

**Université KASDI MERBAH OUARGLA**

*Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et des Sciences de la  
Terre et de l'Univers*

*Département : Forage et Mécanique des chantiers pétroliers*



**Mémoire**

**MASTER PROFESSIONNEL**

**Domaine : Sciences et techniques**

**Filière : Hydrocarbures**

**Spécialité : Forage**

Présenté par :

Hamdaoui Rami

Guemmoula Houssam-Eddine

Djahra Mohamed Elmoundher

# Thème

**Etude des quelque produits entrants dans  
la fabrication et le traitement de la boue de  
forage**

Soutenu publiquement le : 07/06/2023

Devant le jury :

Mme. Chouicha samira	MCA	Président	UKMO
M. Leghrieb youcef	MCB	Examinatrice	UKMO
M. Mamanou abdelatif	Pr.	Encadreur	UKMO

**Année Universitaire : 2022/2023**

# REMERCIEMENT

*Tout d'abord, nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la force et la volonté pour la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à adresser l'expression de nos vifs remerciements à :*

*Nos parents qui nous ont soutenus tout le long de cycle pédagogique, leurs amours, leurs encouragements, soutiens et sacrifices et leur patience.*

*Mamanou Abdelatif, Professeur à l'Université Kasdi Merbah pour leur encadrement de notre travail, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils qui nous ont été infiniment utiles pour surmonter beaucoup de difficultés.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres de jury qui nous font l'honneur de juger notre travail*

*Enfin, nous adressons notre plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous a toujours encourage au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Que ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent, ici, l'expression de ma profonde gratitude*

*Merci à tous et à toute*

## **Résumé :**

La boue de forage est un composant essentiel dans les opérations de forage. Elle est conçue pour faciliter le processus de forage en assurant plusieurs fonctions telles que : le maintien de la stabilité de puits contre les pressions géologique, le transport de déblais, la lubrification...

Les boues de forage sont préparées en mélangeant essentiellement des matériaux argileux à Soit à l'eau ou à l'huile. Mais dans certain cas, afin garantir des exigences techniques visant à résoudre des problèmes liés au forage, certains additifs sont ajoutés à la boue.

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence des additifs comme le sel, l'amidon, la chaux, sur les propriétés de la boue de forage notamment la viscosité et la densité. La boue utilisée dans cette étude est composée de la bentonite mélangée à l'eau.

**Mots clés :** Bentonite, densité, viscosité, boue de forage, additifs, sel, chaux, amidon...etc.

## **Abstract:**

Drilling mud is an essential component in drilling operations. It is designed to facilitate the drilling process by providing several functions such as: maintaining well stability against geological pressures, cuttings transport, lubrication, etc.

Drilling muds are prepared by basically mixing clay materials with either water or oil. But in some cases, in order to guarantee technical requirements aimed at solving problems related to drilling, certain additives are added to the mud.

In this work, we studied the influence of additives such as salt, starch, lime, on the properties of drilling mud, in particular viscosity and density. The mud used in this study is composed of bentonite mixed with water.

**Keywords:** Bentonite, density, viscosity, drilling mud, additives, salt, lime, starch...etc.

## **ملخص:**

يعتبر طين الحفر مكونًا أساسيًا في عمليات الحفر. إنه مصمم لتسهيل عملية الحفر من خلال توفير العديد من الوظائف مثل: الحفاظ على ثبات البئر ضد الضغوط الجيولوجية، ونقل القطع، والتشحيم، إلخ.

يتم تحضير طين الحفر عن طريق خلط مواد الطين مع الماء أو الزيت. ولكن في بعض الحالات، من أجل ضمان المتطلبات الفنية التي تهدف إلى حل المشكلات المتعلقة بالحفر، تتم إضافة بعض المواد المضافة إلى الطين.

درسنا في هذا العمل تأثير المواد المضافة مثل الملح والنشا والجير على خصائص طين الحفر وخاصة اللزوجة والكثافة. يتكون الطين المستخدم في هذه الدراسة من البنتونيت الممزوج بالماء.

**الكلمات المفتاحية:** بنتونيت، كثافة، لزوجة، طين حفر، إضافات، ملح، كلس، نشاء ... إلخ.

# Sommaire

Dédicaces et remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

Introduction générale

## **Chapitre I : généralité sur le fluide de forage**

I-1	Introduction.....	2
I-2	Définition.....	2
I-3	Différents types de boue.....	3
I-3-1	Les fluides à base d'huile.....	4
I-3-2	Les fluides à base eau.....	5
I-3-3	Les fluides de forage gazeux.....	5
I-3-3-1	Forage à l'air ou de gaz naturel.....	5
I-3-3-2	Forage à la boue aérée.....	6
I-3-3-3	Forage à la mousse.....	6
I-4	Principales Actions Des Boues De Forage.....	7
I-4-1	Nettoyage du puits.....	7
I-4-2	Maintien des déblais en suspension.....	7
I-4-3	Sédimentation des déblais fins en surface.....	8
I-4-4	Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde.....	8
I-4-5	Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits.....	8
I-4-6	Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile.....	8
I-4-7	Augmentation de la vitesse d'avancement.....	8
I-4-8-	Entraînement de l'outil.....	9
I-4-9	Diminution du poids apparent du matériel de sondage.....	9
I-4-10	Apport de renseignements sur le sondage .....	9
I-5	Composition de Boues de Forage.....	9
I-5-1	Les boues dont la phase continue est l'eau.....	9
I-5-1-1	L'eau de fabrication.....	10
I-5-1-2	Les argiles.....	10
I-5-1-3	Les solides inertes.....	10
I-5-2	Les boues dont la Phase continue est l'huile.....	10

## **Chapitre II : Les produits entrants dans la fabrication de la boue**

II-1	Introduction.....	13
II-2	Origine et définition des argiles.....	13
II-3	Composition d'argiles.....	14
II-4	Classification Des Argiles.....	14
II-4-1	Critères de classification.....	15
II-4-2	Catégories des minéraux argileux.....	16
II-5	Matériaux argileux entrant dans la fabrication de la boue.....	17
II-5-1	La Bentonite.....	17
II-5-1-1	Origine de la Bentonite.....	18
II-5-1-2	L'utilisation des bentonites.....	18
II-5-1-3	Types de bentonites.....	20
II-5-1-4	Fonctions de bentonites.....	20
II-5-1-5	Avantage de bentonites.....	20
II-5-2	La Barytine.....	20
II-5-2-1	Principaux minéraux naturels de baryum.....	21
II-5-2-2	Origine de la barytine.....	21
II-5-2-3	Les réserves mondiales de la barytine.....	23
II-5-2-4	Le marché mondial de la Barytine.....	23
II-5-2-5	Domaines généraux d'utilisation de la barytine.....	25
II-5-3	Les Micas.....	26
II-5-3-1	Les Famille de Micas.....	27
II-5-3-2	La Formule Chimique.....	27
II-5-3-3	Propriétés physiques.....	27
II-5-3-4	Domaines généraux d'utilisation du Micas.....	28
II-6	Produit Employé dans la boue (Additive Minéraux) .....	28
II-6-1	Soude Caustique (NaOH).....	28
II-6-2	Carbonate de Sodium.....	29
II-6-3	Bicarbonate de soude (Na HCO <sub>3</sub> ) .....	30
II-6-4	Le gypse (Ca SO <sub>4</sub> -2H <sub>2</sub> O) .....	30

## **Chapitre III : TREAITEMENT DE LA BOUE**

III-1	Introduction.....	32
III-2	Différente méthode de traitement.....	32
III-3	Procédé ON-LINE (traitement mécanique durant le forage) .....	32
III-3-1	Tamissage.....	33

III-3-2	Dégazage.....	33
III-3-3	Dessableurs (desanders) et Désilteurs (desilters).....	34
III-3-4	Traitements spéciaux de séparation des déblais.....	34
III-3-4-1	Mud-cleaner.....	35
III-3-4-2	Centrifugeuses.....	35

#### **Chapitre 4 : Analyse et caractérisation physico-chimique de matériaux de la Boue**

IV-1	Introduction.....	39
IV-2	Les Caractéristiques chimique De La Bentonite et les différents additifs.....	40
IV-2-1	Les propriétés physico-chimiques de la bentonite.....	40
IV-2-2	La densité .....	40
IV-2-2-1	Le rôle de densité .....	40
IV-2-2-2	Indice d'accroissements et diminution de la densité en cours de forage.....	41
IV-2-2-3	Materials de control .....	42
IV-2-3	La viscosité .....	42
IV-3	L'influence de la concentration de la bentonite et la température sur la densité et la viscosité de boue de forage.....	46
IV-4	L'influence de la concentration de des additifs et la densité e la viscosité de boue de forage.....	48
IV-4-1	Le Sel (NaCl).....	48
IV-4-2	Amidon.....	50
IV-4-3	Chaux .....	51
IV-5	Conclusion.....	52

#### **Conclusion Générale**

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Représentant la circulation du fluide de forage.....	(3)
<b>Figure I.2:</b> Représentant la classification des fluides de forage.....	(6)
<b>Figure I.3:</b> Rôle de boue de forage.....	(7)
<b>Figure II.1:</b> Représentation schématique d'une structure d'un feuillet de kaolinite.....	(14)
<b>Figure II.2:</b> Représentation schématique d'un feuillet de phyllo-silicate.....	(15)
<b>Figure II.3:</b> Structure des minéraux argileux (Du chauffour, 1988) .....	(17)
<b>Figure II.4:</b> Domaines industriels d'utilisation des bentonites.....	(19)
<b>Figure II.5:</b> Cristal de Baryte.....	(21)
<b>Figure II.6:</b> Localisation des principaux types de gisements de Barytine dans le monde....	(22)
<b>Figure II.7:</b> Mica.....	(27)
<b>Figure II.8:</b> soude caustique (NaOH).....	(28)
<b>Figure II.9:</b> Carbonate de Sodium.....	(29)
<b>Figure III.1:</b> tamis vibrant.....	(33)
<b>Figure III.2:</b> Déssableur.....	(34)
<b>Figure III.3:</b> Déssilteur.....	(34)
<b>Figure III.4:</b> Schéma de l'unité de la Mud-cleaner.....	(35)
<b>Figure III.5:</b> Schéma simplifié de l'unité de la centrifugeuse.....	(36)
<b>Figure IV.1:</b> DENSIMETRE DMA35 BASIC V3 ANTON.....	(42)
<b>Figure IV.2:</b> viscosimètre.....	(43)
<b>Figure IV.3:</b> BURETTE.....	(45)
<b>Figure IV.4:</b> diagramme de densité par rapport le concentration de bentonite.....	(47)
<b>Figure IV.5:</b> diagramme de viscosité par rapport la concentration de bentonite .....	(47)
<b>Figure IV.6:</b> diagrammes de densité et viscosité par rapport la concentration de sel .....	(49)
<b>Figure IV.7:</b> diagrammes de densité et viscosité par rapport la concentration d'amidon. ....	(50)
<b>Figure IV.8:</b> diagramme de densité par rapport la concentration de Chaux.....	(51)

## **List des tableaux**

<b>Tableau I :</b> types caractéristiques compositions et domaines d'utilisation des boues à huile.....	(11)
<b>Tableau II.1 :</b> Les réserves mondiales de la Barytine en 2019.....	(23)
<b>Tableau II.2:</b> La consommation mondiale de la barytine .....	(24)
<b>Tableau II.3:</b> La production mondiale de la Barytine .....	(24)
<b>Tableau IV.1 :</b> composition chimique de la bentonite.....	(40)
<b>Tableau IV.2 :</b> valeur de température et la concentration de la bentonite.....	(46)
<b>Tableau IV.3 :</b> Concentrations de Sel .....	(48)
<b>Tableau IV.4 :</b> Concentrations de amidon .....	(50)
<b>Tableau IV.5 :</b> Concentrations de chaux.....	(51)

## Liste des symboles

**API :** American Petroleum Institute.

**WBDF:** Water Based Drilling Fluids

**OBDF:** Oil Based Drilling Fluids

**GBDF:** Gas Based Drilling Fluids

**BaSO<sub>4</sub>:** Le sulfate de Baryum

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** D'alumine

**SiO<sub>4</sub>:** tetraedres de silicium et doxygene

**Å:** Angstrom

**BaCO<sub>3</sub>:** Carbonate de barium

**Mt:** Mégatonne

**ppm :** Partie par million

**µm :** Micromètre

**S/S:** Stabilisation / Solidification

**P:** La pression hydrostatique en bar (bar)

**h:** La profondeur en mètre (m)

**d :** La densité en (Kgf/dm<sup>3</sup>)

**PAF:** Perte au feu

**t:** Le temps d'écoulement du liquide entre les marques A et B

**k:** Une constante qui dépend de l'appareil de viscosité mètre

**µ:** La viscosité dynamique

**ρ:** La masse volumique

**µ<sub>f</sub>:** Viscosite dynamique de fluide

**d<sub>eau</sub>:** Densite d'eau    **d<sub>f</sub>:** Densite de fluide

**t<sub>eau</sub>:** Time passage d'eau    **t<sub>f</sub>:** Time passage de fluide

**µ<sub>e</sub>:** Vicosite dynamique de l'eau

***INTRODUCTION***  
***GÉNÉRAL***

## **Introduction générale :**

La récupération des hydrocarbures nécessite en permanence des recherches des nouveaux moyens permettant l'amélioration et l'optimisation des opérations de forage. Un de ces moyens consiste à la maîtrise des propriétés et des applications de fluide de forage.

En effet, la boue de forage est un élément essentiel dans l'opération forage. Par ailleurs, au cours de cette opération des défis peuvent être attribués à l'état du la boue de forage utilisée. Par conséquent, il est très primordial de bien sélectionner le fluide de forage pendant les opérations de forage parce que le succès de l'achèvement de puits de pétrole et de gaz ainsi que la production de l'hydrocarbure du réservoir dépend considérablement des propriétés des fluides de forage.

Ajouté à son importance technique, la conception des fluides de forage est importante dans la réalisation des résultats économiques du projet dans les champs pétrolifères et doit être fortement souligné, afin d'obtenir une diminution du temps non productif pendant les opérations visant à atteindre les profondeurs cibles (zones payantes) dans bon temps.

En fait, le fluide de forage est peut-être défini comme étant un mélange hétérogène d'eau ou d'huile et de produits chimiques. Sans la boue de forage et leur additifs, les compagnies pétrolières auraient du mal sinon impossible de forer pour le pétrole et le gaz et nous aurions à peine avoir l'un des carburants et lubrifiants considérés comme essentiels pour la civilisation industrielle moderne. Davies et Kingston (1992) ont déclaré que les additifs de boue contribuent à la fonctions et propriétés au fluide de forage en particulier dans le cas des propriétés de pondération, qui à son tour atteint plusieurs rôles dans le puits de forage.

Notre travail entre dans ce contexte, Il a pour objectifs : la caractérisation de la boue de forage à l'état solide (en poudre) basée principalement sur la bentonite ainsi que l'étude de l'influence quelques additifs chimique sur les variations des principales paramètres physico-chimiques et rhéologiques de fluide de forage.

Pour ce faire, nous avons divisé ce travail comme suit : nous commençons par une introduction générale dans laquelle nous exposons le problème ainsi que les objectifs de notre investigation. Dans le premier chapitre, nous allons présenter des généralités sur la boue de forage, suivi d'un deuxième chapitre consacré à : l'exposition des produits entrant dans la fabrication de la boue de forage. Le traitement de la boue de forage après son utilisation sera traité dans le troisième chapitre. Dans les derniers chapitres nous allons étudier l'influence des additifs sur les propriétés de la boue de forage. Enfin nous terminerons par une conclusion générale et les perspectives de cette étude.

*Chapitre I :*  
***GÉNÉRALITÉS***  
***SUR LES FLUIDES DE***  
***FORAGE***

**I-1- Introduction :**

Le forage pétrolier fait partie de l'ensemble des opérations nécessaires pour localiser et extraire de la roche réservoir les hydrocarbures présents dans le sous-sol. Pour l'exploitation d'un gisement, plusieurs forages sont nécessaires : forages d'exploitation pour confirmer la présence d'hydrocarbures, forages d'évaluation qui permettent d'estimer la viabilité économique du développement, et enfin les puits de développement qui aboutissent à la mise en production

En géotechnique, des fluides de forage sont souvent utilisés afin de faciliter les opérations de forage des puits de pétrole et de gaz naturel ou également pour forage beaucoup plus simples, tels que des puits d'eau.

Les principales fonctions des fluides de forage consistent à fournir une pression hydrostatique pour empêcher les fluides de formation d'entrer dans le puits de forage, refroidir et lubrifier l'outil au cours du forage, maintenir les parois du puits, maintenir les déblais en suspension, assurer la remontée des déblais, ...etc.

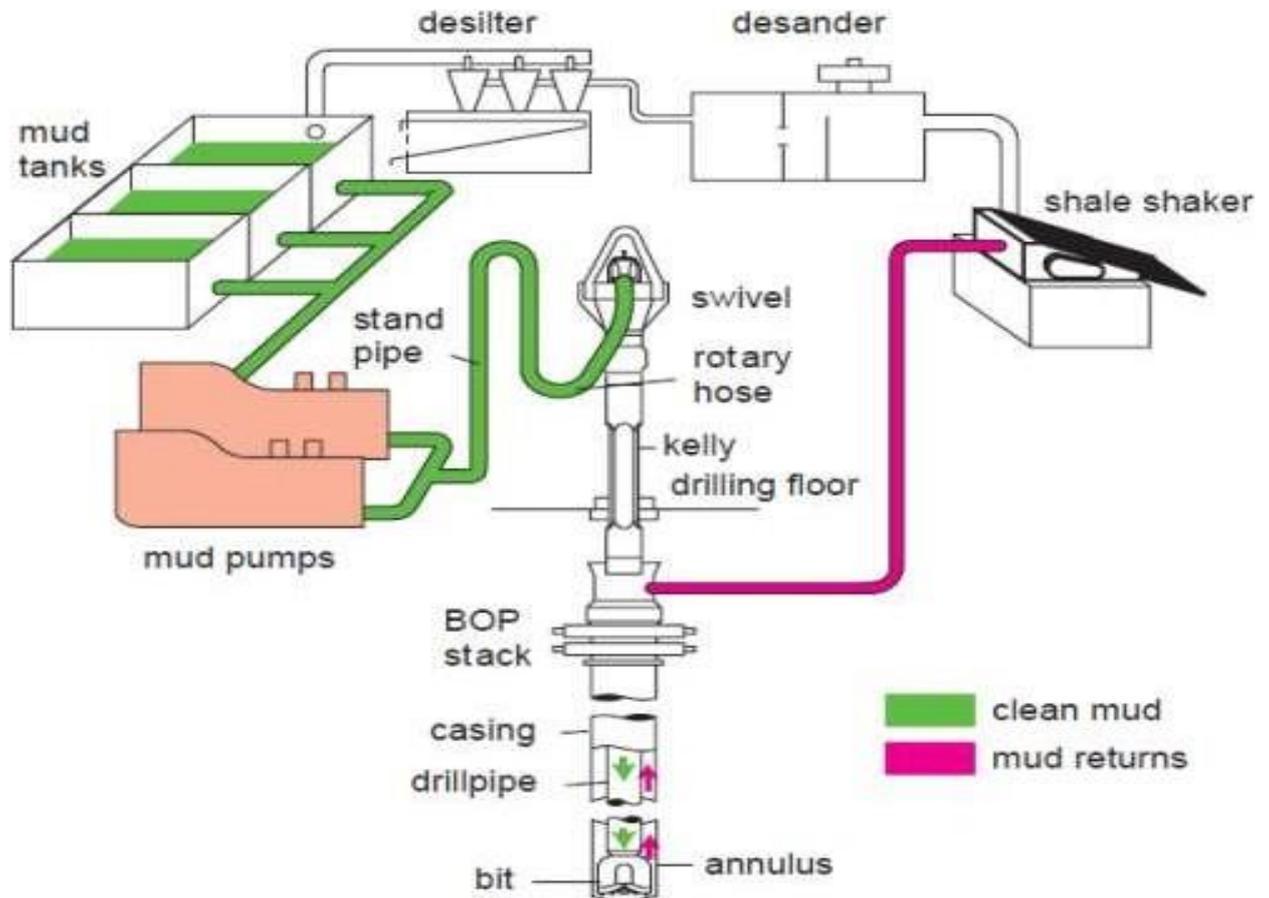
Le fluide de forage liquide est souvent appelé boue de forage. Les trois principales catégories de fluides de forage sont les boues à base d'eau (qui peuvent être dispersées et non dispersées), non aqueuses les boues, généralement appelées boues à base d'huile, et les fluides de forage gazeux, dans lesquels une large gamme de gaz peut être utilisée. Le succès d'une opération de forage est assuré par plusieurs facteurs dont le choix du fluide de forage. Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur la boue de forage.

**I-2- Définition :**

Les fluides de forage sont un système de composants liquides (eau/huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) qui contiennent d'autres additifs minéraux et organiques tels que (des polymères, des tensioactifs, des argiles et des déblais, ciment...), chaque composant du fluide de forage peut être ajusté à des besoins spécifiques en modifiant le poids ou les rapports des composants le fluide de forage était déjà présenté en 1933 lors du premier Congrès Mondial du Pétrole et en 1936 Evans et Reid publiée La première traite sur les fluides de forage, En 1979, l'American Petroleum Institute (API) a défini le fluide de forage comme un fluide en circulation continue tout au long d'un processus de forage. [1]

Il est préparé à l'aide des bacs à boue, puis injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, charge des déblais formes au front de taille (**Figure I-1**).

En tête de puits, divers traitements tels que tamisage, dilution, ajout de produits sont effectués pour éliminer les déblais transportés et réajuster leurs propriétés physico-chimiques à leurs valeurs d'origine avant d'être réutilisés.



**Figure I.1:** Représentant la circulation du fluide de forage

### I-3- Différentes types de boue :

Les facteurs techniques et économiques nous amènent à choisir dans l'arsenal des produits disponibles, un type de fluide adapté aux problèmes à résoudre.

Plusieurs classifications des fluides de forage peuvent être adoptées, il est cependant habituel de présenter les fluides en fonction de la nature de leurs phases continues. Nous allons donc rencontrer :

1. Les fluides de forage à base d'eau (WBDF =Water Based Drilling Fluids)
2. Les fluides de forage à base d'huile (OBDF=Oil Based Drilling Fluids)

### 3. Les fluides de forage à base de gaz (GBDF=Gas Based Drilling Fluids)

#### ***1-3-1-Les fluides à base d'huile :***

Les boues à l'huile sont choisies pour leur stabilité à des hautes températures, lubrification et attributs stabilisants le trou de puits, bien qu'elles aient des propriétés particulières, il est difficile de les assurer qu'avec des boues à l'eau, leur utilisation occasionnent quelques difficultés, tels que la manipulation spéciale et les problèmes environnementaux.

Les boues à base d'huile sont des émulsions inverses dont la phase continue est une huile organique ou minérale (pétrole brut, gaz oil, ...) et la phase dispersée (discontinue) est une solution aqueuse de 50% en volume au maximum qui garde l'avantage d'une phase externe constituée par l'huile.

Des agents viscosifiants, émulsifiants, stabilisants, fluidifiants et alourdissant sont alors additionnés. Ces fluides présentent une insensibilité aux contaminants (NaCl, KCl, argile, ...), une réduction du frottement de la garniture sur les parois du puits et un endommagement limité de la formation, d'où une meilleure productivité, à moins qu'ils posent des problèmes écologiques (pollution), ils peuvent contaminer le laitier de ciment et ils sont très coûteux

Actuellement, des fluides à base d'huile non toxique (huiles végétales) sont de plus en plus utilisés ainsi que les fluides à base d'eau.[ 8 ]

Elles ont les avantages et les inconvénients suivants :

#### **❖ Avantages :**

- Pas d'endommagement des réservoirs.
- Pas de filtration,
- Permet de résoudre les problèmes rencontrés avec la boue à base d'eau ;
- Caractéristiques plus faciles à maintenir,
- Réduction des risques de bourrage d'outil et d'accumulation des déblais sur les masses tige et diminution du "pistonage" lors des manœuvres.
- Moins sensible aux contaminants.
- Pas d'hydratation des argiles

#### **❖ Inconvénients :**

- Problèmes pour de propreté des zones de travail ⇒accidents.
- Santé du personnel.
- Coût de fabrication et de destruction généralement plus élevé que celui des boues à base d'eau.

- Difficulté pour "voir" les hydrocarbures.

### ***I-3-2-Les fluides à base eau :***

Ces fluides sont les plus utilisés dans le domaine du forage. Ils sont généralement constitués par des suspensions d'argile (bentonite, ...), des solides inertes (carbonates, ...) dont les caractéristiques rhéologiques sont corrigées par addition de polymères viscosifiants (Xanthane, ...).

Ces fluides sont moins coûteux et moins polluants ; cependant, la dégradation thermique des polymères utilisés dans ces formulations présente un inconvénient majeur

Pour le bon déroulement d'une opération de forage (domaine de stabilité thermique du xanthane 120 °C – 138 °C). Il est possible de classer ce type de fluides en trois catégories[8:]

- Boues douces (boues bentonitiques)
- Boues salées
- Boues salées saturées

#### **❖ Avantages :**

-Sécurité, santé et environnement.

#### **❖ Inconvénients :**

-Hydratation des argiles

-Endommagement des formations (colmatage, précipités),

-Filtration dans les formations poreuses perméables

-Dissolution des sels

### ***I-3-3-Les fluides de forage gazeux :***

Ce sont des fluides dont la phase continue est du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajoutés intentionnellement.

Le gaz peut être de l'air, du gaz naturel, de la mousse ou du brouillard.[ 8]

#### ***I-3-3-1- Forage à l'air ou de gaz naturel :***

Dans certaines régions à formations dures et sèches, on utilise de l'air comprimé, d'azote ou du gaz naturel comme fluide de forage. Cette méthode permet des vitesses d'avancement très élevées. Il est recommandé dans le cas des pertes totales répétées de la boue (l'air réduit le coût du forage de 50 à 60 % par rapport au forage à la boue).

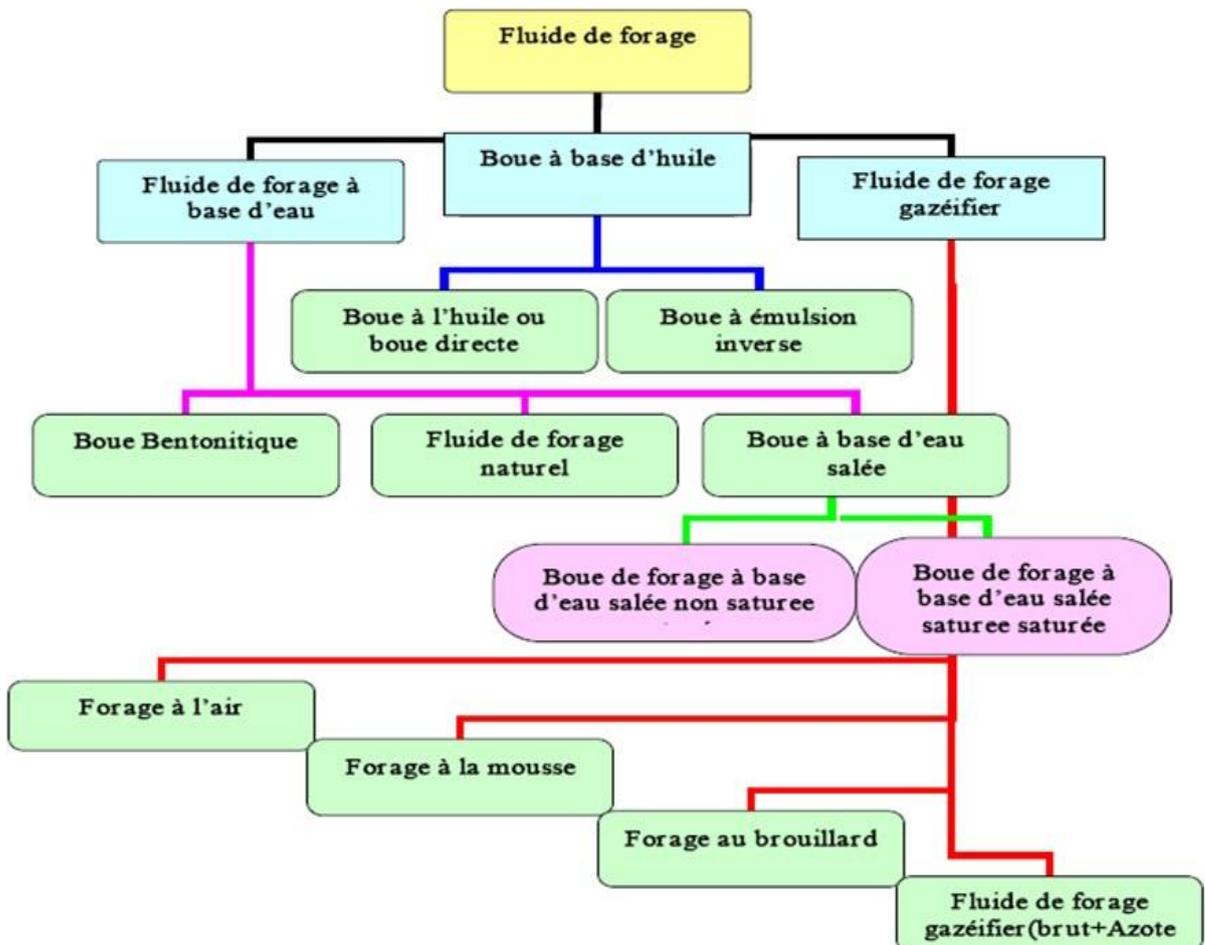
**I-3-3-2- Forage à la boue aérée :**

Cette méthode implique l'injection de très grosse quantité d'air comprimé pouvant aller jusqu'à 95 % dans la boue. Elle est utilisée afin de réduire la pression hydrostatique chaque fois qu'on rencontre des problèmes sévères de pertes, qu'on désire augmenter la vitesse d'avancement et qu'on veut réduire les frais.

**I-3-3-3- Forage à la mousse :**

Il s'agit d'un mélange d'air, d'eau et d'un agent moussant. Elles sont utilisées lorsque les terrains à traverser sont fracturés. Ces fluides de forage se caractérisent par leur excellent pouvoir de remontée les déblais cependant, le risque de cassage de la mousse est à redouter.

- La classification des fluides est représentée dans l'organigramme suivant :



**Figure I.2:** Représentant la classification des fluides de forage (8)

### I-4-Principales actions des boues de forage :

Les boues de forage doivent avoir des propriétés telles qu'elles facilitent, accélèrent le forage, favorisent ou tout au moins ne réduisent pas d'une manière sensible et permanente les possibilités de production des sondages.

Afin de réunir ces qualités tout en maintenant des prix de revient en rapport avec les problèmes posés, voyons quelles sont les principales fonctions des boues de forage

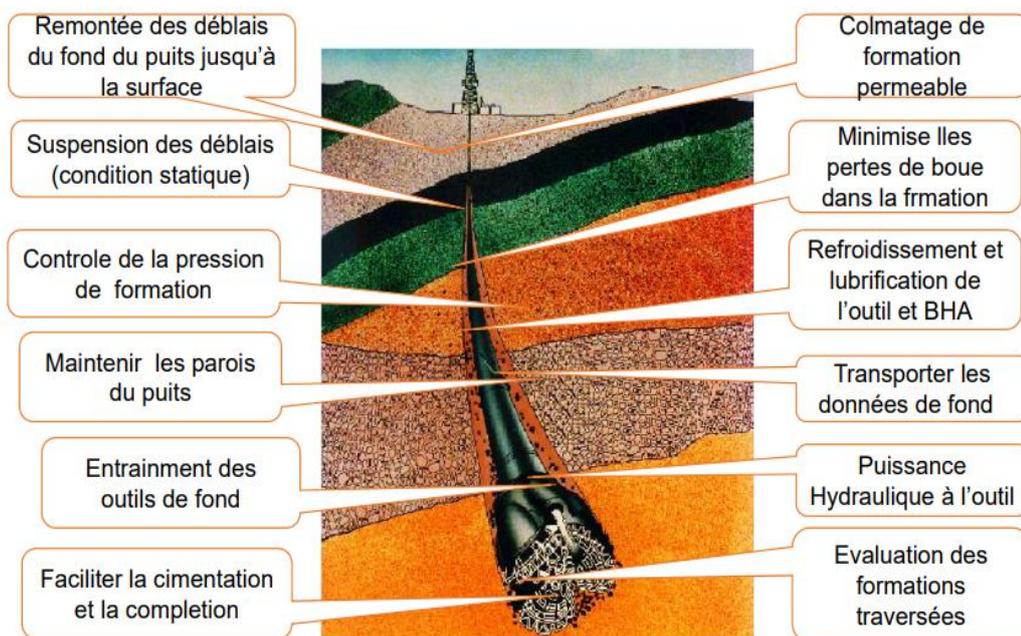


Figure I.3: Rôle de boue de forage

#### I-4-1-Nettoyage du puits :

La boue doit débarrasser le trou des formations forées qui sont appelées "cuttings" ou "déblais" ; les cuttings sont des déblais de roches qui se trouvent dans les différentes strates de la terre. Ces fragments de roches broyées par l'outil sont amenés à la surface par le flux ascensionnel de la boue. Leur taille dépend des dimensions du trépan.

#### I-4-2- 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.

***I-4-3- Sédimentation des déblais fins en surface :***

Alors que la boue doit permettre le maintien en suspension des déblais dans le puits durant les arrêts de circulation, ce même fluide doit laisser sédimenter les déblais fins en surface ; bien qu'apparemment ces deux aptitudes semblent contradictoires, elles ne sont pas incompatibles

***I-4-4- 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. Cet échauffement est dû à la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en énergie calorifique.

***I-4-5- Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits :***

La boue doit posséder des caractéristiques physiques et chimiques telles 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, par une érosion due à la circulation de la boue au droit des formations fragiles, etc...

Les resserrements ont souvent pour cause une insuffisance de la pression hydrostatique de la colonne de boue qui ne peut équilibrer la pression des roches.

***I-4-6- 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 souhaitée est maintenue en ajustant la densité entre des valeurs maximum et minimum.

***I-4-7- 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.

Un filtrat élevé augmente la vitesse d'avancement. Les très faibles viscosités sont aussi un facteur favorable à la pénétration des outils

***I-4-8- Entraînement de l'outil :***

Dans le cas du turboforage la boue entraîne la turbine en rotation. Cette fonction, l'amenant à passer à travers une série d'évents et à mettre en mouvement les aubages, implique certaines caractéristiques et rend impossible ou très délicat l'utilisation de certains produits (colmatant).

***I-4-9- Diminution du poids apparent du matériel de sondage :***

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

***I-4-10- 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 :

- Les cuttings remontés par la circulation de boue
- L'évolution des caractéristiques physiques et/ou chimiques de la boue
- La détection des gaz ou autres fluides mélangés à la boue

***I-5- Composition de boues de forage :***

Les boues de forage peuvent être divisées en deux groupes :

- Les boues dont la phase continue est l'eau.
- Les boues dont la Phase continue est l'huile

***I-5-1- Les boues dont la phase continue est l'eau :***

Ces boues sont constituées par trois groupes d'éléments distincts :

- **L'eau** : phase importante en volume pouvant contenir de l'huile émulsifiée et des produits chimiques solubles.
- **Les argiles** : ajoutées volontairement ou en provenance des formations forées.
- **Les solides inertes** : sables, calcaires, dolomies, barytine, ... insensibles à l'action chimique.

***I-5-1-1- L'eau de fabrication :***

L'eau de fabrication peut être de l'eau douce contenant peu ou pas (de sels de sodium, calcium, magnésium...etc.) Plus l'eau contient des ions ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) plus elle est dite "dure".

Une eau dure diminue le rendement des argiles et des produits chimiques. A cet effet, l'addition de 1 à 2 kg de soude caustique ou de carbonate de soude par ( $\text{m}^3$ ) d'eau permet de "l'adoucir" par précipitation du Ca et du Mg.

L'eau de fabrication peut avoir une certaine salinité : de 7 à 35 g/l. Cependant la salinité d'une eau ne peut être atténuée que par dilution à l'eau douce.[2]

***I-5-1-2- Les argiles :***

Mise en suspension dans l'eau, l'argile gonfle en absorbant de grandes quantités de liquide, il en résulte alors, une viscosité du mélange plus ou moins élevée suivant la qualité de l'argile et la composition électrolytique de l'eau ainsi qu'une réduction du filtrat.

Au cours du forage, l'outil traverse des formations argileuses d'épaisseur variable, les "cuttings" se dispersent et gonflent en augmentant la viscosité de la boue. De ce point de vue, l'argile peut être considérée comme un contaminant que l'on devrait combattre par un certain nombre de moyens : additions de produits fluidifiants et d'inhibiteur de gonflement...[2]

***I-5-1-3- Les solides inertes :***

Ce sont généralement des insolubles dans l'eau, ils n'agissent que par "effet de masse". Ainsi le sulfate de Baryum ( $\text{BaSO}_4$ ) ou Barytine, est employé pour augmenter la densité. Parallèlement, la viscosité augmentera mais simplement parce qu'il faut de très grandes quantités de Barytine pour faire augmenter la densité d'une boue.[ 2]

***I-5-2- Les boues dont la phase continue est l'huile :***

Une boue à l'huile est un fluide où la phase continue est de l'huile,

Nous verrons plus loin les avantages de cet état. Nous distinguons deux catégories :

- Les boues à l'huile émulsionnées
- Les boues émulsionnées inverses (eau dans huile).

**Tableau I :** types, caractéristiques, compositions et domaines d'utilisation des boues à huile

Classe de la boue	Type de boue	Caractéristique de la boue	composition	Cas principaux d'utilisation
Les boues dont la Phase continue est l'huile	Boue émulsion	Filtrat faible	Huile (95-98) % Eau (2-5)% - agent plastifiant - agent fluidifiant alourdissant	-Forage d'une couche productrice -Forage du sel massif reprise et entretien du puits -Forage d'une couche productrice.
	boues a émulsion inverse	Filtrat faible Prix de revient moins élevé	Huile (80-30) % Eau (20-70)%	-Problèmes de forage à haute Température. -Forage dans des zones trop froides

*Chapitre II :*  
*LES PRODUITS*  
*ENTRANTS DANS LA*  
*FABRICATION DE LA*  
*BOUE*

### II-1- Introduction :

La bonne compréhension de comportement de la boue de forage passe nécessairement par l'étude des argiles. Ces matériaux peuvent être additionné intentionnellement où elle peut entrer dans la boue comme un contaminant majeur à travers la dispersion des solides de forage. La connaissance des propriétés physico-chimique des matériaux argileux est primordiale pour pouvoir contrôler paramètres souhaités des boues à base d'eau et leurs interactions avec les autres additifs qui peut altérer la stabilité du puits foré.

Dans l'industrie des fluides de forage, certains famille d'argile comme la smectite, le majeur constituant de la bentonite, sont utilisés pour apporter la viscosité, la structure gel et le contrôle des pertes.

Le terme bentonite est utilisé pour faire référence à la montmorillonite sodique (qui est une forme de smectite) utilisé comme additif pour les fluides de forage.

Géologiquement, la bentonite est une couche de résidus volcaniques altérés, l'un des plus grands endroits de résidus volcanique qui se trouve depuis 60 millions d'années passées dans la région nord de l'Amérique, aujourd'hui connue « blacks hills of Wyoming and south dakota, and the big horn montains of Wyoming ».

Le mot argile aurait deux origines, l'une grecque par le mot *Argos* qui veut dire blanc, l'autre latine par le mot *argilla*, l'usage de l'argile à une origine très ancienne. Nos ancêtres l'utilisaient déjà à l'époque néolithique pour fabriquer des poteries rudimentaires.

Aujourd'hui. L'argile est utilisée comme composant secondaire ou matière première principale dans la fabrication En effet les domaines d'application du minéral argileux sont de plus en plus nombreux car il est employé dans plusieurs secteurs industriels dont les plus développés sont l'industrie céramique, l'industrie agricole et l'industrie pharmaceutique et sur le domaine pétrolier où il entre dans la fabrication de boue de forage sous forme (bentonite – barytine ...etc.).[3]

Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, la structure et les propriétés et les classifications des matériaux argileux en général, et parle en général sur les produits entrants dans la fabrication des fluides de forage.

### II-2- Origine et définition des argiles :

Les argiles sont des matériaux sédimentaires de la couche superficielle de l'écorce terrestre, obtenus par dégradation et altération par l'hydrolyse des minéraux des roches éruptives et

magmatiques sous l'action physique et chimique des eaux de surface. Ces résidus détritiques sont déplacés par voie glaciaire, fluviale ou éolienne et se déposent dans les bassins de sédimentation. Le terme argile possède différents sens qui ne se recouvrent que globalement.

L'argile c'est une Roche composée principalement de silicates en feuillets (Phyllo-silicates), plus ou moins hydratés. Les plus abondants des roches sédimentaires : 50% des sédiments (69 % des sédiments continentaux). Constituants principaux des sols.

### II-3-Composition d'argiles :

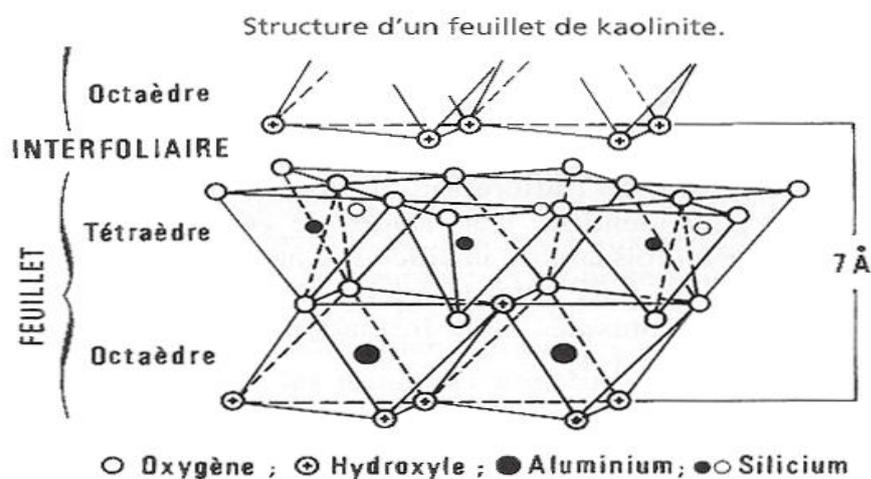
Les argiles sont majoritairement composées de silicates d'alumine.

- **Les Minéraux argileux :**

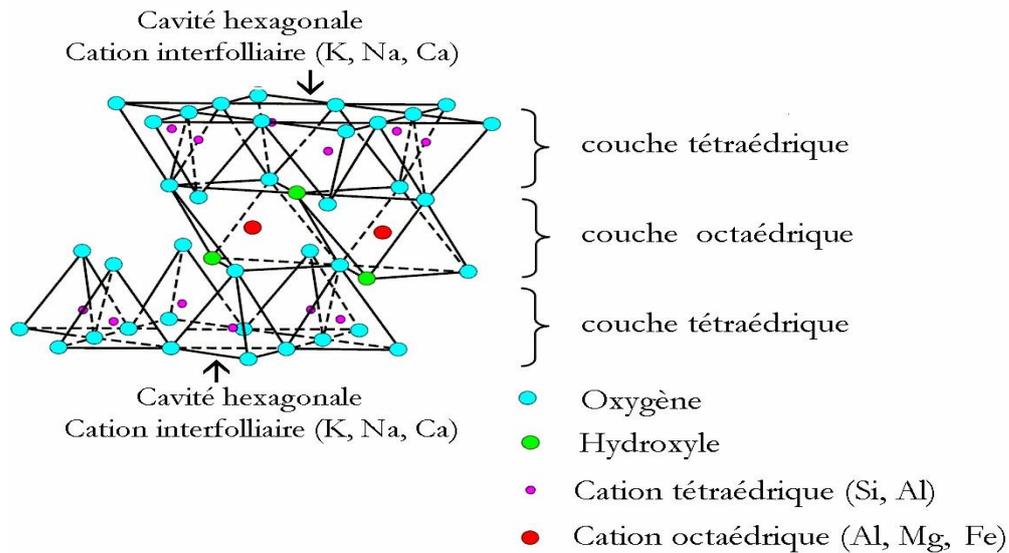
Ce sont des phyllo-silicates d'aluminium dont les feuillets sont constitués de couches d'octaèdres (d'alumine  $Al_2O_3$ ) et de couches de tétraèdres (silice  $SiO_4$ ) reliées par les atomes O et OH mis en commun. Outre ces couches formant des feuillets, la structure argileuse s'entrecoupe d'espaces inter foliaires qui comme leur nom l'indique, sont les espaces entre séparant les feuillets.

D'après la structure du feuillet, on distingue principalement les argiles 1/1 (1 couche tétraédrique+1 couche octaédrique) et les argiles 2/1 (2 tétra. Pour 1 octaédrique).

Les différents groupes de minéraux argileux se différencient par l'arrangement de leurs couches tétraédriques et octaédriques représentés sur la figure II.1 et figure II.2



**Figure II.1 :** Représentation schématique d'une structure d'un feuillet de kaolinite 1.1



**Figure II.2:** Représentation schématique d'un feuillet de phyllo-silicate 2 : 1

- Les phyllo-silicates sont également appelés plus simplement silicates lamellaires.

#### II-4- Classification des argiles :

On trouve dans la littérature des modèles différents pour la classification des phyllo-silicates.

- La première classification, établie par le comité international de Classification et de Nomenclature des Minéraux argileux en 1966, est basée uniquement sur la charge du feuillet et sur le nombre d'atomes métalliques en couche octaédrique.
- La deuxième, établie par Mering et Pedro (1969), prend en compte la localisation des substitutions, leur distribution et le type de cations compensateurs. Cette classification ne prend pas en compte les silicates synthétiques, parfois utilisés dans l'élaboration de nano composites, que sont la fluoro-hectorite, le fluoro-mica ou la laponite.
- Une troisième classification établie par Eslinger et Peaver en 1988 est basée sur le mode de combinaison des feuillets silicates.

Une dernière classification introduite par Jozja en 2003 se base en plus des critères établies par Eslinger et Peaver en 1988 sur l'épaisseur du feuillet silicate.

##### II-4-1- Critères de classification :

Les principaux critères de classification sont basés sur les paramètres suivants :

- La combinaison de feuillets (T/O ou 1/1 ; T/O/T ou 2/1 ; T/O/T/O ou 2/1/1) ;
- Le type de cations dans l'octaèdre ;
- La charge de la couche ;

- Le type de matériel dans l'espace inter foliaire (cations, molécules d'eau, ...).
- Quelques critères secondaires sont le polytypisme (ou mode d'empilement), la composition chimique, le type d'espèces argileuses et le mode d'empilement pour les inters stratifiés.

#### ***II-4-2- Catégories des minéraux argileux :***

Les terres argileuses se répartissent alors en trois familles structurales :

- **La famille 1 :1(Les minéraux à 7Å) :** Ils sont constitués de feuillets comprenant une couche tétraédrique, accolée à une couche octaédrique, Son épaisseur est d'environ 7 Å, l'exemple le plus cité est la kaolinite.
- **La famille 2:1(Les minéraux à 10Å) :** Cette structure comporte trois couches: deux tétraédriques encadrant une couche octaédrique, elle est variable en fonction du contenu de la couche inter foliaire de 9Å à 15Å, elle est de (9 Å si l'espace est vide (groupe à pyrophyllites-talcs) - 10 Å si les cations inter foliaires sont anhydres (cas de K<sup>+</sup> pour le groupe des micas et micas durs) - 12,5 Å si les cations échangeables inter foliaires sont entourés d'une couche d'eau (cas de Na<sup>+</sup> pour le groupe des smectites et celui des vermiculites) – 15 Å si les cations échangeables inter foliaires sont entourés de deux couches d'eau ).
- **La famille 2 :1 :1(Les minéraux à 14Å) :** Cette famille est caractérisée par un feuillet à quatre couches (Te, Oc, Te, Oc) constitué en plus des trois couches de la série 2/1, par une couche octaédrique qui s'insère dans l'espace inter foliaire ; les chlorites, par exemple appartiennent à cette famille.

Et il trouve autre classe qui est le Minéraux inters stratifiés : L'épaisseur du feuillet est variable. Ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argiles appartenant aux groupes ci-dessus.

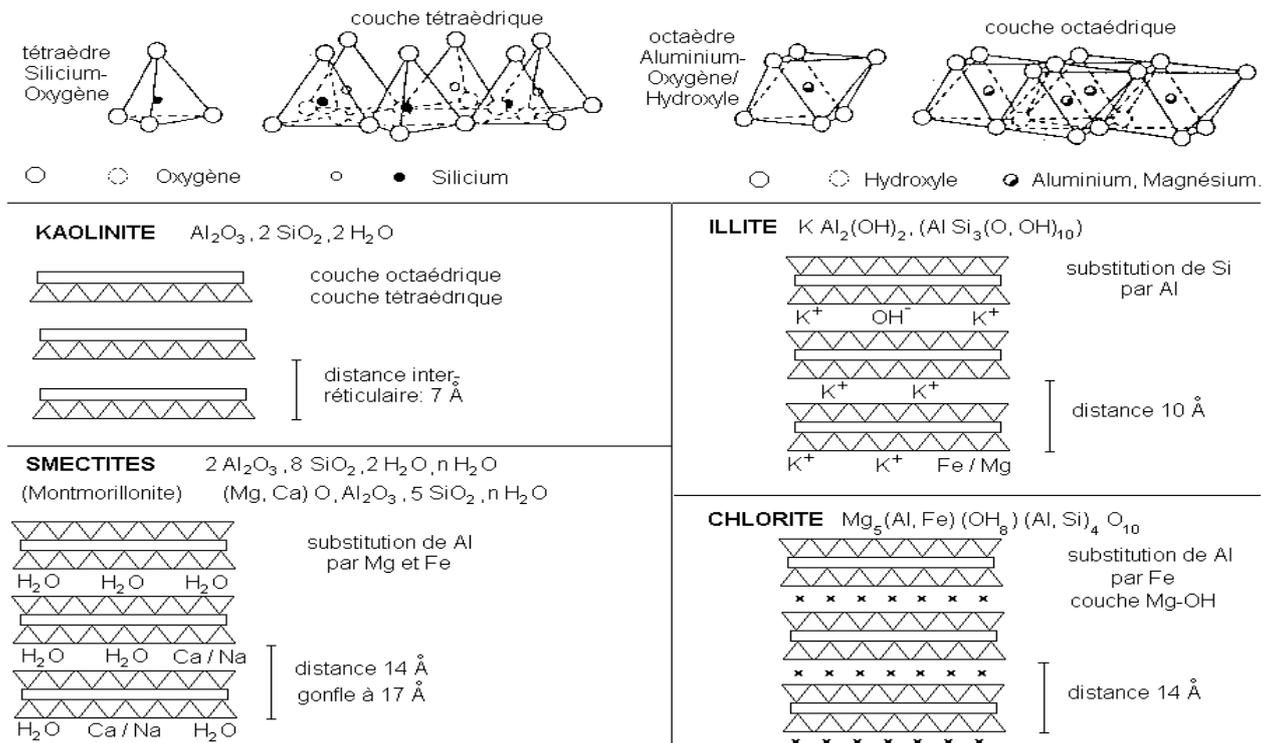


Figure II.3. Structure des minéraux argileux (Duchaufour, 1988).

**II-5-Matériaux argileux entrant dans la fabrication de la boue :**

Les matériaux argileux présentent un intérêt dans les différents domaines industriels notamment les argiles utilisées dans le forage pétrolier d'une façon générale, comme les micas et les montmorillonites, la bentonite, la barite minéral de base  $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot (Ca+2, Mg+2, Na+2, K+1) nH_2O$ , ils sont de structure fine et de haute plasticité, comprennent tous les phyllo-silicates ainsi que des espèces d'une structure assez semblable aux phyllo-silicates mais de caractéristiques physico-chimiques différentes. Le mélange de ces matériaux après leur traitement est utilisé dans la boue de forage pétrolier et gazier qui nécessite une qualité adéquate et résistant ou opération hydraulique et pétrolière pour avoir un rendement efficace.

**II-5-1-La Bentonite :**

Le terme BENTONITE désigne les matériaux argileux à usage industriel, essentiellement composés de smectites et plus particulièrement de montmorillonite. Les propriétés de gonflement et de perméabilité des bentonites dépendent étroitement de la nature du cation compensateur

Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe de Montmorillonites

La bentonite est une argile douée de propriétés de surface (caractère, affinité pour l'eau, capacité d'adsorption de composés électropositifs,). Les caractéristiques physico-chimiques, les propriétés clarifiantes de bentonites d'origines diverses firent l'objet de nombreuses études. Elle possède diverses propriétés, notamment elle absorbe les protéines réduit l'activité des enzymes. Les boues bentoniques (recélant une fraction de bentonite), sont utilisées dans les travaux de terrassement, de parois moulées, du fait de leur capacité à laisser la place rapidement et facilement aux bétons coulés leur place, elles peuvent être ajoutées au compost.

#### ***II-5-1-1- Origine de la bentonite :***

Les bentonites sont des argiles d'origine volcanique, constituées principalement de montmorillonite ; l'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, Etats-Unis).

Elle contient plus de 75 % de montmorillonite ; cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France).

#### ***II-5-1-2 -L'utilisation des bentonites :***

Les bentonites se caractérisent par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement, ainsi que par des propriétés rhéologiques particulières (thixotropie). Elles ont de ce fait de larges applications, toujours plus nombreuses et dans différents domaines (forage, fonderie, céramique, peinture, pharmacie, terres décolorantes...etc.).

La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage.[ 4]

Nous pouvons résumer les utilisations les plus importantes comme suit :

- **Fabrication de moules fonderie :**

4 à 8 % de bentonite sont ajoutées au sable de silice pour la réalisation des moules permettant de couler les pièces en métaux ferreux et non ferreux.

- **Boues de forage :**

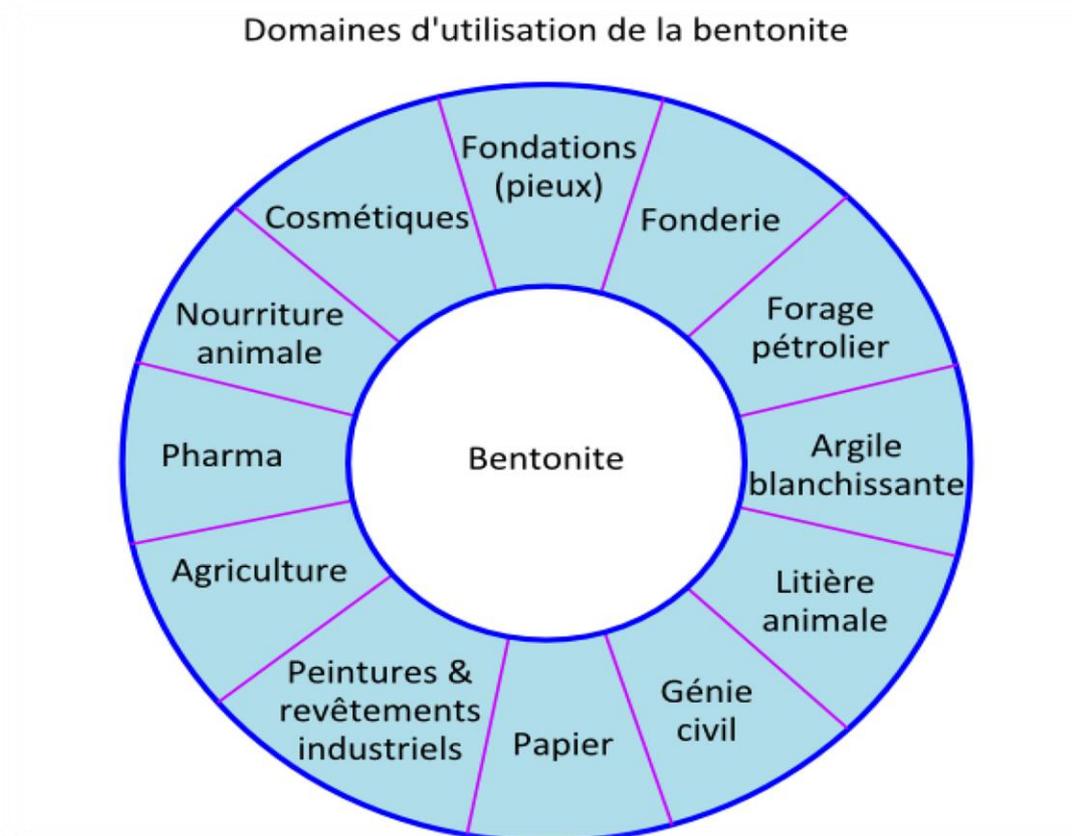
Grâce à ses propriétés rhéologiques, une tonne de bentonite sodique permet de produire plus de 16 m<sup>3</sup> de boue, pour le forage en milieu non salé. Les propriétés de viscosité de ces boues permettent de remonter les « cuttings » en surface. Cette boue permet aussi de créer, sur les parois du trou, un revêtement étanche et lubrifie les tiges et l'outil de forage.

- **Génie civil :**

Pour la création de voile d'étanchéité d'excavations, l'injection de coulis de ciment (la présence de bentonite permettant le maintien en suspension du ciment).

- **Terres décolorantes :**

Les bentonites trouvent également des débouchés pour la décoloration des huiles et comme support de catalyse (bentonites activées à l'acide).



**Figure II.4:** Domaines industriels d'utilisation des bentonites.

***II-5-1-3-Types de bentonites :***

On distingue trois types de bentonites par rapport à leur pouvoir de rétention de molécules

Organiques qui sont :

- Bentonite sodique naturelle.
- Bentonite calcique naturelle.
- Bentonite activée.

***II-5-1-4- Fonctions de bentonites :***

- Performant dans toutes les conditions de sol (un seul fluide de forage).
- Viscosité élevée pour un nettoyage efficace du trou.
- Rentabilité et résistance au gel élevé pour une suspension optimale des débris et leur transport
- Procure une stabilité exceptionnelle au trou de sonde dans des formations non consolidées
- Maximise le rendement des puits d'extraction (exemple : puits à eau).....ex

***II-5-1-5-Avantage de bentonites :***

- Non toxique
- Dilution rapide et efficace dans de l'eau claire et saline
- Stable durant le forage
- Recyclable
- Faible coût de mise au rebut

***II-5-2-La barytine :***

La barytine désigne le sulfate de baryum naturel  $BaSO_4$ , minéral de densité élevée, dont le nom dérive du grec βαρύς (Barys : lourd). Le Baryum est un élément chimique de numéro 56 dans la classification périodique de Mendeleïev. En anglais, la barytine est appelée « baryte » ou « barite ». En français, le terme « baryte » désigne l'oxyde de baryum  $BaO$ , produit obtenu par synthèse. Il convient donc de ne pas confondre ces deux appellations, scientifiques et commerciales. Le Baryum se trouve dans la nature sous forme de minerai souvent, près des sources d'autres métaux comme le Magnésium, le Manganèse ou d'autres filons fluorés. Mais le minéral de Baryum le plus répandu est la Barytine, encore appelée Sulfate de Baryum. La barytine est utilisée essentiellement, au niveau mondial, en tant qu'additif dans les boues de forage.

Mais aussi dans de nombreuses autres industries, du fait de ses propriétés et particularités : haute densité (4,48 à 26 °C), blancheur élevée, faible abrasivité, neutralité chimique, point de fusion élevé (1 580 °C).

Les réserves exploitables mondial sont importantes. La Chine l'inde et les USA en détiennent près de 60% Avec seulement 3.5 % la CEE a des réserves très limite.



**Figure II.5:** Cristal de Baryte

#### ***II-5-2-1- Principaux minéraux naturels de baryum :***

**Barytine** : sulfate de baryum  $BaSO_4$ , minéral assez ubiquiste dans la nature, souvent présent avec d'autres minéraux de la même famille (angleso-baryte contenant du plomb, calcareo-baryte contenant du calcium, célesto-baryte contenant du strontium, ...).

**Whiterite** : carbonate de baryum  $BaCO_3$ , minéral peu commun, de densité élevée, utilisé dans la chimie du baryum (le carbonate de baryum de synthèse étant préféré), assez toxique par ailleurs.

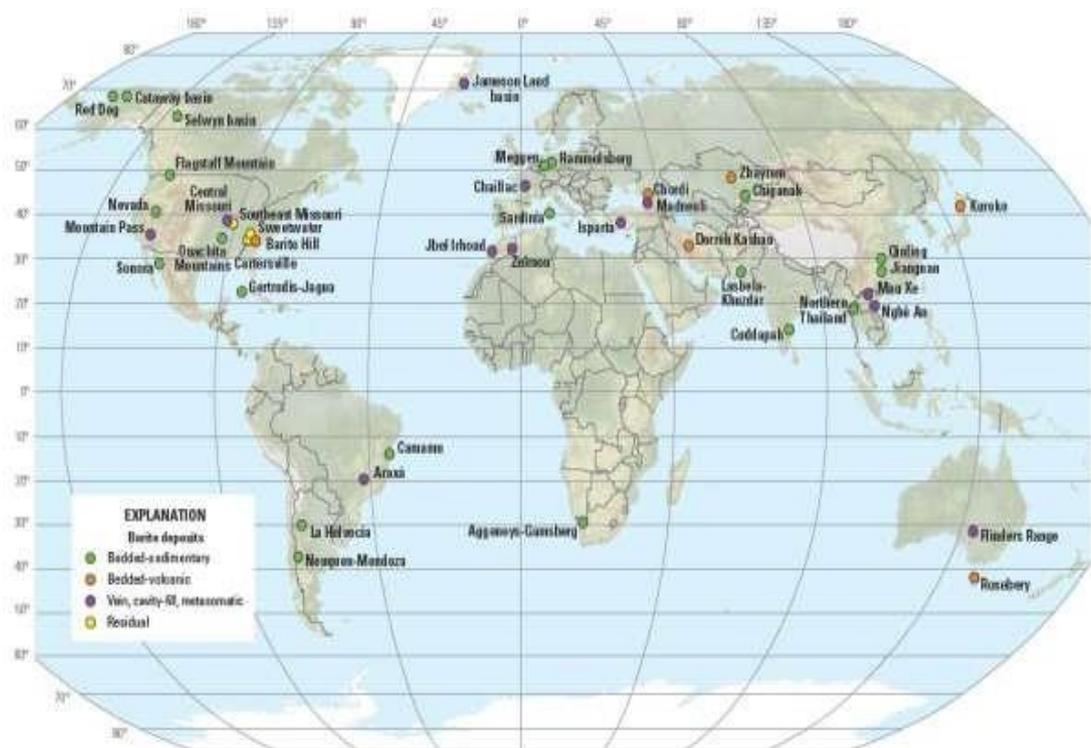
#### ***II-5-2-2-Origine de la barytine :***

La Barytine est un minerai assez ubiquiste, présent dans des formations géologiques très vastes, aussi bien dans les socles que dans les bassins sédimentaires (Marteau.P 2014). Les

gisements de Barytine peuvent être classés dans les quatre groupes suivants en fonction des caractéristiques physiques, des caractéristiques géochimiques et du cadre géologique :

- Gisements sédimentaires (bedded-sedimentary)
- Gisements volcaniques (bedded-volcanic)
- Gisements filonien (vein, cavity-fill)
- Gisements résiduels (bedded-residual)

Cette classification se rapproche des classifications antérieures, mais quelque peu modifiée pour tenir compte des gisements récemment découverts et des résultats d'études géologiques plus récentes. Les emplacements des gisements ou des districts qui sont soit relativement importants soit représentatifs des quatre groupes sont indiqués dans la figure II.5. De nombreux autres gisements, exploités ou non, sont également identifiés. (Johnson.C. A et autres 2017, Roskill Information Services 2006).[ 5]



**Figure II.6:** Localisation des principaux types de gisements de Barytine dans le monde (Johnson.C. A et autres 2017)

**II-5-2-3- Les réserves mondiales de la barytine :**

Le tableau suivant montre les réserves mondiales de la Barytine en 2019.

**Tableau II.1 :** Les réserves mondiales de la Barytine en 2019

Pays	Les réserves (x10 <sup>3</sup> tonnes)
Chine	36.000
Inde	51.000
Iran	24.000
Kazakhstan	85.000
Pakistan	30.000
Russie	12.000
Thaïlande	18.000
Turquie	35.000
Les Autres pays	29.000
Total du monde	320,000

**I-5-2-4- Le marché mondial de la barytine :****✚ La consommation de la barytine :**

Au niveau mondial, 80% de la barytine est utilisée pour les forages pétroliers (boues lourdes), 10% comme charge minéral (peintures, plaquettes de freins) et dans le BTP (briques barytés et bétons lourds, et 10 % dans la chimie du baryum (verres spéciaux surtout) et la métallurgie. Les USA sont le plus important pays consommateur, environ 3 Mt/an (2,7 Mt en 2013), devant la Chine (1,45 Mt) et les états du Golfe (0,7 Mt).

Le tableau suivant présente les grands pays consommateurs de la Barytine en 2017.

**Tableau II.2:** La consommation mondiale de la barytine (Jean-Louis V et autres 2016).

Pays	La consommation ( $\times 10^3$ tonnes)
Chine	1450
États-Unis	1910
Pays de golf	1650
Amérique du Sud	470
Inde	350
Russie	380
Afrique	340
Iran	250
Union Européenne	780
Total du Monde	8000

#### ✚ La production de la barytine :

La production mondiale a atteint 9,5 Mt le tableau ci-dessous représente les plus importants pays producteurs de la bentonite en 2018 (Tableau II.3).

**Tableau II.3:** La production mondiale de la Barytine (Sally.J et Suzette M. 2017, USGS 2019)

Pays	La production mondiale ( $\times 10^3$ tonne)			
	En 2015	En 2016	En 2017	En 2018
Etats Unis	425	316	334	480
Chine	3.000	2.800	3.200	3.200
Inde	700	1.000	1.560	2.000
Iran	300	400	550	550
Kazakhstan	300	300	620	620
Mexique	266	250	360	400
Maroc	1.000	700	950	1.000

**Les prix sur le marché international :**

Les prix pratiques sont très variables et dépendent de la qualité du matériau et des procédés de traitement plus au moins sophistiqués qui sont utilisés pour répondre aux besoins des consommateurs (Duflos.G 2014).

- Pour la Barytine utilisée dans les boues de forage, la fourchette des prix de base à la tonne se situe entre (130 à 170) \$/t.
- La Barytine utilisée dans les diverses industries (charges plastiques, bétons lourds) se négocie entre (160 à 180) \$/t.
- La Barytine blanche utilisée comme charge dans les peintures (granulométrie 350 µm, teneurs de 96-98 % BaSO<sub>4</sub>), ainsi que pour l'industrie chimique, est vendue entre (315 à 400) \$/t.

***II-5-2-5- Domaines généraux d'utilisation de la barytine :***

Au niveau mondial, la barytine est surtout destinée à la confection de boues de forages pour la recherche pétrolière et gazière. Les utilisations dans le génie civil, en chimie et comme charge minérale, moindres en volume, jouent un rôle important dans de nombreuses industries.

**➤ Boues de forage :**

La barytine est utilisée en premier lieu dans la préparation de boues lourdes (augmentation de la densité des boues à base de bentonite) dans les forages profonds de recherche d'hydrocarbures, liquides et gazeux, de « gaz de schiste », éventuellement dans les forages géothermiques.

Ses propriétés de colmatage permettent un meilleur contrôle des émissions de fluides sous haute pression, et de maîtriser ainsi les arrivées d'eau, de saumures ou d'hydrocarbures lors de la foration. Par ailleurs, les boues barytées permettent d'alléger le poids du train de tige. L'utilisation de la barytine est cependant déconseillée dans les forages hydrologiques et géothermiques, les aquifères risquant d'être colmatés de façon définitive.

Son utilisation et sa mise en œuvre sont assez complexes, car il faut calculer la contre-pression à appliquer sur le terrain en fonction de la profondeur et de la pression d'arrivée des fluides et de leur nature, et donc la concentration à utiliser, puis bien maîtriser l'injection des boues pour éviter que la barytine ne se dépose dans le forage. La Barytine représente jusqu'à 40 % des constituants des boues de forage pétrolier, la consommation de cette matière dans un

forage pétrolier varie suivant le type du terrain traversé, la pression des gaz rencontrés et la profondeur du forage.

La Barytine vendue pour boue de forage doit avoir une densité au moins égale à 4.2 et contenir une très faible proportion (250 ppm maximum) de sels solubles,

➤ **Charges minérales et pigments :**

Le deuxième usage le plus important de la barytine est le domaine des charges minérales pour papiers, peintures, plastiques et caoutchoucs. Le marché automobile est le premier consommateur de ces produits sous forme d'insonorisants (tapis et caisses d'habitacle) et autres composants (plaquettes de frein, ...).

➤ **Industrie chimique :**

La barytine est à la base d'une chimie dont les produits, sous forme de composés de baryum (acétate, carbonate, chlorure, oxyde et hydroxyde, nitrate) sont utilisés dans de très nombreux secteurs industriels.

➤ **Génie civil :**

La barytine est utilisée dans la confection de bétons lourds et de briques barytées.

➤ **Médecine, pharmacie :**

La barytine est utilisée pour la confection de solutions barytées, servant d'agents de contraste aux RX en radiologie, pour établir des diagnostics médicaux. La barytine pure n'a aucune toxicité pour l'homme.

**II-5-3-Les micas :**

Le mica est un phyllo-silicate d'aluminium et de potassium naturel qui possède une structure cristalline hautement lamellaire. Il se présente sous la forme d'un empilement de feuillets extrêmement minces, souvent transparents, à la fois résistants et flexibles, facilement séparables par clivage. Ce composé minéral relativement répandu se trouve dans les roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires. Les gros cristaux de mica proviennent généralement de pegmatites granitiques. Le mica est un minéral lamellaire, chimiquement inerte, réfléchissant, réfringent, résistant et stable à haute température. Ses propriétés sont appréciées dans une large gamme d'applications.

Le mica est apprécié depuis la préhistoire. Il a été utilisé dans l'art ancien de l'Indien, égyptien, grec, chinois, romain, et aussi dans les civilisations toltèques et aztèques de

Mesoamerica. La grande pyramide du soleil à Teotihuacan contenait de grandes quantités de couches épaisses de mica, créant très probablement un effet brillant et pailleté incroyablement étonnant. En tant que minéral réfléchissant, il est utilisé pour aider à l'auto-réflexion et aide à fournir un milieu de travail et un milieu de travail favorables et sécuritaires.



Figure II.7: Mica

#### ***II-5-3-1-Les famille de micas :***

La famille des micas comporte de nombreuses espèces minérales, mais seules deux d'entre elles font l'objet d'une extraction industrielle.

- ✚ **La muscovite :** un mica blanc, est la forme commerciale la plus courante et représente 90 % de la consommation mondiale.
- ✚ **La phlogopite :** une variété de couleur bronze. est Le mica le plus utilisé dans l'industrie

#### ***II-5-3-2- La formule chimique :***

Le mica est un phyllo-silicate d'aluminium et de potassium naturel de formule chimique :

- Muscovite:  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(F, OH)_2$
- Phlogopite:  $KMg_2(AlSi_3O_{10})(F, OH)_2$

#### ***II-5-3-3-Propriétés physiques :***

- Imperméabilité aux gaz et aux liquides
- Inertie chimique
- Conductivité thermique
- Stabilité à la chaleur
- Protection passive contre le feu
- Faible coefficient de frottement
- Hydrophile
- Flexible

- Amortissement des vibrations (acoustiques)

#### ***II-5-3-4- Domaines généraux d'utilisation du micas :***

Le mica moulu, principalement de la muscovite, est utilisé pour fabriquer une variété de produits : **Peinture - Plastiques -Toiture en asphalte -Produits de beauté** et sur

**Les boues de forage :** Le mica moulu est un additif à la boue de forage qui aide à sceller les sections poreuses du trou de forage pour réduire la perte de circulation.

#### **II-6-Produit Employé dans la boue (additive minéraux) :**

##### ***II-6-1- Soude Caustique (NaOH) :***

Est un composé inorganique de formule chimique NaOH. La substance apparaît sous la forme d'un solide blanc hygroscopique et déliquescent, très soluble dans l'eau. Une grande quantité de chaleur est libérée lors de la dissolution. Cette solution aqueuse est une base forte et déplace les bases plus faibles de leurs sels.

##### **L'utilisation :**

La soude est employée pour :

- Accroître le rendement des argiles : 1 à 2 kg/m<sup>3</sup>, 3 à 5 kg/m<sup>3</sup> pour les boues à l'eau de mer
- Augmenter le pH et accroître le rendement des produits organiques (fluidifiants et réducteurs du filtrat).

La soude s'ajoute rarement au mixer (danger de projection) et le plus souvent par le fût de traitement chimique en solution aqueuse associée aux dérivés ligneux éventuels.



**Figure II.8:** soude caustique (NaOH)

**II-6-2- Carbonate de sodium :**

Le carbonate de sodium,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (également connu sous le nom de soude, de carbonate de sodium et de cristaux de soude) est le composé inorganique de formule  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et ses divers hydrates. Toutes les formes sont des sels solubles dans l'eau blanche. Toutes les formes ont un goût fortement alcalin et donnent des solutions modérément alcalines dans l'eau.

La soude du commerce est le nom commun du carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). C'est une base faible, soluble dans l'eau et qui se dissocie en sodium (Na) et en ions de carbonate ( $\text{CO}_3$ ) en solution.

**✚ L'utilisation :**

- Carbonate de Sodium est utilisé dans des boues à base d'eau comme source d'ions de carbonate pour précipiter le calcium, accroître le pH ou flocculer la boue de début.
- Le Soda Ash est utilisé pour réduire le calcium soluble dans les boues de forage à base d'eau et les eaux d'appoint.



**Figure II.9:** Carbonate de Sodium.

**II-6-3- Bicarbonate de soude ( $NaHCO_3$ ) :**

Le bicarbonate de sodium  $NaHCO_3$ , ou encore hydrogénocarbonate de sodium, a comme nom le plus connu bicarbonate de soude, à ne pas confondre avec la soude. De masse molaire 84, c'est une poudre blanche soluble dans l'eau qui se décompose à 50 °C en libérant du dioxyde de carbone.

**+ L'utilisation :**

Le Bicarbonate de sodium ( $NaHCO_3$ ) est utilisé pour :

- Traiter les boues contaminées par du ciment.
- Le Bicarbonate de sodium offre deux fonctions de base :
- Supprime le calcium soluble
- Abaisse le pH de la boue de forage.

**II-6-4-Le gypse ( $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$ ) :**

Le gypse c'est une poudre blanche employé pour confectionner les "boues au gypse", la solubilité du gypse est de 2,14 g/l en eau douce à la température de 20°C, les ions calcium apportés par le gypse empêchent le gonflement des argiles forées, ce qui permet de travailler avec des viscosités plus faibles.

*Chapitre III :*  
***TRAITEMENT DE LA***  
***BOUE***

### III-1- Introduction :

L'un des problèmes majeurs qui menace de nos jours notre environnement saharien est l'augmentation de la charge polluante, notamment en métaux lourds et en hydrocarbures, déversés dans le milieu naturel par les chantiers pétroliers. En effet, les risques anthropologiques que l'activité de ce secteur fait peser lourdement sur les ressources naturelles (eau, sol, flore...). Dans ce chapitre on traite les différentes méthodes utilisées dans le traitement de boue de forage.

### III-2-Different méthode de traitement :

Dans le but de prendre en charge les rejets inhérents à l'activité de forage, l'industrie pétrolière a développé un concept fondamental qui est celui de la « gestion des rejets » ou « waste management » a pour buts de réduire la source de pollution, gestion de l'eau, recyclage et leur réutilisation, traitement et gestion de déblais de forage durant la réalisation de forage et a la fin du projets (traitement offline),le résidu du traitement doit aussi être pris en charge (enfouissement, stockage).

Pour ce qui est du traitement, on distingue deux modes adoptés :

#### *Les traitements en mode in situ :*

Ou le prestataire de service de traitement intervient en parallèle avec les travaux de construction du puits.

#### *Les traitements a la fin de forage :*

Ou le prestataire de service de traitement intervient après la fin des travaux sur un puits donné et le déménagement de l'appareil de forage

### III-3-Procédé de traitement mécanique durant le forage( in situ ) :

Il existe une chaine de traitement mécanique pour éliminer les déblais de forage et réduire la teneur en solide dans la boue il utilise un équipement spécial.

Ces équipements assurent les opérations suivantes :

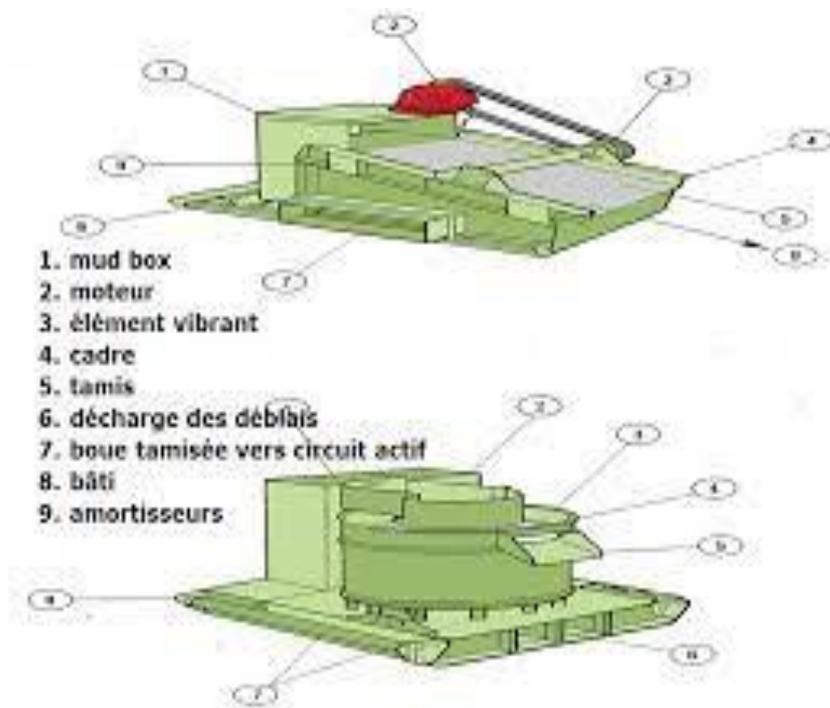
- Tamisage et décantation : Eliminer au maximum des solides en suspension dans la boue (Diamètre grand de des déblais.
- Dégazage et brassage : Dégazer la boue de forage au niveau du séparateur des gaz.
- Dessablage et brassage : Eliminer les particules Entre 74 $\mu$ m à 200  $\mu$ m (microns).
- Désiltage et brassage : Eliminer les particules Entre 2 $\mu$ m à 74  $\mu$ m (microns).

- Traitements particuliers et brassage. Capacité de séparation de l'ordre 10 microns.
- La fabrication, le brassage, le stockage et brassage de la boue

### ***III-3-1- Tamisage :***

Les déblais remontés en surface par la boue de forage, sont dans un premier temps mélangé avec elle, et pour séparer la phase solide (les déblais) de la phase liquide (boue de forage), on fait passer le mélange sur un tamis vibrant.

Le passage par le tamis vibrant permet de récupérer les fluides de forage qui après traitement et ajustement sont réinjectés dans les puits.



**Figure III.1:** tamis vibrant

### ***III-3-2-Degazage :***

Après l'opération de tamisage et décantation la boue doit être dégazée au niveau du degazeur des gaz.

**III-3-3-Déssableur (desanders) et désilteurs (desilters) :**

Déssableur (**Figure III.2**), cyclones de 8 à 12", une capacité de séparation des Particules supérieures à 63 microns a 2 mm

Désilteurs (**Figure III.3**), cyclones de 4", capacité de séparation de l'ordre de 20 microns

Les Clayjectors, cyclones de 2", capacité de séparation de l'ordre 10 microns



**Figure III.2:** Déssableur



**Figure III.3:** Désilteur

**III-3-4- Traitements spéciaux de séparation des déblais**

Le recours aux traitements spéciaux est recommandé dans les cas où le traitement mécanique normal assuré par les équipements le tamis vibrant, le déssableur et le dessilteur n'assure pas un traitement efficace pour les raisons suivantes :

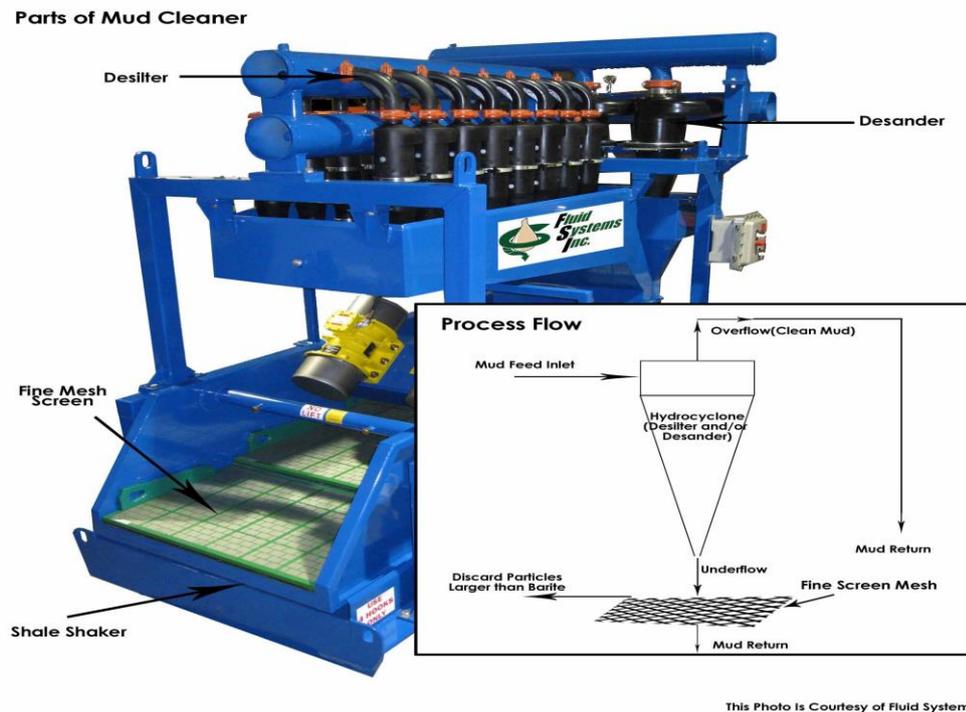
- ❖ La boue trop chargée en déblais
- ❖ La boue doit être maintenue à une densité très faible
- ❖ Vitesse d'avancement de forage très rapide

Les opérations de traitement spécial sont assurées par un Mud-cleaner ou/et une centrifugeuse

**III-3-4-1- Mud-cleaner**

Le Mud-cleaner se compose d'un tamis vibrant, une pompe d'alimentation et une batterie de cônes 4" et. Le Mud-cleaner est monté en parallèle sur le circuit normal de la boue,

Dans le cas d'une grande perte de boue avec l'effluent lourd au niveau des désilteurs il est fortement recommandé de placer un Mud-cleaner juste à la sortie du distillateur.



**Figure III.4:** Schéma de l'unité de la Mud-cleaner

### III.3.4.2. Centrifugeuses :

Les centrifugeuses ont une capacité de traitement meilleure que celle de Mud-cleaner. Deux types de centrifugeuses peuvent être installés au niveau du chantier :

#### ✚ *Les centrifugeuses semi- continues à axe vertical :*

Elles possèdent un grand taux de récupération de la boue perdue avec les effluents lourds au niveau de dessableurs - désilteurs.

Après le traitement de la boue par la centrifugeuse, l'effluent est récupéré dans un petit bac où il se décante et la boue épurée sera remise dans le circuit.

#### **Avantage :**

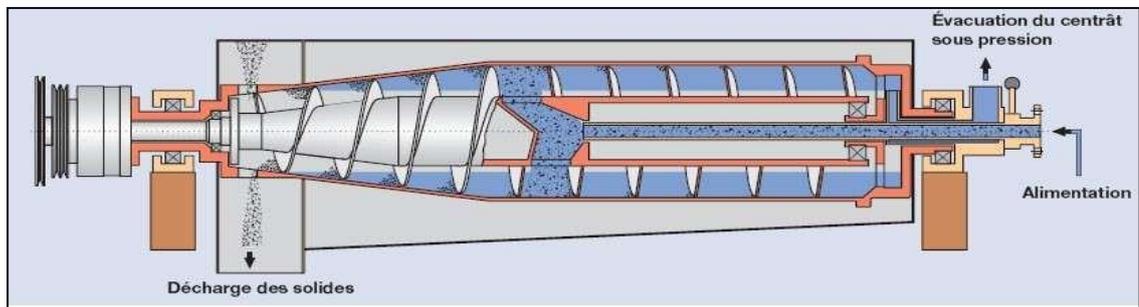
Une excellente capacité de traitement de l'ordre de 10 à 14 m<sup>3</sup>/heure de boue

#### **Inconvénient :**

La présence d'un opérateur au moins à temps partiel est recommandé afin d'avoir un rendement maximal.

### ✚ Les centrifugeuses continues à axe horizontal :

Elles ont une capacité de traitement faible (02 à 05 m<sup>3</sup>/heure).



**Figure III.5:** Schéma simplifié de l'unité de la centrifugeuse

#### Avantages :

Elles sont montées en parallèle sur le circuit, elles sont plus employées sur chantier que celles à axe vertical car elles fonctionnent en continu et sans surveillance.

#### Inconvénients :

Capacité de traitement faible (2 à 5 m<sup>3</sup>/heure).

Maintenance est difficile et coûteuse.

### ✚ Conséquences d'un mauvais traitement de la boue :

Modification de caractéristiques physiques de la boue : La boue devient abrasive.

Sa densité augmente et peut engendrer des problèmes de collage de la garniture par pression différentielle, colmatage des formations productrices en forage et des pertes de circulation.

### ✚ Quelques avantages du traitement online :

- Réduction du volume du borbier
- Récupération de la boue
- Réduction de la consommation d'eau, recyclage et récupération d'eau.

*Chapitre IV :*  
***CARACTÉRISATION***  
***PHYSICO-CHIMIQUE DE***  
***LA BOUE***

### IV-1-Introduction :

La boue de forage c'est un élément principal du processus de forage, ce qui permet la poursuite de forage sans problèmes et sans dangers, pour cela elle est fabriquée selon des normes très précises, où de nombreux tests sont effectués sur la boue de forage afin d'étudier ses propriétés. Les tests portent sur quatre paramètres, qui sont (densité - viscosité-filtration et réactif), certaines mesures sont effectuées systématiquement sur tous les puits (viscosité, densité, filtration) et d'autres selon les besoins (teneur en gaz).

La densité et la viscosité de la boue de forage requise diffèrent d'un puits à l'autre en fonction des différentes caractéristiques et compositions géologiques, c'est pourquoi on ajoute parfois un additif tel que (sel, amidon, gypse et barytine ) afin de modifier les propriétés de la boue de forage pour correspondre aux caractéristiques nécessaires pour terminer le processus de forage, Cette boue peut être affectée par des facteurs externes pouvant entraîner une modification de ses propriétés physiques et parmi ces influences se trouve la température

Dans ce chapitre, nous discuterons les caractéristiques physiques et chimiques de la boue et l'effet des additifs et des facteurs externes sur les propriétés de fluide de forage.

#### Stratégie du travail

Afin de réaliser notre travail, Nous avons suivi la méthodologie suivante :

- Préparation des boues à base l'eau avec différentes concentrations de bentonite ;
- Etude de l'effet de concentration bentonite à différentes températures de fluide de forage sur les propriétés de la boue notamment :
  - La densité
  - la viscosité
- Etude de l'effet de l'addition sel (NaCl) sur les propriétés de la boue.
- Etude de l'effet d'addition la chaux éteinte sur les propriétés de la boue.
- Etude de l'effet d'addition de l'amidon sur les propriétés de la boue.

Nous avons fait tout ce travail au laboratoire N6 de la faculté des hydrocarbures université kasdi merbah ouargla

## IV-2- Les Caractérisation chimique de la bentonite et les différents additifs :

### IV-2-1- Les propriétés physico-chimique de la bentonite :

#### ✚ Analyse par fluorescence X :

La méthode d'analyse par fluorescence X est une méthode de caractérisation chimique non destructive et qui est connue facile à mettre en œuvre, et donne des résultats rapides et fiables elle se base sur l'exploitation de la fluorescence des éléments.

#### ✚ Composition chimique

Les résultats de l'analyse de composition chimique sont regroupés dans le tableau IV.1

**Tableau IV.1:** Composition chimique de bentonite ( laboratoire de Tlemcen)

Oxyde	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$Na_2O$	$K_2O$	Mg	CaO	MnO	PAF
%	46.12	18.03	1.62	1.19	0.65	0.87	-	0.16	28

**PAF : perte au feu à 1100°C**

#### ✚ Les caractéristiques idéales d'une boue :

Valeurs couramment utilisées sur le chantier sont :

- Densité de 0.9 à 2.4 ;
- Filtration =  $8\text{cm}^3$  ;
- PH de 7 à 9 ;
- Teneur en sable = 0,5%.

### IV-2-2- La densité :

C'est le rapport du poids d'un corps à son volume dans des conditions définies de température et pression. Le poids volumique s'exprime en  $\text{N/m}^3$  ou  $\text{Kg/l}$ .

#### IV-2-2- 1- La rôle densité :

La densité est un paramètre important pour la boue de forage, le changement de densité entraîne une modification de la pression hydrostatique, la diminution de cette pression (pression hydrostatique < pression de formation) peut entraîner les venues d'eau, de pétrole et de gaz et par conséquent les éruptions, tandis que la hauteur de cette pression

(Pression hydrostatique > pression de formation) peut entraîner une fissuration dans les couches et donc perte de passage circulation.

La boue exerce une pression sur les parois du puits donnée par l'expression suivante :

$$P = 0.981 \times \frac{h \times d}{10}$$

Avec :

**P** : la pression hydrostatique en bar (bar)

**h** : la profondeur en mètre (m)

**d** : la densité en (Kgf/dm<sup>3</sup>)

***IV-2-2- 2- indice d'accroissement et diminution de la densité en cours de forage :***

• **Un accroissement en cours de forage est indice :**

- D'un enrichissement de la boue en particules solides en provenance de la formation.
- D'une venue de fluide de densité supérieur à celle de la boue (eau salée saturée en NaCl, ...)

• **Une diminution en cours de forage est indice :**

- D'une venue de fluide de densité inférieure à celle de la boue (eau, huile, gaz)
- D'un bullage de la boue causé par une prise d'air accidentelle dans le circuit de surface ou par une action secondaire d'un des additifs en présence dans la boue (Garcia et Parigot, 1968).

**IV-2-2- 3- Matériel de contrôle :**

Pour mesurer la densité on a utilisé un densimètre de marque Anton Paar



**Figure IV.1:** DENSIMETRE DMA35 BASIC V3 ANTON

**IV-2-3- Viscosité :**

La viscosité est une propriété qui permet au fluide de résister à mouvement relatif interne et à l'écoulement uniforme, la viscosité d'un liquide constitue une résistance à la déformation et glissement relatif des couches. Cette propriété se manifeste par le fait qu'au centre d'un liquide réel dans des conditions bien déterminés surgissent des contraintes tangentielles.

**✚ Mesure de viscosité par un viscosimètre rotatif :**

Afin de mesurer la viscosité de la boue à différentes concentrations, nous avons utilisé un viscosimètre rotatif de marque : **Fungilab**.

Les résultats d'une expérience pour mesurer la viscosité peuvent être présentés en deux modes :

- Mode assisté par ordinateur (Sauvegardés à un Ordinateur personnel)
- Mode manuelle : lecture directe sur l'afficheur de l'appareil



**Figure IV.2:** Viscosimètre

C'est viscosimètre rotatif équipé de plusieurs mobiles et permet de contrôler un nombre de paramètres comme :

- La vitesse de rotation
- La température de fluide
- Le temps de rotation

**✚ Mesure de viscosité par un viscosimètre d'Ostwald :**

Une manière de déterminer la viscosité d'un liquide est de mesurer le temps d'écoulement d'un volume défini du liquide étudié à travers un tube capillaire. Un bain thermostaté permet éventuellement d'étudier la viscosité en fonction de la température.

On fait s'écouler dans le tube le liquide à étudier puis un liquide de référence. Le rapport des viscosités cinématiques est égal au rapport des temps d'écoulement :

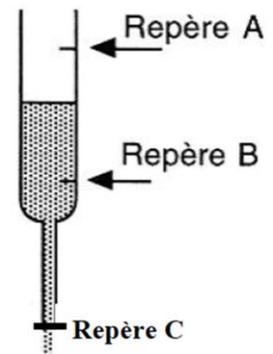
$$v = v_0 \frac{t}{t_0}$$

Connaissant la viscosité cinématique, on en déduit la viscosité dynamique :  $\mu = \rho.v$  Il faut donc également déterminer la masse volumique  $\rho$  du liquide à la même température. Dans ce cas on fait une mesure relative de la viscosité.

Le viscosimètre d'Ostwald utilisé permet de faire des mesures absolues de viscosité, en effet la loi de Poiseuille permet de dire que la viscosité dynamique  $\mu$  est donnée par :

$$\mu = k.\rho.t$$

- $t$  est le temps d'écoulement du liquide entre les marques A et B
- $k$  est une constante qui dépend de l'appareil



➤ *Manipulation et mesures.*

1. Préparer la boue de forage avec une concentration donnée, dans des fioles jaugées et marquer la proportion sur la fiole.
2. Remplir le réservoir de la "pipe", placer le tube viscosimétrique adéquat (diamètre  $\pm$  grand en fonction du liquide étudié), aspirer le liquide jusqu'à 1 cm au-dessus du repère A, le repère C doit être au niveau de la surface libre du liquide dans la "pipe" (on peut empêcher le liquide de couler en bouchant l'orifice supérieur du viscosimètre avec le doigt)
3. Laisser couler le liquide et chronométrer le temps  $t$  de passage entre A et B (si ce temps est trop court, il faut prendre un tube de diamètre plus grand)
4. Faire d'abord une mesure du temps d'écoulement de l'eau pure (refaire 3x l'expérience et prendre la moyenne des temps), si l'on dispose du certificat de d'étalonnage vérifier la valeur de  $\mu$  obtenue en la comparant à la valeur donnée dans les tables pour la même température (ou bien se servir de cette valeur pour déterminer  $k$  si l'on n'a pas de certificat d'étalonnage)

Procéder de la même manière avec les diverses boues de forage avec différentes concentrations.

Notons que : la détermination de  $\rho$  dans chaque cas est calculée à l'aide de densimètre.



Figure IV.3: Burette

➤ *Calcul de la viscosité à partir de la loi de Poiseuille*

La mesure de viscosité expérimentalement par la mesure donc le temps mis par les liquides pour s'écouler entre les deux repères :

$$\frac{\mu_f}{\mu_e} = \frac{d_f \cdot t_f}{d_{eau} \cdot t_{eau}}$$

La viscosité se calcule par :

$$\mu_f = \mu_e \frac{d_f \cdot t_f}{d_{eau} \cdot t_{eau}}$$

Avec :

$\mu_f$ : viscosité de fluide

$d_{eau}$ : densité d'eau

$t_{eau}$ : time passage d'eau

$\mu_e$ : viscosité de l'eau

$d_f$ : densité de fluide

$t_f$ : time passage de fluide

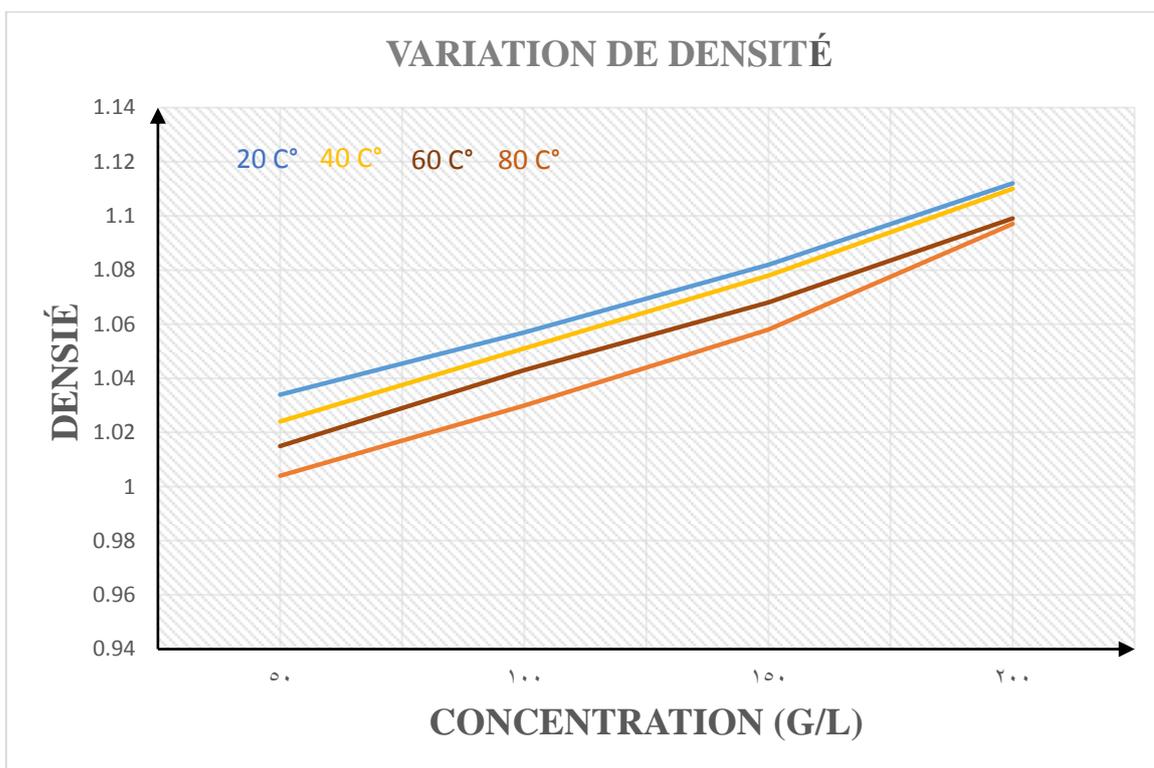
### IV-3- Influence de la concentration de la bentonite et la température sur la densité et la viscosité de boue de forage :

Dans notre travail, nous avons préparé la boue de forage avec différentes concentrations de bentonite, et à chaque fois nous avons mesuré la densité et la viscosité en fonction de la concentration de bentonite et de température.

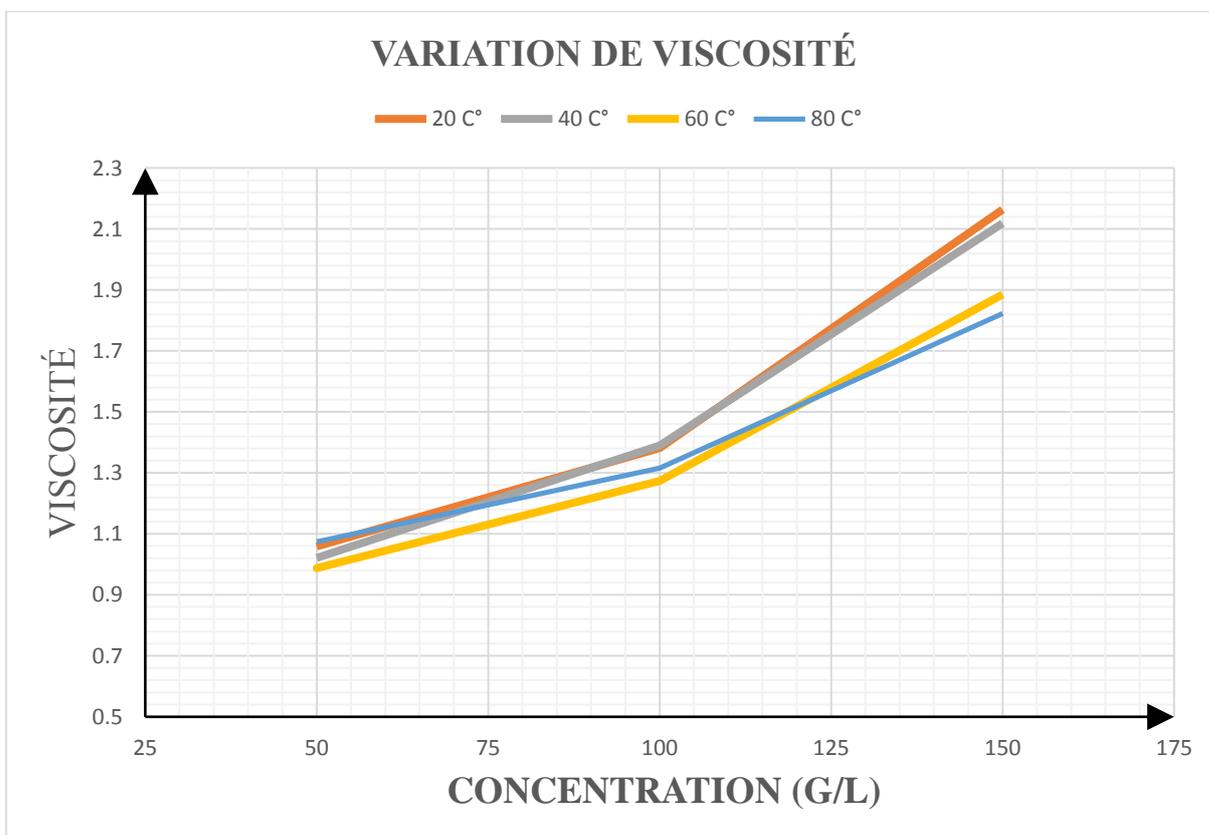
**Tableau IV.2** : valeur de température et la concentration de la bentonite

Concentration de bentonite (g/l)	Temperature (C°)	Temps de passage de l'eau sur burette (s)	Temps de passage de boue (s)
50	20	46.51	47.63
	40		46.37
	60		45.25
	80		49.75
100	20		60.76
	40		61.52
	60		56.79
	80		59.41
150	20		93.02
	40		91.42
	60		82.1
	80		80.12

- Le résultat du changement de concentration de bentonite et la température repris sur les (Figure IV.4) et (Figure IV.5) :



**Figure IV.4:** diagramme de densité par rapport la concentration de bentonite



**Figure IV.5:** diagramme de viscosité par rapport la concentration de bentonite

Nous remarquons sur les diagrammes ci-dessus que chaque fois que la concentration de bentonite augmente

La densité et la viscosité augmente par contre chaque fois la température augmente la densité et la viscosité diminuer. Ceci peut être expliqué par le fait que si la température augmente, les molécules du fluide s'écartent et la densité diminue. Si la température baisse, c'est l'inverse.

#### **IV-4- Influence de la concentration des additifs et la densité et la viscosité de boue de forage :**

Pour atteindre les objectifs fixés par notre travail, nous serons amenés dans les paragraphes suivants d'étudier l'évolution des comportements de la boue avec différentes concentrations en présence des différents additifs utilisés conventionnellement pour la formulation des fluides de forage.

Dans notre travail elle prépare une boue de forage de concentration de bentonite (100 g/l) avec une densité (1.057 Kg/m<sup>3</sup>), à chaque fois que nous ajoutons un additif par différentes concentrations.

##### **IV-4-1- Le sel (NaCl) :**

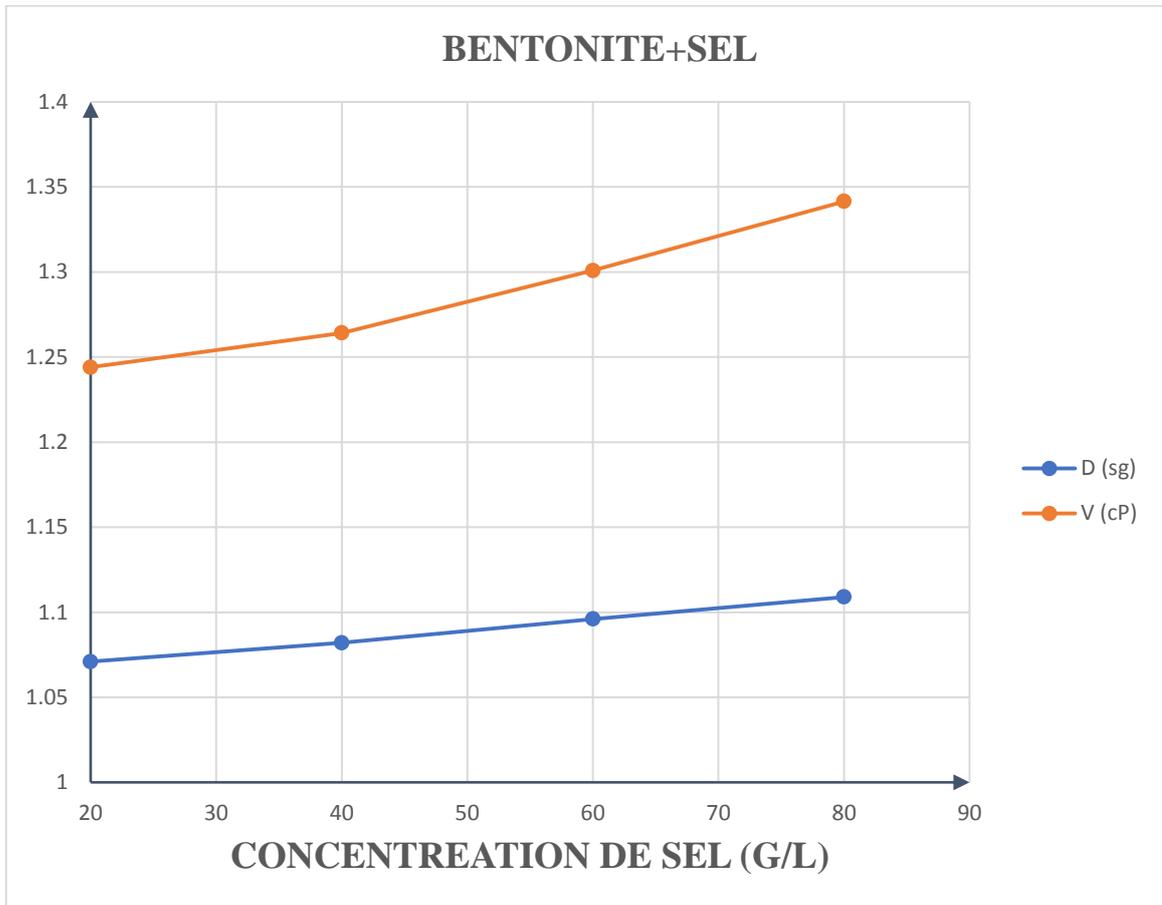
Dans la partie qui Nous allons étudier l'influence du sel sur la viscosité et la densité de la boue. Dans notre cas le choix a été porté sur le NaCl, (sel de table) en raison de sa disponibilité et son bas faible cout. Dans le domaine pétrolier un autre type de sel qui est vastement utilisé à savoir KCl, vu sa propriété d'inhibition.

Les concentrations de sel NaCl ajouté dans la boue représentées sur le tableau ci-dessus :

**Tableau IV.3:** Concentrations de Sel

Concentrations de bentonite (g/l)	Concentrations de Sel (g/l)	Temps de passage de l'eau sur burette (s)	Temps de passage de boue (s)
100	20	29.1	33.80
	40		33.83
	60		34.54
	80		35.2

La (**Figure IV.6**) représente le résultat de l'ajout de sel et de son effet sur la densité et la viscosité de la boue de forage :



**Figure IV.6:** diagrammes de densité et viscosité par rapport la concentration de sel (NaCl)

Nous remarquons (**Figure IV.6**) que la viscosité et densité augmentent avec l'augmentation de la concentration de NaCl, Cependant, nous remarquons que le sel est plus affecté par la densité que par la viscosité, car la densité augmente de valeurs significatives, mais la viscosité augmente par une valeur relativement faible.

La boue salée saturée est utilisée lors du forage des sels massifs ou des marnes très peu dispensables, contenant d'importantes quantités de sels. Actuellement, ce type de boue est peu utilisé.

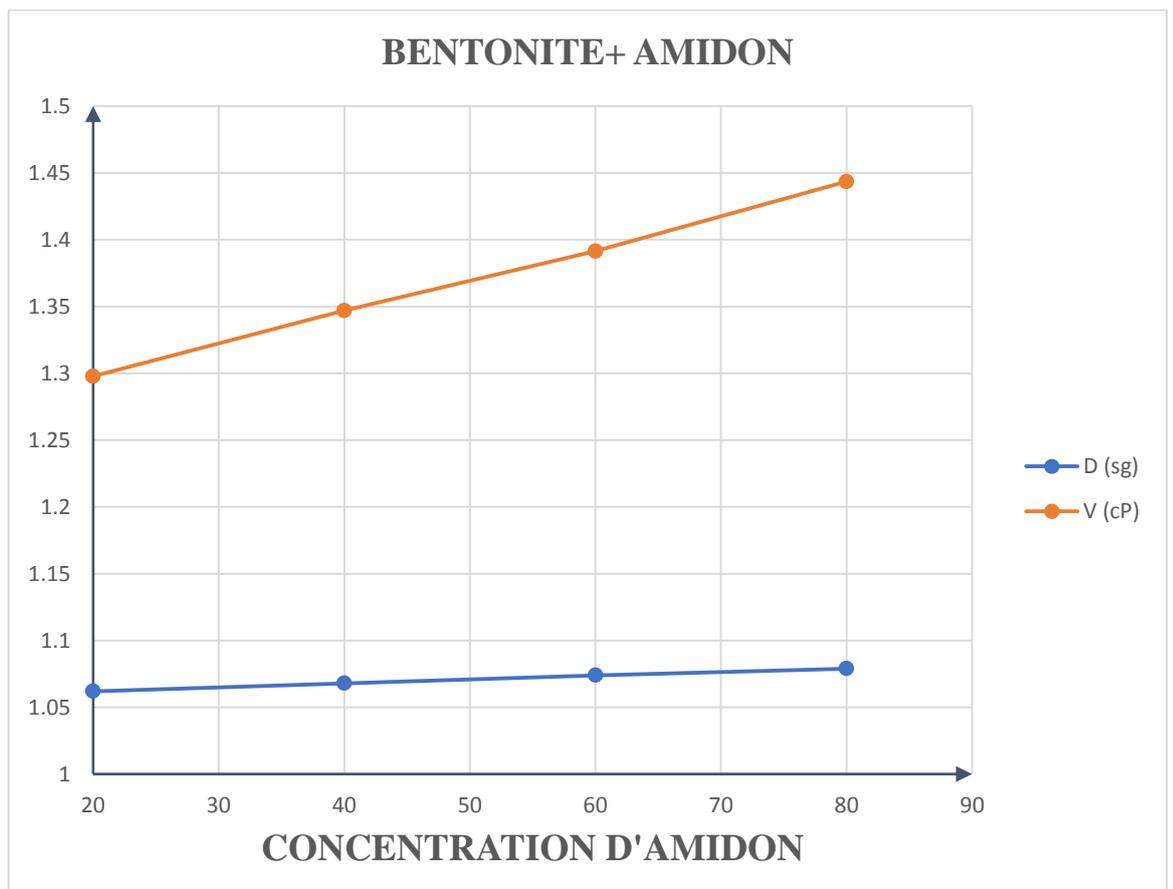
**IV-4-2- Amidon :**

Les concentrations d'amidon ajouté sur la boue est représentée sur le tableau si dessus :

**Tableau IV.4 : Concentrations d'amidon**

Concentrations de bentonite (g/l)	Concentrations de Amidon (g/l)	Time de passage de l'eau (s)	Time de passage de boue (s)
100	20	29.1	35.56
	40		36.70
	60		37.70
	80		38.93

- L'effet de l'amidon sur la boue de forage est évident dans le diagramme montré sur (Figure IV.7) :



**Figure IV.7:** diagrammes de densité et viscosité par rapport la concentration d'amidon.

À travers le (*Figure IV.7*), nous remarquons que l'ajout d'amidon à la boue de forage entraîne une augmentation la densité et la viscosité du fluide, contrairement au sel, L'ajout d'amidon affecte la viscosité de la boue de forage plus que la densité.

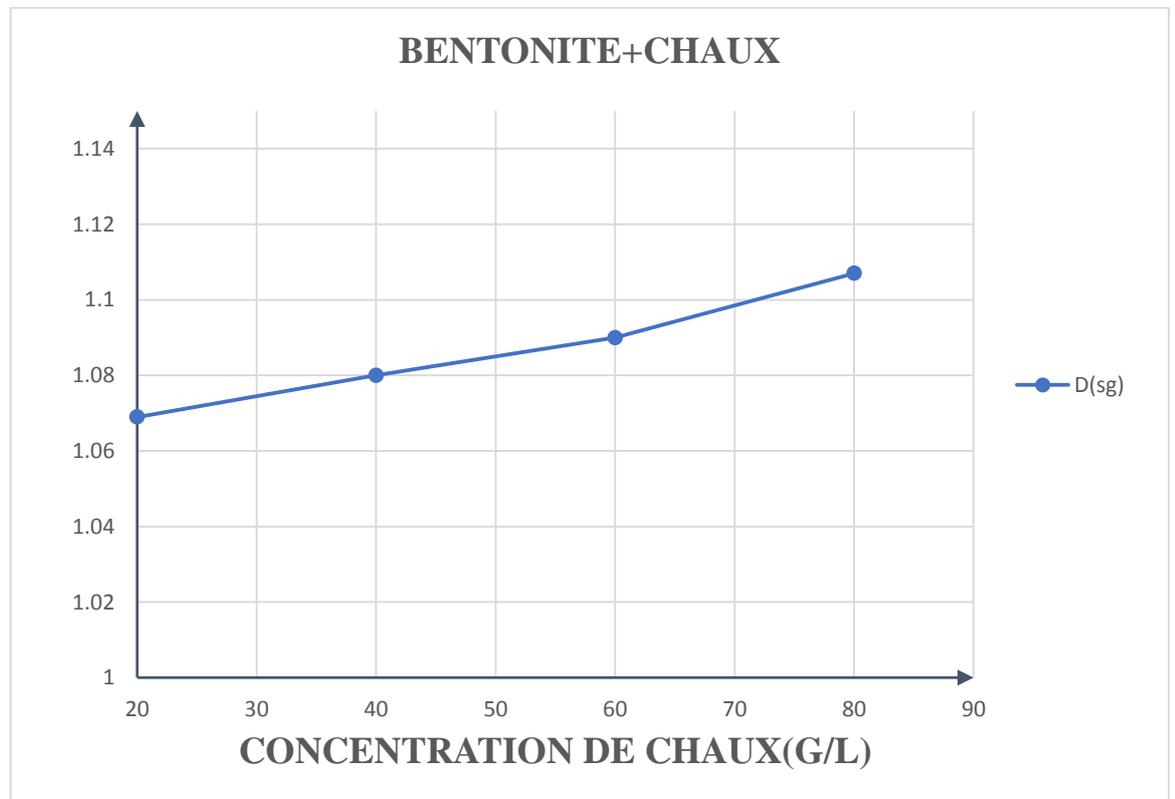
#### IV-4-3- Le chaux :

On ajoute les mêmes concentrations de sel et l'amidon, il est représenté sur le *Tableau IV.5* :

**Tableau IV.5** : Concentrations de chaux

Concentrations de bentonite (g/l)	Concentrations de Chaux (g/l)
100	20
	40
	60
	80

- L'effet d'addition le chaux sur la boue de forage est évident dans le diagramme de (*Figure IV.8*) :



**Figure IV.8:** diagramme de densité par rapport la concentration de Chaux.

À travers le (**Figure IV.8**), nous remarquons que l'ajout Chaux à la boue de forage Cela conduit à une augmentation de la densité de fluide.

Sur le chante boue à la chaux utilise sur le forage des marnes et des argiles. Dans ce type de formation leurs propriétés facilitent le contrôle des caractéristiques d'écoulement de plus la résistance à la contamination aux ions  $Ca^{++}$ .

#### **IV-5-Conclusion :**

En termes de ce chapitre, nous avons pu conclure l'influence de plusieurs paramètres de la boue de forage comme la concentration de la bentonite et la température de fluide de forage sur ses caractéristiques. D'autre part l'effet d'un nombre des additifs comme : le sel NaCl, l'amidon, la chaux sur les propriétés rhéologiques de la boue a été mis en évidence expérimentalement.

# ***CONCLUSION GÉNÉRALE***

## Conclusion Générale

---

L'étude qui a été entreprise dans ce travail, concerne théoriquement sur la boue de forage et leur traitement et sur les produits argileux entrant sur la fabrication de la boue et concerne pratiquement sur l'effet des additifs sur les caractéristiques de boue.

Ce travail nous a permis tout d'abord de nous familiariser avec le secteur pétrolier, et ensuite de comprendre l'importance de chaque paramètre dans une opération de forage, et en particulier les boues de forages et leurs caractéristiques.

La boue de forage est considérée comme un facteur important et essentiel dans le forage de puits, donc soigneusement préparée et axée sur ses propriétés, en particulier sa densité et sa viscosité, quelle modification sur la densité d'une manière inconsidérée ils change autre propriété comme la pression. Un changement dans les propriétés d'une manière non étudiée peut conduire à l'échec du forage. Grâce à notre étude de certains additifs qui sont ajoutés à la boue de forage et en observant son effet, nous avons conclu ce qui suit :

- La densité et la viscosité de la boue de forage augmentent en augmentant la concentration de bentonite dans le fluide de forage.
- L'augmentation de la température de fluide de forage diminue la densité et la viscosité de la boue.
- Plus que la concentration de NaCl est élevée plus que la viscosité et densité s'accroissent cependant, nous remarquons que la densité est affectée par la salinité plus significativement comparée avec la viscosité.
- L'ajout de l'amidon à la boue de forage entraîne une augmentation de sa densité et sa viscosité mais, contrairement au sel, l'effet de l'amidon est plus significatif sur la viscosité.
- L'addition de chaux à la boue de forage conduit à une augmentation de la densité de fluide.
- Plus que la concentration de cet additif est élevée plus que la boue devient plus dense.

# ***RÉFÉRENCES***

# ***BIBLIOGRAPHIQUE***

[1] -Ahmed Draïa Adrar (2020) thèse de fin d'étude ( l'efficacité d'argiles entrant dans la fabrication des boues de forage pétrolier ) université mostaganem

## Références Bibliographiques

---

- [2] -Gassi Touil (2017) thèse de fin d'étude ( Analyse du comportement des fluides de forage à travers les formations géologiques ) université Larbi Ben M'hidi - Oum El Bouaghi
- [3]-Dahmoune Karima (2020) thèse de fin d'étude ( Elaboration et caractérisation d'un matériau Inorganique (destiné à la Préparation des matériaux Composites) ) université mohamed boudaif-M'sila
- [4] -Messaoud Hasnia (2014) thèse de fin d'étude ( Effet de la température sur la qualité de la bentonite et caractérisation physico-chimique par FTIR au niveau de la société BENTAL - unité de Mostaganem ) université mostaganem
- [5]-Batouche Toufik (2021) thèse de doctorat ( Caractérisation et traitement du mineral barytique d'Ain Mimoun pour l'obtention d'un concentré de haute qualité )
- [6]- Module « M1 » slimane daoudi 2004 division forage département formation sonatrach (les boues de forage )
- [7]-Khodja Mohamed (2008) thèse de doctorat ( Etude des performances et consideration environnementales )
- [8]-Mr Fourar Karim (2007) thèse de magister ( Amélioration des propriétés rheologique des fluide de forage a base de biopolymers )
- [9]-M. Bouhadda-Module fluide de forage université ouregla
- [10]- Document mémento barytine rapport final BRGM/RP-63974-FR novembre 2014
- [11]- Document Mémento roche et minéraux industriel la barytine BRGM R377751993
- [12]-Krikeb Amin Nabil (2017) thèse de fin d'étude ( Commande d'un system de forage petrolier en vue de la reduction des vibrations de torsion ) université de Jijel
- [13]-Kafi Bilal (2019) thèse de fin d'étude ( Préparation et caractérisation de bentonite modifiée par un Polyoxométallate application à l'adsorption du bleu de méthylène ) université de Annaba
- [14]-Article sur les argiles de Université de Picardie Jules Verne/Jacques Beauchamp (2005)
- [15]-M.Lasfri Said (2019) thèse de fin d'étude ( Techniques de traitement des deblais de forage et impacts sur l'environnement )
- [16]-Boukhalfa Zahra (2017) thèse de fin d'étude ( Etude des méthodes de traitement des boues de forage : Considération environnementale)
- [17]-Chouaoua Maroua (2018) thèse de fin d'étude (Traitement des fluides de forage par la méthode stabilisation/solidification au niveau du champ de Hassi Messaoud )

## Références Bibliographiques

---

[18]-Dobbi Abdelmadjid Module problem de forage (Equipements de traitements de la boue )

[19]-A. Ali Document Fluides de forage université batna

[20]-Article sur les Classification des minéraux argileux Site (29/2/2023):

<https://agronomie.info/fr/classification-des-mineraux-argileux/>

[21]-Article sur les composition et propriétés des argiles (15/3/2023 ):

<https://www.compagnie-des-sens.fr/puissance-des-argiles/>

[22]-Article sur les mica Site dans (10/3/2023):

<https://www.imerys.com/fr/mineraux/mica>

[23]- Article sur les mica Site (10/3/2023):

<https://www.aquaportail.com/definition-7380-mica.html>

[24]- Article sur les argiles , genèse et utilisations (2005) Site (25/2/2023):

[http://www.normalesup.org/~clanglois/Sciences\\_Terre/Argiles/Argiles0.html#Arg\\_haut](http://www.normalesup.org/~clanglois/Sciences_Terre/Argiles/Argiles0.html#Arg_haut)