

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie minier

Mémoire de Master en Génie minier

Etude comparative des fluides de forage

Cas d'étude : Programme du puits OMO Z-463

Réalisé par :

Melhout Amine

Encadré par

Mme : Bentalla souaad

devant le jury

Présidente jury: Mme Boutria Samira

Examineur : Mr Akkal Rezki

Promotion : Juin 2015

ملخص

سوائل الحفر ضرورية لنجاح عمليات التنقيب عن النفط في الابار العميقة او الموجهة هدفنا هو دراسة أنواع مختلفة من سوائل الحفر و خصائصه الفيزيائية والكيميائية، و إجراء مقارنة بين هذه الأنواع، ودراسة حالة حقيقية من برنامج سائل الحفر للبئر OMOZ 463

الكلمات المفتاحية : التنقيب عن النفط ، سوائل الحفر ، دراسة مقارنة ، برنامج سائل الحفر

Résumé

Les fluides de forage sont essentiels pour la réussite d'un forage pétrolier, notamment dans les forages profond et forage dirigé

Notre travail consiste à étudier les différents types du fluide de forage et leurs caractéristiques physico-chimiques, en faisons une comparaison entre ces types, et étudiant un cas réel d'un programme de boue pour le puits OMO Z 463

Mots-clés : forage pétrolier, boue de forage, étude comparative, programme de boue

Abstract

Drilling fluids are essential to the success of oil drilling, especially in deep drilling and directional drilling

Our job is to study the different types of drilling fluid and their physical and chemical characteristics, make a comparison between these types, and studying a real case of a mud program for 463 wells OMO Z 463

Key words: oil drilling, drilling mud, comparative study, mud program

REMERCIEMENT

Avant tout, nous remercions notre dieu ALLAH le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la Volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons remercier vivement nos encadrants Monsieur EL HADJ MAHHAMAD BELHADJ formateur au sein de Sonatrach et Madame SOUAD BENTALLA pour leur disponibilité, leur écoute et leurs conseils avisés et pour nous avoir accompagné durant la réalisation de notre travail

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

Merci à l'ensemble des enseignants du département génie minier de nous avoir formé pour être apte à accomplir ce travail, et de nous apprêter à devenir ingénieurs

Nous exprimons notre gratitude à Monsieur GHARES MOHHAMED pour l'attention et l'aide, son accueil et son disponibilité pendant la durée de notre stage sans sa présence le présent travail n'aurait pu être réalisé

Nous remercions les membres de jury de nous faire l'honneur d'évaluer notre travail

DEDICACES

*Que ce travail témoigne de mes respects ;
A mes parents ;*

Mon père mon premier encadrant depuis ma naissance ;

*A ma très chère et douce mère, qu'elle trouve ici ma gratitude qui, si grande qu'elle
Puisse être, ne sera à la hauteur de ses sacrifice et ses prière pour moi ;
Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds
sentiments envers eux ;*

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront fiers de moi ;
A mes sœurs ; IMENE, FERIEL à qui je souhaite beaucoup de réussite et de bonheur ;*

*A la famille Ghares : Monsieur MOHAMMED, ma tante FATMA et mes cousins ;
ABDELFETTAH, JIJI, et ANIS pour les sentiments de respect et de reconnaissance pour le
Soutien et surtout l'amour qu'ils n'ont cessé de me porter pendant toutes ces années*

A mes tantes : ZAHIA, DJAMILA et AMINA

A mes grands parents

A tous mes amis et mes collègues :

LISTE ABREVIATION

API: American Petroleum Institute

C.M.C: Carboxy-méthyl-cellulose

OBM: Oil-Based Muds (fr) boue à base huile

WBM: Water-Based Muds (fr) boue à base d'eau

TVD :true vertical depth (fr) profondeur vertical réel

MD :measured depth (fr) profondeur mesuré

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : principaux additifs utilisée dans les fluide de forage.....	19
Tableau 2 : Programme du puit OMO Z 463.....	34
Tableau 3 : programme de la boue.....	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : le circuit de la boue	13
Figure 2 : appareil de filtration des boues de forage.....	23
Figure 3 : Densimètre des boues de forage.....	24
Figure 4 :Principe de mesure de viscosité Marsh	26
Figure 5 :Viscosimètre à cylindre Fann	26
Figure 6 :les modèles de l'écoulement	28
Figure 7 :Circuit de la boue	35

Table des matières

Introduction générale	9
CHAPITRE I : LES BOUES DE FORAGE	10
I. Introduction	11
II. Définition et historique	11
1. Les boues de forage	11
2. le circuit de la boue	12
III. Les types de fluide de forage	13
1. Les fluides de forage à base d'eau	13
2. Les fluides de forage à base d'huile.....	14
3. Les fluides de forage gazeux.....	15
4. Comparaison entre les types des boues.....	15
IV. Principaux produits à boue : rôle et utilisation	16
1. Les colloïdes argileux	16
2. Les colloïdes organiques.....	16
3. Les additifs minéraux.....	17
4. Les anti-mousses	17
5. Les alourdissant	18
V. Les rôles des boues de forage	19
VI. Conclusion	21
CHAPITRE II : CARACTERESIQUE PHISICO-CHIMIQUE DES FLUIDE DE FOARGE 22	
I. Introduction	23
II. Caractéristiques des fluides de forage	23
1. Filtration.....	23
2. Densité et Masse volumique	23

3. Viscosité.....	25
4. Teneur en solide.....	27
III. La rhéologie.....	27
1. l'écoulement.....	27
Bingham.....	28
2. la Valeur du Yield.....	29
IV. Conclusion.....	29
I. CHAPITRE : III ETUDE DE CAS PUIITS OMO Z 463.....	30
I. Introduction.....	31
II. Etude et réalisation d'un programme de boue.....	31
1. But du programme de boue.....	31
2. Importance du type de boue.....	32
3. Etude du programme.....	32
III. Etude d'un cas pratique.....	33
1. Aperçu sur le gisement de Hassi-Messaoud.....	33
2. Situation géographique du puits.....	33
3. Prévisions géologiques.....	33
4. Circuit de la boue.....	35
5. programme de la boue OMO Z 463.....	35
IV. Conclusion.....	39
Conclusion générale.....	40
Bibliographie.....	41

Introduction générale

Le pétrole brut et le gaz naturel se sont formés au cours de millions d'années par la décomposition de végétaux et d'organismes marins, comprimés sous le poids des sédiments.

Comme ils sont plus légers que l'eau, ils ont migré pour combler les vides existants dans ces formations sous-jacentes. Ces mouvements vers le haut se sont estompés lorsqu'ils ont atteint des couches denses imperméables ou des roches non poreuses.

L'essentiel des forages se fait à l'eau ou à la boue (mélange d'eau, de poudres minérales et des produits). La composition des boues est variable et est influencée par des caractéristiques connues ou supposée des formations à traverser.

Aux principales fonctions techniques du forage, (stabilisation des parois, transport des déblais) viennent s'ajouter des exigences environnementales de plus en plus soucieuses du respect de l'environnement. Ces exigences, sont représentées par des réglementations nationales et internationales ainsi que par des normes et standards de conformité à respecter. Aussi, pour comprendre ces exigences, il convient de bien connaître les caractéristiques physiques et chimiques des boues exploitées pour le forage. C'est dans ce contexte que notre étude s'insère, et dans laquelle nous cherchons à comprendre, les boues de forage, leurs typologies et leurs composants.

Nous organisons dès lors, notre travail qui est structuré autour de trois chapitres :

- Un premier chapitre qui comprend les généralités sur le fluide de forage concernant ses types, ses compositions ainsi que son rôle.
- Un deuxième chapitre comprenant les différentes propriétés physico-chimiques du fluide de forage commençant par donner les caractéristiques de fluide de forage et citer la rhéologie de ce dernier.
- Et pour renforcer nos connaissances sur les boues de forage, le dernier chapitre est consacré à un cas d'étude, sur l'OMOZ 463. Selon la disponibilité des données, on essayera de donner le programme réel de la boue de forage avec ses constituants pour chaque phase.

CHAPITRE I : LES BOUES DE FORAGE

I. Introduction

La boue est un moyen indispensable au forage, ses rôles sont multiples tandis que son maniement est délicat. Au même titre que le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et la nature de la formation, les caractéristiques de la boue constituent un paramètre essentiel de forage.

Le rôle de la boue est primordial dans la conduite d'un forage, l'amélioration continue de la technique des boues ainsi que celle du forage permet de forer plus profondément et plus rapidement.

Il est donc indispensable d'apporter aux boues tous les soins nécessaires à leur fabrication, et à leur contrôle en cours d'utilisation.

II. Définition et historique

1. Les boues de forage

Le fluide de forage, appelé aussi boue de forage, est un système composée de différentes constitutions liquides (eau, huile) contenant en suspension, d'autres additifs minéraux et organiques (Belhabib, 2013).

En 1979, l'American Petroleum Institute (API) définit le fluide de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée du forage.

La boue a été utilisée pour la première fois par le capitaine Lucas¹ (Texas). Son histoire peut être divisée en quatre périodes :

- Avant 1901 «période artisanale» : Les fluides de forage étaient constitués essentiellement d'eau et aucune importance n'était attachée à ces fluides.
- De 1901 à 1928 «période empirique » : dans cette période on n'attache d'importance qu'à la densité (mesurée par pesée directe à l'aide d'une balance ordinaire), et à la viscosité (appréciée visuellement).
- De 1928 à 1955 «période expérimentale » : dans cette phase de nombreux chercheurs se penchèrent sur l'étude expérimentale des fluides de forage et les progrès deviennent très vite considérables, cette période fut marquée par :
 - En 1929, la bentonite fut utilisée pour augmenter la viscosité et le phosphate pour la diminuer
 - 1930 apparition des viscosimètres Marsh et Stormer.
 - 1935 La boue à base d'huile a été utilisée pour la première fois.

(1) : Lucas : (1855–1921) ingénieur pétrolier américain

- 1936 L'attapulgite était utilisée pour augmenter la viscosité de la boue salée.
- 1945 apparitions du viscosimètre Fann qui mesure les caractéristiques rhéologiques des boues de forage.
- A partir de 1955 «période technique » : Les progrès sont devenus très rapides et les produits dont on dispose actuellement permettent de faire face à peu près à tous les problèmes (Garcia, et al., 1968)

2. le circuit de la boue

Selon (OUGGAD, et al., 2012), lors de l'opération de forage, la boue est en circulation continue, on peut décrire ce circuit comme suit :

1. La boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation.
2. Une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits.
3. La boue sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où le trépan est en train de forer la formation rocheuse.
4. La boue emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan.
5. A la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue, une tige qui mène au tamis vibrant.
7. Les tamis vibrants se composent d'un ensemble de crépines métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les crépines et est renvoyée vers le bassin de décantation.
8. Un traitement plus élaboré est effectué par un ensemble d'équipements d'épuration mécanique.
9. Les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant leur rejet. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits.

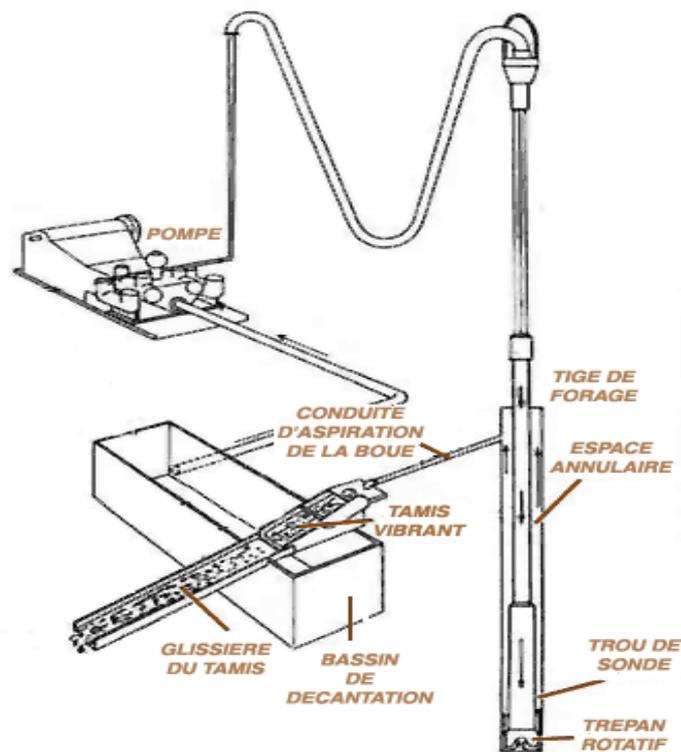


Figure 1 le circuit de la boue

III. Les types de fluide de forage

Les fluides de forage peuvent être classés selon la constitution de la phase continue en trois groupes (Hachmi, 2010):

- ✓ fluides de forage à base d'eau
- ✓ fluides de forage à base d'huile
- ✓ fluides de forage gazeux

1. Les fluides de forage à base d'eau

Les fluides de forage à base d'eau sont des fluides dont la phase continue est constituée de l'eau, éventuellement chargée en électrolyte (NA CL).

Ils se présentent essentiellement comme suit :

- les boues douces dont la salinité en NA CL ne dépassent pas quelques g/ l.
- les boues salées dont la salinité en NA CL peut être comprise entre quelque dizaine de g/l et saturation (320 g/l environ)

1.1 Les boues douces (benthoniques)

Les boues douces sont principalement constituées par une suspension colloïdale² d'argile, plus précisément de la bentonite sodique dans l'eau.

(2) : suspension colloïdale : intermédiaires entre les suspensions et les solutions

La concentration en bentonite varie généralement de 30 à 70 kg/m³ selon le rendement de la bentonite et les caractéristiques de la boue désiré

1.2 Les boues salées

Les boues salées sont pour la traversé des zones salifères pour éviter le cavage et elles sont constitués de :

- Eau
- Sel (généralement NA CL)
- Colloïdes minéraux
- Colloïdes organique (amidon, CMC)
- Un fluidifiant minéral ou organique (chaux, soude)

Ces boues sont divisées en deux types :

- Les boues salées non saturées
- Les boues salées saturées

2 Les fluides de forage à base d'huile

La phase continue de ces fluides est une huile minérale (pétrole brut, gas-oil) et la phase discontinue est de l'eau, selon le pourcentage d'eau, ces boues peuvent être classées en deux types :

- ✓ Boues à émulsion inverse³ (contiennent plus de 5 % d'eau)
- ✓ Boues à huile (contiennent moins de 5 % d'eau)

2.1 Composition des boues à l'huile

- Huile de base : constitue la phase liquide continue de la boue
- Eau : de 2 à 5% pour les boues à l'huile et de 5 à 50% pour les boues émulsionnées inverse
- Additifs :
 - Agents viscosifiants : argile, acide naphthénique (C_nH_{2n-1}COOH)
 - Agents émulsifiants et stabilisants : ces produits sont utilisés pour favoriser la formation et la stabilité d'une émulsion inverse (eau/huile)
 - Agents fluidifiants : le but de ces produits est de réduire la viscosité de la boue
 - Alourdissant : carbonate de calcium (CA CO₃) baryte (BA SO₄)

(3) : émulsion inverse : l'eau est dispersée dans l'huile

2.2 Les avantages des boues à l'huile

- Insensibilité aux contaminants habituels des boues à base d'eau (KCL, NA CL, CA SO₄)
- Excellents caractéristiques de la filtration
- Réduction du frottement de la garniture sur les parois du puits et augmente la durée de vie des outils

2.3 Les inconvénients des boues à l'huile

- Sensibilité à l'eau et a certain brut
- L'avancement de l'outil est moins rapide qu'avec les boues à base d'eau
- Un prix de revient plus élevé que celui d'une boue à base d'eau

3. Les fluides de forage gazeux

Les fluides de forages gazeux sont des fluides dont la phase contenue est un gaz mélangé avec l'eau, le gaz peut être de l'air, du gaz naturel ou de la mousse. Ce type de fluide est peu utilisé dans le monde, et on le trouve surtout aux USA. Le manque d'utilisation est dû à plusieurs raisons, à savoir l'aspect sécuritaire : leur utilisation est dangereuse. De plus, le gaz, étant léger, il ne permet pas, une pression importante, et donc sa rentabilité reste inférieure aux autres fluides

4. Comparaison entre les types des boues

Après avoir cité et analysé les différents composants de chaque type de boues, nous nous proposons de faire la comparaison entre ces types.

Les boues à base d'huile sont très utilisées, ces boues ont des avantages techniques très importants. Cependant, ces boues présentent l'inconvénient de générer des rejets toxiques dépassant les normes admises ce qui entraîne un cout de traitement très élevé

Par contre les boues à base d'eau pourraient présenter une alternative à elles à base d'huile, ce type de boue offre une protection plus efficace de l'environnement, une vitesse d'avancement importante et un prix de revient moins coûteux

Le forage à l'air réduit le coût du forage de 50 à 60% par rapport au forage à la boue ordinaire ce type de forage est utilisé afin d'éviter les pertes de circulation et pour avoir un fluide de forage plus léger. Les avantages sont une bonne tenue des parois grâce à un filtrat contrôlé, une tendance aux pertes de circulation fortement réduite et une vitesse d'avancement plus grande, une assez bonne capacité de refroidissement des terrains traversés et du train de sonde, à moins que la stabilité de la boue aérée ne soit liée à une circulation effective des

fluides. Il est recommandé dans le cas des pertes totales répétées de la boue lors de la circulation ainsi que dans le forage des couches productrices sous faible pression

IV. Principaux produits à boue : rôle et utilisation

Un très grand nombre de produits sont employés dans les fluides de forage. Certains ont un rôle particulier, d'autres ont un rôle multiple.

Les principaux produits employés dans les boues vont être examinés.

1. Les colloïdes argileux

1.1 Les bentonites

Les bentonites sont des argiles sodiques qui présentent la propriété de gonfler dans l'eau douce en absorbant de grandes quantités d'eau.

Les bentonites sont employées pour augmenter la viscosité et les gels des boues douces et diminuer leur filtrat. En milieu salé (> 35 g/l de Na Cl), les bentonites sont inefficaces et ne servent alors que de support colloïdal.

1.2 Les attapulgites

Les attapulgites sont des argiles qui présentent la propriété de se disperser et de rester en suspension en milieu salé. Cette propriété est employée pour augmenter la viscosité et les gels des boues salées (> 35 g/l de Na Cl). Cependant, ces argiles ne présentent aucune capacité à réduire le filtrat.

2. Les colloïdes organiques

2.1 L'amidon

Les amidons sont extraits des pommes de terre, du riz, du maïs, du blé et traités spécialement pour gonfler rapidement même dans l'eau froide et non alcaline.

L'amidon est ajouté dans les boues douces ou salées pour réduire le filtrat. Son emploi exige cependant que l'une des deux conditions suivantes soit satisfaite

- pH > 12
- salinité supérieure à 200/250 g/l.

Un bon amidon doit réduire le filtrat sans trop augmenter la viscosité de la boue et il doit résister à une température de 150 °C.

2.2 La C.M.C. (carboxy-méthyl-cellulose)

Les C.M.C sont classées en trois catégories, en fonction de la viscosité qu'elles confèrent au fluide :

- basse viscosité
- moyenne viscosité
- haute viscosité

3. Les additifs minéraux

3.1 La soude caustique (Na OH)

La soude est employée pour

- accroître le rendement des argiles : 1 à 2 kg par mètre cube de boue, 3 à 5 kg/m³ pour les boues à l'eau de mer
- augmenter le pH et accroître le rendement des produits organiques (fluidifiants et réducteurs du filtrat)

3.2 Le carbonate de soude (Na₂ CO₃)

Le carbonate de soude est employé pour:

- accroître le rendement des argiles : 1 à 2 kg par mètre cube de boue
- précipiter le calcium

3.3 Le bicarbonate de soude (Na HCO₃)

Le bicarbonate de soude est employé lors des reforages de ciment pour précipiter la chaux libérée par le ciment.

3.4 Le sel (Na CL)

Le chlorure de sodium est employé pour fabriquer des boues salées saturées, lorsque l'on doit forer dans des zones salifères.

4. Les anti-mousses

Ces produits favorisent le dégazage de la boue. Il en existe une infinité. Citons

- le stéarate d'alumine
- les alcools supérieurs (octylique, etc...)
- les tensioactifs (éthers polyoxyéthylénés).

5. Les alourdisant

5.1 La barytine ou sulfate de baryum (Ba S04 - densité : 4,2)

C'est l'alourdisant le plus couramment utilisé. Une bonne barytine, le plus communément appelée baryte, doit pas contenir d'argile ni de sel soluble et sa densité doit être d'au moins 4,20.

A l'aide de la baryte on peut alourdir une boue jusqu'à une densité de 2,50.

5.2 Le carbonate de calcium (Ca C03 - densité : 2,7)

C'est un alourdisant utilisé dans les boues de complétion. Il présente l'avantage de pouvoir être détruit par acidification du cake. Il est aussi employé parfois comme "alourdisant primaire" dans les boues à l'huile de faible viscosité parce qu'il ne sédimente pas facilement.

A l'aide de Ca C03, on peut alourdir une boue jusqu'à une densité de 1,20 - 1,30

5.3 La galène ou sulfure de plomb (PbS - densité : 7,00)

Cet alourdisant est employé pour obtenir des densités de boue de 2,50 à 3,00.

On alourdit d'abord la boue à l'aide de baryte qui sert "d'alourdisant primaire", puis on poursuit l'alourdissement à l'aide de galène jusqu'à la densité désirée. Le produit est très abrasif et ne doit être employé qu'en cas de nécessité absolue.

Tableau 1 principaux additifs utilisée dans les fluide de forage

1	Contrôleurs d'alcalinité	11	Lubrifiants
2	Bactéricides	12	Décoiçant
3	Anti-calcium	13	Inhibiteurs de gonflement des argiles
4	Anti-calcium	14	Produits facilitant la séparation
5	Anti-mousses	15	Stabilisants haute température
6	Agents moussants	16	Défloculants
7	Emulsifiants	17	Viscosifiants
8	Réducteurs de filtrat	18	Alourdisant
9	Floculant	19	Saumure
10	Colmatant	20	Huile minérale

V. Les rôles des boues de forage

Les boues de forage doivent avoir les propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes :

Nettoyage du puits

La boue doit débarrasser le trou des particules de formation forées qui se présentent sous forme de débris de roche "cuttings" ou "déblais".

Maintien des déblais en suspension

La boue doit non seulement débarrasser le puits des déblais de forage durant les périodes de circulation, mais elle doit également les maintenir en suspension pendant les arrêts de circulation.

Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde

Du fait de son passage en surface, la boue en circulation se trouve à une température inférieure à celle des formations ce qui lui permet de réduire efficacement l'échauffement de la garniture de forage et de l'outil.

Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits

La boue doit posséder des caractéristiques physiques et chimiques pour que le trou conserve un diamètre voisin du diamètre nominal de l'outil.

Le cavage est causé par des éboulements, par la dissolution du sel, par la dispersion des argiles.

Dépôt d'un cake imperméable

La filtration dans les formations perméables d'une partie de la phase liquide de la boue crée un film sur les parois du sondage, ce film est appelé cake.

Le dépôt du cake permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits.

Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile

Afin d'éviter le débit dans le sondage des fluides contenus dans les réservoirs rencontrés en cours de forage, la boue doit exercer une pression hydrostatique suffisante pour équilibrer les pressions de gisement.

La pression hydrostatique de boue doit être égale ou légèrement supérieur à la pression de pore $\rho gH > P_{\text{pore}}$

Avec :

- P: masse volumique du fluide
- G : accélération de la pesanteur
- H: hauteur de la colonne de fluide
- P : pression des pores

Augmentation de la vitesse d'avancement

Au même titre que le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit du fluide, le choix du type et les caractéristiques de la boue conditionnent les vitesses d'avancement instantanées, la durée de vie des outils, le temps de manœuvre, en un mot, les performances du forage.

Diminution du poids apparent du matériel de sondage

Bien que ce soit beaucoup plus une conséquence qu'une fonction, la présence d'un fluide d'une certaine densité dans le puits permet de diminuer le poids apparent du matériel de sondage, garniture de forage et tubages ceci permet de réduire la puissance exigée au levage.

Apport de renseignements sur le sondage

La boue permet d'obtenir des renseignements permanents sur l'évolution des formations et fluides rencontrés. Ces renseignements sont obtenus par

1. les déblais remontés par la circulation de boue
2. l'évolution des caractéristiques physiques et/ou chimiques de la boue
3. la détection des gaz ou autres fluides mélangés à la boue
4. Contamination des formations productrices

VI. Conclusion

Nous avons pu voir, dans le présent chapitre, ce que signifient les boues de forage, ainsi que leur typologie.

Par le recensement, des différents types de boues de forage, nous avons aussi décrit les différents composants, de ces types de boues qui font de ces derniers, l'objet d'une diversité importante. Nous avons aussi, pu comparer entre ces types en fonction, du coût des opérations de forage et des effets sur l'environnement.

Nous avons ensuite entamé les principaux produits à boues, qui sont aussi diversifiés que les types de boues, ainsi que leur rôle et leurs principales utilisations.

Enfin, pour finir avec les caractéristiques de boues de forage, nous avons pu voir les différents rôles que nous offrent ces dernières et leurs impacts sur le terrain.

CHAPITRE II :
CARACTERESIQUE
PHISICO-CHIMIQUE DES
FLUIDE DE FOARGE

I. Introduction

L'utilisation d'un fluide en circulation continue dans les puits pétrolier a connu un progrès technique énorme, ce paramétré de forage qu'est le fluide à de multiples facettes d'utilisation, les performances de forage ont considérablement évolué grâce aux progrès technique sur la nature physico-chimique des fluides de forage.

II. Caractéristiques des fluides de forage

1. Filtration

La filtration du fluide de forage se produit sous l'effet de la pression différentielle (différence entre la pression du fluide et celle de la formation) lorsque le fluide se trouve au contact d'une paroi poreuse et perméable. La pression dans le puits étant supérieure à celle de la formation, du liquide pénètre dans la formation tandis que les solides présents dans la boue sont déposés.

Deux sortes de filtration ont lieu pendant le forage: la filtration statique, lors de l'arrêt de la circulation du fluide, et la filtration dynamique au cours de la circulation du fluide



Figure 2 : appareil de filtration des boues de forage

2. Densité et Masse volumique

La densité est le rapport de la masse volumique d'un corps à la masse volumique d'un corps de référence dans des conditions qui doivent être spécifiées pour les deux corps.

La masse volumique est le rapport de la masse d'un corps à son volume dans des conditions définies de pression et température, elle s'exprime en gramme par centimètre cube ou en kilogrammes par mètres cube.

2.1 Appareil de mesure :

La densité se mesure avec le densimètre (fig.3) dont le principe est équivalent à la balance à curseur. Cette caractéristique ces densimètres permettent de lire directement les densités formation



Figure 3 Densimètre des boues de forage

2.2 Rôle de la densité

La densité est un paramètre important des boues de forage, elle doit être suffisamment élevée pour que la pression hydrostatique exercé par la boue sur les formations empêche les venues d'eau, d'huile et de gaz et par conséquent les éruption, mais il ne faut pas qu'elle dépasse la limite de résistance des roches pour ne pas les fracturer et amener à des pertes des circulation

2.3 Alourdissement

Avant d'alourdir une boue il faut d'abord connaitre le tonnage d'alourdissement nécessaire, ce qui déterminé par la formule suivante :

$$x = \frac{Df - Di}{Da - Df} \times Da \text{ [Tonne]} \quad (1)$$

Où :

X=tonnes d'alourdissement à s'ajouter par mètre cube de boue

Df=densité finale à obtenir

Di=densité initiale de la boue à alourdir

Da=densité de l'alourdissement

L'addition d'alourdissement dans une boue augmente le volume de boue et il faudra s'assurer que l'on dispose de suffisamment de place dans les bacs de stockage. On le calculera comme suit

$$\text{augmentation du volume} = \frac{\text{tonnes d'alourdissant}}{\text{densité de l'alourdissant}} [\text{m}^3] \quad (2)$$

2.4 Allégement

Il est parfois nécessaire de diminuer la densité d'une boue par addition d'eau, huile ou boue. Le volume de fluide d'allégement peut être déterminé par la formule suivante

$$v = \frac{D_i - D_f}{D_f - D_a} [\text{m}^3] \quad (3)$$

Où :

V=mètre cube de fluide d'allégement à ajouter par mètre cube de boue

D_i =densité initiale de la boue à alléger

D_f =densité finale à obtenir

D_a =densité du fluide d'allégement

3. Viscosité

La viscosité dépend avant tout de la teneur en solides contenue dans la boue et de la présence des polymères. Une augmentation de viscosité ne pourra donc être combattue que par l'élimination de solides.

3.1 Appareille de mesure

3.1.1 Marsh

Son principe est de mesurer le temps d'écoulement d'un volume défini de fluide à travers un entonnoir. C'est une technique rapide et approximative utilisée en cas d'une modification importante des caractéristiques de fluide par pollution.

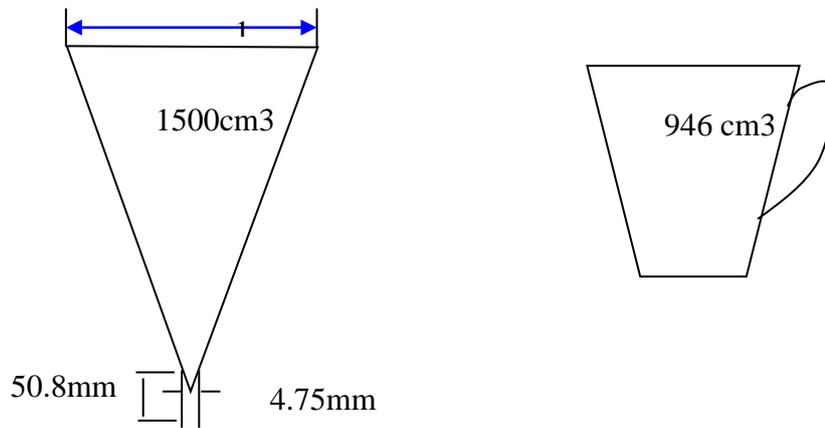


Figure 4 : Principe de mesure de viscosité Marsh

3.1.2 Fann : Le Fann est un appareil permettant de tracer la fonction :

$T=f(\gamma)$ Avec : T : tension de cisaillement.

γ : Taux de cisaillement.

Le principe du viscosimètre est le suivant : c'est un appareil à deux cylindres coaxiaux. L'échantillon de boue à mesurer remplit l'annulaire entre les deux cylindres.

Le cylindre extérieur peut tourner aux vitesses 3, 6, 100, 200, 300, 600 *tr/min*. Pour chaque vitesse on lit le couple transmis par le fluide sur le cylindre intérieur.



Figure 5 : Viscosimètre à cylindre Fann

4. Teneur en solide

Elle dépend de la teneur en solides de la boue, par ailleurs elle est liée à la taille des particules et aussi à leur forme.

La teneur en solide est donnée par :

$$t = \frac{\text{volume solides} \times 100}{\text{volumes boue}} \quad (4)$$

III. La rhéologie

La rhéologie est la science qui étudie les déformations et l'écoulement de la matière. Rhéologiquement parlant, la boue est définie par plusieurs paramètres dont le contrôle permet :

- Un bon rendement des pompes et la pression de refoulement.
- Le maintien des zones fragiles.
- La remonté des déblais en surface.
- Le nettoyage de puits.

1. l'écoulement

L'écoulement d'un fluide est caractérisé par la fonction entre une tension de cisaillement et une vitesse de déformation, elle peut prendre plusieurs formes :

✓ Le modèle de Newton

$$F = v \cdot g \quad (5)$$

F : tension de cisaillement.

v : viscosité.

g : vitesse de déformation.

C'est la forme la plus simple,. Il y a un écoulement des qu'une tension même très faible appliquée. Ces fluide sont appelés « Newtoniens ».

✓ **Le modèle de Bingham**

$$F = Y_v + V_p \cdot g \quad (6)$$

Y_v : valeur de Yield
 V_p : viscosité plastique

C'est la forme de relation qui est appliquée le plus souvent aux boues de forage car elle rend bien compte des résultats expérimentaux. Il apparaît une tension minimale au-dessous de laquelle il n'y a pas d'écoulement, elle est appelée yield-value.

✓ **Le modèle en puissance**

$$F = k g^N \quad (7)$$

Avec : K et N paramètres rhéologiques.

Pour certains types de boue, la boue à émulsion inverse par exemple. Le modèle « en puissance » est préféré à celui de Bingham.

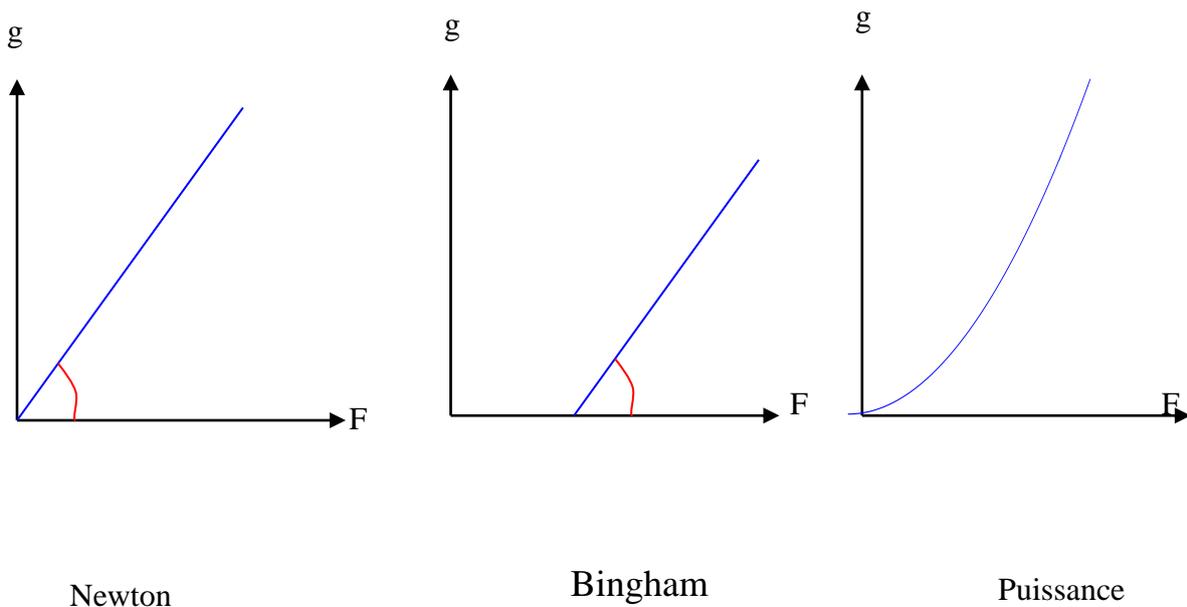


Figure 6 : les modèles de l'écoulement

2. la Valeur du Yield

C'est la contrainte tangentielle maximale qu'il faut exercer sur un fluide pour lui conférer une déformation élastique sans que ce fluide ne se met en mouvement, on la mesure à l'aide des valeurs de μ_a et μ_p données par les viscosimètres Fann et correspond :

$$Y_v = 2(\mu_a - \mu_p) \quad (8)$$

Elle est due aux interactions physiques ou chimiques des particules en suspension. Un traitement chimique approprié, en agissant sur les charges superficielles des particules, peut avoir un effet extrêmes sensible sur la yield-value à un tel point qu'une yield-value faible est souvent prose comme critère de bon équilibre chimique d'une boue

Cependant, ces interactions vont dépendre aussi de la distance entre particule, donc de la teneur en solide. Il est admis que la yield-value varie à peu près comme la carrée de la teneur en solide

Forme et taille de particule vont aussi agir sur la yield-value celle-ci en particulier approximativement inversement proportionnelle à la taille des particules

IV. Conclusion

Ce chapitre a été dédié à la compréhension des différentes caractéristiques physico-chimiques des boues de forage notamment, la viscosité, la densité et la filtration, leur influence sur le fonctionnement des boues de forage, ainsi les appareils de mesure nécessaires pour aboutir à des résultats concernant ces caractéristiques. Nous avons aussi, entamé un point important dans ce contexte, qui est la rhéologie, comprenant : l'écoulement et le Yield-value.

CHAPITRE : III ETUDE DE CAS PUIITS OMO Z 463

I. Introduction

Programmer une boue de forage, pour déterminer son type n'est pas une chose évidente pour les techniciens, elle nécessite beaucoup de qualification et de maîtrise, et les mets à la lutte contre plusieurs contraintes.

Nous entamons dans le présent chapitre, l'étude et la réalisation d'un programme de boue. Nous présentons dans un premier lieu, l'étude du programme et nous passons au cas pratique appliqué sur les puits de type OMO Z 463, ou nous comprenons, entre autres, les prévisions géologiques et le circuit de la boue avant de passer au programme de cette dernière.

II. Etude et réalisation d'un programme de boue

Les techniciens du forage s'accordent généralement pour reconnaître l'utilité d'un programme de boue établie en fonction des données géologiques et des programmes de forage et de tubage, toute condition particulière mise à part.

C'est le rôle du spécialiste des boues de conseiller le foreur, par le canal du programme de boue, sur les possibilités et les moyens les plus appropriés à mettre en œuvre, dans ce domaine, pour mener sa tâche à terme dans les meilleures conditions possibles, techniques et économiques.

1. But du programme de boue

Le but du programme de boue est de déterminer le ou les types de boues offrant les qualités techniques adaptées aux exigences du forage considéré, au prix de revient le plus faible possible.

Pour un forage déterminé, le but technique sera de conseiller au foreur l'utilisation d'une boue ayant les caractéristiques suffisantes à la bonne marche du forage et facilement adaptables aux circonstances.

L'idéal sera de proposer une boue alliant les aspects techniques et économiques à la notion de sécurité.

Un autre but du programme de boue est de dispenser des conseils d'ordre technique au responsable du forage, notamment dans le cas d'absence du spécialiste des boues sur le forage même, non pas pour que le foreur substitue le boueux mais pour qu'il collabore avec lui en la surveillance et le contrôle de la boue et exécute au mieux les traitements conseillés.

Ce n'est pas parce qu'il existe un responsable des boues que le foreur doit se désintéresser de la boue ; au contraire, il est souhaitable que le foreur se fasse l'adjoint du boueux dans l'accomplissement d'une tâche finalement commune.

2. Importance du type de boue

Pour un forage déterminé, le but à atteindre concernant la boue est fonction des prévisions géologiques et techniques :

- Les prévisions géologiques détermineront le ou les types de boues à utiliser
- Les prévisions techniques détermineront les volumes de boue à utiliser, les consommations et le prix
- Une densité appropriée aux conditions du forage ;
- Des caractéristiques rhéologiques compatibles avec les conditions régnant dans le puits et les moyens de pompage ;
- Un bon pouvoir de transport des déblais ;
- Améliorer la vitesse d'avancement ;

3. Etude du programme

a- Prévision géologique

- **Systèmes et étages géologique**

Nature chimique : électrolytes (sel-anhydrite, ...) ;

Nature minéralogique : argiles ou marnes plastiques, gonflantes, fluentes,.... ;

Nature physique : consolidation, pendage, perméabilité, porosité, fractures... ;

De la nature des terrains on déterminera les caractéristiques physiques et chimiques de la boue à utiliser.

- **Profondeur**

La température dont l'influence, quant à la dégradation des constituants de la boue (de façon générale, les difficultés augmentent avec la profondeur) est importante ;

Les pressions attendues, qu'elles soient inférieures (pertes) ou supérieures (venues) à la pression hydrostatique d'où on déduira la densité à observer.

b- Prévisions techniques.

- **Forage Tubages et Profondeur.**

Détermination du volume du puits et des reforages de ciment.

- **Stockage.**

Détermination du volume de surface (décantation, aspiration - réserve, bac de traitement).

- **Outils.**

Influence de la taille des déblais favorisant plus ou moins leur dispersion dans la boue, d'où détermination du volume de dilution ou d'entretien.

- **Vitesse d'avancement.**

De ce paramètre dépend la durée du forage, donc le temps de présence de la boue dans le puits. Influence sur le volume d'entretien.

III. Etude d'un cas pratique

1. Aperçu sur le gisement de Hassi-Messaoud

Le gisement de Hassi-Messaoud a été découvert en 1956 (MD1), et mis en production généralisée en 1958. Il est situé à 900 km par rapport au sud-est d'Alger. Le gisement de Hassi-Messaoud se caractérise par sa formation (cambro-ordovicien) ; sa profondeur (entre 3100 et 3380 m), son épaisseur est de 200 m ; sa pression initiale élevée (482 kg/cm^2)

2. Situation géographique du puits

Le puits OMO Z 463 est situé dans la région de sud de Hassi-Messaoud, dans la zone 7, entre les puits OMO Z 47, OMO 462 et OMO 56 dont les coordonnées sont les suivantes :

- ✓ Latitude : $31^\circ 47' 46,578''$.
- ✓ Longitude : $6^\circ 1' 31,373''$.
- ✓ Altitude : 173,5 m.

3. Prévisions géologiques

Le forage horizontal est devenu de plus en plus primordial dans la région de Hassi-Messaoud vu l'extension de l'exploitation qui a engendré une déplétion de la pression du gisement. Le forage du puits OMO Z 463 a pour but d'optimiser l'exploitation du gisement.

Tableau 2 : Programme du puits OMOZ-463.

AGE	ETAGES	PROFONDEUR (m VD/RKB)	DESPRIPTION		
CRETACE	MIO-PLIOCENE	2 326 331 338	Sable, calcaire et marne sableux		
	EOCEN		Sable Calcaire à silex		
	SENONIEN LAGUN		CARBONATE	Calcaire + dolomie et anhydritique	
			ANYHDRIQUE	Anhydrite + marne et dolomie	
			SALIFERE	Sel massif et traces d'ahydrite	
	TURONIEN		Calcaire tendre crayeux		
	CENOMANIEN		Anhydrite, marne et dolomie		
	ALBIEN		Grès et argile silteuse		
	APTIEN		Dolomie cristalline et calcaire		
	BARREMIAN		Argile et sable + grès		
	NEOCOMIEN		Dolomie, marne et grès + argile		
	MALM		Argile, marne et dolomie + grès		
	JURASSIQUE		DOGGER	ARGILEUX	Argile, marne et dolomie
				LAGUNAIRE	Anhydrite, dolomie et marne
LIAS		LD1	Dolomie, anhydrite et argile		
		LS2	Alternance sel, anhydrite et argile		
		LD2	Anhydrite et dolomie cristalline		
		LS2	Alternance de sel et argile		
		LD3	Alternance de marne et de dolomie		
SALIFERE		TS1	Alternance de sel, d'anhydrite et de dolomie		
		TS2	Sel massif à intercalation d'anhydrite et d'argile		
		TS3	sel massif et trace d'argile		
ARGILUEX	Argile rouge dolomitique ou silteuse injectée de sel et d'anhydrite				
ARGILEUX GRESEUX	GRES SUP	Grès fin à ciment argileux abondant			
	ARGILO-CARBONATE	Argile dolomitique et niveau dolomie			
	GRES INF	Grès fins à grossiers avec passées argileuses et friables			
ANDESIT	Roches éruptives brun-rouge à venues de sidérite et argile				
ORDOVICIN	QUARTISITES DE HAMRA	Quartzites gris beiges fin à tigillites			
	GRES EL ATCHANE	Grès glauconieux fins et passées d'argile noire			
	ARGILES D'EL GASSI	Grès noir micacé et niveaux de grès blancs			
	ZONES DES ALTERNANCES	Alternance de grès et d'argile			
CAMBRIEN	ZONE Ri	Grès quartzitiques fins isométriques à ligillites			
	ZONE Ra	Grès quarzitiques et quartzites grès anisométriques avec passée de siltstone			
	ZONE R2	Grès quartzitiques à ciment argileux			

4. Circuit de la boue

Le fluide est préparé dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille

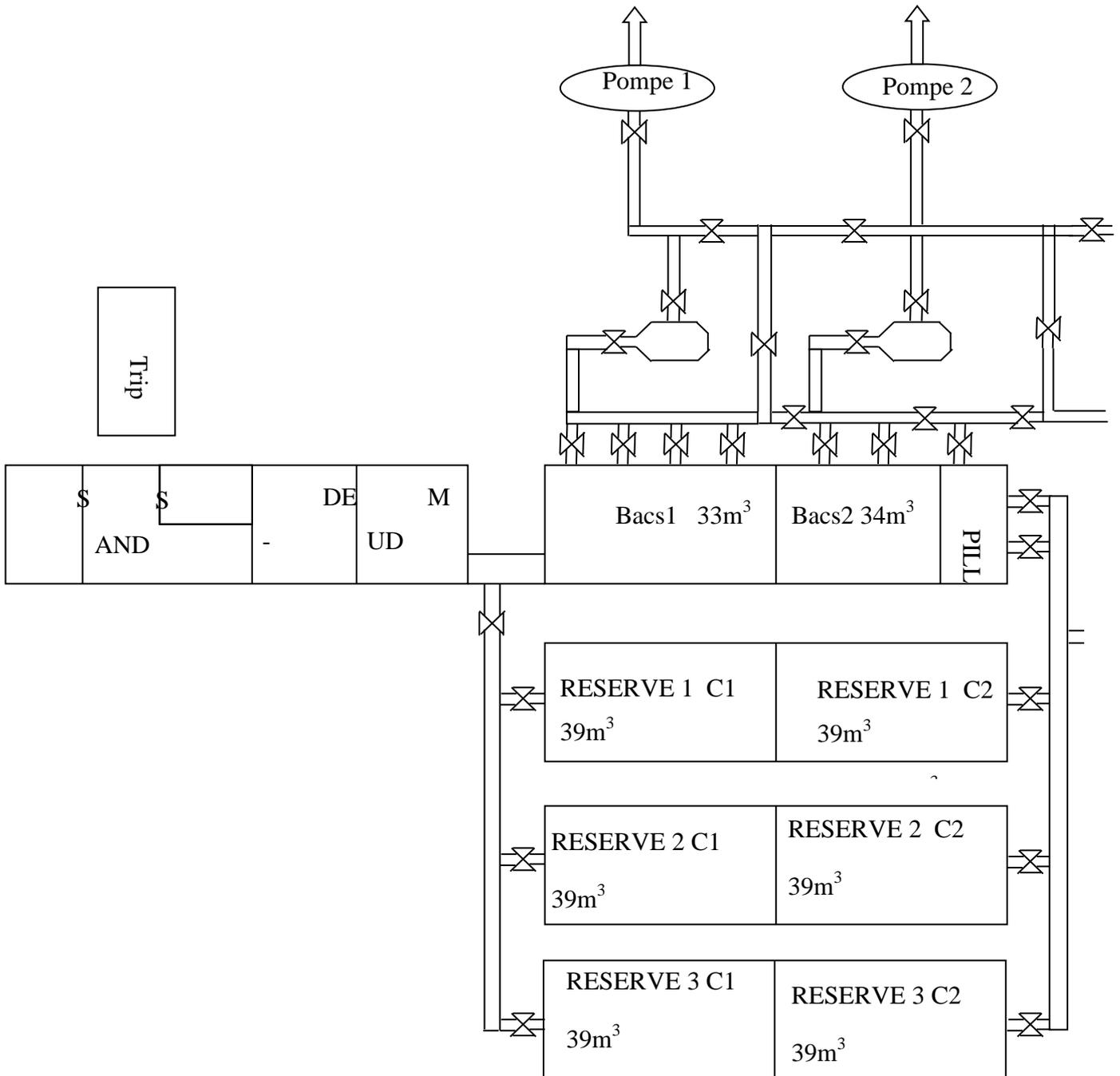


Figure 7Circuit de la boue

Tableau3 : programme de la boue

Propriétés de l'intervalle	26"	16"	12 ^{1/4}	8 ^{3/8}	6"
Type de fluide	WBM	OBM			
Densité	1,06 – 1,08	1,25 – 1,30	2,02 – 2,10	1,50 – 1,53	0,86 – 0,88
viscosité	60 – 80	50 – 55	50 – 55	50 – 55	40 – 45
Gels	20 – 30	14 – 17	14 – 17	14 – 17	08 – 10
NaCl %.	-	25 – 26	25 – 26	25 – 26	-
CaCl ₂ %	-	-	-	-	27 – 32
Volts de stabilité électrique	-	>600	>1000	>1000	>1000
Polyoxyméthylène	-	3 – 5	3 – 5	3 – 5	1,5 – 2,5
Huile /Eau %		70/30	80/20 85/15	85/15 90/10	95/5
PH	8,5 – 9,5	-	-	-	-
bentonite	85 – 115	-	-	-	-

1- Phase 26'' (tubage 18^{5/8}) :

Constituants:

Bentonite 85,5 – 115 [kg/m³].

Soude caustique 1,425 [kg/m³].

Le carbonate de sodium 0,712 [kg/m³].

La quantité élevée de Bentonite confère une viscosité adéquate et assure un bon dépôt de cake à travers les sables poreux.

- Le nettoyage du trou dans cette phase est recommandé avec une viscosité très élevée.
- Les pertes dans les formations sont contrôlées en ajoutant un polymère (polysal)
- Avant de cimenter le casing 18^{5/8}, on doit faire circuler et nettoyer le puits, en conditionnant la boue en même temps.

2- Phase 16'' (tubage 13^{3/8}) :

Constituants :

Diesel 0,59 m³.
Eau 0,25 m³.
Versacoat⁴ 11, 40 [kg/m³].
Versawet⁵ 8, 50 [kg/m³].
LIME 28, 50 [kg/m³].
NaCl 89, 66 [kg/m³].
Baryte 353 [kg/m³].

- Reforage du ciment et le chasser avec la boue bentonitique de la phase précédente.
- Après avoir foré le ciment, on chasse la boue bentonitique avec la boue à émulsion inverse

3- Phase 12^{1/4} (tubage 9^{5/8}) :

Constituants:

Diesel 0,47 m³
Eau 0,12 m³
Versacoat 17,10 [kg/m³]
Versawet 22,80 [kg/m³]
LIME 17,20 [kg/m³]
NaCl 40,00 [kg/m³].
Baryte 1375 [kg/m³].

- On constate une évaporation à la sortie de la goulotte au niveau des tamis. Cette évaporation va augmenter le rapport huile /eau, donc on doit diluer la boue avec une boue de rapport huile/eau moins élevé pour garder le rapport initial.
- Le tubage doit être posé dans cette formation constituée de :
 - anhydrite
 - sel
 - dolomie
 - calcaire
 - argile

(4) Versacoat : additif organique « émulsifiant »

(5) Versawet : agent de mouillage

Pour faire face à une surpression, la densité doit être maintenue au moins à 2,02 pour contrebalancer la venue des eaux chloruro-calcique.

4- Phase 8^{3/8} (tubage 7'') :

Constituants:

Diesel 0,64 m³.

Eau 0,11 m³.

Versacoat 14,25 [kg/m³].

Versawet 11,40 [kg/m³].

LIME 10,10 [kg/m³].

NaCl 25,56 [kg/m³].

Baryte 633 [kg/m³].

Le volume de boue de la phase précédente (de densité 2,02) est égal à 258 m³; 58 m³ de ce volume passe à travers les centrifugeuses pour éliminer les solides afin de diminuer la densité à 1,52. Le reste qui est de 200 m³ (densité 2,02) va être dilué avec 82 m³ de boue de densité 0,91 pour arriver à 1,52, qui est la densité requise pour cette phase.

$$v = \frac{20.2-1.52}{1.52-0.91} = 82 \text{ m}^3$$

5- Phase 6'' :

Constituants:

Diesel 0,91 m³.

Eau 0,05 m³.

Versacoat 17,12 [kg/m³].

Versawet 4,27 [kg/m³].

Versatrol 17,12 [kg/m³].

LIME 22,80 [kg/m³].

CaCl₂ 17,12 [kg/m³].

L'objectif de cette phase est de ne pas endommager le réservoir par le maintien de la densité de la boue la plus faible possible, pour cela, il faut bien contrôler le filtrat.

IV. Conclusion

La mise en œuvre des boues nécessite un personnel hautement qualifié, dont les compétences lui permettent de connaître et d'expliquer les réactions physiques et physico-chimiques des fluides de forage

A ces qualités, il faut ajouter l'expérience de chantier indispensable à la compréhension de technique de forage

A aucun moment le technicien ou l'ingénieur des boues ne doit perdre de vue qu'il doit réaliser au moindre prix le fluide qui permettra d'atteindre les objectifs, dans les meilleurs délais et avec maximum de sécurité

Ce chapitre a été dédié à la compréhension des différentes caractéristiques physico-chimiques des boues de forage notamment, la viscosité, la densité et la filtration, leur influence sur le fonctionnement des boues de forage, ainsi les appareils de mesure nécessaires pour aboutir à des résultats concernant ces caractéristiques. Nous avons aussi, entamé un point important dans ce contexte, qui est la rhéologie, comprenant : l'écoulement et la valeur de Yield

Conclusion générale

La boue est un moyen très utilisé au cours de l'opération du forage, grâce à ces avantages techniques et les différents rôles qu'elle offre.

Cette étude a été menée dans le but d'étudier les différents types de fluide de forage ces constituants, les avantages et les inconvénients de chaque type ainsi que de réaliser une comparaison entre ces types de fluides.

Nous avons ensuite entamé les principaux produits à boues, qui sont aussi diversifiés que les types de boues, ainsi que leur rôle et leurs principales utilisations.

Nous avons pu voir les différents rôles que nous offrent les caractéristiques des boues, et leurs impacts sur le terrain.

La fabrication des boues de forage adéquates à chaque puits, nécessite des ingénieurs qualifiés, afin de décider des compositions conformes au terrain, de suivre et d'expliquer les réactions physiques et physico-chimiques de ces fluides de forage. A ces qualités, il faut ajouter l'expérience de chantier indispensable à la compréhension des techniques de forage.

Dans le dernier chapitre du présent rapport, nous avons pu par le biais des données qui nous ont été fournies par les travaux de recherches précédant, présenter les différentes caractéristiques physico-chimiques des boues de forage notamment, la viscosité, la densité et la filtration, leur influence sur le fonctionnement des boues de forage, ainsi les appareils de mesure nécessaires pour aboutir à des résultats concernant ces caractéristiques. Nous avons aussi, entamé un point important dans ce contexte, qui est la rhéologie, comprenant : l'écoulement et la valeur du Yiel.

Bibliographie

Belhabib Abdalouhab les fluides de forage à base d'huiles : impact sur l'environnement et technique de traitement [Rapport] : Thèse de master. - 2006,pp16,58

Garcia C et Parigot P Boues de forage [Ouvrage]. Societé des éditions Technip, 1968.pp113,186

Hachmi lazher ontribution a l'etude d'une nouvelle boue de forage boue a base des silicate pour la phase 12 1/4 du champs hassi messaoud [Rapport]. - 2010.pp 15,20

OUGGAD MEFTAH et MOUANE RAMZI Etude des fluides de forage dans le forage vertical [Rapport]. - Ouargla : 2012.pp 45,65,70