

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderahmane Mira de Béjaïa



Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés

Pour obtenir le diplôme de Master en Génie des Procédés option Génie Chimique

THEME

Etude de l'influence de la température et du sel
sur le comportement rhéologique d'une boue de forage

Soutenu le 24/06/2013

Présenter par :

Mr. Bouchebak Abdeldjalil

Mr. Rachid Abdelhak

Encadreur :

S.HADDAD

Devant le jury composé de:

Mr. T.BAOUZ (président) enseignant, Université de Bejaia

Mr. H.AMGHAR (member) cadre à la SANTRACH – DF.

Mr. A.IMATUKEN (member) superintendent à la SONATRACH – DF.

Mr. BEDJAOUI (membre) cadre à la SANTRACH .

Remerciements

On remercie en premier et en dernier « ALLAH » de nous avoir accordé la réussite pour terminer notre travail.

Ce mémoire de fin d'étude a été réalisé au sein du département génie des procédés faculté de technologie, et en collaboration avec l'entreprise AVA Newpark Company.

On tient à exprimer notre profonde reconnaissance à nos promoteurs Monsieur S. HADDAD et Monsieur H. ARKOUB de l'université A. Mira de Bejaia pour avoir dirigés ce travail et également pour les encouragements qu'ils n'ont cessé de nous prodiguer. Nous sommes heureux de pouvoir leur exprimer nos plus sincères remerciements.

Toute notre reconnaissance va à Madame C. Kebouchi et sa collègue responsable de laboratoire de l'entreprise AVA Newpark Company, de nous avoir proposé ce travail. Malgré ses multiples responsabilités elle nous a fait l'honneur de nous accorder le maximum de son précieux temps pour finir notre projet.

On remercie cordialement Monsieur F. Belouch et Monsieur N. Nabet de nous avoir donné la chance d'effectuer notre stage au sein de l'entreprise dans les conditions les plus conviviales à Hassi Messaoud.

On remercie également Monsieur M. Oudihat chargé de l'information de l'entreprise AVA Newpark Company, pour nous avoir accordé son soutien et de nous avoir dirigé vers l'essentiel de notre travail.

On remercie aimablement Monsieur F. Giallonardo responsable de l'entreprise AVA Newpark Company de nous avoir accueilli au sein de son entreprise pour effectuer notre stage et de nous avoir ouvert les portes nécessaires afin d'accomplir l'essentiel de notre projet de fin d'étude.

On adresse nos remerciements à Monsieur Baba-amie pour nous avoir accompagnés lors de la sortie sur le site de forage et pour ces explications fructueuses qui nous ont servi énormément.

On tient à remercier tous les personnels de AVA, pour leurs accueils, leurs aides, leurs soutiens.

On remercie aussi les responsables de notre département de génie des procédés ainsi que tous les enseignants pour nous avoir apporté la connaissance le savoir et l'esprit de l'ingénierie et de nous avoir accompagné sur notre parcours universitaire.

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin afin de réaliser notre projet, nos familles, nos amis, nos camarades.

DÉDICACE



JE VOUDRAIS DÉDIE CE TRAVAIL

A MES TRÈS CHER PARENTS QUI M'ONT TANT SOUTENU ET ENCOURAGÉ DANS
TOUS LES DOMAINES ET SURTOUT POUR RÉALISER CE PROJET. A MON CHER
GRAND PÈRE ALAH IRAHMOU. A MES DEUX FRÈRES ET MES DEUX SŒURS POUR
LEUR AIDES ET DÉVOUEMENT ET A MES ONCLES ET MES TANTES. MES COUSINS. A
MA CHER AMIE ET A TOUS MES AMIS ET COLLÈGUES ET À TOUS CE QUE JE
CONNAIS.

MERCI À TOUS.

RACHID ABDELHAK

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail a mes chère parents pour leur soutien et leur encouragement, et pour leur exprimer tout le respect que j'ai pour eux et c'est ainsi que je leur témoigne ma reconnaissance pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir.

A tous mes frères qui ont toujours était là à me soutenir.

A mes grands-mères et à la mémoire des grands parents.

A tous mes amis.

A tout les étudiants de notre promotion 2^{ème} année Master Génie des procédés toute option confondue.

B.Abdeldjalil

ملخص :

هذا المشروع هو دراسة الخواص الريولوجية (اللزوجة وإجهاد الخضوع) وسلوك الريولوجية من السوائل التي أساسها الماء، وتأثير المواد المضافة

(POLICELL SL) ، والمخفض الراشح (POLICELL RG)-لهذا المشروع، كنا البنتونيت، لزوجة لوضع الطين البنتونيت لبوكل. تضاف هذه البوليمرات وغيرها من المواد المضافة إلى السائل المياه القائمة لتصحيح أو تحسين بعض الخصائص التي هي، في معظم الحالات، واللزوجة والكثافة من الراشح. (نموذج 08-800 سرعات ofite) وأجريت جميع منحنيات الريولوجية على سرعة فرض جهاز قياس اللزوجة.

Résumé:

Ce projet consiste à étudier les propriétés rhéologiques (viscosité et contrainte seuil) et le comportement rhéologique du fluide à base d'eau, et l'influence des additifs.

En outre nous étudions l'influence du sel (KCl), de la température les propriétés rhéologiques

Pour réaliser ce projet, nous avons utilisés la bentonite, un viscosifiants (POLICELL RG), un réducteur de filtrat (POLICELL SL), pour l'élaboration d'une boue bentonitique aux KCl. Ces polymères et autres additifs sont ajoutés dans le fluide à base d'eau pour corriger ou améliorer quelques propriétés qui sont, dans la plupart du temps, la viscosité, le filtrat et la densité.

Toutes les courbes rhéologiques sont réalisées sur un viscosimètre à vitesse imposée (ofite model 800 à 08 vitesses).

Abstract:

This project consists in studying the rheological properties (viscosity and forced threshold) and the rheological behavior of the fluid containing water, and influences it additives.

Moreover we study the influence of salt (KCl), of the temperature the rheological properties

To carry out this project, we used the bentonite, a viscosifiants (POLICELL RG), a reducer of filtrate (POLICELL SSL), for making of a bentonitic mud in KCl. These polymers and other additives are added in the fluid containing water to correct or

improve some properties which are, in most of the time, viscosity, the filtrate and the density.

All the rheological curves are carried out on a viscometer at imposed speed (ofite model 800 - 08 speeds).

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace	II
Dédicace	III
Résumé	IV
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	VII
Nomenclature	IX
Présentation de la Companie.....	XI
Introduction générale	1

PARTIE THEORIQUE

<i>Chapitre I : Généralités sur le forage</i>	2
I-1-Introduction.....	2
I-2- Historique du forage.....	2
I-3- Programme de forage.....	3
I-4- Principales opérations de forage	4
I-4-1- Forage	4
I-4-2- Ajout de tige.....	5
I-4-3- Manœuvre.....	7
I-4-4- Tubage	9
I-4-5- Montage de la tête de puits.....	9
I-4-6- Complétion	9
<i>Chapitre II : Généralités sur les fluides de forages</i>	10
II-1-Introduction.....	10
II-2-Historique	10
II-3- Principales fonctions des fluides de forage	11
II-3-1- Nettoyage de puits.....	11

II-3-2- Maintien des déblais en suspension.....	12
II-3-3- Sédimentation des déblais fins en surface	12
II-3-4- Refroidissement et lubrification de l’outil et du train de sonde.....	12
II-3-5- Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits	13
II-3-6- Dépôt d’un cake imperméable	13
II-3-7- Prévention des venues d’eau, de gaz ou d’huile	13
II-3-8- Augmentation de la vitesse d’avancement	14
II-3-9- Entraînement de l’outil	14
II-3-10- Diminution du poids apparent du matériel de sondage	14
II-3-11- Apport de renseignements sur le sondage	14
II-3-12- Contamination des formations productrices	15
II-3-13- Corrosion et usure du matériel	15
II-3-14- Toxicité et sécurité	16
II-4- Les fluides de forages à base d’huile (OBM)	16
II-4-1- Boue à l’huile	16
II-4-2- Boue à émulsion inverse	18
II-5- Les fluides de forage gazeux	19
II-5-1- Forage à l’air.....	19
II-5-2- Forage à la mousse.....	19
II-5-3- Forage à la mousse aérée	20
II-6- Les fluides de forage à base d’eau (WBM)	20
II-6- Les boues douces.....	21
II-6-2- Les boues salées.....	24
II-6-2-1 Boue salée non saturée	24
II-6-2-2- Boue salée saturée	25
<i>Chapitre III : Caractéristiques physico-chimiques des fluides de forage</i>	<i>27</i>

III-1- Introduction	27
III-2- Caractéristiques physiques des fluides de forage	27
III-2-1-Densité et masse volumique.....	27
III-2-2- Rhéologie	29
III-3- Caractéristiques rhéologiques	31
III-3-1- Equations rhéologiques	33
III-3-1-1- Fluides newtoniens	33
III-3-1-2- Fluides non newtoniens	33
III-3-1-3- Fluides binghamiens	33
III-3-1-4- Fluides en puissances « pseudo plastique d’OSTwald»	36
III-4- La filtration	37
III-4-1- Rôle de la filtration	37
III-4-1-1- Vitesse d’avancement du forage	38
III-4-1-2- Tenue des terrains	38
III-4-1-3- Envahissement des couches perméables	38
III-4-2- Concentration en sable	39
III-4-2-1- Importance de la teneur en sable	39
III-4-3- Teneur en solides, en eau et en huile	40
III-4-3-1- Importance de la teneur en solides	40
III-4-4- Emulsions	40
III-4-4-1 Principe et rôle des émulsions	41
III-4-4-1-1- Boue à émulsion directe BED	41
III-4-4-1-2- Boue à émulsion inverse	41
III-5- Les caractéristiques chimiques des fluides de forage	42
III-5-1- Alcalinité.....	42
III-5-2- pH	42

III-5-2-1 Définition	42
III-5-2-2- Mesure	43
III-5-3- Dosage de la chaux éteinte dans la boue	43
III-5-4- Dosage des chlorures dans le filtrat	44
III-5-5- Dosage des chlorures totaux dans la boue	44
III-5-6- Dosage quantitatif du calcium dans le filtrat	45
III-5-7- Dosage du magnésium dans le filtrat	45
III-5-8- Dosage du potassium dans le filtrat	45
III-5-9- Dosage des sulfates dans le filtrat	45
III-5-10- Dosage du sulfate de calcium total dans la boue	45
III-5-11- Résistivité	46
III-5-12- Capacité d'échange de cations	46
<i>Chapitre IV : Généralités sur les polymères</i>	48
IV-1- Historique	48
IV- 2- Définition et structure	48
IV- 3-Différents types de polymères	51
IV- 3-1- Les homopolymères	51
IV- 3- 2- Les copolymères	51
IV-4-Les polymères dans les fluides de forage	54
IV-4-1-Relations entre les fonctions des polymères et leurs structures générales	63

PARTIE PRATIQUE

<i>Chapitre I : Mesures sur les boues et appareillages</i>	64
I-1-VISCOSIMETRE Ofite model-800	64
I-2-DENSIMETRE	65
I-3-VISCOSIMETRE Ofite model-900	67

I-4-FILTRE PRESSE API étude rhéologique	68
I-5-OFITE HPHT Filter press	70
I-6-Distillateur	72
<i>Chapitre II : Formulation résultats et discussion</i>	75
II-1 Préparation des systèmes de boue	75
II-1-1- Introduction	75
II-1-2- Description du système étudié	75
II-1-3 Préparation et caractérisation du système	75
II-1-3-1- Equipements	75
II-1-3-2- Formulation	76
II-2- Caractérisation rhéologique des boues	77
II-3- Représentation graphique des différents paramètres mesuré en fonction des quantités de polymères	80
II-4- Représentation graphique des différents paramètres rhéologiques en fonction de la température	83
II-5- Représentation graphique des différents paramètres mesuré en fonction des quantités en KCl	86
II-6- Représentation graphique des différents paramètres mesuré en fonction de la température	89
Conclusion	91
Conclusion générale	
Bibliographie	

Partie théorique

Chapitre II

Tableau. II.1 : composition de la boue a l'eau de mer.

Chapitre III

Tableau. III.1 : Donnant la densité de quelque constituant

Tableau. III.2 : donnant la capacité d'échange cationique de quelque argile.

Chapitre IV

Tableau. IV.1 : Relation entre les fonctions des polymères et leurs structures générales.

Partie Expérimental

Chapitre II

Tableau. II.1 : Formulation.

Tableau. II.2 : Boue a 3Kg/m^3 POLICELL RG

Tableau. II.3 : Boue a 5Kg/m^3 POLICELL RG

Tableau. II.4 : Boue a 7Kg/m^3 POLICELL RG

Tableau. II.5 : Boue a 40Kg/m^3 KCl

Tableau. II.5 : Boue a 60Kg/m^3 KCl

Tableau. II.5 : Boue a 80Kg/m^3 KCl

Tableau. II.8 : Résultat pour POLICELL RG

Tableau. II.9 : Résultat pour KCl

Partie Théorique

Chapitre II

Figure II.1 : Circuit à Boue

Chapitre IV

Figure IV.1 : type de structure de polymère.

Figure IV.2 : représentation schématique d'un polymère semi-cristallisé.

Figure IV.3 : architecture moléculaire d'un copolymère statistique et d'un copolymère alterne.

Figure IV.4 : architecture moléculaire d'un copolymère greffé.

Figure IV.5 : représentation des divers types de copolymères a blocs linéaire.

Figure IV.6 : architecture des copolymères à blocs radiaux.

Partie Pratique

Chapitre II

Figure I.1 : viscosimètre OFITE model 800 à 8-vitesse.

Figure I.2 : densimètre a boue.

Figure I.3 : viscosimètre OFITE model 900.

Figure I.4 : filtre presse basse pression API.

Figure I.5 : filtre presse HTHP OFITE MB 4 Unité.

Figure I.6 : HTHP filtre presse.

Figure I.7 : distillateur.

Figure I.8 : Condenseur du Distillateur

Figure I.9 : Composant du Distillateur

Chapitre II

- Figure II.1** : évolution de la viscosité en fonction de la concentration en Policell RG.
- Figure II.2** : évolution de la yield point en fonction de la concentration en Policell RG
- Figure II.3** : évolution des Gels à 10s en fonction de la concentration en Policell RG
- Figure II.4** : évolution des Gels à 10mn en fonction de la concentration en Policell RG
- Figure II.5** : évolution de la viscosité en fonction de la Température.
- Figure II.5** : évolution de la yield point en fonction de la Température
- Figure II.5** : évolution des Gels à 10s en fonction de la Température
- Figure II.5** : évolution des Gels à 10mn en fonction de la Température
- Figure II.5** : évolution de la viscosité en fonction de la concentration en KCl
- Figure II.5** : évolution de la yield point en fonction de la concentration en KCl
- Figure II.5** : évolution des Gels à 10s en fonction de la concentration en KCl
- Figure II.5** : évolution des Gels à 10mn en fonction de la concentration en KCl
- Figure II.5** : évolution de la viscosité en fonction de la Température.
- Figure II.5** : évolution de la yield point en fonction de la Température
- Figure II.5** : évolution des Gels à 10s en fonction de la Température
- Figure II.5** : évolution des Gels à 10mn en fonction de la Température

Nomenclature

WBM : ‘‘Water-Base-Mud’’, Boue à base d’eau

OBM : ‘‘Oil-Base-Mud ‘’, Boue à base d’huile

API : American Petroleum Institut

(cp) : centipoise

Lb : unité anglo-saxon

(ft) : foot (unite anglo-saxon) : = 1.2 inch = 2.54 cm

Feet: le pied (unité anglo-saxon)

CGS: centimeter Gramm Second

μ : viscosité

μ_a : viscosité apparente

μ_p : viscosité plastique

τ : contrainte de cisaillement

$\dot{\gamma}$: Taux de cisaillement

τT_0 : Contrainte seuil

θ_{600} : Lecture a 600tr /min

θ_{300} : Lecture à 300tr/min

x : tonnes d’alourdissement à ajouter par mètre cube de boue

df : densité finale à obtenir

di : densité initiale de la boue à alourdir

da : densité de l’alourdissement

V : volume en m³ de fluide à ajouter par m³ de boue à alléger.

di : densité initiale de la boue à alléger

df : densité finale souhaité

Nomenclature

dl : densité du fluide léger

v : volume initiale

K = indice de consistance

n = indice de comportement rhéologique

%O : le pourcentage huile dans la phase liquide

%S : pourcentage de solides

V0 : volume d'huile (ml)

%W : pourcentage d'eau dans la phase liquide

VR : volume de la tasse (ml)

VW : volume d'eau (ml)

Vp: Viscosité plastique

Yp: Yield point (contrainte seuil)

Kill line: conduite d'injection

Choke line: ligne d'évacuation

Casing: tube

Kelly: tige d'entraînement

Tubing: tube

Tripping in: Déclenchement dedans

Packer tubing: emballeur de tube

Set back: place en arrière

Tool-joint: Manchon vissé

Shear rate: taux de cisaillement

Shear stress: contrainte de cisaillement

Présentation :

Le siège AVA est situé à Rome, en Italie avec des opérations en Algérie, Tunisie, Libye, Egypte, Italie et Roumanie. D'autres bureaux sont également situés en Espagne, en Autriche, en Allemagne et en Hongrie. En plus d'une gamme complète de fluides de forage et de complétion, les services d'AVA comprennent la récupération des déchets, recyclage de l'eau et à la disposition des fluides de forage.

AVA rejoint Newpark Drilling Fluids, LLC en 2002 formant une synergie qui a donné lieu à une forte équipe axée sur les résultats. Gagner la force de R & D de Newpark, avec la longue histoire d'Ava de service exceptionnel tout au long de la Méditerranée et de l'Afrique du Nord a créé une combinaison gagnante [21].

Historique :

La famille Campo ont fondée AVA en 1954. Leur premier produit fut bentonite (Avagel) à partir de sa mine trouvé à Pizzo Corvo (Raven crête) en Sicile, qui est encore utilisé aujourd'hui. Ils ont fourni bentonite à l'un des premiers puits forés en Sicile, et au fil du temps ajouté d'autres produits.

AVA est restée un fournisseur de produits jusqu'en 1968 quand ils sont devenus entièrement une société de service fluide de forage. Leur premier client comme une entreprise de service complet était ELF Italiana, plus tard elle travailler avec plusieurs autres compagnies pétrolières avant l'obtention de leur premier bien avec AGIP (ENI). Aujourd'hui AVA est le fournisseur de boue primaire d'AGIP Italie (ENI) et maintient une part de marché de 40-45% dans le pays.

En 1990, AVA, sachant qu'il y avait une croissance limitée en Italie, a commencé à jeter les bases pour leurs opérations internationales. En 1993, les bureaux et les entrepôts ont été mis en place en Tunisie et en Algérie, et les travaux ont commencé en Afrique du Nord.

En 2002 AVA rejoint Newpark Drilling Fluids, LLC formant ainsi « AVA DRILLING FLUID & SERVICES A Newpark Company ».

Aujourd'hui, les services d'AVA sont élargis pour inclure la valorisation des déchets, le recyclage de l'eau et à la disposition des fluides de forage. Les opérations se situent un peu partout on peut citer la Libye, l'Allemagne, la Roumanie et l'Egypte avec des bureaux en Espagne et en Autriche [21].

Technologie :

Le laboratoire de recherche et développement à Rome est meublé avec des équipements des plus récents et ils sont responsables des tout derniers forages, les systèmes de fluides de complétions utilisés dans le forage sur le terrain sont exécutés par le personnel d'AVA. Les bureaux et les laboratoires de services stratégiques situés dans le bassin méditerranéen et en Afrique du Nord garantissent une assistance de 24 heures pour toutes les plates-formes étant desservies par AVA.

Notre partenariat avec Newpark Drilling Fluids, LLC et Newpark Drilling Fluids Laboratory permettent à AVA d'accéder à un large éventail de fonctionnalités de test et des derniers avancements technologiques [21].

Il y'a plus de cinquante siècles que le pétrole est connu dans le monde. Les peuples biblique et les chinois l'utilisaient il y a cinq à six mille ans, aussi bien pour l'éclairage et la cuisson des aliments que pour la chauffe des fours à briques. Des récits anciens, ceux d'Hérodote en particulier, situent bien les feux et suintement qui correspondent aux gisements du Proche-Orient (Iran et Irak) que les pionniers entreprenants ont découverts depuis le début du 20^e siècle. Le pétrole apparaît ainsi comme une source d'énergie ; mais il n'est pas facile de l'enfermer dans une définition. Les savants se sont plus penchés sur le problème de son origine. Deux théories prévalaient : celle de l'origine minérale, défendue autrefois par MOISSAN et SABATIER et celle de l'origine organique défendue par ENGLER et HOFER.

C'est cette dernière théorie qui est considérée aujourd'hui comme la plus vraisemblable. ENGLER et HOFER ont obtenu en effet en laboratoire des hydrocarbures à partir de poissons et de végétaux. Il faudra attendre 1859, date du premier sondage entrepris par DRAKE aux Etats-Unis, pour que les quantités obtenues puissent faire l'objet d'une véritable industrie et, dès l'année suivante (1860), la production mondiale atteignait 70 000 tonnes. Cette découverte va entraîner le déclin des autres sources d'énergie jusque-là connues.

De nos jours, le pétrole est devenu la principale source d'énergie et l'unique dans certains secteurs.

Le pétrole génère d'importantes ressources financières qui ne peuvent laisser les Etats indifférents. Ceux-ci y interviennent notamment à travers une réglementation fiscale particulière de l'industrie qui en découle, l'activité pétrolière a donné naissance à une industrie stratégique de pointe.

Cette industrie comporte cinq grandes phases : l'exploitation(A), la production et le transport (B), le raffinage (C) et la distribution (D). [Albert Léonard DIKOUM, LA FISCALITE PETROLIERE DES ETATS MEMBRES DE LA CEMAC, L'Harmattan]

L'importance des propriétés rhéologiques, c'est -à-dire des propriétés d'écoulement, des fluides de forages n'est plus à démontrer .

Au cours du forage , le contrôle de « viscosité » ou des caractéristiques rhéologiques de la boue par des méthodes simples et rapides a constitué et constitue toujours un guide indispensable pour les techniciens du chantier . Les propriétés d'écoulement ont, en effet, une incidence directe sur le déroulement des opérations. Leur ajustement correct contribue à l'obtention d'un puits bien calibré , dans les meilleurs délais et avec toutes les conditions de sécurité désirables .

Sans doute , l'ajustement des caractéristiques rhéologiques et la recherche de leur optimisation , compte tenu des autres contraintes imposées , conduisent-ils à des calculs souvent fastidieux . Mais , depuis quelques années , l'exploitation des donnée théoriques a été remarquablement facilité par les moyens de calculs modernes et , en particulier , par les mini calculateurs programmables .

PARTIE

THEORIQUE

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS
SUR LE FORAGE

I-1-Introduction :

Au cours d'un forage, plusieurs types de sédiments et couches rocheuses sont rencontrés. Différentes techniques manuelles permettant de forer à travers ces couches ont été développées, et sont utilisées à travers le monde. Chaque technique est composée d'étapes suivantes : casser/ameublir/couper les couches de sol, extraire le matériel découpé du trou et, si nécessaire, assurer la stabilité des parois du trou afin d'éviter un effondrement durant le forage. Chaque formation géologique nécessite une technique de forage appropriée. Certaines situations peuvent conduire au recours à une combinaison de plusieurs techniques. Toutes ces techniques ont pour principes : utilisation de la tarière manuelle, percussion, dragage et colmatage à la boue, fonçage au jet d'eau [19].

Les différentes méthodes de forage utilisées à travers le monde sont :

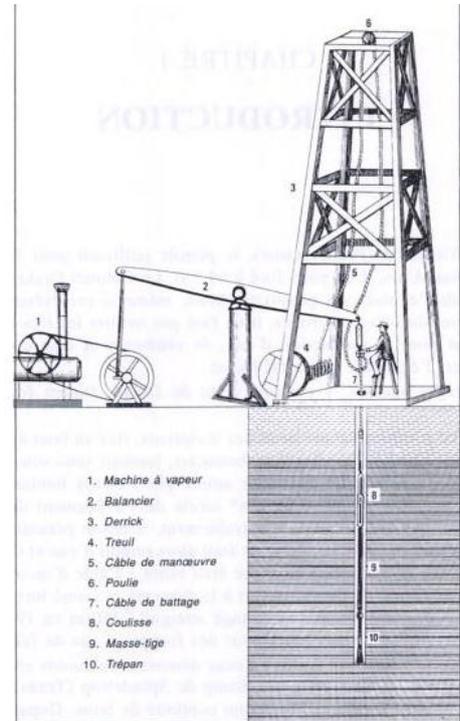
- Havage/battage
- Marteaux fond de trou, Odex
- Rotary
- Circulation inverse
- Forage carotte
- Forage Dirigé [20].

I-2-Historique du forage :

En 1889, à Titusville (Pennsylvanie), le pétrole jaillissait pour la première fois sur le sol des Etats Unis d'un puit foré à 69.5 ft. Le Colonel Drake venait d'entrer dans l'histoire de l'exploration pétrolière. Même si cet événement a marqué le début industriel du forage pétrolier, il ne faut pas oublier les nombreux puits forés bien avant pour la production d'eau, de saumures et déjà du naphte utilisé pour le calfatage, l'éclairage ou la médecine.

Tous ces forages anciens, y compris celui de Drake, étaient réalisés par battage

Un outil massif comparable au ciseau des sculpteurs, fixés au bout d'une tige lourde (massette), elle-même suspendue à un balancier, tombe sous son propre poids et débite ainsi la roche en éclats. Le balancier animé par l'action humaine ou animale dans les temps anciens, a profité au XIXe siècle de l'avènement de la machine à vapeur. Mais quel que soit le mode d'entraînement, il fallait périodiquement débarrasser le fond du trou des déblais. Le puits était alors rempli de boue résultant du mélange d'eau et des débris de roche qu'on vide à l'aide d'un outil cylindrique muni d'un fond en forme de clapet, ouvert à la descente et fermé lors de la remontée au treuil. Le plus profond forage par battage a atteint 2250 m en 1918. Ce procédé est encore parfois utilisé de nos jours pour des forages d'eau de faible profondeur.



C'est au début du siècle qu'Antony Lucas démontra au monde entier l'efficacité du forage Rotary par la découverte du champ de Spindletop (Texas) en utilisant la combinaison d'un outil rotatif et l'injection continue de boue. Depuis ce jour, cette technique est universellement utilisée et a profité des améliorations apportées par le progrès techniques [1] et [17].

I-3- Programme de forage :

Le but d'un forage est d'atteindre un objectif à un prix minimal. Lorsque la décision de faire un forage est prise, elle implique deux choix :

- a) Le choix d'un programme de forage et de reconnaissance des couches, c'est-à-dire les diamètre de forage et de tubages que l'on estime nécessaire pour atteindre l'objectif et les opérations, logs électriques, carottages tests, nécessaires à la bonne reconnaissance des formation ;

b) Le choix de l'appareil de forage permettant d'atteindre cet objectif avec des conditions de sécurité satisfaisantes.

Le programme de forage sera réalisé de manière totalement différente selon qu'il s'agit d'un forage de recherche ou d'un sondage d'exploitation **[1]**.

I-4- Principales opérations de forage :

I-4-1- Forage :

Bien qu'elle soit l'opération de base, c'est elle qui nécessite le moins de personnel. Seul le chef de poste œuvre aux commandes du treuil. La table de rotation tourne et entraîne l'outil de forage par l'intermédiaire de l'ensemble de la garniture de forage et de la tige d'entraînement. La commande principale est le levier de frein. Le chef de poste contrôle et régule la descente du crochet de forage par action sur ce frein. Le poids de tout ce qui est pendu au crochet est constant et connu du foreur par la lecture du poids suspendu au crochet avant de toucher le fond (off bottom) (**Fig. 1.1**).

Le poids appliqué sur l'outil est la différence entre le poids au crochet outil suspendu et outil posé.

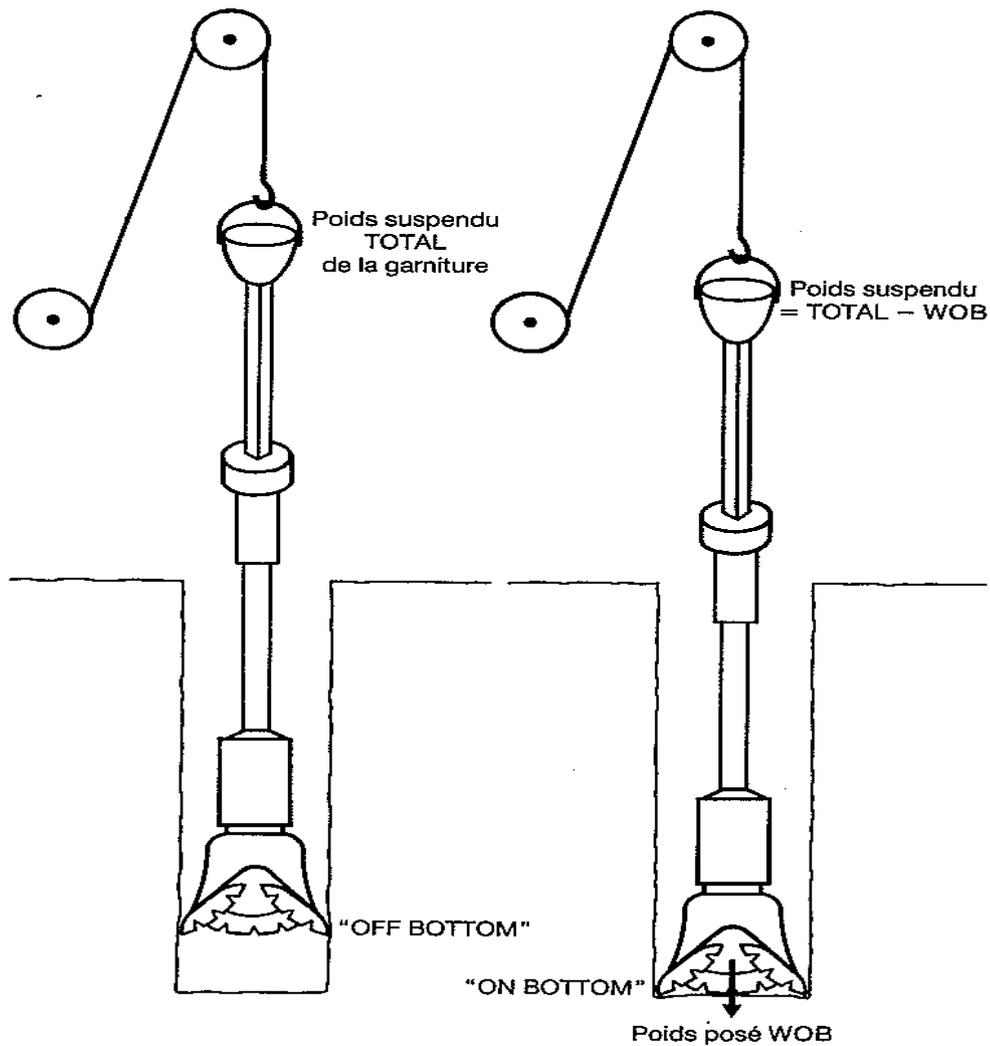


Fig 1.1 : Principe du contrôle du poids sur l'outil [1].

C'est cette différence que le foreur lit sur l'indicateur de poids (communément appelé Martin Decker) et qu'il doit maintenir constant en laissant descendre la tige d'entraînement à la même vitesse que l'avancement de l'outil de forage.

Le foreur contrôle et ajuste les valeurs suivant le programme et surtout vérifie que la pression de refoulement aux pompes reste conforme.

I-2-2- Ajout de tige

Lorsque l'outil a foré une longueur de 30 ft, il faut rallonger la garniture de forage d'autant en vissant sous la tige d'entraînement une tige de forage. Les différentes séquences sont décrites par les figures 1.2.

— Pendant le forage les ouvriers de plancher ont placé une tige dans un fourreau appelé mouse-hole situé à proximité de la table de rotation.

- Le chef de poste embraye le treuil pour soulever la garniture jusqu'à la première tige de forage sous la tige d'entraînement. Les sondeurs mettent les cales, la tige d'entraînement peut-être dévissée car la garniture est alors suspendue sur la table de rotation. Naturellement, la circulation de la boue est alors arrêtée. Sur la **figure 1.2b**, les sondeurs présentent la tige d'entraînement sur le filetage femelle de la tige mise en place dans le mouse-hole. Les vissages et blocage sont effectués sur le mouse-hole.
- En actionnant le treuil, le chef de poste soulève l'ensemble tige d'entraînement et tige de forage (**Fig. 1.2c**). Le vissage et le blocage de la nouvelle tige sur la garniture étant faits, le chef de poste remet la circulation du fluide de forage.
- Le foreur positionne le carré d'entraînement de la *Kelly* dans la table de rotation et le forage peut reprendre (**Fig. 1.2d**).

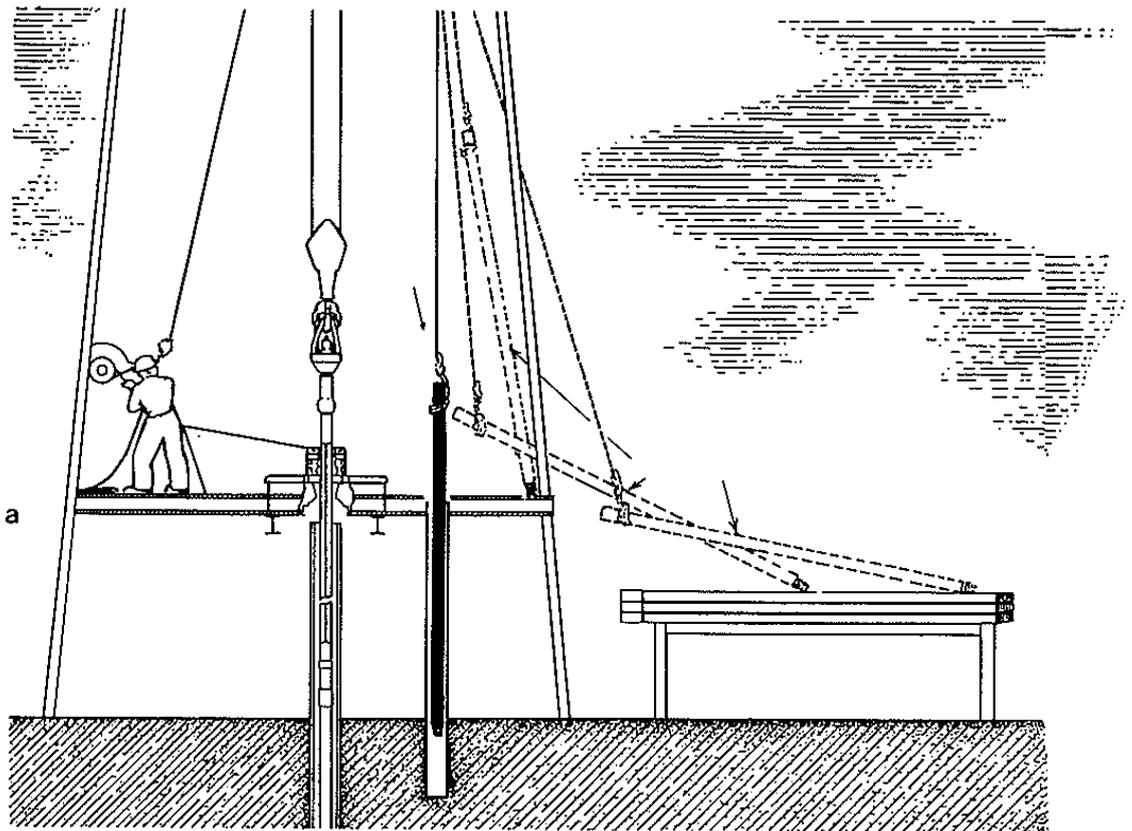


Fig. 1.2 a : Ajout de tige : mise en place d'une tige dans le mouse-hole. [1]

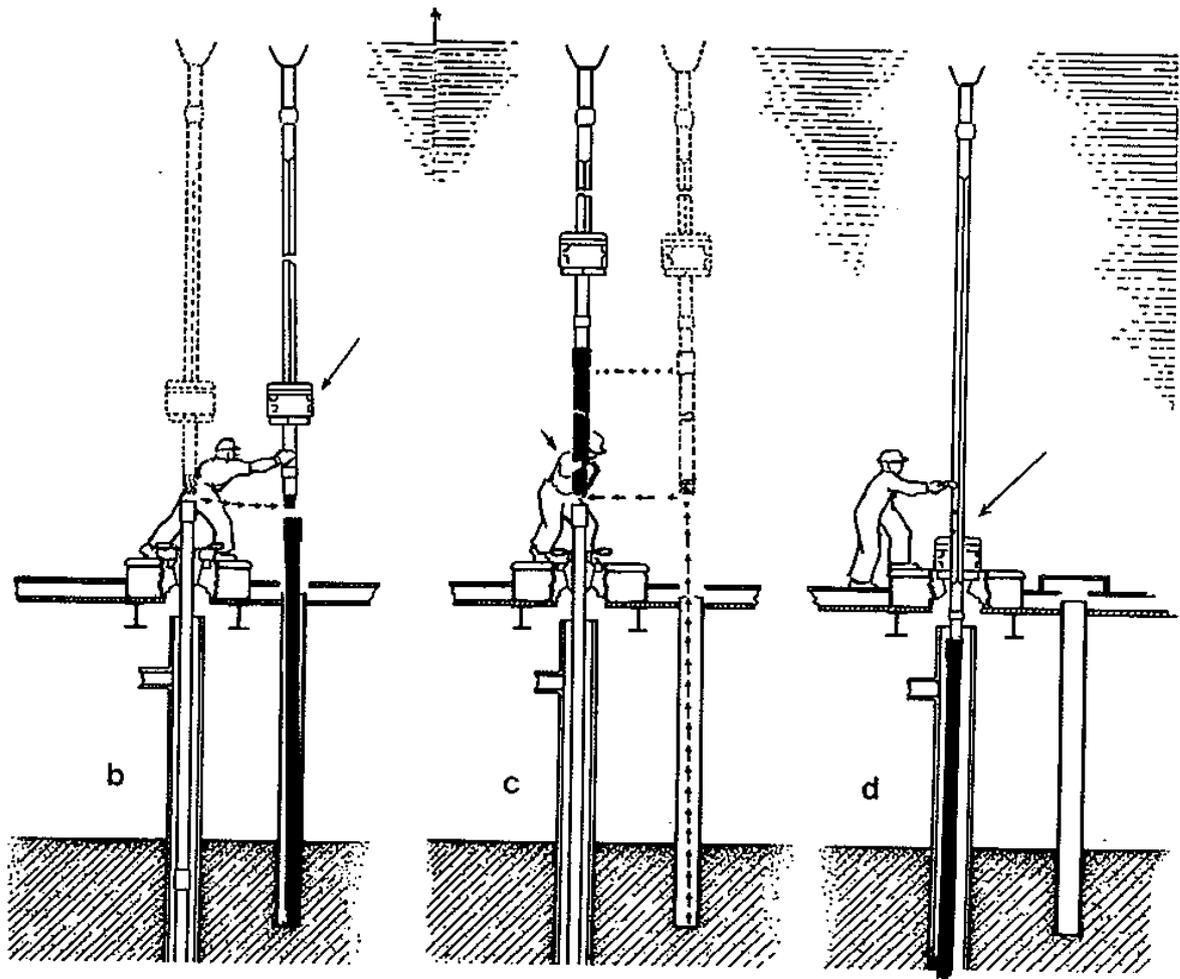


Fig. 1.2 b. Ajout de tige : vissage de la *kelly* sur la tige dans le mouse-hole.

Fig.1.2 c. Ajout de tige : vissage de la *kelly* et de la tige sur la garniture.

Fig.1.2 d. Mise en place de la *kelly*, reprise du forage [1].

I-2-3- Manœuvres :

Lorsque l'outil est usé ou lorsque l'on a atteint la profondeur souhaitée, il faut remonter la totalité de la garniture soit pour changer l'outil soit pour descendre les tubes casing.

La première opération consiste à décrocher la tête d'injection du crochet de forage et de ranger dans un fourreau appelé *rat-hole* l'ensemble tige d'entraînement, tête d'injection toujours reliées aux pompes par le flexible (**Fig. 1.3a**).

Les sondeurs de plancher ferment l'élévateur sous le *tool-joint* de la première tige et le chef de poste manœuvre le treuil pour soulever la garniture sur une hauteur correspondant à trois tiges.

La quatrième tige est coincée dans la table par les cales et on dévisse cette connexion avec des clés (**Fig. 1.3b**). Un ensemble de trois tiges est alors suspendu à l'élévateur. Les sondeurs de plancher repoussent l'extrémité inférieure de cette longueur (stand) pour l'appuyer sur un sommier de gerbage (*set back*), dès que cela est fait l'accrocheur qui se trouve sur une passerelle dans la tour, ouvre l'élévateur, maintient la longueur puis range l'extrémité supérieur de cette même longueur dans des rateliers (**Fig. 1.3c et 1.4**).

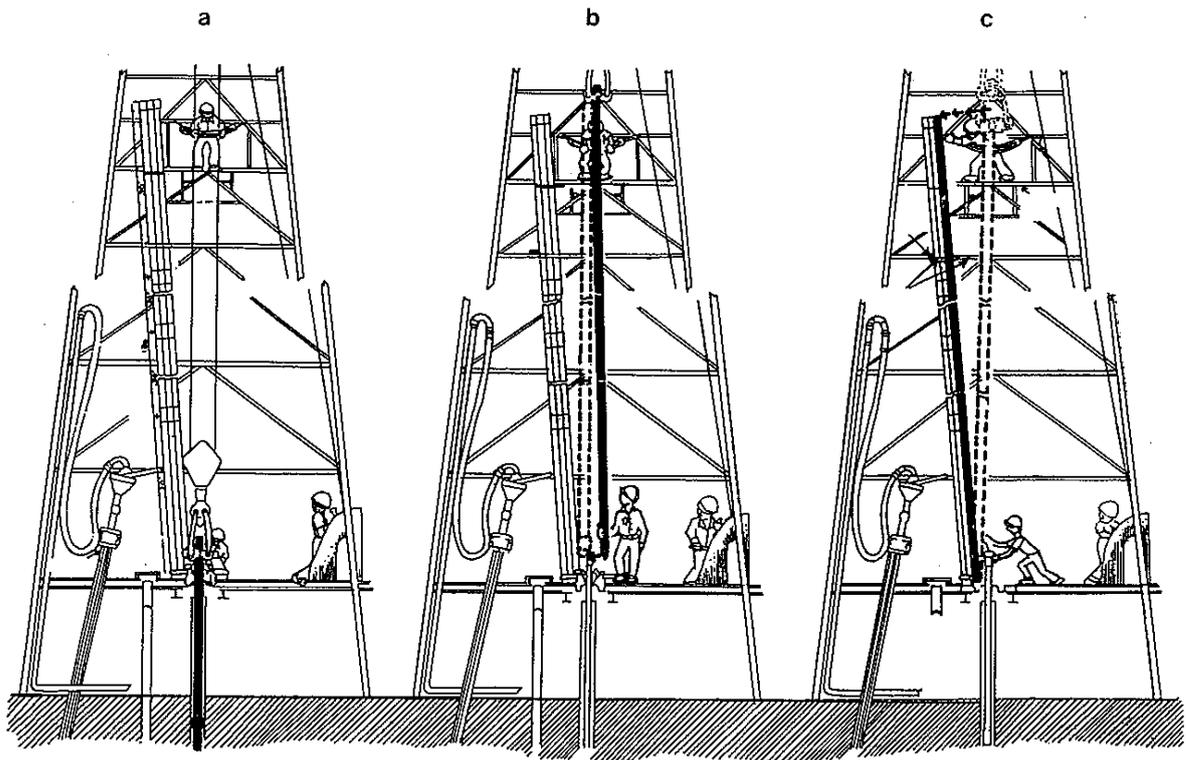


Fig. 1.3 : Manœuvres de la garniture,

a. Mise en place des élévateurs. **b.** Remontée d'une longueur (triple). **c.** Rangement de la longueur sur le sommier (*Set back*) [1].

On continue ainsi jusqu'aux masse-tiges que l'on stock également verticalement par trois.

La longueur de gerbage est fonction de la hauteur de la tour. Les plus gros appareils manœuvrent en triple, les appareils légers en double et pour les plus petits en simple. La manœuvre de descente (*tripping in*) se fait identiquement.

Il faut remarquer que pendant cette opération, on ne peut ni tourner la garniture ni circuler. Pour ce faire, si besoin était, il faut reprendre la tige d'entraînement hors du *ratholeet* revisser l'ensemble sur les tiges [1].

I-2-4- Tubage :

Le forage ayant été accompli à la profondeur prévue pour cette phase, il s'agit maintenant de descendre les tubes casing dans le puits. Cette opération, périlleuse du fait du faible jeu entre *casing* et trou et de la quasi impossibilité de mettre en rotation la colonne, consiste en une manœuvre de descente mais par ajout unitaire de tube *casing*. A la fin de la descente, c'est par circulation directe (c'est-à-dire injection du fluide par l'intérieur du tube et retour par l'annulaire) que l'on mettra en place le ciment dans l'annulaire [1].

I-2-5- Montage de la tête de puits :

Lorsqu'un tubage est en place dans le puits cimenté, il est nécessaire de monter divers équipements de suspension, d'étanchéité sur son extrémité supérieure. Ces opérations en surface sont effectuées manuellement en têtes de puits. Ces équipements de tête de puits permettent également la mise en place des obturateurs équipés de conduites haute pression appelées *kill line* et *choke line*.

Une série de test en pression du *casing*, des suspensions, des BOP clôture ce montage. Si tout est conforme aux exigences de la sécurité, la phase de forage suivante peut alors commencer [1].

I-2-6- Complétion :

Cette étape finale qui succède à la mise en place de la dernière colonne de *casing* (*casing de production*) consiste à descendre dans le puits l'équipement de production : packer, tubing, vanne de sécurité, etc. Il faut souvent parachever la liaison couche/trou par forage, perforation, acidification, fracturation, etc.

Bien que ces opérations soient souvent faites par les foreurs, leurs techniques rentrent dans le domaine de la production [1].

CHAPITRE II :
GÉNÉRALITÉS
SUR LES FLUIDES
DE FORAGE

II.1 Introduction :

La boue de forage est injectée dans un puits de pétrole ou de gaz pour nettoyer le trou et en conditionner les parois, lubrifier le trépan et équilibrer la pression de la formation traversée. Elle est habituellement à base d'eau ou d'huile. On dispose, depuis quelques années de boues à base de produits synthétiques (esters, éthers ou polyalphaoléfinés). Dans l'état de nos connaissances actuelles, il semblerait que cette sorte de boue soit peu toxique pour le milieu marin et de biodégradabilité élevée.

L'environnement difficile des opérations de forage souterrain a encouragé les initiatives de recherche et développement en vue de concevoir des fluides de forage pouvant jouer plusieurs rôles importants : suspension des déblais, contrôle de la pression, stabilisation des formations, flottabilité de la garniture, lubrification et refroidissement [10].

II.2 Historique :

La tradition rapporte que c'est sur le champ de Spindletop, près de Beaumont (TEXAS), que la boue de forage fut utilisée pour la première fois par le capitaine Lucas. On peut diviser l'histoire de la boue en quatre périodes principales :

Période artisanale avant 1901 : les fluides de forages étaient constitués essentiellement d'eau et d'argile. Le capitaine Lucas passe pour être le premier homme qui s'intéressa à la constitution de la boue.

Période empirique : 1901-1928 : de nombreux chercheurs se penchent sur l'étude expérimentale des fluides de forage et les progrès deviennent très vite sensibles et la première société de services des boues se crée aux Etats-Unis.

Période expérimentale 1928 à 1955 : en 1929, on commence à employer les Bentonites pour augmenter la viscosité et on emploie les phosphates pour la diminuer. En 1930 et 1931, le viscosimètre Marsh fait son apparition sur les chantiers et le viscosimètre Störmer dans les laboratoires. L'emploi des tanins de Quebracho commence à se généraliser et la boue au silicate de soude est employée pour forer les argiles gonflantes. En 1935, les premiers électromètres permettent de mesurer la concentration en sable de la boue et la première boue à l'huile est utilisée pour forer une zone productrice. En 1936 l'attapulgite est employée pour augmenter la viscosité des boues salées. La division Production de l'API édite un manuel contenant les recommandations pour tester les boues de forage. En 1937, apparaît la première balance à boue (construite par P.H. Jones) qui détrônnera progressivement

l'hydromètre. L'amidon de maïs est introduit sur le marché et employé comme réducteur de filtrat. En même temps les premiers filtres presses commencent à se généraliser.

En 1944 apparaît la carboxyméthylcellulose (CMC) comme réducteur de filtrat non fermentescible. En 1945, on emploie pour la première fois, comme réducteur de viscosité, les lignosulfonates de calcium et les lignines. Les premières boues à la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sont mises au point et vont influencer pendant plus de 15 ans, avec l'ion calcium (Ca^{+2}) toute la technologie des boues.

Période technique à partir de 1955 : la mise au point des lignosulfonates de ferrocrome permet l'emploi de la boue au gypse qui va progressivement détrôner la boue à la chaux. Cependant, les progrès sont très rapides et les produits dont on dispose actuellement permettent de faire face, à peu près, à tous les problèmes [2].

En fonction de la nature de la phase continue, les fluides de forage se subdivisent en trois grandes familles :

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

Cependant, avant d'approfondir ce qui a été cité précédemment, abordons un point qui est des plus importants, le rôle des fluides de forage.

II.3 Principales fonctions des fluides de forage :

Les fluides de forage jouent un rôle majeur dans l'opération du forage. Parmi les nombreuses fonctions de ces boues nous pouvons citer :

II.3.1 Nettoyage de puits :

La boue doit débarrasser le trou des formations forées qui se présentent sous forme de débris appelés plus couramment "cuttings".

L'aptitude de la boue à entraîner les "cuttings" dépend de sa viscosité et de sa densité, mais aussi de sa vitesse de circulation dans l'espace annulaire. Si viscosité et densité relèvent des produits employés, il n'en va pas de même de la vitesse de remontée qui dépend du débit des pompes à boue, du diamètre de forage et du diamètre du train de sonde.

Pendant longtemps on a pensé que seul un fluide possédant des gels élevés était capable de s'opposer à la sédimentation des débris ou de l'alourdissant dans le trou. Cette opinion ne prévaut plus et il est actuellement facile de fabriquer des boues à gels nuls sans risques de sédimentation [2].

II.3.2 Maintien des déblais en suspension :

Pour permettre les ajouts de tige de forage, il faut stopper la circulation du fluide de forage. Pendant ce temps, les déblais en cours de remontée dans l'annulaire ne sont plus soumis au courant ascensionnel et peuvent sédimenter. C'est le caractère thixotrope du fluide de forage qui retient les déblais en suspension, par sa gélification lorsqu'il n'est plus en mouvement. Pratiquement tous les fluides visqueux sont thixotropes [1].

II.3.3 Sédimentation des déblais fins en surface :

Alors que nous venons de voir que la boue doit permettre le maintien en suspension des déblais dans le puits durant les arrêts de circulation nous demandons à ce même fluide de laisser sédimenter les déblais fins en surface.

Bien qu'apparemment ces deux aptitudes semblent contradictoires, elles ne sont pas incompatibles. En effet, dans le cas du maintien en suspension dans le sondage, c'est à tous les déblais (quelle que soit leur granulométrie) et particulièrement aux particules les plus grosses, ceci dans une section réduite, que nous nous intéressons.

En surface le problème est différent car, c'est une boue débarrassée des déblais éliminés sur les toiles des vibrateurs que nous avons. Le fluide ne conserve donc en suspension que les particules les plus fines et les plus denses dans un circuit favorisant la décantation pourront sédimenter, tout au moins partiellement [8].

II.3.4 Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde :

L'outil de forage s'échauffe par la température de fond (degré géothermique) et par les frottements mécaniques transformés en calories. La circulation du fluide de forage joue le rôle de liquide de refroidissement, l'échangeur étant les bacs de surface du quartier boue. D'autre part, le fluide de forage diminue le coefficient de frottement entre la garniture de forage et la paroi du puits. On améliore parfois cette fonction par l'adjonction de produits anti-friction comme de l'huile ou des additifs spéciaux.

II.3.5 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.

Le cavage est causé par des éboulements, par la dissolution du sel si la boue n'est pas saturée en NaCl, par la dispersion des argiles si les alcalinités sont exagérément élevées etc.

Les resserrements ont souvent pour cause une insuffisance de la pression hydrostatique de la colonne de boue qui ne peut équilibrer la pression géodynamique des roches. Le remède consiste à augmenter la densité. Certains resserrements sont dus à des formations gonflantes (craies, argiles) et sont généralement causés par des valeurs de filtrations trop élevées. Le remède consiste à réduire le filtrat et à modifier la composition électrolytique de la phase aqueuse. Signalons aussi que certains resserrements sont causés par une épaisseur excessive du cake. Là aussi, le remède consiste à réduire le filtrat [2].

II.3.6 Dépôt d'un cake imperméable :

La filtration dans les formations perméable d'une partie de la phase liquide de la boue crée un film sur les parois du sondage. Le film est appelé "cake". Sa formation dépend, non seulement de la vitesse de filtration, mais de la distribution, de la taille, de la compressibilité des particules solides de la pression différentielle de filtration et de la température.

Le dépôt du cake permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits. De ce fait, il est possible de réaliser des "découverts" importants, donc de réduire le nombre des tubages techniques et réaliser ainsi une économie notable. Ce cake devra posséder certaines qualités qui sont fonction du type de boue et de l'équilibre physico-chimique du fluide [8].

II.3.7 Prévention des venues d'eau, de gaz ou d'huile :

La pression hydrostatique doit contrebalancer la pression exercée par les fluides ou gaz contenus dans les formations forées. Cependant, en cas de débit des couches, la boue doit supporter relativement bien la contamination, sans variation brutale des caractéristiques. Ainsi la boue doit posséder des gels suffisamment bas pour permettre un dégazage rapide en surface en cas de venues de gaz. D'autre part, cette pression ne doit pas être élevée au point de créer des pertes de boue dans le terrain [2].

II.3.8 Augmentation de la vitesse d'avancement :

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

Nous verrons que dans certains cas particulier, "*le forage au jet*" par exemple, des caractéristiques de la boue (densité et rhéologie) et de la géométrie du sondage découlent les autres paramètres et les performances.

D'autre part, il est démontré qu'une différence de pression de fond minimum entre la colonne de boue et la formation est un facteur favorable à la dégradation de la roche par l'outil. Une contre-pression excessive réduit considérablement la vitesse d'avancement.

Un filtrat élevé augmente la vitesse d'avancement. Les très faibles viscosités sont aussi un facteur favorable à la pénétration des outils [8].

II.3.9 Entraînement de l'outil :

Dans le cas du forage dirigé la boue entraîne la turbine. 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 [8].

II.3.10 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*. Dans le cas du forage à l'air c'est le poids réel de la garniture que l'installation doit supporter [8].

II.3.11 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 de plusieurs natures :

- Cuttings remontés par la circulation de la boue : La boue devra altérer le moins possible ces échantillons de roche au cours de leur transport.

- Evolution des caractéristiques physiques et / ou chimiques de la boue : Une variation de densité peut indiquer une légère venue de fluide non encore décelable en volume. Une variation de concentration en chlorures annonce la présence d'évaporites etc...

- La détection des gaz ou autres fluides mélangés à la boue : L'utilisation de dégazeurs, chromatographes etc... permet en effectuant des mesures sur la boue de préciser l'évolution de la concentration en hydrocarbures.

L'ensemble de ces examens parallèles au contrôle des boues est appelé *diagraphies instantanées*.

De plus, en général en fin de phase, des mesures de diagraphies différées sont effectuées dans le puits plein de boue. Ces dernières mesures sont affectées par la nature et les caractéristiques des boues de forage. Certains types de boues rendent impossibles plusieurs mesures électrique dans le sondage. De ce fait, comme nous le verrons, il est indispensable de faire intervenir le critère diagraphies dans le choix d'un type de boue [8].

II.3.12 Contamination des formations productrices :

Il est bien évident que la présence au droit d'une formation poreuse et perméable d'une boue exerçant une pression hydrostatique supérieure à la pression de gisement peut nuire à la future mise en production. L'action de la boue sur la couche peut se schématiser en deux phases :

- La boue elle-même envahit la proximité du sondage.
- Le Cake se forme et le filtrat de la boue pénètre dans la formation.

Afin d'éviter des colmatages, il est indispensable de choisir le type de boue ayant la composition et les caractéristiques les mieux adaptées à la nature de la formation et de fluide qu'elle contient [8].

II.3.13 Corrosion et usure du matériel :

La boue peut accélérer l'usure du matériel de sondage, par une action mécanique, si elle recèle des matériaux abrasifs (sable). Elle peut aussi, dans certains cas, avoir une action corrosive électrolytique qui devra être minimisée en ajoutant son équilibre chimique et / ou en y additionnant des agents anticorrosifs [8].

II.3.14 Toxicité et sécurité :

La boue de forage ne devra pas présenter de dangers pour la santé du personnel. Elle ne devra pas non plus créer de risques d'incendie, tout particulièrement dans le cas d'utilisation d'un type de boue à base d'huile. L'huile de fabrication devra être suffisamment dégazée et avoir un point d'inflammabilité compatible avec les normes de sécurité en usage sur les chantiers [8].

II.4 Les fluides de forages à base d'huile (OBM) :

Il en existe deux catégories : boues à l'huile (quelques pourcents d'eau) et les boues inverses.

II.4.1 Boue à l'huile :

a. Définition :

Les fluides à base d'huile sont des fluides dont la phase continue est une huile minérale (pétrole brut, fuel, gazole,...) et la phase dispersée est de l'eau. Par définition les fluides de forage à base d'huile contenant plus de 5% d'eau sont appelés boues de forage en émulsion inverse ; avec moins de 5% d'eau, on a les boues à l'huile. ces fluides sont souvent désignés par "Oil-BasedMuds" ou **OBM**.

La législation relative à la protection de l'environnement impose l'utilisation d'huiles minérales ou "synthétique", ne contenant plus de composés aromatiques. Des agents émulsifiants et mouillants sont alors utilisés pour favoriser la stabilité de l'émulsion. Les propriétés rhéologiques (thixotropie) de cette émulsion sont ajustées par l'addition d'agents viscosifiants, généralement des argiles organophiles. Les formulations peuvent contenir également des agents réducteurs de filtrat (composés asphalténiques et polymères) et d'autre additifs spéciaux [6].

b. Spécificités :

- La boue à l'huile cause le minimum de dommage aux formations productrices.
- Elle possède les caractéristiques nécessaires à de bonnes conditions de forage.
- Faible filtration d'huile [1].

c. Utilisation :

- Forage et carottage de réservoirs.
- Reprise et entretien de puits producteurs.

- Forage de zones difficiles en présence d'un fluide à base d'eau (argiles gonflante, problème de coincement, etc.) [1].

d. Composition :

-Huile de base : 95 à 98% du volume. On utilise de l'huile diesel à de l'huile brute très asphaltique dont les caractéristiques les plus importantes sont :

- densité, - point éclair, - indice d'acidité, - point d'aniline.

- eau : 2 à 5% pourcentage à contrôler, permet d'adapter les caractéristiques générales de la boue à l'huile. Elle est émulsionnée.

- agents plastifiants : pour contrôler la filtration et la viscosité, on ajoute des produits tels que :

- asphalte soufflé, - argile organophile, - noir de fumée, etc. - agents émulsionnants et stabilisants. - agents fluidifiants. -Alourdissant :

- CaCO_3 , - BaSO_4 , - galène.

- agents de neutralisation de l'eau [1].

e. Avantages :

Les avantages de ce type de boues sont :

- Contrôle aisé des caractéristiques en l'absence de venues d'eau ou le brut.

- Insensibilité aux contaminants habituels des boues à base d'eau (NaCl , CaSO_4 , ciment, argile).

- Excellentes caractéristiques de filtration statique en température et pression, cake très mince.

- Forage à densité proche de 1.

- Réduction des frottements de la garniture sur les parois du puits d'où diminution du couple de torsion et de l'usure de la garniture.

- Augmentation de la durée de vie des outils à molettes.

- Suppression du collage par pression différentielle.

- Meilleure récupération en carottage.

- Carottes sur lesquelles il est possible de mieux approcher la valeur de la teneur et la nature de l'eau interstitielle.

- Augmentation, par rapport au forage en boue à l'eau, de la productivité.

- Moindres dommages à la formation [1].

f. Inconvénients :

Les inconvénients peuvent être :

- Sensibilité à l'eau et à certains bruts.
- Risque de sédimentation des alourdissements.
- Manipulation salissante.
- Risque d'incendie.
- Détérioration des caoutchoucs non spécifiques aux hydrocarbures.
- Difficultés pour déceler la présence d'huile dans les déblais.
- Certaines méthodes de diagraphies instantanées et différées ne sont pas applicables.
- Prix de revient au m³ plus élevé que les boues à l'eau [1].

II.4.2 Boue à émulsion inverse :**a. Définition :**

Ce sont des fluides de forage ou de complétion, constitués d'une phase continue huile et d'une phase dispersée aqueuse d'au moins 50% de volume [1].

b. Spécificités :

Les mêmes que les boues à l'huile mais permet de pallier certains inconvénients de celle-ci.

c. Utilisation :

Les même que les boues à l'huile :

- Grandes épaisseurs de sels ou d'anhydrite.
- Problèmes de forage haut température.
- Problèmes de déviation.
- Forage de faible température atmosphérique [1].

d. Avantages :

Les mêmes que la boue à l'huile mais en plus :

- Risques d'incendies moindres.
- Prix du m³ moins élevé.
- Traitement de surface plus facile.

Remarque : Ce type de boue est plus récent d'utilisation que la boue à l'huile et a pris pratiquement tout le champ d'application [1].

II.5 Les fluides de forage gazeux

La phase continue de ces fluides est constituée par des gaz qui peuvent être de l'air, de la mousse, ou du brouillard.

Différents fluides gazeux sont communément utilisés de sorte qu'on distingue :

- ✓ Le forage à l'air.
- ✓ Le forage à la mousse.
- ✓ Le forage à la boue aérée.

II.5.1 Forage à l'air :

Depuis quelques années cette technique s'est développée et a notamment été mise en œuvre sur certains puits en Algérie, France, Espagne et en Iran.

A l'origine le fluide en circulation est uniquement un gaz, généralement de l'air, parfois un gaz naturel produit sur le champ à développer.

II.5.2 Forage à la mousse :

Comme nous venons de le voir, lorsqu'un débit d'eau supérieur à 500 litres/heure se manifeste dans le puits, le forage à l'air sec devient impossible. Il faut faire appel au forage à la mousse. Cette mousse est obtenue en combinant une injection d'air, de boue et d'un agent moussant.

a. Composition moyenne de la boue :

Eau :	1000 l
Bentonite :	25 à 30 Kg
Carbonate de sodium :	3 Kg
CMC à haute viscosité :	1.5 Kg

b. Agents moussants :

Ils peuvent être de plusieurs types. CECA-SA préconise la Foramousse D et le Foramousse S.

- **Foramousse D** : C'est un complexe de surfactifs anioniques et non-anioniques, biodégradable. C'est un liquide de couleur ambrée. Il est utilisé à raison de 5 à 15 litres par m³ de boue, avant injection. Utilisé lorsque l'eau de la formation est douce.

- **Foramousse S** : Ce produit se présente comme le Foramousse D, il s'utilise de la même manière et dans les mêmes proportions : Il est utilisé lorsque l'eau de la formation est salée.

c. Air :

Le débit d'air nécessaire sera fonction du diamètre et de la profondeur du puits. Il est environ 10 fois moins important que celui nécessaire par le forage à l'air [3].

Inconvénients : Mousse stable donc pratiquement impossible de la traiter en surface en continu. Les applications ont été réservées aux zones désertiques [1].

II.5.3 Forage à la boue aérée :

Lorsque le forage à l'air s'avère impossible et que des niveaux à pertes importants ou des réservoirs à faible pression doivent être forés, il est possible d'utiliser une boue à base d'eau aérée. Cette pratique permet de conserver une partie des avantages du forage à l'air tels que vitesse d'avancement et faible usure des outils tout en permettant de contrôler les venues [3].

II.6 Les fluides de forage à base d'eau (WBM) :

Ces fluides sont souvent désignés par "Water Based Mud" ou **WBM**. Ils sont dans la plupart des cas constitués par des suspensions de bentonites dans l'eau (30 à 60 g/l) dont les caractéristiques rhéologiques et de filtration sont souvent ajustées par des polymères. La nature des électrolytes et leur concentration dans les formulations de boues à l'eau sont choisies en prenant en compte les caractéristiques de la formation (activité de l'eau des formations argileuses, dissolution des formations salines).

Parmi les additifs on peut trouver I) des **viscosifiants** : argiles naturelles (souvent des bentonites), polymères synthétiques ou biopolymères; II) des **réducteurs de filtrat** servant à consolider le cake de filtration pour limiter l'invasion par le fluide : amidons, carboxyméthylcellulose ou CMC, celluloses polyanioniques (PAC), ou résines ; III) des **inhibiteurs de gonflement** et de dispersion des argiles : KCl, glycérol, silicates ou divers polymères comme le polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHPA), les polyalkylène glycols (PAG) ; IV) des agents **alourdissants** comme la barytine ("barite" ou sulfate de baryum BaSO_4) et la calcite (carbonate de calcium CaCO_3) qui sont les plus utilisés pour assurer à la boue une densité convenable [6].

II.6.1 Les boues douces :

Ces boues sont principalement constituées par une suspension colloïdale d'argile, précisément, la bentonite sodique dans l'eau. Vu les caractéristiques rhéologiques intéressantes procurées par ces suspensions bentonitiques (viscosité, thixotropie, filtrat), elles sont considérées comme base pour la formulation de la boue douce.

Néanmoins, selon le cas de la traversée ou non des formations plus au moins réactives, comme les terrains argileux ou très dispersibles, la stabilité de ces mêmes caractéristiques deviendra de plus en plus difficile à contrôler.

Généralement, le pourcentage nécessaire en bentonite varie de 3 à 10 % en poids en fonction des divers traitements appliqués à la boue bentonitique simple afin de stabiliser ou encore contrôler ses caractéristiques au cours du forage. Une classification en résulte, suivant la nature des composés ajoutés pour la traiter :

- ◆ boues douces simplifiées.
- ◆ boues douces au FCL (lignosulfonate de ferrocchrome).
- ◆ boues calciques.
- ◆ boues de forage à faible teneur en solides [7].

a. Boue douce simplifiée :

Elle est utilisée pour les faibles et moyennes profondeurs, possédant des caractéristiques rhéologiques élevées et un filtrat relativement faible.

En général, ces boues couvrent la boue bentonitique. Notons que selon les traitements en agents réducteurs de filtrat, afin d'améliorer l'aspect fluidifiant de la boue, une autre classification en découlera :

✦ Boue bentonitique traitée à la CMC (carboxyméthylecellulose) :

Ce type de boue est utilisé pour le forage des terrains perméables et calcaires peu consolidés.

✦ Boue bentonitique traitée avec des fluidifiants (tanin, lignite, FCL) et de la soude :

Cette formule est utilisée, à de faibles et moyennes profondeurs, lorsqu'on désire obtenir une boue ayant des caractéristiques rhéologiques faibles ou moyennes et un filtrat relativement réduit. Elle est utilisée pour le forage de formation argileuse relativement consolidée et peu ou moyennement dispersible. Elle présente une bonne résistance à de faibles contaminations par les ions (Cl⁻) ou (Ca⁺⁺).

Dans le cas d'une contamination par le cation (Ca^{++}), le traitement est complété par des carbonates de soude qui éliminent les ions de calcium sous formes de carbonate de calcium insoluble.

✦ **Boue bentonitique traitée par des fluidifiants, de la soude et un réducteur de filtrat (amidon, CMC, PAC) :**

Cette formule peut conduire à des boues douces ayant un assez large domaine d'utilisation, notamment, lorsqu'on traverse des terrains salés, des formations d'anhydrites de gypses argileux ou marneux qui ont tendance à charger la boue ou à se déliter [7].

b. Boues douces au FCL :

Généralement les boues douces au FCL peuvent se définir comme étant des suspensions bentonitiques dont l'état colloïdal est amélioré et protégé par un produit à base de lignosulfonate de ferrocrome (FCL). Eventuellement, la protection de cet état colloïdale peut être renforcée par un colloïde organique (CMC généralement) ou un produit à base de lignite chrome (LC) ou les deux produits à la fois.

Les produits (FCL) ou (LC) sont légèrement acides et leur utilisation nécessite souvent un complément de soude caustique pour maintenir un pH compris entre 9 et 10,5.

Les boues douces aux FCL ont les propriétés suivantes :

- ❖ Très stables vis-à-vis des contaminants chimiques (NaCl , CaSO_4 , CaCl_2) et des températures élevées.
- ❖ Bonnes résistances aux charges argileuses apportées par les terrains.
- ❖ Bon pouvoir inhibiteur vis-à-vis des formations argileuses forcées.
- ❖ Bonnes propriétés de filtration même en régime dynamique.
- ❖ Facilité de conversion en boue salée ou en boue au gypse.

Le domaine d'utilisation de la boue au FCL ou FCL/FC est très large. Il couvre pratiquement tous les fluides de forage à base d'eau. Néanmoins, dans le cas de forage d'importantes sections d'anhydrites, de gypses, d'argiles et de marnes, il peut être préférable, tant sur le plan technique qu'économique, d'utiliser des fluides à base de sel de calcium (boue au gypse ou à la chaux).

Remarque : la présence de métaux lourds (Fe, Cr) dans ces composés rend leur utilisation de mauvais augure, surtout avec les tendances actuelles pour la préservation de l'environnement [7].

c. Boue calcique (boue à la chaux et boue au gypse) :

Les deux type de boue calciques les plus utilisées sont :

- Les boues à la chaux.
- Les boues au gypse.

❖ Boue à chaux :

Ce type de boue qui fut très utilisé a marqué une étape importante dans le développement de la technique des boues de forage. Actuellement on lui préfère souvent la boue au gypse ou aux dérivés ligneux.

Propriétés : Le calcium ajouté à la boue sous forme de chaux éteinte provoque un échange de base et transforme les argiles sodiques en argiles calciques et/ou conserve la forme calcique aux argiles forées.

Cette propriété permet de maintenir en suspension une quantité de solides argileux plus importante, à viscosités égales [5].

❖ Boue au gypse :

C'est une boue bentonitique à pH inférieur à 11, sursaturée en sulfate de calcium (5 à 10 fois la saturation de la phase liquide) dont les caractéristiques rhéologiques sont contrôlées aux lignosulfonates.

La mise au point des lignosulfonates a permis la mise en œuvre de ce type de boue d'un entretien plus aisé que les boues à la chaux et d'une sensibilité moindre aux contaminants.

Propriétés : Cette boue possède les propriétés dues à la présence de sels de calcium que nous avons vues pour les boues à la chaux. Les faibles alcalinités permettent de minimiser la "fragilisation" de l'argile du puits par les ions OH^- .

La présence de lignosulfonate de ferrocrome ou lignosulfonate de fer renforce l'action inhibitrice du fluide et lui donne une résistance à la température que ne possèdent pas les boues à la chaux.

Jusqu'à 60 à 70 g/l de NaCl la contamination n'est pas très marquée [5].

d. Boue de forage a faible teneur en solides :

Comme nous le verrons la vitesse d'avancement des outils de forage est fortement affectée par la teneur en solides. Aussi depuis quelques années, lorsque la tenue des formations le permet, les boues à faible teneur en solides ou l'eau sont utilisées.

Une boue classique contient plus de 7% de solides, aussi par boue à faible teneur en solides désigne-t-on les boues dont la teneur en solides est comprise entre 1 et 7%. A moins de 1% c'est de l'eau [5].

II.6.2 Les boues à base d'eau salées :

Elles sont apparues fortuitement lors d'un forage avec une boue à base d'eau douce, et cela en traversant des formations salifères. Néanmoins, cette auto saturation a causé des problèmes tels que, floculation de la bentonite, accroissement des viscosités, important cavages et éboulements. On a paré à ces problèmes en formulant des boues spécifiques aux milieux salés et alcalins, en ajoutant du NaCl à différentes concentrations, limitant ainsi la salinité instituant et en remplaçant la bentonite par d'autres colloïdes tels que la sépiolite et l'attapulgitite (stable en milieux salés). On classe les boues salées en deux catégories :

II.6.2.1 Boue salée non saturée :

Elles présentent une teneur en NaCl de 25 à 150 g/l. L'eau de base utilisée en général est celle du gisement. Toutefois, l'orientation actuelle nous amène aux boues à l'eau de mer dont la composition est représentée sur le tableau suivant :

Tableau II.1 : Composition de l'eau de mer.

Constituants	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
Mer du nord (mg/l)	10082	761	1324	377	18363	2763
Méditerranée (mg/l)	11706	264	1310	441	20527	2943
Atlantique (mg/l)	10860	669	1342	436	20250	2835

Composition et rôles des constituants :

- Eau de mer comme fluide de base
- Soude et/ou carbonate de sodium (précipité le Ca⁺⁺, activer les colloïdes .etc.)
- Argile pour boue salé (obtenir les caractéristiques rhéologiques)
- Bentonite (pour le contrôle de la filtration)

- C.M.C (pour le contrôle de la filtration)
- F.C.L (pour la fluidification, réduction de filtrat, inhibition de gonflement des argiles)
- L.C (pour renforcer l'action du F.C.L)
- Anti-mousse
- Inhibiteur de corrosion [3].

II.6.2.2 Boue salée saturée :

a. Principe :

Ces boues sont utilisées pour éviter le cavage du sel foré. Leur teneur en NaCl est telle que l'argile s'y trouve disposé essentiellement sous forme sodique, bien qu'il ait souvent une teneur en Ca^{++} soluble importante (2000 à 4000 mg/l sont courants au Sahara). Dans les conditions normales, la chaux ajoutée est sans effet sur les réactions d'échange de base et agit seulement par adsorption sur la surface de l'argile, modifiant par-là forme et hydratation (eau d'imbibition) de la particule et donc rhéologie et filtrat de la boue.

Les principales utilisations de ces boues salées sont :

- pour les formations salifères.
- utilisation quasi systématique en off-shore.
- pour certains problèmes particuliers d'exploration (protection d'une couche par l'utilisation d'eau de gisement) [1].

Nous pouvons rencontrer trois types de boues salées saturés :

- La boue salée saturé sans amincissant
- La boue salée saturé avec amincissant minéraux
- La boue salée saturé avec amincissant organiques [3].

b. Composition :

Eau :	1 m ³ .	Sel (NaCl) :	350 kg.
Amidon :	25 à 35 kg.	Chaux :	5 à 10 kg.
Attapulgate :	50 à 80 kg.		

c. Caractéristiques :

Alcalinité pH : 8,5 à 9,5

Alcalinité Pf : 0

Alcalinité Pb : 2 à 6

Ca⁺⁺ : 2000 à 4000 mg.

Densité > 1.2

Viscosité Marsh : 45 secondes

Viscosité apparente : 25 cPo

Filtrat API : 4 cm³.

Du fait de la sensibilité au bullage, il est bon de prévoir 1 à 2 % d'anti-mousse.

Cadence de fabrication : 10 à 15 m³/h **[1]** et **[3]**.

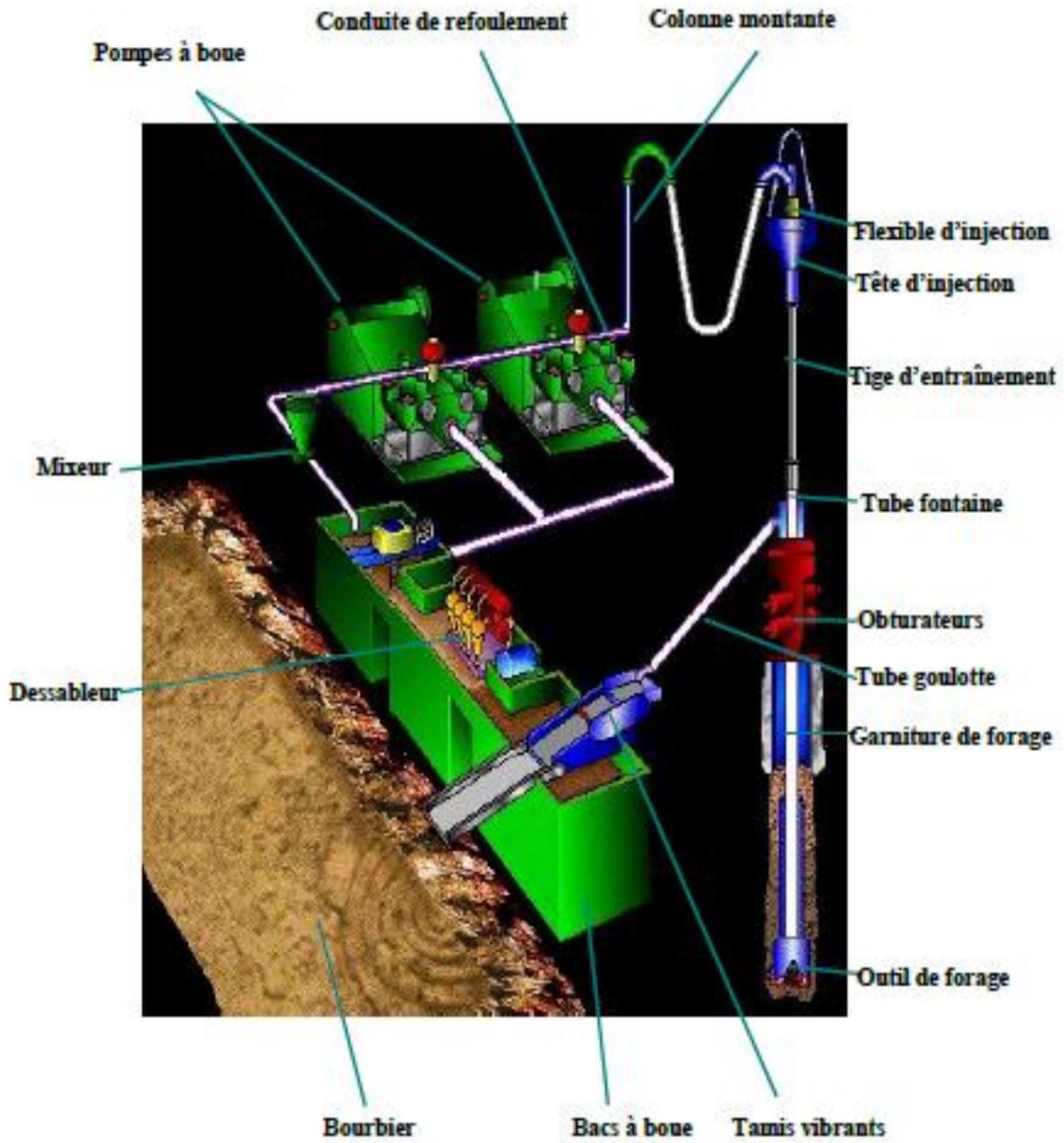


Fig 2.1 : Circuit à Boue[22].

CHAPITRE III :
CARACTÉRISTIQUES
PHYSICO-CHIMIQUES
DES FLUIDES DE
FORAGE

III.1 Introduction :

Les caractéristiques physiques des boues (densité, rhéologie, filtration etc...) sont directement ou indirectement liées à la présence de corps solubles ou insolubles dans la boue. Il en découle la nécessité de contrôler chimiquement la présence et la concentration de ces corps. Ils peuvent provenir de la formation forée (chlorures, sulfates, carbonates, gaz carbonique ou sulfureux etc...) ; dans ce cas ils joueront le rôle de contaminants. Ils peuvent être additionnés volontairement dans le cadre d'un type de boue donné (boue salée saturé, boue au gypse, boue à la chaux etc...).

Dans tous les cas, le technicien des boues doit effectuer les mesures chimiques permettant de préciser les ions présents dans la boue et d'en connaître la concentration. Ceci permet de déceler la nature des contaminations, de définir le traitement et/ou de contrôler l'équilibre chimique des boues.

III.2 Caractéristiques physiques des fluides de forage :**III.2.1 Densité et masse volumique :**

La densité est le rapport de la masse volumique d'un corps à la masse volumique d'un corps de référence dans des conditions qui doivent être spécifiées pour les deux corps (l'eau à 4°C pour les liquides et les solides et l'air pour les gaz). Elle s'exprime par un nombre sans dimension.

La masse volumique est le rapport de la masse d'un corps à son volume dans des conditions définies de pression et température. Elle s'exprime en grammes par centimètre cube ou en kilogrammes par mètre cube dans le système décimal.

La densité des boues de forage se mesure à l'aide d'un densimètre dont le principe est analogue à celui de la balance romaine à curseur. Ces densimètres permettent de lire directement les densités (ou specific gravity) ou les masses volumiques ou « density » en livre/gallon et livre par cubic/feet et les pressions exercé par la colonne de boue en PSI pour 1000 feet.

Dans la pratique, il est aussi utilisé très souvent le « point » qui est le centimètre d'unité de densité.

L'alourdissement des boues s'effectue généralement à l'aide de sulfate de baryum ou barytine, à l'aide de carbonate de calcium ou à l'aide de sulfure de plomb ou galène.

Barytine	: 4,3	Argile	: 2,5
Carbonate de calcium	: 2,7	Gypse	: 2,2
Galène	: 6,8	Dolomie	: 2,8
Ciment	: 3.3	Sel (NaCl)	: 2,17

Tableau III.1 : Donnant la densité de quelque constituant

Alourdissement : Avant d'alourdir une boue il faut d'abord connaître le tonnage alourdissent nécessaire, ce qui peut être déterminé par la formule simple suivante.

$$x = \frac{df - di}{da - df} da$$

Ou :

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

df= densité finale à obtenir

di= densité initiale de la boue à alourdir

da= densité de l'alourdissement.

L'addition d'alourdissement dans une boue augmente le volume de boue et il faudra s'assurer que l'on dispose de suffisamment de place dans les bacs de stockage. On peut déterminer cette augmentation de volume en appliquant le calcul ci-dessous :

$$\text{Augmentation de volume en mètre cube} = \frac{\text{tonnes d'alourdissement}}{\text{densité de l'allourdissement}} \quad [2].$$

Allègement : Il est parfois nécessaire de diminuer la densité de la boue par addition d'eau, de boue légère ou d'huile. Le volume de fluide nécessaire à l'allègement de l'unité de volume de boue à alléger peut être déterminé à l'aide du mode de calcul suivant :

$$V = \frac{di - df}{df - dl} v$$

Ou :

V=volume en m³ de fluide à ajouter par m³ de boue à alléger.

di= densité initiale de la boue à alléger

df=densité finale souhaité

dl=densité du fluide léger

v=volume initiale [5].

III.2.2 Rhéologie :

La rhéologie étudie la déformation des matériaux (cas des solides) ou leur écoulement (cas des liquides) sous l'effet d'une contrainte. Une force appliquée à un corps lui fait subir une déformation. Pour un solide, il y'aura déformation élastique si le corps revient à son état premier dès qu'on cesse d'appliquer cette force c'est le cas de l'élastique que l'on étire) ou déformation plastique s'il revient à son état premier sous l'action d'autres forces (c'est le cas de la boule de mastic que l'on déforme). Pour un fluide, l'action d'une force donne un écoulement [9].

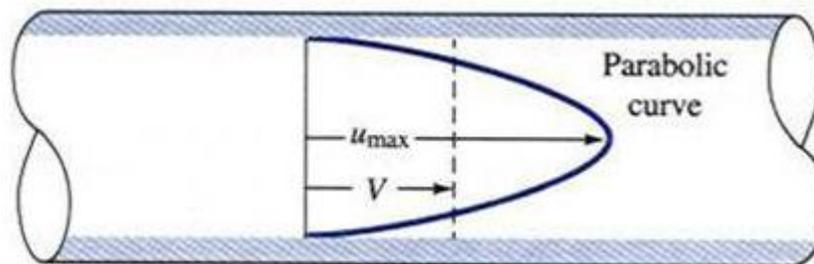
Régimes d'écoulement :

a) Régimes permanents où l'écoulement est parfaitement établi :

L'écoulement y est parfaitement établi. Parmi ceux-ci se classent :

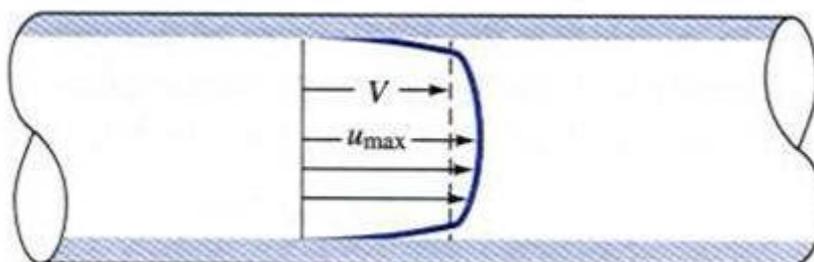
- Régime laminaire (laminar flow) :

Dans le quelle chaque lame de fluide se déplace l'une par rapport à l'autre parallèlement à la direction de l'écoulement, avec une vitesse propre ; pour l'écoulement dans un tube cylindrique, la vitesse est maximal le long du tube ; elle est nulle à la paroi s'il n'y a pas de glissement ;



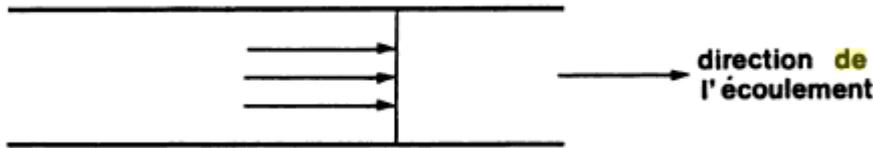
- Régime turbulent (turbulent flow) :

Caractérisé par la formation de petits tourbillons répartis dans toute la masse du liquide ;



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

Où le fluide se déplace le long du tube comme un bouchon. Le long d'un rayon, la vitesse est constante.



L'écoulement en bouchon n'existe que pour certain catégorie de fluide : une suspension de bentonite (fluide plastique) peut s'écouler en bouchon, contrairement à l'eau, au gas-oil, ou à une solution de glycérine... [9].

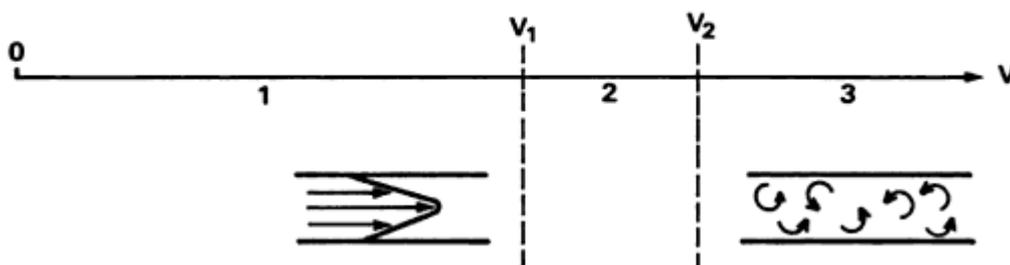
b) Les régimes transitoires :

Les conditions de l'écoulement viennent d'y être modifiées et le régime n'y est pas encore établi. Le régime est transitoire, par exemple, pendant la mise en vitesse du fluide, lors d'un changement de débit, lors d'un changement de section, etc.

c) Changement de régime avec la vitesse moyenne de circulation :

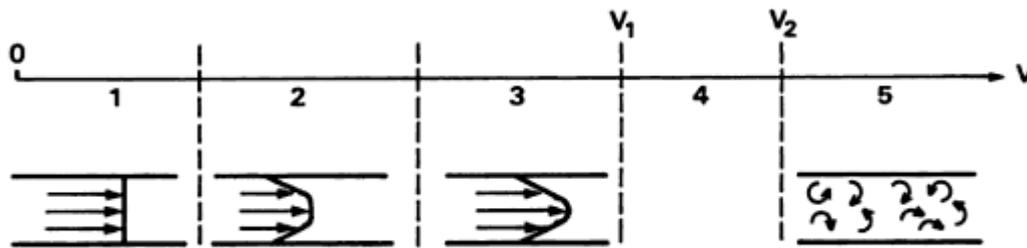
Pour un fluide de caractéristique donné circulant dans un tube cylindrique rectiligne de géométrie donnée, on aura, en fonction de la vitesse moyenne d'écoulement V (vitesse d'écoulement du fluide) :

Fluide ne présentant pas l'écoulement en bouchon :



1. Régime laminaire (permanant)
2. Zone de transition laminaire-turbulent.
3. Régime turbulent (permanent en moyen).

Pour un fluide présentant l'écoulement en bouchon :



1. Écoulement en bouchon (permanent)
2. L'épaisseur du noyau centrale diminue quand V augmente (transitoire).
3. Régime laminaire (permanent).
4. Zone de transition laminaire-turbulent.
5. Régime turbulent (permanent en moyenne).

V_1 : représente la vitesse critique correspondant à la fin du régime laminaire ;

V_2 : représente la vitesse critique correspondant au début du régime turbulent.

Remarque : l'expression « régime transitoire » a un sens plus large que « zone de transition laminaire-turbulent » [9].

III.3 Caractéristiques rhéologiques :

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

- a. Par leur comportement en régime transitoire représenté par le temps de réponse aux modifications d'écoulement.
- b. Par leur comportement en régime laminaire caractérisé par la courbe d'écoulement expérimentale ou rhéogramme. Les coefficients constants de l'équation d'écoulement représentant cette courbe sont les paramètres rhéologiques, caractéristique du fluide.

L'équation d'écoulement relie, en régime laminaire, la tension de cisaillement τ et le taux de cisaillement $\dot{\gamma}$ (ou vitesse de cisaillement ou vitesse de déformation,). Pour un fluide donné, elle dépend de la pression et de la température.

Ainsi qu'il a déjà été noté, en régime laminaire, le fluide est cisailé parallèlement à la direction de l'écoulement en lames se déplaçant à une vitesse propre. On peut donc définir :

Un taux de cisaillement (shear rate) tel que :

$$\dot{\gamma} = \frac{dV}{dr} = \frac{\text{Différence de vitesse entre 2 lames voisines}}{\text{Distance entre les 2 lames}}$$

L'équation de dimension de $\dot{\gamma}$ est :

$$\frac{LT^{-1}}{L} = T^{-1}$$

Soit l'inverse du temps. $\dot{\gamma}$ s'exprime en seconde⁻¹ (s⁻¹ ou 1/s).

Une tension de cisaillement (shear stress),

Force par unité de la lame qui provoque le cisaillement.

L'équation de dimension de τ est :

$$\frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}$$

Soit une pression.

Pour un taux de cisaillement spécifié, on définit la viscosité apparente (μ_a) telle que :

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Dans cette formule, τ est la tension de cisaillement correspondant à.

L'équation de dimension de μ_a est $\dot{\gamma}$:

$$\frac{ML^{-1}T^{-2}}{T^{-1}} = ML^{-1}T^{-1}$$

Soit une viscosité.

μ_a s'exprime, dans le système CGS en poise (P). Généralement, on utilise un sous-multiple : la centipoise (cP).

On considère souvent la tension, le taux de cisaillement, la viscosité apparente à la paroi du solide dans lequel se produit l'écoulement.

Par leur comportement au repos, représenté par le développement d'un gel en fonction du temps, s'ils sont thixotropes.

Un fluide thixotropes si :

- Laissé au repos après agitation, il se transforme en gel ;
- Il retrouve son état initial après une nouvelle agitation.

La thixotropie est un phénomène réversible (à température et pression constantes) [9].

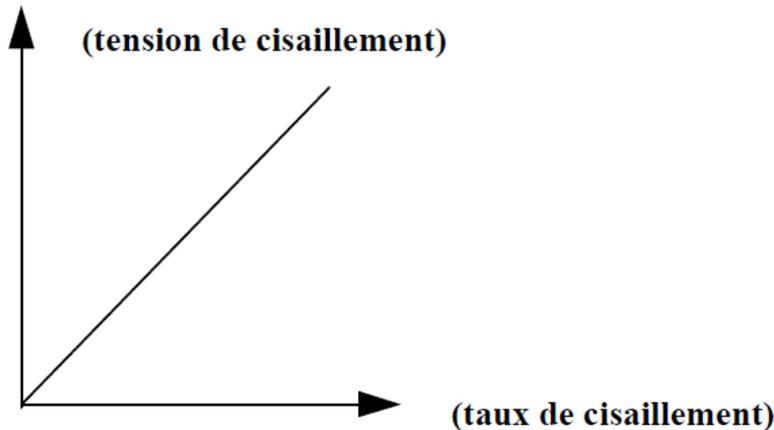
III.3.1 Equations rhéologiques :

III.3.1.1 Fluides newtoniens :

Pour ces fluides, la tension de cisaillement est directement proportionnelle au taux de cisaillement ; si l'un double l'autre double également. L'équation rhéologique est :

$$\tau = \mu_a * \dot{\gamma}$$

En coordonnées cartésiennes, on a la représentation suivante :



La courbe est une droite passant par l'origine, le fluide se met en mouvement dès qu'une force supérieure à zéro lui est appliquée.

Ce type de fluide est représenté par l'eau, le gas-oil.

Pour un fluide newtonien, le rapport $\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ est constant à température et pression constantes : c'est la viscosité.

III.3.1.2 Fluides non newtoniens :

Nous ne retiendrons que les deux types de fluides non newtoniens les plus fréquemment rencontrés dans les fluides de forage et les laitiers de ciment :

- Les fluides binghamiens
- Les fluides "en puissance"

III.3.1.3 Fluides binghamiens :

Pour les fluides plastiques binghamiens, la tension de cisaillement varie linéairement avec le taux de cisaillement mais, à la différence des fluides newtoniens, il est nécessaire d'appliquer une force minimale pour mettre le fluide en mouvement.

Cette force correspond à la tension limite de cisaillement ou yield value ou yield point.

Ces fluides sont caractérisés par deux constantes :

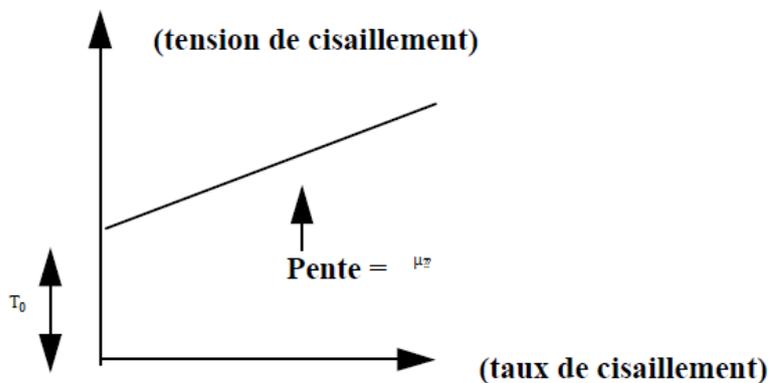
τ_0 : Tension limite de cisaillement qui correspond à la force minimale pour provoquer l'écoulement.

μ_p : Viscosité plastique qui correspond au rapport de la variation de la tension de cisaillement à la variation correspondante du taux de Cisaillement, autrement dit à la pente de la courbe représentant τ en fonction de $\dot{\gamma}$.

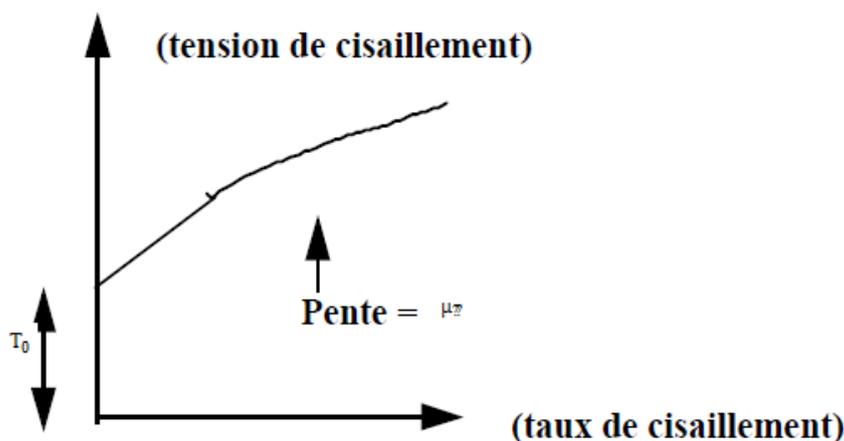
Théoriquement l'équation d'écoulement est :

$$\tau = \tau_0 + \mu_p * \dot{\gamma}$$

La courbe représentant cette fonction est, en coordonnées cartésienne.



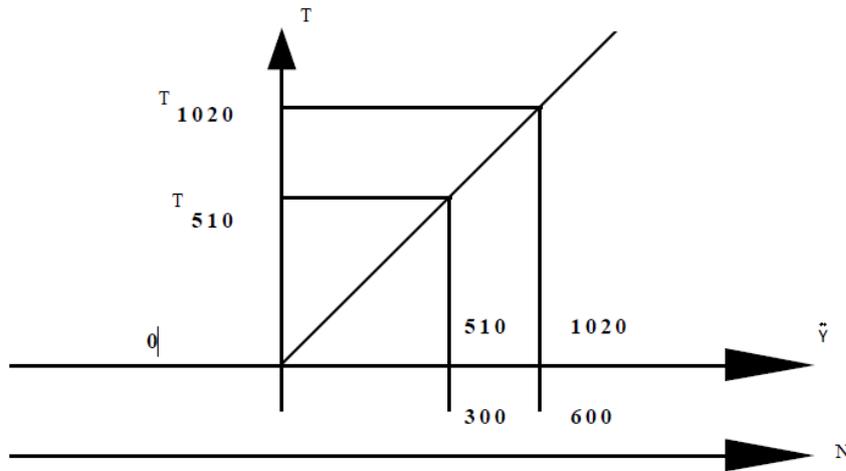
L'expérience montre que de nombreux fluides ne répondent pas exactement à une telle loi mais que leur courbe d'écoulement, surtout aux faibles taux de cisaillement s'écarte plus ou moins de la courbe théorique et à l'allure suivante [9].



b. Déterminations de la viscosité plastique μ_p et de la yield value

Ces déterminations se font à l'aide du viscosimètre Fann selon la norme de l'API qui considère les valeurs de la tension de cisaillement τ_{1020} correspondant au taux de cisaillement

$\tau_2 = 1020 \text{ s}^{-1}$ (vitesse de rotation de 600T/mn) et de la tension de cisaillement τ_{510} correspondant aux taux de cisaillement $\tau_1=510\text{s}^{-1}$ (vitesse de rotation de 300T/mn);[9]



Détermination de la viscosité plastique μ_p :

En unités cohérentes, on a :

$$\mu_p = \frac{\tau T_{1020} + \tau T_{510}}{1020 - 510}$$

Si μ_p est exprimée en centipoise on a :

$$\mu_p = \frac{5.1(\theta_{600} - \theta_{300})}{1020 - 510} \times 100 = \theta_{600} - \theta_{300}$$

Soit μ_p (cP) = lecture Fann 600 t/min – lecture Fann 300t/min

Détermination de la yield point τ_0 :

Selon la figure précédente, on voit que :

$$\tau T_0 = T \tau_{1020} - 2(\tau T_{1020} - \tau T_{510})$$

Soit, si τ_0 est exprimée en livres/ 100 pied carrée et, en tenon compte des formules précédente :

$$\begin{aligned} \tau T_0 &= \theta_{600} - 2(\theta_{600} - \theta_{300}) \\ &= \theta_{600} - 2\mu_p \\ &= 2(\mu_a - \mu_p) \end{aligned}$$

III.3.1.4 Fluides en puissances « pseudo plastique d’Ostwald » :

Comme pour les fluides newtoniens, les fluides pseudo-plastiques d’Ostwald se mettent en mouvement dès qu’on leur applique une force de cisaillement aussi faible soit-elle, mais à leur différence, la tension de cisaillement n’est pas proportionnelle au taux de cisaillement. Elle est proportionnelle a la puissance n^{ième} de celui-ci, d’où l’appellation également utilisé de « fluide en puissance ».

L’équation d’écoulement est :

$$\tau = k \dot{\gamma}^n$$

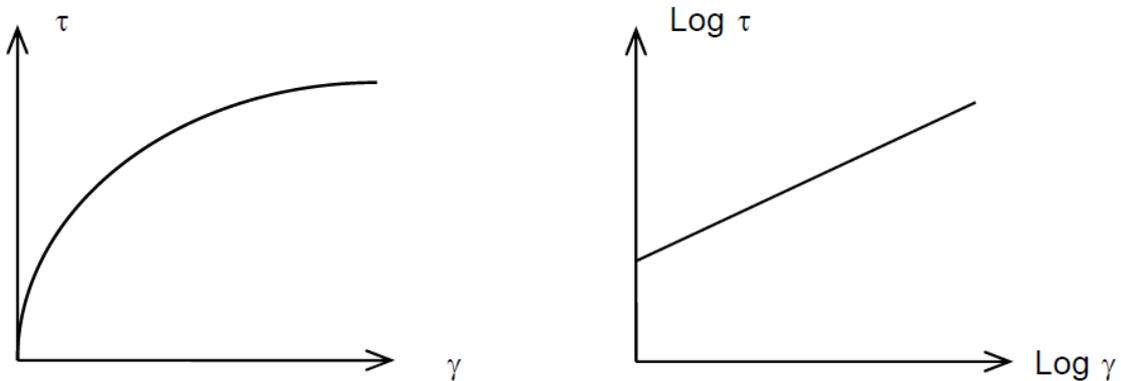
Dans cette équation, on a :

K = indice de consistance en dynes secⁿ/cm² ou en lb secⁿ/100ft²

n = indice de comportement rhéologique ou power Law index < 1, sans dimension.

Pour n=1 on retrouve l’équation d’écoulement d’un fluide newtonien de viscosité k.

Les figures ci-dessous donnent la courbe d’écoulement d’un fluide d’Ostwald en coordonnées cartésiennes et en coordonnées logarithmiques.



Indice de consistance et indice rhéologique :

En coordonnées logarithmiques : la courbe d’écoulement et la droite d’équation

$$y = \log k + nx \quad \text{Avec} \quad y = \log \tau \quad \text{et} \quad x = \log \dot{\gamma}$$

L’indice rhéologique n représente donc la pente de cette droite et l’indice de consistance k est donné par le point de rencontre de la courbe d’écoulement avec l’axe correspondant à $\dot{\gamma}=1$

$$n = \frac{\log \tau / \tau + \log \tau' / \tau'}{\log \dot{\gamma} - \log \dot{\gamma}'} = \frac{\log \tau / \tau'}{\log \dot{\gamma} / \dot{\gamma}'} \quad [9].$$

III.4 La filtration :

Le mécanisme de la filtration peut être schématisé de la manière suivante :

Nous avons d'une part une formation poreuse et perméable et d'autre part une suspension argileuse dans de l'eau qui sous l'effet d'une pression différentielle tendra à pénétrer dans la formation.

Si toutes les particules de la boue sont plus petites que les pores du milieu perméable. Toute la suspension traversera le milieu perméable.

Ce cas extrême est entre autres celui des pertes de circulation. Si une partie des particules est plus grosse que les pores du milieu perméable. Elle sera retenue tandis que le liquide et les particules les plus fines pénétreront dans la formation.

Après un temps plus ou moins long les particules les plus fines colmateront le dépôt déjà formé par les particules grossières et ainsi sera formé un film plus ou moins imperméable qui laissera filtrer peu ou pas de phase liquide. Ce phénomène est appelé *filtration*, le liquide qui passe *filtrat* et le dépôt solide sur la paroi *cake*.

Si toutes les particules sont plus grosses que les pores du milieu perméable, seul le liquide ou filtrat pénètre dans la formation. Ce cas diffère peu du précédent car c'est la perméabilité du cake qui intervient dans la valeur de filtration et non pas celle de la formation.

En pratique les opérations de mise en production, de diagraphies différées dans les puits montrent que la phase liquide de la boue et parfois la boue elle-même envahit les formations perméables sur un rayon plus ou moins important.

On schématise ces phénomènes au laboratoire par filtration de la boue sur un milieu filtrant standard constitué par un papier filtre normalisé (API).

Ce phénomène a été étudié et, pour en déterminer les lois, ***on applique la Loi d'écoulement de Darcy***, le milieu perméable étant constitué par le cake [5].

III.4.1 Rôle de la filtration :

Les phénomènes de filtration de la boue sont extrêmement importants car ils conditionnent en partie :

- La vitesse d'avancement du forage.
- La tenue des terrains forés.
- L'envahissement des couches perméables [5].

III.4.1.1 Vitesse d'avancement du forage :

En maintenant constants les paramètres de forage, on constate que dans bien des cas, en particulier dans les formations marneuses, perméables ou mal consolidées, la vitesse d'avancement est plus importante avec des filtrats élevés.

Ceci s'explique du fait que le filtrat aide à la désagrégation des roches et facilite ainsi le travail de l'outil. Malheureusement, comme nous allons le voir, des valeurs élevées de filtrat ne sont pas compatibles avec d'autres impératifs plus importants [5].

III.4.1.2 Tenue des terrains :

S'il n'y a pas ou peu de problèmes de ce type au droit de formations consolidées (grès ou calcaire) il n'en est pas de même dans des zones mal consolidées telles que marnes et sables par exemple. L'invasion de telles zones par un filtrat important créera une instabilité des parois du fait de l'hydratation des marnes et argiles ou du délitage des sables.

De plus, à un filtrat élevé correspond un cake épais qui en réduisant le diamètre du sondage peut créer en manœuvre des surpressions et/ou dépressions nuisibles à la tenue du forage et à l'équilibre des couches. Un cake épais possède de mauvaises caractéristiques mécaniques qui rendent aisée sa destruction par les manœuvres et rotation de la garniture. Il ne remplit donc plus son rôle de consolidation des parois.

Enfin un cake épais rend difficile la réalisation de cimentations de bonne qualité derrière les *tubages* mis en place [5].

III.4.1.3 Envahissement des couches perméables :

Il faut considérer le cas d'envahissement de couches perméables contenant ou non des hydrocarbures. Si la couche ne contient pas d'hydrocarbures, l'invasion par le filtrat n'a, en plus des inconvénients déjà signalés, (tenue des terrains) que celui de gêner l'interprétation de certaines diagraphies différées.

Si la couche contient des hydrocarbures liquides, l'invasion par le filtrat contenant une certaine quantité de particules colloïdales provoque une réduction de la perméabilité effective à l'huile pour les raisons suivantes :

- Les matières colloïdales peuvent être adsorbées sur les parois solides ou être piégées dans les petits pores et ainsi réduire la section offerte au passage de l'huile.

- Le filtrat aqueux peut former, avec l'huile en place, des émulsions plus visqueuses que l'huile et réduire ainsi la mobilité de l'huile.
- La phase eau du filtrat peut enfin bloquer les pores en restant piégée sous forme de gouttelettes qui ne peuvent être déplacées par l'huile en raison de la tension inter faciale entre l'eau et l'huile et des forces capillaires qui résultent de la formation de ces interfaces.
- Enfin le filtrat (ayant une composition différente de l'eau interstitielle) peut faire réagir les particules argileuses en place dans la roche magasin.

Si la couche contient des hydrocarbures gazeux, les mêmes phénomènes peuvent se produire, à l'exception de la formation d'émulsion, toutefois les conséquences seront moins marquées en raison de la très faible viscosité du gaz et de la moindre importance des phénomènes inter faciaux gaz eau solide [5].

III.4.2 Concentration en sable :

En terminologie boues de forage, on désigne par sable les particules qui ne passent pas au tamis de 200 mesh, c'est-à-dire les particules dont la section est supérieure à 0,074 mm (74μ) [5].

III.4.2.1 Importance de la teneur en sable :

La présence de sable dans une boue a un effet abrasif sur tout le matériel au contact de la boue :

- circuit de surface, conduites, vannes.
- pompes volumétriques et centrifuges.
- garniture de forage, tiges, masse-tiges etc...
- outils de forage conventionnels, à jet ou diamant.
- turbine, carottier.
- Centrifugeuse.

De plus, une concentration élevée en sable augmente la densité de la boue et peut amener une sédimentation dans le puits pendant les arrêts de circulation.

Il est recommandé de maintenir la teneur en sable à moins de 1%. Ceci est possible en utilisant des cyclones appropriés et/ou par sédimentation dans les bacs de décantation ou par dilution [5].

III.4.3 Teneur en solides, en eau et en huile :

La connaissance de la concentration en solides, en eau et en huile d'une boue est d'une importance considérable, tout particulièrement dans les boues alourdis et dans les boues émulsionnées [5].

III.4.3.1 Importance de la teneur en solides :

Lorsque les caractéristiques de la boue doivent être modifiées ou ramenées aux valeurs prévues initialement, deux types de traitements sont toujours à envisager :

- 1) Un traitement chimique adapté qui sera déterminé après essais-pilote au laboratoire du chantier.
- 2) Un traitement par dilution permettant de réduire la teneur en solides de la boue.

En règle générale la première solution est la moins onéreuse, à condition qu'elle soit efficace rapidement car le facteur temps est un facteur économique de première importance. La seconde solution ne fait aucun doute sur le plan de l'efficacité mais son prix est souvent tel qu'il est nécessaire de s'assurer de sa nécessité avant mise en pratique (sauf dans les gros diamètres ou les volumes mis en jeu imposent cette solution).

C'est la teneur en solides, eau et huile qui nous permettra de prendre cette décision.

Sur une boue trop chargée en solides, les traitements chimiques sont soit inefficaces soit très temporaires.

D'autre part, lorsqu'une boue doit être alourdie, avant toute addition d'alourdissant, il est indispensable de s'assurer que la teneur en solides existante permet ce nouvel apport sans nuire aux caractéristiques rhéologiques et de filtration.

Lorsqu'une boue à émulsion inverse (la phase continue est de l'huile, la phase discontinue est de l'eau) le rapport eau-huile et la teneur en solides sont des caractéristiques primordiales pour le contrôle du fluide [5].

III.4.4 Emulsions :

Une émulsion peut être définie comme un système contenant deux phases liquides dont l'une est dispersée dans l'autre sous forme de fines gouttelettes. Dans les boues émulsionnées, c'est l'huile qui est dispersée dans l'eau. On appelle cela une émulsion directe (par opposition à l'émulsion inverse où c'est l'eau qui est dispersée dans l'huile).

Pourquoi ajoute-t-on de l'huile dans une boue à l'eau ? Les raisons sont succinctement les suivantes :

- Permettre le dépôt d'un cake fin et résistant et à grand pouvoir lubrifiant, ce qui réduit les frottements du train de tiges sur les parois du puits, d'où un poids plus élevé sur l'outil à lecture égale au drillomètre et une plus grande vitesse d'avancement.
- Alléger la boue grâce à la faible densité de l'huile (0,85).
- Imperméabiliser le cake et obtenir ainsi de plus faibles filtrats.
- Réduire la dispersion des argiles dans la boue et par là le volume des dilutions.
- Augmenter la durée de vie des roulements de l'outil par une meilleure lubrification de la boue.

Au-delà de 6 à 8% d'huile, la viscosité de la boue augmente très vite (surtout avec les bruts) et le pouvoir lubrifiant très peu. Aussi si l'on désire accroître le pouvoir lubrifiant, est-il préférable d'ajouter un agent tensio-actif à la concentration de 2 à 3% [2].

III.4.4.1 Principe et rôle des émulsions :

III4.4.1.1 Boue à émulsion directe BED :

Pour émulsionner une boue, on y ajoute de l'huile (gas-oil, fuel brut etc...) et parfois un agent émulsifiant. Les argiles et les colloïdes organiques étant eux-mêmes des émulsifiants de l'huile dans l'eau, si l'on ne désire pas une émulsion très fine il n'est généralement pas nécessaire de recourir à un produit spécial.

L'addition d'huile dans une boue s'effectue lentement, de l'ordre de 500 à 1000 litre à l'heure, directement dans le circuit.

Les concentrations d'huile usuellement employées se situent entre 5 et 12% en volume [5].

III4.4.1.2 Boue à émulsion inverse :

Contrairement aux émulsions directes, les émulsions eau dans huile nécessitent la présence d'émulsifiants puissants.

Le pourcentage d'eau peut atteindre 50% de la phase liquide dans ce type de boue.

Ce type de boue est utilisé parce que son filtrat est constitué uniquement par de l'huile, ceci permet de résoudre certains problèmes de forage et d'exploitation [5].

III.5 Caractéristiques chimiques des fluides de forage :

III.5.1 Alcalinité :

L'acidité est une mesure d'alcalinité qui est indiquée par le pH, toutefois la nature et la quantité d'autres ions tels que le carbonate ou le bicarbonate peuvent également affecter l'alcalinité de filtrats de boue. Pour des systèmes de boue d'eau douce ces ions peuvent être indicatifs de la stabilité rhéologique des tels systèmes de boue. La concentration de l'un ou l'autre ion peut avoir comme conséquence la viscosité élevée et diminuer le taux de cisaillement (limites élastiques) en augmentant la résistance progressive de gel. Trois méthodes peuvent être utilisées pour la détermination de la concentration en carbonate et en bicarbonate. La méthode très commun de Pf/MF est limité aux systèmes de boue ayant un bas contenu organique tandis que la méthode P1/P2 ou le train de gaz de Garrett peut être utilisée pour une meilleure, plus quantitative analyse, particulièrement dans les systèmes avec le contenu organique élevé [10].

III.5.2 pH :

III.5.2.1 Définition :

Le pH exprime l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse.

Nous pouvons définir un acide comme une substance qui se dissocie en solution aqueuse en donnant des ions hydrogènes H^+ , tandis qu'une base donne des ions hydroxyles OH^- . L'eau pure possède une conductivité très faible mais mesurable, égale environ au dix-millionième de celle d'une solution normale d'acide ou de base. Ceci suppose que l'ionisation de l'eau :



Produit des ions d'hydrogènes et des ions d'hydroxyle (à la concentration d'environ 10^{-7} N).

Au lieu de dire que la concentration de l'ion d'hydrogène dans l'eau est $1,00 \times 10^{-7}$ on a coutume de dire que le pH de l'eau est pure est 7.

Le pH est le logarithme décimale changé de signe, de la concentration des ions hydrogène.

Ou :

$$pH = -\log|H^+|$$

$$|H^+| = 10^{-pH} = \text{antilog}(-pH)$$

III.5.2.2 Mesure :

Pour déterminer le pH, la première méthode mise à notre disposition est celle des indicateurs colorés, basée sur décoloration de certaines substances organiques. Elle est peut précise mais souvent suffisante sur chantier.

Cette méthode consiste à mettre au contact de la boue ou du filtrat une bande de papier qui prend rapidement une certaine teinte qu'il faut comparer avec une gamme colorimétrique étalon pour obtenir la valeur du pH.

Ph mètre électronique : C'est un indicateur de concentrations en ions hydrogène avec le quelle en mesure le potentiel électrique d'une pile ou s'effectue une réaction faisant intervenir les ions H⁺.

III.5.3 Dosage de la chaux éteinte dans la boue :

Basé sur l'alcalinité de la boue, deux formules nous sont proposées pour déterminer la concentration de la chaux éteinte dans la boue. Ces calculs ne s'effectuent que dans le cas de boues à la chaux.

a) Formule de CHANEY :

$$\text{chaux en } \frac{g}{l} = 1,7(Pb - 1,3Pf - 1)$$

Avec : Pb= alcalinité (phénolphtaléine) de la boue

Pf=alcalinité (phénolphtaléine) du filtrat

b) Formule de WATKINS :

Cette seconde formule est plus précise que la précédente, elle fait intervenir la fraction liquide aqueuse de la boue.

$$\text{chaux en } \frac{g}{l} = 0,74(Pb - (F1 \times Pf))$$

Avec : Pb = alcalinité (phénolphtaléine) de la boue

Pf= alcalinité (phénolphtaléine) du filtrat

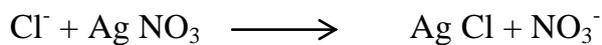
F1= fraction de la boue. C'est la mesure obtenue en distillant la boue, on en l'exprime en nombre décimale (exemple : Eau = 67% nous notons F1=0,67) [3].

III.5.4 Dosage des chlorures dans le filtrat :

Cette méthode normalisée (méthode de Mohr) consiste à dosé l'ensemble des chlorure présents dans le filtrat et à exprimer les résultats en chlorure de sodium. Ceci explique que dans certains cas, en présence de chlorures de calcium et magnésium par exemple le résultat obtenu exprimé en NaCl, atteint des concentrations supérieures à la solubilité du NaCl.

a) Principe : On précipite les chlorures sous forme des chlorures d'argent, en présence d'un indicateur, le chromate de potassium.

La réaction s'opère en deux temps :



Lorsque tous les chlorures sont précipités le chromate de potassium jaune est transformé en chromate d'argent rouge.

L'apparition de chloration rouge sera l'indication de l'approche de la fin du dosage.

La coloration persistante étant le terme du dosage.

Remarque :

Ce dosage doit être en milieu neutre car le milieu acide il y a dissolution du chromate d'argent et, en milieu alcalin il y a précipitation d'oxyde d'argent ou de carbonate d'argent. En pratique le filtrat étant neutre ou alcalin, on acidifie avec de l'acide nitrique puis on neutralise avec du carbonate de calcium.

L'addition d'acide nitrique a l'avantage de décolorer le filtrat, au moins partiellement [3].

III.5.5 Dosage des chlorures totaux dans la boue :

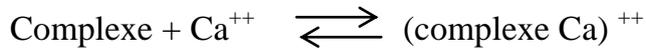
Une solution saturée en sel à température ambiante contient environ 318 g/l de NaCl, mais une boue salée saturé peut transporter de fine particules de sel non dissous et qui constitue ce que l'on appelle en terminologie boue le « sel en excès » ou « sel en réserve ».

Il est donc important de connaître la quantité totale de sel que contient la boue, pour savoir si l'on dispose d'une réserve de sel, permettent de maintenir la saturation à température élevé ou prévenant un ajout accidentel d'eau douce.

Principe : On dilue avec de l'eau distillé la boue à mesurer, dans un rapport donné avec la phase eau de cette boue. Après agitation pour dissolution totale des chlorures, on fait un filtrat sur lequel on dose.

III.5.6 Dosage quantitatif du calcium dans le filtrat :**Principe :**

La méthode au Versénate (qui est le sel disodique de l'acide éthylène-diaminetétracétique) est basé sur la formation de complexe stable avec les ions Ca^{++} et Mg^{++} .



Le dosage s'opère à pH 12 environ en présence de MUREXIDE qui vire du rouge au bleu.

III.5.7 Dosage du magnésium dans le filtrat :**Principe :**

La méthode au Versénate utilisée pour le calcium est à nouveau mise en œuvre. Le dosage effectué nous donne calcium plus magnésium. C'est par différence avec les résultats obtenue que nous obtenions la concentration en magnésium.

La mesure s'effectue en milieu tamponné par une solution ammoniacale, en présence de comprimé Merck qui vire au vert [3].

III.5.8 Dosage du potassium dans le filtrat :

Principe : Après avoir précipité le potassium présent dans le filtrat à l'aide de perchlorate de soude, on centrifuge. En reportant le volume du précipité après centrifugation dans une courbe de référence on obtient la teneur en KCl dans le filtrat, à 5 g/l près.

Réactifs nécessaire est le perchlorate de sodium ($\text{NaClO}_4, \text{H}_2\text{O}$) à 25%.

III.5.9 Dosage des sulfates dans le filtrat :

Principe : Après avoir acidifié pour précipiter les carbonates, on précipite les sulfates sous forme de sulfates de baryum avec un excès de chlorure de baryum. On dose en retour l'excès de chlorure de baryum au Versénate. Pour obtenir la concentration en SO_4^{--} il nous faut donc déterminer au préalable l'alcalinité Mf et la teneur en Ca^{++} et Mg^{++} [3].

III.5.10 Dosage du sulfate de calcium total dans la boue :

Principe : En réalité nous ne dosant pas le sulfate de calcium dans la boue, nous mesurons la concentration en calcium dans la boue en exprimant le résultat en CaSO_4 . Le procédé chimique sera donc identique du dosage du Ca^{++} sur le filtrat.

III.5.11 Résistivité :

La résistivité d'une substance conductrice est la résistance de l'unité de volume de cette substance. Elle s'exprime en ohms/cm²/cm dans le système C.G.S. Dans le domaine des boues de forage et des diagraphies elle s'exprime en ohms/m²/m. l'inverse de la résistivité est la conductivité. La résistivité est fonction de la teneur en électrolytes présent dans la boue, ses variations sont significatives. Malgré cela la mesure de résistivité des boues reste un contrôle assez peut répondu sur le chantier. La résistivité des boues varie dans de très larges limites suivant la nature de leurs phases continues.

Les boues salées saturées ont de très faible résistivités et les boues à l'huile des résistivités très importantes. Certain abaques permettent de déterminer une valeur approchée de la teneur en électrolytes exprimée en NaCl à partir de la résistivité de la boue ou du filtrat.

On utilise des résistivimètres de différente marques dont le principe d'utilisation reste cependant le même. On émerge une électrode dans le fluide et on obtient par lecture direct la résistivité. La seule précaution consiste à s'assurer que le type d'électrode corresponde à l'échelle de lecture [3].

III.5.12 Capacité d'échange de cations :

L'A.P.I à normalisé une méthode de chantier pour la mesure de la capacité d'échange de cations des argiles contenues dans les boues de forage.

Test MBT (methylene blue dye test) : Le teste du bleu de méthylène, MBT, est employé pour déterminer la capacité d'échange de cation des argiles dans une boue de forage. Seulement les parties réactives des argiles sont impliquées dans le test et les matériaux tels que la barytine, carbonatent et leurs vapeurs n'affectent pas le résultat du teste puisque ces matériaux on pour capacité de ne pas absorber le bleu de méthylène. Les capacités d'échange cationique d'une certaines gammes argiles typiques sont :

Argile	CCE (meq/100g)
Bentonite du Wyoming	75
Schiste mou	45
Kaolinite	10
déblais de forage	8 – 12

Pour les systèmes de boue à base de bentonite, la MBT, fournit une indication de la quantité d'argiles réactives qui sont présents dans les solides de boue de forage en plus de la bentonite libre, pour les systèmes à base d'eau la MBT reflète la réactivité des solides forés. Le teste ne peut pas distinguer entre les types d'argiles mais, si une réactivité des solides forés est aperçu elle peut être employé pour déterminer la quantité de systèmes à base de bentonite [10].

CHAPITRE IV :
GÉNÉRALITÉS
SUR LES
POLYMÈRES

IV.1 Historique :

La chimie moderne a donné naissance à l'industrie des matériaux organiques de synthèse. Pendant les années qui ont précédé la Seconde Guerre mondiale, l'impact industriel et économique des polymères de synthèse est resté très limité. Il a fallu attendre 1945 pour que soit franchi le cap d'une production annuelle de un million de tonnes.

Depuis cette période, le développement des polymères a littéralement explosé avec un taux de croissance de l'ordre de 10 à 15% par an ; celui-ci implique le *doublément de la production environ tous les cinq ans*.

Actuellement, la production des polymères de synthèse (thermoplastiques, thermodurcis et élastomères) dépasse cent *millions de tonnes par an*. Il existe une corrélation étroite entre le produit national brut (PNB) d'un pays et sa consommation de polymères.

Les polymères sont presque entièrement des produits de la pétrochimie. Paradoxalement, la crise pétrolière de 1973 a favorisé leur développement car le coût énergétique de leur production est nettement plus faible que celui des matériaux traditionnels. On assiste actuellement à un accroissement de l'utilisation des polymères dans les domaines techniques : aviation, automobile, train à grande vitesse, électronique, électrochimique, etc.

Ces développements industriels, qui s'accompagnent d'une augmentation très importante de la production des *polymères techniques* (polycarbonates, polyamides, polyesters, polyéthersulfones, polyamides, etc.) vont de pair avec un accroissement sans précédent de la production des *polymères d'usage courant* (polyéthylène, polypropylène, PVC, ABS, etc.) [12].

IV.2 Définition et structure :

Un polymère est un système formé par un ensemble de macromolécules, c'est-à-dire d'entités moléculaires de grande dimension, issues de l'assemblage covalent d'un grand nombre d'unités répétitives plus communément appelées unités (ou motifs) monomères. Ils peuvent se présenter :

- En chaînes linéaires avec une répétition linéaire n fois du motif X (homopolymère) ou de deux ou plusieurs motifs (copolymères XY par exemple).
-X-X-X-X-X-X- ou -X-Y-X-X-Y-Y-X-Y-X-
- En chaîne non linéaire:branchés en étoiles ou en réseau.

Lorsque ces polymères présentent des groupements de charges anioniques ou cationiques, on les appelle des polyélectrolytes [13].

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés. Le plus souvent, ils sont amorphes, parfois ils peuvent être, au moins partiellement, cristallisés.

➤ Les polymères linéaires : sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide.

Si la température s'élève, l'agitation moléculaire qui en résulte va rompre progressivement ces liaisons secondaires. Le matériau va pouvoir s'écouler sous son propre poids : il présente alors le comportement d'un liquide visqueux.

La température à laquelle se produit cette évolution s'appelle la **température de transition vitreuse**. La transition vitreuse correspond à l'apparition de mouvements de longs segments de chaîne et marque le passage de l'état vitreux à l'état caoutchoutique.

Les propriétés mécaniques des copolymères varient en fonction du type et de la disposition des monomères. Les rotations de la chaîne sont facilitées ou au contraire rendues plus difficiles en fonction de la nature, de la disposition et de l'encombrement de chacun des monomères [14].

➤ Polymères ramifiés : des chaînes homopolymériques ou copolymériques peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront un comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires [14].

➤ Polymères réticulés : la réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant les différentes directions de l'espace au cours d'une polymérisation, d'une polycondensation ou d'une polyaddition, et qui conduit à la formation d'un réseau [14].

La figure suivante montre les différents types de structures :

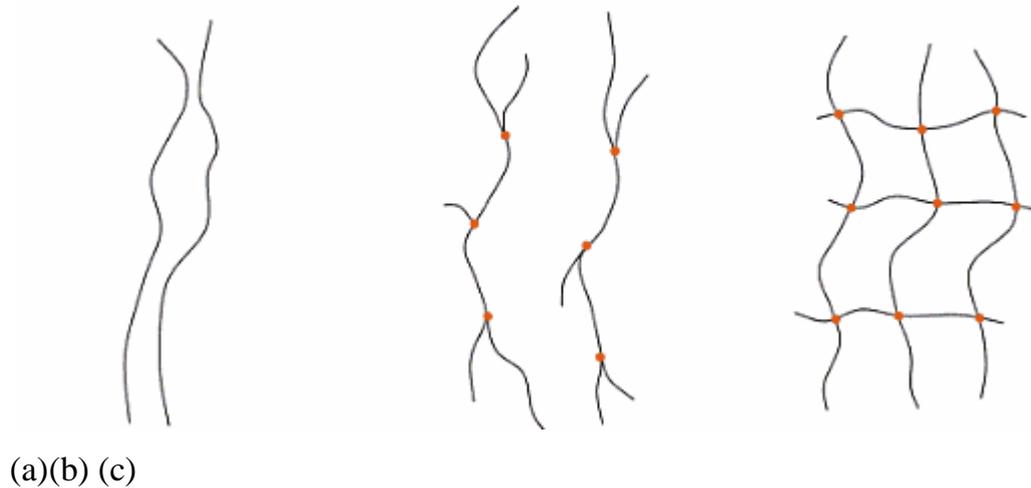


Fig. IV.1 Types de structures des polymères : (a) linéaire ; (b) ramifiée ; (c) réticulée [15].

➤ **Polymères amorphes et polymères cristallisés :** Les chaînes macromoléculaires peuvent être organisées de façon aléatoire dans l'espace et constituer ainsi une phase amorphe. La phase amorphe est, en théorie équivalente à un liquide « figé », sans ordre moléculaire à grande distance. Il existe néanmoins des orientations macromoléculaires préférentielles.

Elles peuvent être rangées régulièrement avec la constitution d'un ordre responsable d'une propriété caractéristique de l'état cristallin : l'aptitude du matériau à diffracter les rayons X selon des angles définis. Ces structures peuvent aussi être objectivables en lumière polarisée.

Dans un polymère, les deux états ordonnés et désordonnés peuvent exister dans un même matériau qui est alors de nature semi-cristalline [14].

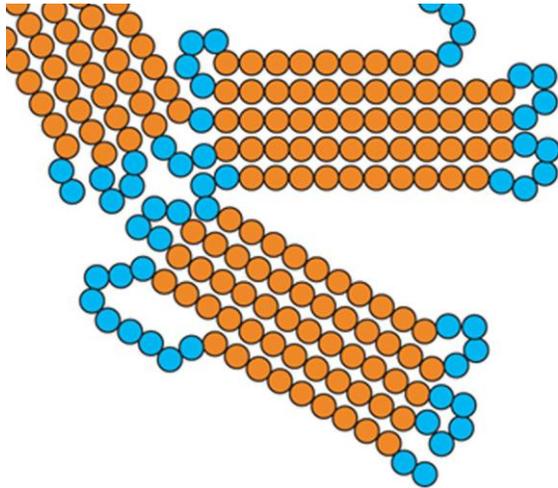


Fig. IV.2 : Représentation schématique d'un polymère semi-cristallisé [14].

IV.3 Différents types de polymères :

IV.3.1 Homopolymères :

L'emploi d'un seul type de monomère (appelons-le A) amène aux homopolymères (structures de type AAAA...).

C'est un polymère formé d'un seul type de monomère.

IV.3.2 Les copolymères :

L'emploi de plusieurs monomères (A,B...) amène aux copolymères (structures de type ABABABA ou moins ordonnée : BABAAABB ...). On peut ainsi associer les propriétés de deux motifs différents sur une même molécule [16].

Dans une *copolymérisation*, on assemble par réaction chimique des monomères de structure différente. Les techniques de copolymérisation sont extrêmement variées et permettent d'adapter la structure moléculaire du copolymère à la formation d'une *microstructure bien déterminée*, ce qui conduit à un *ensemble prévisible de propriétés physiques, mécaniques et chimiques*.

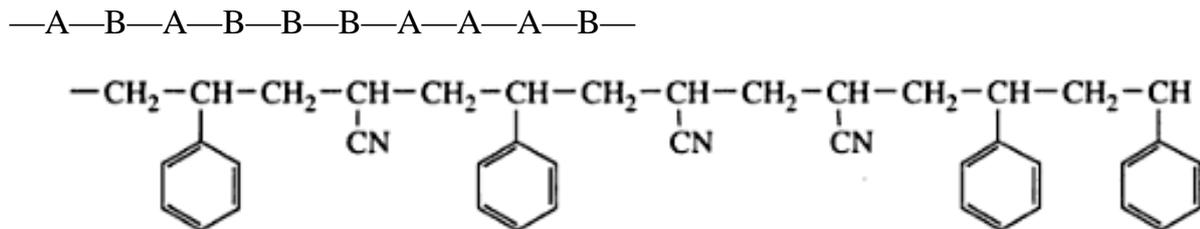
Ainsi, par exemple, pour synthétiser un matériau combinant les propriétés du polystyrène et du polyacrylonitrile, on synthétise un *copolymère* qui contient un certain nombre de motifs du polystyrène et de motifs du polyacrylonitrile associés dans un ordre déterminé.

En fonction de leur architecture moléculaire, on distingue différents types de copolymères. La forme la plus courante est le copolymère statistique (fig. 4.3(a)) ou les

unités constitutives A et B du copolymère sont réparties dans la chaîne de manière aléatoire. Un copolymère statistique se présente à l'état condensé sous la forme d'un matériau homogène à une phase.

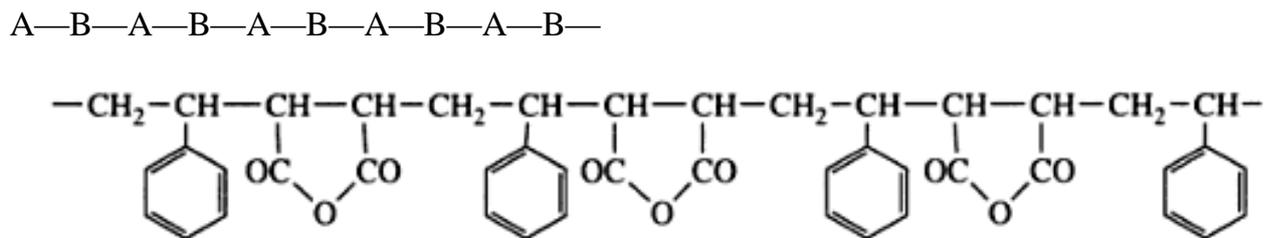
Un cas limite du copolymère statistique est le copolymère alterné (fig.4.3(b)) qui est également un matériau homogène à une phase.

(a) Copolymère statistique



Exemple: copolymère styrène – acrylonitrile

(b) Copolymère alterné



Exemple copolymère styrène - anhydride maléique

Fig. IV.3 Architecture moléculaire d'un copolymère statistique (a) et d'un copolymère alterné (b) [12].

Il existe une deuxième catégorie de copolymères qui sont caractérisés par la présence de longues séquences ayant une structure chimique homogène. On distingue les *copolymères greffés* (fig 4.4) et les *copolymères à blocs* (ou séquencés) (fig. 4.5 et 4.6). Un *copolymère greffé* (fig.4.4) est constitué d'une chaîne principale (*tronc*) formé d'unités constitutive A portant des chaînes latérales (*greffons*) de structure chimique B.

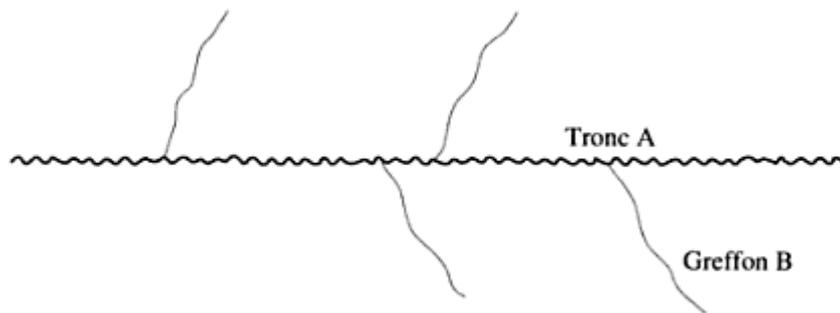


Fig. IV.4 Architecture moléculaire d'un copolymère greffé [12].

Les *copolymères à blocs* sont des molécules linéaires (fig. 4.5) à ou radiales (fig. 4.6) constituées d'une alternance de longues séquences homogènes. On distingue les copolymères bi-blocs, tri-blocs (fig 4.5) et multi-blocs.

On synthétise des *copolymères à blocs radiaux* (fig. 4.6) contenant un nombre variable de branches. Les différentes séquences sont assemblées entre elles soit directement soit par l'intermédiaire d'un maillon hétérogène qui ne fait pas partie intégrante des séquences [12].

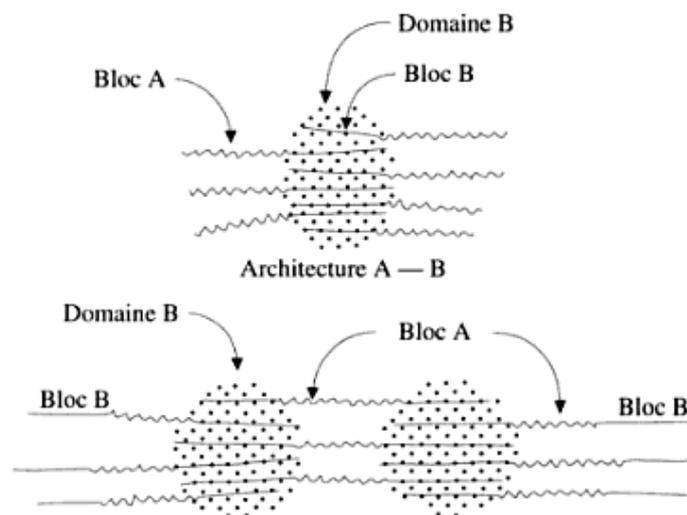


Fig. IV.5 Représentation des divers types de copolymères à blocs linéaires. Les cercles en pointillés schématisent les microdomaines [12].

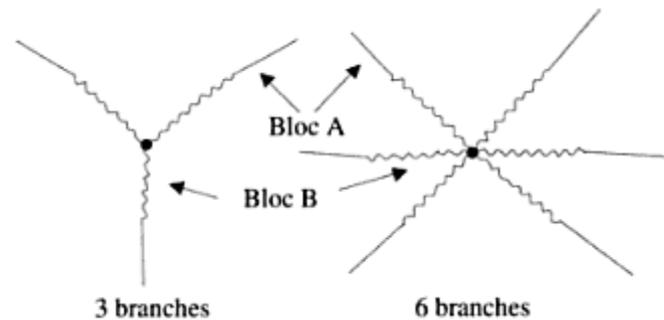


Fig. IV.6 Architecture des copolymères à blocs radiaux [12].

IV.4 Les polymères dans les fluides de forage :

L'utilisation des polymères dans les fluides de forage a commencé pour la première fois en 1937 lorsque l'on ajoute de l'amidon de maïs à la boue bentonitique pour contrôler les caractéristiques de filtration. Ce développement fut suivi assez rapidement par l'introduction des carboxyméthyle cellulose, tannins, quebrachos et lignosulfonates, qui furent tous régulièrement utilisés à partir de 1945. L'utilisation initiale était d'accroître les propriétés d'un système simple à base d'argile et de protéger la bentonite de la floculation du sel. Les substances utilisées se produisaient naturellement ou étaient extraites par des procédés simples.

Depuis cette époque, les polymères utilisés sont devenus beaucoup plus sophistiqués, et sont souvent conçus spécialement pour une situation de forage particulier ; dans certains cas, ils peuvent même remplacer totalement les argiles, particulièrement pour le forage des zones argileuses sensibles à l'eau et des zones productrices d'eau et d'hydrocarbures. Le nombre et la variété des polymères sont sans cesse en nombre croissant et c'est la capacité à fabriquer un polymère sur mesure avec des propriétés particulières pour une situation spécifique qui permettra de résoudre tous les problèmes de forage à l'avenir [11].

a. Viscosité :

Les propriétés visqueuses conférées à l'eau par la solution d'un polymère sont dues aux interactions eau/polymère et polymère/polymère. Plus les molécules sont longues, plus il est difficile de séparer les molécules les unes des autres plus elles deviennent enchevêtrées. La viscosité est due aux interactions entre les molécules des polymères et les solides quand ils sont présents. Ces forces qui engendrent la viscosité peuvent être interrompues par

l'apport d'énergie ou de cisaillement. Il en résulte que plus le taux de cisaillement est élevé plus la viscosité est faible. Les solutions qui ont un tel comportement sont dites pseudo-plastique ou fluides fluidifiant par cisaillement. Ceci est le comportement de l'écoulement idéal pour les fluides du forage du fait qu'une basse viscosité est nécessaire dans les zones au taux de cisaillement élevé près de l'outil et des viscosité plus élevée sont nécessaire dans les zones à taux de cisaillement plus faible dans l'espace annulaire, pour transporter les déblais vers la surface.

Le comportement rhéologique de fluidification par cisaillement est complètement indépendant du problème de la dégradation mécanique ou chimique de la chaîne du polymère pour former un dérivé à poids moléculaire plus faible avec des caractéristiques de viscosité plus faible. Ainsi les conditions de cisaillement mécanique élevé telles que celles rencontrées dans les pompes et lors du passage à travers les duses, peuvent réduire la viscosité. Les molécules linéaires, comme celle dérivé à poids moléculaire plus faible de la cellulose, tendant à être plus sensibles à la dégradation mécanique que les polymères à ramifications plus important comme les polysaccharides bactériens. Des conditions de hautes température, haute teneur en oxygène et haute alcalinité tendraient à rendre la plupart des polymères organiques plus sensibles à une dégradation chimique [11].

b. Déflocculants :

Les déflocculants, ou fluidifiants dans les systèmes à base d'argiles alcalines obtient généralement des résultats par adsorption du polymère chargé négativement sur les plaquettes d'argile, neutralisant ainsi les charges positives et créant une charge négative globale. Ainsi les fluidifiants sont caractérisés par leur charge négative et leur poids moléculaire faible. Si le polymère est trop long, il liera les particules entre elles et manifestera une action de floculation [11].

c. Flocculant :

Les flocculant sont principalement caractéristique par un poids moléculaire élevé, ce qui permettra aux polymères de former des liaisons de particule à particule. Les molécules de groupe ionique peuvent s'adsorber plus fortement sur les sites ioniques et ainsi flocculer de façon plus efficace.

d. Surfactants :

Les surfactants sont des polymères dans lesquels chaque molécule contient deux assemblages d'atomes ou groupes. Un groupe est polaire s'il est attiré vers les surfaces polaires, telle que l'eau et est appelé hydrophile ou groupe aimant l'eau. L'autre est non polaire, hydrophobe ou groupe haïssant l'eau. La nature du surfactant est liée au type de groupe hydrophobe ou hydrophile et à la combinaison des groupes.

Quand les groupes sont polymériques, une famille complète de molécules peut être produite avec un équilibre entre les groupes hydrophobes et hydrophiles changeant progressivement de série en série.

La propriété particulière des surfactants qui est utilisée dans les fluides de forage est la capacité de ces molécules à exister à l'interface des surfaces hydrophobes et hydrophiles. Les molécules servant de liaison entre ces surfaces réduisent l'énergie du système et le rendent stable.

Les surfactants solubles dans l'eau, principalement de groupes polaires, tendent à donner des émulsions directes et les surfactants solubles dans l'huile, principalement de groupes non polaires, sont utilisés pour former des émulsions inverses. Ces huiles et lubrifiants sont incorporés dans certains systèmes jusqu'à environ 20 % pour former des émulsions directes. Ces émulsions à l'huile ont une apparence caractéristique d'un blanc laiteux. Les émulsions inverses sont utilisées dans le cas où les roches doivent être continuellement mouillées à l'huile, par exemple lorsque l'on fore des roches sensibles à l'eau ou lorsque l'eau risque de nuire à la productivité de roches pétrolifères [11].

e. Additifs de filtrat :

Les additifs polymères peuvent affecter le filtrat essentiellement par trois mécanismes différents. Un cake dé floclé va se tasser pour former un cake plus mince et plus imperméable de façon à ce que les polymères qui agissent comme défloculants, tels que les CMC à basse viscosité ou les lignosulfonates, réduisent le filtrat. Si la phase liquide, que l'on fait passer à travers le cake, est visqueuse, cela réduira aussi le filtrat. Des exemples de ces polymères sont les CMC à poids moléculaires élevés ou les gommes XANTHAN. Ces deux mécanismes sont des fonctions secondaires de ces deux types de polymères et particulièrement les floclants ou viscosifiants.

Un troisième mécanisme de réduction de filtrat est d'ajouter des particules colloïdales qui peuvent se déformer et se comprimer pour boucher les pores du cake. Les structures d'amidon, certains dérivés d'asphaltes ou de lignines correspondent à cette description [11].

f. Dérivés de cellulose :

La cellulose est composée d'unités de glucose reliées par des liaisons 3 (1~4), ce qui donne le polymère linéaire. La fibre de bois est constituée de faisceaux de ces molécules réticulées avec une substance appelée la lignine. La cellulose est insoluble dans l'eau mais elle peut être chimiquement modifiée afin d'introduire davantage de groupes hydrophiles et de décomposer sa structure cristalline. La réaction est de gonfler la cellulose avec des alcalis et ensuite de former des dérivés chimiques de groupes hydroxyles sur des unités anhydroglucose.

g. Carboxyméthylcellulose (CMC) :

Dans le cas des CMC, un groupe carboxyméthyle ($-\text{CH}_2\text{COOH}$) est fixé à un atome de carbone par une liaison éther, On fait réagir la cellulose en premier lieu avec l'hydroxyde de sodium pour former la cellulose alcali et ensuite avec de l'acétate monocolore.

Il y a trois groupes hydroxyles réactifs potentiels. Le degré de la réaction est appelé degré de substitution ou DS qui se situe normalement dans une gamme de 0,8 à 1,2 pour les CMC utilisés dans les fluides de forage. L'uniformité de la substitution peut aussi modifier les propriétés. Plus la distribution est uniforme, plus les solutions seront lisses et moins thixotropes, ou fluidifiants par cisaillement. Une troisième, variable est la longueur de la chaîne ou degré dépolymérisation qui peut être modifié par la rupture chimique ou mécanique du lien glucosique.

On verra donc qu'une CMC à poids moléculaire faible montrera les caractéristiques requises pour un défloculant, c'est à dire un poids moléculaire faible et une charge négative. Une CMC à poids moléculaire élevé sera utilisé comme viscosifiant et possédera aussi certaines propriétés de filtrat. Ce groupe de polymères a été considérablement utilisé dans les fluides de forage en raison de leur coût modéré et leur stabilité à la fois dans le sel et à des températures relativement élevées [11].

h. Hydroxyéthylcellulose (HEC) :

Le procédé de fabrication des HEC est fondé sur la réaction entre la cellulose alcali et les oxydes éthylène comme suit. Des réactions ultérieures peuvent avoir lieu sur les oxydes d'éthylène. Le contrôle des conditions de réaction peut produire des polymères différents en agissant sur les quatre variables principales.

- Longueur de la chaîne de cellulose
- Degré de substitution (DS) sur l'unité cellulose, normalement 1,5 - 2,5 DS pour un polymère soluble dans l'eau,
- Degré de polymérisation des chaînes latérales polyéthylènes appelé substitution molaire (SM),
- Uniformité de la substitution.

Le polymère ne contient aucun groupe ionique et est donc idéal en tant que viscosifiants pour les fluides de complétion et les autres fluides à base de saumure.

Le polymère manifeste une thixotropie fortement développée ou des caractéristiques de fluidification par cisaillement, mais il ne manifeste pas de limite élastique ou de caractéristiques de gélification.

La substance peut recevoir un traitement spécifique pour améliorer sa solubilité dans l'eau. D'autres dérivés de cellulose peuvent aussi être préparés avec les groupes CMC et HEC sur une même molécule, ou préparés avec d'autres groupes [11].

i. Amidon :

L'amidon est présent dans les plantes sous forme de réserve de nourriture. Les graines d'amidon possèdent une paroi de cellule extérieure dure, formée à partir d'un polysaccharide appelé amylopectine. A l'intérieur de la coquille se trouve des faisceaux d'un polysaccharide linéaire en forme de bobine : L'amylose.

Pour que l'amidon manifeste les propriétés de contrôle du filtrat, la coquille extérieure de l'amylopectine doit être rompue lors d'un processus connu sous le nom de pré gélatinisation qui libère l'amylose gonflable à l'eau. Ce produit pourra être encore modifié afin de réduire la viscosité puis être réticulé afin d'accroître la stabilité à la température. Les propriétés de l'amidon peuvent aussi varier suivant la source de l'amidon brut : pomme de terre ou tapioca. Ainsi l'amidon peut être modifié pour former un agent très efficace de

réduction de filtrat, particulièrement dans les fluides salés flocculés en formant des particules colloïdales gonflables à l'eau qui vont boucher les pores du cake [11].

j. Polysaccharides Microbiens - Gommex Xanthan :

Les bactéries du genre *Xanthomonas* peuvent produire des colonies de gommex. Ces simples bactéries, à cellule unique, sécrètent une gomme polysaccharide qui forme une couche protectrice empêchant la déshydratation et procurant une barrière physique contre l'attaque des bactériophages. Ils peuvent être cultivés par fermentation aérobie dans un milieu simple incluant une source d'hydrates de carbone tel que le D-glucose, le sucre ou l'amidon hydrolysé.

Les bactéries sont tuées après fermentation et la gomme est extraite et précipitée à l'aide d'alcool isopropylique. Lorsque l'alcool est récupéré, la gomme est séchée et moulue. Le procédé de purification est très onéreux.

La gomme Xanthan est un hétéropolysaccharide avec un poids moléculaire supérieur à 1 million. La gomme contient une unité de base répétitive de 16 unités.

Il est à noter que c'est une structure ramifiée contenant des groupes carboxyles polaires et des groupes ester.

Le polymère forme des solutions visqueuses qui sont fortement pseudo plastiques ou fluidifiantes par cisaillement et faiblement épaississante par cisaillement.

Ce comportement, bien développé, est dû, pense-t-on, à la formation de structures en bobines qui s'agglomèrent étroitement entre elles à de faibles taux de cisaillement. Cet agrégat est tellement développé que les solutions ont un seuil d'écoulement visible. C'est-à-dire qu'il faut appliquer une force avant que le fluide ne commence à couler. Une conséquence importante de ce phénomène est que les solutions de polymères Xanthan ont d'excellentes propriétés de suspension qui ne peuvent être comparées à d'autres polymères à concentrations équivalentes.

Les propriétés visqueuses de ces polymères ne sont généralement pas affectées par le sel ou la température.

Ce polymère a une application particulière dans les fluides à base de potassium, à faible teneur en solides et accroît la capacité porteuse sans augmenter beaucoup sa viscosité, ce polymère a aussi son application dans les fluides de complétion où la suspension d'agents alourdissant est nécessaire [11].

k. Gomme Naturelle – Guar :

La gomme GUAR provient de la graine de la plante de GUAR. C'est un polymère polysaccharide à poids moléculaire d'environ 220 000. L'unité de répétition est composée de galactose et de manose.

Le polymère peut être modifié chimiquement par réaction avec les groupes hydroxyles. Les caractéristiques de la structure à poids moléculaire élevé et le groupement non ionique, assurent de très fortes viscosités et une absence de sensibilité au sel. Il peut être utilisé pour fabriquer un fluide à polymère visqueux pour le forage de puits à grande superficie.

l. Lignines et Lignosulfonates :

La lignine est un des composants principaux du bois elle relie les faisceaux des fibres cellulose entre eux.

Pour produire de la pulpe de cellulose pour la fabrication du papier, la lignine peut être solubilisée par réaction dans un alcali chaud et du bisulfite. La structure de la lignine n'est pas précisément connue. Ils peuvent être condensés en hydrates de carbone. La structure est très complexe et ne devrait pas être simplement considérée comme un polymère constitué d'un monomère répétitif. Le procédé d'extraction du bisulfite provoque une, hydrolyse partielle de la structure des hydrates de carbone ainsi que la formation de groupes sulfoniques sur les groupes hydroxyles des chaînes latérales. '

Les acides lignosulfoniques peuvent réagir avec des bases ou des sels pour former des sels acides tels que le sodium, le calcium, l'aluminium, le fer ou le chrome. Les acides peuvent aussi former des composés de coordination dans lesquels les groupes hydroxyle (-OH), carboxyle (COOH) et carbonyle (C=O), de la molécule peuvent former des composés de coordination ou des chélates avec des ions métal de transition comme le chrome.

Le produit complexe chrome lignosulfonate contient un nombre élevé de groupes; de liaison hydrogène, comme le carbonyle (C=O) et le carboxyle (COOH), par une réaction d'oxydation et accroît également la viscosité de la solution de lignosulfonate par réticulation.

La substance de lignosulfonate en solution peut être décrite comme un colloïde d'association. Ceci consiste en des molécules à poids moléculaire compris entre 1500 et 10 000, qui existent en solution en tant qu'ellipsoïdes rigides à grande surface polaire, contenant des groupes sulfonâtes, carboxyle, carbonyle, phénolique et hydroxyle. La molécule

est fortement adsorbée aux surfaces des argiles et peut effectivement agir comme défloculant en neutralisant les charges positives qui créent une charge négative globale [11].

m. Lignines Minières :

La lignine est de l'acide humique pétrifié. Sa structure chimique est pratiquement inconnue mais elle contient probablement des groupes aromatiques et phénoliques. Une partie peut être soluble dans l'alcali qui indique la nature acide de la substance. Elle peut être facilement extraite et traitée à faible coût.

Elle peut être utilisée comme agent fluidifiant et les composants insolubles ou gonflables à l'eau apporteront un certain contrôle de filtrat. Elle peut être fournie en tant que substance acide, broyée avec de la soude caustique pour la neutraliser (Lignite causticisée).

n. Tannin :

Le tannin est soluble dans l'eau ; c'est une substance acide à poids moléculaire faible, extraite de l'écorce et du bois des arbres. On en obtient de grandes quantités à partir de l'arbre Quebracho, poussant en Argentine. La substance est extraite à partir d'écorce ou de bois broyé avec de l'eau chaude sous pression. L'eau est ensuite évaporée et le produit solide est souvent moulu avec des argiles fines ou du carbone de calcium afin d'empêcher la ré-solidification de la substance. Le développement de fluides à pH plus faibles, gypse, a supplanté les tannins

o. Poly phosphates :

Les monomères, les ortho-phosphates, sont polymérisés par extraction de l'eau pour former des méta phosphates et pyrophosphates. Les méta et pyrophosphates réagissent ensemble pour former de poly phosphates.

L'unité fondamentale est l'acide phosphorique trivalent qui peut être successivement neutralisé pour former les trois membres du sodium, mono, di et tri. Le produit commercial peut être un mélange de polymères phosphates ou bien des esters provenant de produits de tannin ou des complexes avec des métaux lourds.

p. Polymères Synthétiques :

De nombreux polymères synthétiques sont fondés sur la polymérisation des molécules que l'on peut décrire en tant qu'éthylène de synthèse. Ils polymérisent pour former une structure carbone-carbone

Le groupe situé sur le carbone de synthèse peut varier ou être modifié après polymérisation. La longueur de la chaîne peut varier aussi en modifiant les conditions de réaction [11].

q. Polyacrylates :

Les substances à poids moléculaire inférieur à 1000 peuvent être des défloculants efficaces et avoir des applications particulières à températures plus élevées parce qu'ils possèdent une plus grande résistance aux détériorations thermiques et bactériennes que les polymères naturels comme l'amidon et le CMC. Leur application est limitée par la tendance qu'ils ont à former des sels insolubles avec les ions polyvalents.

r. Copolymères D'acrylamide/Acrylate :

Les chaînes de polyacrylamides hydrolysés contiennent des groupes carboxyle et amide. Ils peuvent être préparés par polymérisation d'acrylamide et d'acrylate ou par hydrolyse de polyacrylamides. Le poids moléculaire et le rapport des groupes acides/amides peuvent varier. Les polymères à poids moléculaire élevés avec environ 30 % de groupes acides se sont révélés efficaces en tant qu'agents stabilisants des argiles sensibles à l'eau. Ils peuvent aussi être utilisés comme flocculant dans les fluides de forage d'eau claire lorsque les poids moléculaire dépassent 2 millions et que les groupes carboxyles représentent moins de 10 % des groupes. Les substances à poids moléculaire intermédiaire (150 000-250 000) avec 60 à 70 % de groupes acides sont utilisées pour un contrôle efficace du filtrat [11].

s. Copolymère de Vinyle Acétate et Anhydrite Malléque :

Les copolymères de vinyle-acétate et anhydrite maléique ont une application particulière comme extenseur de bentonite. De faibles niveaux (0,5 % W/W de polymère sur argile) peuvent doubler la viscosité plastique d'une suspension bentonitique de 3 à 5 %. Le polymère agit comme un flocculant sélectif et est caractérisé par un poids moléculaire élevé et des charges négatives [11].

IV.4.1 Relations entre les fonctions des polymères et leurs structures générales :

Tableau IV.1 : Caractéristiques et fonctions des différents polymères.

Fonction	Caractéristiques principales
Viscosité	Poids moléculaire élevé
Caractéristiques de viscosité et de gélation	Poids moléculaire élevé et structure à haut agent de ramification ou réticulation
Viscosité dans des solutions salées	Poids moléculaire élevé et types non-ioniques ou anioniques à haute substitution
Défloculation, dispersion, ou fluidification	Poids moléculaire faible, chargé négativement à des valeurs de pH alcalines
Floculation	Poids moléculaire élevé avec groupes chargés pour adsorption aux argiles
Surfactant	Groupe hydrophobe et groupes hydrophiles sur la même molécule
Additif de filtrat	particules à forme colloïdale.

.... [11]

PARTIE

PRATIQUE

CHAPITRE I :
MESURES SUR
LES BOUES ET
APPAREILLAGE

I.1 Paramètres rhéologiques : la mesure de la viscosité et de la yield point ainsi que des Gels s'effectue avec le rhéomètre (**VISCOSIMETRE OFITE Model-800**) :



Fig. I.1 (Viscosimètre OFITE model-800 à 8 vitesses).

a. Principe :

Le viscosimètre est constitué de deux cylindres coaxiaux l'un est mis en rotation avec la vitesse angulaire ω , l'autre est entraîné par les forces de viscosité et est maintenu immobile par l'application d'un couple C . L'espace entre les deux cylindres est faible et rempli du fluide dont on veut mesurer la viscosité.

b. Mode d'emploi :

- Remplir de boue le godet,
- Fixer bien la tasse remplie sur le support contenant des troue prévue a cette effet,
- Immerger le cylindre plein dans la boue jusqu'à ce que le trait repère affleure la surface de la boue,
- Puis fixer le support grâce à la molette de blocage,

- Faire tourner le rotor à 600 tr/min en choisissant la position convenable du bouton de changement de vitesse,
- Sans arrêter l'entraînement du rotor, régler la vitesse de rotation à 300tr/min,
- Attendre la stabilité, puis lire la déviation de la graduation sur le cadran,
- Quand il s'agit de Gels, il faut stopper carrément le rotor, attendre le temps correspondant au Gel désirée puis mettre le bouton de changement de vitesse sur Gel.

c. Sources d'erreurs :

- Lecture de la graduation.
- Estimation de la température.
- Eventuellement la stabilité du niveau du fluide.

I.2 DENSITE :

Elle est mesurée à l'aide d'un densimètre dont le principe est analogue à celui d'une balance romaine à curseur, où les densités se lisent directement (fig. I.2).



Fig. I.2 (Densimètre).

b. Mode d'emploi :

- Remplir le godet de boue à mesurer,
- Mettre le couvercle et évacuer l'excès de boue qui sort par le trou central du couvercle prévu à cet effet,

- Nettoyer à l'eau et sécher en prenant soin de maintenir le trou du couvercle obstrué en permanence,
- Placer les couteaux du fléau dans le porte-couteaux du socle,
- Déplacer le curseur jusqu'à obtenir l'horizontalité du fléau. Cette horizontalité doit être contrôlée à l'aide du niveau à bulle situé au-dessus des couteaux,
- Lire la densité ou le poids volumique directement sur le bras du fléau, au droit de la position du curseur.

c. Etalonnage :

- Remplir le godet d'eau pure,
- Placer le curseur sur la densité 1,00 ou le poids volumique correspondant à celui de l'eau pure,
- Si l'horizontalité n'est pas obtenue, ajuster en modifiant la tare prévue à cet effet à l'extrémité du bras du fléau.

Cet étalonnage nécessaire n'est pas suffisant. Il est indispensable de renouveler l'opération précédente avec un liquide de densité connue (contrôlée sur une balance au laboratoire par exemple) d'une valeur égale ou supérieure à 1,50.

Si le premier étalonnage est correct et que le second ne l'est pas, il faut renvoyer ce densimètre au laboratoire, l'étalonnage devant s'avérer délicat ou impossible.

d. Avantages des densimètres :

Ce sont des appareils de chantier robustes, permettant de mesurer des densités de 0,95 à 2,20.

Les résultats ne sont pas affectés par les changements de température (étant donné la précision requise).

e. Sources d'erreurs

- Coupe insuffisamment remplie.
- Boue émulsionnée.

Les mesures ne doivent être exprimées qu'à la seconde décimale. La précision des densimètres ne permet pas d'annoncer une valeur plus précise [5].

Remarque : La mesure au densimètre n'a pas été effectuée faute de disponibilité du matériel à l'entreprise d'accueil.

I.3 Mesure des gels (gel 0 et gel 10) :

Le gel est défini comme étant la contrainte minimale qui provoque le début d'écoulement d'un fluide plastique. Elle est appréciée au viscosimètre OFITE Model 900 par la contrainte de cisaillement correspondant à une rotation très lente du rotor.

➤ **Gel 0** : représente la résistance du gel aussitôt après l'agitation de la boue.

➤ **Gel 10** : représente la résistance du gel après une agitation de la boue et un repos de 10 minutes.



Fig. I.3 (Viscosimètre OFITE model 900).

a. Mode d'emploi :

- Pour le gel 0 :

1. Placer un échantillon de fluide dans la tasse chauffante. Laisser un vide dans la tasse pour le déplacement de la douille du viscosimètre.

2. Chauffer l'échantillon à la température choisie. Le cisaillement intermittent ou constant à la vitesse de 600 tr/mn devrait être employé pour remuer l'échantillon pendant le chauffage pour obtenir une température uniforme de l'échantillon. Après que la température de la tasse ait atteint la température choisie, immerger le thermomètre dans l'échantillon et continuer de remuer jusqu'à ce que l'échantillon atteigne la température choisie.

3. Avec l'allure de 600 tr/mn, attendre la lecture de cadran pour atteindre une valeur régulière. Enregistrer la lecture du cadran pour 600 tr/mn.

4. lancer à 300 tr/mn et attendre la lecture de cadran pour atteindre une valeur régulière. Enregistrer la lecture du cadran.

- Pour le gel 10 :

5. Remuer l'échantillon pendant 10 secondes à grande vitesse.

6. laissez la boue au repos pendant 10 secondes. Tourner lentement et de façon constante à 3 tr/mn. La lecture maximum de la force de gel est au commencement. Enregistrer la force initiale de gel (gel 10 secondes).

7. remuer la boue à grande vitesse pendant 10 secondes, puis laissez la boue au repos pendant 10 minutes. Répéter la mesure à 3 tr/mn comme ci-dessus et rapporter la lecture maximum de cadran en tant que gel 10 minutes.

b. Calculs :

Viscosité plastique (cP) = [lecture de 600 tr/mn] - [lecture de 300 tr/mn]

Limite élastique (lb/100ft²) = [lecture de 300 tr/mn] - viscosité plastique

Viscosité apparente (cP) = (lecture de 600 tr/mn) / 2

Force de gel (lb/100ft²) = [lecture 3rpm] pour 0'', 10 '' ou 10'.

2. FILTRE PRESSE API :



Fig. I.4 (Filtre presse basse pression-API)

a. Principe :

On soumet la boue à une pression de 100 psi (7 bars) dans un cylindre normalisé doté d'une surface perméable, de section et perméabilité normalisées. On note la quantité de liquide qui filtre en 30 minutes, à température ambiante, c'est le filtrat API.

Les solides déposés pendant la filtration constituent ce que l'on appelle le cake. L'épaisseur du cake est mesurée et notée. La filtration s'effectue donc en statique, sur une surface horizontale, à température ambiante ce qui ne reflète qu'imparfaitement les conditions de filtration dans le sondage.

b. Description et mode d'emploi :

Le filtre-presse se compose essentiellement d'un étrier muni d'une vis de serrage permettant le blocage des trois parties du corps du filtre.

Ce corps se compose :

---d'une embase percée d'un trou et dotée d'un ajutage par lequel s'écoule le filtrat.

Cette embase supporte un tamis métallique de 60 à 80 mesh sur lequel est placé le papier filtre de 90 mm de diamètre (surface de filtration 7 pouces carrés) du type whatman n°50 dont l'équivalent est le type Durieux bleu n°3.

L'ensemble tamis et papier est placé entre deux joints plats qui assurent l'étanchéité entre l'embase et le cylindre.

- d'un cylindre de diamètre intérieur 3 pouces (76,2 mm) et de hauteur 5 pouces (128 mm). L'API recommande au moins 2 ½ pouces de hauteur (64 mm).

- d'un couvercle muni d'une arrivée de gaz comprimé dont l'étanchéité avec le cylindre est assuré à l'aide d'un joint plat du même type que ceux placés sur l'embase.

Pour utiliser le filtre-presse :

1. Poser le joint sur l'embase.
2. Poser le tamis sur le joint.
3. Poser le papier-filtre sur le tamis.
4. Poser le second joint sur le papier filtre.
5. Emboîter le cylindre sur l'embase et verrouiller le système à baïonnette.
6. Remplir de boue (jusqu'à environ 1 cm du haut du cylindre).
7. Poser le couvercle sur le cylindre en intercalant un joint.

8. Placer l'ensemble dans l'étrier et bloquer à l'aide de la vis de serrage.
9. Disposer une éprouvette graduée sous l'ajutage.
10. Appliquer (assez progressivement pour ne pas rompre le papier filtre) une pression de 7 bars (100 psi) et simultanément déclencher le chronomètre.
11. Après 30 minutes lire le volume de fluide recueilli dans l'éprouvette, exprimé en cm^3 c'est la valeur du filtrat API.
12. Purger le circuit de gaz comprimé, démonter l'appareil et recueillir le papier filtre qui est recouvert d'une couche de solides, c'est le cake. Après un lavage superficiel mesurer l'épaisseur de ce cake, exprimer la valeur en millimètre.

Note importante : L'alimentation en gaz comprimé ne doit jamais être faite avec de l'oxygène, une boue contenant des hydrocarbures peut provoquer une explosion.

c. Sources d'erreurs :

- Pression instable durant la mesure.
- Papier filtre non normalisé.

Utilisation des cartouches de CO_2 qui modifient les alcalinités et faussent certains dosages sur le filtrat (SO_4 Ca entre autres) [5].

Remarque: on a pas fait la manipulation avec le filtre presse API pour des raison de disponibilité d'équipement.

3. OFITE HPHT Filter press (Haut Pression Haut Temperature):

a. Principe:

On appliquant une température et deux pressions sur un échantillon de boue l'une supérieur à l'autre en crée deux phases l'une aqueuse et l'autre solide (cake) du faite qu'une partie de la phase aqueuse passe à travers le cake sous l'effet de la pression (en assimilant des pressions qui règne dans les puits) des



Fig. I.5 filtre presse HTHP OFITE MB 4-unité

valeurs qui sont imposé par les norme API, la partie aqueuse recueilliez est considérer comme le filtrat.

b. Description et mode d'emploi :

1- Relier la chemise de chauffage à l'alimentation avant de commencer le teste. Placer le thermomètre. Préchauffer la chemise de chauffage à la température désirée. Ajuster le thermostat afin de maintenir la température constante.

2- Charger la cellule en faisant attention à ne pas la remplir plus étroitement en laissant 25 millimètres à partir du dessus pour tenir compte de l'expansion.

3- Placer la cellule dans la chemise de chauffage avec les valves supérieures et inférieures fermés. Transférer le thermomètre à son emplacement.

4- placer l'unité de pression sur la valve supérieure et la Célé. Placer le récepteur de pression

inférieur et le fermer à clef.

Appliquer 100 psi pour les deux

valves d'unités de pression qui sont fermé. ouvrir La valve supérieure et appliqué 100 psi au fluide tout en chauffant.

5- Quand l'échantillon atteint la température désiré, augmentait la pression sur l'unité de pression supérieure à 4100 kPa (600 psi) et ouvrirait la valve inférieure pour commencer la filtration. extraire le filtrat au bout de 30 minutes, en maintenant la température ± 3 °C. Si désiré, enregistrer le volume de montée subit après 2 secondes. Si la contre-pression montait au-dessus de 100 psi pendant l'essai, réduisait avec précaution la pression en retirant une partie du filtrat. Enregistrer tout le volume.

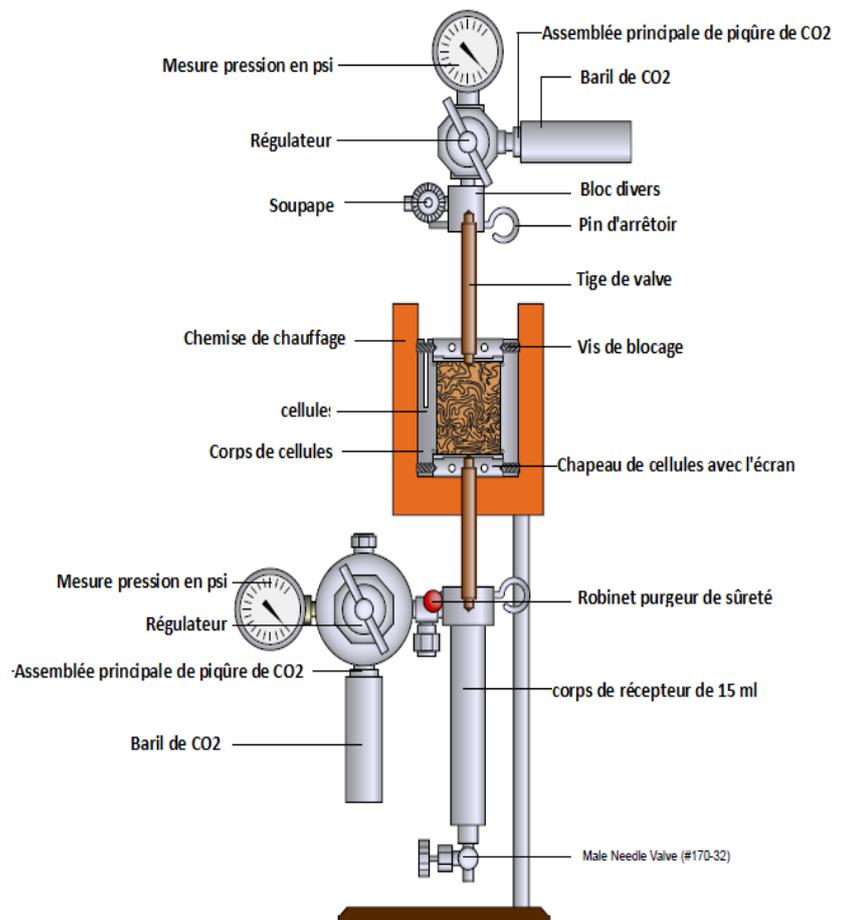


Fig. I.6 (HTHP Filter Press, 175 mL, 1500 PSI)

6- À la fin de l'essai, fermé les deux valves.

Attention :

La cellule de filtre contiendra toujours approximativement 500 psi. Maintenir la cellule en position droite et refroidir à la température ambiante avant de réduire la pression de cellules.

Après que la cellule se soit refroidie et la pression a été déchargée, la cellule peut être inversée pour desserrer les vis de chapeau avec une clé Allen, Enlève le chapeau avec un mouvement de basculage doux, maintenez soigneusement le produit de filtration pour l'analyse et nettoyer complètement et séchait tous les composants.

c. Calculs :

Filtrat de HP/HT (ml) = $2 \times V$

Volume de V=filtrat (après minute 30) (ml)

4. Distillateur :

a. Principe :

Appliquer une température élevé sur un échantillon de boue jusqu'à ce que on aura ébullition dès composant pour distinguer le pourcentage de solide, huile et eau dans l'échantillon .

b. Mode d'emploi :

1 – Remplir la tasse avec

l'échantillon de boue, évitait l'occlusion de bulles d'air dans l'échantillon.

2 - Placer le couvercle sur la tasse en permettant l'excès de boue de s'échapper.



Fig. I.7 (Distillateur)

- 3 - Enlever le couvercle de la chambre en faisant attention que le fluide n'adhère pas au couvercle.
- 4 - Ajouter 5-6 gouttes des laines en acier liquides ou entourer la partie supérieure du réchauffeur d'immersion. Les laines en acier pleines donneront une meilleure séparation huile/eau
- 5 - Appliquer l'huile/graisse dans des fils.
- 6 - Visser la tasse dans la chambre tout en maintenant les deux chambres en position droite.
- 7 - Attacher l'assemblage au condensateur. Ajouter une goutte d'agent mouillant (aérosol) à un cylindre



Fig. I.8 condenseur du distillateur

gradués et la placer sous le drain du condensateur.

- 8 - Augmenter graduellement la température en soulevant la température de 325°F à 450°F et finalement 950°F, chauffant est

habituellement de 30-60 minutes, selon le type de liquide.

- 9 - Centrifuger l'échantillon au besoin pour séparer l'huile et les couches de l'eau. Si l'interface d'émulsions est présente, chauffer le cylindre gradué soigneusement le long de l'émulsion en la touchant avec la chambre chaude ; l'émulsion se séparera dans 2 couches.

c. Calculs :

Le pourcentage huile/eau est calculé comme suit ;

$$\%O = \frac{100 \cdot V_0}{V_R} \quad ; \quad \%W = \frac{100 \cdot V_W}{V_R} \quad ; \quad \%S = 100 - (\%O + \%W)$$

%O : le pourcentage huile dans la phase liquide

%S : pourcentage de solides



Chambre



Couvercle



Tasse

Fig. I.9 composant du distillateur

V0 : volume d'huile (ml)

%W : pourcentage d'eau dans la phase liquide

VR : volume de la tasse (ml)

VW : volume d'eau (ml)

CHAPITRE II :
FORMULATION
RÉSULTATS ET
DISCUSSION

II. 1 Préparation des systèmes de boue :**II. 1.1 Introduction :**

Dans les forages à la recherche des hydrocarbures de nombreux problèmes sont causés par les formations argileuses, notamment les gonflements qui peuvent causés des rétrécissements du diamètre du puits et par conséquent, l'augmentation de la pression, le bourrage du puits et le coincement de l'outil. Pour toutes ces raisons principales, la préparation de la boue de forage est une étape primordiale de la phase de forage et pour la réussite de celui-ci.

II. 1.2 Description du système étudié :

Le système étudié est un fluide ayant un aspect boueux procuré par la présence de l'argile (Bentonite) dont les paramètres rhéologiques sont ajustés par des additifs tels que les polymères POLICELL RG, POLICELL SL et autres additifs.

Le POLICELL RG est un composé de la boue a base d'eau qui a pour rôle d'augmenter la viscosité. Le POLICELL SL est un autre paramètre utilisée comme réducteur de filtrat.

II. 1.3 Préparation et caractérisation du système :**II. 1.3. 1 Equipements :**

L'entreprise **ava** où nous avons effectué notre travail dispose des laboratoires de préparation et d'analyses. Ces derniers sont dotés d'équipements nécessaires pour préparer les boues et effectuer les analyses chimiques, physiques ou rhéologiques.

Matériel de préparation : Spatule, éprouvette de 1000ml, nacelles de pesée de forme ovale, balance électrique, coupelles de pesée haute en verre, seringue, agitateur type Hamilton Beach.

II .1.3.2 Formulation : les constituants utilisés dans la préparation de boue sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau. II.1 : formulation de la boue a base d'eau.

Formulation de Boue (Mud Formulation)		Echantillon (Sample)
EAU	l/m ³	750
SODA ASH	kg/m ³	0,5
CAUSTIC SODA	kg/m ³	1
BENTONITE	kg/m ³	20
POLICELL SL	kg/m ³	7
POLICELL RG	kg/m ³	3
KCl	kg/m ³	40
BARITE	kg/m ³	190
Avasil	kg/m ³	1

On prend une éprouvette de 1000ml et on la remplit jusqu'à 750ml d'eau.

Cette même eau elle est mise dans une tasse de l'agitateur.

On lui ajoute le SODA ASH, CAUSTIC SODA en 1^{er}.

On verse les 20gr de BENTONITE.

Puis on ajoute doucement les 02 polymères.

Ajout des 40gr de KCl, puis la BARITE 190gr.

En dernier on injecte par une seringue l'Avasil.

On laisse le tout sous agitation pendant 20minutes.

II.2. Caractérisation rhéologique des boues :

a. Matériels utilisés :

- Viscosimètre model-800 à 08 vitesses
- Tasse universelle d'échauffement.

b. Procédure de test :

Une fois l'agitation terminée on verse une quantité de boue dans la tasse universelle d'échauffement.

Une fois la tasse universelle d'échauffement remontée et vissé et mis a la température désirée on fait tournée à la vitesse de 600tpm, on attend que le cadran se stabilise et on effectue une lecture.

Puis on met le réglage sur 300tpm et là aussi on effectue une lecture.

Puis on stop carrément le fonctionnement, maintenant c'est selon le gel recherché si il s'agit de gel 10s on attend s'écoulé les 10s et on règle sur Gel si c'est Gel 10minute on attend le temps de dix minute et on fait tourné le rhéomètre sur Gel et effectué la lecture.

c. Résultats obtenus :

Les tableaux II.2, II.3 et II.4, ci-dessous, montrent les résultats de mesures obtenus pour la boue préparée, tel que indiqué au dessus, c'est à dire avec ajout de **3 kg/m³ en POLICELL RG.**

d. Calculs : $V_p = L_{600} - L_{300}$, $Y_p = 2L_{300} - L_{600}$.

e.1 Influence de la quantité en POLICELL RG :

Tableau II.2 : Résultats obtenus avec ajout de 3 kg/ m³ de POLICELL RG.

Températures (°F)		79	120	150
Paramètres				
Lectures	L600	78	52	57
	L300	53	34	35
Vp (cP)		25	18	22
Yp (lb/100ft ²)		28	16	13
Gels (lb/100ft ²)	10s	3	2	2
	10mn	5	3	2

Dès que la première manipulation, relative à la mesure des paramètres rhéologiques effectuée sur la boue à 3 kg/m³ de polymère, terminée, on reprend la même boue au quelle

on ajoute alors 2 kg/m³ de POLICELL RG, on obtient ainsi une boue à 5 kg/m³ de POLICELL RG et on effectue ses analyses, enfin, on reprend encore cette dernière tout en lui ajoutant 2 autres kg/m³ et elle deviendra un fluide à 7 kg/m³.

On répète les mêmes opérations sur le viscosimètre et les résultats sont reportés ensuite dans les tableaux suivants

Tableau II.3 : Résultats obtenus sur une boue à 5 kg/ m³ de POLICELL RG.

Températures (°F)		79	120	150
Paramètres				
Lectures	L600	138	105	84
	L300	102	76	56
Vp (cP)		36	32	28
Yp (lb/100ft ²)		66	41	28
Gels (lb/100ft ²)	10s	9	5	3
	10mn	10	9	6

Tableau II.4 : Résultats obtenus pour une boue à 7 kg/ m³ de POLICELL RG.

Températures (°F)		79	120	150
Paramètres				
Lectures	L600	201	151	122
	L300	146	112	88
Vp (cP)		45	39	34
Yp (lb/100ft ²)		111	73	54
Gels (lb/100ft ²)	10s	22	10	6
	10mn	34	17	12

e.2 Influence de la quantité en électrolyte (KCl) :

Afin de voir l'influence de l'électrolyte sur les différentes caractéristiques de la boue nous avons varié la concentration en KCl, par contre le POLICELL RG reste à 3 kg/m³ et les résultats d'analyses sont montrés sur les tableaux ci-dessous.

Tableau II.5 : Résultats obtenus avec une boue à 40 kg/ m³ de KCl.

Températures (°F)		79	120	150
Paramètres				
Lectures	L600	78	52	57
	L300	53	34	35
Vp (cP)		25	18	22
Yp (lb/100ft ²)		28	16	13
Gels (lb/100ft ²)	10s	3	2	2
	10mn	5	3	2

Tableau II.6 : Résultats obtenus avec une boue à 60 kg/ m³ de KCl.

Températures (°F)		79	120	150
Paramètres				
Lectures	L600	63	56	36
	L300	43	37	23
Vp (cP)		20	19	10
Yp (lb/100ft ²)		23	18	10
Gels (lb/100ft ²)	10s	3	2	1
	10mn	4	4	2

Tableau II.7 : Résultats obtenus avec une boue à 80 kg/ m³ de KCl.

Températures (°F)		79	120	150
Paramètres	L600	56	45	33
	L300	37	29	21
Vp (cP)		19	16	12
Yp (lb/100ft ²)		18	13	9
Gels (lb/100ft ²)	10s	2	1	1
	10mn	3	2	2

II.3 Représentation graphique des différents paramètres mesurés en fonction des quantités de polymères :

II.3.1 Variation de la viscosité en fonction de la quantité en POLICELL RG à différentes températures :

La figure II.1 représente les résultats de la viscosité à différentes quantité de polymères ajoutées.

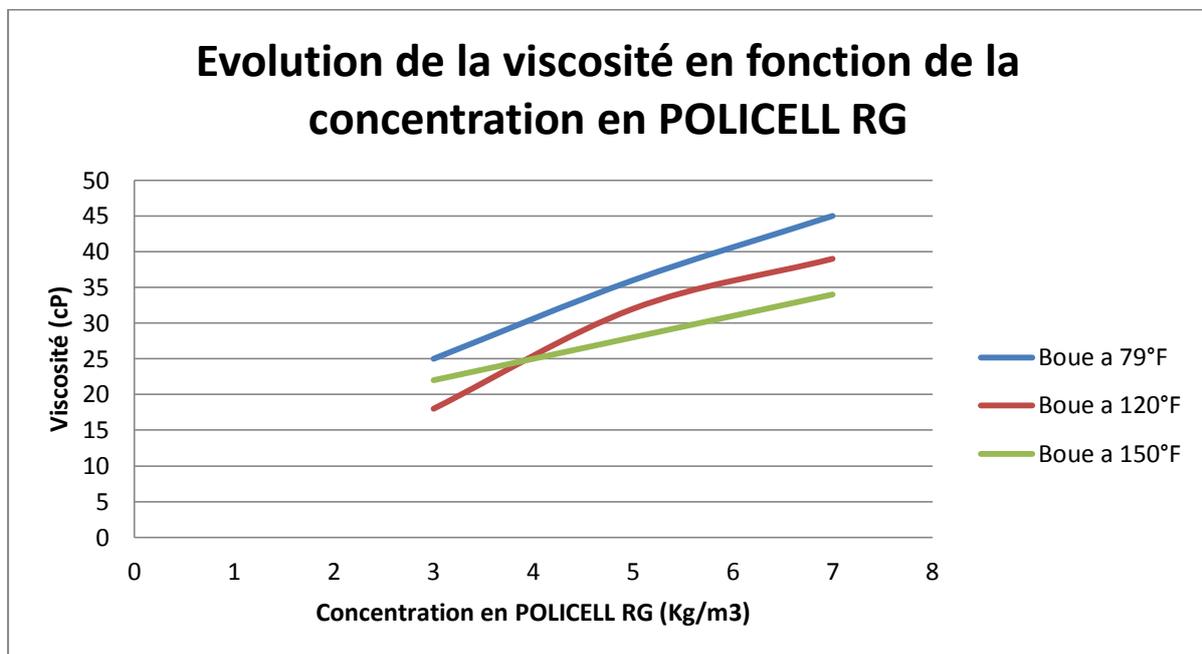


Fig. II.1 Evolution de la viscosité en fonction du polymère

On constate que l'ajoute de polymère fait augmenter la viscosité.

II.3.2 Variation de la Yield point en fonction de la quantité en POLICELL RG à différentes températures :

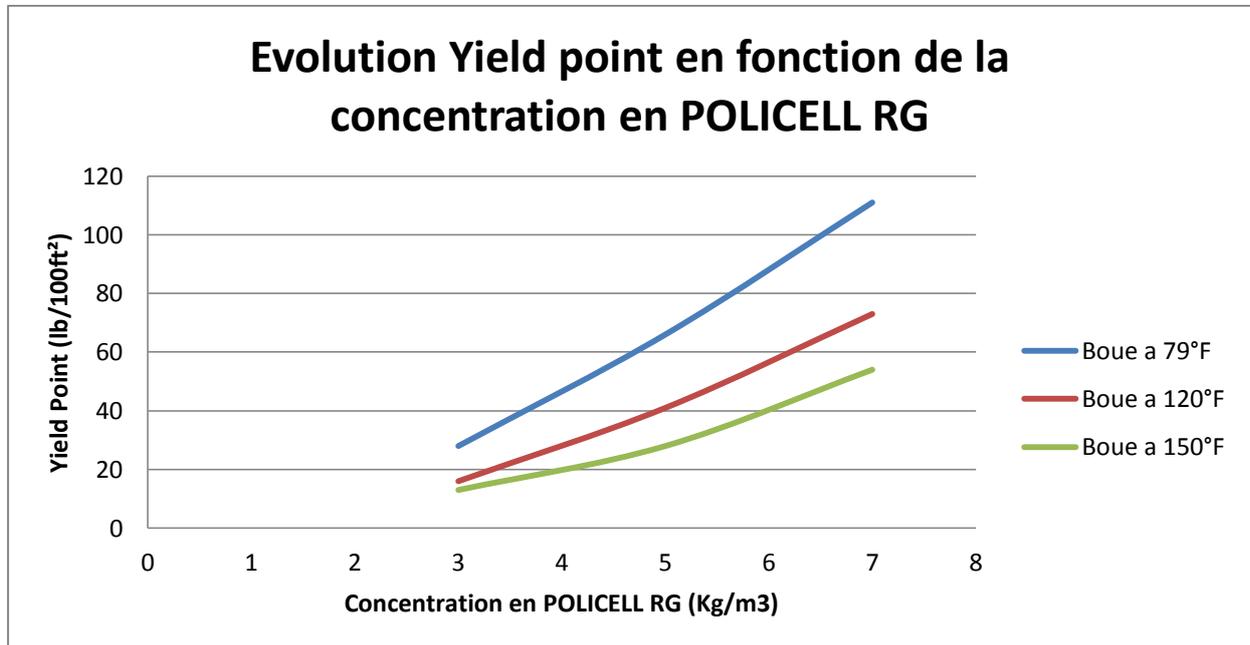


Fig. II.2 Evolution de la yield point en fonction du polymère

D'après les résultats montrés par les courbes de la figure II.2 on remarque que la yield point augmente avec l'augmentation des quantités ajoutées en polymère.

II.3.3 Variation des Gel 10s en fonction de la quantité en POLICELL RG à différentes températures :

Il est à noter que d'après les résultats montrés sur la figure II.3 on constate que le Gels 10s augmente avec l'ajout de polymère.

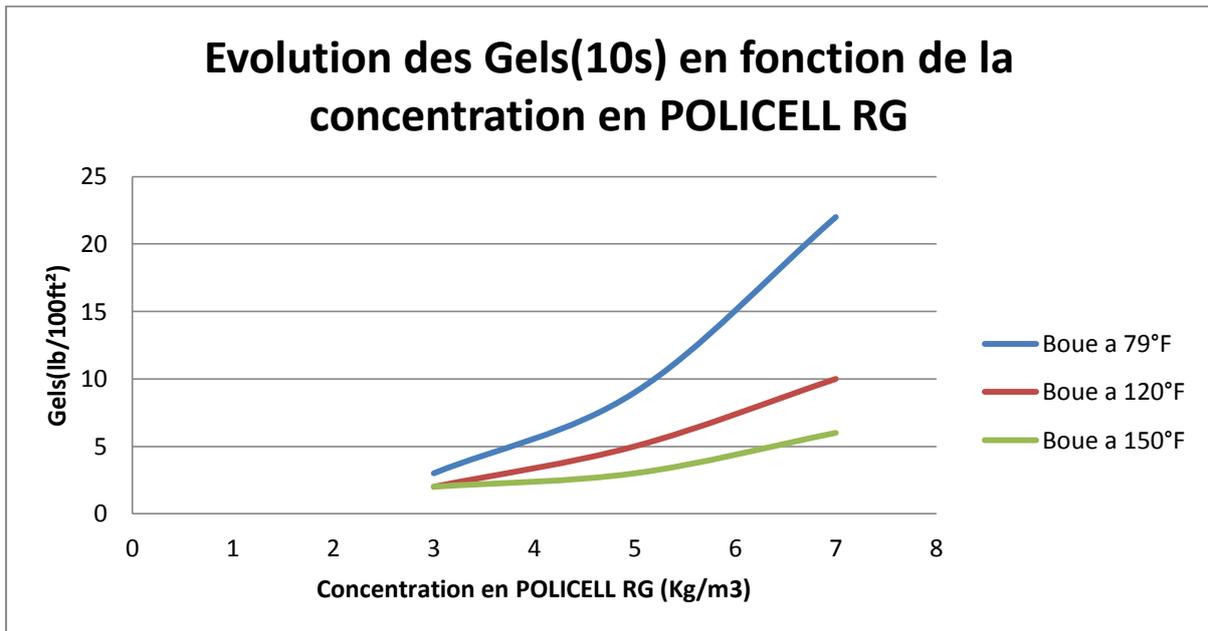


Fig. II.3 Evolution des Gels 10s en fonction du polymère

II.3.4 Variation des Gels 10mn en fonction de la quantité en POLICELL RG à différentes températures :

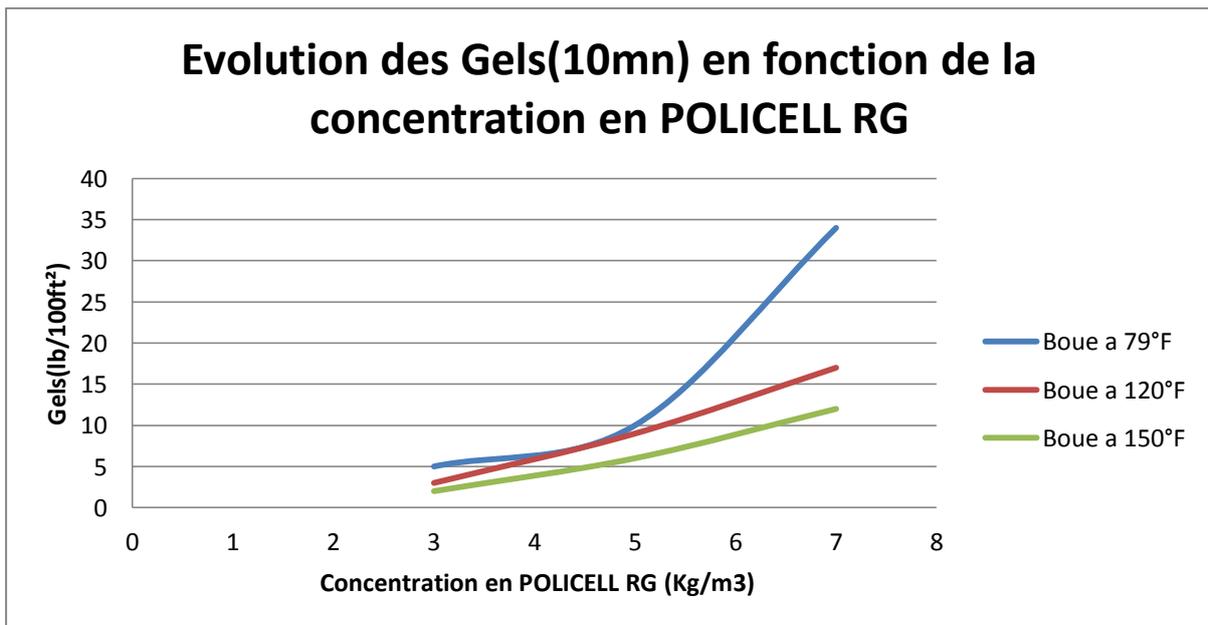


Fig. II.4 Evolution des Gels 10mn en fonction du polymère

Interprétation :

L'ajout du POLICELL RG qui est un polymère de nature augmente la viscosité, c'est-à-dire une résistance à l'écoulement qui est due à la particularité du polymère, car il contient des

chaines longues (grand poids moléculaire). De plus, il est chargé négativement et il a tendance à relier les particules argileuses dont la charge latérale prépondérante est positive (une neutralisation des charges latérales des particules argileuses) en créant un maillage dans la suspension, augmentant ainsi la résistance à l'écoulement.

La yield point qui est fonction de la viscosité croît avec l'augmentation de la viscosité et en conséquence une formation de gels assez importante.

II.4 Représentation graphique des différents paramètres rhéologiques en fonction de la température:

II.4.1 Variation de la viscosité en fonction de la température à différentes concentrations de POLICELL RG :

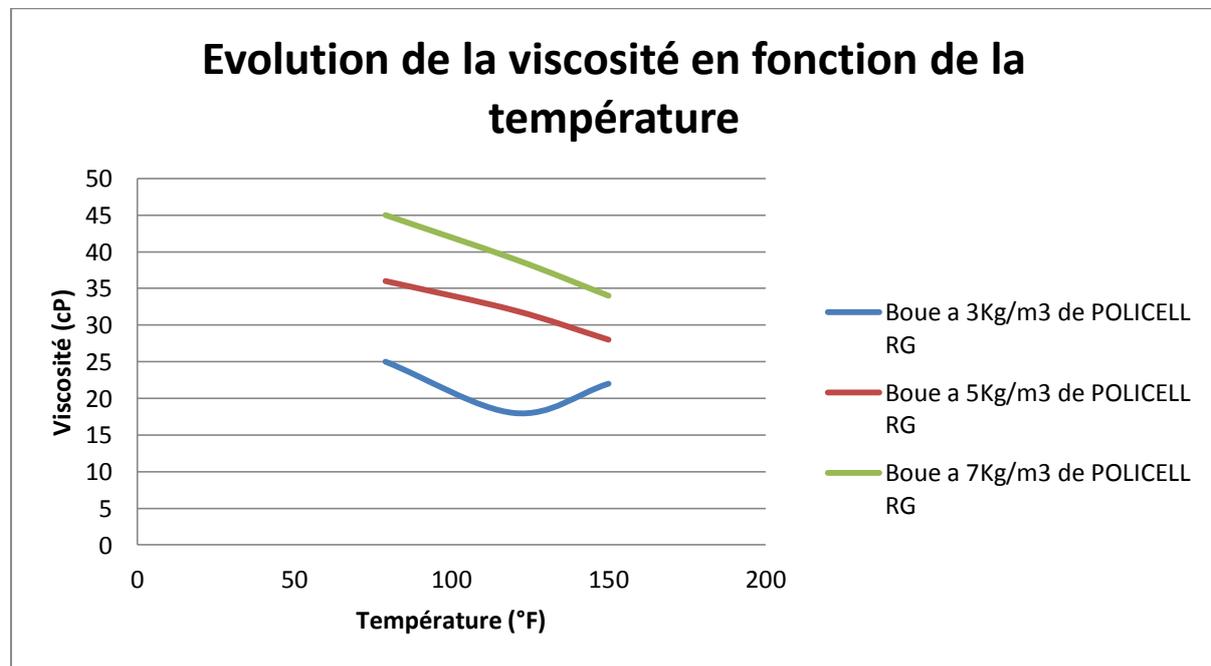


Fig. II.5 Evolution de la viscosité en fonction de la température

En augmentant la température on note que la viscosité baisse, sauf une légère augmentation pour la boue à 7 kg/m^3 en POLICELL RG à la température de 120°F jusqu'à 150°F .

II.4.2 Variation de la yield point en fonction de la température à différentes concentrations de POLICELL RG :

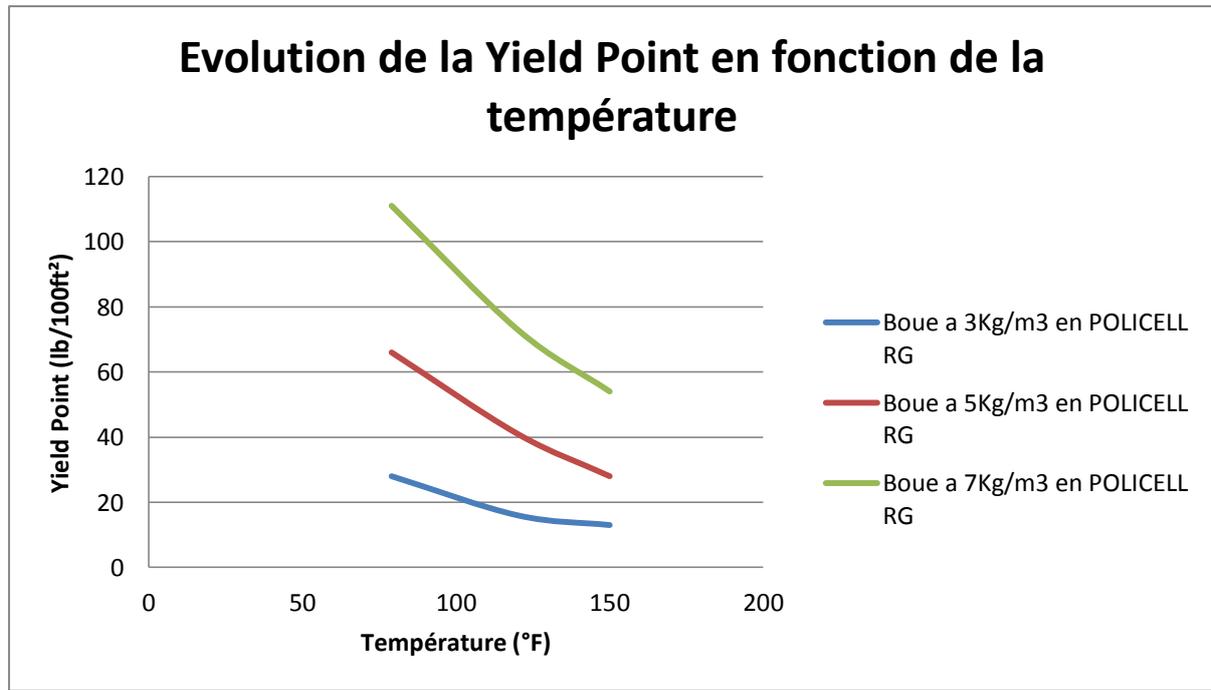


Fig. II.6 Evolution de la yield point en fonction de la température

Les courbes de la figure. II.6 montre que la température fait diminuer la yield point

II.4.3 Variation des Gels 10s en fonction de la température à différentes concentrations de POLICELL RG :

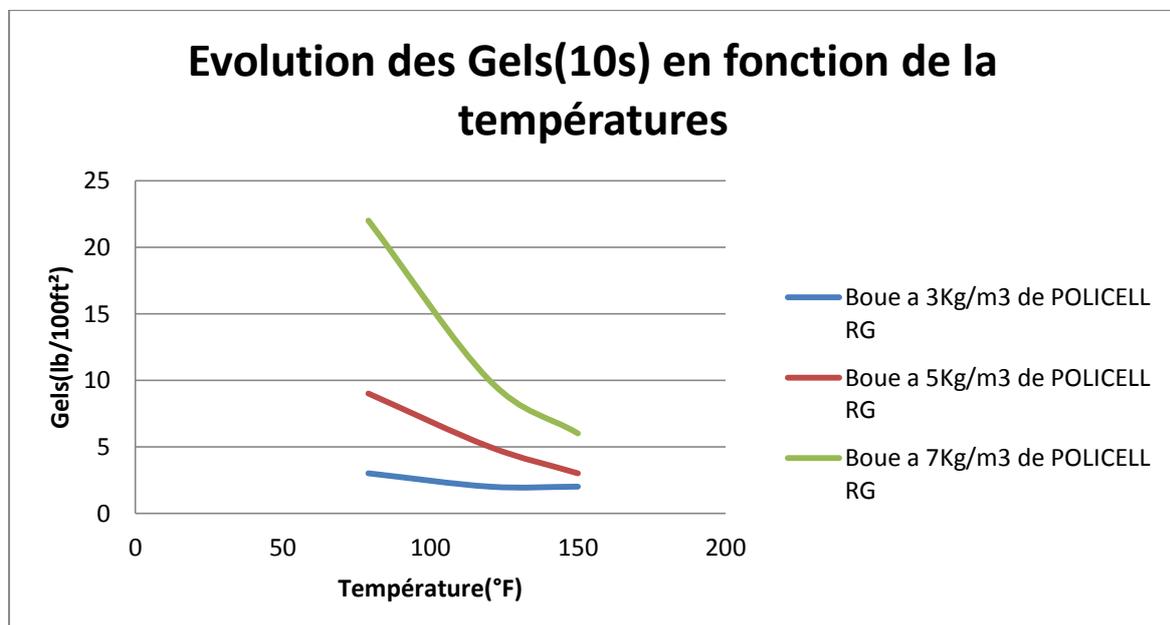


Fig. II.7 Evolution des Gels10s en fonction de la température

La aussi on remarque que les gels ne font que diminuer avec l'augmentation de la température

II.4.4 Variation des Gels 10mn en fonction de la température à différentes concentrations de POLICELL RG :

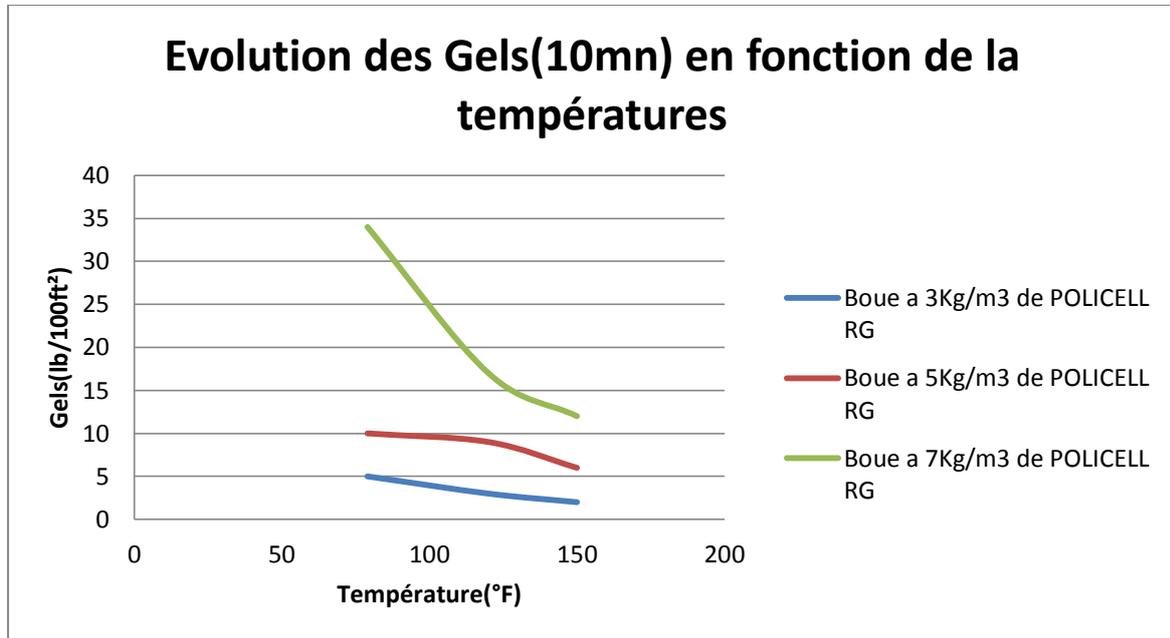


Fig. II.8 Evolution des Gel 10mn en fonction de la température

Les résultats donne une diminution des Gels avec l'augmentions de la température

Interprétation :

Les courbes des figures ci-dessus montrent que l'ensemble des paramètres rhéologiques diminuent en fonction de la température. Ce phénomène s'explique par l'excitation moléculaires ; les molécules ont tendance à s'éloigner les unes des autres (l'espace entre les molécules augmente), ce qui conduit à la diminution des frottements entre particules et en conséquence une diminution de la viscosité. A la température élevée (150°F) cette diminution peut s'expliquer par le fait de la dégradation du POLICELL RG.

II.5 Représentation graphique des différents paramètres mesurés en fonction de la quantité en KCl :

Résultats pour le KCl :

Température °F KCl (kg/m ³)	Yp (lb/100ft ²)			Vp (cP)			Gels à 10s (lb/100ft ²)			Gels à 10mn (lb/100ft ²)		
	79	120	150	79	120	150	79	120	150	79	120	150
40	28	16	13	25	18	22	3	2	2	5	3	2
60	23	18	10	20	19	10	3	2	1	4	4	2
80	18	13	9	19	16	12	2	1	1	3	2	2

Tableau. II.9 Résultat obtenue pour le KCl

II.5.1 Variation de la viscosité en fonction de la quantité en KCl à différentes températures :

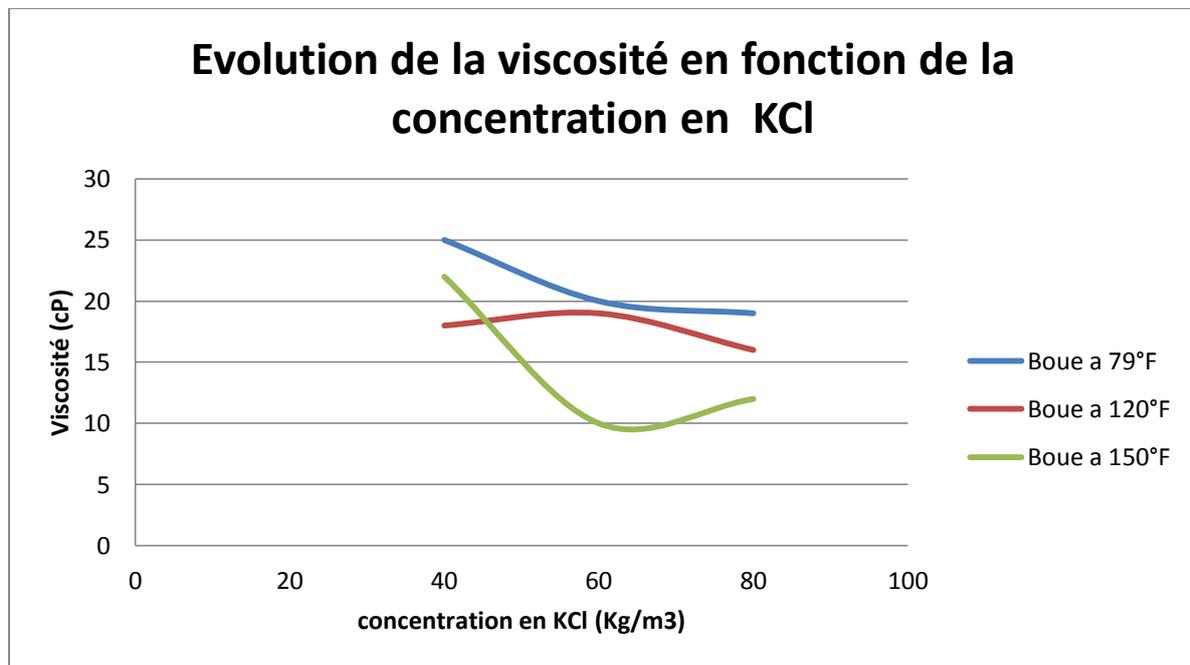


Fig. II.9 Evolution de la viscosité en fonction du KCl

On voit que l'ajout du sel fait diminuer la viscosité à n'importe quelle température

Pour la boue a température ambiante la viscosité diminue avec l'ajout du KCl.

A 120°F la viscosité elle augmente jusqu'à 19(cP) correspondant à 60 kg/m³ de KCl puis elle diminue.

La boue mise à la température maximale de 150°F montre que la viscosité subit une chute brutale jusqu'au environs de 08 cP puis elle remonte.

II.5.2 Variation de la yield point en fonction de la quantité en KCl à différentes températures :

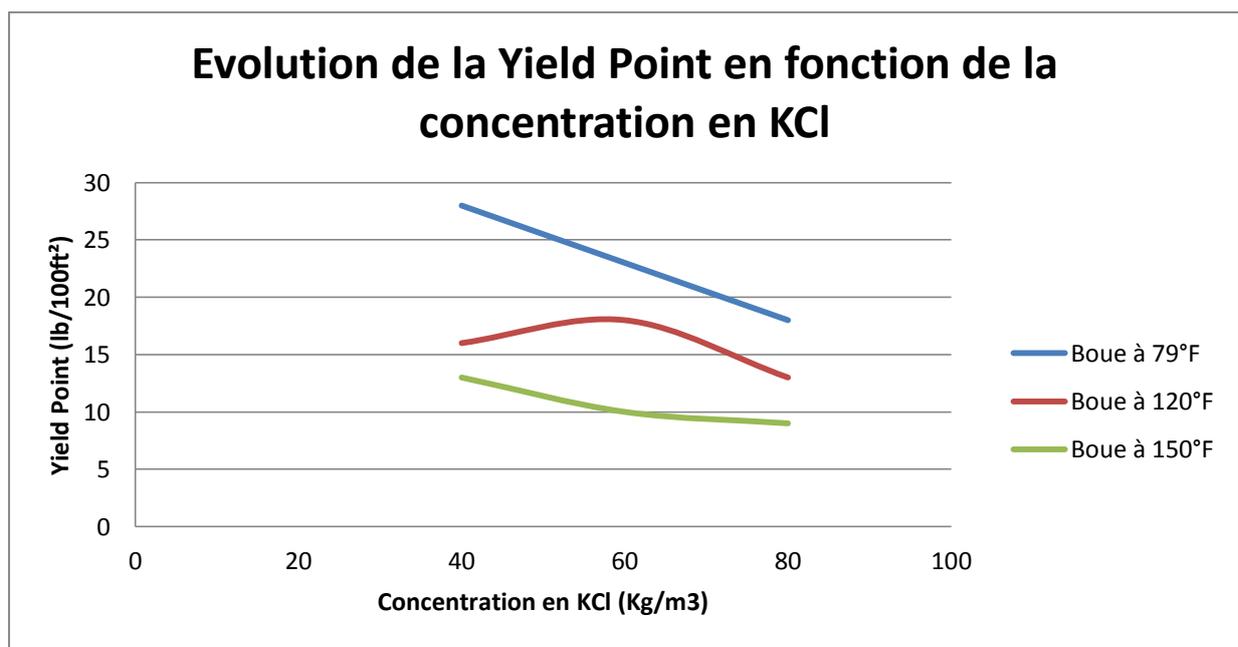


Fig. II.10 Evolution de la yield point en fonction du KCl

Ces résultats montrent que le KCl fait baisser la yield point

On remarque que les courbes relatives à 120°F et 150°F des figures II.9 et II.10 évoluent de la même façon.

II.5.3 Variation des Gels 10s en fonction de la quantité en KCl à différentes températures :

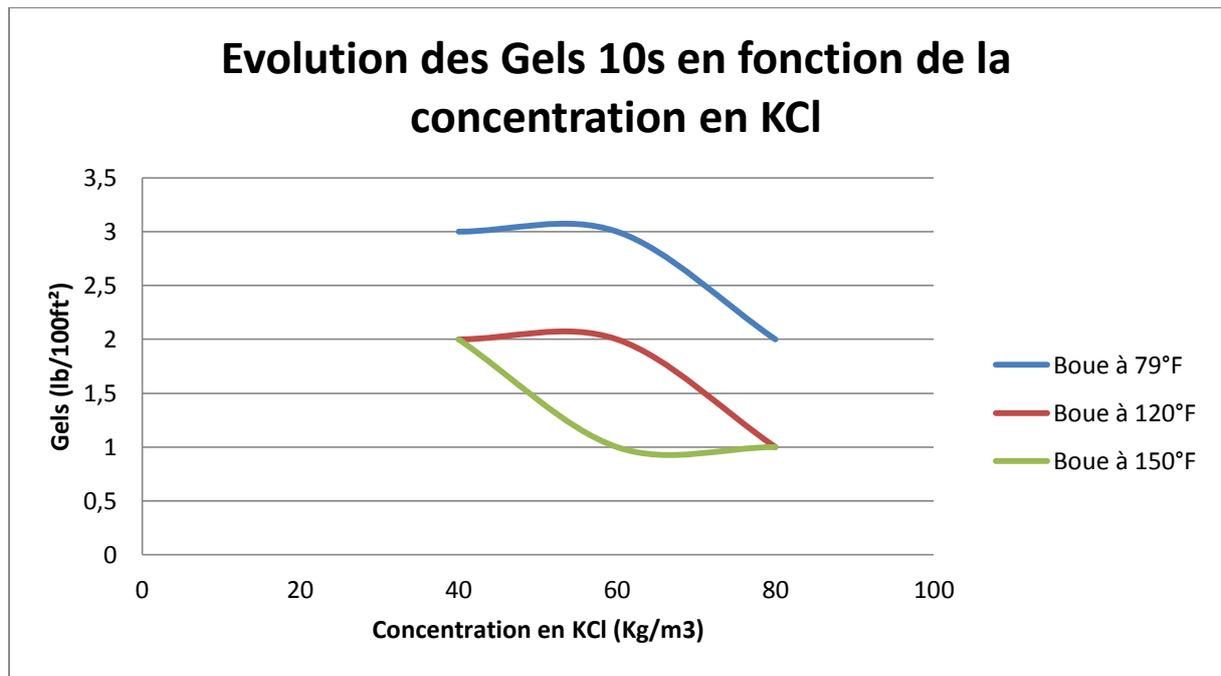


Fig. II.11 Evolution des Gels 10s en fonction du sel KCl

II.5.4 Variation des Gels 10mn en fonction de la quantité en KCl à différentes températures :

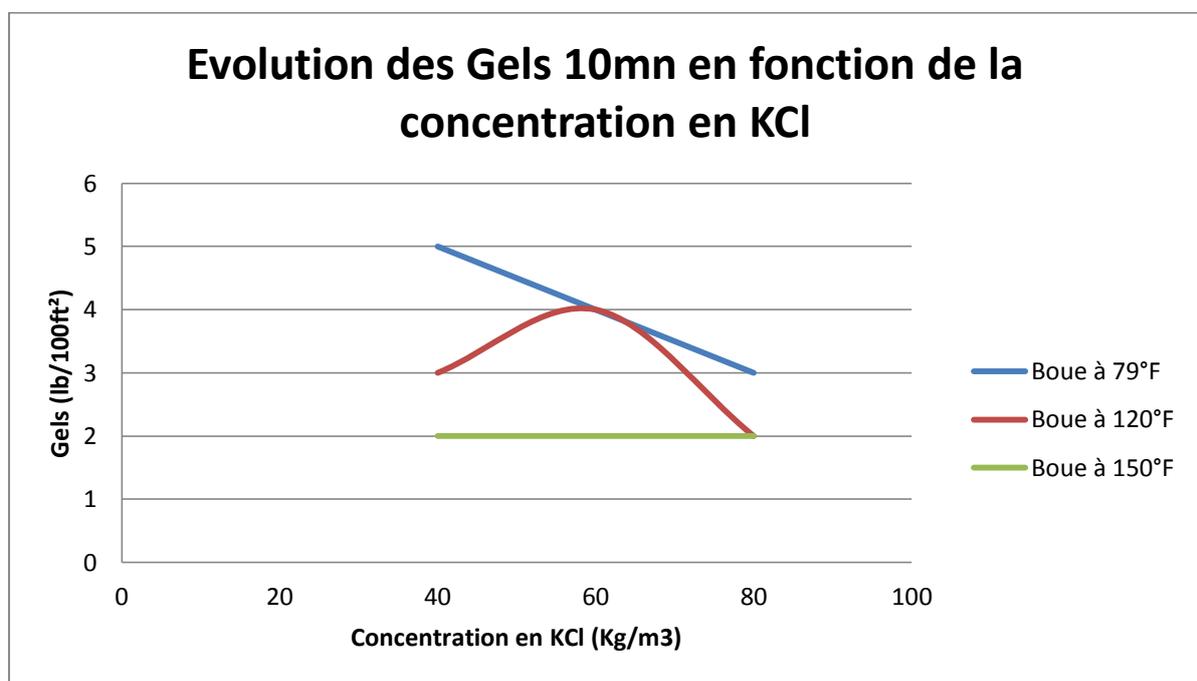


Fig. II.12 Evolution des Gels 10s en fonction du sel KCl

On voit que la courbe représentant la formation des Gels à température ambiante décroît, la courbe relative à 120°F augmente jusqu'à atteindre un pic à 60 kg/m³ en KCl et puis elle revient jusqu'à sa valeur limite.

L'ajout de KCl à la boue à la température de 150°F n'affectent pas la formation des Gels comme montré sur la figure II.12.

Interprétation :

Les résultats obtenus lors des essais effectués sur l'effet du sel sur la boue montrent que :

- Les paramètres rhéologiques décroissent à cause du phénomène de l'osmose qui est due au gradient de concentration du sel (KCl) dans la suspension.
- Les paramètres rhéologiques décroissent à cause de la présence d'électrolyte dans la suspension qui provoque le rétrécissement des polymères.

II.6 Représentation graphique des différents paramètres mesurés en fonction de la température :

II.6.1 Variation de la viscosité en fonction de la température à différentes concentration en KCl :

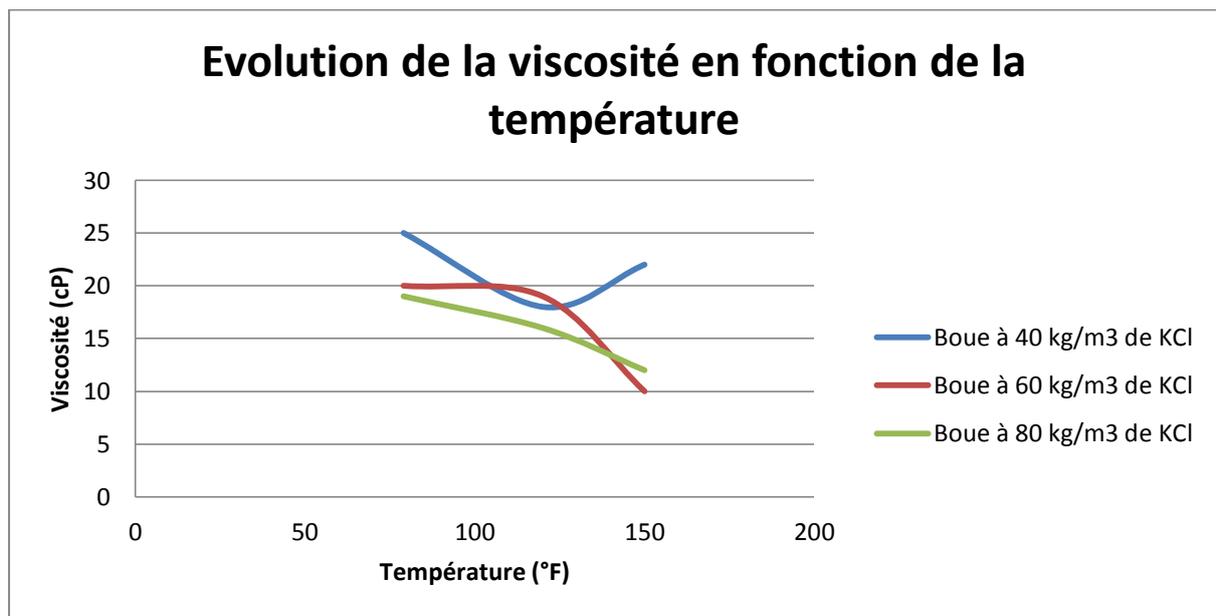


Fig. II.13 Evolution de la viscosité en fonction de la température

II.6.2 Variation de la yield point en fonction de la température à différentes concentration en KCl :

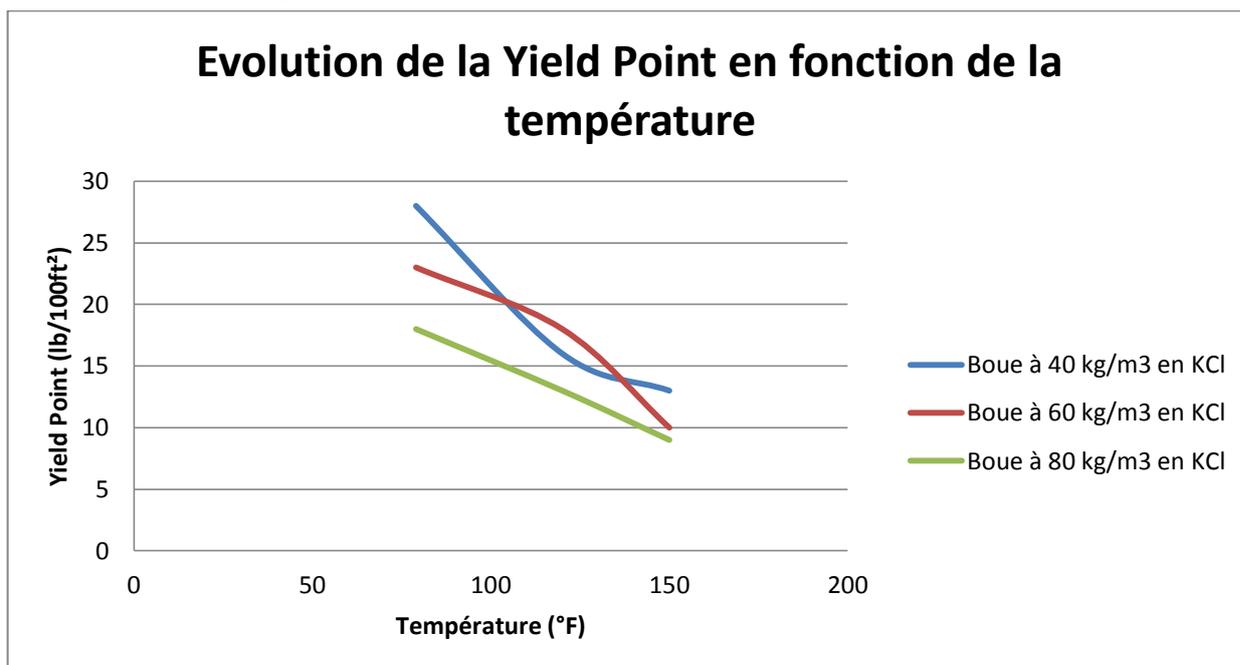


Fig. II.14 Evolution de la yield point en fonction de la température

II.6.3 Variation des Gels 10s en fonction de la température à différentes concentration en KCl :

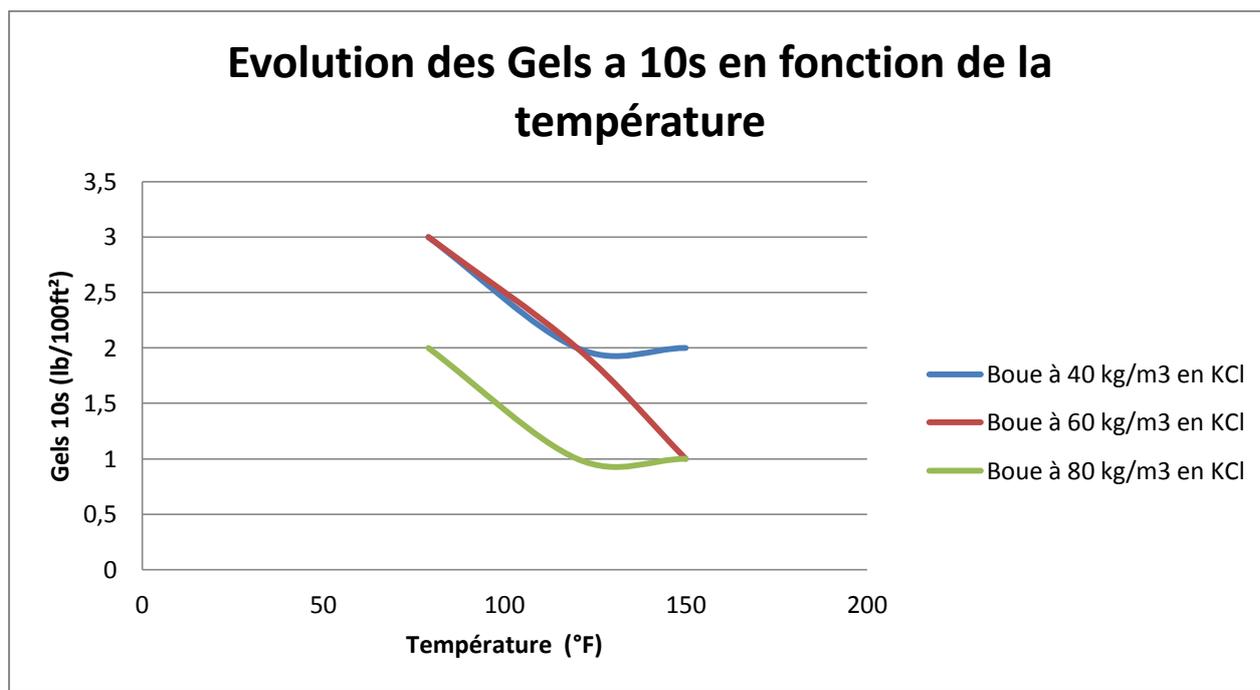


Fig. II.15 Evolution des Gels 10s en fonction de la température

II.6.4 Variation des Gels 10mn en fonction de la température à différentes concentration en KCl :

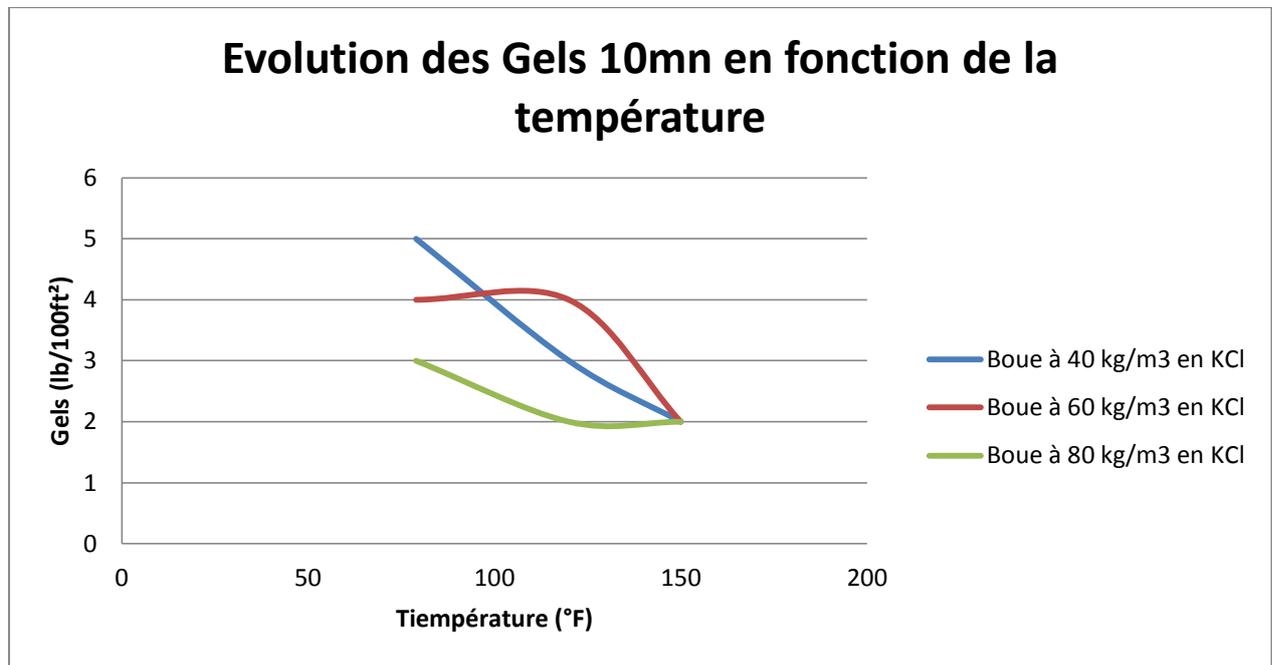


Fig. II.16 Evolution des Gels 10mn en fonction de la température

Constatation :

Les quatre figures ci-dessus, donnant les variations des paramètres rhéologiques en fonction de la température à quantité de KCl constante montrent des courbes décroissantes. La courbe de la viscosité montrée sur la figure II.13 concernant la boue à 40kg/m³ de KCl présente une élévation de la viscosité au delà de 120°F.

Interprétation :

- Les résultats obtenus ne peuvent être expliqués que par l'agitation moléculaire.
- Et lorsque la température commence à atteindre des valeurs élevées cela dégrade ces mêmes polymères.

Conclusion :

Les essais effectués sur une boue à base d'eau ont montré que les paramètres rhéologiques (Vp, Yp, Gels) sont inversement proportionnels à la température.

Par contre, le polymère (POLICELL RG) ajouté à la boue augmente ces paramètres, sauf que la viscosité semble diminuée au-delà de 150°F à cause du processus de dégradation de ce polymère.

Il est à noter que l'ajout du KCl influence négativement sur les paramètres rhéologiques, ce qui fait donc diminuer la viscosité.

Conclusion générale

Le composé polymère couramment utilisé par l'entreprise AVA Algérie est sans doute le POLICELL RG, qui possède une tolérance assez faible vis-à-vis à la température du fait de la rupture de ces liaisons en cas d'augmentation de ce paramètre. Et pour remédier à ce déficit, un polymère de remplacement est exigé à savoir la gomme XANTHAN. Qui est de même nature que le précédent mais qui offre une bonne résistance à la température réglant ainsi le problème de l'agitation moléculaire, offrant une viscosité plastique dans les limites de l'acceptable.

Et pour la yield point, le paramètre souvent convoité par les ingénieurs de boue, qui est relié directement à la viscosité, une yield point assez importante offre une remontée de déblais suffisante, et une bonne formation de gels, leurs procure une parfaite manutention en suspension à l'arrêt de la circulation.

Et en réglant le problème de gonflement des argiles, ça a conduit à l'apparition de phénomènes influents sur les paramètres rhéologiques à savoir :

- Le phénomène de l'osmose, dû à la différence de concentration du sel entre la phase aqueuse et l'espace interfoliaire de l'argile
- Le phénomène du rétrécissement des polymères sous l'effet de l'électrolyte.

La boue à base d'eau se confronte à plusieurs problèmes, mais qui sont neutralisés par plusieurs solutions, il faut savoir qu'elle est en perpétuelle surveillance par le mud ingénieur, soit pour une raison de densité, d'argile, de perte, de venue d'autres fluides ou d'augmentation de la température. L'ingénieur se doit être vigilant et prêt à réagir à n'importe quelle situation.

La Compagnie AVA se joue de la qualité de sa boue à base d'eau, et cela lui vaut une bonne réputation à travers le monde du forage, et une demande de plus en plus sollicitée.

[1] : J.P. NGUYEN, « le forage », éditions TECHNIP, Paris et institut Français du pétrole, Rueil-Malmaison, (1993).

[2] : C.GARCIA et P.PARIGOT, « boues de forage », éditions TECHNIP, Paris et institut Français du pétrole, Rueil-Malmaison, (1968).

[3]: Group ENSP, BASP

[4]: A Subcommittee of the API Southern, «Principles of DRILLING FLUID CONTROL», editions Twelfth, L'université du TEXAS at AUSTIN, (1969).

[5]:M. DADDOU. Les différents types de fluide de forage fluides de forage. Sonatrach, Division forage, Département Rhu. Module "FFF" (Juillet 09).

[6]:M.Khodja «Les fluides de forage : étude des performances et considération environnementales », thèse à l'institut national polytechnique de Toulouse, (Février 2008).

[7] : extrait d'un livre de BASP.

[8] : M. DADDOU. Introduction aux fluides de forage. Sonatrach, Division forage, Département Rhu. Module "FFF" (Juillet 09).

[9] : comité des techniciens, « manuel de rhéologie des fluides de forage et laitiers de ciment », chambre syndicale de la recherche et de la production, édition TECHNIP, (1979)

[10]: Drilling fluids Manuel, AVA

[11]:M. DADDOU, les produit a boue. Sonatrach, Division forage, Département Rhu. Module "FFF" (Juillet 09).

[12]: J. P. Mercier, E. Maréchal, « Chimie des polymères », presse polytechniques et universitaires romandes, (1996).

[13] :F. Karim, « amélioration des propriétés rhéologiques des fluides de forage à base de biopolymères : application aux puits horizontaux », mémoire magister à l'université de Boumerdes, (2007).

[14] :P. Weiss, « la chimie des polymères », Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, (2009-2010).

[15] :M. Rebstein, C. Soerensen, « Chimie avancée », Presses polytechniques et universitaires romandes, (2011).

[16] : P.F. Thomas, J.L Azan, »Physique-Chimie », Bréal, (2006).

[17] : le pétrole, « prospection et production », Esso standard SAF, Département Formation.

[18] :A.CHOQUIN, cours de forage,« Paramètres et contrôle du forage », société des éditions technip, (1982)

[19] : Unicef, EntrepriseWork/VITA, « les technique de forage manuel », juin 2009.

[20] : M Claude Maurutto, « les forages de Puits d'Eau », 8 ième journée de l'APRONA.

[21] : site de AVA-spa, www.ava-spa.com

[22] : O.Meftah et M.Ramzi, <<étude des fluides de forage dans le forage verticale>>, université Kasdi Merbah, 2011,2012.

Résumé:

Ce projet consiste à étudier les propriétés rhéologiques (viscosité et contrainte seuil) et le comportement rhéologique du fluide à base d'eau, et l'influence des additifs.

En outre nous étudions l'influence du sel(KCl), de la température les propriétés rhéologiques

Pour réaliser ce projet, nous avons utilisés la bentonite, un viscosifiants (POLICELL RG), un réducteur de filtrat (POLICELL SL), pour l'élaboration d'une boue bentonitique aux KCl. Ces polymères et autres additifs sont ajoutés dans le fluide à base d'eau pour corriger ou améliorer quelques propriétés qui sont, dans la plupart du temps, la viscosité, le filtrat et la densité.

Toutes les courbes rhéologiques sont réalisées sur un viscosimètre à vitesse imposée (ofite model 800 à 08 vitesses).

Abstract:

This project consists in studying the rheological properties (viscosity and forced threshold) and the rheological behavior of the fluid containing water, and influences it additives.

Moreover we study the influence of salt (KCl), of the temperature the rheological properties

To carry out this project, we used the bentonite, a viscosifiants (POLICELL RG), a reducer of filtrate (POLICELL SSL), for making of a bentonitic mud in KCl. These polymers and other additives are added in the fluid containing water to correct or improve some properties which are, in most of the time, viscosity, the filtrate and the density.

All the rheological curves are carried out on a viscometer at imposed speed (ofite model 800 - 08 speeds).