



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE
MINISTRE DEL'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

**Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : sciences et Technologies

Filière : Industrie pétrochimique

Spécialité : génie du pétrochimique

Présenté par

Gohmes Ilyes

Elouareth Yahia

Thème

**Étude physico-chimique des fluides de forage :
application au puits, Berkine Ouest**

Soutenu publiquement le : 04/06/2025

Devant le jury composé de :

Mr Benarima Zine el abidine

MCA (UKM Ouargla)

Président

Mr Ridhe Cherraye

MCA (UKM Ouargla)

Examineur

Mr Tabchouche Ahmed

MCA (UKM Ouargla)

Encadreur

2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace et Remerciements

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très
Miséricordieux,

Que la paix et la bénédiction soient sur le Sceau des Prophètes et
des Messagers, notre maître Mohammed, ainsi que sur sa famille
et ses compagnons.

À la fin de ce parcours académique, un profond sentiment de
gratitude nous anime envers tous ceux qui ont contribué, de près
ou de loin, à la réussite de ce travail, que ce soit par leur soutien
scientifique ou leur appui moral.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde
reconnaissance à notre honorable encadrant, Monsieur Ahmed
Tabchouche, dont le soutien et les orientations ont eu un impact
considérable sur l'aboutissement de ce projet. Ses remarques
pertinentes et ses précieux conseils ont été une lumière qui nous
a guidés tout au long des différentes étapes de ce travail.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à nos
familles, qui ont toujours été notre source de force et
d'inspiration. Leur soutien constant et leurs encouragements
nous ont permis de surmonter toutes les difficultés avec
confiance et persévérance.

ملخص

تُعد عمليات حفر النفط خطوة حاسمة في استكشاف واستغلال الموارد الجوفية، كالنفط والغاز الطبيعي. وتلعب سوائل الحفر، المعروفة أيضًا باسم طين الحفر، دورًا محوريًا في نجاح هذه العمليات بفضل خصائصها المميزة كالكثافة واللزوجة وقابلية الترشيح (HPHT). تساعد هذه السوائل على التحكم في الضغوط، وتبريد أدوات الحفر، وجلب القطع إلى السطح، وتثبيت جدران البئر. تُصنف السوائل وفقًا لأطوارها الأساسية: طين مائي (WBM)، وطين نفطي (OBM)، وسوائل غازية، وكلٌ منها مُكيّف مع ظروف جيولوجية وتقنية مُحددة. ويشمل تركيبها عناصر مثل البارييت (BaSO_4) لضبط الكثافة، وبوليمرات مثل CMC و PAC و XC للتحكم في اللزوجة والريولوجيا، والجير لقياس درجة الحموضة والاستقرار الكيميائي. ركزت هذه الدراسة على التحليل الفيزيائي والكيميائي لسوائل الحفر في مراحل مُختلفة من العملية، باستخدام مُعدات مثل مقياسي اللزوجة Marsh و FANN، وجهاز الترشيح HPHT. دُرست حالة واقعية: بئر EADWP-1، الواقع في حقل حاسي مسعود، المعروف بتعقيده الجيولوجي وضغوطه العالية. حللت الدراسة استهلاك السوائل، ونسبة الزيت إلى الماء، وتركيبية الطين، بالتزامن مع التنبؤات الجيولوجية والتحليلات الجيوكيميائية والنمذجة العددية. الهدف هو تعظيم أداء الطين، وتقليل المخاطر التشغيلية، وضمان سلامة وكفاءة عمليات الحفر، من خلال دمج النظرية مع التطبيقات العملية في مجال هندسة البتروكيماويات.

الكلمات المفتاحية :

-البئر - سائل الحفر - الموقع

Résumé:

Oil drilling operations are a fundamental stage in the exploration and exploitation of subsurface resources, especially oil and natural gas. Drilling fluids, also known as mud, play a central role in ensuring the success of these operations due to key properties such as density, viscosity, and HPHT filtration. These fluids are essential for pressure control, cooling the drilling tools, carrying rock cuttings to the surface, and stabilizing wellbore walls.

Drilling fluids are categorized based on their base phase: Water-Based Muds (WBM), Oil-Based Muds (OBM), and Gaseous Fluids. Each type is tailored to specific geological and technical conditions. Common components include barite (BaSO_4) to increase density, polymers such as CMC, PAC, or XC to control viscosity and rheology, and lime to manage pH and chemical stability.

This study focused on the physico-chemical analysis of drilling fluids during different phases of the operation, using equipment such as Marsh and FANN viscometers, and the HPHT filtration apparatus. A practical case study was conducted on well EADWP-1, located in the Hassi Messaoud field, known for its geological complexity and high formation pressures. The analysis covered fluid consumption, oil/water ratio, and mud formulation, based on geological forecasting, geochemical analysis, and numerical modeling.

The main objective is to optimize mud performance, minimize operational risks, and ensure the safety and efficiency of drilling operations by bridging the gap between theoretical knowledge and field application in the realm of petrochemical engineering.

Mots-cles :

-puits - fluides de forage -Le sit

Résumé

Les opérations de forage pétrolier constituent une étape essentielle dans l'exploration et l'exploitation des ressources souterraines, telles que le pétrole et le gaz naturel. Les fluides de forage, appelés également boues de forage, jouent un rôle central dans la réussite de ces opérations grâce à leurs propriétés telles que la densité, la viscosité et la filtrabilité (HPHT). Ces boues permettent de contrôler les pressions, refroidir les outils de forage, remonter les déblais (cuttings) à la surface et stabiliser les parois du puits.

Les fluides sont classés selon leur phase de base : les boues à base d'eau (WBM), les boues à base d'huile (OBM) et les fluides gazeux, chacun étant adapté à des conditions géologiques et techniques spécifiques. Leur composition inclut des éléments tels que la barite (BaSO_4) pour ajuster la densité, des polymères comme le CMC, PAC ou XC pour contrôler la viscosité et la rhéologie, et la chaux pour le pH et la stabilité chimique.

Cette étude s'est concentrée sur l'analyse physico-chimique des fluides de forage à différentes étapes du processus, en utilisant des équipements comme les viscosimètres Marsh et FANN, et l'appareil de filtration HPHT. Un cas réel a été étudié : le puits EADWP-1, situé dans le champ de Hassi Messaoud, reconnu pour sa complexité géologique et ses pressions élevées. L'étude a analysé la consommation de fluide, le rapport huile/eau, et la formulation des boues, en lien avec des prévisions géologiques, des analyses géochimiques et des modélisations numériques.

L'objectif est de maximiser les performances des boues, réduire les risques opérationnels, et garantir la sécurité et l'efficacité des opérations de forage, en intégrant la théorie aux applications pratiques dans le domaine du génie pétrochimique.

The sit :

-the well -drilling fluid -the site

Table des matières

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les fluides de forage	1
1,1 Généralités sur les fluides de forage:.....	3
1,2 Définition d'un fluide de forage:.....	3
1,3Matériel dans lequel circule le fluide de forage:	3
1.4Fonctions du fluide de forage :.....	5
1.5. Circulation du fluide de forage :.....	5
1.6. Classification des fluides de forage:.....	5
1.6.1. Fluides à base d'huile (OBM):.....	7
1.6.2. Fluides à base d'eau (WBM):.....	7
1.6.3. Fluides gazeux:.....	7
1.7. Composition des fluides de forage :.....	7
1.7.1. Produits de base:	7
1.7.2. Formulation - Étapes :.....	7
Principaux rôles des polymères dans les fluides de forage :	7
Exemples de polymères utilisés :	8
1.8. Fabrication et traitement:.....	8
Fabrication de la boue de forage	8
La fabrication dépend du type de boue :	8
Composants typiques d'une boue de forage à base d'eau :	9
Composant.....	9
Fonction principale.....	9
Eau douce ou salée	9
Phase de base.....	9
Argile (bentonite)	9
Polymères (CMC, PAC).....	9
Contrôle de la filtration, viscosité	9
Barite (BaSO ₄).....	9
Augmente la densité	9
Inhibiteurs (KCl, polymères inhibiteurs).....	9
Protègent les formations argileuses	9

Agents de pH (souvent Caustic Soda).....	9
Ajustement l'alcalinité	9
Étapes de fabrication :	9
2. Traitement et entretien de la boue pendant le forage:	9
Contrôles et traitements courants :	9
Importance du suivi de la boue:.....	9
Conclusion:	10
CHAPITRE II : CARACTERESIQUE PHISICO-CHIMIQUE DES FLUIDE DE FOARGE	11
Introduction	12
1. Filtration	12
2. Densité	12
3. Viscosité	13
Appareil de mesure	13
1.1. 1 Marsh.....	13
3.1.2 Fann : Le Fann est un appareil permettant de tracer la fonction :	14
4. Rhéologie.....	15
Conclusion	16
CHAPITRE III : ETUDE DE CAS PUTTS EADWP-1	17
1. Introduction :	18
2. Conception et mise en œuvre d'un programme de boue :	18
3. But du programme de boue:	18
4. Importance du type de boue:	19
Étude du programme :	19
1. Aperçu sur le gisement de Hassi-Messaoud :	20
2. Situation géographique du puits:	21
3. Données du puits	22
4. Prévisions géologiques	22
5. Objectif du puits :	22
6- Les procédures nécessaires pour connaître les propriétés du sol et déterminer les valeurs nécessaires pour le fluide de forage et la sécurité de l'opération :	24
1. Exploration géophysique:	24
2. Analyse géochimique:	24
3. Test de pression et forage expérimental :	24

4. Utilisation de modèles de simulation :	25
5. Études géotechniques:	25
1-)Phase 16" (tubage 133/8) :	26
2)- Résumé des opérations :	28
Conclusion :	30
CHAPITRE IV : RESULTATSET DISCUSSION	31
1-l'introduction :	32
1-Caractéristiques physico-chimiques.....	32
.2.1.2.Larhéologie.....	34
2.1.3.Rapport huile/eau.....	37
IV.2.2.Caractéristiques chimiques :	41
Les résultats obtenus :	41
IV .2.2.3. La concentration du (Ca + +) :	42
Conclusion	44
Conclusion générale :	45
Conclusion générale :	46
Liste des références et des source	47
Annexes	50

Liste des figures

Réservoirs de stockage.....	4
Figure 1.5: Schéma de circulation de la boue sur le site de forage f6].....	5
1. Injection : Par les pompes à boue.	5
Figure 1.6. Classification des fluides de forage.....	6
Figure IV.1. Densimètre à boue Méthode de mesure :	13
Figure 4 : Principe de mesure de viscosité Marsh.....	14
Figure 5 : Viscosimètre à cylindre Fannl.....	15
Figure IV.1. Densimètre à boue.....	33
Figure IV.2. Rhéomètre de FANN modèle 35.....	34
Figure IV.3. Distillateur à boue.....	37

FigureIV.4.Appai'eils deJiltratHP-HT.....	39
---	----

Liste des tableaux

Tableau 1 : Programme du puits EADWP-1	23
Tableau2 :Conception du tubage :.....	25
Tableau3 : Proprieties de la boue :	26

Introduction Général

Introduction Générale

Les opérations de forage représentent une étape fondamentale dans l'exploration et l'exploitation des ressources souterraines, notamment les hydrocarbures tels que le pétrole et le gaz naturel. Le succès de ces opérations dépend de plusieurs facteurs techniques et ingénieriques, au premier rang desquels figure le choix et l'utilisation adéquate des fluides de forage, communément appelés boues. Ces fluides jouent un rôle central dans différents aspects du forage : ils permettent de refroidir et lubrifier les outils de forage, de transporter les déblais vers la surface, de stabiliser les parois du puits, et de contrôler les pressions de formation, évitant ainsi les effondrements ou les éruptions.

Avec l'évolution rapide des technologies de forage et la complexification croissante des défis géologiques – tels que les formations instables, les hautes températures et pressions –, le développement de fluides de forage aux formulations sophistiquées et aux propriétés physico-chimiques précises est devenu une nécessité pour garantir l'efficacité et la sécurité des opérations.

Dans ce contexte, ce mémoire vise à présenter une étude approfondie des fluides de forage, en abordant d'abord les concepts généraux et les différentes classifications des boues, puis en analysant leurs propriétés physiques et chimiques, pour enfin aboutir à une application pratique à travers l'étude d'un cas réel : le puits EADWP-1, situé dans le champ de Hassi Messaoud, connu pour sa complexité géologique et ses conditions opérationnelles extrêmes. Cette étude ambitionne de faire le lien entre les fondements théoriques et les exigences du terrain, en vue d'optimiser la performance des boues, de réduire les coûts et les risques, et d'assurer l'atteinte des objectifs techniques et environnementaux du forage.

Chapitre I : Généralités sur les fluides de forage

1,1 Généralités sur les fluides de forage:

Les fluides de forage, également appelés **boues de forage**, sont des éléments essentiels dans les opérations de forage pétrolier, géothermique ou minier. Ils jouent un rôle technique et économique crucial en assurant la stabilité du puits, le refroidissement de l'outil de forage, et l'évacuation des déblais (cuttings). Historiquement, les premières boues étaient constituées d'eau et d'argile naturelle. Avec l'évolution des techniques de forage, des formulations complexes intégrant des polymères, des émulsions et des additifs chimiques ont été développées pour répondre à des conditions géologiques variées (haute température, pression, formations argileuses instables).(1-1)

1,2 Définition d'un fluide de forage:

Un fluide de forage est un **mélange homogène ou hétérogène** (liquide, gazeux ou multiphase) circulant en circuit fermé pour : - Lubrifier et refroidir l'outil de forage (trépan).
- Maintenir la pression hydrostatique pour éviter les venues de fluides de formation. - Transporter les cuttings vers la surface.
- Stabiliser les parois du puits.

Exemples : - Boues aqueuses (eau + bentonite). - Boues huileuses (émulsion huile/eau inversée).
- Fluides gazeux (mousse, air comprimé).(1-2)

1,3 Matériel dans lequel circule le fluide de forage:

Le fluide circule dans un système complexe comprenant :

1. **Colonne de forage** : Tubulure descendante (tiges de forage).
2. **Espace annulaire** : Zone entre les tiges et la paroi du puits (ou tubage).
3. **Équipements de surface** :
 - **Pompes à boue** : Injection à haute pression (jusqu'à 5000 psi).
 - **Shale shakers** : Tamisage des cuttings.
 - **Désileurs/décanteurs** : Séparation des solides.

Schéma typique : Pompe → Tiges → Espace annulaire → Shakers → Tanks de stockage (1-3)



Vibreurs Pompe



Tiges loti de forage

Réservoirs de stockage



1.4 Fonctions du fluide de forage :

1. Évacuer les déblais de forage (cuttings) du fond du trou vers la surface.
2. Refroidir et lubrifier l'outil de forage (trépan).
3. Contrôler la pression des formations et prévenir les venues (kicks).
4. Stabiliser les parois du puits et éviter leur effondrement.
5. Transmettre l'énergie hydraulique jusqu'au fond du trou (moteurs fond de trou)..
6. Suspendre les débris en cas d'arrêt de la circulation.

1.5. Circulation du fluide de forage :

- La boue de forage est en circulation continue durant toute la durée du forage aussi bien dans le sondage qu'en surface comme suit:

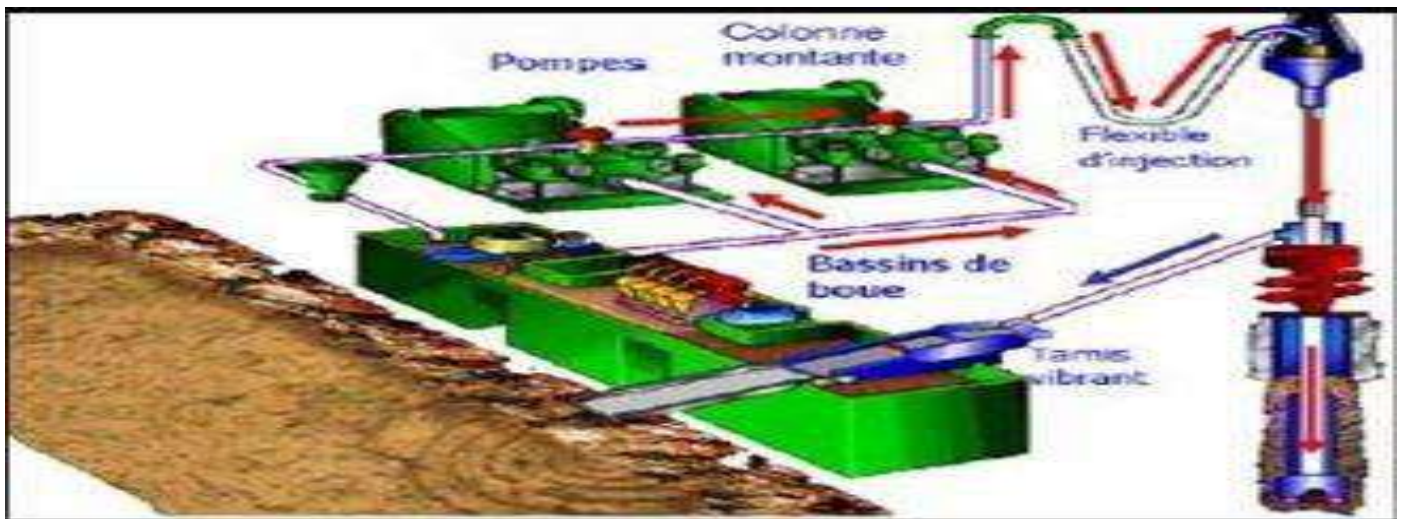


Figure 1.5: Schéma de circulation de la boue sur le site de forage [6].

1. Injection : Par les pompes à boue.

2. **Descente** : Via les tiges de forage.
3. **Retour** : Remontée par l'espace annulaire avec les cuttings.
4. **Traitement** : - **Dégazage** (si présence de gaz). - **Élimination des solides** (shakers, centrifugeuses).
5. **Réinjection** : Après ajustement des propriétés.

Problèmes courants : - Perte de circulation (fracturation des formations). - Contamination par les ions (Ca^{2+} , CO_3^{2-}). (1-5)

1.6. Classification des fluides de forage:

Traditionnellement, les fluides de forage sont classés en trois catégories en accord avec le fluide de base utilisé dans leur préparation. C'est à dire: l'air, l'eau et l'huile [4]

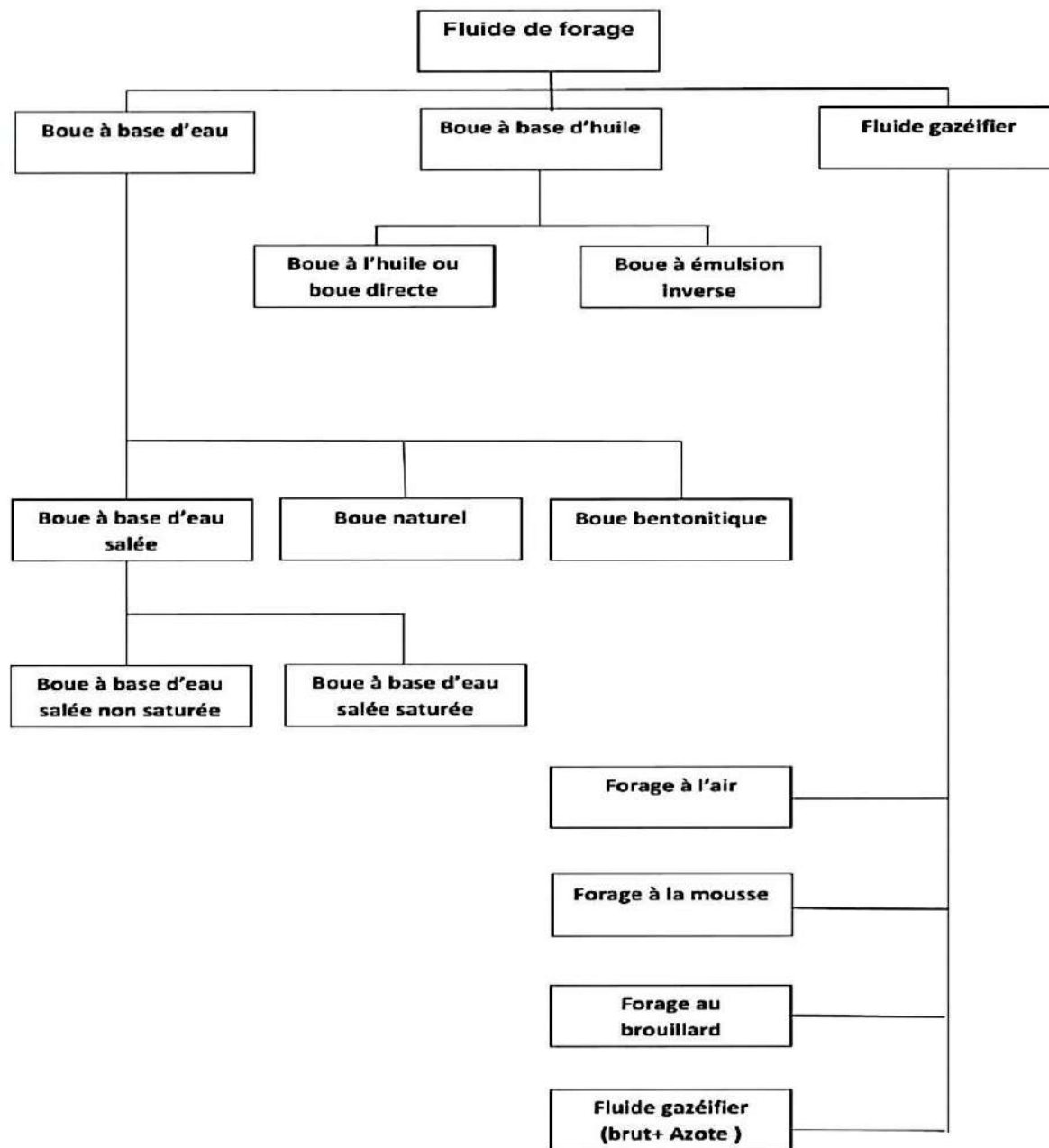


Figure I.6. Classification des fluides de forage

1.6.1. Fluides à base d'huile (OBM):

- **Composition** : Huile minérale/synthétique (70–90 %) + eau (émulsifiée).
- **Avantages** : - Stabilité thermique ($> 200^{\circ}\text{C}$). - Lubrification excellente. - **Inconvénients** : - Coût élevé. - Impact environnemental (réglementations strictes). (1-6)

1.6.2. Fluides à base d'eau (WBM):

- **Types** :
- **Bentonitiques** (argile + eau).
- **Polymères** (ex : xanthane pour viscosifier).
- **Avantages** : - Écocompatibilité. - Coût réduit.

Références : - *Darley, H.C.H. (1988). "Drilling Fluid Optimization".

1.6.3. Fluides gazeux:

Utilisés dans : Forages secs ou sous-pressurisés.

- **Exemples** :
- **Air comprimé** : Forages peu profonds.
- **Mousses** : Mélange air/eau + tensioactifs. (1-7)

1.7. Composition des fluides de forage :

1.7.1. Produits de base:

- **Phase liquide** : Eau (douce, saumâtre), huile.
- **Solides** : - **Actifs** (bentonite, polymères).
- **Inertes** (barite, hématite).

1.7.2. Formulation - Étapes :

1. Hydratation de la bentonite.

2. Ajout de polymères :

L'ajout de polymères dans les fluides de forage joue un rôle très important dans l'amélioration des performances du forage et dans l'augmentation de son efficacité. Les polymères sont largement utilisés dans les boues à base d'eau (Water-Based Mud) en raison de leurs propriétés physiques et chimiques particulières.

- **Principaux rôles des polymères dans les fluides de forage :**

1. Contrôle de la viscosité (Viscosity Control)

- Les polymères comme le polymère XC et le CMC (Carboxyméthylcellulose) sont utilisés pour augmenter la viscosité du fluide, ce qui aide à remonter les déblais de forage (cuttings) du fond du puits vers la surface.

2. Contrôle de la filtration (Filtration Control)

- Certains polymères comme le PAC (Cellulose Polyanionique) réduisent la perte de fluide vers les formations environnantes en formant une couche filtrante (Filter Cake) fine mais efficace sur les parois du puits.

3. Stabilisation des formations fragiles (Shale Stabilization)

- Les polymères peuvent aider à prévenir la désagrégation des roches argileuses (shales) en enrobant les parois du puits et en réduisant l'interaction de l'eau avec la formation argileuse.

4. Dispersion des déblais et prévention de leur accumulation (Cuttings Dispersion)

- Certains polymères agissent comme des agents dispersants, maintenant les déblais en suspension et empêchant leur accumulation au fond du puits ou dans les tuyaux.

5. Amélioration des propriétés rhéologiques (Rheology)

- Ils permettent d'ajuster le comportement du fluide sous contrainte de cisaillement (shear) pour améliorer sa circulation dans les tiges de forage et sur de longues distances dans le puits.

Exemples de polymères utilisés :

- Gomme de xanthane (polymère XC) : pour augmenter la viscosité à faible vitesse.
- PAC et CMC : pour le contrôle de la filtration.
- Polyacrylamide : pour réduire la friction entre le fluide, la formation ou le tubage.
- Gomme de guar : parfois utilisée dans des applications spécifiques.

Si vous êtes intéressé par la composition, les propriétés de l'un de ces polymères ou leur application dans un type particulier de fluide de forage (comme OBM ou WBM), je peux vous fournir plus de détails.(1-8)

1.8. Fabrication et traitement:

La boue de forage est un fluide essentiel dans les opérations de forage pétrolier, gazier ou géothermique. Elle joue plusieurs rôles techniques et de sécurité, comme le refroidissement de l'outil de forage, le transport des déblais à la surface, la stabilisation des parois du puits et la gestion de la pression.

Fabrication de la boue de forage

La fabrication dépend du type de boue :

- **Boue à base d'eau (Water-Based Mud - WBM)**
- **Boue à base d'huile (Oil-Based Mud - OBM)**
- **Boue synthétique (Synthetic-Based Mud - SBM)**

Composants typiques d'une boue de forage à base d'eau :

Composant	Fonction principale
Eau douce ou salée	Phase de base
Argile (bentonite)	Augmente la viscosité, forme le cake filtrant
Polymères (CMC, PAC)	Contrôle de la filtration, viscosité
Barite (BaSO_4)	Augmente la densité
Inhibiteurs (KCl, polymères inhibiteurs)	Protègent les formations argileuses
Agents de pH (souvent Caustic Soda)	Ajustent l'alcalinité

Étapes de fabrication :

1. **Préparation de la base liquide** (eau, parfois avec sel ou inhibiteurs).
2. **Ajout d'agents viscosifiants** comme la bentonite ou des polymères.
3. **Incorporation de la barite ou autres agents pondérants** pour atteindre la densité désirée.
4. **Ajustement des propriétés chimiques** : pH, inhibition, contrôle du filtrat.
5. **Mélange homogène** à l'aide de mélangeurs industriels (mud mixers ou tanks avec agitation mécanique).

2. Traitement et entretien de la boue pendant le forage:

Pendant le forage, la boue est constamment **circulée, testée et ajustée** pour maintenir ses performances :

Contrôles et traitements courants :

- **Mesure de la densité** (mud balance) et ajustement avec barite ou hématite.
- **Contrôle de la viscosité** (funnel viscometer ou Fann viscometer) → ajout de polymères si nécessaire.
- **Contrôle de la perte de liquide (filtration)** : tests API filtrate → ajout de PAC ou CMC.
- **Analyse chimique** (pH, alcalinité, dureté, salinité, etc.).
- **Élimination des solides non désirés** à l'aide de :
 - **Shale shaker** : tamis pour séparer les déblais.
 - **Desander / Desilter** : séparent les particules fines.
 - **Centrifugeuses** : pour contrôler les solides ultra-fins..

Importance du suivi de la boue:

Un bon **programme de suivi et de traitement** de la boue permet de:

- Réduire les coûts d'exploitation

- Prévenir les incidents de forage (collapsus, blow-out, stuck pipe)
- Prolonger la durée de vie des outils
- Améliore

Conclusion:

Les fluides de forage sont des systèmes dynamiques nécessitant une optimisation permanente en fonction des conditions géologiques et réglementaires. Les avancées récentes portent sur les fluides verts (biodégradables) et les nanotechnologies pour améliorer la stabilité thermique.

CHAPITRE II :
CARACTERESIQUE
PHISICO-CHIMIQUE DES
FLUIDE DE FOARGE

Introduction

Les fluides de forage jouent un rôle essentiel dans les opérations de forage pétrolier et gazier. Leur efficacité dépend de propriétés physico-chimiques spécifiques, notamment la filtration, la densité, la viscosité et la rhéologie. Ces propriétés influencent la stabilité du puits, le transport des déblais et le contrôle des pressions.(2-1)

1. Filtration

La filtration désigne la capacité d'un fluide de forage à laisser passer une partie de sa phase liquide à travers la formation poreuse, formant ainsi une couche de filtration sur les parois du puits.

Importance :

- Réduction des pertes de fluide dans la formation.
- Prévention des dommages à la formation.
- Maintien de la stabilité du puits.

Méthode de mesure :

- Utilisation de la presse à filtre API sous une pression de 100 psi pendant 30 minutes.

Valeurs typiques :

- Un volume de filtrat inférieur à 15 ml en 30 minutes est généralement considéré comme acceptable.(2-2)



2. Densité

Définition :

- La densité est la masse par unité de volume du fluide de forage, exprimée en g/cm^3 ou lb/gal .

Importance :

- Génération de pression hydrostatique pour équilibrer les pressions de formation.

- Prévention des éruptions incontrôlées.
- Stabilisation des parois du puits.(2-3)



Figure IV.1. Densimètre à boue Méthode de mesure :

- Utilisation d'une balance à boue (mud balance).

Valeurs typiques :

- La densité varie généralement entre 8,5 et 20 lb/gal, selon les conditions de forage.

$$X = \frac{DF - DI}{Da - DF} * [\text{Tonne}]$$

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

3. Viscosité

Définition

:

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.

Appareille de mesure

1.1.1 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.(2-4)

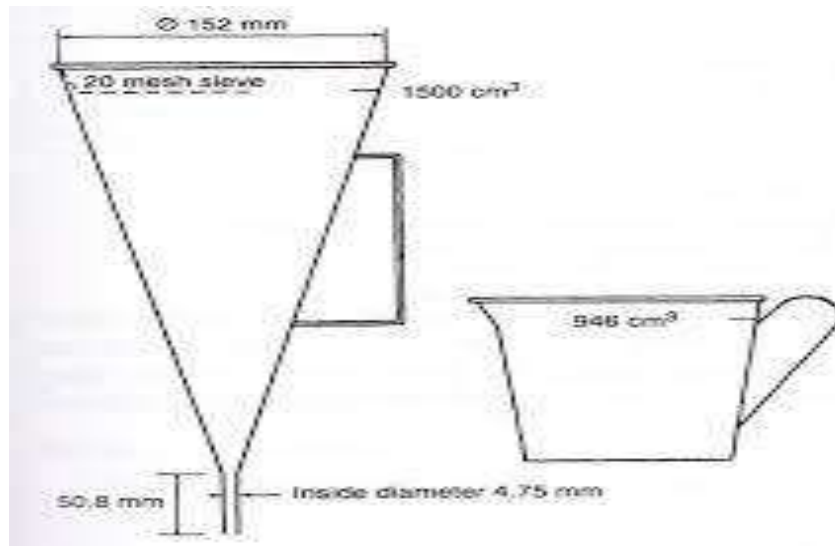


Figure 4 : Principe de mesure de viscosité Marsh

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 Fannl

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 :

(4)

$$T = (\text{volume solides} \times 100) / (\text{volumesboue})$$

4. Rhéologie

Définition :

- La rhéologie étudie le comportement d'écoulement des fluides sous contrainte, en particulier les fluides non newtoniens comme les boues de forage.

Modèles rhéologiques :

- Modèle plastique de Bingham.
- Modèle de la loi de puissance (Ostwald-de Waele).
- Modèle de Herschel-Bulkley.

Paramètres clés :

- Viscosité plastique (PV).
- Point d'écoulement (YP).
- Résistance au gel (gel strength).

Méthode de mesure :

- Utilisation d'un rhéomètre Fann pour mesurer les vitesses de cisaillement à différentes vitesses de rotation..(2-5)

Conclusion

La compréhension et le contrôle des propriétés physico-chimiques des fluides de forage sont essentiels pour assurer l'efficacité et la sécurité des opérations de forage. Une attention particulière à la filtration, la densité, la viscosité et la rhéologie permet d'optimiser les performances du fluide et de prévenir les problèmes opérationnels.

CHAPITRE III : ETUDE DE CAS PUTTS EADWP-1

1. Introduction :

La programmation de la boue de forage pour déterminer son type est une tâche complexe à laquelle les techniciens sont confrontés, car elle nécessite un haut niveau de compétence et de connaissances techniques, ainsi que la capacité à faire face à de multiples défis et contraintes. Dans ce chapitre, nous commencerons par une étude et une analyse détaillée du programme de boue. Dans un premier temps, nous présenterons l'étude du programme lui-même, puis nous passerons à l'application de cette étude à un cas pratique concernant des puits de type EADWP-1, où nous analyserons les prévisions géologiques et le circuit de la boue, avant de passer aux étapes d'exécution de son programme.

2. Conception et mise en œuvre d'un programme de boue :

La préparation d'un programme de boue est essentielle dans les opérations de forage, car la plupart des techniciens de forage s'accordent à dire que la conception du programme doit être fondée sur des données géologiques précises, ainsi que sur les programmes de forage et les équipements utilisés, tout en prenant en compte les conditions particulières.

Le rôle de l'ingénieur des fluides de forage consiste à fournir des conseils au foreur à travers le programme de boue, en l'orientant vers les meilleures options et méthodes à adopter pour garantir le succès de l'opération de forage, tout en assurant un équilibre optimal entre la performance technique et l'efficacité économique.

3. 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.

.4.Importance du type de boue:

Dans les opérations de forage, le type de boue est un élément essentiel, car sa détermination dépend largement des prévisions géologiques et techniques :

- Les prévisions géologiques aident à déterminer le type de boue adapté aux formations géologiques présentes sur le site.
- Les prévisions techniques contribuent à déterminer la quantité de boue nécessaire, sa consommation et son coût.
- La densité de la boue doit être compatible avec les conditions de forage afin d'assurer la stabilité du puits.
- Les propriétés rhéologiques de la boue doivent être compatibles avec les conditions du puits ainsi qu'avec les équipements de pompage disponibles.
- La boue doit avoir une capacité suffisante pour transporter les débris générés pendant le forage.
- Il est essentiel d'améliorer la vitesse de progression du forage en utilisant une boue adaptée, ce qui contribue à accélérer le processus.

Étude du programme :

A- Prévisions géologiques :

1) **Systèmes et étages géologiques**

- a) **Nature chimique** : Le sol peut contenir des matériaux chimiques tels que les électrolytes (sel, anhydrite, ...).
- b) **Nature minéralogique** : Le sol peut être composé d'argile ou de marnes plastiques, gonflantes, fluides, etc.
- c) **Nature physique** : Le sol peut être dur ou fragile, influençant des aspects comme la consolidation, l'inclinaison, la perméabilité, la porosité et les fractures.
En fonction de ces caractéristiques, les propriétés physiques et chimiques de la boue à utiliser seront déterminées.

2) **Profondeur**

- a) **Température** : L'impact de la température sur la boue est plus marqué à grande profondeur, où elle peut entraîner la dégradation des composants de la boue au fil du temps.
- b) **Pressions attendues** : Il est important de prendre en compte la pression hydrostatique du puits, qu'elle soit inférieure ou supérieure à la pression normale, pour déterminer la densité de la boue nécessaire à la stabilité du forage.

B- Prévisions techniques :**a) Forage, tubage et profondeur**

Déterminer le volume du puits à forer ainsi que la quantité de ciment nécessaire pour les opérations de re-cimentation afin d'assurer la stabilité du trou et garantir une utilisation correcte du forage.

b) Stockage.

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

c) 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.

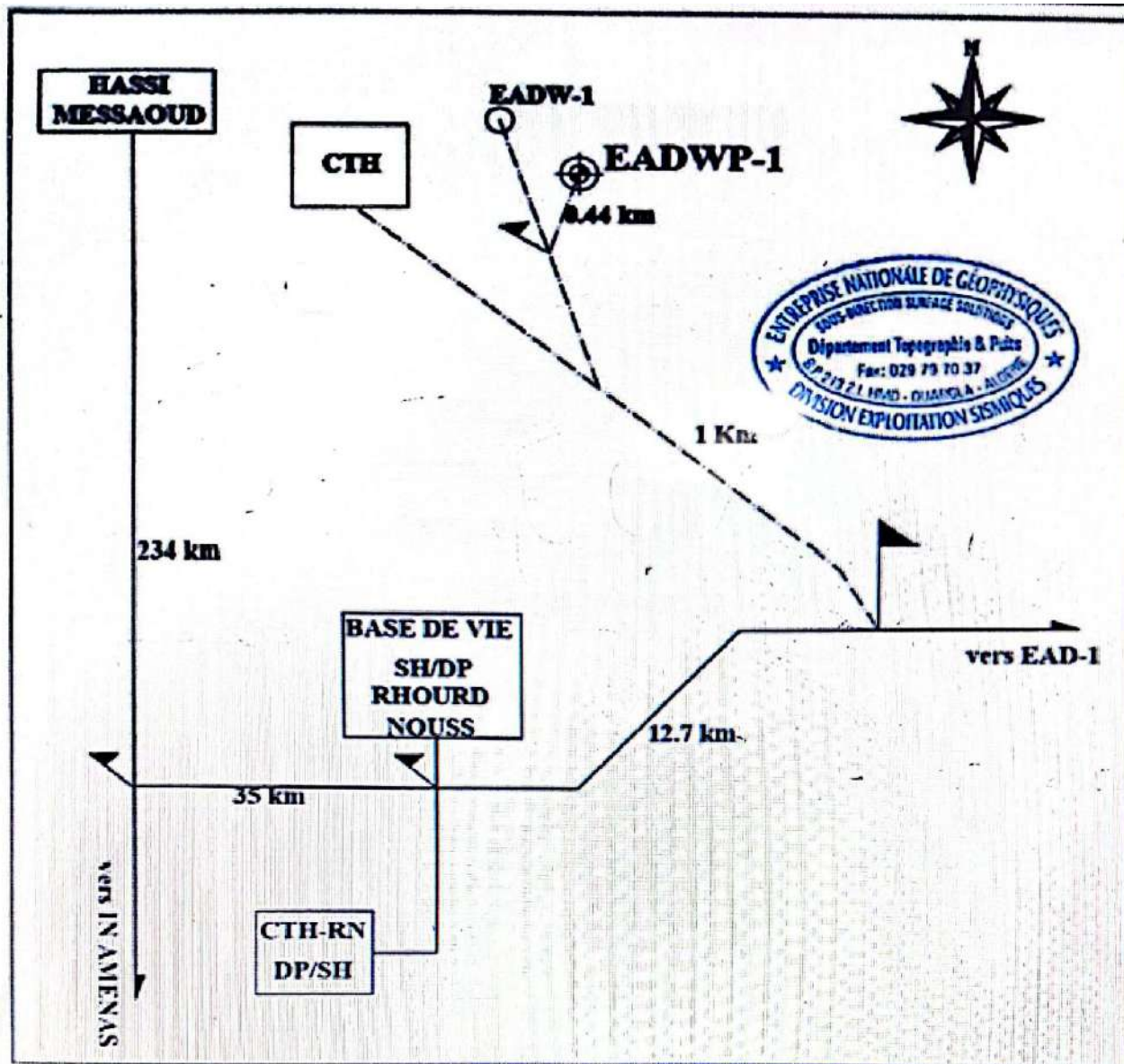
d) Vitesse d'avancement.

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.

5-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/cm²).

2. Situation géographique du puits:



3. Données du puits

Well Name:	EL ABIAD OUEST PROFOND-1 (EADWP-1)
Field:	IN AMEDJANE
Block:	246a
Basin:	Berkine West
Region:	Rhourde Nouss
Geographic Coordinates:	M: 6° 45' 56,74151" E L: 29° 49' 54,5738" N
Coordinates UTM 32, Clarke 1880:	X = 284 115,909 m Y = 3 301 986,862 m Zs = 250,706 m - Zt = 261,366 m
Well Type:	Exploration
Well Profile:	Vertical
Primary Objective:	Trias Carbonaté : 2838m TAGI : 3008 m F6-M2 : 3184 m F6-M1 : 3227 m F6-M0 : 3286 m Grés de Oued Saret : 4015 m Grés de Ouargla : 4205 m Quartzites de Hamra : 4328 m
Well TD:	4600m
Formation at TD:	Gres d'El Atchane
Target days:	125 days at TD, Total 205 days (Including testing & Completion)
Drilling Rig:	TP227

4. 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 EADWP-1a pour but d'optimiser l'exploitation du gisement.

5. Objectifs du puits :

1. Exécuter le forage sans accidents, incidents ni dommages environnementaux.
2. Compléter toutes les opérations conformément aux directives HSE standard de Sonatrach.
3. Forer jusqu'à la profondeur totale (TD) de 4600 m en 125 jours. NPT global <18%.
4. Évaluer les réservoirs objectives.
5. Atteindre les objectifs d'acquisition des données de logging.
6. Collecter des informations et des leçons apprises pour optimiser les forages futurs.

Tableau 1 : Programme du puits EADWP-1.

SONATRACH E.P. DIVISION FORAGE DIRECTION DES OPERATIONS			EL ABIAD OUEST PROFOND-1			Bassin : Berkine Ouest Périmètre : IN AMEDJANE Bloc: 246a Rig: TP227			
Coordonnées									
UTM		Géographiques							
X = 284 115,909 m		M: 6° 45' 56,74151" E							
Y = 3 301 986,8962 m		L: 29° 49' 54,5738" N							
Zs = 250,706m		Zt = 261,366m							
AGE	MD (m)	Epal.(m)	Formation	Strat.	Lithologie	Car.	Programme du puits		
Tertiaire	Surface	263	Mio-Pliocène		Sable translucide à poissés d'argile et de calcaire		Casings	Boue	Logging
Crétacé	274	189	Sénonien	Carbonaté	Dolomite calcare à fine passe d'anhydrite intercalé de marne		60m	1.05 sg WBM	No Logging
	463	200		Anhydritique	Akermanne de dolomite blanche à jaunâtre et anhytite et marne grise à gris-vertâtre		503m		
	663	55		Saïfère	Ser translucide à blanc à fine passe d'argile		40m in S Anhydritique		
	718	100	Turonien		Calcaire beige à blanchâtre à poissés d'argile				
	818	123	Cénomanién		Akermanne de calcare gris clair et anhytite blanche et argiles grises, gris-vertâtres				
	941	111	Aibien		Argile brune rouge à fin passés d'anhytite et dolomite et sable blanc fin à moyen				
	1052	15	Aptien		Dolomite calcare blanche à beige				
	1067	457	Barremien		Grès bruns rouges fins à très fins argileux à poissés d'argile bruns-rouge indurée et anhytite blanche			1.30sg OBM	GR / OSI (PAS) EMS-HS
1524	288	Néocomien		Akermanne d'argile indurée siliceuse et gris bruns rouge, fins à très fins argileux					
Jurassique	1812	159	Malm		Argile siliceuse à passe grasseux et dolomite microcristalline				
	1971	102	Dogger	Argileux	Argile brunsâtre à rougeâtre indurée siliceuse et anhytite blanche				
	2073	177		Lagunaire	Intercalation de grès fins fins et d'argile à fin passés de dolomite et calcaire				
	2250	153		Anhydritique	Anhytites et argiles				
	2403	21	Horizon B		Calcaire à calcaire dolomitique				
	2424	173	Lias	S1 + S2	Ser massif avec passés d'argile siliceuse et anhytite			1.90sg OBM	GR / OSI (PAS) EMS-HS GR-CBL-VOL-CCL CSG 13" 5/8"
	2597	28		S3	Ser rosâtre, blanc translucide, massif avec fines passés d'argile bruns rouge, tendre à indurée				
	2626	45		Argileux	Argiles bruns-rouge à bruns, tendre à indurée				
Trias	2671	167	TAGS		Grès blanc, très fin à fin silico-argileux et argiles bruns-rouges tendres à indurées				
	2838	170	Carbonaté		Argiles bruns rouges à bruns-choixat, tendre à indurées, avec des intercalations de grès gris-blanc				
	3008	26	TAGI		Grès fins à moyens intercalés d'argile bruns à bruns-rouges indurées siliceuses				
Disconcordance Hercynienne									
Sturien	3034	150	DH/ F6-A1		Grès blanc, fin à moyen, pyrique au sommet et d'argile gris à noirs				
	3184	43	SAG F6-M2		Grès gris sombre, gris blanc avec passés d'argile, argile à gris tendre				
	3227	59	SAG F6-M1		Akermanne centronique de Grès gris-blanc et argile, siliceuse, tendre				
	3286	85	SAG F6-M0		Grès blanc, grisâtre, très fin à fin, parfois moyen, blanc à rose-rougeâtre, compact				
	3371	107	SAG F6-N2		Argile gris foncé à noir, siliceuse, indurée				
	3478	237	SAG F6-N1		Intercalations de Grès gris blanc et Argile gris foncé, siliceuse				
Ordovicien	3715	228	SAG F6-N0		Intercalations d'argile gris et de grès bruns avec quelques intercalations de grès fin				
	3943	15	DMK		Grès gris blanc à blanc, gris sombre, fin à moyen, siliceux à silico-argileux, compact				
	3958	57	Argiles Micro		Argile gris foncé à noir, parfois gris clair, indurée				
	4015	66	Grés d'Oued Saret		Grès gris blanc à gris beige, gris sombre, très fin à fin				
	4081	124	Argiles Azzei		Argile gris foncé à rose, indurée, bulleuse, siliceuse à fortement siliceuse				
	4205	123	Grés de Ouargla		Grès blanc, gris blanc, très fin à fin, silico-argileux				
	4328	244	QZH		Grès gris blanc, gris sombre, blanc, très fin, quartzifère, localement pyrique, micacée, compact				
	4572	32	Grés D'El Atchane		Akermanne de grès gris, quartzique, très fin à moyen				
Objectives: (TAGS - Trias Carbonaté - TAGI - SAG F6/M2 - F6/M1 - F6/M0 - G.O.S - Grés de Ouargla & QZH)									
Offset well: EADW-1 ST1, EAD-3, ELQZH-1 & RHASQH-1									
							TD @ 4600m		

6-Les procédures nécessaires pour connaître les propriétés du sol et déterminer les valeurs nécessaires pour le fluide de forage et la sécurité de l'opération :

Pour déterminer les propriétés du sol et les valeurs nécessaires pour le fluide de forage avant de commencer le forage des puits de pétrole, plusieurs tests et analyses doivent être effectués. Voici les étapes principales:

1. Exploration géophysique:

Le sondage géophysique

- Utilisation de techniques telles que le sondage sismique et la géologie par rayonnement pour déterminer les propriétés géologiques de l'argile et des dépôts dans la zone cible. Ces techniques permettent de déterminer le type de roche, la résistance des roches au forage et la présence d'eau ou de pétrole.

Sondage sismique

- Le sondage sismique aide à déterminer l'épaisseur de l'argile, sa dureté et la densité des roches en profondeur. Cette méthode aide également à déterminer la quantité et le type d'argile présente dans le sol.

2. Analyse géochimique:

Analyse des échantillons

- Des échantillons de sol et de roche sont prélevés à l'aide d'un appareil de forage expérimental (coring), puis envoyés à des laboratoires pour des tests chimiques et physiques. Ces tests permettent de déterminer :
 - Le contenu en eau
 - La compressibilité
 - Les propriétés chimiques de l'argile (présence de matières organiques ou de minéraux lourds).

Test du taux de pénétration (ROP)

- En mesurant le taux de pénétration pendant le forage dans l'argile, on peut évaluer la difficulté du forage et le temps nécessaire pour traverser l'argile.

3. Test de pression et forage expérimental :

Tests de pression

- Ces tests aident à déterminer la résistance de l'argile aux pressions qui peuvent se produire pendant le forage.

Forage expérimental

- Dans certains cas, un forage expérimental est réalisé à une profondeur donnée pour obtenir des échantillons de sol et analyser leurs propriétés physiques.

4. Utilisation de modèles de simulation :

Modèles informatiques

- L'utilisation de **modèles informatiques** pour simuler la manière dont l'argile interagit avec les équipements de forage permet d'obtenir des estimations précises sur les propriétés de l'argile dans la zone cible. Ces modèles prennent en compte des facteurs comme la température, la pression et la composition de l'argile.

5. Études géotechniques:

Études géotechniques

- Les études géotechniques fournissent des informations sur la structure du sol et aident à déterminer la difficulté du forage dans les couches d'argile. Ces études peuvent inclure des tests des minéraux et de l'argile dans le sol et vérifier la présence de couches rocheuses ou d'oxydes métalliques.

Grâce à ces différentes méthodes, il est possible de déterminer avec précision les valeurs de l'argile avant de commencer l'opération de forage, ce qui aide à évaluer le coût, le temps nécessaire et à garantir la sécurité du processus.

Tableau2 :Conception du tubage :

Taille du trou (inch)	Taille de latubage (inch)	Plage de profondeur (m.)	Longueur de l'intervalle (m.)
36"	30"	0-60	60
26"	18 5/8"	60-480	420
16"	13 3/8"	480- 2290	1810
12 1/4"	9 5/8"	2290 - 2628	338
8 1/2"	7""(TOL=2353)	2628-4205	1577
6"	4 1/2"(TOL=4105)	4205-4600	395

Tableau3 : Proprieties de la boue :

a) EXEMPLE PHASE 16" et PHASE 12 1/4"

Proprieties de l'intervalle	16"	12 1/4"
Type de fluid	OBM	OBM
Densité SG	1.30	1.90
Yieldpoint lb/100 ft ²	16 – 24	10 – 12
PV cps	-	-
HPHT @ 250F& 500 PSI	<4	<4
Pom	2 – 4	2 – 4
huile/ Eau %	70/30	90/10
Excès la chaux (g/l)	12	13
Ca++ (g/l)	1-3	3-5
NaCl(g/l)		

a.1. VOLIME CONSOMATION Phase 16" :▪ **Volume CSG 18 5/8 de surface à 480m :**

$$V = V (\text{Diamètre CSG } 18 \frac{5}{8}) l/m * \text{la cote}(m)$$

$$V = 159,73 * 480$$

$$V = 76670,4 \text{ l} = 76,6704 \text{ m}^3$$
▪ **Volume profondeur 480 m à 2290m :**

$$V = V (\text{Profondeur } 16") l/m * \text{la cote}(m)$$

$$V = 129,72 * 1810$$

$$V = 234793,2 \text{ l} = 234,7932 \text{ m}^3$$
▪ **Volume surface = V (Profondeur 16") m³*1.5- 234,7932m³**

$$V = 234,7932 \text{ m}^3 * 1.5 = 234,793 \text{ m}^3$$

$$V = 117.33 \text{ m}^3$$
▪ **Volume consommation totale : Volume CSG 18 5/8+ Volume profondeur + Volume surface**

$$\text{Volume Totale} = 76,6704 \text{ m}^3 + 234,7932 \text{ m}^3 + 117.33 \text{ m}^3$$
▪ **Volume Totale = 428.8 m³**a.2. Constituants: La boue d'huile :**1-)Phase 16" (tubage 133/8) :**

b) Diesel..... 0,57[l/m³].....(0.57*391,46 m³) =223.13 m³

c) Eau..... 0,26[l/m³]..... (0.26*391,46m³) =101.77m³

- d) l'émulsion primaire.....17.39 [kg/m3]..... (17.39*391,46m3) =6.80T
- e) UD WET..... 2.86[kg/m3]..... (2.86*391,46m3) =1.096T
- f) Viscosifion.....17.14 [kg/m3].....(17.14*391,46m3) =6.7T
- g) Chaux.....22.88 [kg/m3]..... (22.88*391,46m3) =8.95T
- h) NaCl..... 90.77 [kg/m3]..... (90.77*391,46m3) =35.53T
- i) UD FL 650.....7.15[kg/m3]..... (7.15*391,46m3) =2.8T
- j) l'émulsion secondaire.....5.7[kg/m3].....(5.7*391,46m3) =2.23T
- k) Baryte.....414.7.[kg/m3].....(414.7*391,46m3) =162.34T

1. La fonction du chaux :

- Contrôle du pH
- Contrôle de la corrosion
- Source de calcium
- Maximiser la performance de l'émulsifiant
- Améliorer la stabilité de l'émulsion à haute température
- Indicateur de contamination par des gaz acides en raison de la diminution rapide de l'alcalinité

2. Les fonctions de l'émulsion primaire et secondaire sont :

- Émulsifiant et agent mouillant
- Stabilité thermique
- Aide au filtre
- Formation de gâteau et contrôle de filtration

3. Les fonctions de l'agent mouillant sont(WET) :

- Agent mouillant puissant pour les OBM
- Mouillage pour la barytine
- Réduire les effets indésirables de la contamination par l'eau

4. Les fonctions de La perte de fluide (FL 650) :

est utilisée pour le contrôle de la filtration HTHP (haute température et haute pression) et est souvent utilisée pour sceller des formations à basse pression et épuisées (FLC).

5. Les fonctions de La saumure est utilisée pour(Eau+NaCl) :

Saturer l'eau de sel afin d'éviter la sursaturation par le sel de la formation, et il est appelé saumure émulsifiée. Il réduit l'activité de l'eau et crée des forces osmotiques qui empêchent l'adsorption de l'eau par les schistes.

6. Les fonctions de La barite :

Le barite est ajouté au fluide de forage (drillingmud) pour augmenter sa densité. Cette augmentation de la densité est très importante car elle aide à contrôler la pression des formations géologiques pendant le forage. En augmentant la densité du fluide, il est possible d'empêcher l'écoulement des fluides hydrocarbonés ou de l'eau vers la surface

2)- Résumé des opérations :

- Forer la nouvelle formation de 480 m à 2290m.
- Retirer le tubage 13" 3/8
- CIMENTATION.
- Reforage du ciment et le chasser avec la boue d'huile la phase précédente.

B.1. VOLIME CONSOMATION Phase 121/4 :

- **Volume CSG 13 3/8 de surface à 2290m:**

$$V = V (\text{Diamètre Csg } 13 \frac{3}{8}) l/m * \text{la cote(m)}$$

$$V = 77.24 * 2290$$

$$V = 176879 \text{ l} = 176,88 \text{ m}^3$$

- **Volume profondeur 2290m à 2628m :**

$$V = V (\text{Profondeur } 121/4 ") l/m * \text{la cote(m)}$$

$$V = 76,04 * 338$$

$$V = 25701,5 \text{ l} = 25,70 \text{ m}^3$$

- **Volume surface = V (Profondeur 121/4 ") m³*1.5-25,70m³**

$$V = 25.70 * 1.5 = 25,70 \text{ m}^3$$

$$V = 12.85 \text{ m}^3$$

- **Volume consommation totale :**

$$\text{Volume Diamètre Csg } 13 \frac{3}{8} + \text{Volume profondeur} + \text{Volume surface}$$

$$\text{Volume Totale} = 176,88 \text{ m}^3 + 25,70 \text{ m}^3 + 12.85 \text{ m}^3$$

- **Volume Totale = 215.43 m³**

B.2. Constituants: La boue d'huile :**1)- Phase 121/4" (tubage 9 5/8") :**

l) Diesel 0,54[kg/m³]..... (0.54*215.43) = 152.6m³

m) Eau 0,066[kg/m³]..... (0.066*215.43) = 18,65m³

n) UD MUL 250 P..... 26.88[kg/m³]..... (26.88*215.43) = 7.6T

o) UD WET..... 3.43 [kg/m³]..... (3.43*215.43) = 739Kg

p) Viscosifion..... 20.02 [kg/m³]..... (20.02*215.43) = 4.5T

q) LIME 22.88 [kg/m³]..... (22.88*215.43) = 5T

r) NaCl..... 24 [kg/m³]..... (24*215.43) = 5T

s) UD FL 650..... 8.58[kg/m³]..... (8.58*215.43) = 2T

t) UD MUL 250 S..... 17.16[kg/m³]..... (17,16*215.43) = 3.70T

u) Baryte 1257.....1267[kg/m³]......(1267*215.43)=273T

2) Résumé des Operations :

- Forer la nouvelle formation de 2290mà2628m.
- Retirer le tubage 9" 5/8
- CIMENTATION.
- Reforage du ciment et le chasser avec la boue d'huilela phase précédente

Conclusion :

-Les opérations de forage nécessitent un personnel hautement qualifié. Les travailleurs dans ce domaine, qu'ils soient ingénieurs ou techniciens, doivent posséder les compétences nécessaires pour comprendre et analyser les réactions physiques et chimiques qui se produisent dans les fluides de forage et pour les expliquer lorsque cela est nécessaire.

En plus de ces compétences théoriques, une expérience pratique sur le terrain est essentielle pour comprendre les techniques de forage de manière pratique et efficace.

Il est essentiel pour l'ingénieur ou le technicien des boues de toujours garder à l'esprit que l'objectif principal de la préparation des boues de forage est de produire un fluide dont les propriétés garantissent que les objectifs de forage sont atteints au moindre coût, dans les plus brefs délais et avec le plus haut degré de sécurité.

Ce chapitre se concentre sur l'explication des propriétés physiques et chimiques de la boue de forage telles que la viscosité, la densité et le taux de filtration, ainsi que sur l'effet de ces propriétés sur les performances de la boue pendant le forage. Le chapitre couvre également les instruments utilisés pour mesurer ces propriétés, ainsi qu'une introduction à la rhéologie (la science de l'écoulement des matériaux), qui comprend des concepts tels que le débit et la valeur de rendement.

CHAPITRE IV : RESULTATSET DISCUSSION

1-l'introduction :

Dans ce chapitre, les résultats des tests physiques et chimiques des fluides de forage utilisés à différentes étapes du forage de puits sont présentés et analysés. Ces résultats représentent un reflet précis des performances de la boue pendant les opérations, en se concentrant sur des mesures telles que la densité, la viscosité, l'entartrage de la boue et le rapport huile/eau, ainsi que sur des tests à haute pression et à haute température. Ce chapitre vise à interpréter les données collectées et à évaluer leur conformité aux normes adoptées dans le secteur pétrolier.

1-Caractéristiques physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques effectuées ont été obtenues sur deux échantillons des boues préparées correspondant à deux phases de forage (niveaux de forages).

Phase 1: 2100m avec un diamètre du foret 6" Pouces. Phase 2 : 2400 m avec un diamètre du foret 12 1/4" Pouces.

IV.1.1. Caractéristiques physiques**IV.2.1.1. La densité**

La valeur de la densité est mesurée par le densimètre, montré dans le schéma suivant .

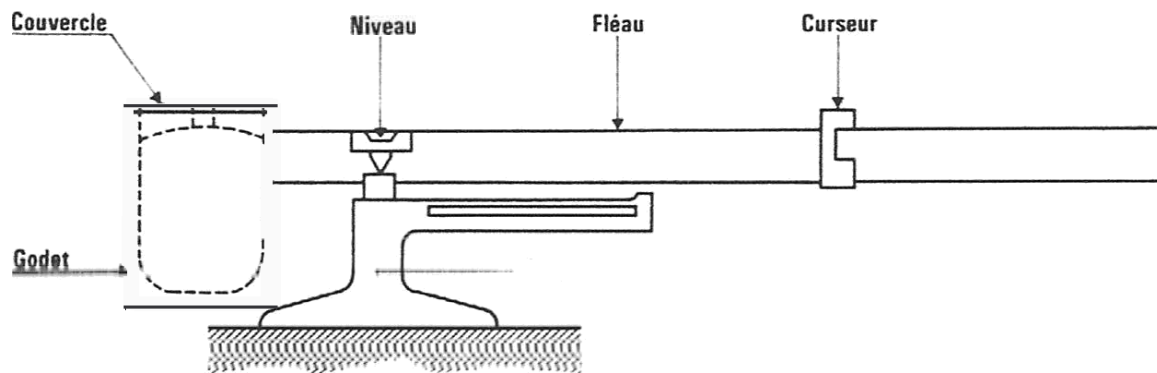




Figure IV.1. Densimètre à boue

Domaine d'application: $[0.8 : 2](\text{g/cm}^3)$.

On détermine le poids spécifique de la boue de la façon suivante:

1. Remplir le récipient de boue.
2. Placer le couvercle sur son siège dans le récipient par un léger mouvement tournant, s'assurer que la boue s'échappe par le trou percé dans le couvercle.
3. Mettre le doigt sur le trou du couvercle, enlever l'excédent de boue sur la surface extérieure du récipient et du fléau en lavant ou en l'essuyant.
4. Placer le point fixe sur le couteau de support. Amener le fléau à l'horizontale en déplaçant le cavalier sur la règle.
1. Lire la graduation de la règle sur la face gauche du cavalier.
2. Noter le poids spécifique ainsi lu.
3. Rincer immédiatement le récipient après l'utilisation car il est nécessaire que tous les composants de la balance à boue soient parfaitement propres, si on désire obtenir des mesures précises.

Les résultats obtenus:

Phase Paramètres physiques	Phase 16"			Phase 121/4"		
	AC	DC	Norme	AC	DC	Norme
Densité (SG)	1.30	1.31	1.30	1.91	1.90	1.90

On remarque la densité des échantillons étudiés au cours de deux phases sont conformes aux normes exigées.

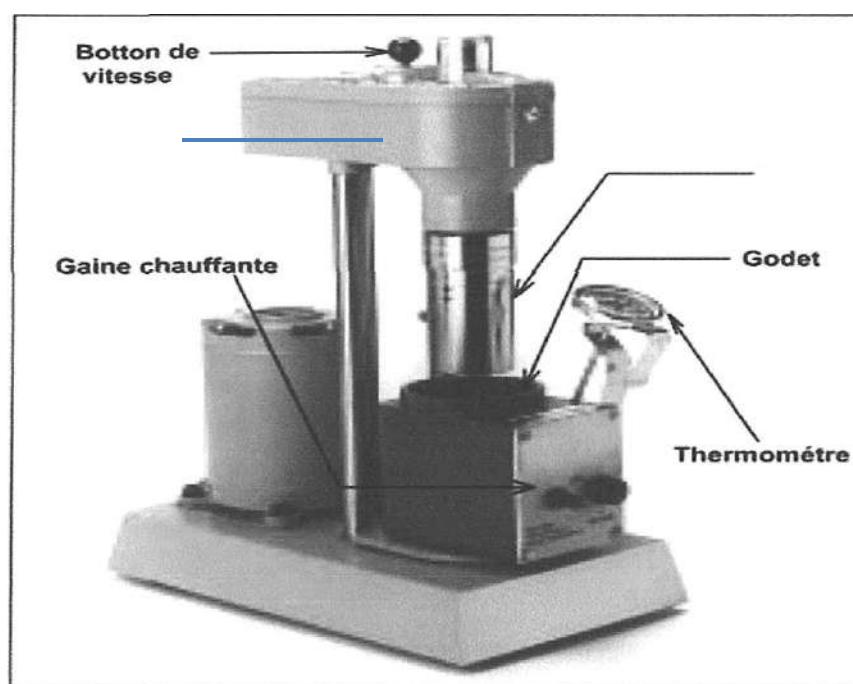


Figure IV.2. Rhéomètre de FANN modèle 35

2.1.2. La rhéologie

On a 5 caractéristiques de la boue à mesurer: la viscosité apparente VA, la viscosité plastique VP, la contrainte seuil (**yield point**), gel 0 à 10 sec et gel 10 à 10 min.

Viscosimètre de FANN modèle 35, l'instrument est entraîné par un moteur muni de différentes vitesses de rotation 3, 6, 100, 200, 300 et 600 tr/min.

Les caractéristiques des instruments ont été prévues de telle façon que la viscosité plastique et la

contrainte seuil peuvent être obtenus à partir des lectures à **300** et **600 tr/min**.

viscosité apparente est obtenue en divisant la lecture à **600 tr/min** par 2. Donc la détermination de la rhéologie se fait au moyen de la procédure suivante :

1. Placer un échantillon de boue agité récemment dans le récipient prévue à cette effet et immerger le rotor exactement jusqu'à la ligne de repère.
2. Faire tourner le rotor à une vitesse de 600 tours par minute. Attendre que l'aiguille se stabilise (ce temps dépend des caractéristiques de la boue). Noter la lecture à 600 tours par minute.
3. Faire tourner à 300 tr/min et attendre que l'aiguille se stabilise. Noter la lecture à 300.

***Les mesures de la résistance au gel se font de la manière suivante:**

- Placer l'échantillon de boue et faire tourner à grande vitesse pendant 10 secondes.
- Laisser reposer la boue sans la remuer pendant 10 secondes. Tourner lentement et régulièrement la manivelle jusqu'à obtenir la lecture.
- Agiter à nouveau la boue, attendre 10 minutes, puis répéter l'opération précédente. La lecture obtenue correspond à la résistance au gel après 10 minutes

RALATION:

Apparent Viscosity (AV) = $Q_{600}/2$

Plastic Viscosity (PV) = $Q_{600} - Q_{300}$

Yield point (YP) = $2 * Q_{300} - Q_{600}$

Résultats obtenus

Phase Paramètres physiques	Phase 16"			121/4"		
	AC	DC	Norme	AC	DC	Norme
600tr/min	72	70	-	122	118	-
300tr/min	46	45	-	67	65	-
AV (cp)	36	35	-	61	59	-
PV	26	25	-	55	53	-

(CP)						
YP (lbs/100ft²)	20	20	16:24	12	12	10:12
Gel(0) à 10sec (lbs/100ft²)	15	14	12:16	8	8	6:10
Gel(10)à10 min (lbs/100ft²)	18	17	16:20	12	13	12:14

Selon les valeurs affichées, la température joue un rôle très important dans la variation de la valeur du point d'écoulement (Yield Point). On remarque que l'augmentation de la température de la boue provoque une diminution du point d'écoulement.

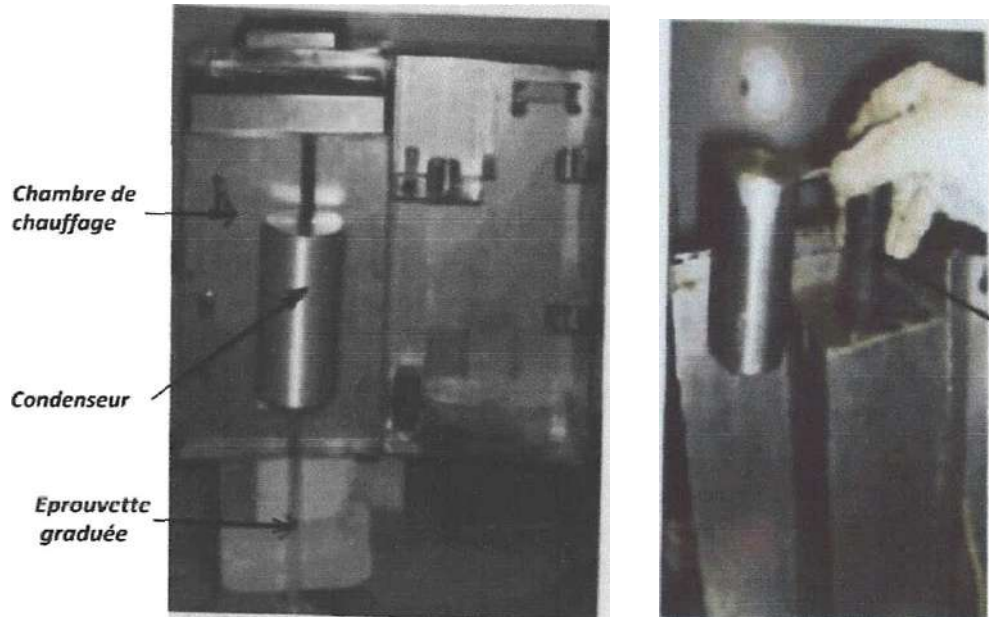
En cas de diminution de la valeur du point d'écoulement (YP) en dessous de la norme requise, la boue doit être traitée avec des produits appelés viscosifiants tels que VG69, VGsupreme (viscosifiants), et Versamode (modificateur de la valeur du YP).

Les viscosités apparente et plastique doivent avoir une valeur constante avant et après injection.

2.1.3.Rapport huile/eau

La détermination du pourcentage volumique (huile/eau) se fait à l'aide d'un distillateur à boue, donné par la Figure IV.3.

Figure IV.3. Distillateur à boue



1. Remplir la cellule calibrée avec de la boue provenant d'un échantillon homogène.
2. Remplir l'espace au-dessus de la cellule calibrée avec de la laine d'acier fine.
3. Rendre la cornue étanche, et placer un cylindre gradué sur la sortie du condenseur.
4. Brancher le dispositif de chauffage de la cornue à une source d'électricité de 110V (alternatif ou continu), et chauffer jusqu'à ce que des gouttes tombent du condenseur dans le cylindre gradué.

La mesure des volumes d'huile et d'eau récupérés sont calculées par:

$$\text{-Huile\%} = [\text{volume huile} / (\text{volume d'huile} + \text{volume d'eau})] * 100$$

$$\text{-D'eau\%} = [\text{volume eau} / (\text{volume d'huile} + \text{volume d'eau})] * 100$$

I)- à 2100m.

Huile = 69 ml

Eau = 26 ml

Solid = 5 ml

II)- à 2400m.

- Huile = 59 ml

- Eau = 5 ml

- Solide=36 ml

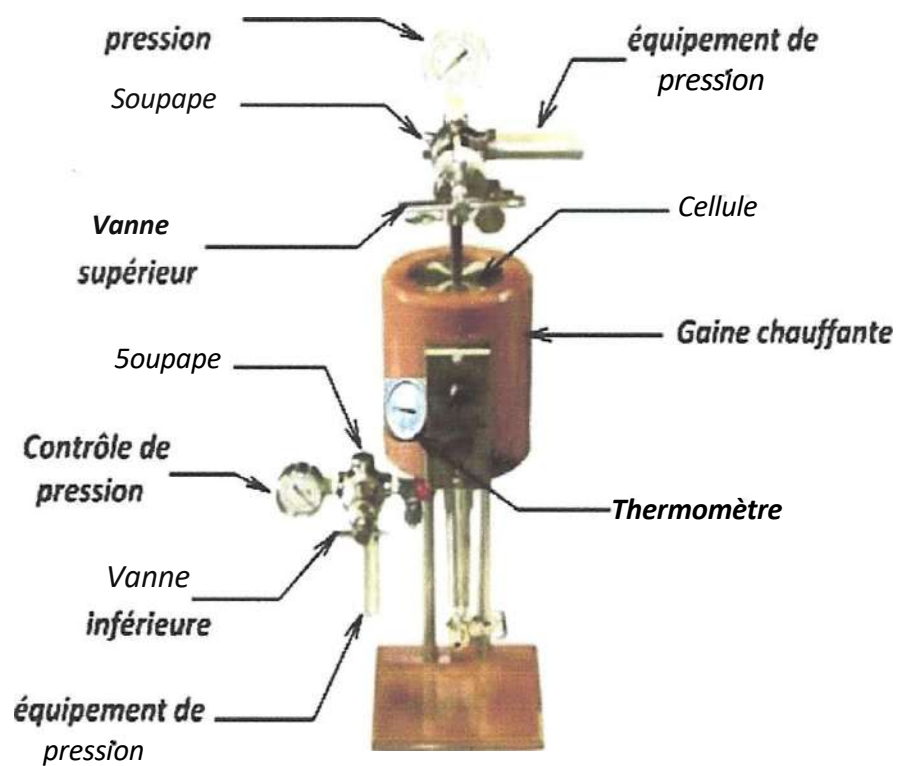
Les résultats obtenus:

Phase Paramètres physiques	Phase 16□			121/4□		
	AC	DC	Norme	AC	DC	Norme
Rapport (Huile/Eau)	72/28	71/29	70/30	92/08	92/08	90/10

Lors de cet essai, nous utilisons 100 ml de boue, mais nous avons trouvé 95 ml à la phase 16□ et 64 ml à la phase 121/4□, ce qui signifie qu'il y a des particules très petites dans l'échantillon qui ne peuvent pas être observées à l'œil nu et qui brûlent pendant le chauffage.

IV.2.1.4.Filtrat à haute pression et à haute température (HPHT) :

L'essai de filtration est effectué dans des conditions simulant les conditions du fond en température et en pression, l'instrument (figure VI.4) se compose essentiellement d'une source contrôlée de pression, d'une cellule conçue de façon à résister à des pressions élevées, d'un système de chauffage de la cellule et d'un cadre pour soutenir l'ensemble, cette essai est effectué à température supérieure à 250°F et une pression de 600 psi.



FigureIV.4.Appai'eils de filtrat HP-HT

1. Brancher la gaine chauffante au réseau. Placer le thermomètre et préchauffer la gaine chauffante. Régler le thermomètre de façon à maintenir une température constante.
 2. Prélever la boue à la conduite d'arrivée.
 3. Remplir la cellule jusqu'à 1 cm du bord supérieur, pour tenir compte de l'expansion.
 4. Placer la cellule dans la gaine chauffante, les deux vannes (supérieure et inférieure) étant fermées. Mettre en place le thermomètre dans sa gaine.
 5. Installer l'équipement de pression sur la vanne supérieure et serrer. Mettre en place l'équipement de pression inférieur et serrer également. Appliquer 100 psi sur les deux équipements de pression, les deux soupapes étant fermées. Ouvrir la vanne supérieure et appliquer 100 psi à la boue pendant le chauffage.
 6. Dès que la température atteint 250 °F, augmenter la pression dans l'équipement de pression supérieure jusqu'à 500 psi. Ouvrir la vanne inférieure pour amorcer la filtration.
- Récupérer le filtrat pendant 30 minutes.
 - Noter le volume de filtration instantanée après 2 secondes.
 - Calculer le volume total de filtrat selon la formule :

$$V_{\text{filtrat}} = 2 \times V_{\text{mesure}} \quad V_{\text{filtrat}} = 2 \times V_{\text{mesuré}}$$

- À la fin de l'essai, fermer les deux vannes.

Ouvrir la vanne en T et purger la pression des deux régulateurs.

1. .

Les résultats obtenus :

Phase Paramètres physiques	Phase 16"			Phase 121/4"		
	AC	DC	Norme	AC	DC	Norme
HP-HT filtrat	>3	>3.2	>4	>3.80	>3.79	>4

La valeur récoltée correspond au taux de filtration de la boue à travers les parois du puits. Lors de l'ouverture de la cellule, on remarque la formation d'un cake au niveau du papier filtre. Celui-ci représente l'épaisseur du dépôt formé à l'intérieur des parois du puits. Sa valeur est exprimée en millimètres (mm) ; dans notre cas, elle ne doit pas dépasser 2 mm.

Discussion :

La valeur du filtrat HPHT (High Pressure High Température) est très importante, car elle détermine la quantité maximale de boue susceptible d'être absorbée par les parois du puits. Cette valeur ne doit pas dépasser celle recommandée par le client, au risque d'exposer le puits à des pertes de boue importantes.

Dans le cas où l'épaisseur du cake dépasse 2 mm, cela peut provoquer des coincements ou des frottements, qui sont généralement des problèmes très délicats, et peuvent parfois contraindre le client à abandonner le puits, qui est d'un effet indésirable pour notre pays.

Ils existent des produit à boue qui peuvent stabiliser ou ramener la valeur du filtrat ou du cake à la norme tel que : Vétrate, Megatrol, Ectrol.

IV.2.2.Caractéristiqueschimiques :

Lesanalyseschimiqueseffectuéespourcontrôlerlesparamètresdelabouesont:

IV.2.2.1. Excès de la chaux($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

- 1mldeboue.
- 50mltoluène/propanol(50/50).
- Agit a teurmagnétique.
- 100mld'eauidistillée
- Phénol phtaléine.
- l' acid sulfurique H_2SO_4 0.1(N).

Versez 1 ml de boue dans un bécher 250 ml, on ajout 50 ml toluène/ propanol et 100ml d'eau distillé, on ajout quelques gouttes de phénolphtaléine, et on fait agitation pendant 5 minute, on titreravec l'acide sulfurique jusqu'à changement la couleur du rose versl'in colore, et noter le volume PB de H_2SO_4

- $\text{PB} = V_{\text{H}_2\text{SO}_4}[\text{ml}]$
- $\text{Excès de la chaux}[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 3.65 * \text{PB}[\text{g/l}]$

Lesrésultats obtenus :

Phase Paramètre s chimique	Phase16"			Phase121/4□		
	AC	DC	Norme	AC	DC	Norme
Pb(ml)	3.2	3.5	4	3.4	3.6	4
Excès la Chaux (g/l)	11.84	12.78	14.6	12.58	13.14	14.6

Test Cl^- :

- 1cc de boue + 50cc d'IPA/xylène (50/50) Mélangé pendant 5 minutes avec 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 4-6 gouttes de chromate de potassium.
- Titrer avec 0,1 N AgNO_3 .
- Changement de couleur : du jaune au premier rose permanent ou couleur rougeâtre

$$\text{Cl}^- = \text{cc's } 0.1\text{N AgNO}_3 \times 1000\text{-mg/l}$$

Versez 1 ml de boue dans un bécher de 250 ml, puis ajoutez 50 ml de toluène/propanol et 100 ml d'eau distillée, ajoutez quelques gouttes de permanganate de potassium, et agitez pendant 5 minutes.

Ensuite, titre avec du nitrate d'argent jusqu'à ce que la couleur change du jaune au rouge clair, puis notez le volume de nitrate d'argent(AgNO_3).

- $[\text{Cl}] = 35 \times V_{\text{AgNO}_3} \times 0.1 [\text{g/l}]$
- $[\text{NaCl}] = 1.65 \times [\text{Cl}] [\text{g/l}]$

Les résultats obtenus

Phase Paramètres chimique	Phase 16''			Phase 121/4		
	AC	DC	Norme	AC	DC	Norme
V(AgNO_3)	11.40	11.60		8.4	8	
[Cl](g/l)	40.41	40.6		29.4	28	
(NaCl)(g/l)	66.7	67	65:74	48.58	46.2	46 :50

IV .2.2.3. La concentration du (Ca^{++}):

- 1cc de boue + 50cc IPA/xylène (50/50) Agiter pendant 5 minutes avec 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 20 gouttes de Na OH 1 N + 1 cuillère en porcelaine de Calver II.
- Titrer avec EDTA 0,1 N..

Verser 1ml de boue dans un bécher 250ml, on ajout 50ml toluène/propanol et 100mld'eau distillé, on ajout quelques gouttes de noir bleu chrome (indicateur), et quelques gouttes solution tampon Na OH, on fait agitation pendent 5 min, on tétera avec l'EDTA jusqu'à changement couleur viole tvers bleu ,et noter le volume EDTA.

$$[\text{Ca}^{++}] = 40 \times 0.1 \times V_{\text{EDTA}}$$

Les résultats obtenus :

Phase Paramètres chimique	Phase 16"			Phase 12 1/4"		
	AC	DC	Norme	AC	DC	Norme
V	0.4	0.5		1	1.1	
[Ca ⁺⁺](g/l)	1.6	2	1 : 3	4	4.4	3 : 5

La comparaison des résultats de la caractérisation physico-chimique et rhéologique des boues de forage des phases 16" et 12 1/4" montrent que les boues formulées sont conformes aux normes exigées par l'entreprise.

Le problème qui peut être rencontré c'est l'apparition du gaz dans la boue, ce qui peut engendrer une diminution de la densité de la boue. Dans notre cas, on remarque qu'il n'y a pas de variation de la densité à l'entrée et à la sortie du puits. Tous les autres paramètres se trouvent dans l'intervalle des normes de travail admises.

Dans la dernière phase de forage, la grande majorité des résultats obtenus sont conformes aux normes admises, ce qui implique un bon rendement de la boue au cours du forage.

Conclusion

Les résultats de l'analyse ont montré que les propriétés de la boue utilisée lors du forage étaient généralement conformes aux normes requises, ce qui a contribué au succès des opérations de forage sans enregistrer de problèmes techniques majeurs. Certaines variables, comme la température, ont également montré un effet clair sur les propriétés rhéologiques de l'argile, soulignant l'importance d'une surveillance périodique et d'un ajustement continu de la composition de l'argile. Au cours de ce chapitre, il a été confirmé qu'un bon contrôle des paramètres de la boue assure la sécurité du puits et améliore l'efficacité du forage, faisant de la gestion des fluides de forage un facteur clé dans la réussite d'un projet pétrolier.

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Cette étude vise à mettre en évidence le rôle essentiel que jouent les fluides de forage dans la réalisation des opérations de forage des puits de pétrole et de gaz, à travers une analyse complète englobant à la fois les aspects théoriques et pratiques liés à ces fluides.

Sur le plan théorique, différents types de fluides de forage ont été abordés, tels que les boues à base d'eau, les boues à base d'huile et les fluides gazeux, avec une explication détaillée de leur composition, ainsi qu'une description de leurs propriétés physiques et chimiques. Leurs fonctions principales – telles que le nettoyage du puits et le refroidissement des équipements de forage – ainsi que leurs fonctions secondaires ont également été examinées, en plus des méthodes de préparation et de traitement lors des opérations de forage.

Sur le plan pratique, une application sur le terrain a été réalisée sur le puits EADWP-1 situé dans le champ de Hassi Messaoud. Un programme précis de gestion des boues a été élaboré pour chaque phase de forage, incluant le choix du type de boue adapté, le volume requis et les quantités exactes des additifs utilisés, tout en mettant en évidence le rôle de chaque composant dans l'amélioration des propriétés du fluide. Des analyses approfondies ont été menées afin d'évaluer les propriétés rhéologiques et chimiques, telles que la densité, la viscosité, le point d'écoulement, le rapport huile/eau, ainsi que le comportement du fluide dans des conditions de haute température et de haute pression (HPHT).

Les résultats ont montré que les caractéristiques de la boue utilisée étaient conformes aux normes de l'industrie, ce qui a permis de mener les opérations de forage de manière efficace, sans incidents techniques ou environnementaux majeurs.

En conclusion, l'étude souligne que le contrôle rigoureux des propriétés des fluides de forage, grâce à un choix judicieux du type de boue et un suivi constant de ses paramètres, constitue un facteur déterminant pour le succès des opérations de forage.

Liste des références et des source

Références :

- [1] Mémoire d'ingéniorat en génie mécanique sur "étude comparative des bilans énergétiques de deux types appareils de forage sur le champ de HASSI-MESSAOUD".
- [2] Mémoire d'ingéniorat en forage sur "étude des performances d'une nouvelle boue dans le forage du réservoir à HAOUD BERKAOUI cas du puits OKN 66".
- [3] Mémoire de magister en sciences et génie des matériaux sur amélioration des propriétés rhéologiques des fluides de forage a base de bio-polymères".
- [4] SCHLUMBERGER « introduction au forage pétrolier » document sur CD.
- [5] J DE LAMBALLERJE G., «Boue à base d'huile », Collection Colloques et Séminaires I.F.P, Edition Technip, 1969.
- [6] ADAM T., BOURGOYNE Jr, et al., " *Applied drilling engineering*", SPE Textbook series. Vol 2. 1991, pp. 41.
- [7] PAUL F. LUCKHAM U, SYLVIA ROSSI « The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions », *Advances in Colloid and Interface Science*, 82, 1999, pp.43-92
- [8] A SENTHIL KUMAR, VIKAS MAHTO & V P SHARMA "Behaviour of organic polymers on the rheological properties of Indian bentonite-water based drilling fluid system and its effect on formation damage", *Indian Journal of Chemical technology*, Vol. 10, September 2003, pp. 525-530.
- [9] J Y. PEYSSON, "Solid/Liquid Dispersions in Drilling and Production". *Oil & Gas Science and Technology— Rev. IFP*, Vol. 59 (2004), No. 1, pp. 11-21
- [10] CLARK RK, & al.: "Polyacrylamide-Potassium Chloride Mud for Drilling Water Sensitive Shales," *Journal of Petroleum Technology* 28, no. 6 (1976), pp. 719-726.
- [11] MIDOUX N., «*Mécanique et rhéologie des fluides en génie chimique* », Lavoisier, 3^e Ed., 1993.
- [12] HOWARD d A. BARNES, *A handbook of elementary rheology*, University of Wales, 2000.
- [13] API Recommendations, Spec l3A, drilling fluid materials, pp.17-18
- [14] MICHEL FONTANILLE, YVES GNANOU « chimie et physico-chimie des polymères » Dudon, Paris, 2002.

[15] BARBARA KATZBAUER, "Properties and applications of xanthan gum", Polymer Degradation and Stability, Elsevier, 59 (1998) pp. 81-84.

Annexes

MUD BUILT

V gasoil		O/W	70/30
		30	
VIS	17.14Kg/m3	25.80	FUTS
PE	17.39Kg/m3	2.63	FUTS
SE	5.7 Kg/m3	2.63	FUTS
UD WET	2.86 Kg/m3		
CHAUX	22.88 Kg/m3	86	
FL 650	7.15Kg/m3	1.71	SACS
		2.63	SACS
Barite 414.7	Kg/m3		FUTS
SAUMURE	NaCL+EAU	13	

Densité + O/W Ratio				
	Densité	O	W	Volume
Boue initiale	0.86	100	0	30
Boue de dilution	1.20	0	100	13
Boue neuve	0.963	69.77	30.23	43

Barytage			
	Densité sg	Volume m3	Quantité(T)
Boue initiale	0.96	43.00	
Baryte	4.2	5.041	21.1738
Boue neuve	1.30	48.041	

