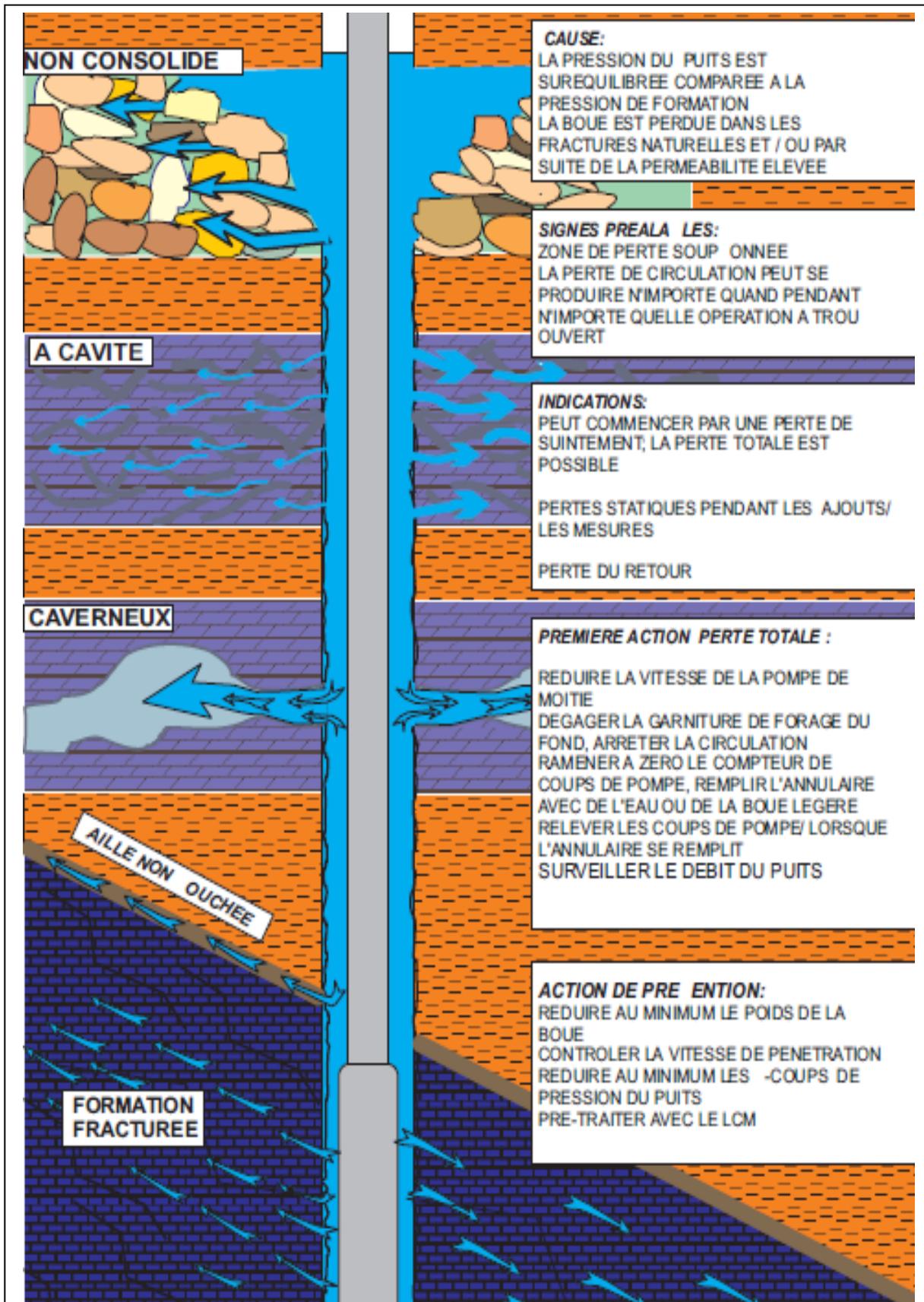


Figure 14: Les causes des pertes de circulation liées aux caractéristiques des formations.

(Source: Sonatrach Document, " Problèmes au cours du forage", 2014).

IV.3. Causes Diverses:

a. Surpression et dépression dues aux manœuvres trop rapides:

Suivant les articles qui regroupent et résolvent les procédés de calcul et des expérimentations directes sur puits. Il est utile de mettre l'accent sur l'importance que peuvent atteindre ces surpression et dépression (5 à 50 kg/cm^2). L'augmentation et la diminution artificielles de la densité équivalente au fond est du même ordre que celui d'une augmentation réelle de la densité de quelques points à plusieurs dizaines de points.

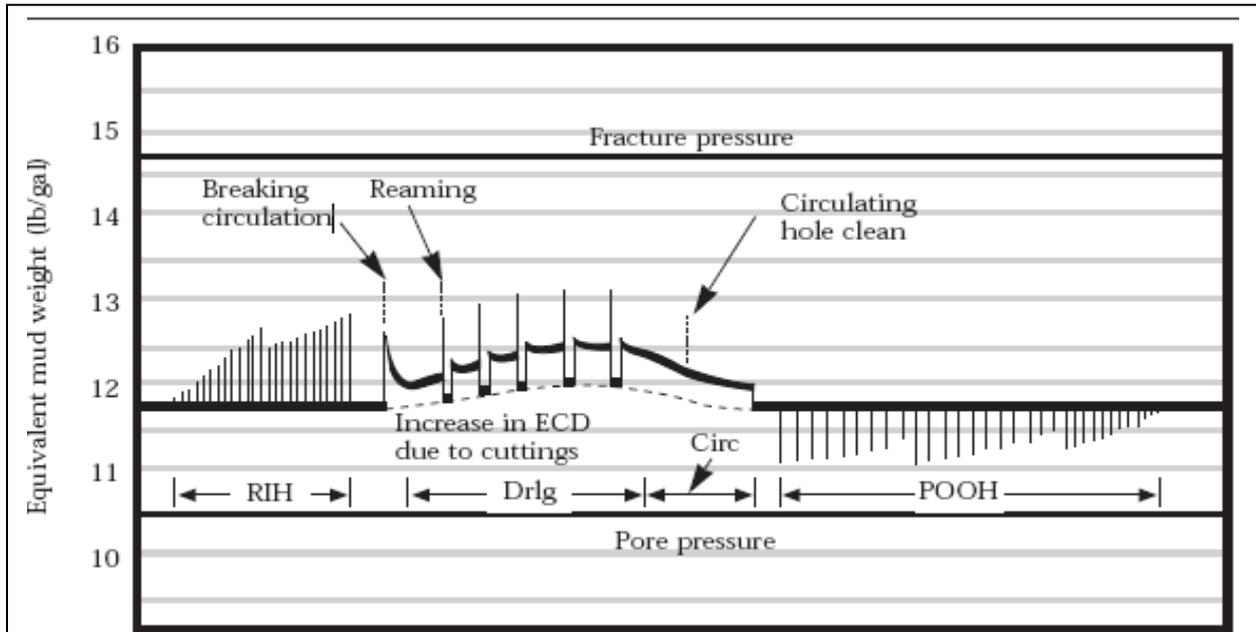


Figure 15: Effet des manœuvres sur la densité équivalente.

(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).

b. Reprises brutales de pompe:

Mise en marche brutale des pompes provoquent des coups de pression au fond qui peuvent fracturer la formation et causer par la suite des pertes de circulation.

c. Rétrécissement du puits:

Ce phénomène peut être le résultat de confectionnement d'un épais cake ou de bouchons annulaires, ce dernier est un assemblage de cuttings dans l'annulaire faisant face à l'écoulement. Ce phénomène prend une particularité dans les puits horizontaux d'où le nettoyage de drain est souvent sujet à la formation d'un lit de cuttings.

d. Pose de tubage dans une formation à faible pression:

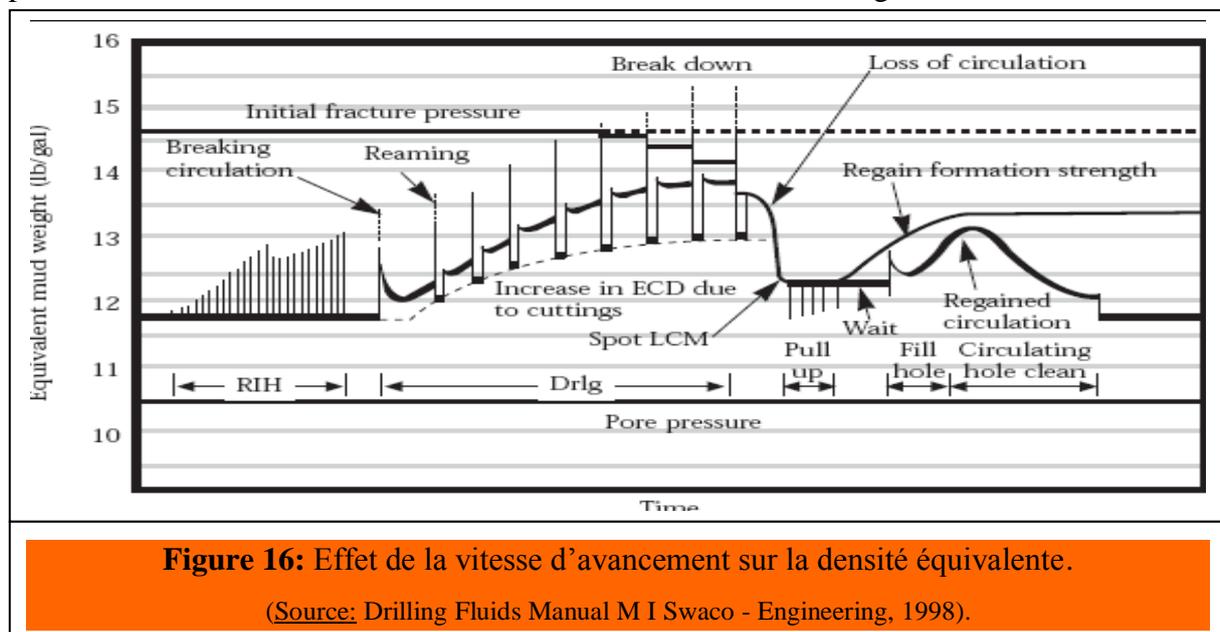
Le choix du pose de tubage est très important et ce fait dans une formation à forte pression et consolidée ce qui nous permis d'augmenter l'intervalle ECD au maximum pour ne pas fracturer au niveau du sabot.

e. Changements brutaux des types d'écoulement:

Il arrive lors de la traversée des formations cavernueuses qu'on soit bien forcé de s'en accommoder ou qu'on fasse volontairement l'impasse sur le cavage et arrive aussi qu'au type d'écoulement laminaire (voulu ou pas) ces caves se remplissent de cutting, abaisser brutalement la viscosité de la boue peut conduire à l'éboulement de cette masse de cuttings et en conséquence provoquer par obstruction de l'annulaire à un coup de pression susceptible de provoquer le craquage d'une formation. Quand une diminution de viscosité et gel de la boue s'impose, il sera donc recommandé de procéder par diminution progressive.

f. grande vitesse d'avancement:

Du fait que l'avancement sera trop rapide ce qui implique une grande quantité de cuttings dans la boue ce qui provoque une augmentation de densité dans l'espace annulaire qui signifie une pression de fond plus grande. Lorsque la pression de fond est proche de la pression de fracturation il faut maintenir la concentration des cuttings inférieure à 4%.



V. Localisation et Identification des zones à pertes:

V.1. Les Indices de perte de circulation:

a. Perte partielle:

Dans le cas de perte de circulation partielle, on peut avoir les indices suivants :

- ✓ Diminution du niveau de la boue dans les bacs ;
- ✓ Si la pompe de forage est en arrêt (cas de manœuvre) le niveau hydrostatique de la boue de forage dans le puits est diminué partiellement.

b. Perte totale:

Dans le cas de perte de circulation totale, on peut avoir les indices suivants :

- ✓ Si la pompe de forage est en marche (en cours de forage ou circulation), on observe le retour de la boue est nul.
- ✓ Si la pompe de forage est en arrêt (cas de manœuvre) le niveau hydrostatique de la boue de forage dans le puits est en diminution brusque.

V.2. Localisation des zones à Pertes:

a. Détection par calibrage du trou:

L'existence de fractures largement ouvertes a pu être mise en évidence par les calipers.

b. Localisation par le lost circulation detector:

L'appareil est constitué d'un diaphragme qui se déplace proportionnellement au débit de boue qui le traverse. Un potentiomètre placé en surface permet d'enregistrer le déplacement du diaphragme. Cette méthode est très sensible et ne nécessite qu'une consommation réduite de boue.

c. Mesure du gradient de température en fonction de la profondeur:

En pompant de la boue froide dans le trou, il existe une discontinuité de la température mesurée directement par thermométrie.

d. Variation de la résistance "du fil chaud":

Cette méthode consiste à dérouler dans le trou un fil calibré relié à un compteur indicateur au sommet du trou. Sa résistance étant sensible aux changements de température, elle est enregistrée en continu. Le pompage de la boue refroidit l'instrument lorsqu'il est situé au-dessus du point de perte.

L'avantage de cette méthode est qu'elle peut être employée en boue visqueuse chargée en agents de scellement, son inconvénient majeur étant qu'il est nécessaire d'utiliser parfois beaucoup de boue.

e. Variation de la résistivité par mise en place au fond du puits d'un bouchon d'électrolytes:

Après descente des tiges nues à 1 mètre du fond et pompage d'un bouchon d'eau salée (30 à 50 g/l) dont le volume sera suffisant pour qu'il pénètre dans la zone à pertes, les électrodes d'un résistivité-mètre sont descendues progressivement jusqu'à observation d'une brusque variation de la résistivité.

f. Traceur radioactif:

La méthode consiste à faire un gamma-ray avant de squeezer un bouchon renfermant une petite quantité d'éléments radioactifs dans la formation. La cote de la perte est déterminée en faisant un seconde gamma-ray. Elle correspondra à une diminution soudaine de la radioactivité.

g. Détermination du niveau du fluide par la courbe du neutron (S.P.E.):

Le neutron est une méthode permettant de détecter la porosité d'une formation. Elle est basée sur la quantité d'hydrogène présente dans la formation. Des neutrons sont émis en continu par une source radio- active contenue dans la sonde. A chaque collision avec un noyau d'hydrogène, il y a perte d'énergie de la part du neutron. Dans le cas où le puits est vide il n'y a pas de perte d'énergie, alors que s'il est plein de fluide, il y aura perte d'énergie. Une fois encore l'enregistrement de la courbe montrera une discontinuité.

h. Détermination du niveau du fluide au moyen de l'écho-mètre:

Le principe est d'envoyer un signal sonore depuis la surface vers l'intérieur du puits, et de mesurer le temps au bout duquel il revient après réflexion à la surface du fluide. Cet appareil est très efficace et d'un grand secours dans le combat des pertes.

VI. Les Conséquences des pertes:

- ✓ Le niveau de boue dans l'espace annulaire baisse causant la diminution de la pression hydrostatique en dessous de la pression de pores de la formation. La différence négative de pression entrainera la venue des fluides des formations et un risque d'éruption.
- ✓ Les pertes de retour, nécessitant la fabrication de volume supplémentaires de fluides de forage, contribuent à augmenter le coût de la boue.
- ✓ L'une des fonctions de la boue de forage est la remontée des déblais des formations traversées. Lorsque la boue est perdue, une conséquence directe est l'absence de cuttings qui donnent des informations sur les couches traversées.
- ✓ Suite à l'invasion des zones productrices, leur productivité se trouve diminuée, c'est l'endommagement. La stimulation des réservoirs sera coûteuse
- ✓ Lorsque le forage est poursuivi et que le puits se retrouve vide de boue, des dommages surviennent dans le trou à l'exemple de la destruction de l'outil de forage. Ce phénomène est appelé forage sec « dry drilling ».
- ✓ Le temps des essais de colmatage est un temps mort pour le forage (NPT).
- ✓ Possibilité de coincement de la garniture à cause de la mauvaise remontée des déblais.

VII. Recommandations Préventives et Précautions à prendre pour combattre les pertes de circulation:

Deux causes fréquentes de perte de circulation sont les pressions excessives sur le fond du trou et la pose du dernier tubage trop haut. Il faudra donc :

VII.1 Réduire les Pressions:

- En se limitant à un temps raisonnable pour descendre ou monter une longueur.
- Forer en évitant les battements du train de sonde.
- Briser d'abord le gel de la boue en mettant les tiges en rotation avant le rétablissement de la circulation.
- Démarrer les pompes au ralenti.
- Veiller à avoir une bonne remontée des déblais afin de ne pas avoir d'agglomérats dans les zones cavées (risques de bouchages des annulaires).

VII.2 Surveiller les caractéristiques de la boue:

- En évitant une viscosité trop élevée.
- En réduisant ses gels.
- En conservant une densité la plus faible possible tout en restant dans les limites de sécurité.

Remarque:

Le traitement de la boue à l'avance, au moyen de colmatants lorsque la traversée d'une zone à pertes est prévue n'est pas à conseiller (sauf en cas de forage en circulation perdue). En effet, outre les inconvénients de l'alourdissement de la boue de circulation (by-pass obligatoire des tamis vibrants) cette sorte de colmatage en continu peut être très gênante dans le cas où une venue survient, la localisation de celle-ci étant rendue difficile.

VII.3 Poser correctement les tubages:

Si un tubage est posé trop haut dans une formation de faible pression, la partie de celle-ci située au-dessous de la dernière longueur pourra être fracturée (ces fractures provoquées sont les plus graves) par un alourdissement de la boue nécessaire au moment du forage des zones plus profondes et de pressions plus élevées.

Par définition l'intervalle où il existe un changement de gradient depuis cette zone de pression faible vers celles de pression plus élevée est appelée zone de transition, et c'est dans cette dernière que le sabot du tubage devra préférentiellement être positionné.

VII.4 Précautions à prendre lors du forage des zones à perte:

- ✓ Contrôler le débit de retour en permanence.
- ✓ Contrôler la vitesse d'avancement du forage.
- ✓ Surveiller attentivement la pression de la pompe pendant le forage pour tout signe de bouchage.
- ✓ Se dégager du fond tous les 3 mètres de forage pour s'assurer que le trou ne s'éboule pas.
- ✓ Garder continuellement les tiges en rotation et en mouvement de translation pour faire remonter au maximum les cuttings.
- ✓ Garder une réserve de boue visqueuse prête à être pompée.
- ✓ Arrêter le forage et envisager de remonter au sabot si des réparations (pompe, top drive) sont nécessaires.
- ✓ Démarrer lentement les pompes et réduire au minimum la vitesse de descente de la garniture pour éviter le craquage de la formation.

Chapitre IV:
Traitement des pertes de
circulation

Introduction:

La meilleure approche du contrôle des pertes de circulation consiste à bien identifier la zone à pertes et leur virulence et à déterminer les meilleurs produits pouvant y remédier et la technique de mise en place.

Sauf risque majeur de venue, quand la perte de boue est détectée pour la première fois, la mesure à prendre, immédiatement, est de réduire la densité de boue pour diminuer la pression exercée sur la formation. De même, la densité équivalente de la boue en circulation peut être diminuée par la réduction de ses propriétés rhéologiques de fond et pertes de charge dans l'annulaire.

Les pertes, lorsque elles surviennent, nécessitent en général le pompage de produits colmatants ou des laitiers spéciaux afin de boucher les pores ou les fissures des formations à perte et d'arrêter l'écoulement de la boue au-delà des abords du puits.

I. Classification des colmatants:

Il existe une grande variété des colmatants dont on peut citer:

- Agents de colmatage dans la boue de forage.
- Système de mixage de surface.
- Système de mixage de fond.
- Les laitiers à grand pouvoir de déshydratation.

II. Agents de colmatage dans la boue de forage:

Les agents de colmatage, mixés directement avec le fluide de forage et appelés L.C.M (Lost Circulation Materials), peuvent être classés en 4 types:

- ❖ Granulaires.
- ❖ Lamellaires.
- ❖ Fibreux.
- ❖ Gonflants.

II.1. Les colmatants granulaires:

De par leur forme anguleuse et leur répartition granulométrique, ils agissent en bloquant en profondeur les fissures. Ils ont une grande résistance mécanique aux pressions différentielles. On emploie des produits durs et calibrés : citons les coquilles de noix, les noyaux d'abricots, cerise, olive, etc.

Le tableau suivant classe les colmatants granulaires par leur granulométrie:

Taille (mm)	Appellation
Produit tout venant, brut	Super
1.6 à 5 mm	Gros
0.5 à 1.6 mm	Moyen
0.16 à 1.6 mm	Fin

Tableau 8: Classification des colmatants granulaires.

L'efficacité des colmatant granulaires dépend principalement de la distribution de la taille propre des particules. Avec les grandes particules se forme le premier colmatage contre ou à l'intérieur des vides ensuite avec les petites particules se colmate le vide entre les grandes particules du colmatant.

II.2. Les colmatants fibreux:

Les colmatants fibreux sont mieux utilisés pour contrôler les pertes dans des formations poreuses avec haute perméabilité car ils sont capables de former une trame sur l'ouverture de pore. Cette dernière réduit la taille des ouvertures de la formation et permet aux particules colloïdales dans la boue de se déposer en formant un cake. Les colmatants lamellaires ont le même procédé que les colmatants fibreux, ce qui donne un meilleur résultat quand le traitement de perte est dans une formation poreuse et perméable. L'utilisation du mélange de colmatants granulaires, floconneux et fibreux est efficace pour résoudre le problème de perte de circulation dans les différents types de zones à perte.

Le but des colmatants fibreux est de tisser une enveloppe autour des colmatants granulaires. Ces colmatants ont une faible résistance mécanique à l'extension (rupture des colmatants fibreux sous l'influence des pressions différentielles).

Les fibres de bois, les fibres de canne à sucre et des produits cellulodiques, la laine de verre, éponge synthétique font partie de cette famille de colmatants.

II.3. Les colmatants lamellaires:

Ils forment un colmatage surtout superficiel, ils sont en générale utilisés pour améliorer le colmatage réalisé par les colmatants granulaires et fibreux. Les plus connus sont les déchets de cellophane ou de mica.

II.4. Les colmatants gonflants:

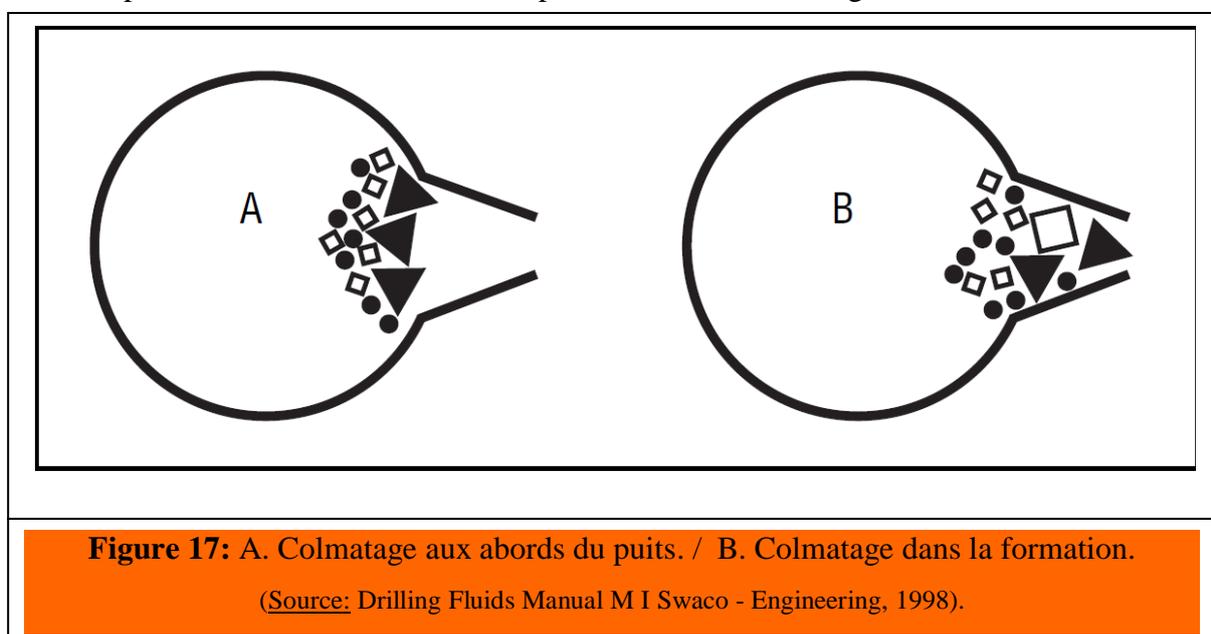
Ils permettent d'obtenir un fluide à très haute viscosité. On peut citer les gommés qui à l'aide d'un catalyseur fournissent une gelée extrêmement visqueuse.

II.5. Choix des colmatants à utiliser:

Le colmatage des pertes est réussi lorsqu'une étanchéité est réalisée aux ouvertures de la formation aux abords du puits, qu'elles soient des pores, fractures ou chenaux. L'échec ou la réussite de l'opération résulte du mauvais choix des colmatants utilisés, leur dimension ainsi que leurs proportions dans le mélange.

En premier lieu, la taille moyenne des particules du colmatant utilisé devrait, être égale ou supérieure au tiers (1/3) de la taille moyenne des pores. De plus, la concentration moyenne des solides du colmatant doit être égale à 5% du volume de solides dans la boue après mixage.

Les colmatants forment deux types d'étanchéité, l'une face aux abords du puits et l'autre à l'intérieur de la formation (figure 17). Le deuxième type de colmatage est recherché car il est permanent et difficile à détruire par le mouvement de la garniture.



Le colmatage face aux parois du puits est obtenu lors de l'utilisation de matériels de dimensions plutôt grande par rapport à celles des pores et fissures. L'obtention d'un colmatage profond dans la roche est tributaire d'un bon choix de la taille des particules.

Le choix des tailles des particules est difficile vu la difficulté d'estimation de la taille des points de pertes. La figure 18.A montre que les particules peuvent également être de diamètre insuffisant pour assurer le bouchage des pertes. Le colmatage montré en figure 18.B est désiré : les petites particules bouchent les vides laissés par les grandes particules.

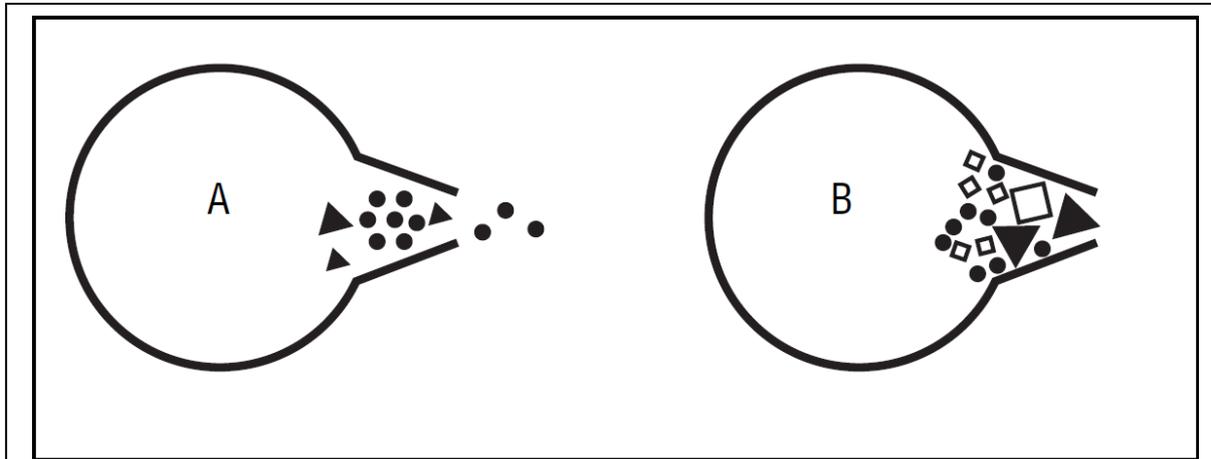


Figure 18: Effet de la taille des particules sur le colmatage.

(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).

Légende des figures 17 et 18:

- ▲ **Colmatants granulaires**, exemples: les coquilles de noix, les noyaux d'abricots, cerise, olive, etc.
- , ◻ et ● **Colmatants Fibreux, lamellaires et gonflants.**

II.6. Influence de la concentration des colmatants sur le pouvoir de colmatage:

Le tableau suivant montre les diamètres des fractures pouvant être bouchées en fonction des concentrations des trois types des colmatants, fibreux, lamellaires et granulaires.

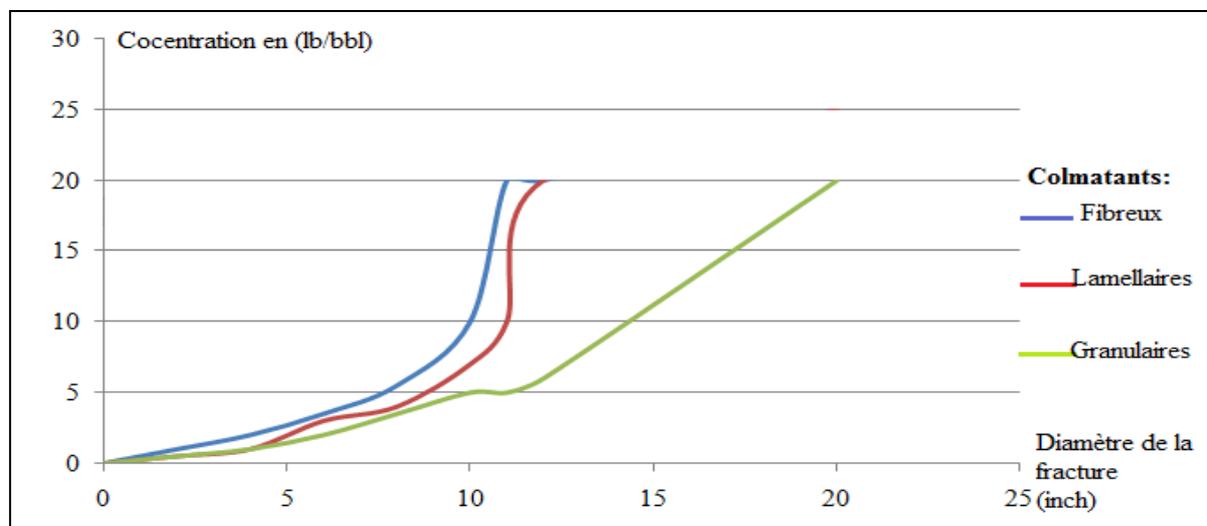


Figure 19: Dimension maximale des fractures selon type et la concentration du colmatant

Concentration des colmatants Fibreux (lb/bbl)	0	3	10	Sans aucun effet	Sans aucun effet
Concentration des colmatants Lamellaires (lb/bbl)	0	2	7.5	Sans aucun effet	Sans aucun effet
Concentration des colmatants Granulaires (lb/bbl)	0	1	5	10	20
Diamètres des fractures pouvant être bouchées	0	5	10	15	20

Les concentrations des différents colmatants sont un point essentiel d'un bon colmatage. Les grandes ouvertures requièrent souvent de grandes proportions de colmatants granulaires. L'augmentation de la concentration de la concentration des colmatants lamellaires et fibreux au-delà d'une certaine valeur n'apporte aucune amélioration du traitement des pertes. L'utilisation de mélanges est préférée, chaque type de colmatant complète en effet la performance des autres. Un mélange type de colmatant contient 50 % de granulaires de différentes dimensions, 33% de fibreux et 17% de lamellaires.

Tableau des Agents colmatants typiques:

MATERIAUX D'ETANCHEITE UTILISES POUR LES PERTES DE CIRCULATION				
Matériau	Type	Description	Concentration livres/bbl	Taille de la plus grande fracture bouchée (en pouces)
Coquille de noi	Granulaire	50 - 3/16 maille de 10 50 - 10 maille de 100	20	20
Plastique	Granulaire	50 - 3/16 maille de 10 50 - 10 maille de 100	20	20
Calcaire	Granulaire	50 - 3/16 maille de 10 50 - 10 maille de 100	40	10
Soufre	Granulaire	50 - 3/16 maille de 10 50 - 10 maille de 100	120	10
Coquille de noi	Granulaire	50 - 10 maille de 16 50 - 30 maille de 100	20	12
Percite dilatée	Granulaire	50 - 3/16 maille de 10 50 - 10 maille de 100	60	10
Cellophane	Laminé	Flocon de 3/4 de pouce	8	10
Sciure	Fibreux	Particules de 1/4 de pouce	10	10
Foin des prés	Fibreux	Particules de 1/2 de pouce	10	10
Ecorce	Fibreux	Particules de 3/8 de pouce	10	8
Cosses de grain de coton	Granulaire	Fin	10	6
Foin des prés	Fibreux	Particules de 3/8 de pouce	12	6
Cellophane	Laminé	Flocons de 1/2 de pouce	8	8
Bois déchiqueté	Fibreux	Flocons de 1/4 de pouce	8	4
Sciure	Fibreux	Particules de 1/16 de pouce	20	2

Tableau 9: Les agents colmatants.
(Source: Sonatrach Document, " Problèmes au cours du forage", 2014).

Une étude comparant l'efficacité des colmatants fibreux, lamellaires, granuleux et gonflants dans un simulateur pour contrôler les pertes de boue dans une formation fracturée à fracture de faille moyenne (0.13 ou 3.3mm) a démontré que le mélange de particules gonflant de tailles moyenne et fine est plus performant que les colmatants conventionnels. Une observation intéressante a montré que dès fois avec les colmatants granulaires on obtient un phénomène de "channeling " quand une haute pression différentielle est appliquée sur une boue de faible concentration en solides, alors un colmatage sur la surface ou à l'intérieur de la formation ne peut se développer.

III. Système de mélange en surface des bouchons de ciment:

Lorsque les colmatants ne peuvent restaurer la circulation, le remède à appliquer est la pose d'un bouchon de ciment. Le laitier pourra lui aussi être perdu, mais prendra dans la formation et la consolidera. A la même côte, plusieurs bouchons de ciment peuvent être nécessaires avant que la circulation ne soit rétablie. Quand c'est le cas, le bouchon peut être reforé et le forage repris.

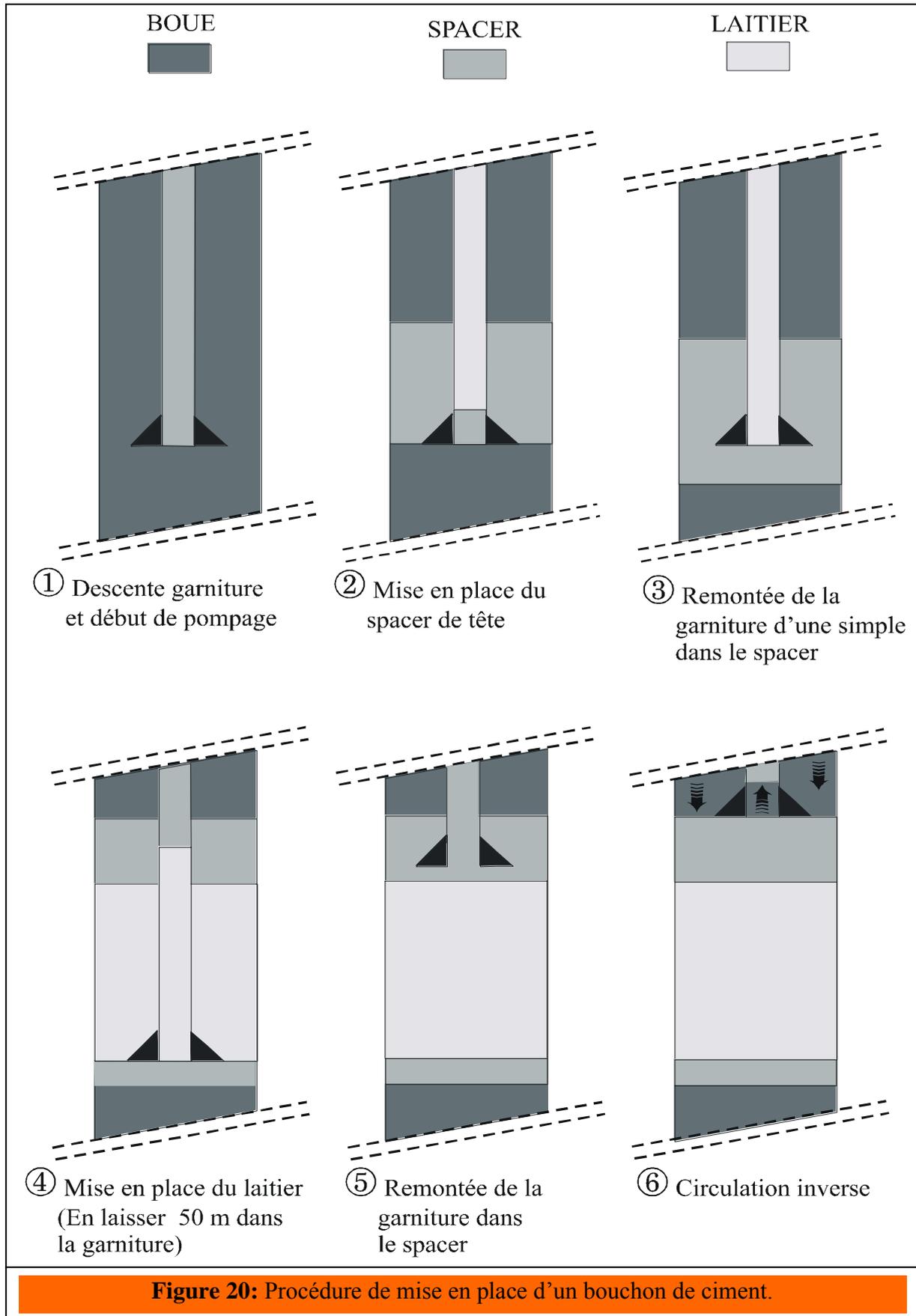
III.1. Méthodologie générale:

La mise en place d'un bouchon de ciment dans un sondage s'opère exactement comme celle d'un bouchon colmatant ou de tout autre fluide destiné à être positionné à un niveau donné dans le puits. Le principe consiste à placer les tiges nues (ou mieux, des tubings) à la cote souhaitée pour la base du bouchon.

Afin d'éviter la pollution de la boue par le ciment et réciproquement, du ciment par la boue, il est conseillé de faire précéder et suivre le laitier d'un tampon et de ne jamais laisser en contact la boue et le laitier. Ceci implique une procédure particulière où les volumes de déplacement sont délicats à calculer (figure 20).

Il est à noter que le bouchon est préparé et injecté puis chassé de telle sorte que le niveau du ciment dans l'annulaire tiges-puits soit le même que celui qu'il occupe à l'intérieur des tiges. Dans la pratique, on garde le ciment une dizaine de mètres plus haut à l'intérieur des tiges.

Ensuite les tiges sont extraites du bouchon lentement afin de prévenir un mélange boue ciment (la vitesse de remontée conseillée est de l'ordre de 20 cm par seconde).



III.2. Bouchons de ciment pour colmatage des pertes:

Pour remédier aux problèmes des pertes, le ciment couramment employé reste pratiquement le seul colmatant à prise qui soit réellement efficace et assure un résultat durable. Il ne faut évidemment pas l'employer, sauf cas d'urgence, pour le traitement des pertes dans des réservoirs producteurs.

Pour remplir ce rôle, le ciment peut être utilisé de deux manières :

- ✓ Soit gâché classiquement avec de l'eau (laitiers thixotropes, gels ciments, laitiers avec ciment sans additifs),
- ✓ Soit gâché (seul ou en association avec du plâtre) en suspension dans l'huile (brute ou raffinée):
 - Ciment associé au plâtre dans l'huile Diesel (plaster diesel oil cement, en abrégé P.D.O.C.).
 - Ciment dans l'huile Diesel (diesel oil cement, en abrégé D.O.C.).

III.3. Types de laitiers à base d'eau pour le traitement des pertes et leur mise en place:

a. Laitiers thixotropes:

Leur intérêt, pour le traitement des pertes, est lié aux gels élevés qu'ils développent très rapidement au repos. La thixotropie peut être obtenue :

- ✓ Soit en mélangeant à sec des additifs au ciment de base.
- ✓ Soit en les ajoutant à l'eau de gâchage.

La thixotropie optimale est obtenue pour une densité de 1.70. A une densité de 1.90, le pompage devient impossible et pour des densités inférieures à 1.70, les gels ne sont plus suffisamment élevés. Si besoin est, les laitiers peuvent être retardés.

Les additifs liquides possèdent une meilleure stabilité dans le temps que les additifs solides. Ces derniers, en outre, présentent l'inconvénient d'immobiliser un silo pour le ciment thixotrope.

Dans tous les cas, le pompage d'un laitier thixotrope devra se faire avec un matériel en parfait état de fonctionnement et sans arrêt prolongé en cours d'opération.

b. Gels ciments:

L'addition au ciment de bentonite (généralement préhydratée) ou d'un autre type de rétenteur d'eau, permettant d'accroître le rapport eau/ciment, conduit à des laitiers de densité faible mais de viscosité élevée. Les pertes de charge qui s'en suivent freinent la pénétration dans les fissures.

Il est possible, éventuellement, par l'emploi de microsphères creuses, de préparer des laitiers de densité inférieure à 1.4 (exceptionnellement 1.00).

c. Laitiers de ciment sans additifs:

Comparés aux gels ciments, ils ont des temps de prise plus courts, une densité plus élevée, mais une viscosité nettement moins importante, ce qui ne permet pas de les utiliser dans le premier stade du colmatage.

• Mise en place:

Il convient de noter que les gels ciments et les laitiers thixotropes ne sont en général mis en place dans la perte qu'après injection d'un bouchon de boue plus ou moins chargée en colmatants classiques (coquilles, fibres de bois, mica, coques de noix...). Ceux-ci sont destinés à créer une assise au ciment et à diminuer le débit de perte : le colmatage ne peut, en effet, être réalisé par le ciment si le débit de perte excède 20 m³/h.

Les cotes de pose et les débits de mise en place dépendent des débits de pertes mesurés. Le tableau 10 donne les ordres de grandeur des valeurs à recommander pour les découverts de diamètre supérieur à 8^{1/2} ".

Débit de perte (m ³ /h)	Niveau de pose du bouchon	Débit de mise en place (l/m)
2 – 5	Niveau inférieur de la perte	800 – 1000
5 – 10	10 m au-dessus du niveau de la perte	600 - 800
10 – 20	20 m au-dessus du niveau de la perte	500

Tableau 10: Recommandations des cotes de pose et des débits d'injection.

- ❖ Après vérification du niveau statique de la perte et du libre passage du fluide en circulation, on descendra les tiges nues équipées d'un tubing, au niveau convenable.
- ❖ Le remplissage du puits devra être assuré et contrôlé en permanence. Il faudra maintenir une rotation lente des tiges pendant la mise en place.
- ❖ Le volume théorique de chasse sera déterminé en admettant que le bouchon se trouve à l'équilibre dans un puits n'absorbant pas. L'expérience acquise localement pour le traitement des pertes est évidemment très précieuse.
- ❖ En cas d'incompatibilité entre la boue et le laitier, l'utilisation de fluides intermédiaires en tête et en queue du bouchon est impérative.

Pendant la remontée des tiges au-dessus du niveau théorique du bouchon et la circulation directe (ce qui limitera les surpressions dans l'annulaire) pour nettoyage des tiges, on évaluera la pénétration du mélange en observant le niveau de boue dans le puits ou le volume récupéré dans les bacs. Si le puits reste plein on pourra, éventuellement, fermer les tiges puis accroître la pression pour favoriser la pénétration du bouchon si celle-ci n'a pas été suffisante. On ne dépassera pas toutefois la pression correspondant à une densité équivalente supérieure de 0.1 (10 points) à la densité de la boue.

III.4. P.D.O.C et D.O.C et leur mise en place:

L'utilisation du ciment sous cette forme, pour le traitement des pertes est moins répandue que la précédente, car elle est plus délicate.

Elle consiste, en effet, à mettre en place dans la perte, du plâtre et du ciment (ou du ciment seul) en suspension dans l'huile et pouvant faire prise rapidement au contact de l'eau de formation, de celle de la boue ou de l'eau injectée au cours de l'opération.

La composition, pour 1 m³ de mélange, est la suivante :

- ✓ P.D.O.C : 500 kg de plâtre, 500 kg de ciment, 680 L d'huile. La densité est de 1.56.
- ✓ D.O.C : 1500 kg de ciment, 522 L d'huile. La densité est de 1.93.

La mise en œuvre de ce type de bouchon est toujours délicate car il est interdit de pomper du gasoil dans les bacs de l'unité de cimentation. Il faut donc prévoir l'utilisation de ciment (et de plâtre) en sacs et la préparation du bouchon doit avoir lieu dans un bac d'où il

sera repris par les pompes de forage. De plus toutes les installations du système de fabrication doivent être parfaitement exemptes d'eau.

Dans tous les cas (boue à l'huile ou à l'eau), pour éviter la formation d'hydrates au cours du pompage, il convient d'isoler le bouchon par deux tampons d'huile, l'un en tête, l'autre en queue.

Dans le cas de boue à l'huile, si la formation ne renferme pas assez d'eau (le ciment pour prendre doit réagir avec le quart de sa masse en eau), il faudra en injecter un volume suffisant (éventuellement sous forme de boue).

La mise en place de ces bouchons se fait de la même manière que pour les bouchons gâchés en eau. De plus si la pénétration est jugée insuffisante, on pourra forcer la suspension de ciment dans la perte selon la technique de "l'esquiche hésitation" (squeeze hesitation). Le ciment trouvera ainsi un temps suffisant au contact de l'eau pour amorcer son hydratation. Toutefois, là encore, on ne dépassera pas la pression correspondant à une densité équivalente supérieure de 0.1 (10 points) à la densité de la boue.

Remarque:

Le traitement des pertes est une opération délicate. L'utilisation du ciment ne doit pas constituer une source de difficultés supplémentaires. Malgré l'utilisation de fluides intermédiaires (spacers) pour se prémunir des contaminations et malgré les tests effectués en laboratoire, un problème est toujours possible. Pour diminuer les risques de difficultés, le matériel tubulaire qui doit baigner dans les mélanges contenant du ciment sera reforable (fibre de verre ou aluminium).

Il arrive couramment que toute une série de bouchons soit nécessaire avant d'obtenir un résultat. On s'efforcera, dans la mesure du possible, de respecter l'attente pour séchage entre chaque opération. Cette attente peut être réduite par l'emploi d'un accélérateur (chlorure de calcium). Mais son utilisation exige une très grande prudence : en effet, la prise des échantillons prélevés en surface ne sera que rarement représentative de celle du matériau mis en place dans le puits, par suite de son inévitable contamination lors de son entrée dans la perte par la bentonite ou les polymères des bouchons colmatants formant l'assise.

Dans les cas où la perte ne se situe pas au bas du découvert, on peut être amené à mettre en place un bouchon visqueux qui occupera le volume situé entre le fond du puits et le niveau de la zone à pertes et empêchera le bouchon de ciment de basculer plus bas.

IV. Systèmes de mélange au fond:

Les systèmes mélangés au fond contiennent deux fluides ou plus qui, en faisant contact dans le découvert en face des zones à pertes, forment un bouchon visqueux ou précipitant qui étanche la zone. Il est pratiquement nécessaire d'éviter le mixage des fluides jusqu'à ce qu'ils soient devant la zone à perte par pompage d'un spacer ou par pompage d'un fluide par la garniture pendant que l'autre fluide est simultanément pompé par l'annulaire.

Ces systèmes ne conviennent pas avec les pertes totales où le taux de déplacement actuel n'est pas connu, du fait de la difficulté de contrôler le mixage des fluides. Pour les pertes Partielles, en utilisant un bouchon boue, diesel, oil, bentonite' (M-DOB) à la place des LCM. Les bouchons M-DOB sont d'une combinaison d'huile et de bentonite. Ces mélanges sont appelés des fois "gust plugs".

Quand ce mélange se met en contact avec l'eau ou avec une boue à base d'eau, une masse avec un gel élevé est formée. Des bouchons tendres, moyens ou durs peuvent être formés en contrôlant les propriétés des composants. Le laitier de D.O.B. est pompé à travers les tiges et la boue par l'annulaire. Les inconvénients des bouchons M-DOB sont :

- Dégradation avec le temps.
- Difficiles à appliquer pour les grands intervalles.
- Impossible d'atteindre le taux de pompage réel par l'annulaire donc le degré de mixage ne peut être contrôlé quand la perte est très sévère.
- Aucune contrainte de compression n'est développée.

Pour augmenter la contrainte du gel des bouchons M-DOB en mélangeant un polymère soluble dans l'eau avec la bentonite dans l'huile. Au contact de l'eau, le polymère s'hydrate et l'argile gonfle pour former un bouchon de dureté permanente comme du ciment.

Pour les pertes importantes, ils ont proposé une meilleure version (M-DOB2C). L'avantage de ce système est le développement des contraintes de compression. Les rapports de boue et DOB2C demandés pour produire des textures de densité variées sont présentés dans le tableau 11:

Boue	DOB2C	Densité
1	1	tendre
1	1,5	moyenne
1	2	mi-dure
1	2,5	dur
1	3	très dur

Tableau 11: Dureté de différentes compositions de boue avec DOB2C.

Plusieurs systèmes de mélange de fond sont utilisés avec la combinaison de deux ou plusieurs systèmes de mélange de surface pour éviter un bouchage effectif, par exemple un bouchon M-DOB peut être suivi par un bouchon de ciment pour améliorer sa contrainte d'une façon durable.

V. Bouchons à grand pouvoir déshydratant:

Ce sont des laitiers de colmatants légers qui, lorsque squeezés sous pression, perdent de l'eau rapidement laissant une épaisse matrice de solides dans la zone à pertes.

Cette méthode est particulièrement utile dans la prévention de l'extension des fractures naturelles et induites, le dépôt de solides empêche la transmission de la pression au fond de la fracture.

Parmi ces colmatants, on peut citer essentiellement :

1. Terre diatomée
2. Attapulгите.

La mise en place s'effectue sous squeeze sous pression. Le tableau 12 donne les valeurs de pression à appliquer en fonction de la profondeur.

Profondeur (ft)	Pression de squeeze (psi)
0 - 1000	50 - 200
1000 - 5000	100 - 500
> 5000	500

Tableau 12: Valeur recommandées de pression de squeeze en fonction de la profondeur.

V.1. Terre diatomée:**a. Description :**

C'est l'un des colmatants à grand pouvoir déshydratant à grande disponibilité. Il est essentiellement un mélange de terre diatomée. Il a un grand pouvoir de se déshydrater et de déposer une matrice solide aux abords des pertes. Parfois, du ciment est ajouté pour améliorer la résistance. L'ajout des colmatants granulaires tel que du carbonate du calcium est courant.

b. Utilisation:

- Fluide à base d'eau ou à base d'huile.
- Squeeze des pertes en trou ouvert.

c. Avantages:

- Donne de bons résultats dans les fractures induites par une boue de densité élevée.
- Usuellement compatible avec le fluide de forage.
- Possibilité de mélanger et de pomper des laitiers de densité jusqu'à 12 lb/gal.
- La prise est une déshydratation sous pression différentielle. Elle est indépendante de la température du fond.
- Possibilité d'ajouter des LCM au laitier.
- Possibilité d'ajouter du ciment pour développer une résistance élevée.

d. Inconvénients:

- Pour une performance optimale, le laitier doit être squeezé par paliers (squeeze avec hésitation) pour colmater graduellement les pertes.
- Faible résistance.

e. Recommandations au mixage:

- 1- Effectuer un test pilote. Le laitier doit perdre toute l'eau en 3 min en utilisant le filtre press API.
- 2- Nettoyer et isoler le bac de préparation.
- 3- Utiliser l'unité de cimentation et le batch mixeur pour préparer les petits volumes ou les laitiers lourds de densité supérieure à 12 lb/gal.
- 4- Utiliser un oil wetting surfactant (2 – 4 lb/bbl) pour diminuer la viscosité dans les laitiers alourdis à base d'huile.
- 5- De préférence, descendre et pomper à travers les tiges nues lorsque des colmatants LCM sont ajoutés au laitier.

f. Préparation:

- 1- Mélanger au moins 100 bbls (16 m³) de laitier. Il peut être recommandé de préparer suffisamment de bouchon pour couvrir toutes les zones à pertes. Un volume sera utilisé durant l'opération du squeeze.
- 2- Les laitiers légers peuvent être préparés dans les bacs à boue préalablement nettoyés. Le pompage peut se faire avec les pompes du chantier. Les laitiers alourdis requièrent l'utilisation d'une unité de cimentation et un bac mixeur. La densité du laitier doit être égale à la densité du fluide au moment de la survenue des pertes.
- 3- Il peut être utile d'ajouter 5 à 20 lb/bbl de LCM selon la sévérité des pertes.
- 4- Tester le laitier avant le pompage. Pour les formulations à base d'eau, l'eau doit être complètement chassée en deux minutes sous une pression de 100 psi en utilisant le filtre presse API. Pour les formulations à base d'huile, utiliser le filtre presse HPHT, le laitier doit perdre toute l'eau sous pression 200 psi en 2 à 3 minutes.

V.2. Attapulgite:**a. Description:**

Il s'agit d'un autre colmatant à pertes de grandes quantités de fluide. La capacité du laitier à perdre de l'eau sous pression permet de laisser un bouchon de solides dans les zones à pertes.

b. Utilisation:

Il est utilisé pour squeezer les pertes de boue à base d'eau. Contrairement à la terre diatomée, l'attapulgite peut être mixée uniquement avec l'eau.

c. Avantages:

- Disponibilité large du produit.
- Le laitier ne contamine pas la boue.
- Possibilité de mélanger et de pomper des laitiers de densité jusqu'à 12 lb/gal.
- La prise est une déshydratation sous pression différentielle. Elle est indépendante de la température du fond.
- Possibilité d'ajouter des LCM au laitier.

d. Inconvénients:

- Pour une performance optimale, le laitier doit être squeezé par paliers (squeeze avec hésitation) pour colmater graduellement les pertes.
- Faible résistance.

e. Recommandations de préparation:

- 1- Effectuer un test pilote sur filtre press API. L'eau doit être totalement chassée en 3 min sous une pression de 100 psi.
- 2- Mélanger au moins 100 bbls (16 m³) de laitier. Il peut être recommandé de préparer suffisamment de bouchon pour couvrir toutes les zones à pertes. Un volume sera utilisé durant l'opération du squeeze.
- 3- Les laitiers légers peuvent être préparés dans les bacs à boue préalablement nettoyés. Le pompage peut se faire avec les pompes du chantier. Les laitiers alourdis requièrent l'utilisation d'une unité de cimentation et un bac mixeur. La densité du laitier doit être égale à la densité du fluide au moment de la survenue des pertes.
- 4- Il peut être utile d'ajouter 5 à 20 lb/bbl de LCM selon la sévérité des pertes.

f. Préparation:

La procédure générale est identique à celle du laitier de terre diatomée. Dans le cas d'attapulгите, les colmatants sont de préférence fins à moyens. Ne pas employer les colmatants fibreux.

g. Squeeze avec hésitation des bouchons déshydratants:

- 1- Se dégager du fond ou positionner l'outil au-dessus de la zone à pertes.
- 2- Pomper avec un débit d'environ 2 bbl/min. Chasser avec le fluide de forage.
- 3- Remonter jusqu'au sabot. Remplir le puits par l'annulaire jusqu'au fill line up.
- 4- Si le puits ne se remplit pas, préparer un deuxième laitier. Dans le cas d'utilisation de tiges nues, il est préconiser d'ajouter des colmatants grossiers.
- 5- Lorsque le puits est plein, fermer l'obturateur sur tiges et pomper avec un débit compris entre 1/4 bbl/min à 1/2 bbl/min. Arrêter le pompage 10 à 15 minutes lorsque la pression atteint 50 psi.
- 6- Reprendre la montée en pression par paliers jusqu'à 200 -500 psi. Pour les valeurs exactes, se reporter au tableau 12, la pression finale du squeeze ne doit pas dépasser la pression de fracturation de la zone la plus fragile du découvert.

- 7- Lorsque la pression désirée est atteinte, ferme le puits et attendre environ 2 heures. Noter l'évolution des pressions.
- 8- Purger lentement la pression annulaire.
- 9- Circuler et conditionner la boue avant de redescendre la garniture au fond.
- 10- Descendre avec circulation et refoyer prudemment.
- 11- Si des zones à pertes sont anticipées, utiliser des duses de grands diamètres pour permettre le passage des colmatants LCM.

VI. Raisons de l'échec du traitement:

Le traitement des pertes de circulation est inapproprié dans bon nombres de cas, les pertes persistent même après plusieurs tentatives de traitement. Les principales raisons de l'échec du colmatage des zones à pertes sont :

- 1- Mauvaise estimation de la cote de la zone à pertes. Les bouchons pompés n'atteignent pas la formation à pertes ou sont dilués au-dessous. Les pertes par fracturation induite sont en général situées, non au fond du puits, mais au niveau de la formation fragile au-dessous du sabot. Lorsque les traitements s'avèrent inefficaces et la zone à pertes mal identifiée, il est préconisé de descendre une diaggraphie de localisation.
- 2- Les méthodes et techniques ne conviennent pas au type, nature et sévérité de la perte.
- 3- Dans le cas d'existence de puits voisins, des enregistrements de mauvaise qualité engendreront la survenance des mêmes problèmes dans les futurs puits.
- 4- Contamination du laitier par la boue de forage. Il est conseillé d'utiliser les colonnes équilibrées et des laitiers spéciaux en cas de risque de contamination du laitier par la boue ou les fluides de formation.
- 5- La pression de squeeze est trop grande. Des fractures peuvent être induites dans les formations fragiles. La pression de surface ajoutée à la colonne hydrostatique de la boue ne doit pas dépasser 1 psi/ft.
- 6- Débits de pompage mal adapté à la nature du laitier. Dans les systèmes de mixage de fond, le débit d'injection est un facteur clé de la réussite de l'opération.

Chapitre V:

**Etude du cas des pertes
totales de circulation au
niveau du lias carbonaté
lors du forage du puits
HDB-1, analyse et
interprétation des résultats**

Introduction:

Après avoir effectué la cimentation de la phase 16" par un laitier de ciment de densité 1.9 sg, et la vérification de l'adhérence du ciment au tubage et aux formations géologiques par le biais des enregistrements CBL et VDL, la décision de la reprise des opérations de forage a été prise par l'ensemble du personnel, et l'enchaînement des opérations effectuées sur chantier est décrit comme suit :

- Préparation de la boue de forage programmée pour le forage de la phase 12^{1/4} ".
- Descente de la garniture du forage avec l'outil prévu pour l'opération du forage.
- Forage d'un tronçon de 63 m de la profondeur 1612 m (cote du sabot 13^{3/8}") jusqu'à la profondeur 1675 m **sans aucun problème.**
- Forage d'un tronçon de 2 m de la profondeur 1675 m jusqu'à 1677 avec une **perte totale et sans retour de boue en surface.**
- L'analyse des cutings par l'équipe de géologie confirme les formations traversées comme suit :
 - Lias marneux : de 1618 m jusqu'à 1625 m.
 - Lias carbonaté : de 1625m jusqu'à 1675 m.

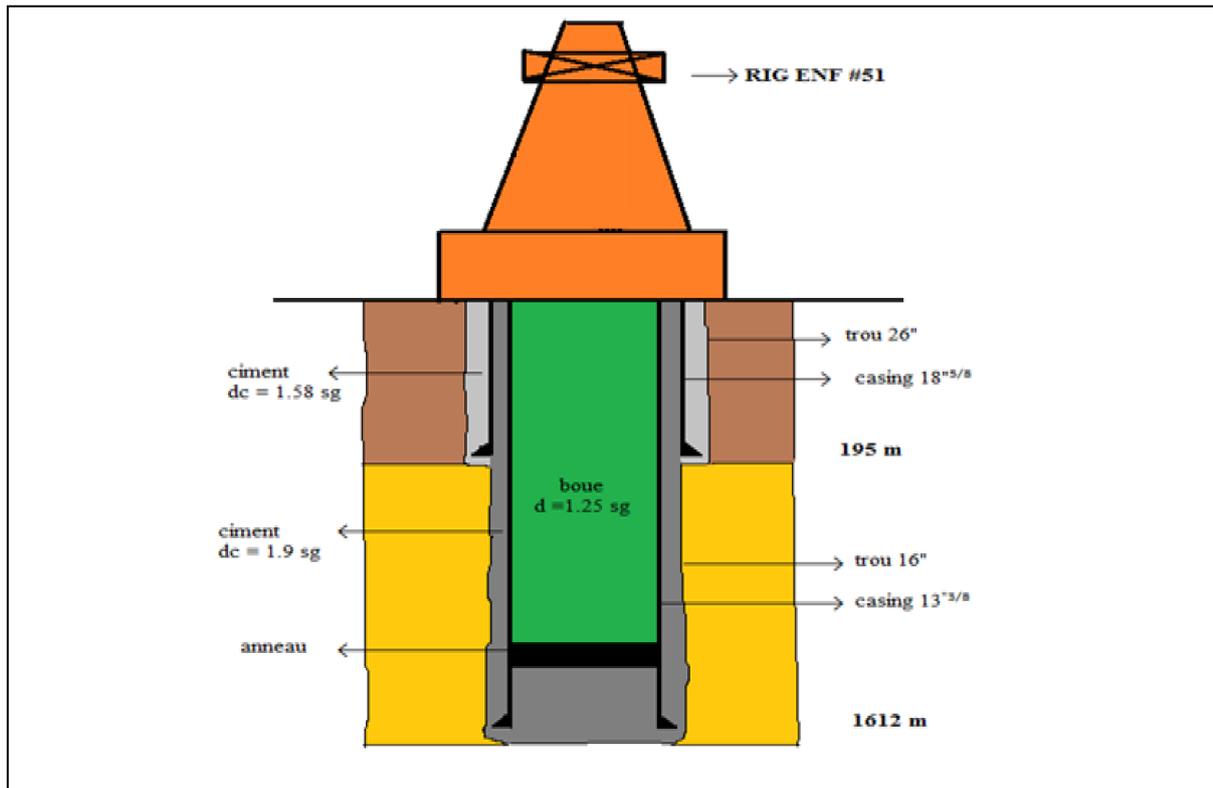
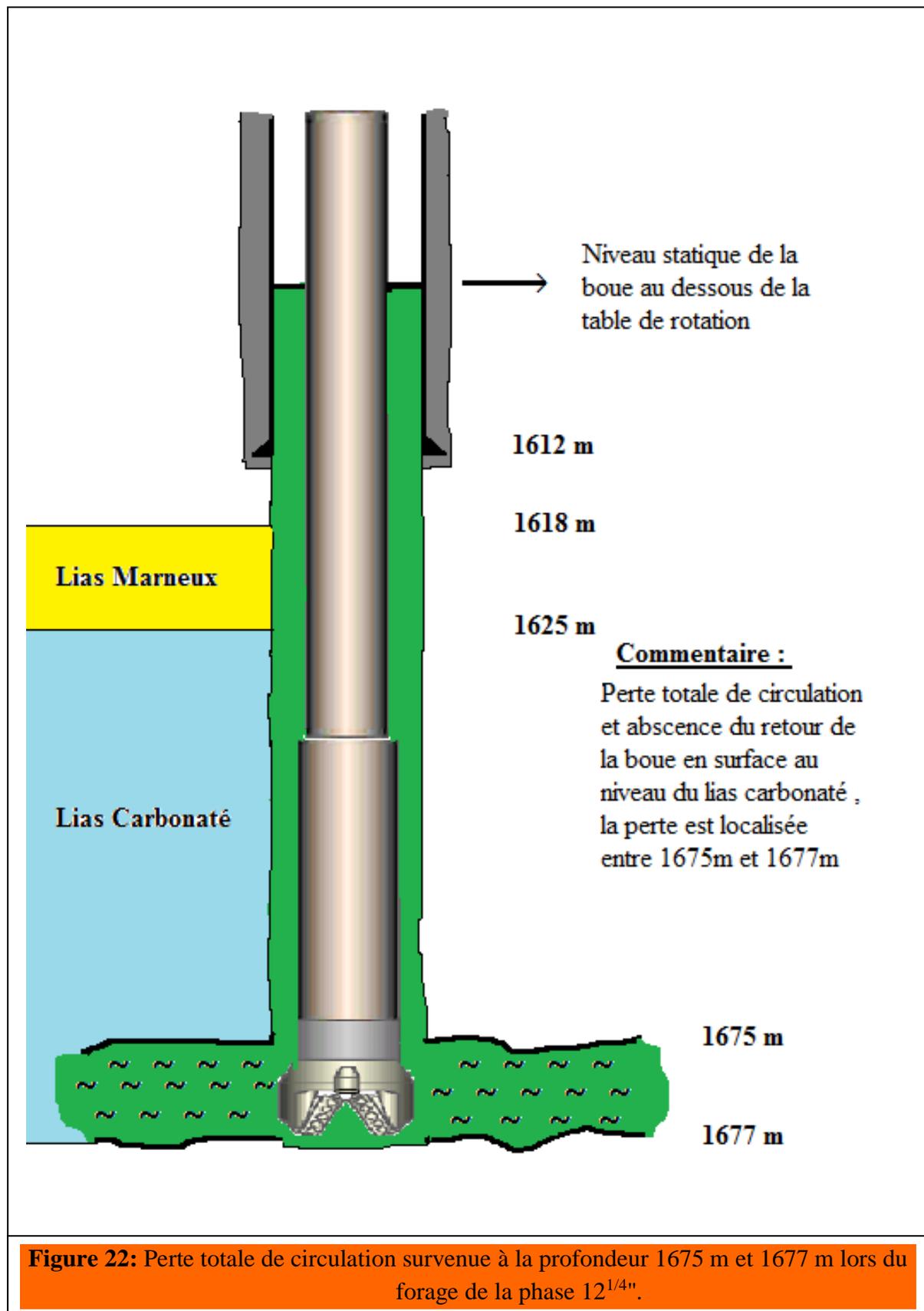


Figure 21: Fin de l'opération de cimentation de la phase 16 " et préparation pour la reprise des opérations pour le forage de la phase suivante 12^{1/4}".



I. Identification de la cause de la perte:

I.1 Rappel sur les prévisions litho-stratigraphiques:

La profondeur de la perte est située sur un tronçon de 2 m de profondeur entre 1675 m et 1677 m, est d'après le rapport d'implantation du puits HDB-1, cette formation géologique est appelée **Lias Carbonaté**, est connu par ses caractéristiques suivantes :

- Présence de dolomie, calcaire, beige à gris beige et gris blanc, microcristalline, moyennement dure avec fines intercalations d'argile gris vert à grise, brune, carbonatée, tendre à indurée.
- Le lias carbonaté est une formation géologique naturellement fracturée, donc il faut s'attendre à des problèmes de perte de boue lors de son forage.

I.2 Les problèmes rencontrés au niveau du Lias Carbonaté lors du forage des puits voisins:

Le puits	La date	Programme de tubage	Programme de boue	Problèmes rencontrés et leurs solutions
MJR-1	06/02/2017	13"3/8 - 68# - N80 BTC à 1624m	Boue à base d'huile, d= 1.25	<p>- Le problème : Perte totale de boue lors du forage de la phase 16" avec l'outil TFF913 NOV, a la profondeur 1704 m au niveau de la formation Lias Carbonaté.</p> <p>- La cause : Naturelle, due à l'existence des fractures au niveau des formations carbonatées.</p> <p>- La solution : Pompage de 15 m³ de bouchon de ciment de densité 1.9 sg.</p>
CEN-1	10/01/2016	13"3/8 - 68# - N80 BTC à 1717m	Boue à base d'huile d=1.25	<p>- Le problème : Perte partielle de boue (3 m³) lors du forage de la phase 16 " avec l'outil NOV TFF913S, a la profondeur 1586 m au niveau de la formation Lias Carbonaté.</p> <p>- La cause : Naturelle, due à l'existence des fractures u niveau des formations carbonatées.</p> <p>- La solution : Continuer le forage jusqu'au retour de la boue en surface, le volume de boue totale perdu 8m³.</p>

Tableau 13: Les problèmes rencontrés au niveau du lias carbonaté lors du forage des puits voisins. (Source : Programme de forage du puits HDB-1).

Conclusion:

D'après les informations acquises par la description stratigraphique du Lias Carbonaté basée sur le rapport d'implantation du puits HDB-1, et les problèmes de pertes de boue survenus lors du forage des puits voisins, on peut dire que la perte de circulation dans notre cas est une **perte naturelle** dû à l'existence des fractures au niveau de la formation Lias Carbonaté.

Commentaire:

Le problème est connu, la cause et la zone de perte sont identifiées, maintenant il faut se préparer pour résoudre le problème est reprendre les opérations de la réalisation du puits HDB-1, cela par l'équipe sur chantier on prévues le :

- **Pompage des bouchons de ciment.**
- **Pompage des bouchons colmatants.**

Dans le but de boucher les fractures existantes dans la formation géologique traversées.

II. Déroulement des opérations de traitement des pertes totales sur chantier:

Après l'identification de la zone de perte, il est impératif de réagir efficacement pour remédier à ce problème, les différentes opérations effectuées sur chantier par ordre chronologique sont comme suit :

- Remonter la garniture de forage de la phase 12^{1/4"} en surface.
- Descendre dans le puits la tige nue 3^{1/2"} jusqu'au sabot (1612 m).
- Attendre l'arrivée de la tête et les équipements de cimentation ainsi l'ensemble du personnel de service de la société Schlumberger sur chantier.
- Continuer d'introduire la tige 3^{1/2"} jusqu'à la profondeur 1667 m.
- Placer la tête et l'ensemble des équipements de cimentation.
- Taster la ligne de cimentation (3000psi), ok.
- Attendre le mixage et la préparation du bouchon de ciment.

II.1. Propriétés et composition des bouchons de ciments utilisés:

➤ La consistance:

L'étude de la consistance du laitier utilisé pour la préparation des bouchons de ciment consiste à étudier et à déterminer le temps au bout duquel le durcissement du ciment commence en fonction du temps après son pompage et de la température de la formation.

Le graphe suivant montre la consistance du laitier utilisé pour la préparation des bouchons de ciment en fonction de la température et du temps.

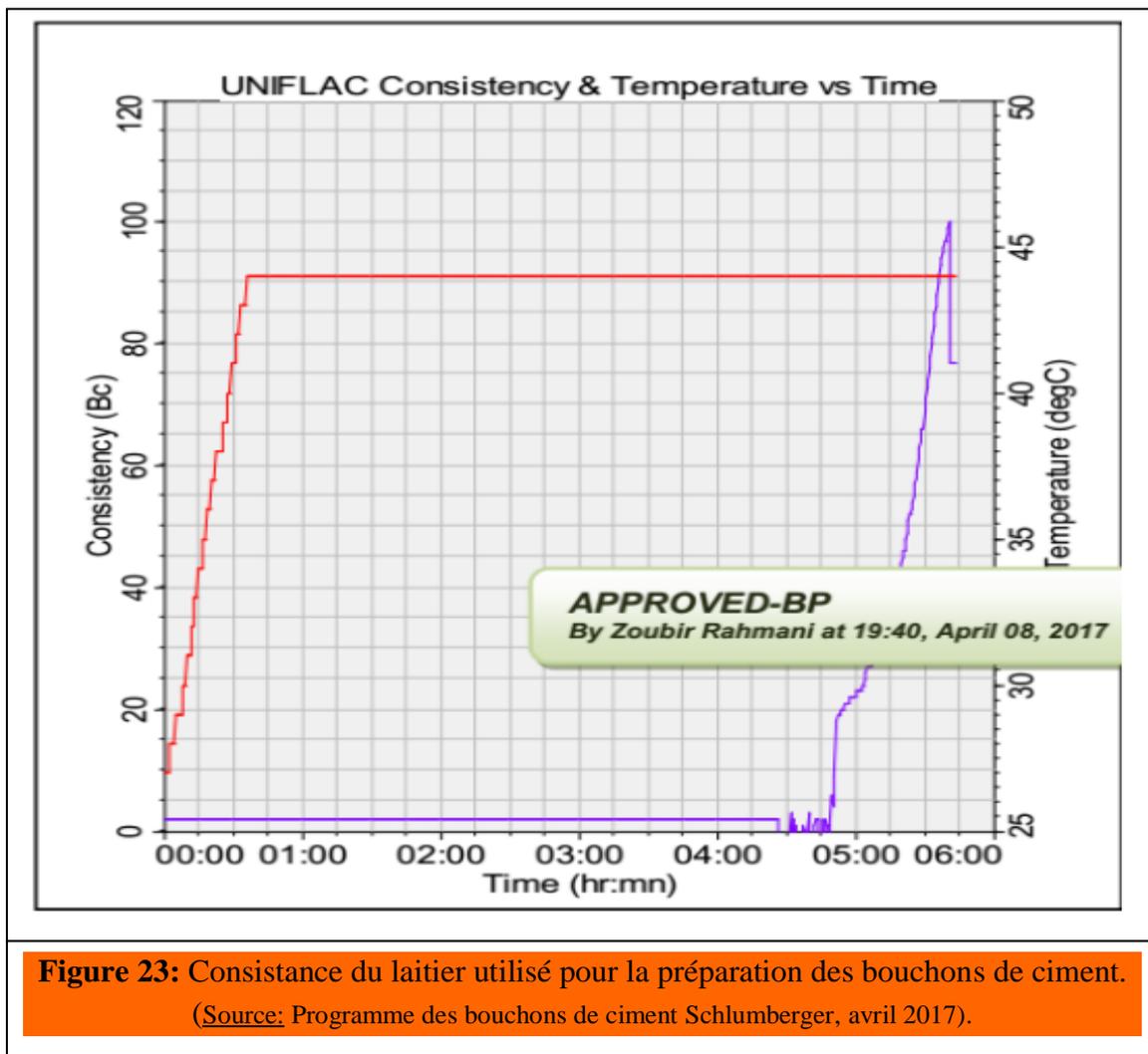


Figure 23: Consistance du laitier utilisé pour la préparation des bouchons de ciment.
(Source: Programme des bouchons de ciment Schlumberger, avril 2017).

➤ **Composition typique des bouchons de ciment:**

Le tableau suivant montre une composition typique des bouchons de ciment utilisés pour le bouchage des fractures et la résolution du problème de la perte au niveau du puits HDB-1.

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	Poids du ciment en tonnes
Fluide de base	Eau fraîche	436.83 L/tonne
Antifoam	D 047	1 L/ tonne
Fluidloss	D 167	0.2 %
Saltbond II	D 065 A	0.2 %
Retardateur de prise	D 198	0.05 %
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne	

Tableau 14: Composition typique des bouchons de ciment.
(Source : Programme des bouchons de ciment Schlumberger, avril 2017).

➤ **La procédure de calcul de la composition des bouchons de ciment utilisés:**

- **Le poids du ciment sec (tonne)** = volume du laitier de ciment / la yield.
- **Le volume d'eau (L)** = poids du ciment x le volume d'eau par une tonne.
- **Antifoam(L/ tonne)** = 0.2 % x le volume du laitier de ciment.
- **Fluidloss (L)** = 0.2 % x le volume du laitier de ciment.
- **Saltbond II(L)**=0.2 % x le volume du laitier de ciment.
- **Retardateur de prise (L)** = 0.05 % x le volume du laitier de ciment.

II.2. Pompage du premier bouchon de ciment:

- Pomper 6.35 m³ de spacer d'une densité 1.32 sg pour séparer la boue et le ciment.
- Pomper un bouchon de ciment de 8 m³ d'une densité de 1.9sg et le posera la profondeur 1677m.
- Pomper 0.65 m³ de spacer 1.32 sg.
- Chasser avec 77 bbl de boue.

➤ **Composition du premier bouchon de ciment:**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	10.54823 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	436.83 L/tonne
Antifoam	D 047	10.54823 L
Fluidloss	D 167	16 L
Saltbond II	D 065 A	16L
Retardateur de prise	D 198	4 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne	

Tableau 15: Composition du premier bouchon de ciment.

➤ **Les données nécessaires pour le calcul de la hauteur du bouchon de ciment dans le puits:**

- **Caractéristiques des tiges de forage 3^{1/2}"** : Classe G, #13.3 lb/ft = 21.98 kg/m, $D_{ext} = 3^{1/2}$ "

$$D_{int} = 2^{1/4}" , V_{acier} = 2.79 \text{ l/m}, Cap_{int} = 3.82 \text{ l/m}.$$

- **Caractéristiques du tubage 13^{3/8}"** : N80, # 68 lb/ft, BTC.

- **Capacité du trou 12^{1/4}"** = 76.04 l/m.

- **Capacité** $_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} = 71.6 \text{ l/m}$. (EA : espace annulaire).

- **Capacité** $_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} = 69.5 \text{ l/m}$.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du premier bouchon de ciment:**

$$\text{On 'a: } VC = VC_d + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} + VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')}.$$

$$\text{D'ou: } VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} = VC - (VC_d + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} = 3207 \text{ L}$$

$$PTC = \text{Cote sabot } 13^{3/8}" - (VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} / (Cap_{int} 3^{1/2}" + Cap_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})) = 1569 \text{ m}.$$

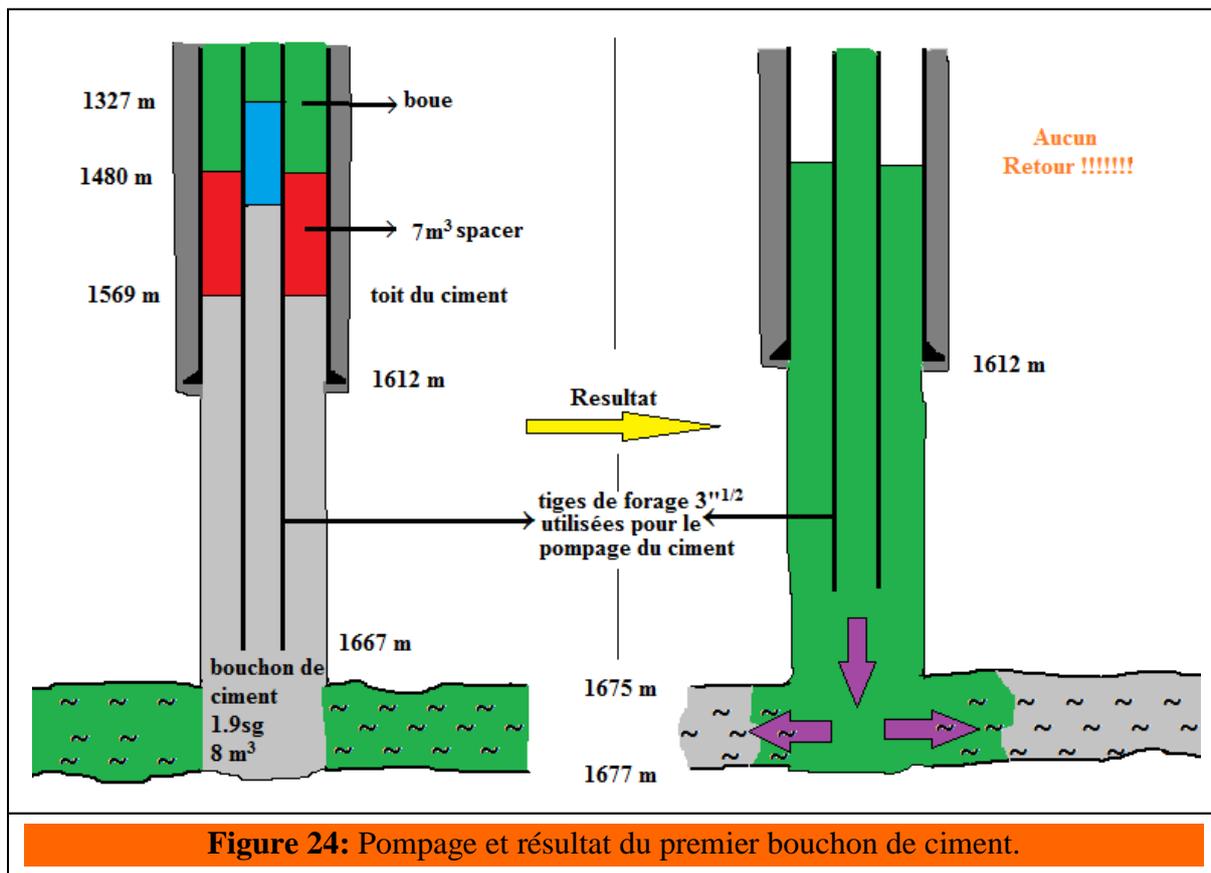
VC = volume du bouchon de ciment/ VC_d = volume du ciment dans le découvert/

$VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} =$ volume du ciment dans l'espace annulaire $(12^{1/4}"/3^{1/2}')$

$VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} =$ volume du ciment dans l'espace annulaire $(13^{3/8}"/3^{1/2}')$

PTC = profondeur du toit de ciment.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du premier bouchon de ciment:**



Interprétation du résultat:

➤ Les 8m³ de ciment sont enfuit et rentrés dans les fractures de la formation lors de la chasse. Aucun retour de boue en surface, problème non résolu.

- Remonter la tige de forage 3^{1/2}" jusqu'à 1450 m.
- Circulation de boue : **Aucun retour.**
- Continuer à remonter les tiges de forage 3^{1/2}" jusqu'à la surface.
- Introduire dans le puits le BHA sans stabilisateurs jusqu'au fond.
- Descendre de 1450m jusqu'à 1677m avec circulation sans retour pour nettoyer le puits.
- Toucher le fond à 1677m de profondeur, **sans retour de boue** en surface.
- Remonter la BHA sans stabilisateurs jusqu'à la surface.

- Introduire dans le puits tige de forage 3^{1/2}".

- Prévoir le pompage d'un bouchon LCM.

II.3. Pompage du premier bouchon LCM d'un volume de 10 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

➤ **Tableau typique de composition des bouchons LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	2500
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	640
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	640
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	500
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	500

Tableau 16: Composition du premier bouchon LCM.

(Source : Programme de fabrication des bouchons LCM, BASP, avril 2017).

Interprétation du résultat:

➤ Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.

- Prévoir le pompage d'un deuxième bouchon de ciment.

- Monter la tête et équipements de cimentation.

- Tester la ligne de cimentation a 3000 psi, ok.

II.4. Pompage du deuxième bouchon de ciment:

- Pomper 6.35 m³ de spacer d'une densité de 1.32 sg.

- Pomper un bouchon de ciment de 12 m³ de volume et de 1.9 sg de densité et le posé a la profondeur 1677m.

- Pomper 0.65 m³ de spacer d'une densité de 1.32 sg, pour balancer le bouchon de ciment.

- Chasser avec 12.5 m³ de boue de densité 1.00 sg.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du deuxième bouchon de ciment:**

On a: $VC = VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} + VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')}$

D'ou: $VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} = VC - (VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')}) = 7204 \text{ L}$.

$PTC = \text{Cote sabot } 13^{3/8} - (VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} / (\text{Cap}_{int 3^{1/2}"} + \text{Cap}_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})) = 1516 \text{ m}$.

➤ **Composition du deuxième bouchon de ciment:**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	15.523 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	436.83 L/tonne
Antifoam	D 047	15.523 L
Fluidloss	D 167	24 L
Saltbond II	D 065 A	24L
Retardateur de prise	D 198	6 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne	

Tableau 17: Composition du deuxième bouchon de ciment.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du premier bouchon de ciment:**

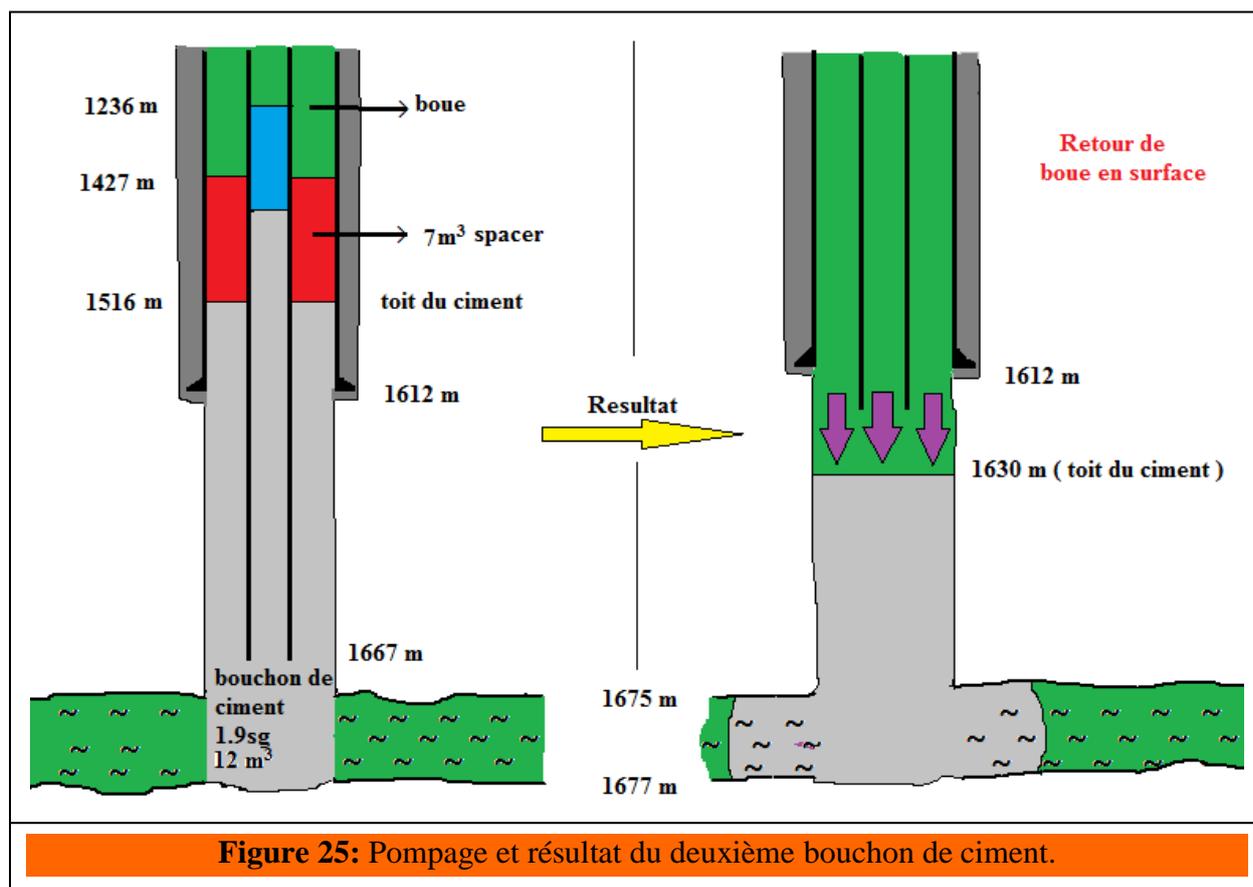


Figure 25: Pompage et résultat du deuxième bouchon de ciment.

- **Aucun retour de boue en surface.**
- Remonter les tiges 3^{1/2}".
- Remonter 3 longueurs en dessus du top théorique du ciment.
- Circulation : **Aucun retour.**
- Démonter Descendre la tête de cimentation.
- remonter l'ensemble des tiges 3^{1/2}".
- Introduire de le puits la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs jusqu'à 1630 m de profondeur.
- Remplir chaque cinq longueur descendue avec la boue à base de bentonite.
- Descendre avec circulation de 1420 m jusqu'à 1630 m.
- Toucher le toit du ciment à la profondeur 1630 m en posant un poids de 5 tonnes.
- **Avoir un retour de boue en surface** après pompage de 15 m³ de boue à base de bentonite.

Interprétation du résultat:

Le deuxième bouchon de ciment pompé est réparti comme suit :

- Un volume de 3574 m³ est resté dans le puits entre 1630m et 1677m.
- Un volume de 8426 m³ est rentré dans la formation, ce qui a permis de boucher partiellement et temporairement la perte, et avoir un retour de boue en surface.
- Forer le bouchon de ciment.
- Avoir une **Perte totale de circulation** entre 1676m et 1677m, **Aucun retour de boue en surface.**
- Forage de la suite de la section du puits 12^{1/4}" avec une boue à base d'eau, travailler avec la perte de boue et sans retour jusqu'à la profondeur 1741m, **cette technique est appelée forage à l'eau sans retour.**

Technique de forage à l'eau claire sans retour:

Le forage à l'eau permet de traverser la zone à pertes fragile jusqu'à l'entrée d'une formation résistante. Un traitement adéquat est appliqué à toute la zone à pertes. Cette technique présente l'avantage de réduire le temps non productif dû aux arrêts de forage pour colmater les pertes, les manœuvres nécessaires pour poser un bouchon de ciment et le temps d'attente pour prise de ciment avant reforage. Elle réduit aussi le coût des produits LCM et ciment à utiliser.

Cette solution nécessite une bonne planification. Elle présente les inconvénients suivants:

- ❖ Risque majeur de venue des fluides des formations.
- ❖ Problèmes d'instabilité des parois du puits et de coincement de la garniture.
- ❖ Nécessité d'approvisionnement de grande quantité d'eau : de l'eau est refoulée par une pompe à l'intérieur de la garniture et par une autre par l'espace annulaire pour assurer une certaine pression hydrostatique et amener les déblais à pénétrer dans la zone à pertes.
- ❖ Nécessité d'avoir de réserves de boue à haute viscosité (bouchon HI-VIS) pour évacuer les cuttings de l'outil de forage et de la BHA.

Ensuite:

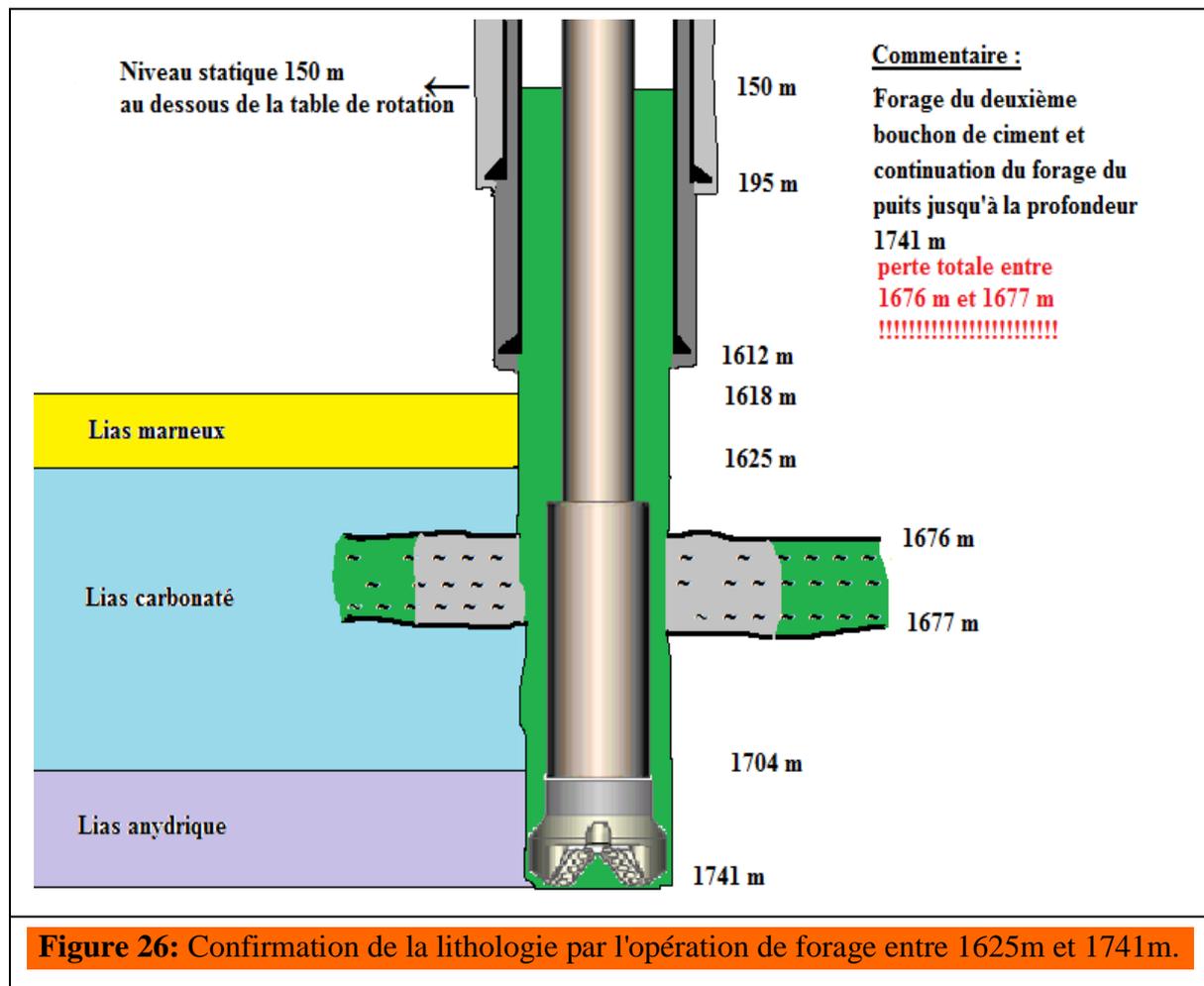
- Remonter la BHA 12^{1/4}" jusqu'au sabot du tubage 13^{3/8}" à 1612m.
- Attendre le remplissage des bacs d'eau

➤ Les paramètres du forage de cette section sont:

WOB = 5 - 15 tonnes, RPM = 100 - 130 tr/min, Q= 2400 l/min, SPP = 350 psi,
Torque = 2500 - 12500 lb.ft

➤ Confirmation des formations lithologiques traversées par le forage comme suit:

- Lias carbonaté : de 1625 m jusqu'à 1704 m.
- Lias anhydrique : de 1704 m jusqu'à 1741 m.



- Remonter la garniture du forage du trou 12^{1/4}" jusqu'à le sabot de tubage précédent à 1612m.
- La vitesse de remontée (500 m/h).
- Niveau statique de la boue a 150 m au-dessous de la table de rotation.
- Remonter la garniture du forage du trou 12^{1/4}" jusqu'à la surface.
- Descendre les tiges 3^{1/2}" dans le puits, la vitesse de descente est de (400 m/ h).
- **Pomper 4 m³ d'un bouchon à haute viscosité**, et le déplacer avec 14.5 m³de boue à base d'eau.

II.5. Pompage du deuxième bouchon LCM d'un volume de 10 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

➤ **Tableau de composition du deuxième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	2500
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	640
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	640
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	500
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	500

Tableau 18: Composition du deuxième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

➤ Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.

-Prévoir le pompage d'un troisième bouchon de ciment.

- Monter la tête et équipements de cimentation.

- Tester la ligne de cimentation a 3000 psi, ok.

II.6. Pompage du troisième bouchon de ciment:

- Pomper 7 m³ de spacer d'une densité de 1.00 sg (eau fraiche).

- Pomper un bouchon de ciment de 15 m³ de volume et de 1.9 sg de densité et le posé a la profondeur 1677m.

-Pomper 1 m³ de spacer d'une densité de 1.00 sg (eau fraiche), pour balancer le bouchon de ciment.

- Chasser avec 11.42 m³ de boue de densité 1.00 sg.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du troisième bouchon de ciment :**

$$\text{On 'a: } VC = VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}/3^{1/2})} + VC_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})}$$

$$\text{D'ou : } VC_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})} = VC - (VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}/3^{1/2})}) = 10207 \text{ L.}$$

$$\text{PTC} = \text{Cote sabot } 13^{3/8} - (VC_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})} / (\text{Cap}_{\text{int } 3^{1/2}} + \text{Cap}_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})})) = 1476 \text{ m.}$$

➤ **Composition du troisième bouchon de ciment :**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	19.778 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	436.83 L/tonne
Antifoam	D 047	19.778 L
Fluidloss	D 167	30 L
Saltbond II	D 065 A	30 L
Retardateur de prise	D 198	7.5 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne	

Tableau 19: Composition du troisième bouchon de ciment.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du troisième bouchon de ciment :**

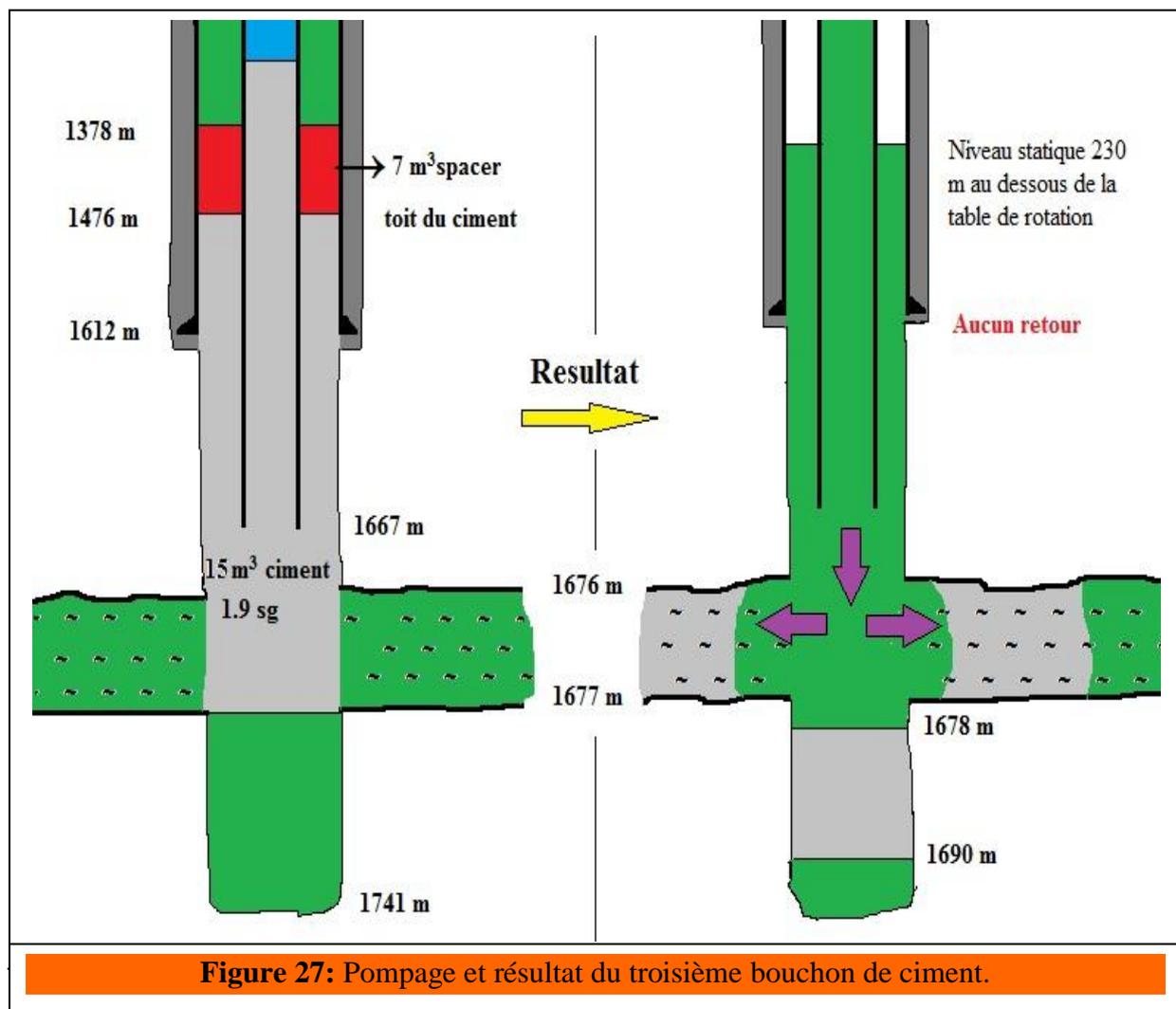


Figure 27: Pompage et résultat du troisième bouchon de ciment.

Interprétation du résultat:

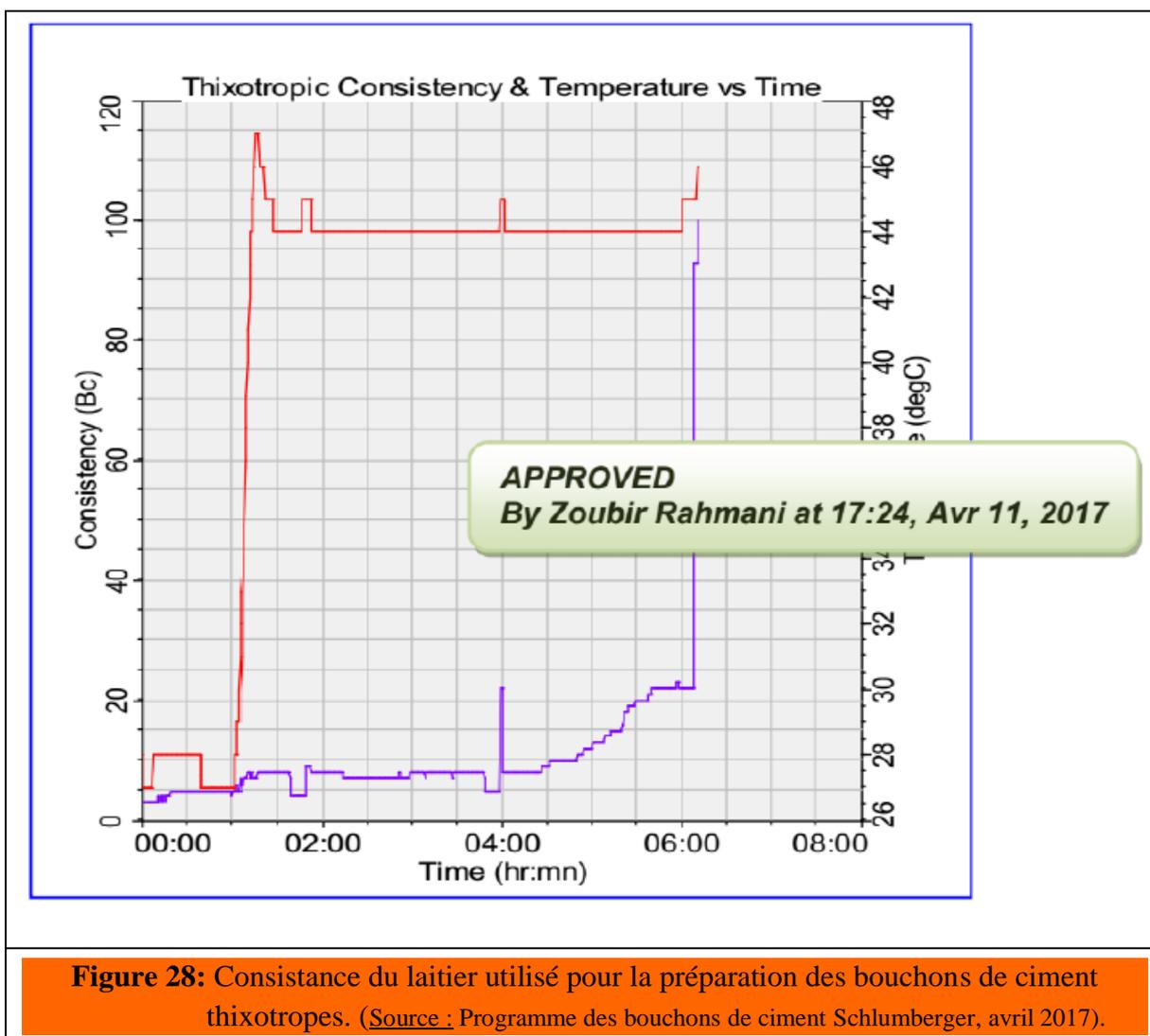
Les 15 m³ du ciment pompés sont repartis comme suit :

- 913 L du ciment a été durcit entre les profondeurs 1678m et 1690m.
- 14087 L du ciment sont rentrés dans les fractures de la formation carbonatée sans pouvoir les boucher.
- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à 100 m au-dessus du top théorique du ciment.
- Niveau statique à 230m au-dessous de la table de rotation.
- Circuler pour nettoyer les tiges, Q = 1000 l/min, et SPP = 120 psi.
- **Aucun retour de boue en surface.**
- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à la surface avec une vitesse de remontée de 500 m/h.
- Descendre la BHA sans stabilisateurs et circuler pour nettoyer de 1372m jusqu'à 1678m.
- Toucher le ciment en posant 5 tonnes de poids à 1678m, le ciment n'a pas encore durcit.
- Dégager la BHA sans stabilisateurs du fond.
- Attendre la prise du ciment.
- Redescendre la BHA jusqu'à 1678m et toucher le toit du ciment dur en posant 10 tonnes.
- Forer le ciment de 1678 m jusqu'à 1690m.
- **Aucun retour de boue en surface.**
- Remonter la BHA sans stabilisateurs en surface.
- Prévoir la mise en place d'un quatrième bouchon de ciment (**thixotrope**).
- Descendre les tiges 3^{1/2}" pour le pompage du ciment.
- Monter la tête et les équipements de cimentation.
- Tester la ligne de cimentation jusqu'à une pression de 3000 psi, ok.

II.7. Propriétés et composition des bouchons de ciments thixotropes utilisés:**➤ La consistance:**

L'étude de la consistance du laitier utilisé pour la préparation des bouchons de ciment thixotrope consiste à étudier et à déterminer le temps au bout duquel le durcissement du ciment commence en fonction du temps et de la température de la formation.

Le graphe suivant montre la consistance du laitier utilisé pour la préparation des bouchons de ciment thixotrope en fonction de la température et du temps.



➤ **Composition typique des bouchons de ciment thixotropes:**

Le tableau suivant montre une composition typique des bouchons de ciment thixotropes utilisés le bouchage des fractures et la résolution du problème de la perte au niveau du puits HDB-1.

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G-L	Poids du ciment en tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	607.69 L/tonne
Antifoam	D 047	2 L/ tonne
Thixotrope	D 111	50 L/tonne
Retardateur de prise	D 110	17L/tonne
Le rapport (volume/poids) du ciment.	994.1470 L/tonne	

Tableau 20 : Composition typique des bouchons de ciment thixotropes.

(Source : Programme des bouchons de ciment Schlumberger, avril 2017).

➤ **La procédure de calcul de la composition des bouchons de ciment thixotropes utilisés:**

- **Le poids du ciment sec (tonne)** = volume du laitier de ciment / la yield .
- **Le volume d'eau (L)** = poids du ciment x le volume d'eau par une tonne.
- **Antifoam(L/ tonne)** = 2 L x poids du ciment sec.
- **Thixotrope (L)** = 50 L x poids du ciment sec.
- **Retardateur de prise (L)** = 17 L x poids du ciment sec.

II.8. Pompage du quatrième bouchon de ciment (thixotrope):

- Pomper 7 m³ d'un spacer d'une densité de 1.00 sg.
- Pomper un bouchon de ciment thixotrope de 15 m³ de volume et d'une densité de 1.7 sg et le posé à la profondeur 1741m.
- Pomper 1 m³ de spacer de densité 1.00 sg (eau fraiche) pour balancer le bouchon de ciment.
- Chasser avec 12.42 m³ de boue d'une densité de 1.00sg.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du quatrième bouchon de ciment (thixotrope):**

$$\text{On 'a: VC} = \text{VC}_{d+} + \text{VC}_{\text{EA}(12^{1/4''}/3^{1/2''})} + \text{VC}_{\text{EA}(13^{3/8''}/3^{1/2''})}$$

$$\text{D'ou : VC}_{\text{EA}(13^{3/8''}/3^{1/2''})} = \text{VC} - (\text{VC}_{d+} + \text{VC}_{\text{EA}(12^{1/4''}/3^{1/2''})}) = 6247.72 \text{ L.}$$

$$\text{PTC} = \text{Cote sabot } 13^{3/8''} - (\text{VC}_{\text{EA}(13^{3/8''}/3^{1/2''})}) / (\text{Cap}_{\text{int } 3^{1/2''}} + \text{Cap}_{\text{EA}(13^{3/8''}/3^{1/2''})}) = 1529 \text{ m.}$$

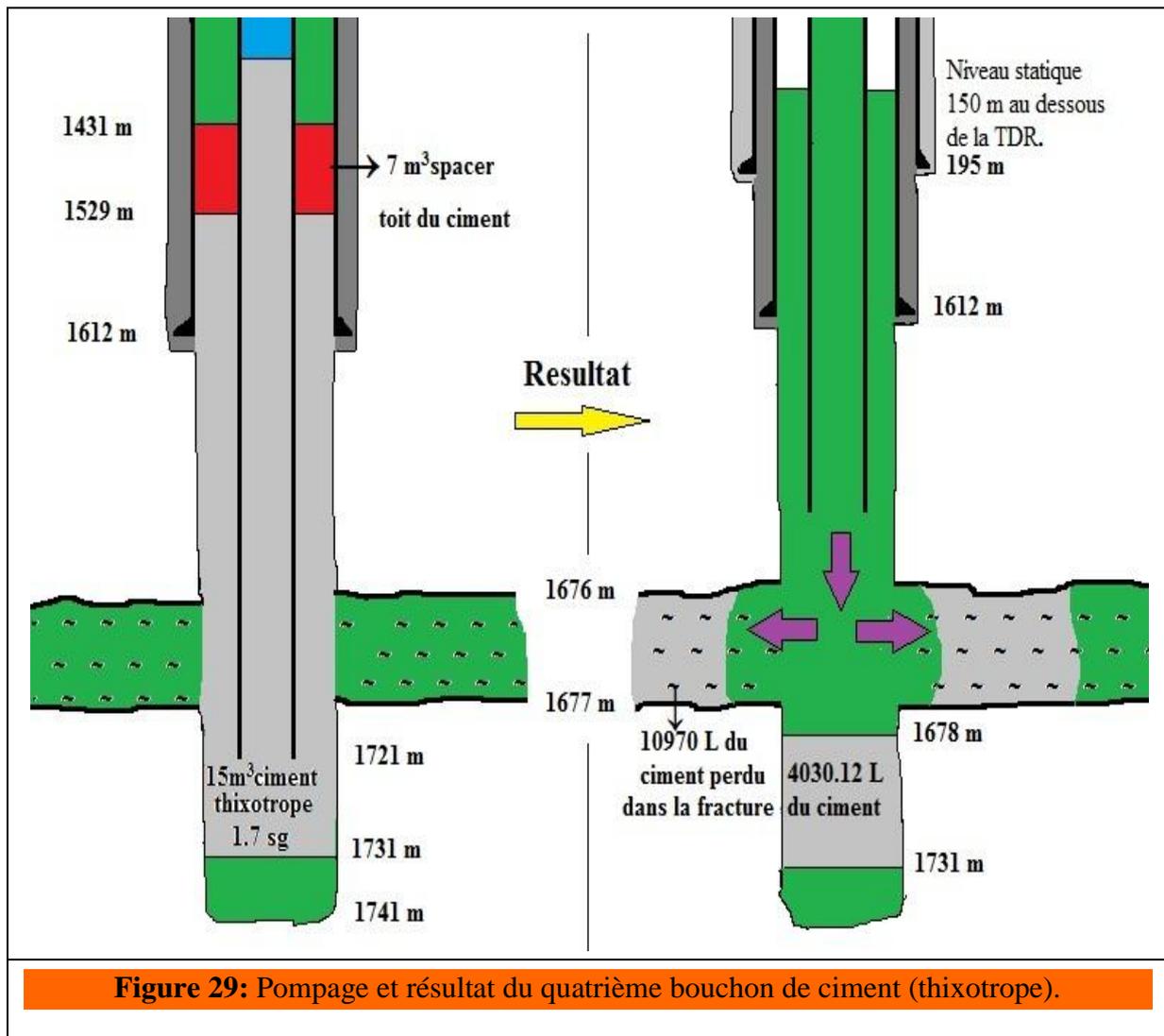
➤ **Composition du quatrième bouchon de ciment:**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G- L	15.089 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	9169.02 L
Antifoam	D 047	30.178 L
Thixotrope	D 111	754.45 L
Retardateur de prise	D 110	256.513 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	994.1470 L/tonne	

Tableau 21: Composition du quatrième bouchon de ciment (thixotrope).

- **Aucun retour de boue en surface.**
- Remonter 10 longueurs des tiges 3^{1/2''} au-dessus du toit théorique du ciment.
- Niveau statique de la boue a 150 m au-dessous de la table de rotation.
- Circuler pour nettoyer les tiges 3^{1/2''}.
- Remonter les tiges 3^{1/2''} jusqu'à la surface avec une vitesse de remonter de 500 m/h.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du quatrième bouchon de ciment:**



Interprétation du résultat:

Les 15 m³ du ciment pompés sont repartis comme suit :

- 4030 L du ciment sont durcis entre les profondeurs 1678m et 1731m.
- 10970 L du ciment sont rentrés dans les fractures de la formation carbonatée sans pouvoir les boucher.
- Les pertes sont persistantes, et le problème n'est pas encore résolu.
 - Descendre dans le puits la BHA sans stabilisateurs jusqu'à la profondeur 1400 m avec une vitesse de descente de 400 m/h.
 - Continuer à descendre avec circulation de 1400m jusqu'à 1678m pour nettoyer.
 - Toucher le toit du ciment en posant 8 tonnes à 1678m.

- Remonter la BHA sans stabilisateurs jusqu'à la surface.
- Descendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'au fond et prévoir le pompage d'un troisième bouchon LCM.

II.9. Pompage du troisième bouchon LCM d'un volume de 8 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

- Déplacer le bouchon avec 15.5 m³ de boue à base d'eau.

➤ **Tableau de composition du troisième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	2000
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	512
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	512
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	400
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	400

Tableau 22 : Composition du troisième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

- Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.
- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'au sabot de tubage 13^{3/8}".
- Circuler avec un débit Q= 200 L/min.
- **Aucun retour.**
- Redescendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'au fond et prévoir le pompage d'un quatrième bouchon LCM.

II.10. Pompage du quatrième bouchon LCM d'un volume de 5 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

- Déplacer le bouchon avec 16 m³ de boue à base d'eau.

➤ **Tableau de composition du quatrième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	1250
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	325
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	325
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	250
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	250

Tableau 23: Composition du quatrième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

➤ Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.

- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'au sabot de tubage 13^{3/8}".

- Redescendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'au fond et prévoir le pompage d'un cinquième bouchon LCM.

II.11. Pompage du cinquième bouchon LCM d'un volume de 5 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

- Déplacer le bouchon avec 15.5 m³ de boue à base d'eau.

➤ **Tableau de composition du cinquième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	1250
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	325
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	325
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	250
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	250

Tableau 24: Composition du cinquième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

➤ Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.

- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'au sabot de tubage 13^{3/8}".

- Circuler avec un débit Q= 200 L/min.

- **Aucun retour.**

- Redescendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'à la profondeur 1668m et prévoir le pompage du cinquième bouchon de ciment (thixotrope).

- Monter la tête et les équipements de cimentation.

- Tester la ligne de cimentation jusqu'à une pression de 3000 psi, ok.

II.12. Pompage du cinquième bouchon de ciment (thixotrope):

- Pomper 7 m³ d'un spacer d'une densité de 1.00 sg.

- Pomper un bouchon de ciment thixotrope de 15 m³ de volume et d'une densité de 1.7 sg et le posé a la profondeur 1668m.

- Pomper 1 m³ de spacer de densité 1.00 sg (eau fraiche) pour balancer le bouchon de ciment.

- Chasser avec 12.42 m³ de boue d'une densité de 1.00sg.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du quatrième bouchon de ciment (thixotrope):**

On 'a: $VC = VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} + VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')}$

D'ou : $VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} = VC - (VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')}) = 10866.88 \text{ L}$.

$PTC = \text{Cote sabot } 13^{3/8} - (VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} / (\text{Cap}_{\text{int } 3^{1/2}"} + \text{Cap}_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})) = 1468 \text{ m}$.

➤ **Composition du quatrième bouchon de ciment:**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G-L	15.089 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	9169.02 L
Antifoam	D 047	30.178 L
Thixotrope	D 111	754.45 L
Retardateur de prise	D 110	256.513 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	994.1470 L/tonne	

Tableau 25: Composition du cinquième bouchon de ciment (thixotrope).

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du quatrième bouchon de ciment:**

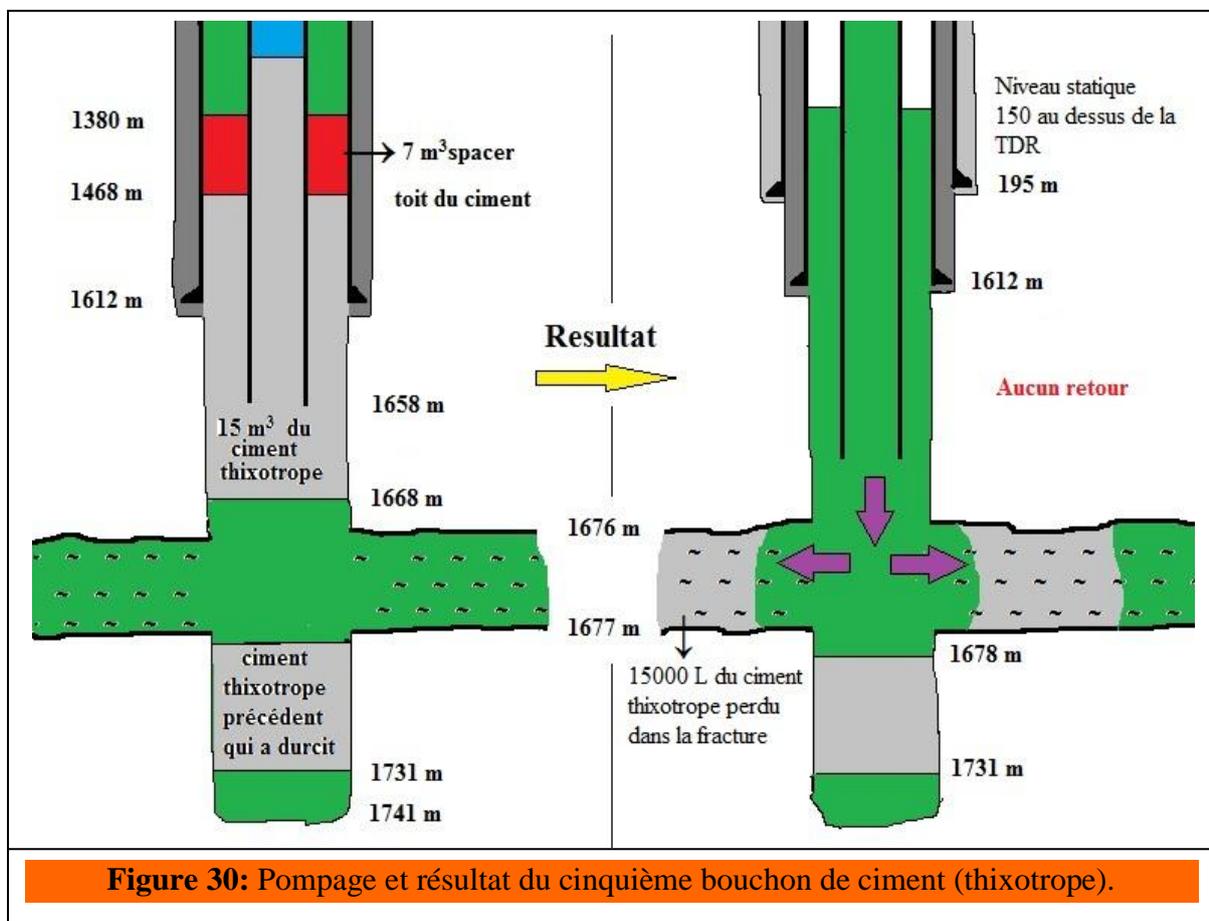


Figure 30: Pompage et résultat du cinquième bouchon de ciment (thixotrope).

Interprétation du résultat:

- Les 15 m³ du ciment pompés sont rentrés dans les fractures de la formation carbonatée sans pouvoir les boucher.
- Les pertes sont persistantes, et le problème n'est pas encore résolu.
 - Remonter les tiges 3^{1/2}" 100 m au-dessus du toit théorique du ciment.
 - Niveau statique de la boue a 150 m au-dessous de la table de rotation.
 - Circuler avec des débits différents : Q = 500 L/min, Q= 1000L/min, Q=1500L/min.
 - **Aucun retour.**
 - Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à la surface, vitesse de remontée 400 m/h.
 - Introduire la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs, circuler pour nettoyer de 1380m jusqu'à 1678m.
 - Toucher de toit du ciment en posant 8 tonnes a la profondeur 1678m, **aucun retour.**
 - Remonter la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs jusqu'à la surface.
 - Descendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'au fond et prévoir le pompage du sixième bouchon LCM.

II.13. Pompage du sixième bouchon LCM d'un volume de 8 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

- **Tableau de composition du sixième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	2000
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	520
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	520
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	400
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	400

Tableau 26: Composition du sixième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

- Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.

- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à 1668 m.
- Prévoir le pompage du sixième bouchon de ciment.
- Monter la tête et équipements de cimentation.
- Tester la ligne de cimentation a 3000 psi, ok.

II.14. Pompage du sixième bouchon de ciment:

- Pomper 7 m³ de spacer d'une densité de 1.00sg (eau fraiche).
- Pomper un bouchon de ciment de 15 m³ de volume et de 1.9 sg de densité et le posé a la profondeur 1668m.
- Pomper 1 m³ de spacer d'une densité de 1.00sg (eau fraiche), pour balancer le bouchon de ciment.
- Chasser avec 12 m³ de boue de densité 1.05 sg.

➤ Calcul de la profondeur du toit du sixième bouchon de ciment:

$$\text{On 'a: } VC = VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}/3^{1/2})} + VC_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})}$$

$$\text{D'ou: } VC_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})} = VC - (VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}/3^{1/2})}) = 10133.68 \text{ L.}$$

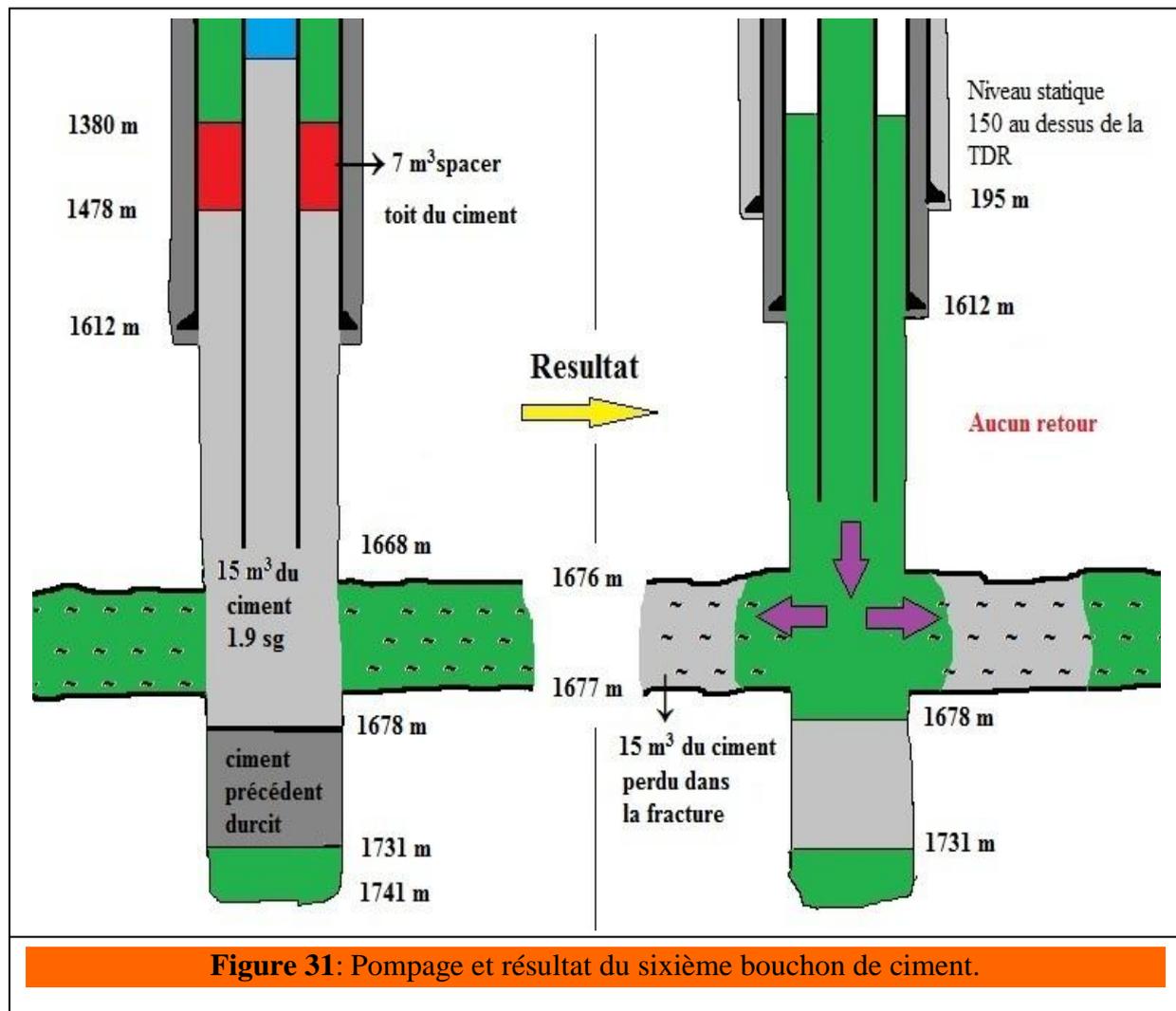
$$\text{PTC} = \text{Cote sabot } 13^{3/8} - (VC_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})} / (\text{Cap}_{\text{int } 3^{1/2}} + \text{Cap}_{EA(13^{3/8}/3^{1/2})})) = 1478 \text{ m.}$$

➤ Composition du sixième bouchon de ciment:

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	19.778 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	8639.63 L
Antifoam	D 047	19.778 L
Fluidloss	D 167	30 L
Saltbond II	D 065 A	30 L
Retardateur de prise	D 198	7.5 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne	

Tableau 27: Composition du sixième bouchon de ciment.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du sixième bouchon de ciment:**



Interprétation du résultat:

- Les 15 m³ du ciment pompés sont rentrés dans les fractures de la formation carbonatée sans pouvoir les boucher.
- Les pertes sont persistantes, et le problème n'est pas encore résolu.
 - Remonter les tiges 3^{1/2}" 100 m au-dessus du toit théorique du ciment à 1380m.
 - Niveau statique de la boue à 150 m au-dessous de la table de rotation.
 - Circuler avec un débit de Q = 200 L/min.
 - **Aucun retour.**
 - Continuer de remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à la surface, vitesse de remontée 400 m/h.
 - Introduire la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs, circuler pour nettoyer de 1380m jusqu'à 1678m.
 - Toucher de toit du ciment en posant 8 tonnes à la profondeur 1678m, **aucun retour.**

- Remonter la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs jusqu'à la surface.
- Descendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'au fond et prévoir le pompage du sixième bouchon LCM.

II.15. Pompage du septième bouchon LCM d'un volume de 10 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

➤ **Tableau de composition du septième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	2500
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	640
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	640
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	500
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	500

Tableau 28: Composition du septième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

- Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.
- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à 1658 m.
- Prévoir le pompage du septième bouchon de ciment.
- Monter la tête et équipements de cimentation.
- Tester la ligne de cimentation a 3000 psi, ok.

II.16. Pompage du septième bouchon de ciment:

- Pomper 7 m³ de spacer d'une densité de 1.00 sg (eau fraiche).
- Pomper un bouchon de ciment de 15 m³ de volume et de 1.9 sg de densité et le posé a la profondeur 1668m.
- Pomper 1 m³ de spacer d'une densité de 1.00 sg (eau fraiche), pour balancer le bouchon de ciment.
- Chasser avec 12 m³ de boue de densité 1.05 sg.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du sixième bouchon de ciment:**

On a: $VC = VC_d + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} + VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')}$

D'où: $VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} = VC - (VC_d + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} = 10310.4 \text{ L}$.

$PTC = \text{Cote sabot } 13^{3/8} - (VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} / (\text{Cap}_{int 3^{1/2}'} + \text{Cap}_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})) = 1468 \text{ m}$.

➤ **Composition du septième bouchon de ciment:**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	19.778 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	8639.63 L
Antifoam	D 047	19.778 L
Fluidloss	D 167	30 L
Saltbond II	D 065 A	30 L
Retardateur de prise	D 198	7.5 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne	

Tableau 29 : Composition du septième bouchon de ciment.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du septième bouchon de ciment:**

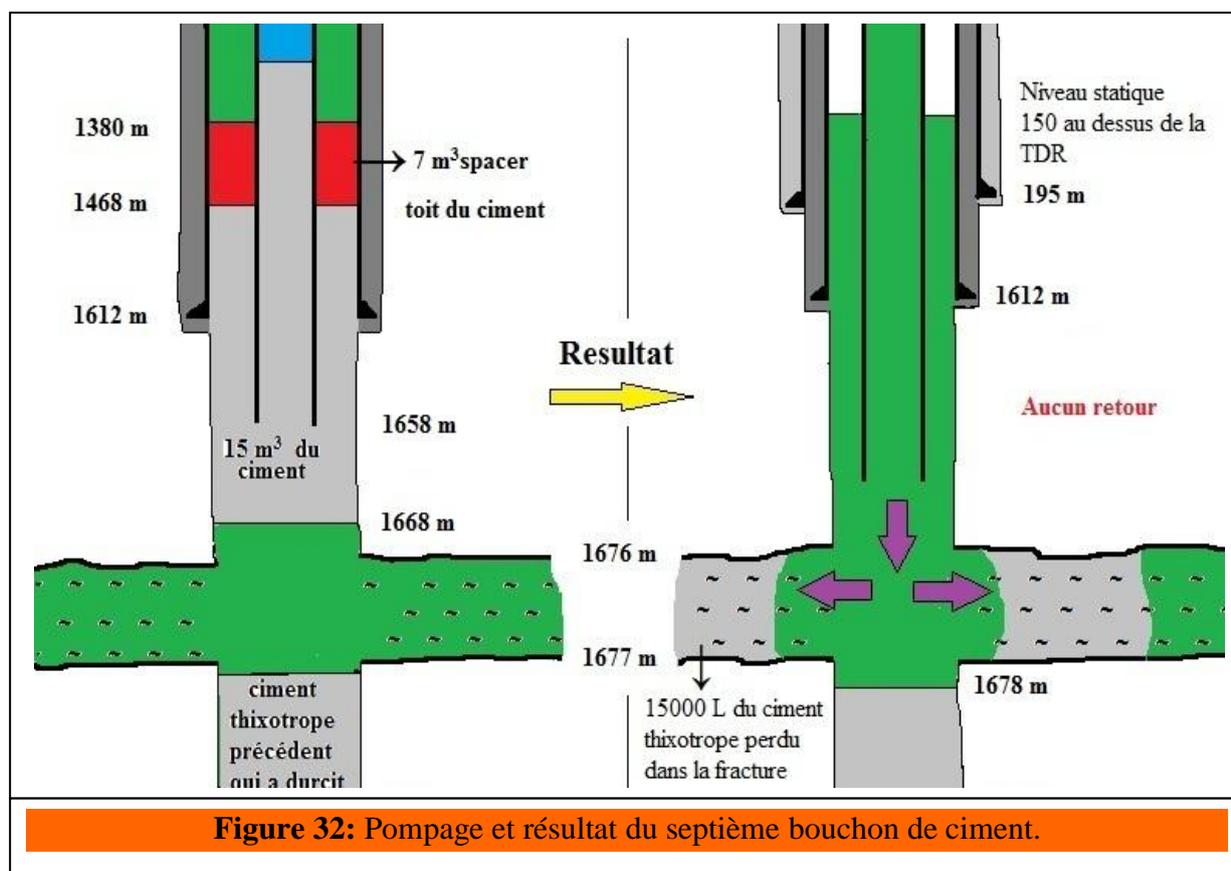


Figure 32: Pompage et résultat du septième bouchon de ciment.

Interprétation du résultat:

- Les 15 m³ du ciment pompés sont rentrés dans les fractures de la formation carbonatée sans pouvoir les boucher.
- Les pertes sont persistantes, et le problème n'est pas encore résolu.
 - Remonter les tiges 3^{1/2}" 100 m au-dessus du toit théorique du ciment à 1380m.
 - Niveau statique de la boue à 150 m au-dessous de la table de rotation.
 - Arrêter la circulation.
 - **Aucun retour.**
 - Continuer de remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à la surface, vitesse de remontée 400 m/h.
 - Introduire la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs, circuler pour nettoyer de 1380m jusqu'à 1678m.
 - Toucher de toit du ciment en posant 8 tonnes à la profondeur 1678m, **aucun retour.**
 - Remonter la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs jusqu'à la surface.
 - Descendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'au fond et prévoir le pompage du huitième bouchon LCM.

II.17. Pompage du huitième bouchon LCM d'un volume de 10 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

- Déplacer le bouchon avec 14 m³ de boue à base d'eau

➤ **Tableau de composition du huitième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	2500
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	640
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	640
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	500
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	500

Tableau 30: Composition du huitième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

➤ Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.

- Prévoir le pompage d'un neuvième bouchon LCM.

II.18. Pompage du neuvième bouchon LCM d'un volume de 15 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

- Déplacer le bouchon avec 14 m³ de boue à base d'eau

➤ **Tableau de composition du neuvième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	3750
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	960
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	960
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	750
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	750

Tableau 31: Composition du neuvième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

➤ Le colmatage n'est pas réussi, les pertes sont persistantes, **aucun retour de la boue** en surface.

- Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à 1648 m.

- Prévoir le pompage du huitième bouchon de ciment.

- Monter la tête et équipements de cimentation.

- Tester la ligne de cimentation a 3000 psi, ok.

II.19. Pompage du huitième bouchon de ciment:

- Pomper 7 m³ de spacer d'une densité de 1.00 sg (eau fraiche).
- Pomper un bouchon de ciment de 20 m³ de volume et de 1.9 sg de densité et le posé a la profondeur 1658m.
- Pomper 1 m³ de spacer d'une densité de 1.00sg (eau fraiche), pour balancer le bouchon de ciment.
- Chasser avec 12 m³ de boue de densité 1.05 sg.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du huitième bouchon de ciment:**

$$\text{On 'a: } VC = VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} + VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})$$

$$\text{D'ou: } VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} = VC - (VC_{d+} + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')}) = 16737.6 \text{ L.}$$

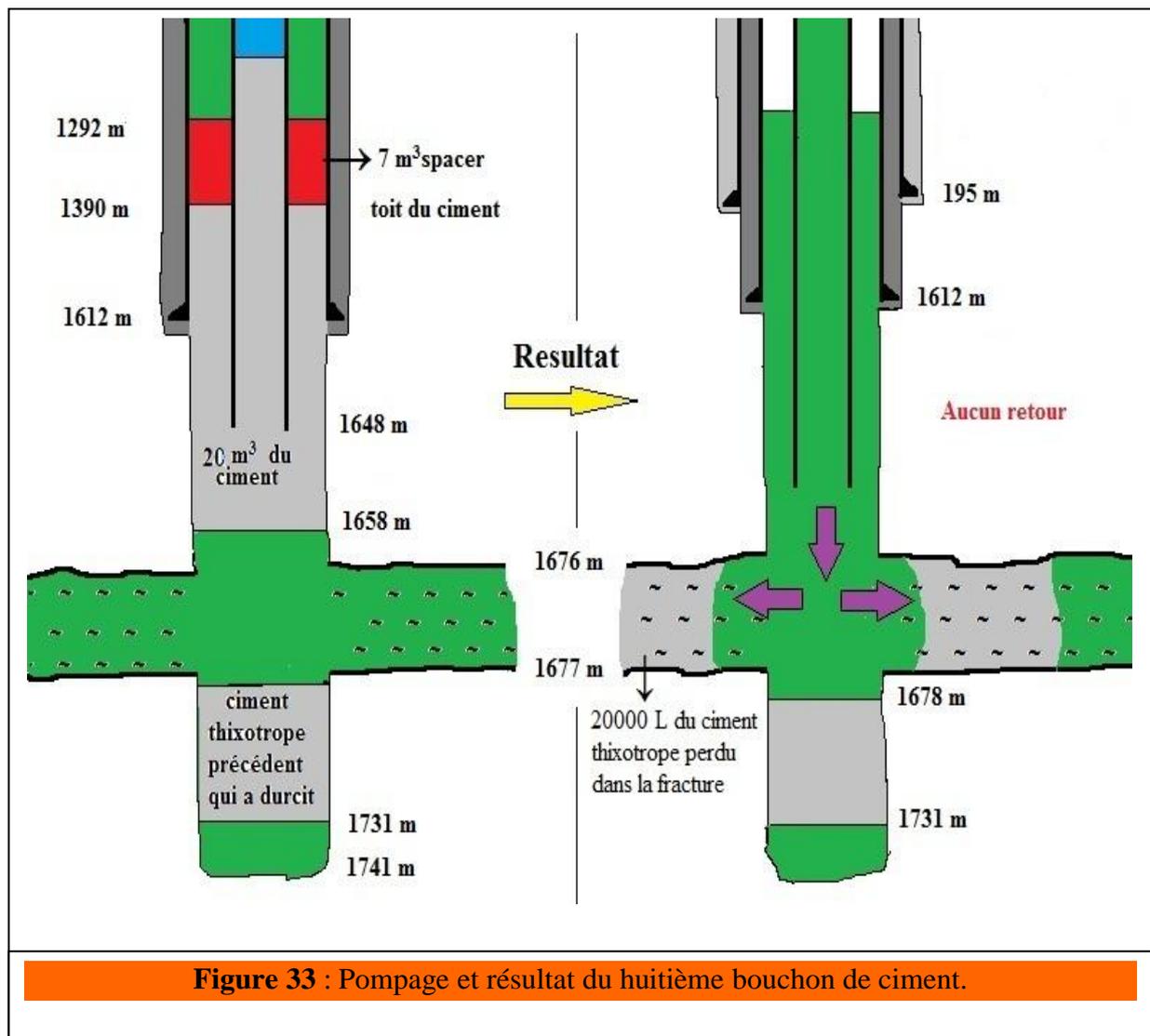
$$\text{PTC} = \text{Cote sabot } 13^{3/8} - (VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} / (\text{Cap}_{\text{int } 3^{1/2}'} + \text{Cap}_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})) = 1390 \text{ m.}$$

➤ **Composition du huitième bouchon de ciment:**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	26.37 tonnes
Fluide de base	Eau fraiche	11519.45 L
Antifoam	D 047	26.37 L
Fluidloss	D 167	40 L
Saltbond II	D 065 A	40 L
Retardateur de prise	D 198	10 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne.	

Tableau 32: Composition du huitième bouchon de ciment.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du huitième bouchon de ciment:**



Interprétation du résultat:

- Les 20 m³ du ciment pompés sont rentrés dans les fractures de la formation carbonatée sans pouvoir les boucher.
- Les pertes sont persistantes, et le problème n'est pas encore résolu.
 - Remonter les tiges 3^{1/2}" jusqu'à la surface, vitesse de remontée 400 m/h.
 - Introduire la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs, circuler pour nettoyer de 1380m jusqu'à 1675m.
 - Toucher de toit du ciment en posant 8 tonnes à la profondeur 1675m.

- Vérifier le retour : Plein retour (100%)

- **Q = 1000 L/min, P = 500 psi.**
- **Q = 1500 L/min, P = 800 psi.**
- **Q = 2000 L/min, P = 1100 psi.**

- Forer le ciment : (Perte partielle 15 m³/h)

- Monter la BHA sans stabilisateurs jusqu'à la surface.
- Redescendre les tiges 3^{1/2}" jusqu'à la profondeur 1660m et prévoir le pompage du neuvième bouchon de ciment.
- Monter la tête et les équipements de cimentation.
- Tester la ligne de cimentation jusqu'à une pression de 3000 psi, ok .

II.20. Pompage du neuvième bouchon de ciment:

- Pomper 4 m³ de spacer d'une densité de 1.00sg(eau fraîche).
- Pomper un bouchon de ciment de 20 m³ de volume et de 1.9 sg de densité et le poser à la profondeur 1658m.
- Pomper 1 m³ de spacer d'une densité de 1.00sg(eau fraîche), pour balancer le bouchon de ciment.
- Chasser avec 11 m³ de boue de densité 1.05 sg.

➤ **Calcul de la profondeur du toit du neuvième bouchon de ciment:**

$$\text{On 'a: } VC = VC_d + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')} + VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})$$

$$\text{D'ou: } VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} = VC - (VC_d + VC_{EA(12^{1/4}"/3^{1/2}')}) = 15720.25 \text{ L.}$$

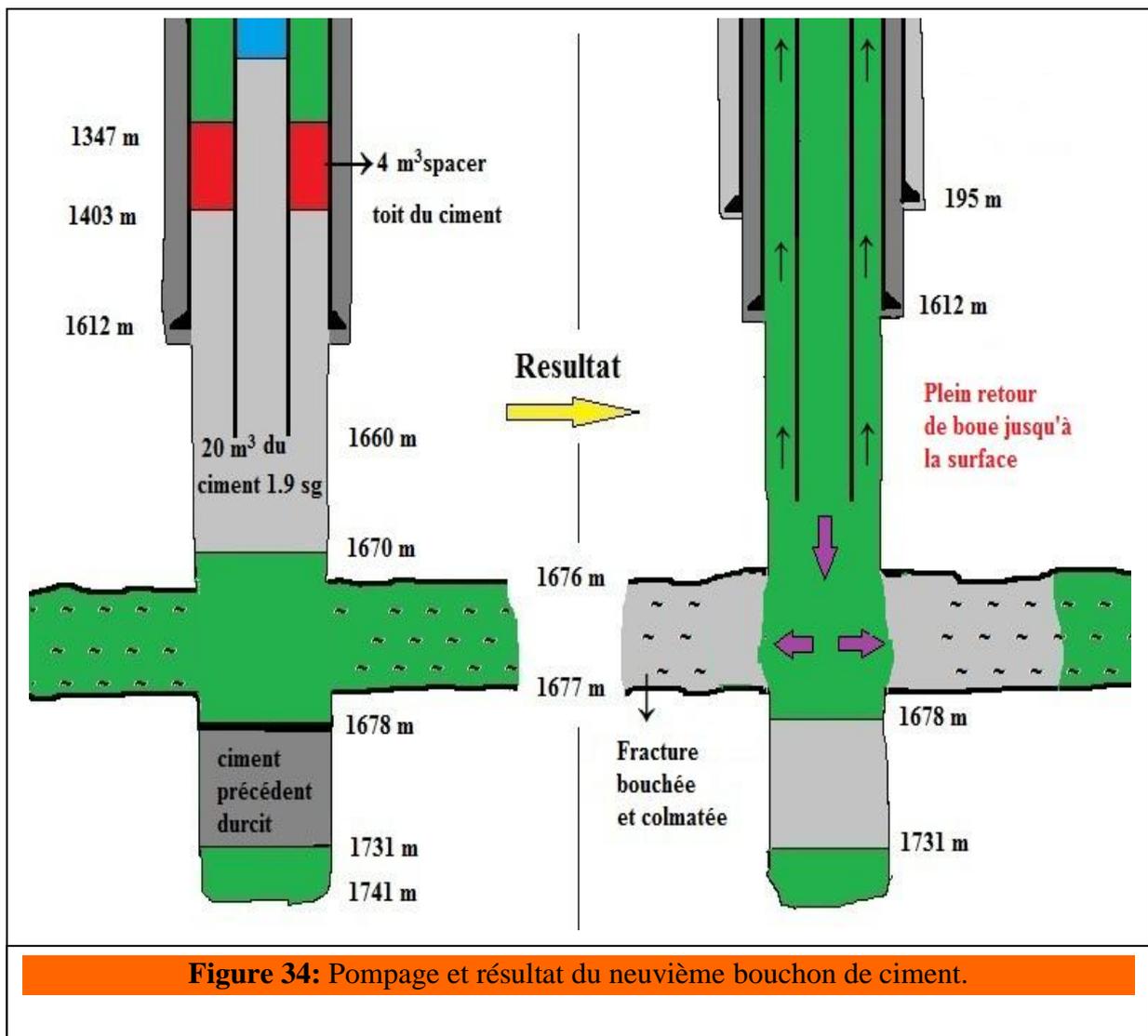
$$\text{PTC} = \text{Cote sabot } 13^{3/8} - (VC_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')} / (\text{Cap}_{\text{int } 3^{1/2}"} + \text{Cap}_{EA(13^{3/8}"/3^{1/2}')})) = 1403 \text{ m.}$$

➤ **Composition du neuvième bouchon de ciment:**

Le composant	Le code commercial	La quantité
Ciment	Classe G	26.37 tonnes
Fluide de base	Eau fraîche	11519.45 L
Antifoam	D 047	26.37 L
Fluidloss	D 167	40 L
Saltbond II	D 065 A	40 L
Retardateur de prise	D 198	10 L
Le rapport (volume/poids) du ciment.	758.4214 L/tonne	

Tableau 33: Composition du neuvième bouchon de ciment.

➤ **Figure illustrative sur le pompage et le résultat du neuvième bouchon de ciment:**



Résultats et Interprétations:

- Perte de 6m³ pendant le pompage et le déplacement de ciment.
- Remonter les tiges 3^{1/2}".
- La chasse dynamique : Q = 1000 L/min, retour de boue en surface.

Q = 1500 L/min, perte partielle de 5m³(8m³/h).

- Continuer de remonter les tiges 3^{1/2} " avec une vitesse de remontée de 400m/h.
- Descendre la BHA 12^{1/4}" sans stabilisateurs.

- Vérifier le retour : plein retour 100%:

- Q = 1000 L/min, P= 100 psi, pas de perte.
- Q = 1500 L/min, P= 300 psi, pas de perte.
- Q = 2000 L/min, P= 500 psi, pas de perte.
- Q = 2500 L/min, P= 750 psi, pas de perte.
- Attendre le durcissement du ciment.
- Toucher le toit du ciment en posant un poids de 5 tonnes.
- Forer le ciment avec les paramètres de forage suivants : Q= 2000 L/min, P=550 psi, RPM= 600tr/min, WOB= 3-5 tonnes.
- Le ciment a durcit, pas de perte de boue.
- Descendre avec circulation jusqu'au fond, pour nettoyer le puits, Q= 2000 L/min, P=600 psi.

II.21.Pompage du dixième bouchon LCM d'un volume de 12 m³ et une concentration de 500 kg/m³:

- Déplacer le bouchon avec 15.5 m³ de boue à base d'eau.

➤ **Tableau de composition du dixième bouchon LCM utilisés sur chantier:**

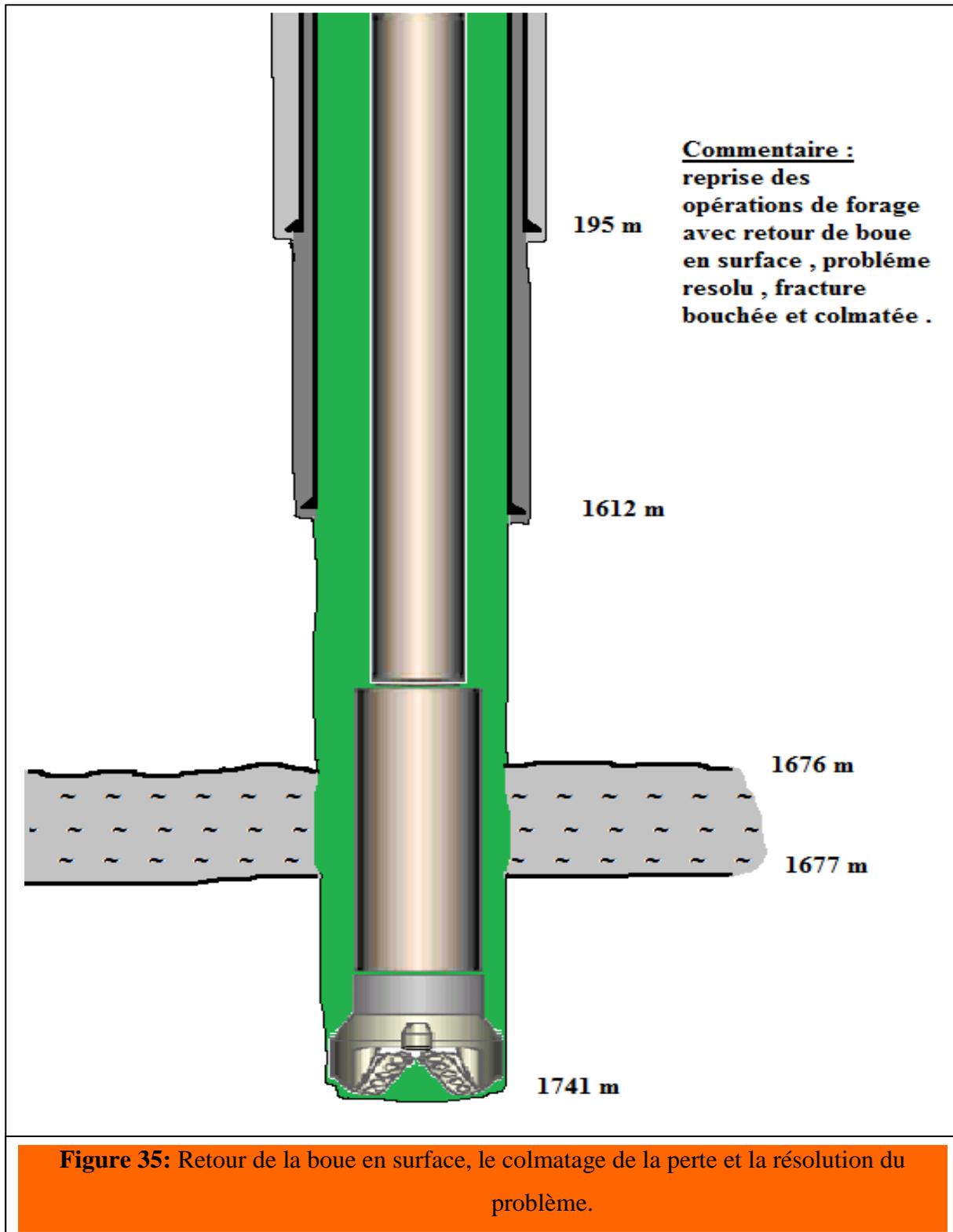
Produit	Nature	Concentration (kg/m ³)	Quantités des composants (kg)
Carbonate de calcium	Granulaire	250	3000
Kwickseal M	Mélange de fibreux et lamellaires moyens	64	768
Kwickseal C	Mélange de fibreux et lamellaires grossiers	64	768
Nutshell M	Coquilles de noix moyennes	50	600
Nutshell F	Coquilles de noix fines	50	600

Tableau 34 : Composition du dixième bouchon LCM.

Interprétation du résultat:

- Le colmatage est réussi, la perte est colmatée, **plein retour de la boue** en surface.

➤ **Figure illustrative sur le retour de la boue en surface, le colmatage de la perte et la résolution du problème:**



III. La répartition du temps en fonctions des activités lors du traitement de la perte de circulation survenue au niveau du lias carbonaté lors du forage du puits HDB-1 :

Le tableau suivant montre la répartition du temps lors du traitement de la perte sur chantier qui a duré 15 jours, on remarque que le nombre d'heures d'avancement des opérations de forage est vraiment faible comparé au temps de pompage des bouchons de ciment et des bouchons LCM, le temps de manœuvres pour le traitement, le temps d'attente pour voir l'efficacité du pompage de ces derniers , et le temps de circulation pour nettoyage et conditionnement de la boue .

La date	Temps de forage (h)	Temps de Circulation et conditionnement (h)	Temps de manœuvre (h)	Temps de cimentation (h)	Temps de d'attente (h)
06/04/2017	0	6.75	2.5	20.8	0
07/04/2017	8.25	6.75	9	0	0
08/04/2017	0.5	0	17.5	3	3
09/04/2017	0	3.5	18.5	2	0
10/04/2017	0	0	21	3	0
11/04/2017	10	0	7	0	7
12/04/2017	0	3.5	19	1.5	0
13/04/2017	0	0	17	3	4
14/04/2017	0	4	20	0	0
15/04/2017	0	0.5	22	1.5	0
16/04/2017	0	3	20	1	0
17/04/2017	0	1	19	2	2
18/04/2017	0	2.5	9.25	2.75	9.5
19/04/2017	0.75	0	20.5	2.75	0
20/04/2017	3.5	12	1	4.5	3
TOTAL		43.5	223.25	47.8	28.5

Tableau 35: Répartition du temps en fonctions des activités lors du traitement de la perte.

Conclusion:

Il a été jugé que le temps consacré pour le traitement de cette perte est important, il engendre des pertes économiques en terme de location d'appareil de forage, consommation d'énergie sur chantier, cout de revient des services de traitement trop élevé, retard dans le délai de réalisation de ce puits.

Pour cela on a opté pour une étude économique pour évaluer le coût exact du traitement de la perte sur chantier, et voir s'il est important ou non puis proposer des solutions plus rentable techniquement et économiquement.

IV. Etude économique et évaluation des coûts du traitement de la perte de circulation sur chantier:

Cette partie consiste à déterminer le cout global du traitement de la perte de circulation à savoir le coût des volumes de boue perdue, celui des bouchons de ciment, bouchons LCM et le volume de spacer pompés, ainsi les coûts engendrés par la location de l'appareil de forage et la consommation de l'énergie sur chantier.

IV.1. Cout du volume de boue de forage perdue:

NB : L'unité monétaire utilisée pour la mesure des couts est le DZD=Dinard Algérien.

NPT = Temps de Circulation et conditionnement + Temps de manœuvre + Temps de cimentation + temps d'attente

$$NPT = 43.5 + 223.25 + 47.8 + 28.5$$

$$NPT = 336.95 \text{ h} = 14.04 \text{ j.}$$

Jour	Volume de boue perdue (m ³)	Coût d'un m ³ de boue perdue (DZD)	Coût de volume de boue perdue (DZD)
06/04/2017	0	3851,518	0
07/04/2017	5	408,935	2044,675
08/04/2017	12	1032,123	12385,476
09/04/2017	120	2470,151	296418,12
10/04/2017	168	1075,51	180685,68
11/04/2017	9	204,401	1839,609
12/04/2017	37	788,781	29184,897
13/04/2017	14	82,255	1151,57
14/04/2017	85	753,026	64007,21
15/04/2017	50	329,113	16455,65
16/04/2017	40	1874,405	74976,2
17/04/2017	50	646,22	32311
18/04/2017	95	3649,147	346668,965
19/04/2017	35	134,611	4711,385
20/04/2017	6	144,729	868,374
TOTAL	726	/	1063274,619

Tableau 36: Coûts et volume totale de boue de forage perdue lors du traitement.

Le coût total des volumes de boue perdue est estimé à **1063274, 619** DZD.

IV.2. Coût de la mise en place des bouchons de ciment :

a. Coût du ciment de durcissement

Volume utilisé : $V_{cd} = 105 \text{ m}^3$ (V_{cd} = volume des bouchons de ciment de durcissement).

Coût d'un m³ de ciment de durcissement = 53371.84 DZD

Coût V_{cd} = Coût d'un m³ de ciment de durcissement x V_{cd}

Coût V_{cd} = 105 x 53 371.84

Coût V_{cd} = **5 604 043.2** DZD

b. Coût du ciment thixotrope

Volume utilisé : $V_{CTH}=30 \text{ m}^3$ (V_{CTH} = volume des bouchons de ciment thixotropes).

Coût d'un m^3 de ciment thixotrope = 49 957.48 DZD

Coût V_{cd} = Coût d'un m^3 de ciment de thixotrope x V_{CTH}

Coût $V_{CTH}=49\ 957.48 \times 30$

Coût $V_{CTH}=\mathbf{1\ 498\ 724.4}$ DZD

c. Coût du spacer

Volume du spacer utilisé : $V_{sp}=14 \text{ m}^3$ (V_{sp} : volume total des spacer utilisés).

Coût' d'un m^3 du spacer = 28 095.77 DZD

Coût $V_{sp} = V_{sp} \times \text{Coût' d'1 m}^3$ du spacer

Coût $V_{sp}= 14 \times 28095.77$

Coût $V_{sp}=393340.79$ DZD

Coût des bouchons de ciment = coût de ciment de durcissement + coût de ciment thixotrope + coût de spacer

Coût des bouchons de ciment = 560 4043.2 + 1 498 724.4 + 393 340.79

Coût des bouchons de ciment = **7 496 108.39** DZD

IV.3. Coût des bouchons LCM :

Volume des bouchons LCM utilisé : $V_{LCM}=93\text{m}^3$.

Coût d'un m^3 de bouchon LCM = 50 000 DZD.

Coût du V_{LCM} = coût d'un m^3 de bouchon LCM x V_{LCM} .

Coût du $V_{LCM} = 93 \times 50\ 000$

Coût du $V_{LCM} = \mathbf{4\ 650\ 000}$ DZD.

IV.4. Coût des services:

Le tableau suivant représente les coûts engendrés par les services de traitement de la perte.

JOUR	NPT (JOUR)	COUT JOURNALIER DES SERVICES (DZD)	COUT JOURNALIER DES SERVICES.NPT(DZD)
06/04/2017	1	539 866	539 866
07/04/2017	0.656	105 748	69 371
08/04/2017	0.98	177 044	173 503
09/04/2017	1	307 251	307 251
10/04/2017	1	168 443	168 443
11/04/2017	0.58	115 207	66 820
12/04/2017	1	110 770	110 770
13/04/2017	1	113 426	113 426
14/04/2017	1	125 940	125 940
15/04/2017	1	115 408	115 408
16/04/2017	1	117 524	117 524
17/04/2017	1	122256	122 256
18/04/2017	1	131 148	131 148
19/04/2017	0.97	113 767	11 035
20/04/2017	0.85	108 872	92 541
TOTAL	14.04	247 2670	2 364 617

Tableau 37: Coût total des services de traitement de la perte de circulation.

IV.5. Coût de location de l'appareil de forage:

Coût total=coût journalier de location de l'appareil de forage x NPT

Coût total = 3 500 000 x 14.04 = **49 140 000** DZD.

IV.6. Coût total du traitement de la perte de circulation :

Coût total =Coût de la boue perdue dans le puits + Coût des bouchons de ciment + Coût des bouchons LCM + Coût des services + Coût de location de l'appareil de forage

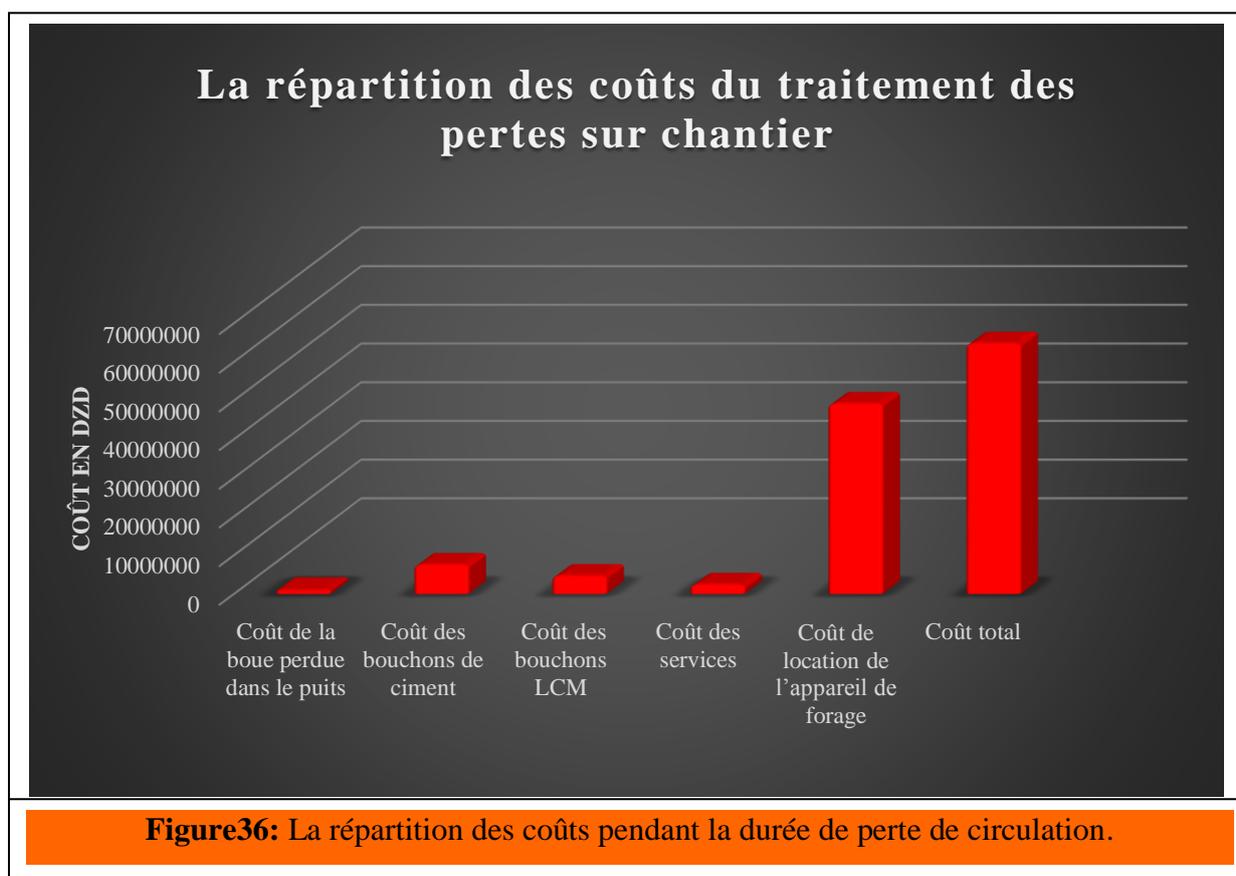
Coût total= 1063274,619 + 7 496 108.39 + 4 650 000 + 2 364 617 + 49 140 000

Coût total = 64 714 000.01 DZD.

Récapitulation de l'étude économique du traitement de la perte sur chantier:

Coûts des opérations	Coût en DZD
Coût de la boue perdue dans le puits	1063274,619
Coût des bouchons de ciment	7 496 108.39
Coût des bouchons LCM	4 650 000
Coût des services	2 364 617
Coût de location de l'appareil de forage	49 140 000
Total	64 714 000.01

Tableau 38: Récapitulatif de la répartition des coûts.



Conclusion:

Le coût total du traitement de la perte de circulation survenue lors du forage dans le lias carbonaté est estimé à **64 714 000.01** DZD, ce coût est jugé très important de point de vue économique, pour cela on tient à proposer une solution qui sera meilleure du point de vue technique et économique qui consiste à l'utilisation des bouchons LCM hydro plug pour le traitement des pertes de circulation, qui est une solution développée par la société de service Baroid récemment.

L'étude technique et la confirmation de la rentabilité économique du bouchon hydro plug LCM, sera l'objet d'étude du chapitre suivant.

Chapitre VI:
Solution proposée

Introduction:

Dans le chapitre précédent on a fait une étude de cas sur la survenance et le traitement des pertes de circulation du point de vue technique et économique, ce qui nous a laissé juger que la solution faite sur chantier n'est pas trop efficace du point de vue technique cela s'explique par la perte successive des bouchons de ciment mis en place et des bouchons LCM et la perte successive de boue de forage, ce qui a engendrer des coûts importants lors du traitement cette perte. Ce qui nous a orienter pour développer et à proposer d'autres technique pour le traitement des pertes de la boue.

Ce chapitre a pour but de proposer l'utilisation des bouchons HYDRO PLUG LCM comme solution pour les pertes survenues au niveau du puits HDB-1 lors du forage dans le lias carbonaté, ainsi que d'étudier économiquement la rentabilité de cette dernière.

I. Le bouchon LCM Hydro Plug:

I.1. Définition:

Le bouchon Hydro-Plug LCM est un traitement qui agit rapidement et efficacement, et permet de colmater et remédier aux problèmes de perte les plus sévère, dans des zones difficiles, dans quelques heures, permettant à l'opérateur de rétablir les activités normales du forage.

La solution Hydro-Plug LCM est constituée par des polymères cristallisés hydratés. Désigné pour remédier aux les pertes dans les formations fracturés ou cavernueuses, le produit est aussi idéal pour les opérations off-shore "deep water" avec des fluides synthétiques. L'hydro-Plug peut être pompé sans spacer.

I.2. Avantages:

- Agit rapidement, permettant de colmater des zones hautement fracturées et des zones cavernueuses dans un temps réduit.
- Le produit est constitué d'un seul sac, qui permet un mixage rapide et un stockage compact, chaque palette d'Hydro-Plug permet de produire un bouchon de 25 bbl.
- Il ne demande pas des équipements spéciaux pour le pompé, juste la pompe de l'appareil.
- Un mixage rapide dans une simple trémie.

- Il travaille avec tous les types de boue à base d'eau ou à base d'huile mais il doit être mélangé avec l'eau douce seulement.

I.3. Recommandation pour le traitement:

- Le Hydro-Plug doit être mélangé avec l'eau douce seulement, et sans l'addition d'autre produit chimique.

- Pour une performance optimale, le mélange et le pompage de 20-25 bbl de H.P nécessite approximativement 90 à 120min du temps de l'appareil du forage, suivi par une période d'activation et expansion de 90 à 120 min une fois le bouchon est en place.

- Dans un bac de mélange propre, ajouter 40sac (1 palette) à 25 bbl d'eau douce (fresh water).

- Pomper le bouchon sans tarder (retard).

- Placer le bouchon dans la zone de perte et faire un léger squeeze. 150 à 250 psi si c'est possible.

- L'Hydro Plug est emballé dans des sacs de 50lb (22.7 kg).

Temps de mise en place :

Il faut s'assurer de la température du fond de puits avant de commencer le pompage

Températures (F°)	Temps (h)
70 - 100	5 - 7
100 - 150	4 - 6
150 - 200	3 - 4
200 - 300	2 - 3

Tableau 39: Temps de mise en place des bouchons Hydro Plug.

(Source : <http://www.halliburton.com>).

Le cout d'un m³ du bouchon HYDRO-PLUG:

Produits	Concentration (kg/m ³)	Volume (m ³)	Le coût en DZD
Barolift	0.42	1	1 097.64
Steel seal	Optionnel	-	-
Brazan D	2.41	1	1 365.18
Hydro Plug	171.6	1	193 103.94
Le coût total en DZD			195 566.76

Tableau 40: Le cout d'un m³ d'Hydro-Plug. (Source : <http://www.halliburton.com>).**I.4. Des exemples réels d'utilisation du bouchon HYDRO-PLUG LCM :**

I.4.1 LE BOUCHON HYDRO-PLUG® LCM a remédié des pertes de circulation dans la zone perforée, en éliminant le besoin d'une opération de cimentation qui coute 50 000 USD en EST KALIMANTAN, INDONESIE - 2016 :

a. Défis:

L'opérateur devait boucher une zone perforée, mettre un packer et perforer au-dessus de la zone ancienne.

- Les pertes de 1,5 bpm dans la zone perforée d'origine ont menacé la qualité du travail du ciment.
- Remédié les pertes avec un squeeze de ciment serait coûteux et prend beaucoup de temps.

b. Solution:

Un bouchon conçu de 80 bbl d'HYDRO-PLUG et de LCAC BARACARB a été mis en place à travers la zone perforée et squeezée pendant 2,5 heures avec une pression qui atteint 350 psi.

c. Résultats:

- Les pertes ont été complètement arrêtées, ce qui a permis à l'opérateur de mettre en place un bouchon de ciment et un packer.
- L'estimation des coûts du ciment sauvé a été de 50 000 USD.
- L'opérateur a évité de retarder le démarrage des opérations de la mise en place du packer et de perforation au-dessus de l'ancienne zone.

d. Aperçu:

VICO Indonesia a prévu de colmater une zone perforée lors d'une opération de work over rigless. Avant que le bouchon de ciment puisse être pompé, des pertes dynamiques (1,5 bpm) dans la zone perforée doivent être arrêtées. Cela aiderait à assurer le succès et l'intégrité de l'opération. Une unité de cimentation serait utilisée pour placer le traitement de perte de circulation.

e. Bouchon HYDRO-PLUG LCM conçue pour colmater les perforations et les pores:

VICO Indonesia a fourni au personnel de Baroid des informations concernant la géométrie de la paroi du puits, la perméabilité de la formation et la taille et la répartition de la perforation. Sur la base de cette entrée, l'équipe de Baroid a cherché le matériau de perte de circulation (LCM) optimal pour boucher à la fois les pores de formation (12 microns) et les

perforations (0,21 pouce). Ces valeurs ont été utilisées dans la modélisation WellSET pour déterminer les meilleures options LCM et la distribution granulométrique (PSD).

L'expérience préalable des perforations d'étanchéité indiquait que le LCM hydratable composite HYDRO-PLUG® était un choix efficace. L'ajout de marbre moulu BARACARB, déterminé par les solutions PSD de modélisation WellSET, aiderait à colmater la formation.

La formulation a été testée et confirmée comme appropriée pour une utilisation dans cette application.

Un bouchon LCM 80-bbl HYDRO-PLUG / BARACARB a été pompée dans la zone de perte [8 298-8 658 ft (2,529-2,639 mètres) de profondeur mesurée] en deux parties.

Composition du bouchon Hydro Plug développé par baroid:

Produit	Concentration (ppb)
BARAZAN®D™	0.75
BARACARB® 5	20
BARACARB®50	20
HYDRO-PLUG®	80

Tableau 41: Composition du bouchon Hydro plug développé par Baroid.

(Source : <http://www.halliburton.com>).

Tout d'abord, un volume de 50 bbl a été pompé et squeezé à 150 psi. Le taux de perte a diminué à 0,8 bpm. Le volume restant de 30 bbl a été pompé et squeezé à une pression maximale de 350 psi. Après avoir maintenu cette pression pendant 2,5 heures, le puits était statique.

L'objectif principal de VICO Indonesia était de colmater avec succès l'ancienne zone, puis de perforer au-dessus de la zone colmaté. Le bouchon hydro plug LCM de 80 bbl a éliminé la nécessité de pomper du ciment pour remédier aux pertes.

I.4.2 Résolution des pertes de fluides très grave avec réduction des coûts de traitement dans les puits géothermiques très fracturés en Geysers, Californie du nord - 2010 :

a. Défi de l'opérateur:

Les puits géothermiques du Nord de la Californie sont forés dans des réservoirs volcaniques très fracturés, où des pertes massives de fluides peuvent mettre fin aux opérations.

Un opérateur a envisagé de changer le programme de forage et descendre un tubage dans la zone à perte parce que 44 bouchons de ciment ont été utilisés pour remédier des pertes dans une seule section d'un puits précédent.

b. La solution:

Tout en forant le deuxième puits sur le même champ, dans les mêmes zones, des pertes de 300 bph ont été rencontrées à la cote 3288ft. Le premier essai pour arrêter les pertes avec une combinaison de matériaux de perte de circulation (LCM) n'a pas été réussi.

La prochaine tentative comprenait le squeeze d'un bouchon Hydro-plug LCM de 50ppb, ainsi que 25 ppb STEELSEAL 1000 carbone graphitique résilient et 25 ppb BARACARB 600 carbonate de calcium.

Cette formulation et les traitements subséquents ont été déterminés à partir de WellSET analyse qui modélise la distribution granulométrique et détermine le mélange optimal pour les formations septiques.

Le bouchon a été placé dans le fond et la garniture de forage a été tirée jusqu'à 1400ft. Après 4hrs ils ont pompé 150 bbl de boue par les pompes de l'appareil de forage et ont regagné la circulation. À 3401 ft, les pertes se sont produites à un taux de 100+bph. Un bouchon contenant 47 ppb DUO-SQUEEZE™ h et 64 ppb Hydro-plug LCM a été placé sur le fond et la garniture de forage a été tirée par 8 longueurs de tiges de forage. Après une attente d'une heure, l'opérateur a repris le forage jusqu'à 3555ft, où des pertes de 100 hbp ont été rencontrées. Et un autre bouchon a été défini contenant plusieurs types de LCM, y compris le DUO SQUEEZE H, STEELSEAL 400 et les matériaux HYDRO PLUG

Après la mise en place de ce bouchon dans le fond, l'opérateur a été capable de reprendre le forage. Donc cette série de bouchon combiné a permis à l'opérateur d'atteindre la profondeur totale à 4395ft sans recourir à des bouchons de ciment.

d. La valeur économique créée:

L'élimination la nécessité de mettre en place plusieurs bouchons de ciment a sauvé le temps et les dépenses de l'opérateur. En comparant le coût des traitements de LCM aux opérations de cimentation exigées sur le puits précédent, l'opérateur a pu épargner approximativement \$1,5 million dans le temps de l'appareil et les coûts de traitement.

I.4.3 Bouchon HYDRO PLUG LCM à remédier une perte de circulation sévère dans le Deep Water à Luanda, Angola - 2014:**a. Défi de l'opérateur:**

Après avoir foré la section de trou de 17'' et en tirant la BHA, des pertes de circulation de 150 bbl/hr ont été remarqué avec une fuite estimée au sabot de tubage de 20". Au lieu de faire un squeeze de ciment, l'opérateur a décidé de retourner dans le trou et de diminuer la densité de boue dans le riser de 9,6 à 9,3 ppg. Comme les pertes ont continué un bouchon d'HYDRO PLUG50 bbl a été mis en place juste au-dessous du sabot. Cela a d'abord stoppé les pertes complètement permettant à l'opérateur de continuer les opérations prévues.

Ensuite, l'opérateur a descendu le casing 13^{3/8} " sans pertes jusqu'à 3090 m où une formation tight a été rencontré, 540 bbl de boue ont été perdus au fond du puits dans une tentative de travailler le tubage au fond jusqu'à ce que la décision a été prise pour retirer le tubage. Certains centreurs ont été laissés dans le puits. Une fois le casing retiré un side-track a été réalisée.

b. La solution:

Halliburton Baroid a recommandé l'utilisation d'Hydro-plug™ pour colmater la zone de perte au-dessous de sabot où un faible LOT a été réalisé au départ.

En utilisant l'Hydro-plug comme support de ciment dans l'open hole avant de mettre un bouchon de kick-off, le ciment est resté en place et n'a pas permis pour n'importe quelle canalisation à l'intérieur du trou.

c. La valeur économique créée:

La solution HYDRO PLUG a aidé l'opérateur a sauvé une valeur estimée à \$1 000 000 dans une combinaison de temps de l'appareil de forage, la perte de boue à base d'huile, et des opérations supplémentaires de cimentation. La capacité d'éviter un travail de squeeze de ciment et de mettre en place avec succès un bouchon de kick-off lourd à trou ouvert s'est avéré inestimable pour l'opérateur. Un puits qui aurait normalement été abandonné, a été foré avec succès à la profondeur totale. Compte tenu de la performance exceptionnelle.

I.4.4 HYDRO PLUG LCM pour traitement des pertes totales de circulation dans des formations à haute perméabilité en Est Kalimantan, Indonésie - 2015:

a. Aperçu:

Vico Indonésie a foré à travers une section à haute perméabilité contenant une alternance des zones à haute pression et épuisées au même temps. Des venues et des pertes de circulation totale ont été rencontrées dans le même intervalle.

À 2506ft, Vico Indonésie a subi des pertes totales de boue à base d'huile (OBM). 3 bouchon de 50bbl contenant 100 – 120 ppb de carbone graphitique résilient et de carbonate de calcium (LCM) ont été pompés en premier dans le but d'arrêter ou de réduire le taux de perte. En outre, l'ensemble du système actif a été traité avec 60 ppb de LCM. Cependant, ces traitements n'ont eu aucun effet sur le taux de perte.

b. Solution:

L'équipe de Baroid a recommandé la mise en place d'un bouchon HYDRO PLUG LCM en utilisant une procédure de pompage et de traction modifiée. L'équipe a mélangé 80ppb d'Hydro-plug LCM avec de l'eau fraîche, il a pompé en place à travers l'assemblage BHA, y compris les outils de mesure (MWD), et retiré du bouchon sans appliquer la pression de squeeze.

Le taux de perte statique a diminué de 78 bph à 16 bph, et le taux de perte dynamique s'est stabilisé à 286 bph. Vico Indonésie a pu continuer à forer à un débit contrôlé.

c. Résultat:

Le puits a été foré à la profondeur totale prévue (TD). L'arrêt de la perte a aidé Vico Indonesia à économiser environ 150 000 \$US en OBM, (boue à base d'huile et additifs). Le bouchon Hydro-plug a également économisé 12 heures de temps de l'appareil de forage en éliminant le besoin de faire des manœuvres de remontée de la garniture et descente des tiges nue pour faire un ou plusieurs bouchons de ciment.

Le représentant du client a félicité Baroid pour être capable d'arrêter les pertes de circulation rapidement et sans faire coincer les outils MWD ou perturber la transmission d'impulsions à 350 GPM.

I.4.5 Traitement des pertes totales de circulation et prévention des effondrements des puits avec l'utilisation des bouchons construits avec Hydro-plug ® et STOPPIT ® LCM en Arabie Saoudite - 2015 :

a. Aperçu:

Un opérateur de forage en Arabie saoudite cherchait une solution pour résoudre les problèmes de perte de circulation dans un champ particulièrement difficile. Les formations Shu'aiba et Sana sont particulièrement réputées pour leur complexité et leur potentiel de pertes de circulation. La formation de Shu'aiba comprend du calcaire et la formation de sana comprend des grès non consolidés avec des membres de schiste intercalés. Sana est une formation très perméable qui présente une zone à perte sévère, et comprend aussi un aquifère d'eau. La formation de Shu'aiba est une roche carbonatée naturellement fracturée, et la perte de circulation au sommet de celui-ci est un problème chronique.

Les données des puits voisins indiquaient les défis potentiels suivants :

- Des pertes totales de circulation dans les formations Sana et Shu'aiba à travers le champ saoudien
- Coincement de la garniture.
- Effondrement potentiel du trou de forage, entraînant la perte de la section de puits.
- Sélection de matériel de perte de circulation (LCM) limitée à l'utilisation de produits favorables aux aquifères.

b. Solution:

L'équipe technique du Baroid a discuté les défis de la perte de circulation pour ces deux formations et a décidé de combiner les STOPPIT ® LCM et l'hydratable Hydro-plug ® LCM pour lutter contre ces pertes. Les produits Hydro-plug et STOPPIT sont conçus pour éviter la contamination des aquifères. La section du trou de 17'' a été forée de 896 ft à 1556 ft lorsque des pertes totales ont été rencontrées. Un bouchon de boue a été pompé pour maintenir la pression hydrostatique tandis que le bouchon LCM était mélangé.

Un bouchon 160-bbl a été mélangé contenant les produits LCM suivants :

- 60-ppb Hydro-plug.
- 50-ppb STOPPIT.
- 30-ppb STEELSEAL ® 100 carbone graphitique résilient.
- 0,1-ppb BAROLIFT ® fibre synthétique.

Ce bouchon initial a été pompé à travers l'outil, qui avait un 16/32 et trois 20/32 duses. Un regain de 55% en circulation a été immédiatement observé. Le forage a repris de 1 556 ft à 1 571 ft sans l'utilisation d'un bouchon de boue puisque le niveau de boue dans le bac actif pourrait être maintenu.

Pour améliorer encore le volume de circulation, un deuxième bouchon 160-bbl a été mélangé contenant les produits LCM suivants :

- 80-ppb Hydro-plug.
- 30-ppb STEELSEAL 100 de carbone graphitique résilient.
- 0,2-ppb BAROLIFT fibre synthétique.

Ce bouchon a été pompé à 1 571 ft et a abouti à 90% de retours. Le niveau de fluide pourrait être maintenu dans l'annulaire. Le reste du trou de 17'' a été foré jusqu' à 2645 ft avec un LCM conventionnel pour éviter d'autres pertes. Cette section de trou est sujette à l'effondrement quand les pertes totales se produisent, qui contribue d'avantage à l'instabilité de schiste dans la formation de sana. Toutefois, aucun problème de coincement de la garniture ou de stabilité de trous n'a été signalé. Ces problèmes ont été évités en remédiant les pertes avec les applications combinées d'Hydro-plug et STOPPIT LCM.

c. Valeur économique créée:

La recommandation de Baroid pour pomper le bouchon STOPPIT et Hydro-plug LCM aidé à sauver l'opérateur US \$50.000. En outre, la prévention de la perte d'une section de trou a aidé l'opérateur à éviter jusqu'à un mois dans le temps non productif, évalué à US \$1,800,000.et d'autres problèmes souvent rencontrés dans les puits voisins, y compris le coincement de la garniture de forage, et les opérations difficiles de side-track, ont également été évitées sur ce puits.

Tableau récapitulatif des cas d'utilisation du bouchons LCM Hydro Plug:

Le cas	Problème rencontré	Nombres de bouchons HYDRO PLUG utilisés	Valeur économique créée
Est de Kalimantan-Indonésie- 2016	Des pertes de circulation sévère une zone perforée	1	50 000 \$US
Californie du nord-2010	Des pertes de circulation très grave dans des puits géothermiques forés dans des réservoirs vocaliques très fracturés	3	1 500 000 \$US
Angola – 2014	Des fracturations au-dessous du sabot ont causé une perte de circulation sévère dans le Deep Water	1	1 000 000 \$US
Indonésie - 2015	Des pertes totales de circulation dans des formations à haute perméabilité	1	150 000 \$US
Arabie Saoudite – 2015	Des pertes totales de circulation surviennent dans une zone à calcaire fracturé et une zone qui comprend des grès non consolidés	2	1, 800,000 \$US

Tableau 42 : Tableau récapitulatif des différents cas d'application de bouchon Hydro Plug.

II. Application de la solution d'utilisation des bouchons Hydro Plug pour la perte de circulation survenue sur le puits HDB-1 lors du forage de la phase 12^{1/4}" dans le lias carbonaté :

II.1 Etude de possibilité d'application de la solution Hydro Plug pour notre cas de perte :

D'après les résultats réels obtenus lors du traitement des pertes de circulation citées précédemment et qui sont plus sévères que la nôtre, on constate que l'utilisation d'un seul bouchon Hydro Plug peut résoudre une perte de boue ayant la possibilité d'être résolue avec le pompage jusqu'à 44 bouchons de ciment, ce qui revient bénéfique pour le propriétaire du puits au cours de réalisation en terme de minimisation du nombre de bouchons de ciment et LCM à utiliser pour le traitement de la perte ainsi la réduction des coûts de service, de location de l'appareil de forage, des volumes et quantités de boue perdu ainsi que la consommation de l'énergie sur chantier.

Ainsi que d'après les exemples d'utilisation des bouchons Hydro Plug cités précédemment on constate qu'il existe une certaine compatibilité entre quelques-unes (cas de la perte survenue en Arabie Saoudite, Indonésie et Californie) et de leurs zones de perte de boue et la nôtre qui est les formations carbonatées fracturées naturellement.

Le nombre de bouchons HP utilisé est entre 1 et 2 selon le cas et les caractéristiques de la zone à perte et sa sévérité, donc dans notre cas pour assurer le succès de notre solution on va supposer l'utilisation de 3 bouchons d'HYDRO PLUG d'un volume de 15 m³ pour chaque bouchon.

II.2 Etude technique et préparation des bouchons Hydro Plug à pomper sur chantier:

Pour la mise en place d'un seul bouchon Hydro Plug il nous faut en moyenne :

- 15 m³ de bouchon Hydro Plug.
- Temps de mixage et préparation au maximum 2 heures.
- Le déroulement de l'opération tient au maximum 1 heure, car on pompe directement par les pompes de l'appareil de forage, et il ne nécessite pas l'installation des équipements spéciaux.

- Le temps d'attente pour l'activation et l'expansion du bouchon au maximum 7 heures.
- Donc le temps non productif est au maximum estimé a NPT = 10h = 0.42 j.

Par conséquent la mise en place de 3 bouchons HYDRO PLUG nécessite:

- 45m³ de bouchon Hydro Plug.
- Le temps non productif estimé a NPT = 30h = 1.25 j.

Tableau de composition d'un bouchon Hydro Plug proposé:

Produits	Concentration (kg/m ³)	Volume (m ³)	La quantité réelle (kg)
Barolift	0.42	1	6.3
Steel seal	Optionnel	-	-
Brazan D	2.41	1	36.15
Hydro Plug	171.6	1	2574

Tableau 43 : Composition d'un bouchon Hydro Plug proposé.

(Source: <http://www.halliburton.com>).

II.3 Etude du coût de l'opération de mise en place des 3 bouchons Hydro Plug:

II.3.1 Coût du volume des bouchons Hydro Plug:

Coût d'un m³ d'Hydro Plug= 195 566.76 DZD

$V_{H.P}=45 \text{ m}^3$ ($V_{H.P}$ = volume des bouchons Hydro Plug à mettre en place).

Coût de volume des bouchons Hydro Plug = Coût d'un m³ d'Hydro Plug x $V_{H.P}$

Coût de volume des bouchons Hydro Plug = 195566.76 x 45

Coût de volume des bouchons Hydro Plug = **8 800 504.2 DZD**

II.3.2 Coût de location de l'appareil de forage:

Coût de location de l'appareil de forage = NPT x coût journalier

Coût de location de l'appareil de forage = 1.25 x 3 500 000

Coût de location de l'appareil de forage = **4 375 000 DZD**

II.3.3 Le coût de volume de boue perdue et de services :

Comme le temps de la perte est réduit de plus de 90% et comme l'opération de mise en place des bouchons HYDRO PLUG ne nécessite pas des équipements spéciaux et une équipe technique spécial pour la réaliser, donc on peut conclure que le volume de boue perdue dans la formation et le coût des services sera forcément réduit.

Le cout de volume de boue perdue est estimé à **106327,4 DZD**

Le cout de service journalier est estimé à **236461.7 DZD**

II.3.4 Coût total du traitement de la perte de circulation :

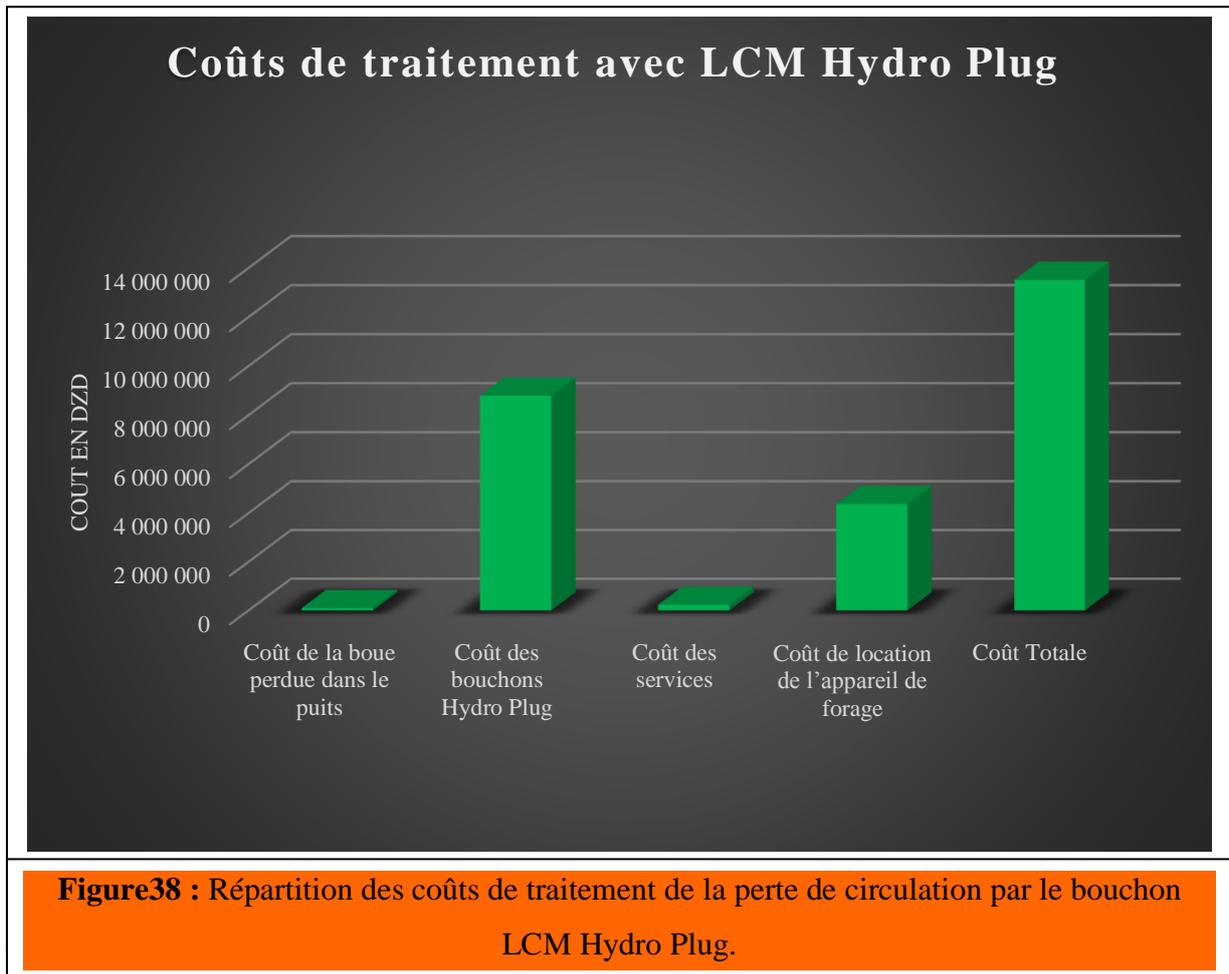
Coût total = coût de la boue perdue dans le puits + coût des bouchons Hydro Plug + coût des services + coût de location de l'appareil de forage

Coût total = 106327,4 + 8 800 504.2 + 236461.7 + 4 375 000

Coût total = 13 518 293.3 DZD.

Coûts des opérations	Coût en DZD
Coût de la boue perdue dans le puits	106 327.4
Coût des bouchons Hydro Plug	8 800 504.2
Coût des services	236 461.7
Coût de location de l'appareil de forage	4 375 000
Coût Total	13 518 293.3

Tableau44: Récapitulatif de la répartition des coûts.



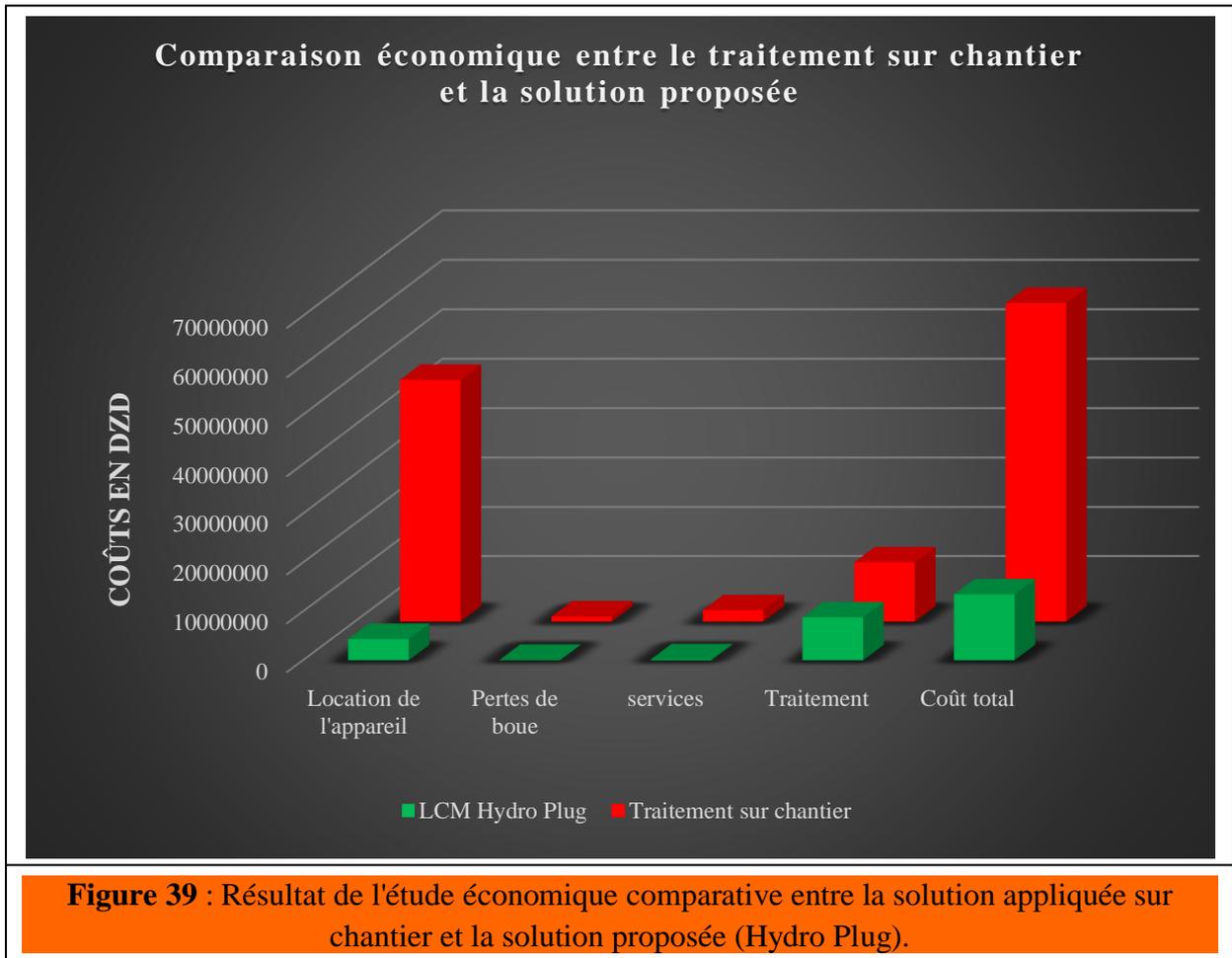
III. Etudes économique comparative entre le coût du traitement de la perte survenue sur chantier et la solution Hydro Plug proposée:

Tableau comparatif entre le coût du traitement de la perte survenue sur chantier et la solution Hydro Plug proposée:

Le coût en DZD (Dinard Algérien)	Location de l'appareil	Perte de boue	Services	Le traitement (bouchons de ciment et LCM ou Hydro Plug)	Coût total
Traitement de la perte sur chantier	49 140 000	1 063 274.619	2 364 617	2 146 108.39	64 714 000.01
La solution Hydro Plug proposée	4 375 000	106 327.4	236 461.7	8 800 504.2	13 518 293.3
				Le Gain économique	51 195 706.71

Tableau45 : Comparaison économique entre le coût du traitement de la perte survenue sur chantier et la solution Hydro Plug proposée.

La figure suivante montre un histogramme qui représente l'étude économique comparative effectuée (tableau précédent).



Conclusion:

Le coût total des opérations de traitement des pertes de circulation survenue au niveau du puits HDB-1 lors du forage de la phase 12^{1/4"} dans le lias carbonaté est estimé à **64 714 000.01 DZD**, ce coût est jugé trop élevé d'où la nécessité de développer une autre solution et l'étudier techniquement et économiquement pour la mettre en œuvre dans les prochaines pertes dans les puits voisins qui seront forés.

Les bouchons Hydro Plug proposés comme solution sont conçus pour éviter l'utilisation de plusieurs bouchons de ciment et LCM, ce qui revient moins cher en termes de dépenses sur la location d'appareil de forage, consommation de l'énergie sur chantier, services et traitement de la perte de circulation. L'expérience montre que l'utilisation des bouchons Hydro Plug lors des pertes de circulation est efficace techniquement pour le traitement, cela est prouvé dans les exemples de traitement de perte de circulation cités précédemment dans ce chapitre.

L'étude technico-économique qu'on a réalisé montre que l'application de la solution proposée est efficace techniquement, cela par la résolution du problème par l'utilisation de 3 bouchons au maximum, le coût total de traitement dans ce cas est estimé et aussi majoré à **13 518 293.3 DZD**, ce qui va nous offrir un gain économique estimé à **51 195 706.71 DZD**, qui veut dire la solution proposée va nous coûter 20.89% de la solution faite sur chantier, ce qui va nous engendrer un gain économique de 79.11% du coût total du traitement sur chantier.

Recommendations

Recommandations:

✓ Les zones carbonatées à fissures et cavités larges sont le siège de pertes, il est recommandé d'utiliser des boues de forage de densité voisine de celle de l'eau.

✓ L'utilisation des fluides allégés est une technique préventive du traitement des pertes de circulation. L'ajout d'un tubage permet l'isolation de zones incompatibles.

✓ Lorsque les pertes surviennent, il est préférable en premier lieu de réduire le débit de refoulement avant de passer à l'injection de colmatants. La réduction du débit s'accompagne d'une diminution de l'ECD, les pertes peuvent s'arrêter dans certains cas (lorsque la perte n'est pas sévère).

✓ Lorsque les pertes surviennent, il est recommandé de bien choisir et déterminer les caractéristiques des bouchons LCM et des bouchons de ciment à utiliser, cela dépend du type de la perte et sa sévérité, des caractéristiques de la formation géologique où la perte est survenue, et de l'expérience du traitement des pertes au niveau des puits voisins.

✓ La décision de continuer le forage sans retour, malgré son avantage de réduire considérablement le nombre de bouchons à utiliser, doit être prise en considérant attentivement le risque de venue et d'instabilité des parois. Un coincement dû à l'accumulation des cuttings dans l'espace annulaire est une situation délicate à remédier. La prévention passe par l'utilisation de nombreux bouchons visqueux.

✓ Les bouchons colmatants doivent être de concentrations adaptées à la nature et la virulence de la perte. Toutefois, l'augmentation des concentrations au-delà d'une certaine valeur n'apporte pas de chance supplémentaire de réussite de l'opération.

✓ La prévention des pertes de circulation est synonyme d'une réussite technico-économique des opérations de réalisation d'un puits pétrolier. Elle consiste à éviter les causes principales de pertes :

- Adapter les caractéristiques de la boue : densité pas très élevée, gel et YV acceptables, viscosité suffisante pour assurer un bon nettoyage du trou.
- Effectuer des circulations pour nettoyer l'espace annulaire des cuttings.
- Rompre le gel de boue laissée longtemps en statique par la mise en rotation de la garniture de forage avant le redémarrage des pompes par paliers.

✓ Il est recommandé d'utiliser les bouchons LCM Hydro Plug pour le traitement des pertes de circulation, caractérisés par leur capacité d'augmenter leur volume en fonction de l'augmentation de la température et de la pression, cela peut remplacer l'utilisation de plusieurs bouchons de ciment et LCM, ce qui est plus économique et plus efficace du côté technique pour le traitement de la perte.

Pour cela, il faut encourager l'utilisation de cette solution dans les prochains problèmes de perte de boue qui seront rencontrés dans les formations carbonatées et naturellement fracturées lors du forage dans la région de Ghardaia

Conclusion

CONCLUSION:

Les pertes totales de boue survenue lors du forage de la phase 12^{1/4}" du puits HDB-1 dans le lias carbonaté sont jugées sévères en terme de coût élevé et du temps perdu pour leurs traitement, la cause des pertes était naturelle dû à l'existence des fractures dans les formations traversées, et la profondeur de la perte était bien déterminée.

La solution de continuation de forage avec une boue à base d'eau sans retour dans la zone a perte était efficace pour la poursuite de l'opération de forage jusqu'à la profondeur finale de la phase 12^{1/4}"prévue, mais elle n'a pas pu résoudre la persistance de la perte.

L'identification de la nature des zones à pertes, sa profondeur exacte et le choix du traitement approprié sont autant de facteur de réussite d'un colmatage des pertes.

Le temps perdu pour le traitement de la boue et son coût économique élève était la raison de la nécessité de développer l'utilisation des bouchons LCM Hydro Plug comme solution théorique adéquate pour ce genre de perte.

La solution des bouchons LCM Hydro Plug développée est plus efficace techniquement, et revient moins chère économiquement d'où la recommandation de son utilisation dans les prochains problèmes de perte qu'on rencontrera dans région de Oued Mya.

Bibliographie

Bibliographie:

- Rapport d'implantation du forage du puits Houad Mbahba #1 (HDB#1), 2017.
- Programme du forage du puits HDB#1, 2017.
- Rapports journaliers du forage du puits HDB#1, avril 2017.
- Rapports journaliers de boue lors du forage du puits HDB#1, avril 2017.
- Programmes des bouchons de ciments, Schlumberger, avril 2017.
- Programme des bouchons LCM, BASP, avril 2017.
- Cours de rhéologie, GARECHE Mourad, FHC, UMBB, 2016.
- Cours de prévention et control d'éruption, FHC, UMBB, 2015.
- Document SONATRACH, "Problèmes au cours du forage", 2014.
- Cours de fluide de forage pour master et ingénieurs, Pr MELLAK Abderrahmane, FHC, UMBB, 2011.
- M.Khodja. Thèse de doctorat "les fluides de forages : étude des performances et considérations environnementales", 2008.
- ENSP formation industrie, les bouchons de ciment, 2005.
- Drilling data handbook, 9th edition, 1999.
- MI – Lost circulation, document MI, 1998.
- Drilling fluid manual, MI – Swaco, engineering, 1998.
- Sonatrach exploration, 1995.

Webographie:

- <http://www.onepetro.org/>.
- <http://www.spe.com/>.
- <http://www.halliburton.lcm.hydroplug.com/>.

Liste des figures:

Figure 1: Situation Géographique de Oued Mya. (Source: SONATRACH / EXPLOTATION, 1995).....	3
Figure 2: Situation géologique du bassin d'Oued Mya. (Source: SONATRACH/ PRODUCTION, 1995).....	4
Figure 3: Coordonnées du sondage HDB-1. (Source: Rapport d'implantation du puits HDB-1, 2017).....	6
Figure 4: Carte de position des puits offset du prospect (HDB-1).....	8
(Source: Rapport d'implantation du puits HDB-1, 2017).	
Figure 5: Architecture du Puits proposée et les prévisions Litho-Stratigraphiques.....	14
(Source: Rapport d'implantation du puits HDB-1, 2017).	
Figure 6: La Vitesse D'avancement prévue lors du Forage du Puits HDB-1.....	18
(Source: Programme du forage du puits HDB-1, 2017).	
Figure 7: Variation des Pressions vierges en fonction de la profondeur.....	19
(Source: Programme du forage du puits HDB-1, 2017).	
Figure 8: Lames de fluide.....	22
Figure 9: Rhéogramme typique d'une boue.....	25
Figure 10: Régimes d'écoulement.....	26
(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).	
Figure 11: Effet de la densité de la boue et la profondeur sur la pression de fond.....	38
(Source: Cours de prévention et control d'éruptions, FHC, UMBB, 2015).	
Figure 12: Effet des gels sur la pression de pistonage.....	39
Figure 13: Les causes des pertes de circulation liées aux caractéristiques des formations.....	42
(Source: Sonatrach Document, " Problèmes au cours du forage", 2014).	
Figure 14: Les causes des pertes de circulation liées aux caractéristiques des formations.....	43
(Source: Sonatrach Document, " Problèmes au cours du forage", 2014).	
Figure 15: Effet des manœuvres sur la densité équivalente.....	44
(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).	
Figure 16: Effet de la vitesse d'avancement sur la densité équivalente.....	45
(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).	
Figure 17: A. Colmatage aux abords du puits. / B. Colmatage dans la formation.....	52
(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).	

Figure 18: Effet de la taille des particules sur le colmatage.....	53
<i>(Source: Drilling Fluids Manual M I Swaco - Engineering, 1998).</i>	
Figure 19: Dimension maximale de pores selon type et la concentration du colmatant.....	54
Figure 20: Procédure de mise en place d'un bouchon de ciment.....	57
Figure 21: Fin de l'opération de cimentation de la phase 16 " et préparation pour la reprise des opérations pour le forage de la phase suivante 12 ^{1/4} ".....	68
Figure 22: Perte totale de circulation survenue à la profondeur 1675 m et 1677 m lors du forage de la phase 12 ^{1/4} ".....	69
Figure 23: Consistance du laitier utilisé pour la préparation des bouchons de ciment.....	72
<i>(Source: Programme des bouchons de ciment Schlumberger, 2017).</i>	
Figure 24: Pompage et résultat du premier bouchon de ciment.....	75
Figure 25: Pompage et résultat du deuxième bouchon de ciment.....	77
Figure 26: Confirmation de la lithologie par l'opération de forage entre 1625m et 1741m.....	80
Figure 27: Pompage et résultat du troisième bouchon de ciment.....	82
Figure 28: Consistance du laitier utilisé pour la préparation des bouchons de ciment thixotropes	84
<i>(Source: Programme des bouchons de ciment Schlumberger, 2017).</i>	
Figure 29: Pompage et résultat du quatrième bouchon de ciment (thixotrope).....	86
Figure 30: Pompage et résultat du cinquième bouchon de ciment (thixotrope).....	90
Figure 31: Pompage et résultat du sixième bouchon de ciment.....	93
Figure 32: Pompage et résultat du septième bouchon de ciment.....	95
Figure 33: Pompage et résultat du huitième bouchon de ciment.....	99
Figure 34: Pompage et résultat du neuvième bouchon de ciment.....	101
Figure 35: Retour de la boue en surface, le colmatage de la perte et la résolution du problème.....	103
Figure 36: La répartition des coûts pendant la durée de perte de circulation.....	109
Figure 37: Image d'Hydro-Plug dans les conditions de surface et dans les conditions de fond.....	113
<i>(Source: http://www.halliburton.com).</i>	
Figure 38: Répartition des coûts de traitement de perte de circulation par le bouchon Hydro Plug.....	125
Figure 39: Résultat de l'étude économique comparative entre la solution appliquée sur chantier et la solution proposée (Hydro Plug).....	127

Liste des Tableaux :

Tableau 1: Les Puits voisins du sondage HDB-1. (<u>Source:</u> Rapport d'implantation du puits HDB-1, 2017).....	7
Tableau 2: Fiche Technique du Puits HDB-1. (<u>Source:</u> Programme du forage du puits HDB-1, 2017).....	15
Tableau 3: Programme de forage et de boue. (<u>Source:</u> Programme du forage du puits HDB-1, 2017).....	16
Tableau 4: Programme de Tubage. (<u>Source :</u> Programme du forage du puits HDB-1, 2017).....	17
Tableau 5: Programme des Outils de Forage. (<u>Source:</u> Programme du forage du puits HDB-1, 2017).....	17
Tableau 6: Récapitulatif des modèles rhéologiques.....	24
<u>(Source :</u> Cours de Rhéologie, Gareche Mourad, FHC, UMBB, 2016).	
Tableau 7: Degrés des pertes de circulation.....	36
Tableau 8: Classification des colmatants granulaires.....	51
Tableau 9: Les agents colmatants. (<u>Source:</u> Sonatrach Document, " Problèmes au cours du forage", 2014).....	55
<u>(Source :</u> Sonatrach Document, " Problèmes au cours du forage", 2014).	
Tableau 13 : Les problèmes rencontrés au niveau du lias carbonaté lors du forage des puits voisins.....	70
<u>(Source :</u> Programme de forage du puits HDB-1, 2017).	
Tableau 14 : Composition typique des bouchons de ciment.....	73
<u>(Source :</u> Programme des bouchons de ciment Schlumberger, 2017).	
Tableau 15 : Composition du premier bouchon de ciment.....	74
Tableau 16 : Composition des bouchons LCM.....	76
<u>(Source :</u> Programme de fabrication des bouchons LCM, BASP, 2017).	
Tableau 17 : Composition du deuxième bouchon de ciment.....	77
Tableau 18 : Composition du deuxième bouchon LCM.	81
Tableau 19 : Composition du troisième bouchon de ciment.....	82
Tableau 20 : Composition typique des bouchons de ciment thixotropes.	84
<u>(Source :</u> Programme des bouchons de ciment Schlumberger, 2017).	
Tableau 21 : Composition du quatrième bouchon de ciment (thixotrope).....	85
Tableau 22 : Composition du troisième bouchon LCM.....	87

Tableau 23: Composition du quatrième bouchon LCM	88
Tableau 24: Composition du cinquième bouchon LCM	89
Tableau 25: Composition du cinquième bouchon de ciment (thixotrope).....	90
Tableau 26: Composition du sixième bouchon LCM.	91
Tableau 27: Composition du sixième bouchon de ciment	92
Tableau 28: Composition du septième bouchon LCM.	94
Tableau 29: Composition du septième bouchon de ciment.....	95
Tableau 30: Composition du huitième bouchon LCM.	96
Tableau 31: Composition du neuvième bouchon LCM.	97
Tableau 32: Composition du huitième bouchon de ciment.....	98
Tableau 33: Composition du neuvième bouchon de ciment.....	100
Tableau 34: Composition du dixième bouchon LCM.	102
Tableau 35: Répartition du temps en fonctions des activités lors du traitement de la perte.....	104
Tableau 36: Coûts et volume totale de boue de forage perdue lors du traitement.....	106
Tableau 37: Coût total des services de traitement de la perte de circulation.....	108
Tableau 38: récapitulatif de la répartition des coûts.....	109
Tableau 39: Temps de mise en place des bouchons Hydro Plug.....	112
<i>(Source : http://www.halliburton.com).</i>	
Tableau 40: Le cout d'un m ³ d'Hydro-plug. (<i>Source</i> : http://www.halliburton.com).....	113
Tableau 41 : Composition du bouchon Hydro plug développé par Baroid.....	115
<i>(Source : http://www.halliburton.com).</i>	
Tableau 42: Tableau récapitulatif des différents cas d'application de bouchon Hydro Plug.....	121
Tableau 43: Composition d'un bouchon Hydro Plug proposé.....	123
Tableau 44: récapitulative de la répartition des coûts.....	124
Tableau 45: Comparaison économique entre le coût du traitement de la perte survenue sur chantier et la solution Hydro Plug proposée.....	126

Annexes

Tableau 01: Fiche technique du puits HDB-1.

Well Name	HOUAD M'DAHBA-1 (HDB-1)
Field	Ghardaïa II
Bloc	436
Basin	Oued Mya
Coordinates UTM (F31)	X= 558 449m Y : 3 575 269m
Gird coordinates	Zs= 583.46m Zt= 592.46m
Profile	Vertical
Well type	Exploration
Well Total Depth	+/-2610m
Reservoir target	Trias T2A à 2401m Trias T1B à 2415m Trias T1C à 2471m Q.H à 2494m
duration at TD	47.10 days
Drilling rig	ENF51

Tableau 02: Comparaison lithologique entre le puits HDB-1 et les puits voisins:

		HDB-1				SMZN-1			AF-1			CEN-1			AF-2			
		Kb	592	Zs	583	Kb	563	Epaisseur	Kb	508	Epaisseur	Kb	545	Epaisseur	Kb	553	Epaisseur	
		Cote abs	Cote md	Epaisseur		Cote abs	Cote md	Epaisseur										
Mésozoïque	Crétacé	Sénonien Carbonaté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Sénonien Anhydritique	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sénonien Salifère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Turonien	583	9	85		555	8	75	499	9	31	537	8	110	549	4	21
	Cénomanién	477	115	165	555	480	83	167	459	40	202	427	118	143	528	25	134	
	Albien	312	280	390		313	250	394	257	242	354	284	261	380	394	159	405	
	Aptien	-78	670	25		-81	644	26	-97	596	21	-96	641	25	-11	564	24	
	Barrémien	-103	695	226	626	-107	670	234	-118	617	254	-121	666	198	-35	588	215	
	Néocomien	-329	921	217		-341	904	221	-372	871	228	-319	864	290	-250	803	214	
	Malm	-545	1137	159		-562	1125	159	-600	1099	200	-609	1154	115	-464	1017	226	
	Dogger Argileux	-704	1296	158		-721	1284	162	-800	1299	121	-724	1269	157	-690	1243	113	
	Dogger Lagunaire	-862	1454	132		-883	1446	131	-921	1420	111	-881	1426	125	-803	1356	154	
	Uas Marneux	-994	1586	26		-1014	1577	26	-1032	1531	18	-1006	1551	27	-957	1510	26	
	Uas Carbonaté	-1020	1612	79	562	-1040	1603	78	-1050	1549	67	-1033	1578	62	-983	1536	98	
	Uas Anhydritique	-1099	1691	109		-1118	1681	106	-1117	1616	132	-1095	1640	117	-1081	1634	87	
	Uas Salifère	-1208	1800	35		-1224	1787	35	-1249	1748	34	-1212	1757	25	-1168	1721	41	
	Horizon B	-1244	1836	22		-1259	1822	22	-1283	1782	23	-1237	1782	22	-1209	1762	19	
	S1+S2	-1266	1858	135		-1281	1844	143	-1306	1805	139	-1259	1804	135	-1228	1781	143	
	S3	-1401	1993	278	489	-1424	1987	293	-1445	1944	284	-1394	1939	278	-1371	1924	310	
	Uas Argileux Sup,	-1679	2271	76		-1717	2280	82	-1729	2228	70	-1672	2217	79	-1681	2234	65	
S4	-1755	2347	47		-1799	2362	49	-1799	2298	45	-1751	2296	56	-1746	2299	48		
Trias	Argileux Inférieur	-1802	2394	7	147	-1848	2411	7	-1844	2343	7	-1807	2352	20	-1794	2347	9	
T2A	-1809	2401	14		-1855	2418	14	-1851	2350	15	-1827	2372	24,5	-1803	2356	16		
T1B	-1823	2415	56		-1869	2432	58	-1866	2365	53	-1851,5	2396,5	62,5	-1819	2372	59		
T1C	-1879	2471	11		-1927	2490	9	-1919	2418	30	-1914	2459	18	-1878	2431	7		
Série Inférieure	-1889	2481	13		-1937	2500	11	-1949	2448	23	-1932	2477	10,5	-1885	2438	34		
Discordance hercynienne		-1902	2494		-1948	2511		-1972	2471		-1942,5	2487,5		-1919	2472			
Paléozoïque	Orebovicién	Dalle de M'kratta																
		Argile microconglomératique																
		Grès d'Oued Saret																
		Argile d'Azzel																
		Grès d'Ouargla																
		Quartzite de Hamra	-1902	2494	50	116	-1964	2527	57	-1994	2502					-1919	2472	64
	Grès d'El Atchane	-1952	2544	45		-2021	2584	46				-1942,5	2487,5		-2023	2576	49	
	Argile d'El Gassi	-1997	2589	21		-2067	2630								-2072	2625	103	
	Cambrien	Zone des alternances																
		R1																
Ra																		
R2																		
R3																		
Socle précambrien																		
Profondeur finale		-2018	2610			-2089	2652		-2139	2638		-1993	2538		-2231,5	2784,5		

Tableau 03: Paramètres de la boue de forage.

Interval Properties	26"	16"	12 ¼"	8 ½"	6 "
Mud type	Spud Mud	OBM INVERMUL	OBM INVERMUL	OBM INVERMUL	OBM INVERMUL
Density SG	1.05	1.25	1.0	1.85	1.50
Yield Value lb / 100 ft ²	45 - 55	18 - 24	12 - 16	10 - 14	10 - 12
API Fluid Loss cc's / 30 min	NC +/- 20	-		-	-
HPHT @ 200F & 500 PSI	-	<10	<10	<10	-
HPHT @ 250F & 500 PSI	-	-		-	<4
Pom	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4	2 - 2.5
MBT kg/m ³	80 - 100	-		-	-
PH	11 - 12	-		-	-
LGS %	< 5	<5	< 5	< 5	< 4
Oil / Water	-	70/30 - 85/15	85/15 - 90/10	90/10	95/5
Electrical Stability	-	>600	>1000	>1000	>1000

Tableau 04: Les problèmes rencontrés lors du forage des puits voisins.

Well Name	Spud Date	Casing Program	Mud Program	Problems
MJR-1	6-Feb-17	18"5/8-87,5#-K55 BTC @180m	1,05sg Bentonite	DRILLING 26" HOLE SECTION ** Very hard formation and very slow ROP when start drilling , drilling to 181 m , ok , run 18 5/8 csg and cement it
		13"3/8 - 68# - N80 BTC @ 1624m	1.25sg OBM	DRILLING 16" HOLE SECTION Bit TFF913 NOV to 1600m ,CIRCULATE BOTTOM'S UP 20m ABOVE LIAS CARBONATE TO CLEAN HOLE,DRILLING 16" HOLE SECTION to 1704m (Lias carbonaté Top@1629m),** Get total loss@1704m, POOH and Get back reaming from 1704m to 1600m.Pooh freely from 1600m to 1436m,Pooh w/back reaming, f/1042m t/1034m - Neocomian,f/888m t/697m - Barremian , run with OEDP , spot cement plug 15m ³ 1,90sg , dress cement to 1625m ; pooh and Run for logging , change off scope , Run 13 3/8 csg and cement it without probleme,
		9"5/8-53,5# ,47#-P110 BTC @2361m	1,00sg OBM	Run 12 1/4 with ALDIM SP619 , 9*18 ,drill a head to 1745m with reduce paramettre flow not more than 2000lpm , circulate , pooh , run for logging , pooh, run 7" casing without problems and cement it ok
		7"32#-P110 N VAM liner @2348m	1,85sg OBM	in progress

Suite:

Well Name	Spud Date	Casing Program	Mud Program	Problems
CEN-1	10-Jan-16	18"5/8-87,5#-K55 BTC @196m	1.05sg Bentonite	DRILLING 26" HOLE SECTION BAKER SB115C 1X16, 3X18 ,Very hard formation and slow rop,No enough WOB and no stb yet, Total losses occurred @ 20m (Turonien) ,Pump 5m3 slurry 1.90sg , 1% CaCl2, Make up 26" stabilizer at 17m from bit to avoid vibrations in losses zone ,HARD REAMING 27,0-37,0,Hard reaming w/stb f/10 to 20m,High vibration & jumping, DRILLING 26" HOLE SECTION (Turonian),60m to 63m,Partial losses 4m3/h, DRILLING 26" HOLE SECTION, Total loss & Stuck at this depth and get free,SET SECOND 20m3 & 1.58sg CMT PLUG W/OUT RETURN ,DRILLING 26" HOLE SECTION to 118m with 2m3/h , TD@197m, wiper trip ; run 18 5/8 casing and cement it ok
		13"3/8 - 68# - N80 BTC @ 1717m	1.25sg OBM	M/U 16" BHA BIT NOV TFF913S ,9X12 ,DRILLING 16" HOLE SECTION (Ream each stand drilled). Lost 3m3 @1586m(lias carbonate), continue DRILLING 16" HOLE SECTION TO 13"3/8 CSG SHOE (100% return)@1718m, circulate&clean hole, Run 13 3/8 csg with cumul lost 8m3,and cement it ok
		9"5/8-53,5# ,47#-P110 BTC @2350m	1,80sg OBM	Run with varel R813DGX , 8*18 , SHOE BOND TEST EMW=2.40sg . DRILLING 12"1/4 hole section ,Geological section@2351m casing ,PULL 12"1/4 BHA ,HARD BACK REAMING AND WORK TIGHT INTERVAL,CIRCULATE WHILE INCREASE MUD WEIGHT F/1.80sg TO 1.85sg, logging, wiper trip , PERFORM FORMATION INTEGRITY TEST EMW=2.28sg , RUN 9"5/8 CSG 53.5# P110-N.VAM,and cement it ok
		7"32#-P110 N VAM liner @2537m	1,50sg OBM	Run with NOV DSF713M, DRILLING 8"1/2 hole section to 2 373,GEOLOGICAL CIRCULATION,First coring point at 2373m (Trias T2A) as given by SH/ geologist,core bit CDPF713S,DRILLING 8"1/2 HOLE SECTION to 2474m (TRIAS SERIE INF) to 2492m , DRILLING 8"1/2 HOLE SECTION to 2538m, logging, Run 7" liner to 2537m and cement it ok , perforation and DST (Perforate from 2449m to 2445m) TRIAS T1B +C

Tableau 05: Coût de l'opération de mise en place d'un bouchon de ciment de consolidation.

Fluid	Code	Price (\$/m3)	Volume (m3)	Total Cost (\$)
Tail Slurry	BC-4	490.05	20	\$9,801.0
Total Products Charge				\$11,374.8
Service Charge				\$2,750.0
Total Job Cost Estimation				\$14,124.8

Tableau 06: : Coût de l'opération de mise en place d'un bouchon de ciment de thixotrope.

Fluid	Code	Price (\$/m3)	Volume (m3)	Total Cost (\$)
Slurry	BC-Thixo	458.7	15	\$6,880.50
Service Charge				\$11,000.00
Total Job Cost Estimation				\$17,880.50

Tableau 07: Composition et coût d'un m³ du bouchon LCM Hydro Plug.

Products	Concentration Kg/m3	Unites DZD	Total Used	Volume m3	Total Cost DZD
BARO LIFT	0.42	2,613,429.46	0.00042	1	1,097.64
STEEL SEAL	Optional	-		-	-
BRAZAN D	2.14	637,935.50	0.00214	1	1,365.18
HYDRO-PLUG	171.6	1,129,262.80	0.171	1	193,103.94
				Total	195,566.76

Figure 01: Composition, caractéristiques et consistance des bouchons de ciments de consolidation.

Fluid No : HAL17_0910_001	Client : SH	Location / Rig : ENF-51	Aemen
Date : Apr-09-2017	Well Name : HDB-1	Field : Oued Mya	Zoubir/Mohamed

Job Type	LCP	Depth	1677.0 m	TVD	1677.0 m
BHST	71 degC	BHCT	44 degC	BHP	2430 psi
Starting Temp.	27 degC	Time to Temp.	00:30 hr:mn	Heating Rate	0.10 degC/min
Starting Pressure	100 Psi	Time to Pressure	00:30 hr:mn	Schedule	Cementicse

Composition

Slurry Density	1.900 SG	Yield	758.4214 L/tonne	Mix Fluid	438.05 L/tonne
Solid Vol. Fraction	42.27 %	Porosity	57.73 %	Slurry type	Conventional

Code	Concentration	Component	Lot Number
G		Blend	28-10-16
Fresh water	436.83 L/tonne	Base Fluid	
D047	1.000 L/tonne	Antifoam	2Q0007835
D167	0.200 %BWOC	Fluid loss	ESD0901417
D065A	0.200 %BWOC	SALTBOND II	B130255027
D198	0.050 %BWOC	Retarder	20162806

Rheology

Temperature	27 degC			44 degC		
	(rpm)	Up (deg)	Down (deg)	Average (deg)	Up (deg)	Down (deg)
300	90.0	90.0	90.0	83.0	83.0	83.0
200	73.0	71.0	72.0	66.0	64.0	65.0
100	52.0	51.0	51.5	47.0	44.0	45.5
60	40.0	39.0	39.5	35.0	32.0	33.5
30	26.0	25.0	25.5	27.0	25.0	26.0
6	14.0	14.0	14.0	14.0	13.0	13.5
3	12.0	9.0	10.5	10.0	8.0	9.0

10 sec Gel	11	8
10 min Gel	15	20

Rheo. computed	Viscosity : 70.539 cP Yield Point : 23.53 lbf/100ft2	Viscosity : 63.624 cP Yield Point : 21.25 lbf/100ft2
----------------	--	--

Thickening Time

Consistency	Time
40 Bc	05:17 hr:mn
80 Bc	05:33 hr:mn
100 Bc	05:41 hr:mn

Free Fluid

0.0 mL/250mL in 2 hrs
At 27 degC and 0 deg Incl
Sedimentation : None

Fluid Loss

API Fluid Loss 94 mL
In 13 min at 50 degC and 1000 psi

Comments

- Rig water CL: =278 mg/L Mar/20/17
- Base 2 Cement
- GO-NO GO test
- Time to vortex 08 s

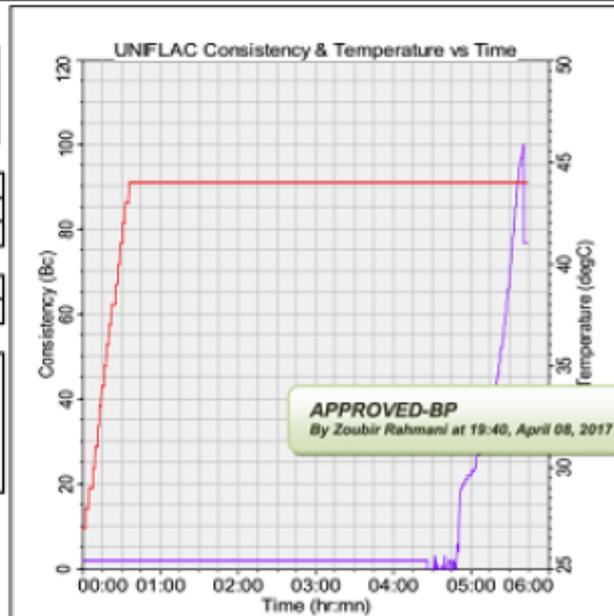


Figure 02: Composition, caractéristiques et consistance des bouchons de ciments de thixotropes.

Fluid No : HAL17_0931_001	Client : SH-DP	Location / Rig : ENF-51	Well Name : HDB-1	Field : Oued Mya	Aemen
Date : Apr-11-2017					Zoubir/Mohamed

Job Type	LCP	Depth	1731.0 m	TVD	1731.0 m
BHST	71 degC	BHCT	44 degC	BHP	2440 psi
Starting Temp.	27 degC	Time to Temp.	00:11 hr:mn	Heating Rate	1.54 degC/min
Starting Pressure	100 Psi	Time to Pressure	00:11 hr:mn	Schedule	Cementicse

Composition

Slurry Density	1.700 SG	Yield	994.1470 L/tonne	Mix Fluid	676.69 L/tonne
Solid Vol. Fraction	31.93 %	Porosity	68.07 %	Slurry type	Conventional

Code	Concentration	Component	Lot Number
G-L		Cement	28-10-16
Fresh water	607.69 L/tonne	Base Fluid	
1-D047	2.000 L/tonne	Antifoam	2Q0007835
2-D111	50.000 L/tonne	Thixotrop.	From BASE 2
3-D110	17.000 L/tonne	Retarder	TU4CO332A2

Rheology

Temperature	27 degC			44 degC		
(rpm)	Up (deg)	Down (deg)	Average (deg)	Up (deg)	Down (deg)	Average (deg)
300	45.0		45.0	185.0	185.0	185.0
200	36.0		36.0	151.0	150.0	150.5
100	29.0		29.0	125.0	122.0	123.5
60	24.0		24.0	90.0	90.0	90.0
30	20.0		20.0	71.0	69.0	70.0
6	13.0		13.0	44.0	43.0	43.5
3	9.0		9.0	30.0	27.0	28.5
10 sec Gel	10			28		
10 min Gel	44			64		
Rheo. computed	Viscosity : 27.150 cP Yield Point : 18.38 lbf/100ft2			Viscosity : 127.998 cP Yield Point : 64.73 lbf/100ft2		

Thickening Time

Consistency	Time
Remark : Thickening time do not include batch time	
40 Bc	05:08 hr:mn
80 Bc	05:08 hr:mn
100 Bc	05:11 hr:mn
Batch Mix Time : 01:00 hr:mn	at 30 degC

Free Fluid

0.0 mL/250mL in 2 hrs
At 30 degC and 0 deg incl
Sedimentation : None

Comments

Sampling:
- Rig water CL = 278 mg/L 20/03/17
- Base 2 Cement
- Go NO GO test 2h on 10 mn off.
- The mixing order as per the design above
- Time to vortex 10s

