

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA -BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Des Procédés

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme Master
Spécialité : Matériaux de Génie Civile

THEME

**Utilisation des déchets de bois dans les boues forage à base
d'eau: substitution des polymères**

Réalisé Par :

BOUMAZA SOUMIA

Proposé et suivi par :

Dr. SAFI B.

Devant le jury :

Résumé

Les boues de forage sont généralement à la base des polymères organiques utilisés en tant que viscosifiant ou réducteur de filtrat de boue. Ces polymères sont coûteux et font souvent augmenter le coût de l'opération du forage des puits de pétrole. Pour cela, une boue de forage à base d'eau sera conçue en utilisant des déchets de bois (de différente granulométrie) par substitution des polymères organiques qui sont CMC et PAC (comme viscosifiant et/ou réducteur de filtrat). De nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des déchets (sciure) de bois dans différents champs pour une utilisation sous différentes formes. Néanmoins, la récupération et l'utilisation de la sciure de bois ou de la poudre de bois comme constituants dans les fluides de forage mérite bien d'être étudié.

Le présent travail est consacré à l'étude des principales propriétés rhéologiques et physicochimiques de la boue contenant la poudre de bois à différentes teneurs et tailles par substitution de polymères habituellement utilisés. L'effet de la poudre de bois sur le filtrat de la boue sera également analysé.

Abstract

Drilling muds are generally the basis of the organic polymers used as viscosifier or slurry filtrate reducer. These polymers are expensive and often add to the cost of drilling the oil wells. For this, a water-based drilling mud will be designed using wood waste (of different particle size) by substitution of the organic polymers which are CMC and PAC (as viscosifier and / or filtrate reducer). Much research has been conducted on the use of wood waste (sawdust) in different fields for use in different forms. Nevertheless, the recovery and use of sawdust or wood powder as constituents in drilling fluids deserves to be studied.

The present work is devoted to the study of the main rheological and physicochemical properties of the sludge containing wood powder at different contents and sizes by substitution of commonly used polymers. The effect of the wood powder on the filtrate of the mud will also be analyzed

Remerciement

Ce stage pratique pour le mémoire de Master 2 a été réalisé au sein de la société BASP.

Je tiens à remercier notre Dieu, notre créateur pour m'avoir donné la force pour accomplir ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements à mon professeur consultant le Dr SAFI Brahim pour avoir dirigé ce travail et également pour les encouragements qu'il n'a cessé de me prodiguer. Je suis heureuse de pouvoir lui exprimer mes plus sincères remerciements.

Je remercie Mr BELDJAZIA Abdelaali, Mme BENAYAD Feriel qui m'ont formé et accompagné tout en long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Je remercie Monsieur MEZZAR Kamal et Mlle BOUMAZA HANIFA qu'ils m'ont aidé lors de séjour au (HASSI MASAOUUD)

Je remercie l'ensemble des membres du jury. Pour avoir accepté d'être examinateurs de ce manuscrit.

Mes derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Dédicaces

*Je ne peux commencer sans évoquer le nom d'ALLAH
le tout puissant qui m'a donnée la patience, la santé, le*

Courage

Et la force tout le long de ma vie

Je dédie ce modeste travail :

A la lumière de ma vie, mes très chers parents :

*Le plus patient et le plus compréhensif, mon très cher père ce grand
monsieur pilier Indiscutable qui m'a toujours soutenu, m'a encouragé*

Et m'a poussé à poursuivre mes études que dieu le garde en bonne

Santé A Mon Modèle De Sacrifice, D'amour Et De Générosité,

La Lumière De Mon Chemin Et L'étoile De Ma Vie :

A Ma Très Chère Mère.

A Mes Chères Sœurs Hanifa, KHadidja, Sara Et Mon frère

Ameur

A Toute La Famille BOUMAZA Et MEDDAD

Mes Amis: ma chère copine Soumaya, Abdelghani, Amel, Amira,

Nesrine, Farida, Roza, et Ahlem.

Je N'oublie Pas Groupe MGC16

SOUMIA

Sommaire

Introduction général.....	8
------------------------------	---

Chapitre I

Généralités sur les fluides do forage

I. Introduction.....	10
I.1. Définition du fluide de forage.....	11
I.2. Les fonctions du fluide de forage.....	11
I.3. Concept des fluides de forage	11
I.4. Contrôle et caractérisation des propriétés	12
I.5. Paramètres physiques et chimiques	13
I.6. Notion de mouvement laminaire de cisaillement.....	18
I.6.1. Définition	18
I.6.2. Contrainte de cisaillement.....	18
I.6.3 Déformation et vitesse de cisaillement	19
I.6.4. Equation d'état	20
I.6.5. La viscosité	20
I.6.5.1. La viscosité cinématique ν	21
I.6.5.2. La viscosité relative, spécifique, intrinsèque	21
I.7. Typologie de l'écoulement.....	21
I.7.1. Les fluides indépendants du temps	22
I.7.1.1. Fluides à contrainte critique.....	23
I.7.1.2. Fluides sans contrainte critique.....	24
I.7.2. Les fluides dépendants du temps	26
I.7.2.1. Fluides thixotropes.....	26

I.8. Classification des fluides de forage	27
I.8.1. Les fluides à base d'huile.....	27
I.8.2. Les fluides à base d'eau	29
I.8.3. Les fluides de forage gazeux.....	29
I.9. Filtration et endommagement des formations.....	30

Chapitre II

Déchets du bois

II.1. Définition.....	34
II.2. Caractéristiques.....	34
II.2.1 Propriétés physiques.....	34
II.2.2. Propriétés mécaniques.....	36
II.2.3. Propriétés Chimiques.....	36
II.3. Classifications du bois.....	37
II.4. Utilisations du bois.....	38

Chapitre III

Méthodologie du travail et caractérisation des matériaux

III. Méthodologie du travail.....	40
III.1. Caractérisation des matériaux	41
III.1.1 La bentonite.....	41
III.2. Le Barazane.....	41
III.3. Le PAC.....	42
III.4. DEXTRID	43
III.5. BAROID.....	44
III.6. Le Bois	44

III.7. Présentation de la composition de chaque boue	47
III.7.1 Procédure de la production de la boue	47
III.8. Composition des différentes boues	47
III.8 .1 : Formulation de la boue à base d'eau couramment utilisée	47
III.8.2 Formulations des boues; à différent dosage et taille des déchets : en tant viscosifiant par substitution des polymères	48
III.8.3. Formulation des boues à différent dosage et taille de déchets : en tant réducteur de filtrat par substitution des polymères	49
III.9. Moyenne expérimentaux	51
III.9.1. Viscosimètre MARCHE.....	51
III.9.2. Viscosimètre FANN	52
III.9.3 Densimètre	52
III.9.4. Filtres –presses API.....	53
III.10. Protocole expérimentale	54
III.10.1. Mesure de la viscosité	54
III.10.2. Mesure la densité.....	54
III.10.3. Filtres presses API.....	55

Chapitre IV

Résultats et interprétations

IV.1. Utilisation du déchet de bois en tant que viscosifiant	58
a). Poudre de Bois à 630 μm	59
a).1. Paramètres Rhéologiques	59
a).2. Gel 0/10.....	59
a).3. Comportement rhéologiques	60
a).4. Propriétés physico-chimiques	61
a). 5. Filtrat API des boues	62
b). Poudre de Bois à 315 μm	63

b).1.Paramètres rhéologiques	63
b).2. Gel 0/10.....	64
b).3. Comportement rhéologiques	65
b).4. Propriétés physico-chimique.....	66
b).5. Filtrat API des boues.....	67
c). Poudre de Bois à 160 μm	68
c).1. Paramètres rhéologiques	68
c).2. Gel 0/10.....	68
c). 3. Comportement rhéologiques	69
c).4. Propriétés physico-chimiques	70
c).5.Filtrat API.....	71
IV.2. Utilisation du déchet de bois en tant qu'un réducteur de filtrat	72
a). Poudre de Bois à 630 μm	72
a).1. Paramètres Rhéologiques	72
a).2. Gel (0/10)	73
a).3. Comportement rhéologiques	74
a).4. Propriétés physico-chimique.....	75
a).5.Filtrat API des boues.....	76
Références Bibliographique	79

Liste de figure

Chapitre I : Généralités sur les fluides de forage

Figure I.1 : <i>Forces agissant sur deux éléments de couches voisines</i>	18
Figure I.2 : <i>Mouvement laminaire de cisaillement entre deux plans parallèles</i>	19
Figure I.3 : <i>Courbes d'écoulement de fluides présentant une contrainte critique</i>	23
Figure I.4 : <i>Schéma d'état de la matière en solution avant et après cisaillement</i>	24
Figure I.5 : <i>Courbes d'écoulement des principales catégories de fluides sans contrainte critique</i>	25
Figure I.6 : <i>Boucles d'hystérésis de fluides thixotropes</i>	27
Figure I.7 : <i>Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation</i>	31

Chapitre II : Déchets du bois

Figure II.1 : <i>Usage du bois</i>	39
---	----

Chapitre III : Méthodologie et caractérisation des matériaux

Figure III.1 : <i>Distribution granulométrique par granulomètre Laser du bois</i>	39
Figure III.2 : <i>Images obtenues par microscope optique de poudre de bois</i>	40
Figure III.3 : <i>formulation de base</i>	41
Figure III.4 : <i>Viscosimètre MARCHE</i>	45
Figure III.5 : <i>Viscosimètre FANN 35 SA</i>	46
Figure III.6 : <i>Densimètre</i>	47
Figure III.7 : <i>Filtre-presse API</i>	47

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Figure IV.1 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois sur les paramètres rhéologiques</i>	54
Figure IV.2 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10</i>	55
Figure IV.3 : <i>Rhéogramme des boues à différent dosage de déchets de bois (fraction <630µm)</i>	56
Figure IV.4 : <i>Effet de différent dosage de déchets de bois sur les paramètres physico-chimie avant</i>	57
Figure IV.5 : <i>Effet de dosage de déchets de bois (fraction <630µm) sur le filtrat</i>	58
Figure IV.6 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois (fraction <315µm) sur les paramètres rhéologiques</i>	58
Figure IV.7 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10</i>	59
Figure IV.8 : <i>Rhéogramme des boues à différent dosage de déchets de bois (fraction <315µm)</i>	60

Figure IV.9 : <i>Effet de différent dosage de déchets de bois sur les paramètres physico chimie avant (a) et après (b) Hot-rolling</i>	61
Figure IV.10 : <i>Effet de dosage de déchets de bois sur le filtrat</i>	62
Figure IV.11 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois (<630µm) sur les paramètres Rhéologiques</i>	63
Figure IV.12 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10</i>	64
Figure IV.13 : <i>Rhéogramme des boues à différent dosage de déchets de bois (<630µm)</i>	65
Figure IV.14 : <i>Effet de différent dosage de déchets de bois sur les paramètres physico chimie avant (a) et après (b) Hot-rolling</i>	66
Figure IV.15 : <i>Effet de dosage de déchets de bois sur le filtrat</i>	66
Figure IV.2.1 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois (<630µm) sur les paramètres rhéologiques</i>	68
Figure IV.2.2 : <i>Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10</i>	69
Figure IV.2.3 : <i>Rhéogramme des boues à différentes concentrations de déchets de bois(<630µm)</i>	70
Figure IV.2.4 : <i>Effet de différent dosage de déchets de bois sur les paramètres physicochimie avant (a) et après (b) Hot-rolling</i>	71
Figure.IV.2.5. <i>Effet de dosage de déchets de bois sur le filtrat</i>	72

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les fluides de forage

Tableau I.1 : Quelques ordres de grandeur des valeurs de viscosité de différents matériaux à température ambiante.....	20
Tableau I.2 : Modèles rhéologiques décrivant l'écoulement de fluides à contrainte critique (d'après Midoux, 1988).....	23
Tableau I.3 : Lois rhéologiques de fluides ne présentant pas de contrainte critique (D'après Midoux, 1988).....	25
Tableau I.4 : types, caractéristiques, compositions et domaines d'utilisation des boues à Huiles.....	28

Chapitre II : Déchets du bois

Tableau II.1 : Propriétés mécanique.....	36
Tableau II.2 : caractéristiques des classes d'emploi.....	37

Chapitre III : Méthodologie et caractérisation des matériaux

Tableau III.1 : Caractéristiques de la bentonite.....	35
Tableau III.2 : composition chimique de la bentonite.....	35

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Tableau IV.1 Paramètres Rhéologiques	54
Tableau IV.2 Gel 0/10 : représente le gel 0 /10.....	54
Tableau IV.3 : Rhéogramme des boues.....	55
Tableau IV.4 propriétés physico-chimiques.....	56
Tableau IV.5 Filtrat API des boues.....	57
Tableau IV.6 Paramètres rhéologiques.....	59
Tableau IV.7 Gel 0/10.....	59
Tableau IV. 8 Rhéogrammes des boues.....	60
Tableau IV. 9 Propriétés physico-chimique.....	61

Tableau IV.10 Filtrat API des boues.....	62
Tableau IV.11 Paramètres rhéologiques.....	63
Tableau IV.12 Gel 0 /10.....	63
Tableau IV.13 comportement rhéologiques.....	64
Tableau IV.14 Propriétés physico-chimiques.....	65
Tableau IV.15 Filtrat API.....	66
Tableau IV.2.1 Paramètres Rhéologiques.....	67
Tableau IV.2.2 Gel 0/10.....	68
Tableau IV.2.3 comportement rhéologiques.....	69
Tableau IV.2.4 Propriétés physico-chimique.....	70
Tableau IV.2.5 Filtrat API des boues.....	71

Introduction générale

L'utilisation de polymères tels que les dérivés de la cellulose, biopolymères et la gomme de Xanthan, sont devenus indispensables dans les fluides de forage à base d'eau pour remplacer totalement la boue à base d'huile pour des considérations environnementales. De nombreuses études ont été menées en utilisant les différents polymères dans la formulation de boues de forage à base d'eau. Ces études ont montré l'efficacité de certains polymères sur les performances rhéologiques et physico-chimiques des fluides. Comparativement aux différents polymères, le plus utilisé principalement comme réducteur de filtrat est celui dérivé de la cellulose car il est biodégradable et compatible avec d'autres composants. Cependant, la recherche a tendance à utiliser ou valoriser certains déchets pour minimiser le coût de l'opération de forage. Aujourd'hui, les contraintes environnementales imposent de rechercher un composant alternatif pour les fluides de forage pouvant remplacer les polymères sans perturber les caractéristiques rhéologiques des fluides de forage. Parmi les déchets qui peuvent être utilisés dans les fluides de forage, il y a les déchets de bois. Selon la littérature, il est à noter que peu d'études ont été réalisées sur l'utilisation de poudre ou de la sciure de bois dans la formulation de fluides de forage. La sciure de bois désigne tous les déchets de bois issus du bois et produits lors des opérations d'usinage réalisées sur la matière première (bois). Les copeaux de fabrication qui en résultent peuvent être bien récupérés et recyclés dans le domaine de la construction. De nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation de la sciure de bois dans différents champs pour une utilisation sous différentes formes. Néanmoins, la récupération et l'utilisation de la sciure de bois ou de la poudre de bois comme constituants dans les fluides de forage mérite bien d'être étudié. Pour ce faire, notre étude se concentrera sur l'utilisation et le recyclage de la poudre de bois par substitution de polymères dans les boues de forage à base d'eau. Pour cela, des boues de forage à base d'eau ont été conçues en utilisant des déchets de bois (de différente granulométrie : 160, 315 et 630 μ m) par substitution des polymères organiques qui sont CMC et PAC (comme viscosifiant et/ou réducteur de filtrat) Le présent travail est consacré à l'étude des principales propriétés rhéologiques et physicochimiques des boues étudiées.

Le présent manuscrit est subdivisé en deux parties, dont le **chapitre I** traitera une synthèse bibliographique sur les fluides de forage. Tandis que la partie expérimentale qui sera

consacrée à la méthodologie du travail et la caractérisation des matériaux présentés dans le **chapitre III**. Après avoir réalisé les différents essais des boues de forage selon la norme API, les résultats des essais et leurs interprétations seront présentés dans le **chapitre IV**. Enfin, une conclusion générale clôtura ce mémoire en synthétisant les principaux résultats obtenus par notre travail.

Chapitre I. Généralités sur les fluides de forage

I. Introduction

Le premier forage pétrolier a été effectué le 27 Août 1859 par l'Américain E.L. Drake à Titusville (Pennsylvanie). La technique classique du forage, inventée par Lucas (**Nguyen, 1993**) au début du 20^{ème} siècle pour les opérations de forage au Texas, a connu une grande évolution afin de résoudre les nombreux problèmes rencontrés lors du forage. Des apports considérables ont été apportés lors des forages spéciaux (forages hautes pressions et hautes températures, forages horizontaux et multi drains, forage à la mousse et à l'air, etc.). Le développement du forage optimisé a évolué depuis la fin des années 1930.

Ainsi, de 1930 à 1947, les recherches ont été concentrées sur la composition et les propriétés des fluides de forage. Une moindre attention a été apportée à la vitesse d'avancement. L'objectif était de forer le puits, de procéder à sa complétion (processus qui consiste à amener un puits en phase productive après qu'il a été foré) et de le mettre en production.

La complétion implique un certain nombre d'opérations, y compris l'insertion du tubage et l'enlèvement de l'eau et des sédiments de la conduite afin que le fluide de forage ne rencontre pas d'obstacle. De 1947 à 1957, la recherche s'est plus focalisée sur les tests des produits de base utilisés dans les fluides de forage, en essayant de lier les propriétés des fluides aux problèmes de stabilité des puits et à l'efficacité du nettoyage du trou (**Lummus et Azar, 1986**). Le succès d'une opération de forage est assuré par plusieurs facteurs, parmi lesquels celui du choix des fluides de forage. Ces fluides dits complexes, du fait de leur nature même, et appelés plus classiquement **boues de forage**, sont le plus souvent des émulsions/suspensions, de divers constituants dont les fonctions sont multiples.

I.1. Définition du fluide de forage

Le fluide de forage ou boue de forage est un système composé de différentes combinaisons liquides (eau, huile, ...) gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension une phase solide (argile, déblais, ciments, ...). C'est un fluide non newtonien, visqueux ou viscoélastiques, le plus souvent thixotropes [1].

I.2. Les fonctions du fluide de forage

La plus part des manuels de fluide de forage listes entre 10 à 20 fonctions que le fluide de forage exécute toute en forant un puits [2]. En général, les principaux rôles du fluide de forage sont :

- Assurer la remonter des déblais du fond du puits jusqu'à la surface en raison de la circulation d'un fluide visqueux dans l'espace annulaire.
- Maintenir les déblais en suspensions lors d'un arrêt de circulation dans le but d'empêcher la sédimentation des déblais grâce à la nature thixotropique du fluide afin de redémarrer le forage sans coincement.
- Refroidir et lubrifier l'outil pour éviter l'usure rapide des pièces métalliques en mouvement.
- Maintenir les parois du puits en raison de la pression hydrostatique exercée par le fluide en écoulement qui est en général supérieure à la pression des formations forées ce qui permet d'empêcher la déstabilisation des terrains et de contrôler la venue des fluides de formation traversée.

Du fait de cette différence de pression le fluide va filtrer dans les formations perméables et dépose un film à la paroi appelé «cake de filtration». Ce gâteau permet de réduire la perméabilité des parois et d'isoler le fluide de forage de la formation à moins que ce film ne doive pas être épais à fin d'éviter une diminution du diamètre nominal du trou et un risque de coincement de l'outil.

- Remonter les informations géologiques sur les formations traversées lors du forage en raison de l'évolution des propriétés physico-chimiques du fluide (température, pH, teneur en gaz, chlore, ...).
- Enfin la boue ne doit pas être corrosive ni abrasive pour l'équipement, ni toxique ou dangereuse pour le personnel et ne risque pas de risques d'incendies.

I.3. Concept des fluides de forage

Les boues de forage sont des formulations extrêmement complexes comprenant des additifs multifonction. Pour éviter des problèmes de reproductibilité sur chantier, la profession a normalisé la préparation et la caractérisation des fluides de forage. Les normes sont éditées par

l'API (American Petroleum Institute) et concernant aussi bien la formulation sur site qu'en laboratoire pour la caractérisation des propriétés. La formulation proprement dite de la boue est optimisée (généralement par le fournisseur des produits), le temps et l'ordre d'agitation de chaque produit étant défini. En laboratoire sont utilisés des agitateurs normalisés (exemple, Hamilton Beach mixé pour les boues à base d'eau) alors que sur site le mélange se fait dans des bacs à boues soumis à agitation.

Chaque formulation spécifique est caractérisée et optimisée en laboratoire avant d'être utilisée, toutefois la boue subit au cours de sa circulation dans le puits de nombreuses contraintes et peut être affectée par des événements liés au forage (venues d'eau, venues de gaz...), il est donc important de contrôler les propriétés en cours de forage et en particulier les propriétés rhéologiques à savoir la viscosité et la yield point.

I.4. Contrôle et caractérisation des propriétés

Tout comme la formulation des boues, le contrôle et la caractérisation des boues de forage sont réalisés selon des normes précises éditées par l'API. Là aussi, il faut employer un appareillage spécifique (plus robuste que précis) et des protocoles particuliers. Certaines mesures sont réalisées systématiquement sur tous les forages (viscosité, densité, filtration) et d'autres selon le coût et les possibilités du forage (taux de gaz, alcalinité). Sur site, un responsable boue (appelé le « boueux ») est chargé du contrôle de la qualité de la boue. A partir des mesures réalisées et de ses connaissances, il ajuste si nécessaire la composition de la boue en « temps réel » en ajoutant certains produits ou en reformulant la boue. Les outils disponibles pour contrôler sur site la rhéologie de la boue sont de deux types, tout d'abord un outil encore très largement utilisé est le viscosimètre Marsh, le deuxième type d'appareil utilisé sur chantier est un rhéomètre rotatif FANN 35 réalisant une mesure de contrainte pour 2 ou 6 valeurs du cisaillement selon les appareils. A partir de ces mesures, les normes API imposent de calculer trois paramètres correspondant à un modèle de Bingham : VP (viscosité plastique), YP (contrainte seuil) et VA (viscosité apparente). Deux autres mesures sont réalisées afin de caractériser la « thixotropie » de la boue : Gel0 et Gel10 qui sont des mesures de contrainte à très faible vitesse normalisée après respectivement 10 secondes et 10 minutes de repos. Ces mesures sont nécessaires et doivent être réalisées si on envisage une application chantier pour une formulation de boue.

Les conditions existantes sur site doivent être prises en compte lors du contrôle des propriétés et amènent des difficultés supplémentaires. Deux exemples peuvent être donnés, tout d'abord l'information tirée de la mesure est une information « retardée ». En effet la boue circule dans

le puits et une modification éventuelle de la rhéologie du fluide dans le puits ne sera détectée qu'au moment de la mesure en surface, il faut donc prendre en compte ce temps de remontée de la boue. D'autre part, la circulation dans le puits impose des valeurs élevées de pression et de température, il est donc nécessaire de mesurer ou prévoir la rhéologie des fluides aux hautes températures et pressions ainsi que la tenue des additifs soumis à ces conditions [3].

I.5. Paramètres physiques et chimiques

La viscosité est la première clé pour les boues de forage, mais la densité est la seconde. En effet, dans l'opération de forage, la pression de trou inférieur doit être contrôlée soigneusement. La pression dans le puits doit excéder la pression des formations géologiques et ne doit pas aller au-dessus de la pression de rupture des différentes roches forées. Au-dessous de cette gamme de pression, les venues de fluide ou de gaz peuvent endommager l'opération de forage, et au-dessus d'elle, les pertes de boue ou l'instabilité mécanique du puits pourrait se produire. Un produit sous forme de poudre (barytine ou calcaire) est ainsi employé comme matière de charge. Le mélange ou la dilution permet une commande précise de sa valeur.

A cause de cette pression de contre-balancement en conditions normales de forage, une diffusion du fluide dans les milieux poreux est possible. Pour diminuer autant que possible cette invasion, un produit de filtration appelée cake est formée sur les parois du trou foré. Ce film doit être de perméabilité faible et doit être facilement enlevé quand les opérations de cimentage ou d'accomplissement se produisent [4].

a). Densité

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour contrebalancer la pression exercée par les venues d'eau, d'huile et de gaz et par conséquent les éruptions. Il ne faut pas également qu'elle dépasse la limite de résistance des parois du puits (formations traversés) pour ne pas les fracturer et pour cause avoir une perte de boue au cours de circulation.

La boue exerce une pression sur les parois du puits donnée par l'expression suivante [5] :

$$P = \frac{h \cdot d}{10}$$

Où :

P : Pression de la formation ; en Kgf/cm²

h : Profondeur de la couche traversé ; en m

d : Densité de la boue.

b). La filtration

b).1. Principe fondamental de la filtration

Les fluides de forage sont des suspensions composés d'une phase liquide et des particules solides. La filtration se réfère à la phase liquide du fluide de forage forcé à traverser la formation perméable causé par la différence de pression. Durant ce processus les particules solides sont retenues à la surface de la paroi, formant un cake de filtration. La perméabilité c'est la capacité d'un fluide à s'écouler à travers une formation poreuse.

Les systèmes de boue doivent être conçus pour sceller les zones perméables aussi vite que possible avec des cakes lisses et minces. Dans les formations de haute perméabilité avec de larges pores, toute la boue pourrait envahir la formation (selon la taille des particules solides de la boue). Dans de telles situations des agents de liaisons doivent être utilisés pour arrêter les pertes de boue. Ces agents de liaisons doivent être la moitié de la taille des pores. On peut citer dans cette gamme les carbonates de calcium, les dérivées de la cellulose et une large variété d'autres matériaux réducteurs de filtrat.

Deux sortes de filtrations ont lieu pendant le forage : la filtration statique pendant arrêt de la circulation du fluide, et la filtration dynamique au cours de la circulation du fluide et qui entraîne une érosion du cake formé. Le volume du filtrat est fonction :

- De la nature de la formation ;
- Du temps ;
- De la pression différentielle ;
- De la viscosité du fluide ;
- De la température ;
- De la distribution en taille des particules.

Les propriétés de filtration des fluides de forage sont évaluées et contrôlées par des tests API. Ce sont des tests en régime statique utilisant un filtre presse standardisé. Ces mesures peuvent être faites en conditions de haute pression et haute température.

De nombreux travaux et études ont été entrepris ayant trait au phénomène de filtration et l'évolution de ses paramètres sous différentes conditions inhérentes au forage.

- **La filtration statique**

Le processus de filtration statique des suspensions classiques des particules solides dans un liquide est d'une manière générale bien connu ; (Fergusson et Klotz, 1954), (Glen et Slussers, 1957) ont étudié plus particulièrement le cas des boues de forage.

Fergusson et Klotz ont montré que la filtration de ces fluides ne suit qu'en partie la théorie classique résumée comme suit :

$$V = K.t^{1/2}$$

Avec :

V : volume filtré de liquide ;

K : perméabilité du cake ;

t : temps mesuré du début de la filtration.

- Equation de la filtration

Lors de la filtration statique, le cake s'épaissit continuellement au cours du processus. D'après la loi de Darcy, la vitesse de filtration à travers un cake de porosité donnée par approximation est de la forme suivante :

$$dV/dt = K.\Delta P/\eta.e.A$$

Ou :

ΔP : pression ;

A : surface (cm²) ;

η : viscosité (Cp) ;

V : volume filtré pendant un temps (cm³) ;

e : épaisseur du cake après un temps (cm) ;

t : temps (s) ;

K : perméabilité du cake (1 darcy = 1 μ m²).

• La filtration dynamique

La filtration dynamique est significativement différente de la filtration statique, souvent avec des taux de filtration plus considérables. Il n'existe aucune corrélation directe entre les mesures de filtration statique API et HTHP et la filtration dynamique.

L'expérience a montré qu'une boue qui offre de bonnes caractéristiques de filtration statistiques et de stabilité va donner des performances satisfaisantes sous les conditions de forage actuel, indiquant que les pertes de fluide en dynamique sont dans une marge satisfaisante [5].

Aussitôt que le trépan est en contact avec une roche perméable la filtration dynamique débute.

b).2. Rôle du filtrat

Le filtrat est d'une importance capitale dans le forage d'un puits, il doit être suffisamment élevée pour augmenter la vitesse d'avancement, suffisamment bas pour ne pas déliter ou faire gonfler les formations argileuses et marneuses et pour éviter les coulages du matériel tubulaire en face des zones perméables (calcaire, dolomie, grès, etc.). Il ne doit pas envahir les formations productives, car il peut occasionner des émulsions avec l'huile en place ou modifier la porosité

et la perméabilité de ses formations etc. Fixé le filtrat que doit posséder la boue est un problème délicat qui nécessite une grande connaissance des problèmes et des objectifs de forage.

c). Le pH

Une solution aqueuse peut contenir divers ions ; elle contient toujours, plus ou moins grande quantité, des ions H^+ et OH^- dissociés.

Pratiquement le pH des boues de forage couramment utilisées varie entre 6 et 13,5 environ. Les boues dont le pH est inférieur à 10,5 sont dites à bas pH, celles dont le pH est supérieur à 10,5 sont dites à pH élevé.

Le pH est mesuré :

- soit par une méthode colorimétrie (papier pH ou indicateurs colorés) ;
- soit par une méthode électrométrie (pH-mètre), au moyen d'électrodes en verre.

d). L'alcalinité

La mesure du pH, utile qu'elle soit mais elle est insuffisante pour permettre un bon contrôle de la boue de forage. Elle est d'ailleurs parfois délicate contrôler, surtout aux pH élevés, cas où elle manque de sensibilité.

Une mesure complémentaire s'avère nécessaire est celle des alcalinités. Lorsque le pH apporte la concentration en ions H^+ (ou OH^-) libres, la mesure des alcalinités donne les concentrations en bases solubles ou insolubles. Dans les boues de forages, ces bases sont principalement des carbonates, bicarbonates et hydroxydes et à un degré moindre, les silicates, les phosphates, les aluminates et les bases organiques.

Trois alcalinités sont mesurées en pratique : pb, pf, Mf ; ou b signifie boue, f filtrat, p phénolphtaléine, M méthylorange, le virage à la phénolphtaléine se produit à pH égale à 8,2 et celui du méthylorange est de 4,2.

• L'alcalinité pb

C'est la quantité d'acide H_2SO_4 , N/50 nécessaire pour neutraliser 1 cm^3 de boue, dilué avec de l'eau distillée. Le dosage doit être très rapide, car ce dosage a pour but de déterminer la teneur de la boue en $Ca(OH)_2$, en présence souvent de carbonates.

• L'alcalinité pf et Mf

Elle est déterminée de la même façon que l'alcalinité pb, sauf qu'on utilise 1 cm^3 de filtrat de la même boue. Une boue à l'amidon, à pH élevé, doit effectivement contenir des ions OH^- . C'est une garantie contre la fermentation de l'amidon.

e). Paramètres rhéologiques

La connaissance du comportement rhéologique des boues de forage est d'une importance capitale pour bien cerner tout à propos de son écoulement et par quelle loi rhéologique cette

boue est-elle régité. La loi de comportement la plus simple est représentée par le modèle dit Newtonien. Tandis que les autres types de fluides sont qualifiés Non Newtoniens. Les caractéristiques les plus recherchés par l'étude rhéologiques sont :

e).1. Viscosité plastique (V_p)

Elle dépend avant tout de la teneur en solides contenue dans la boue. Une augmentation de viscosité plastique ne pourra être donc combattue que par l'élimination des solides. Par ailleurs, la viscosité plastique est également liée à la taille des particules, et à leur forme.

$$V_a = L_{600} / 2 \text{ (cp)}$$

$$V_p = L_{600} - L_{300} \text{ (cp)}$$

e).2. La contrainte seuil « Yield value » (Y_p)

Les solides présents dans la boue de forage influence un autre paramètre autre que la viscosité plastique qui est la contrainte seuil plus connus sous e nom de yield value ou yield point. La contrainte seuil est la mesure de résistance initiale à franchir pour que le fluide s'écoule. Cette résistance est due aux forces électrostatiques attractives localisées sur ou près de la surface des particules. C'est une mesure dynamique. La contrainte seuil dépend du type des solides présents et de leurs charges de surface respectives, la concentration de ces solides, et le type et la concentration des autres ions ou sels qui peuvent être présents.

$$Y_p = L_{300} - V_p \text{ (lb/100ft}^2\text{)}$$

e).3. Gels

Une boue de forage laissé au repos édifie progressivement une structure qui augmente sa rigidité et qui peut être réduite par agitation. On appelle thixotropie le fait que ce phénomène soit réversible et non instantané.

Le caractère thixotropie d'une boue est évalué en mesurant d'une part le gel 0 et d'autre part le couple après un repos de la boue de 10 min, ce qui est le gel 10.

Le gel 0 varie pratiquement comme la viscosité plastique et le gel 10 comme la contrainte seuil avec cependant, pour ce dernier, une sensibilité particulière au traitement chimique.

- **Le gel 0.** Il représente la résistance du gel aussitôt après agitation de la boue. Il est mesuré à l'aide du viscosimètre du type FANN35 à une vitesse de 3 tr/min. il est exprimé en lb/100ft².
- **Le gel 10.** Il représente la résistance du gel après un repos de la boue de 10 minutes, la mesure est faite de la même manière que pour le gel 0. Il est exprimé en lb/100ft².

I.6. Notion de mouvement laminaire de cisaillement

I.6.1. Définition

Un matériau soumis à un ensemble de forces est susceptible de se déformer, les mouvements des différents points du matériau dépendant bien entendu de la répartition et de l'intensité des forces appliquées. Un mouvement laminaire de cisaillement est engendré pour certaines distributions de ces forces. Au cours d'un tel mouvement, on considère que le matériau présente une structure en lamelles, en couches adjacentes. La déformation du matériau s'effectue par glissement relatif des différentes couches, sans qu'il y ait transfert de matière d'une couche à l'autre. Les mouvements laminaires de cisaillement sont engendrés à l'aide de rhéomètres. C'est à partir de tels mouvements que peuvent être déterminés les paramètres rhéologiques des fluides.

I.6.2. Contrainte de cisaillement

La contrainte de cisaillement (notée τ) est la grandeur dynamique fondamentale en rhéologie. Au cours d'un mouvement laminaire de cisaillement, deux couches successives au contact l'une de l'autre se déplacent relativement l'une par rapport à l'autre. Il apparaît à l'interface de ces deux couches des forces de frottement qui s'exercent tangentiellement à la surface de la couche, elles sont appelées force de cisaillement (figure I.1).

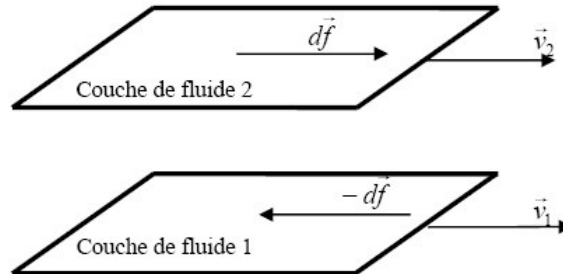


Figure I.1 : Forces agissant sur deux éléments de couches voisines.

En supposant que la couche (1) est animée d'une vitesse v_1 supérieure à la vitesse v_2 de la couche (2), la couche (1) exerce sur la couche (2) une force de cisaillement dF parallèle au mouvement et tendant à accélérer la couche (2). La couche (2) exerce pour sa part sur la couche (1), une force de cisaillement $-dF$ tendant à la freiner. En rapportant ces forces de cisaillement à l'unité de surface, on définit la contrainte de cisaillement τ (équation I.1) :

$$\tau = \frac{dF}{dS} \quad \text{équation I.1}$$

τ : représente une force par unité de surface, elle s'exprime en newton par m^2 ou bien plus commodément en Pascal (Pa) et dS est la surface élémentaire de l'entité considérée.

Il est à noter que dans le calcul de la résultante des forces, les forces de pression s'exerçant perpendiculairement à la surface ne sont pas prises en compte, du fait de leur faible valeur en comparaison des forces de cisaillement.

I.6.3 Déformation et vitesse de cisaillement

Ces deux grandeurs constituent les grandeurs cinématiques fondamentales en rhéologie. La définition de la déformation de cisaillement est présentée dans le cas particulier le plus simple d'un mouvement de cisaillement présentant une symétrie plane. Le matériau est cisailé entre deux plans parallèles, l'un mobile, l'autre immobile (figure I.2).

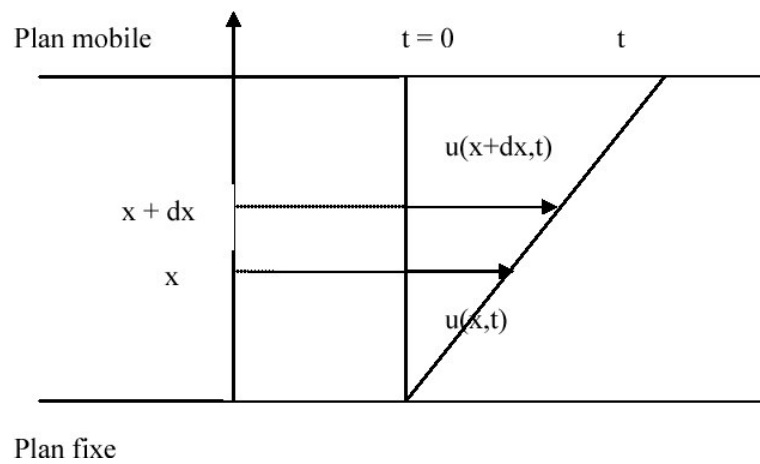


Figure I.2 : *Mouvement laminaire de cisaillement entre deux plans parallèles.*

On considère arbitrairement que les particules de matière de deux couches adjacentes se trouvent à l'instant $t = 0$ dans une section droite. A l'instant t postérieur, les particules auront parcouru la distance $u(x, t)$ pour la particule située à l'abscisse x et $u(x+dx,t)$ pour la particule située à l'abscisse $x+dx$.

La déformation de cisaillement est définie par l'équation I.2 :

$$\gamma = \frac{du(x,t)}{dx} \quad \text{équation I.2}$$

Cette grandeur est sans dimension, elle ne dépend pas du déplacement $u(x,t)$ lui-même mais de la variation de ce déplacement lorsqu'on passe d'une couche à une couche infiniment

L'expression de la vitesse de cisaillement ($\dot{\gamma}$) est donnée par l'équation I.3, il s'agit de la dérivée par rapport au temps de la déformation de cisaillement :

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} \quad \text{équation I.3}$$

$\dot{\gamma}$ a la dimension de l'inverse d'un temps et s'exprime en s^{-1} .

I.6.4. Equation d'état

La détermination de ces deux grandeurs (contrainte de cisaillement et déformation ou vitesse de cisaillement) permet de définir l'équation rhéologique d'état du matériau, c'est-à-dire la relation les unissant ($\gamma = f(\tau)$ ou bien $\dot{\gamma} = f(\tau)$). Les rhéogrammes sont les courbes traduisant graphiquement l'équation rhéologique d'état du matériau. La représentation la plus courante consiste à exprimer la variation de la contrainte de cisaillement avec celle de la vitesse de cisaillement.

La détermination de ces paramètres permet entre autre d'obtenir la viscosité du fluide étudié (dans le cas des fluides newtoniens), grandeur suffisant bien souvent à caractériser de manière précise le comportement rhéologique du matériau étudié. La viscosité s'exprime en Pa.s, elle est notée μ . Le tableau 1 donne des valeurs de viscosité de substances usuelles à température ambiante [5]

Tableau I.1 : Quelques ordres de grandeur des valeurs de viscosité de différents matériaux à température ambiante.

Matériau	Viscosité (Pa.s)
Air	10^{-5}
Eau	10^{-3}
Huile d'olive	10^{-1}
Glycérine	1
Miel	10
Polymères fondus	10^3

I.6.5. La viscosité

La notion de viscosité traduit une résistance à la déformation ou bien au glissement relatif des couches adjacentes du fluide les unes par rapport aux autres.

C'est une grandeur d'intérêt capital en rhéologie ; sa connaissance suffit parfois à caractériser de façon précise le comportement rhéologique du matériau. On définit différent coefficient de viscosité:

C'est le rapport de la contrainte par la vitesse de cisaillement correspondante :

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad [\text{N.s/m}^2] \text{ ou } [\text{Pa.s}] \quad \text{équation I.4}$$

I.6.5.1. La viscosité cinématique ν

$$\nu = \frac{\mu_a}{\rho} \text{ [m}^2\text{/s]} \quad \text{équation I.5}$$

ρ : masse volumique du fluide.

I.6.5.2. La viscosité relative, spécifique, intrinsèque

Elle est utilisée souvent dans l'étude des solutions ou des suspensions pour déterminer les influences respectives du soluté et du solvant sur le comportement rhéologique. On utilise fréquemment les viscosités suivantes:

- **Viscosité relative:** $\mu_{rel} = \frac{\mu}{\mu_s}$ équation I.6

- **Viscosité spécifique:** $\mu_{sp} = \frac{\mu - \mu_s}{\mu_s} = \mu_{rel} - 1$ équation I.7

$$[\mu] = \lim \left[\frac{\mu_{sp}}{C} \right]$$

- **Viscosité intrinsèque:** $c \rightarrow 0$ équation I.8
 $\dot{\gamma} \rightarrow 0$

Où :

μ et μ_s : représentent respectivement la viscosité dynamique de la solution et du solvant,

C : représente la concentration de solution,

μ_{rel} et μ_{sp} : sont des grandeurs sans dimension,

$[\mu]$: est homogène à l'inverse d'une concentration.

I.7. Typologie de l'écoulement

L'écoulement des fluides newtoniens est le cas le plus simple que l'on puisse trouver, dans ce cas, vitesse de cisaillement et contrainte de cisaillement sont reliés par une loi linéaire, la pente de la droite alors obtenue en traçant le rhéogramme est la viscosité du fluide.

Tous les fluides homogènes pour lesquels la dissipation d'énergie est due aux collisions d'espèces moléculaires relativement petites ont un comportement newtonien (gaz, liquides usuels et solutions de molécules de faible poids moléculaire).

La majorité des fluides présentent toutefois des comportements non newtoniens qui font appel à l'utilisation de modèles rhéologiques plus complexes pour décrire leur comportement en écoulement.

Il est possible d'effectuer une classification rhéologique des fluides suivant la nature des paramètres influençant leur comportement rhéologique. Nous distinguons trois catégories principales de fluides :

- Les fluides indépendants du temps ;
- Les fluides dépendants du temps ;
- Les fluides viscoélastiques.

I.7.1. Les fluides indépendants du temps

Ce sont des fluides pour lesquels la contrainte de cisaillement τ est fonction seulement de la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$. Leur comportement rhéologique est indépendant de la durée d'application de la contrainte. Ce type de fluide est subdivisé en fluide newtonien, non newtonien et fluide viscoélastique.

a) Les fluides newtoniens

Ils sont caractérisés par l'équation rhéologique d'état :

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad \text{équation I.9}$$

τ : Contrainte de cisaillement [Pa].

$\dot{\gamma}$: Vitesse de cisaillement [s^{-1}].

μ : Viscosité dynamique du fluide [Pa.s].

La viscosité dynamique est indépendante de la contrainte appliquée et du temps. Elle ne dépend que de la température, de la pression et de la nature du fluide.

b) Les fluides non newtoniens

Ce sont tous les fluides pour lesquels la relation entre la contrainte de cisaillement τ et la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$ n'est pas proportionnelle. Les raisons du caractère non newtonien d'un fluide sont liées à la taille de particules, leurs concentrations dans la phase continue, leur nature, leur forme, leur aptitude à la déformation ou bien encore la réactivité physico-chimique de la phase continue notamment dans le cas de suspensions colloïdales. Ils sont caractérisés par la relation générale:

$$\tau = \mu_a \cdot \dot{\gamma} \quad \text{équation I.10}$$

Avec

μ_a : la viscosité apparente dépendant de la vitesse de déformation [Pa.s].

On distingue deux catégories principales de fluides non newtoniens indépendants du temps :

- Les fluides à contrainte critique (seuil) d'écoulement.
- Les fluides sans contrainte critique (seuil) d'écoulement.

I.7.1.1. Fluides à contrainte critique

Cette catégorie de fluides est aussi communément désignée par l'appellation fluide plastique, la figure I.3 donne une vue des courbes d'écoulement les caractérisant. Il s'agit de fluides ne s'écoulant pas avant qu'il leur soit appliqué une contrainte de cisaillement minimale appelée seuil d'écoulement τ_c . (figure I.3).

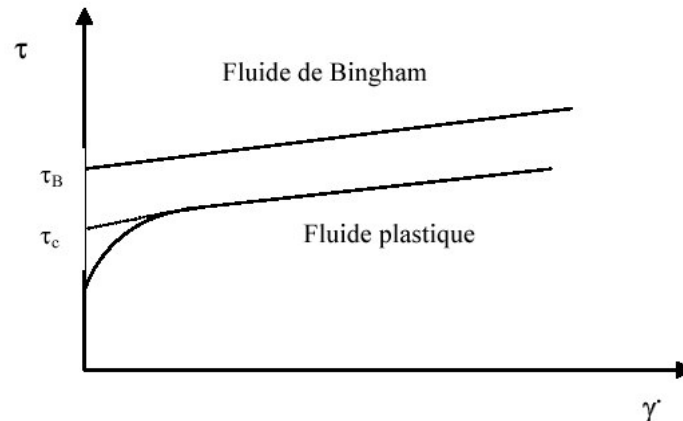


Figure I.3 : Courbes d'écoulement de fluides présentant une contrainte critique.

Le tableau I.2 récapitule les principales lois d'écoulement rhéologiques utilisées pour décrire le comportement de tels fluides [5].

Tableau I.2 : Modèles rhéologiques décrivant l'écoulement de fluides à contrainte critique (d'après Midoux, 1988).

Modèle	Loi rhéologique
Bingham	$\tau = \tau_B + \mu_B \cdot \dot{\gamma}$
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_H + K \cdot \dot{\gamma}^n$
Casson général	$\tau^n = \tau_c^n + (k_c \cdot \dot{\gamma})^n$
Casson	$\tau^{1/2} = \tau_c^{1/2} + (k_c \cdot \dot{\gamma})^{1/2}$

Le modèle d'Herschel-Bulkley est celui permettant de décrire la plupart des fluides plastiques, la courbe d'écoulement de tels fluides finit par devenir rectiligne au-delà d'une certaine contrainte critique appliquée.

Le modèle de Bingham est le plus simple de ces modèles, le fluide de Bingham s'écoule lorsqu'un seuil minimal de contrainte τ_B est dépassé. Ce modèle permet de décrire le comportement rhéologique de nombreux matériaux (boues de forage, peintures à l'huile, certaines graisses...).

Les systèmes étudiés dans le présent manuscrit sont des fluides rhéofluidifiants qui obéissent au model d'Herschel-Bulkley, le comportement rhéofluidifiant se caractérise par une viscosité qui diminue quand le gradient de cisaillement augmente (shear thinning ou pseudoplastique), les produits rhéofluidifiants présentent souvent un comportement newtonien pour les gradients de cisaillement très élevées.

Les suspensions, émulsions, polymères en solution sont constitués au repos de particules de formes irrégulières, gouttelettes ou chaînes emmêlées qui constituent une viscosité élevée car ayant une forte résistance à l'écoulement. Soumis à une contrainte, l'écoulement s'accélère, les particules s'orientent, les chaînes se démêlent parallèlement à la force d'entraînement et opposent ainsi une résistance plus faible. La viscosité diminue.

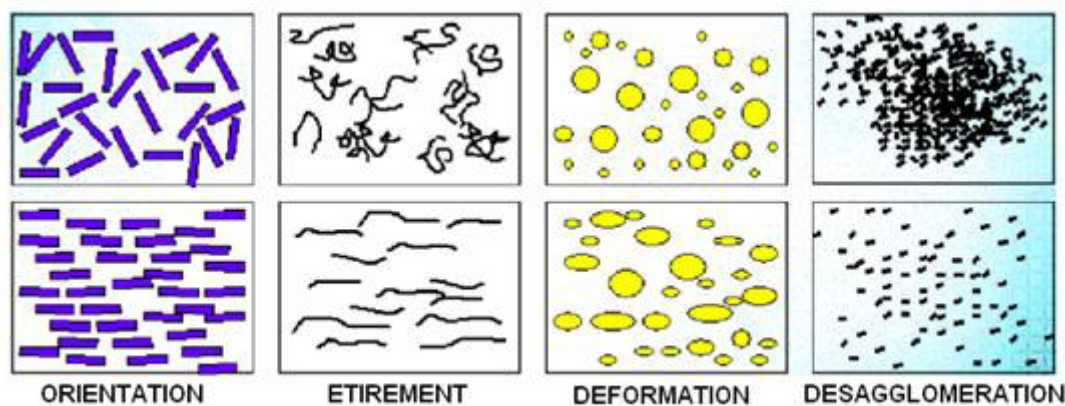


Figure I.4 : Schéma d'état de la matière en solution avant et après cisaillement.

I.7.1.2. Fluides sans contrainte critique

La figure I.5 présente les courbes d'écoulement des deux principales catégories de fluides sans contrainte critique, à savoir les fluides pseudo-plastiques (ou rhéofluidifiants) et les fluides dilatants (ou rhéoépaississants).

Pour les fluides pseudoplastiques, le rapport $\tau / \dot{\gamma} = \mu_{app}$ (viscosité apparente) est à peu près constant pour les plus faibles valeurs de vitesse de cisaillement imposées et vaut μ_0 . Ce rapport décroît ensuite progressivement lorsque la vitesse de cisaillement augmente (d'où le nom de rhéofluidifiant), jusqu'à atteindre une valeur de viscosité limite (μ_∞).

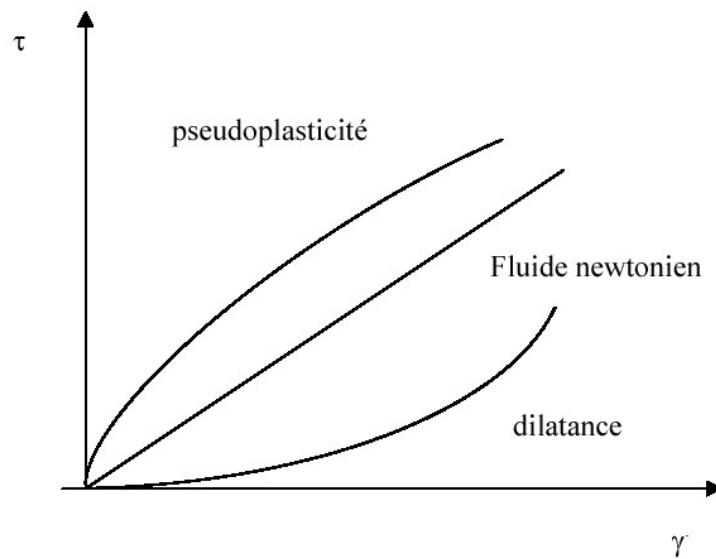


Figure I.5 : Courbes d'écoulement des principales catégories de fluides sans contrainte critique.

Les principales lois rhéologiques décrivant le comportement de tels fluides sont présentées dans le tableau I.3.

Tableau I.3 : Lois rhéologiques de fluides ne présentant pas de contrainte critique (D'après Midoux, 1988).

Modèle	Loi rhéologique
Ostwald de Waele	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$
Ellis	$\tau = \left[\mu_0 / (\tau / \tau_{1/2})^{\alpha-1} \right] \dot{\gamma}$
Sisko	$\tau = \mu_0 \cdot \dot{\gamma} + k \cdot \dot{\gamma}^n$
Reiner Phillipoff	$\tau = \left[\mu_\infty + \left((\mu_0 - \mu_\infty) / (1 + (\tau / \tau_s)^2) \right) \right] \dot{\gamma}$
Prandtl – Eyring	$\tau = \tau_0 s h^{-1}(\tau_0 \cdot \dot{\gamma})$
Carreau	$\tau = \left[\mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) (1 + (\lambda \dot{\gamma})^2)^{(n-1)/2} \right] \dot{\gamma}$
Cross	$\tau = \left[\mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) / (1 + \dot{\gamma} \cdot t_1)^p \right] \dot{\gamma}$

Parmi ces modèles d'écoulement, la loi d'Ostwald de Waele est la plus communément utilisée. Dans ce modèle, k est appelée la consistance du fluide et n l'écart de l'exposant (ou indice d'écoulement) à l'unité ($0 < n < 1$) traduit la non perfection visqueuse du fluide considéré. Parmi les fluides présentant un comportement pseudoplastique, on compte les suspensions de particules asymétriques, les ciments, les colles, certaines peintures ...

Les fluides dilatants obéissent également à une loi puissance d'Ostwald mais avec $n > 1$, la viscosité apparente croît avec la vitesse de cisaillement qui augmente. Cette catégorie de fluides est beaucoup plus rare que les fluides pseudoplastiques, elle se rencontre essentiellement pour des suspensions à forte teneur en matière solide (concentrations volumiques supérieures à 50 %). Ce type de comportement peut avoir pour origine une transition ordre-désordre entre les particules constitutives du fluide, pour les plus faibles vitesses de cisaillement, les particules sont plus ou moins alignées alors que pour les plus fortes valeurs de vitesse de cisaillement, elles sont dispersées aléatoirement, ce qui induit une viscosité qui augmente lorsque le désordre s'installe au sein du fluide.

I.7.2. Les fluides dépendants du temps

Le comportement des fluides dépendants du temps est caractérisé par l'évolution de leur structure interne. Cette modification peut être très rapide, dans ce cas le temps n'intervient pas de manière apparente dans les équations d'écoulement et la viscosité apparente est fixée uniquement pour une valeur donnée de la contrainte ou de la vitesse de cisaillement. Par contre si la modification de la structure interne du fluide est lente, les caractéristiques de l'écoulement du fluide seront influencés par les traitements antérieurs et la viscosité apparente dépendra dans ce cas d'un autre paramètre : « le temps ».

On distingue deux catégories dans ce type de fluide :

- Les fluides thixotropes;
- Les fluides rhéopexes.

I.7.2.1. Fluides thixotropes

La consistance de tels fluides dépend aussi bien de la vitesse de cisaillement que de la durée du cisaillement. Dans ces conditions, la viscosité apparente n'est plus fixée pour une valeur donnée de la contrainte ou de la vitesse de cisaillement mais dépend également du paramètre temps. Ainsi, l'écoulement d'un matériau peut être facilité par une agitation préalable de l'échantillon à étudier. La méthodologie utilisée pour déterminer le caractère thixotrope de fluides consiste le plus souvent en l'application d'un cycle de cisaillement montée-palier-descente (cisaillement croissant-cisaillement constant-cisaillement décroissant).

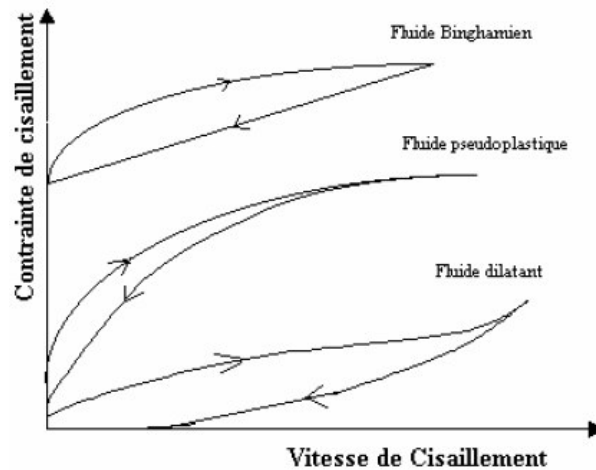


Figure I.6 : Boucles d'hystérésis de fluides thixotropes

I.8. Classification des fluides de forage

Traditionnellement, les fluides de forage ont été classés en trois catégories en accord avec le fluide de base utilisé dans leur préparation. Qui sont: l'air, l'eau et l'huile. [6]

I.8.1. Les fluides à base d'huile

Les boues à l'huile sont choisies pour leur stabilité à des hautes températures, lubrification et attributs stabilisants du trou de puits bien que les boues à l'huile aient des propriétés uniques il est difficile de les assortir qu'avec ceux des boues à l'eau, leur utilisation occasionne également quelques difficultés, comme les coûts élevés, la manipulation spéciale et les soucis environnementaux. [6]

Ce sont des émulsions inverses dont la phase continue est une huile organique ou minérale (pétrole brut, gaz oil, ...) et la phase dispersée (discontinue) est une solution aqueuse de 50% en volume au maximum tout en gardant l'avantage d'une phase externe constituée par l'huile [7]. Des agents viscosifiants, émulsifiants, stabilisants, fluidifiants et alourdissants sont alors additionnés. Ces fluides présentent une insensibilité aux contaminants (NaCl, KCl, Argile, ...), une réduction du frottement de la garniture sur les parois du puits et un endommagement limité de la formation d'où une meilleure productivité à moins qu'ils posent des problèmes écologiques (polluantes), ils peuvent contaminer le laitier de ciment et ils sont très coûteux.

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

❖ Avantages

- Permet de résoudre les problèmes rencontrés avec la boue à base d'eau ;
- Pas d'hydratation des argiles ;
- Pas de dissolution des sels ;

- Pas de filtration ;
- Pas d'endommagement des réservoirs ;
- Lubrifiant \Rightarrow réduction des frottements de la garniture sur les parois du puits ou diminution couple de torsion et de l'usure de la garniture ;
- Caractéristiques plus faciles à maintenir ;
- Moins sensible aux contaminants ;
- Insensibilité aux contaminants habituels des boues à base d'eau (NaCl, CaSO₄, ciment, argile) ;
- Excellentes caractéristiques de filtration statique en température et pression, cake très mince ;
- Réduction des risques de bourrage d'outil et d'accumulation des déblais sur les drill-collars et diminution du "pistonnage" lors des manœuvres ;
- Diminution du collage par pression différentielle.

❖ **Inconvénients :**

- Polluant ;
- Inflammable (risque d'incendie) ;
- Santé du personnel ;
- Problèmes pour de propreté des zones de travail \Rightarrow accidents ;
- Coût de fabrication et de destruction généralement plus élevé que celui des boues à base d'eau ;
- Difficulté pour "voir" les hydrocarbures (dans les déblais et avec certains outils de logging) ;
- Détérioration des caoutchoucs ne résistant pas aux hydrocarbures ;

On distingue deux catégories de boues à base d'huile :

Les boues conventionnelles (95 à 98 % d'huile) et les boues à émulsion inverse, tableau (I.4)

Tableau I.4 : *types, caractéristiques, compositions et domaines d'utilisation des boues à l'huile*

Classe de la boue	Type de la boue	Caractéristiques de la boue	composition	Cas principaux d'utilisation
Boues à l'huile	Boues conventionnelles	Filtrat faible	Huile 95-98 % Eau 2-5 % agent plastifiant agent émulsifiant agent fluidifiant alourdissant	Forage d'une couche productrice Forage du sel massif Reprise et entretien du puits Argiles gonflantes et à fort pouvoir de dispersion Problèmes de coincement

	Boues à émulsion inverse	Filtrat faible Prix de revient mois élevé	Huile 80 à 30 % Eau 20 à 70 %	Forage d'une couche productrice Problèmes de forage à haute température Problèmes de déviation Grande épaisseur de sels ou d'anhydrite Forage dans des zones trop froides
--	--------------------------	--	----------------------------------	---

I.8.2. Les fluides à base d'eau

Ce type de fluide est les plus utilisées dans le domaine de forage. Ils sont généralement constitués par des suspensions d'argile (bentonite, ...), des solides inertes (carbonates, ...) dont les caractéristiques rhéologiques sont ajustées par addition de polymères viscosifiants (Xanthane, ...). Des réducteurs de filtrat entre également dans la composition (carboxyméthylcellulose, polymères synthétiques) [8].

Ces fluides sont moins coûteux et moins polluants; à moins que la dégradation thermique des polymères utilisés dans ces formulations présente un inconvénient majeur pour le bon déroulement d'une opération de forage.

Il est possible de classer ce type de fluides en deux catégories :

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

I.8.3. Les fluides de forage gazeux

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

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

On cite brièvement les fluides gazeux utilisés dans les cas suivants :

- **Forage à l'air**

Le forage à l'air apporte sous toutes ses formes une solution à des problèmes compliqués parfois impossible à résoudre avec les méthodes de forage à la boue conventionnelle. Il est recommandé dans le cas des pertes totales répétées de la boue lors de la circulation ainsi que le forage des couches productrices à faible pression.

L'air est le fluide de forage qui possède la plus basse densité, son prix de revient est moins élevé mais le forage à l'air devient difficile lors des venues d'eau importantes.

- **Forage à la mousse**

Les mousses sont des dispersions d'un volume (relativement) important de gaz dans un volume relativement faible de liquide. Elles sont utilisées comme fluide de forage lorsque les terrains traversés sont fracturés, ou, bien le forage à l'air est impossible parce que la pression nécessaire ne peut être fournie sur le chantier.

L'avantage du forage à la mousse se résume en sa faible pression hydrostatique au fond et son excellent pouvoir de remontée des déblais à moins que la mousse ne refroidit pas convenablement les terrains traversés ainsi que le train de sonde et ne contrôle pas la tenue des parois du puits (pas de cake).

- **Forage à la boue aérée**

Afin d'éviter les pertes de circulation et d'avoir un fluide de forage plus léger, on utilise le forage à la boue aérée. L'avantage qu'elle présente : une bonne tenue des parois grâce à un cake contrôlé, une tendance aux pertes de circulation est fortement réduite et une vitesse d'avancement plus rapide, une assez bonne capacité de refroidissement des terrains traversés et du train de sonde..., à moins que la stabilité de la boue aérée est liée à une circulation effective des fluides.

I.9. Filtration et endommagement des formations

La connaissance des causes et l'importance du phénomène de colmatage des abords du puits par la boue de forage présente un intérêt évident. Elle doit permettre en effet dans la mesure du possible de prévenir l'endommagement catastrophique par le choix d'un fluide adéquat et de conditions de mise en œuvre convenable.

Nous rappelons ici que concernant le colmatage, les facteurs à prendre en compte sont liés :

- A la roche (perméabilité, porosité, répartition des pores, nature minéralogique, mouillabilité) ;
- Aux fluides qu'elle contient (nature, propriétés chimiques, caractéristiques physico-chimiques, pression, température) ;
- A la boue elle-même (composition, caractérisation rhéologiques) et à ses éléments de filtration, au cake (épaisseur, perméabilité, résistance mécanique, grosseur des particules) et au filtrat (nature, propriétés chimiques et physico-chimiques).

Lorsque le fluide de forage se trouve en contact avec une surface nouvellement foré, il pénètre immédiatement dans celle-ci. Puis, la pénétration est limitée, certains pores étant obstrués par des particules en suspension dans le fluide et celles résultant du broyage de la roche par l'outil

c'est-à-dire lors de formation du cake interne. Cette obstruction dépend des dimensions relatives du pore et de la particule.

- Si cette dernière est plus grande que l'ouverture du pore, elle est balayée par le courant du fluide de forage ;
- Si elle est petite par rapport à l'ouverture, elle pénètre librement dans le pore, si elle possède une certaine dimension critique, elle s'agglutine à d'autres particules dans le goulot d'étranglement que constitue l'entrée du pore et l'obstrue ;
- Il est évident que la formation du cake interne dépend des caractéristiques du milieu filtrant.
- Des particules de dimensions comprises entre :
 - a. Une valeur légèrement inférieure à l'ouverture de pores les plus larges ;
 - b. Une valeur égale à environ le tiers de cette ouverture.
 - c. Des particules plus petites, atteignant le domaine colloïdal, susceptible de boucher les pores les plus fins et les interstices entre les fractions les plus grossières déjà déposées.

L'obstruction du milieu poreux est d'autant plus rapide que la concentration en particules susceptible de la provoquer est plus élevée.

Une fois l'obstruction amorcée, les éléments les plus fins sont à leur tour retenus. Seule la phase liquide envahit la formation, tandis que la phase solide se dépose à l'extérieure, le long de la paroi, en constituant le cake externe.

Comme la montre la figure I.2 différentes zones peut être distinguée du puits vers la formation :

- Le cake externe qui tapisse la paroi ;
- Le cake interne qui s'étend sur une épaisseur équivalent à quelques diamètres des grains ;
- La zone envahie par le filtrat lors de la pénétration immédiate.

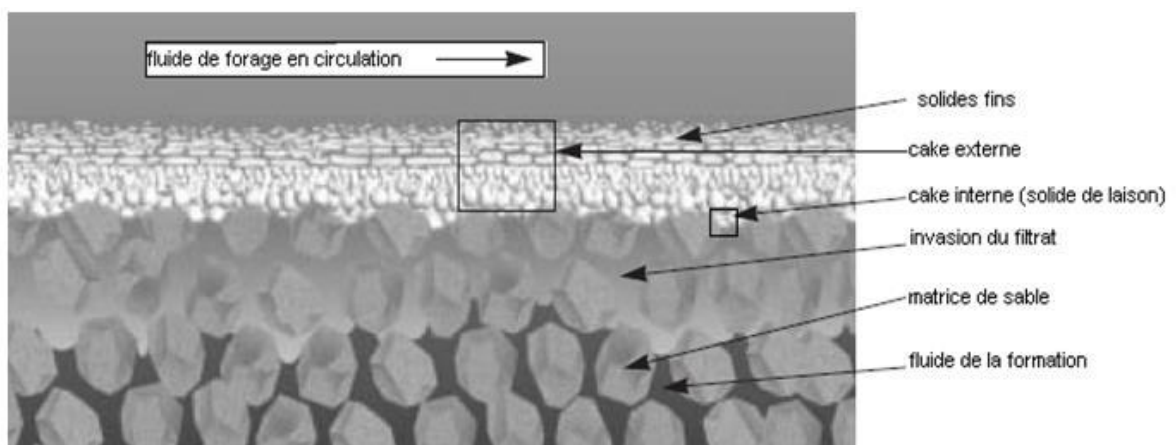


Figure I.7: Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation [9]

Un des paramètres critiques pour la prédiction de l'invasion de la formation par la boue est la perméabilité du cake, et sa variation avec la pression. Des tests de filtration dynamique sur roche réalisées avec des boues à base d'eau, montrent que :

- La formation d'un cake de faible perméabilité sur la paroi est importante pour prévenir une invasion de la formation par les particules solides et le filtrat et obtenir un minimum d'endommagement ;
- L'épaisseur du cake externe dépend de la viscosité de la suspension, du taux de cisaillement et de la perméabilité de la roche ;
- Au tout début de la filtration, avant que le cake ne soit formé, le filtrat est contrôlé par la perméabilité de la roche. La force responsable de l'adhésion des particules à la surface est fonction de la vitesse de filtration. Si le milieu filtrant a une très faible perméabilité, il est possible que le taux de filtration soit si faible qu'aucune particule ne puisse se déposer. Dans ce cas aucun cake externe ne sera formé et le flux de filtrat sera directement contrôlé par le milieu filtrant. On peut donc parler d'une perméabilité critique de la roche en dessous de laquelle aucun cake externe ne peut être formé pour un taux de cisaillement donné. En général, cette perméabilité critique se situe entre 0,1 et 1 mD.

De la même façon, quand la perméabilité de la roche est très grande, il n'y a pas non plus de formation de cake externe.

La perméabilité critique est considérée réduite quand la pression différentielle augmente. Cela peut être particulièrement utile si l'on veut limiter l'invasion d'un milieu par les particules solides.

Il existe également une pression différentielle critique en dessous de laquelle aucun cake ne se forme ce qui résulte en une invasion plus profonde du milieu par les particules solides et le filtrat. Cette influence est marquée pour les roches de faible perméabilité ($K < 1 \text{ mD}$).

Lors des opérations de forage, une différence de pression juste supérieure à la pression différentielle critique peut assurer la formation d'un cake externe et résulter en une invasion minimale de la formation par le fluide.

Chapitre II. Déchets du bois

Introduction

Dans les pays de forêt, le bois est le premier matériau utilisé par les hommes depuis des temps immémoriaux. Là où la végétation est rare, c'est l'argile qui est utilisée. Les premières constructions étaient constituées de troncs entiers éventuellement équarris. Il faudra attendre l'invention de la scie qui est nécessairement en métal pour voir apparaître les premiers bois d'œuvre débités en planches et en madriers. Une architecture plus évoluée en pan de bois se développe très tôt que les Romains appelleront Opus craticium. Lorsqu'il y a un étage ou une cave, - hormis les planchers en voûtes maçonnés- le plancher est généralement en bois et repose sur des poutres quelquefois richement ouvragées, du même matériau. Le bois est apprécié pour ses qualités de résistance à la flexion. La charpenterie se développe chez les Grecs, chez les Romains qui la pratiquent dans l'élévation des cintres élaborés, préalablement à l'élévation des voûtes; au XI^e siècle, les Normands, peuple de marins, appliquent à la charpenterie les moyens d'assemblage employés de tous temps dans la charpenterie navale. Le Moyen Âge porte l'art de la charpenterie à son complet développement jusqu'au XVII^e siècle où il décline. Le bois est employé dans l'ameublement, les ustensiles ménagers, et la décoration. Il permet aussi réaliser les boiseries, qui habillent les murs fait en maçonnerie. Dans les grandes villes, les incendies fréquents conduisent à interdire de placer des pans de bois sur la voie publique, afin de limiter la communication du feu d'un côté d'une rue à l'autre. Pour la même raison, il n'est pas permis d'élever des murs mitoyens en pans de bois. En Amérique du Nord, une tradition de maison à structure bois se développe puis s'exporte au XX^e siècle en Europe. Fin XX^e siècle, les structures bois combinées à une isolation épaisse entre montants, constituent une paroi performante appréciée, dès lors que l'isolation devient une préoccupation majeure.

En charpenterie, les Grecs et les Romains préférèrent les essences résineuses, le sapin, le mélèze et le cèdre, lorsqu'ils avaient à couvrir un monument; ces bois exigeaient des équarrissages plus forts que le chêne. Le Moyen Âge préféra le bois de chêne, dans le nord et l'ouest de la France. En Angleterre, les charpentes anglo-normandes, qui datent des XIII^e siècles et XIV^e siècle, sont,

comparativement aux charpentes de l'Ouest de la France, de Bourgogne, de Champagne et de l'Île-de-France, beaucoup plus fortes comme équarrissage de bois, et leur solidité provient en grande partie de l'imposante dimension de ces bois {{refnec}}. En France, dès le XIII^e siècle l'art de la charpenterie s'applique à rechercher des combinaisons qui suppléent au faible équarrissage des bois employés, dès lors que les arbres de grande taille tendent à disparaître. Les maisons en ossature bois emploient actuellement majoritairement des bois tendres en faibles sections, la résistance étant obtenue par démultiplication des poteaux et fermes.

II.1. Définition

La construction fait appel au duramen, appelé aussi bois parfait ou « bois de cœur » qui constitue la partie centrale de l'arbre), biologiquement quasi-inerte et plus durable que l'aubier. L'aubier, souvent plus clair et léger que le duramen, est constitué de cellules vivantes. Il est plus facilement et rapidement attaqué par les insectes, bactéries et champignons.

Le cambium est la fine zone séparant l'aubier de l'écorce, qui produit le bois, généralement non utilisé. L'écorce est parfois traditionnellement utilisée ; Des plaques d'écorce de bouleau déroulées, supportent par exemple les mottes de terre des toitures végétalisées des pays nordiques.

II.2. Caractéristiques

II.2.1. propriétés physiques

- **Hygroscopicité** : Pour le bois, il s'agit généralement de taux d'humidité noté H%, dite humidité sur sec (par rapport au bois anhydre). Son calcul est le suivant: $H\% = ((\text{Masse humide moins Masse anhydre}) \text{ divisée par la Masse anhydre}) \times 100$. dit : $H\% = (\text{Masse d'eau pure/Matière sèche}) \times 100$. Le taux d'humidité varie de 50 à 120 % (ou plus) pour le bois saturé (bois vert), de 10 à 20 % pour le bois séché à l'air (pour le séchage il faut env. 1an/cm d'épaisseur de la planche 10 % et moins pour le bois séché artificiellement (par air chaud climatisé, pompe à chaleur ou vide principalement) (séchage entre 1 à 3 semaines). Il existe trois types d'eaux dans les bois :
 - L'eau libre est l'eau présente dans le bois vert. De façon imagée, c'est l'eau qui sort de l'éponge quand on la presse. Lors de l'évacuation de cette eau, le bois ne prend pas de retrait.
 - L'eau liée est l'eau qui entre dans la composition des fibres. Pour notre éponge, il s'agit de l'eau contenue entre les fibres de la matière mais que nous ne pouvons pas essorer.

C'est l'eau qui est retirée entre 30 % et 0 % d'humidité, et c'est son évaporation qui provoque le retrait lors du séchage.

- L'eau de constitution est l'eau qui entre dans la composition chimique des molécules du bois. Son élimination entraîne la destruction du bois (par le feu par exemple).
- **Résistance mécanique :** Résistance à la traction et à la compression (le bois a cependant une meilleure résistance à la traction qu'à la compression)
- **Propriétés mécaniques du bois massif :** Soumis à des sollicitations mécaniques de faible intensité, le bois massif est susceptible de déformations réversibles qui peuvent être considérées comme élastiques (élasticité). Toutefois, comparé au comportement élastique de nombreux autres matériaux utilisés notamment en construction, celui du bois massif a des spécificités remarquables. Le comportement mécanique du bois massif est très fortement "anisotrope" et, dès que le temps d'application des sollicitations mécaniques devient important, la pièce sollicitée exhibe des déformations différées qui peuvent être décrites, lorsque les charges imposées sont inférieures à 30 % de la charge de rupture, dans le cadre d'un modèle de comportement "viscoélasticité linéaire anisotrope".
- **Densité :** la densité du bois est généralement inférieure à 1 (le bois flotte) en raison des vides dans sa structure. Cette densité varie fortement selon un certain nombre de paramètres : l'essence, son degré d'humidité, la situation géographique et son climat, la situation du prélèvement dans l'arbre. On exprime cette densité normalement pour un taux d'humidité égal à 15 % (la moyenne est entre l'état anhydre et l'état de saturation) La densité à 15 % se situe généralement entre 0,5 et 0,7, mais peut varier considérablement, de 0,1 pour le balsa, 0,4 pour les bois légers (sapin, épicéa, peuplier), 0,8 à 1 pour les bois durs (if, teck, olivier), 1,0-1,15 pour l'ébène, 1,1-1,2 pour l'azobé et 1,3-1,4 pour le gaïac (bois de fer).
- **Durabilité :** bien qu'il s'agisse d'un matériau biodégradable, le bois peut durer dans certaines conditions plusieurs siècles, comme en témoignent de nombreuses charpentes de monuments anciens. Les paramètres favorables à la durabilité du bois sont le maintien en atmosphère sèche, la densité élevée, la composition chimique, la période de coupe, liée à l'essence (présence de résines, d'oléo-résines, de tanins). Le bois de cœur est plus durable que l'aubier, plus riche en matières fermentescibles. Parmi les espèces les plus durables, on classe le cèdre, le sequoia, le robinier faux-acacia, le mélèze, le

chêne, le châtaignier... et parmi les moins durables : le sapin, l'épicéa, le hêtre, le peuplier, le tilleul...

- Résilience
- Rétractibilité
- Propriétés isolantes : du fait de sa structure cellulaire, qui emprisonne de l'air sous forme de petits volumes, le bois est un mauvais conducteur de la chaleur. Cependant sa conductibilité thermique est très variable en fonction de son degré d'humidité, de sa densité et de l'essence considérée, ainsi que de l'orientation par rapport au fil du bois : il est meilleur conducteur dans le sens axial que dans le sens radial. On utilise couramment des panneaux agglomérés en particules de bois comme isolants thermiques.

II.2.2. Propriétés mécaniques

Tableau II.1 : Propriétés mécanique

essence	compression axiale	compression transversale	traction axiale	traction transversale	cisaillement	module d'élasticité	flexion
épicéa	43	7	90	1,2	6,7	11 000	66
pins	47	8	104	1,8	10,0	12 000	87
mélèze	55	10	107	2	9,0	13 800	99
peuplier	35	9	90	2	9,0	12 500	90
chêne	54	13	120	3	11,0	13 000	91
hêtre	62	14	135	4	10,0	16 000	105
charme	65	19	135	4	12,0	16 000	100

Remarque : 1 MPa = 1 N.mm⁻² = 10 kg.cm⁻².

II.2.3. Propriétés Chimiques

Certaines essences ont une résistance élevée à la corrosion, supportant bien les agressions chimiques, mieux que le béton ou l'acier courant. Il est pour cela volontiers utilisé dans certaines usines où l'atmosphère est agressive. Les bois comme le teck, l'afzélia doussié, sont utilisés pour la fabrication de cuves contenant certains produits chimiques. L'épicéa est régulièrement utilisé pour les silos à sel le long des autoroutes.

Certaines essences de bois ont des composés chimiques qui interagissent avec le fer (Western Red Cedar, Merbau, Afzélia, Chêne, Pin d'Orégon...). Pour éviter des taches et/ou une corrosion des clous et vis utilisés pour les fixer, ceux-ci doivent être en acier inoxydable.

II.3. Classification du bois

Avant d'utiliser du bois dans la construction, il est nécessaire de se référer à la norme **NF EN 335-1 à 3** créée par l'institut technologique Forêt, Cellulose, Bois-construction et Ameublement (FCBA). Elle définit 5 classes d'emploi selon les risques d'exposition du bois à l'humidité. Pour chaque classe, il faudra choisir une essence d'une durabilité naturelle ou traitée chimiquement selon les risques biologiques encourus.

Tableau II.2 : caractéristiques des classes d'emploi Le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques des classes d'emploi définies par la norme NF EN 335. Deux entrées de lecture sont possibles, soit par la classe d'emploi, soit par le type de construction ou d'aménagement envisagé.

Classes d'emploi	Situations du bois	Zones vulnérables	Agents d'altération		Exemples d'utilisation
			Insectes	Champignons	
1	- à l'abri des intempéries - Humidité toujours inférieure à 20 %	2 mm			Menuiseries intérieures : parquets, escaliers, portes...
2	- à l'abri des intempéries - humidité occasionnellement supérieure à 20 %	2 mm		Pourriture superficielle occasionnelle à virulence faible	Charpentes, ossatures correctement ventilées en service
3a	- soumis à des alternances rapides d'humidification fréquente supérieures à 20 % et de séchage - pas de stagnation d'eau - Séchage complet avant réhumidification	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement sans pénétration d'eau en bois de bout	- Insectes - Termites selon régions	Pourriture superficielle faiblement virulente	Toutes pièces de construction ou de menuiseries verticales abritées de la pluie : ossatures bois, bardages, fenêtres...
	- soumis à des alternances rapides d'humidification fréquente supérieures à 20 %	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement		Pourriture	Portails,

3b	et de séchage - stagnation d'eau fréquente - séchage complet avant réhumidification	avec pénétration d'eau significative en bois de bout et aux assemblages		plus profonde et virulente	terrasses abritées...
4	- soumis à une humidité supérieure à 20 % pendant de longues périodes - rétention ou stagnation d'eau - En contact avec le sol ou de l'eau douce	Toute la zone non durable naturellement		Pourriture profonde à forte virulence, y compris pourriture molle	Balcons, terrasses, pergolas, bancs, poteaux...
5	- en contact permanent avec l'eau de mer	Toute la zone non durable naturellement	- Insectes - Térébrants marins	Pourriture profonde à forte virulence, y compris pourriture molle	Piliers, pontons, bois immergés

II.4. Utilisations du bois

Le bois est le matériau industriel le plus ancien, continuellement utilisé par l'être humain dans de nombreux secteurs d'activité, construction, ameublement, énergie. C'est en même temps, fort probablement, le matériau du XXI^e siècle. Facile à travailler, renouvelable, il a un coût énergétique de transformation faible en comparaison de ceux des autres matériaux, en particulier les métaux : la consommation d'énergie, nécessaire pour élaborer une tonne de matériau est de 200 mégajoules pour l'aluminium, 60 pour l'acier, 45 pour le polyéthylène, 24 pour le verre, 4 pour le béton et 1 pour le bois.

Le bois est employé à de multiples usages sous différentes formes (fig. 1). Comme combustible, ce qui est sa première utilisation au niveau mondial, il apporte 12 500 kJ/kg (1 stère de bois équivaut à 0,147 tep). Il y a cependant encore des marges pour mieux valoriser énergétiquement le bois sous différentes formes, sachant qu'une ressource complémentaire existe sous forme de déchets bois, de l'ordre de 7 Mt par an en France à comparer avec 26 Mt récoltés par an. Néanmoins, si tout le bois était transformé en carburant, il correspondrait à environ 6 p. 100 de la consommation de carburant nécessaire actuellement pour le transport

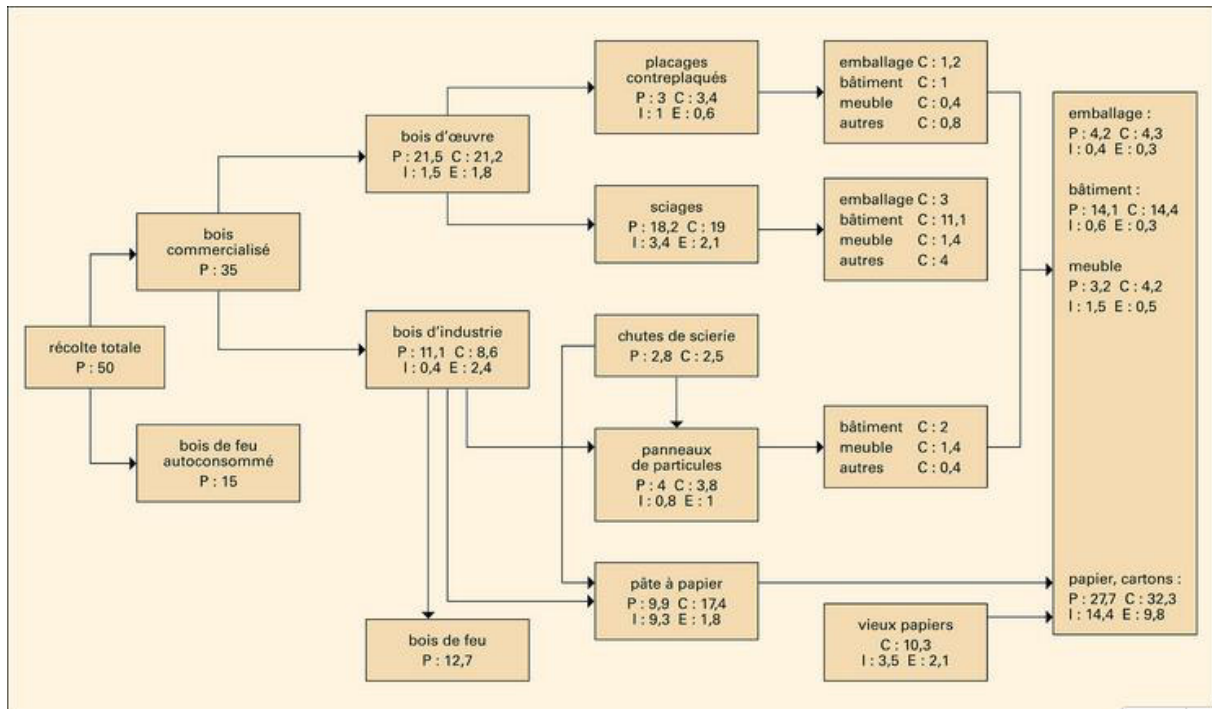


Figure II.1 : Usage de bois

Premier matériau industriel de l'humanité, le bois doit être reconsidéré maintenant comme un matériau d'avenir pour le XXI^e siècle. Son anatomie montre que c'est un matériau composite ultra-perfectionné dont toutes les possibilités n'ont pas encore été suffisamment explorées, en particulier au regard de sa structure moléculaire. De nombreux développements potentiels sont envisageables, ainsi que de nouvelles fonctions d'usage.

Chapitre III. Méthodologie du travail et caractérisation des matériaux

Des formulations des boues ont été élaborées afin d'évaluer l'effet des déchets de bois sur les comportements rhéologiques de ces boues. Les boues étudiées dans notre travail, ont été choisies selon les systèmes de boue utilisés pour le forage des puits du pétrole au sud d'Algérie (BASP). Pour cela, la méthodologie suivie et les différentes caractéristiques du constituant utilisé dans les formulations des boues, seront présentées dans ce chapitre. Les matériaux utilisés dans cette étude sont la bentonite et les polymères (Barazan, DEXTRID, PAC-L), Barite. Il est nécessaire pour un travail de recherche de réaliser et de déterminer les caractéristiques de ces matériaux.

III. Méthodologie du travail

Pour réaliser notre travail, nous avons procédé à la méthodologie suivante :

1. Caractérisation des matériaux utilisés (Bentonite, PAC-L, DEXTRID, Barazane et autres additifs)
2. Formulation de la boue à base d'eau couramment utilisée ;
3. Formulation des boues; à différent dosage et taille des déchets : en tant viscosifiant par substitution des polymères;
 - Effet des déchets de bois sur paramètre rhéologique des boues étudiées ;
 - Effet des déchets de bois sur paramètre physico-chimiques des boues étudiées ;
 - Effet des déchets de bois sur le comportement rhéologiques des boues étudiées ;
 - Etude de filtrat ;

4. Formulation des boues ; à différent dosage et taille des déchets : en tant réducteur de filtrat par substitution des polymères ;
- Effet des déchets de bois sur paramètre rhéologique des boues étudiées ;
 - Effet des déchets de bois sur paramètre physico-chimiques des boues étudiées ;
 - Effet des déchets de bois sur le comportement rhéologiques des boues étudiées ;
 - Etude de filtrat ;

Et enfin ; une conclusion générale clôtura notre travail.

III.1. Caractérisation des matériaux

III.1.1 La bentonite

- **Caractéristique de la bentonite**

Les caractéristiques sont regroupées dans le tableau II.1

Tableau III.1 : Caractéristiques de la bentonite

Paramètres	Exigences de la norme API
Teneur en humidité	10% maximum
Lecteur à 600 tr/mn	22 min
Y _v (Ib/100ft ²)	3×V _p max.
Filtrat (ml)	15 ml max.
Ph	9,5 max

- **Composition chimique**

Les compositions chimiques sont regroupées dans le tableau II.2

Tableau III.2 : composition chimique de la bentonite.

Oxyde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	MnO	PAF /1100°C
%	55- 65	12-19	1-3,4	1-3	0,5- 1,8	2-3,4	1-2	0,20	8,20

III.2. Le Barazane

Description

Le bio polymère de xanthane BARAZAN D à dispersion améliorée aide à fournir une viscosité et une suspension fraîches eau, eau de mer, bromure de sodium, bromure de potassium, chlorure de potassium et chlorure de sodium fluides.

Propriétés physiques

- Apparence physiquePoudre jaune à blanche
- Densité.....1,6
- pH, (solution aqueuse à 1%).....6,3

Applications

Le Barazane est principalement utilisé dans les boues pour contrôler la perte de fluide et à produire un gâteau de filtration fine, il Viscosifier l'eau douce et les fluides à base de saumure utilisés pour le forage, le broyage, le délestage, et les opérations d'emballage de gravier. Le Barazane suspendre les agents de pontage et les matériaux de pondération dans les systèmes d'eau douce et de saumure.

Avantages

- Aide à se disperser facilement dans les boues d'eau douce et les saumure.
- Aide à fournir des propriétés thixotropes et des caractéristiques d'écoulement non newtoniennes sur une large plage de salinité à des faibles concentrations.
- Aide à fournir une excellente suspension sans avoir besoin d'argile.
- Stable à 250°F (121°C).
- Aide à minimiser le potentiel de dommages à la formulation.

III.3. Le PAC

Définition

Polypac polyanionique cellulose est une grande qualité, soluble dans l'eau polymère conçue pour contrôler la perte de liquide et augmente la viscosité dans des boues à base d'eau.

Propriétés physiques

- Apparence physique..... Poudre blanche à beige
- Densité apparente40 à 55 lb/100ft²
- Densité apparente..... 641 à881 kg/m³
- pH (solution aqueuses à 1%).....7,75

Applications

Polypac contrôle la perte de liquide dans l'eau douce, l'eau de mer, KCL et les boues salées forme une mince, résistance et à faible gâteau de filtration de la perméabilité qui minimise le risque différentiel et l'invasion de filtrat de solides de la boue. Polypac résiste aux attaques bactériennes-Rial, éliminant le besoin de biocides ou conservateurs .Il est efficace à de faibles concentrations avec le traitement normale de perte de fluide allant à 0,71 à2,85 kg/m³,(0,25 à1 lb/bbl). Polypac développe également une viscosité à un degré qui dépend de la concentration

de $1,90 \text{ kg/m}^3$ (0,67 lb /bbl) va produire une boue à l'eau douce 15 CP de viscosité sans supplément des solides, $2,86 \text{ kg/m}^3$ (1,0 lb/bbl) de PAC-L va produire aussi un 15CP de viscosité dans un chlorure de sodium saturé. Le PAC-L est un polymère anionique qui va s'attacher et encapsuler schistes et déblais de forage exposée. Ce polymère de protection "enveloppe" et inhibe la dispersion de schiste découpées permet de limiter les interactions fluides avec des schistes exposés.

Avantages

- Contrôle des pertes des fluides.
- Assure la viscosité convenable.
- Efficace à de faibles concentrations pour contrôler la perte de fluide, et bâtiment viscosité.
- Encapsule les particules de schiste inhibé l'enflure et la dispersion.
- Résiste à l'attaque bactérienne, nécessite pas de biocides ou préservatifs.
- Fonction sur une large gamme de niveaux de salinité, la dureté et le Ph.
- Applicable à toutes les boues à base d'eau, allant de faible teneur en solides, non dispersé systèmes polymères à haute densité et les systèmes dispersés.
- Compatible avec tous les additifs de boue.
- No toxique.

III.4. DEXTRID

Description

L'amidon de pomme de terre modifié par DEXTRID LTE aide à contrôler la filtration avec une accumulation de viscosité minimale dans les fluides de forage à base d'eau. Grâce à son mécanisme de revêtement, l'agent DEXTRID LTE aide à réduire dispersion des particules d'argile et stabilise les formations réactives. L'agent DEXTRID LTE est stable contre dégradation bactérienne.

Propriétés physiques

- Apparence.....Poudre fine ou granulée.
- Gravité spécifique1.5.

Applications

Le DEXTRID est utilisé pour le contrôle la filtration avec une accumulation de viscosité minimale dans les fluides de forage à base d'eau. Le DEXTRID contribue à réduire les taux de filtration dans la plupart des systèmes de fluides de forage à base d'eau, il aide à améliorer la stabilité du forage. Le DEXTRID aide à flocculer les déblais de forage dispersés dans les forages d'eau claire.

Avantages

- Aide à maintenir le contrôle de la filtration sans augmentation nuisible de la viscosité
- Efficace avec les systèmes de forage rapide non dispersés
- Aide à diminuer la dispersion de l'argile

III.5.BAROID**Description**

L'agent de pondération BAROID, sulfate de baryum broyé, satisfait à la spécification API 13A, section 2, pour fluide de forage barytine. BAROID agent de pondération peut être utilisé pour augmenter les densités de pétrole et à base de pétrole fluides de forage à base d'eau à 21 lb / gal (2516 kg / m³).

Propriétés physiques

- Apparence.....Poudre.
- Gravité spécifique..... minimum 4,2.

Applications

Le BAROID est utilisé pour augmenter la densité de pétrole,

- Aide à augmenter la densité de boue jusqu'à 21 lb / gal (2516 kg / m³).
- Aide à contrôler les pressions de formation
- Aide à stabiliser le forage
- Aide à préparer des bouchons chargés de solides pour les applications de contrôle de puits

Avantages

- Est l'agent de pondération standard de l'industrie pour les fluides de forage
- Est chimiquement inerte
- Agent de pondération rentable

III.6. Le Bois

- **Surface spécifique**

160µm : 0,0634 m²/g = 634 cm²/g

315µm : 0,0524 m²/g = 524 cm²/g

630µm : 0,0238 m²/g = 238 cm²/g

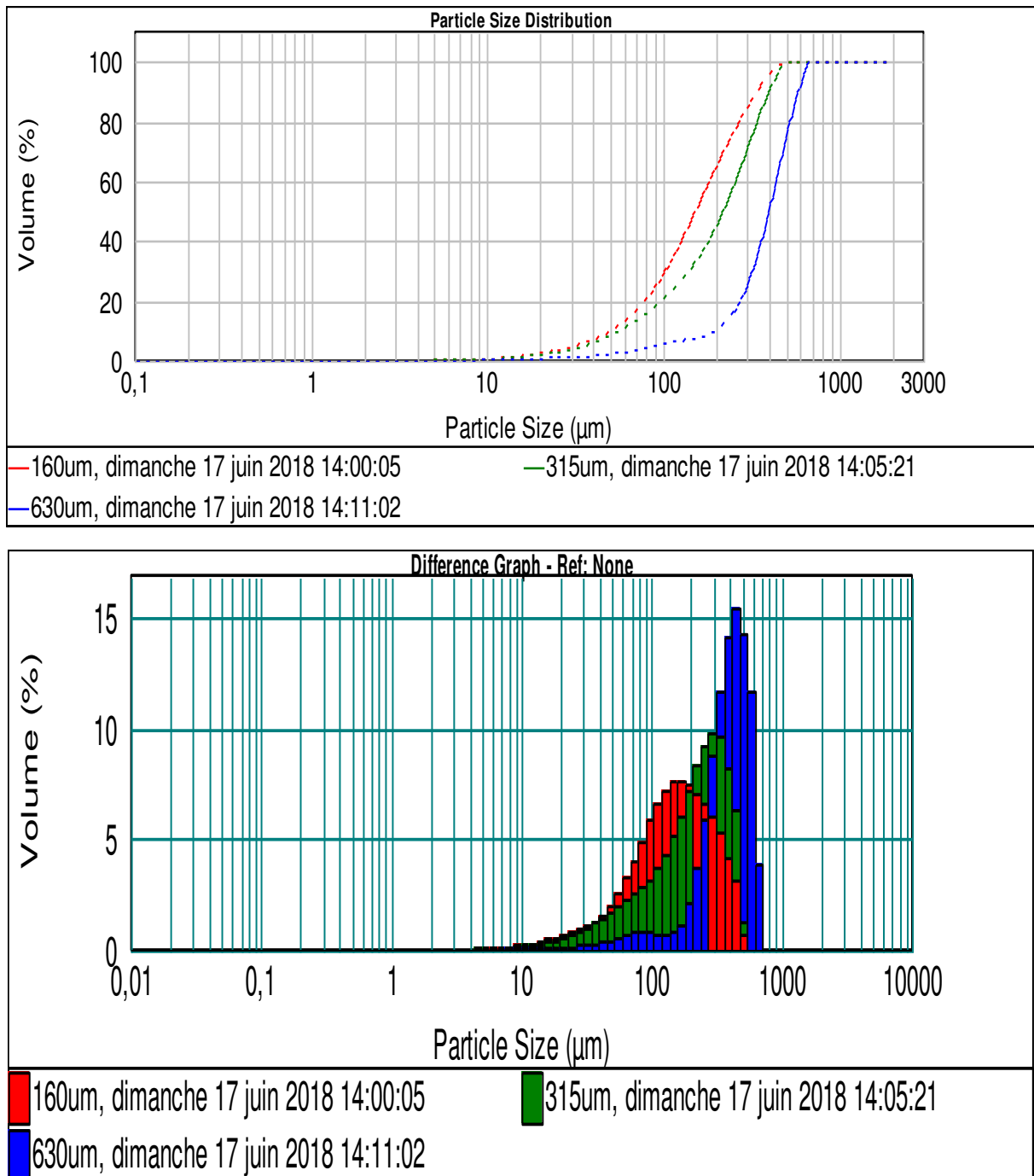


Figure III.1 : Distribution granulométrique par granulomètre Laser du bois

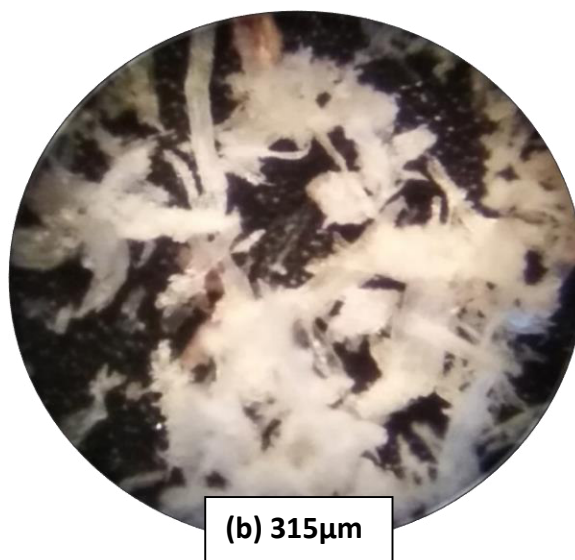
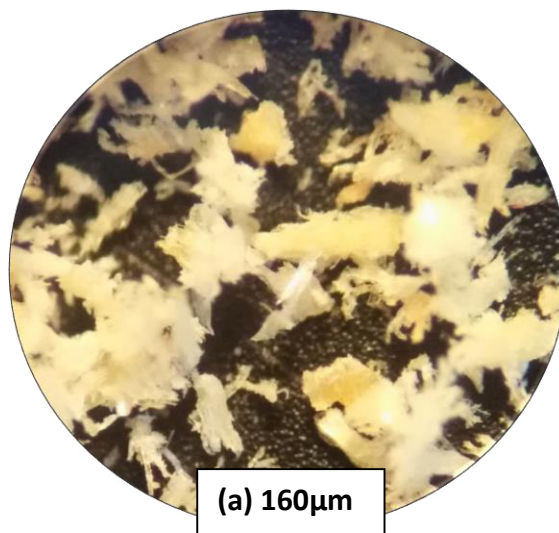


Figure III.2 Images obtenues par microscope optique de poudre de bois

III.7. Présentation de la composition de chaque boue

III.7.1 Procédure de la production de la boue

Après avoir calculé les quantités des différents produits à ajouter, la densité de la boue. La procédure de la préparation de la boue est la même pour toutes les formulations.

- Dans un bac isolée ; on mixe l'eau et le Soda Ash avec une vitesse maximum pendant 10 minutes.
- Ajouter la bentonite et mixer avec une vitesse maximum pendant 20 minutes
- Laisser le mélange reposé pendant 8 à 10 heures.
- Prendre le mélange et malaxé
- Ajouter le Caustic soda pour le mélange et mixer pour 10 min, ajouter KCL et mixer le tout pour 10 min.
- Tout doucement ajouter le réducteur de filtrat et mixer avec une vitesse maximum pendant 20 min.
- Ajouter le viscosifiant.
- Finalement on ajoute un alourdissant pour ajuster la densité.

III.8. Composition des différentes boues

III.8.1 : Formulation de la boue à base d'eau couramment utilisée

Formulation à base d'eau : 500 ml

Densité 1,20 sg

Produits	Eau fraiche	Soda Ash	Bentonite	Caustic Soda	KCL	DEXTRID	PAC- L	Barazan	BAROI-D
Dosage kg/m ³	910,65	0,7	20,00	1,5	40,0	6,00	5,7	0,70	215,25

pH	12,8
----	------

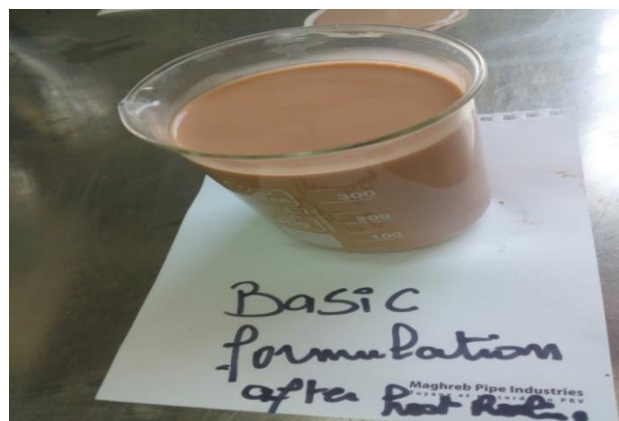


Figure III.3 : formulation de base

III.8.2 Formulations des boues; à différent dosage et taille des déchets : en tant viscosifiant par substitution des polymères

❖ Taille 630µma

Formulation à base d'eau : 500 ml

Densité 1,20 sg

Produit	Dosage kg/m3				
	Formulation1	Formulation2	Formulation3	Formulation4	Formulation5
Fresh Water	910,65	901,39	891,77	862,93	814,86
Soda Ash	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Bentonite	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Caustic Soda	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Kcl	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
DEXTRID	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
PAC-L	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70
Barazan	0	0	0	0	0
Barite	215,25	215,21	214,83	213,67	211,74
Bois 630µm	0	10	20	50	100

❖ Taille 315 µma

Formulation à base d'eau : 500 ml

Densité 1,20 sg

Produit	Dosage kg/m3				
	0	10	20	50	100
Fresh Water	910,65	901,39	891,77	862,93	814,86
Soda Ash	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Bentonite	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Caustic Soda	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Kcl	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
DEXTRID	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
PAC-L	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70
Barazan	0	0	0	0	0
Barite	215,25	215,21	214,83	213,67	211,74
Bois 315µm	0	10	20	50	100

Formulations	Dosages (kg/m ³)				
	0	10	20	50	100
pH	13	12,5	10,6	10,5	10,8

❖ Taille 160 µma

Formulation à base d'eau : 500 ml

Densité 1,20 sg

Produit	Dosage kg/m ³				
	Formulation1	Formulation2	Formulation3	Formulation4	Formulation5
Fresh Water	910,65	901,39	891,77	862,93	814,86
Soda Ash	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Bentonite	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Caustic Soda	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Kcl	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
DEXTRID	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
PAC-L	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70
Barazan	0	0	0	0	0
Barite	215,25	215,21	214,83	213,67	211,74
Bois 160µm	0	10	20	50	100

Formulations	Dosages (kg/m ³)				
	0	10	20	50	100
Ph	13	12,7	10,5	10,5	10,5

III.8.3. Formulation des boues à différent dosage et taille de déchets : en tant réducteur de filtrat par substitution des polymères

❖ Taille 630 µma

Formulation à base d'eau : 500 ml

Densité 1,20 sg

Formulations	Dosages (kg/m ³)				
	0	10	20	50	100
pH	13	12,6	12	11,2	10,4

Produit	Dosage kg/m ³				
	0	10	20	50	100
Fresh Water	916,73	907,26	897,65	868,80	820,73
Soda Ash	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Bentonite	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Caustic Soda	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Kcl	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
DEXTRID	0	0	0	0	0
PAC-L	0	0	0	0	0
Barazan	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Barite	220 ,37	220,34	219,95	218,80	216,87
Bois 630µm	0	10	20	50	100

❖ Taille 315µma

Formulation à base d'eau : 500 ml

Densité 1,20 s

Formulations	Dosages (kg/m3)				
	0	10	20	50	100
pH	13	12,5	11,9	11	10,2

Produit	Dosage kg/m ³				
	0	10	20	50	100
Fresh Water	916,73	907,26	897,65	868,80	820,73
Soda Ash	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Bentonite	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Caustic Soda	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Kcl	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
DEXTRID	0	0	0	0	0
PAC-L	0	0	0	0	0
Barazan	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Barite	220 ,37	220,34	219,95	218,80	216,87
Bois 315µm	0	10	20	50	100

❖ Taille 160 µma

Formulation à base d'eau : 500 ml

Densité 1,20 sg

Produit	Dosages kg/m ³				
	0kg/m ³	10kg/m ³	20kg/m ³	50kg/m ³	100kg/m ³
Fresh Water	916,73	907,26	897,65	868,80	820,73
Soda Ash	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Bentonite	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Caustic Soda	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Kcl	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
DEXTRID	0	0	0	0	0
PAC-L	0	0	0	0	0
Barazan	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Barite	220 ,37	220,34	219,95	218,80	216,87
Bois 160µm	0	10	20	50	100

Formulations	Dosages (kg/m3)				
	0	10	20	50	100
pH	13	12,5	11,7	10,8	10

III.9. Moyenne expérimentaux

Les Moyens utilisés lors des essais sont :

III.9.1. Viscosimètre MARCHE

C'est un appareil du type statique ; on mesure le temps en secondes qui le met une certaine quantité de boue pour s'écouler à travers l'ajoutage de l'appareil qui n'est autre qu'un entonnoir normalise. La boue s'écoule dans un godet gradue.

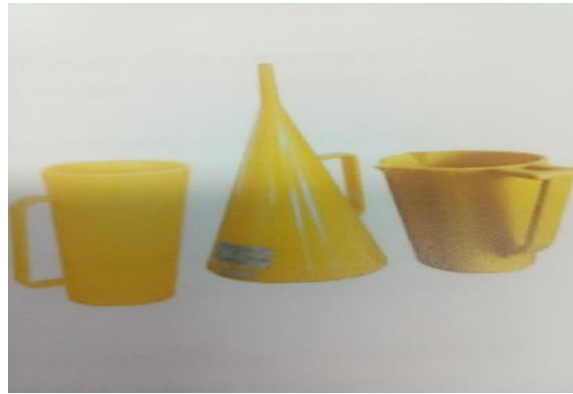


Figure III.4 : *Viscosimètre MARCHE*

III.9.2. Viscosimètre FANN

C'est un appareil à cylindres. Coaxiaux. Les modèles les plus couramment commercialisés comportant :

- Soit deux vitesses de rotation (600–300 T/mn). Dans ce cas, le rotor est entraîné à la main (viscosimètre mécanique) ou à l'aide d'un moteur électrique (viscosimètre électrique).
- Soit six vitesses de rotation (600 – 300 –200–100 –6–3 T/mn). Dans ce cas, le rotor est entraîné par un moteur électrique.
- On mesure la résistance au cisaillement de la boue contenue dans un godet dans lequel on immerge les cylindres coaxiaux. On lit sur un cardon gradue la résistance au cisaillement a différentes vitesse de rotation de rotor.



Figure III.5 : *Viscosimètre FANN 35 SA*

III.9.3 Densimètre

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée parce que la pression hydrostatique exercée par la boue sur les formations empêche les venues d'eau, d'huile, et de gaz et par conséquent les éruptions. Mais il ne faut pas qu'elle dépasse la limite de résistances des roches pour ne pas les fracturer et amener des pertes de circulation.



Figure III.6 : *Densimètre*

III.9.4. Filtres –presses API

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 :



Figure III.7 : *Filtre-presse API*

- D'une embase percé d'un trou et dotée d'un ajoutage 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).L'ensemble tamis et papier et placé entre deux joints plats qui assurent l'étanchéité entre l'embase et le cylindre de diamètre intérieur 3 pouces et de hauteur 5 pouces.
- L'A.P.I recommande au moins 2¹/₂ pouces de hauteur de liquide.

- D'un couvercle muni d'un 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.

III.10. Protocole expérimentale

III.10.1. Mesure de la viscosité

On peut la mesurer par le viscosimètre Fann (dans la cabine des boueux) ou par le viscosimètre MARSH (sur les bacs).

➤ **Pour le viscosimètre Fann**

- Remplir le godet du viscosimètre de la boue.
- Immerger les cylindres coaxiaux (l'appareil est muni d'un système de coulisse avec une molette de blocage) jusqu'à ce que le trait repère du rotor affleure la surface de la boue.
- Entrainer le moteur (manuellement ou électriquement) et enfoncer le petit bouton moleté situé au-dessus de l'appareil : le rotor tourne alors à 600 tr/min.
- Lire la déviation sur le cardon.
- Sans arrêter l'entraînement du rotor, tirer vers le haut le petit bouton moleté supérieur en position intermédiaire.
- (à 3 tr /min) le gros bouton moleté situé au-dessus de l'appareil (sens de rotation inverse des aiguilles d'une montre).
- Lire la déviation maximale sur le cadran : le nombre lu constitue le gel initial en livres pour 100 pieds carrés.
- Attendre 10 minutes sans toucher la boue et effectuer la même opération : le nombre maximal lu sur le cardon constitue le gel 10 min en livres pour 100 pieds carrés

➤ **Pour le viscosimètre MARSH**

- Prendre l'entonnoir et fermer l'ajoutage à l'aide du doigt.
- Prélever de la boue dans la goulotte et verser sur le tamis de l'entonnoir jusqu'à ce que le niveau de boue affleure la surface de ce tamis (ceci correspond à un volume de 1500 cm³)
- Tenir l'entonnoir par la poignée latérale, déclencher un chronomètre et laisser couler dans le godet gradué.
- Stopper le chronomètre lorsque le niveau de boue atteint 946 cm³ (1/4 de gallon dans le godet).
- Le nombre de secondes lu au chronomètre la viscosité Marsh de la boue.

III.10.2. Mesure la densité

- 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 WBM a l'huile OBM) et sécher on prenant soin de maintenir le trou du couvercle obstrue en permanence.
- Placer le couteau du fléau dans le porte-couteau (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 du couteau.
- Lire la densité ou le poids volumique directement sur le bras du fléau, au droit de la position du curseur.

III.10.3. Filtres presses API

- Mettre le joint caoutchoute dans l'encoche prévue dans l'embase inferieure.
- Mettre le tamis et mettre le papier-filtre sur le tamis.
- Mettre le joint cylindre.
- Remplir de boue.
- Monter le couvercle muni son joint caoutchoute, placer l'ensemble dans la bote et visser à l'aide du volant.
- Disposer une éprouvette graduée sous l'ajutage du filtre presse.
- Appliquer une pression de 7 bars et déclencher le chronomètre.
- Lire le volume d'eau recueilli dans l'éprouvette après 30 min de filtration.
- Purger à l'aide de vanne de purge. Démontez l'appareil, récupérer le papier-filtre et le lever sous le robinet. Le poser sur une surface plane et mesurer l'épaisseur de "cake" à l'aide d'une réglette que l'on enfonce dedans.
- Lever les pièces à l'aide d'eau.
- Le volume du filtrat s'exprime en centimètre cube et l'épaisseur du cake en millimètres.

Testes chimiques

❖ DOSAGE DU PB

- Prélever 1 cc de boue avec une seringue de 5 cc.
- Transvaser dans un bêche propre.
- Ajouter 20 cc d'eau distillée.
- Ajouter 2 gouttes de phénolphtaléine.
- Titrer avec H₂SO₄ N/50 jusqu'au virage du rose a l'incolore.
- Soit V le volume de N₂SO₄ N/50 utilise.

$$PB = V \text{ CM}^3 \text{ DE H}_2\text{SO}_4 \text{ N/50}$$

❖ DOSAGE DU PF

- Pitrer 1 cm³ de filtrat de boue.
- Transvaser dans un bêche propre.

- Ajouter environ 20 cm³ d'eau distillée.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de solution phénolphthaléine.
- Titrer avec H₂SO₄ N/50 jusqu'au virage du rose à l'incolore.
- Soit V le volume de H₂SO₄ N/50 utilisé.

$$\mathbf{PF = V \text{ CM}^3 \text{ DE H}_2\text{SO}_4 \text{ N/50}}$$

❖ DOSAGE DU MF

- Après avoir doser le **PF** et sans revenir à zéro de la burette du H₂SO₄ N/50.
- Ajouter 2 gouttes de solution Méthylorange à la solution Décolorée.
- Verser goutte à goutte H₂SO₄ N/50 et sans revenir à zéro après dosage de PF jusqu'au virage du jaune au jaune orange.
- Soit Y le volume du H₂SO₄ N/50 utilise pour le dosage de **PF** et **MF**.

$$\mathbf{MF = Y \text{ cm}^3 \text{ DE H}_2\text{SO}_4 \text{ N/50}}$$

❖ DOSAGE DU KCL

- Mettre 7 CC de filtrat dans un tube gradue de la centrifugeuse.
- Ajouter 3 CC de perchlorate de sodium.
- Centrifuger une minute à vitesse constante (1800 tr/min).
- Lire rapidement le dépôt du précipité.
- Déterminer la concentration du floc en comparant son volume à la courbe préparée sur chantier.

❖ DOSAGE DU CL

- Pipeter 1 cc de filtrat.
- Transvaser ce dernier dans un bécher propre.
- Ajouter 30 cc d'eau distillée 2 gouttes de phénolphthaléine.
- Titrer avec H₂SO₄ N/50.
- Ajouter quelques gouttes de chromate de potassium.
- Titrer avec AgNO₃ N/10 jusqu'au virage rouge brique (du jaune à l'orange).
- Soit v le volume AgNO₃ utilise. Soit N la normalité d'agno₃.

$$\mathbf{CL = (g/l) 35.5 \times V \text{ AgNO}_3 \times N}$$

❖ DOSAGE DU CALCIUM (Ca⁺⁺)

- Prélever un CC de Filtrat de la boue.
- Mettre dans Becher propre.
- Ajouter 50 CC d'Eau Distillée.
- Ajouter 2 gouttes de Solution Tampon NaOH.
- Ajouter une pincée de Noir Bleu au Chrome.

(En présence de Ca⁺⁺) Il se développe une Coloration Rouge Violette.

- Verser du Versenate (EDTA) N/50 gouttes a gouttes jusqu'au Virage Bleu.
- Soit X CC le Volume de Verseante verse N la Normalité de Versenate utilise.

$$\text{Ca}^{++} = \text{g/l} = 20 \times \text{Xcc} \times \text{N}$$

❖ DOSAGE DU MAGNESSIUM

- Prélever 1cm³ de filtrat de boue ou de la solution a contrôlé.
- Ajouter 50 cm³ d'eau Distillée.
- Ajouter ½ Comprimé de merk.
- Ajouter 2 cm³ de la solution NH₄OH
- Titrer avec du versenate N/50 jusqu'au virage du rouge ou vert.
- Soit X cm³ le volume du versenate Utilisé.
- Sur une nouvelle prise d'essai 1 cm³ de filtrat.
- Effectuer le dosage de CA⁺⁺.
- Soit A cm³ le volume du versenate Utilisé pour le virage du violet au bleu.

$$\text{Mg}^{++} \text{ g/l} = 0.2432 * (\text{X cm}^3 - \text{A cm}^3)$$

❖ MBT

- Prélever un CC de boue
- Mettre dans Becher propre
- Ajouter 10 ml d'Eau Distillée
- Ajouter 15 ml d'hydrogène peroxide H₂O₂.
- Ajouter 0.5 ml de sulfurique acide H₂SO₄.
- Chauffer la solution 10min
- Ajouter 20 ml d'Eau Distillée
- Ajouter 0.5 ml méthylène bleu.
- Agiter pendant 20s dans L'agitateur.
- Mettre 1 goutte de solution sur un papier de filtrat.

Si le papier de filtrat absorbe la goutte de solution.

$$\text{Equivalent bentonite content (kg/m}^3\text{)} = 14 * (\text{CEC})$$

11 si non, répéter 7, 8, 9,10

$$\text{CEC} = \text{ml méthylène bleu utilise} / \text{ml de boue utilisé}$$

Chapitre IV. Résultats et interprétations

Ce chapitre traitera l'étude des principales propriétés rhéologiques et physicochimiques de la boue contenant la poudre de bois à différentes teneur et tailles par substitution de polymères habituellement utilisés et l'effet de la poudre de bois sur le filtrat de la boue.

Afin de voir l'effet du déchet de bois (à différents tailles choisis) sur les propriétés des boues de forage en substituant les polymères d'agent de viscosité et réducteur de filtrat (CMC et PAC), des boues ont été élaborées. Pour voir aussi l'effet de la taille de la poudre de bois, nous avons choisis trois tailles différentes obtenues par tamisage du déchet de bois récupéré de la menuiserie et qui sont 160, 315 et 630 μ m à différents dosages. A cet effet, des essais rhéologiques et des tests physico-chimiques ont été effectués sur ces boues. Les résultats de ces essais ont été comparés avec une boue de forage de référence utilisée actuellement pour le forage des de pétrole à Hassi Messaoud/Sud d'Algérie.

IV.1. Utilisation du déchet de bois en tant que viscosifiant

En premier lieu, nous avons procédé à la substitution du polymère CMC utilisé couramment comme viscosifiant dans les boues à base d'eau, par la poudre de déchet de bois. Cette dernière a été utilisée à différentes tailles (160, 315 et 630 μ m) et dosage (0, 10, 20, 50 et 100 kg/m³) en substituant le CMC dans la formulation des boues.

a). Poudre de Bois à 630 μm

a).1. Paramètres Rhéologiques

Tableau IV.1 Paramètres Rhéologiques

Dosage kg/m^3	V_p (Cpo)	Y_p (Ib/100ft ²)
0	11	6
10	6	1
20	9	1
50	9	9
100	3	59

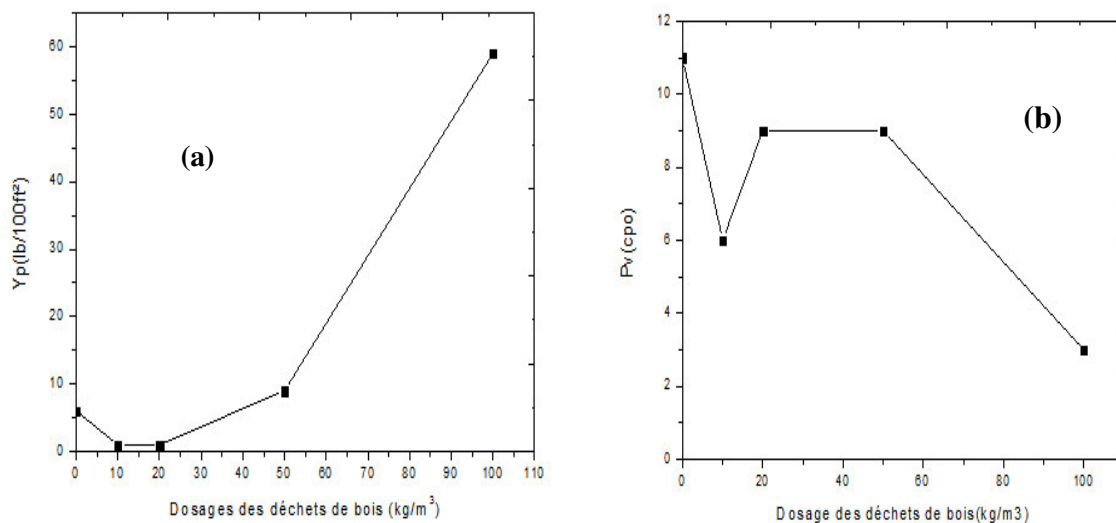


Figure IV.1 Effet de la teneur de déchets de bois sur les paramètres rhéologiques.

La **figure IV.1** montre l'évaluation des principaux rhéologiques des boues en fonction de dosages de déchets de bois. Il est remarquable que yield point Y_p des boues augmente avec le dosage de déchets de bois. En effet, le déchet de bois a diminué la yield point de 6 à 1 lb/100ft² pour un dosage de 0 à 10 kg/m^3 . Cependant, une diminution de la viscosité plastique de 11 à 6 puis il stabilise à 1 lb/100ft² à partir d'une concentration de 10 à 20 kg/m^3 puis il augmente à 9 lb/100ft² à partir d'une concentration de 20 à 50 kg/m^3 . Néanmoins, l'utilisation de 20 à 50 kg/m^3 de bois peut engendrer une augmentation de la viscosité de la boue. Cela prouve que la poudre de bois ayant 630 μm de taille des particules, peut être utilisée comme viscosifiant.

a).2. Gel 0/10

Tableau IV.2 Gel 0/10 : représente le gel 0 /10

Dosage kg/m^3	Gel 0	Gel 10
0	3	2
10	3	4
20	3	4

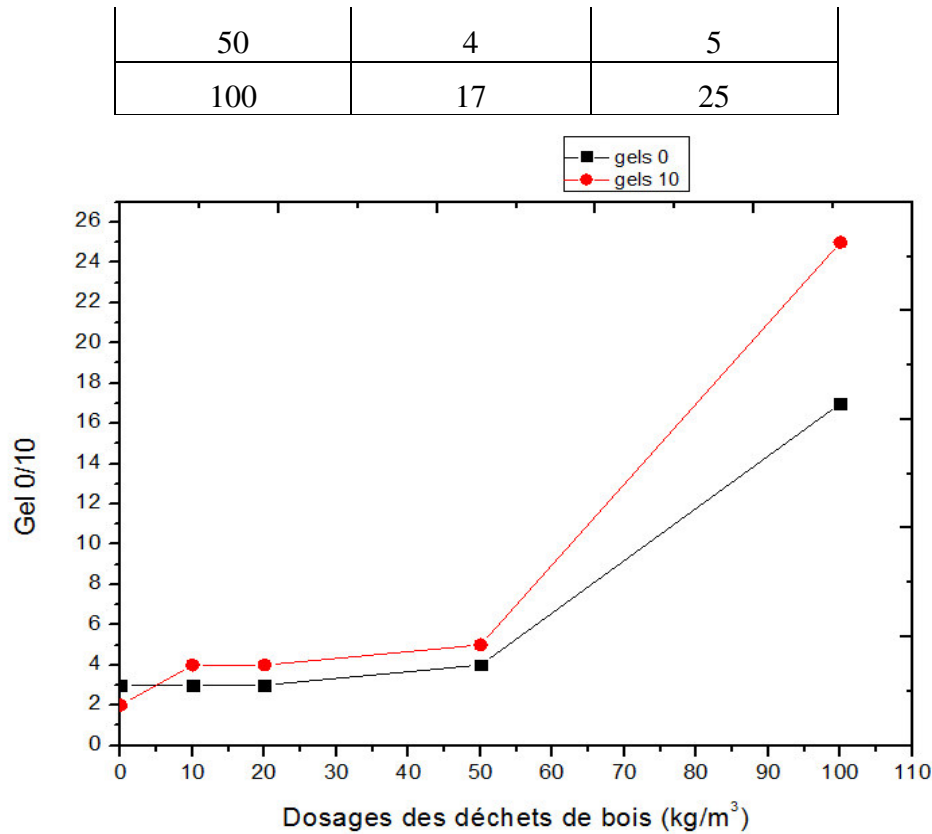


Figure IV.2 : Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10

La figure IV.2 illustre l'effet de déchets de bois sur le gel (0/10) des boues étudiées. D'après la figure, il est clair qu'avec l'augmentation de dosage de déchets de bois, le gel 0 reste constant pour 0 à 10 kg/m³ ensuite il augmente. Tandis que le gel 10 a augmenté de 0 à 10 kg/m³ puis il stabilise de 10 à 20 kg/m³ ensuite il augmente considérablement. Il est à noter qu'au-delà de 100 kg/m³ la viscosité plastique et le yield point ont augmentées ce qui provoque évidemment l'augmentation du gel.

a).3. Comportement rhéologiques

Pour pouvoir identifier le comportement rhéologique des boues étudiées, nous avons tracés les courbes rhéologiques qui représentent la relation contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau ci-dessus et sous forme des rhéogrammes de la figure.

Tableau IV3 : Rhéogramme des boues

Lecteur	0kg/m ³	10kg/m ³	20kg/m ³	50kg/m ³	100kg/m ³
600	28	13	19	27	131
300	17	7	10	18	95
200	12	5	7	15	65
100	7	4	4	9	37

6	3	3	3	4	13
3	2	2	2	3	11

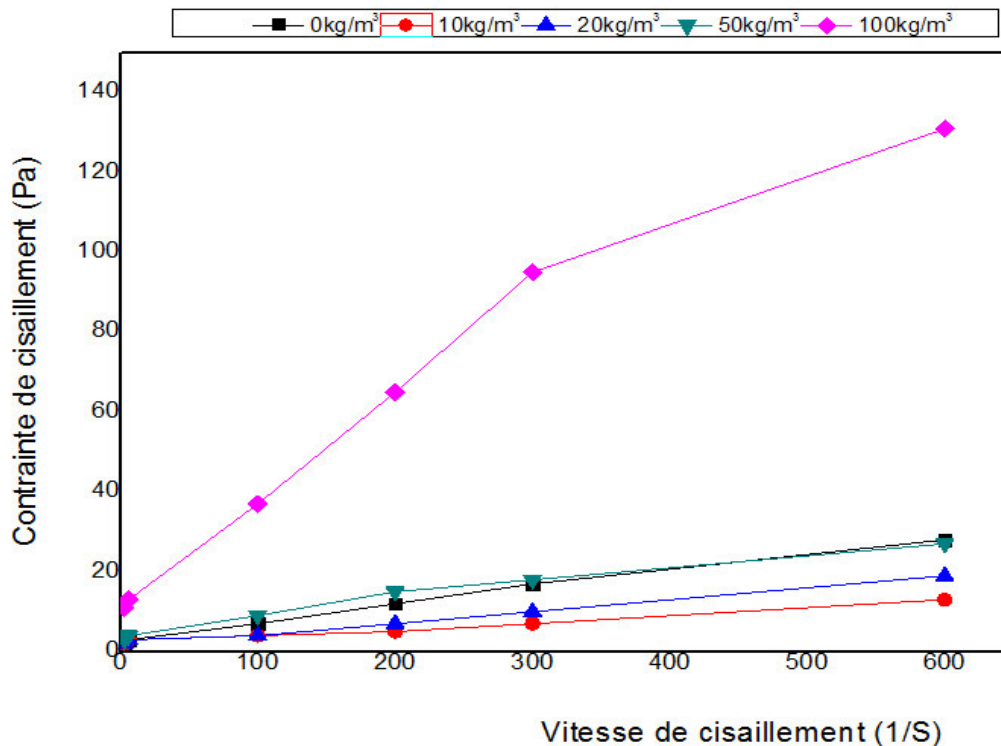


Figure IV.3 : Rhéogramme des boues à différent dosage de déchets de bois (fraction <630µm)

La **figure IV.3** montre le comportement rhéologique des boues étudiées. D'après les rhéogrammes, toutes les boues montrent un écoulement non-Newtonien. Le comportement de ces boues peut être identifié par l'utilisation des modèles rhéologiques existants. En effet, la **figure IV.3** montre clairement que ces boues ont un seuil d'écoulement ce qui prouve qu'elles ont un comportement non-Newtonien. D'après plusieurs chercheurs qui ont constaté que le comportement de ces types des boues suit le modèle de Herschel Bulkely.

a).4. Propriétés physico-chimiques

Tableau IV.4 propriétés physico-chimiques

	0kg/m ³	10kg/m ³	20kg/m ³	50kg/m ³	100kg/m ³
pH avant H-R	12,8	12,6	10,5	10,8	10,4
pH après H-R	11,8	10,3	9,2	8,7	7,7

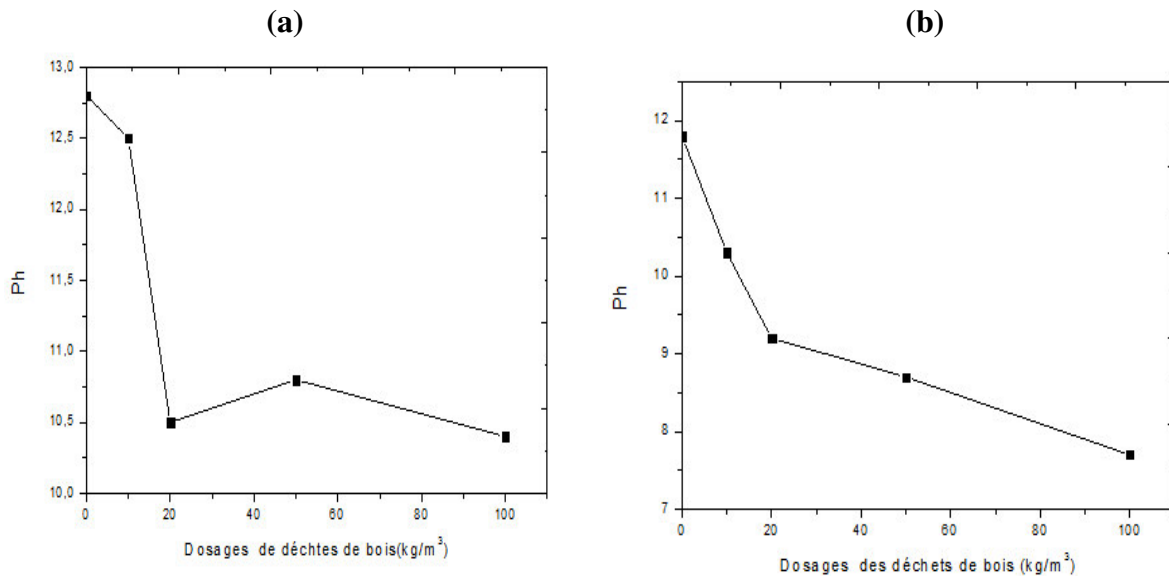


Figure.IV.4 : Effet de différent dosage de déchets de bois sur les paramètres physico-chimique avant (a) et après (b) Hot-rolling.

La variation des paramètres physico-chimiques (Ph avant et après hot-rolling) des boues étudiées en fonction de concentration de déchets de bois, est représentée dans la **figure IV.4**. Il est remarquable que le pH diminue avec l'augmentation de dosage des déchets toute en rendant le milieu basique de la boue. En effet, au-delà le pH avant le hot-rolling diminue de 12,8 à 10,5 pour dosage de 0 à 20kg/m³, il augmente légèrement à 10,8 pour dosage de 50kg/m³. Ensuite au-delà de ce dosage, on remarque une diminution de pH cad le milieu devient neutre (voir figure IV.4). Après le Hot-Rolling pH après Hot-Rolling, le Ph de la boue a diminué de 11,8 à 7,7.

a). 5. Filtrat API des boues

Tableau IV.5 Filtrat API des boues

Dosage kg/m ³	API (ml)
0	4
10	4,8
20	6,8
50	6,1
100	8,1

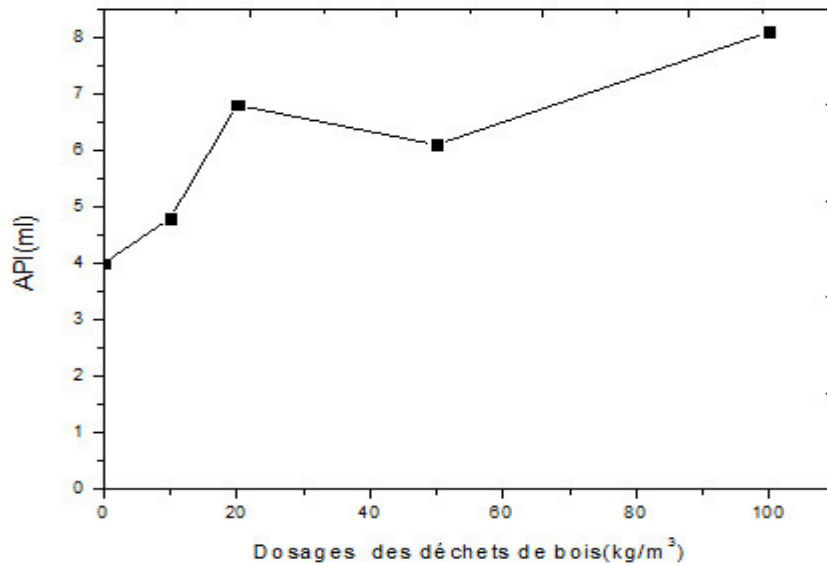


Figure IV.5 : Effet de dosage de déchets de bois (fraction $<630\mu\text{m}$) sur le filtrat.

Le filtrat de la boue constitue un paramètre essentiel des boues de forage. La **figure IV .5** représente la variation du filtrat des suspensions de boues en fonction de dosage des déchets de bois. Il est remarquable d'après cette figure que le filtrat a augmenté de 4 à 6.8 ml puis il diminue à 6.1 ml ensuite il augmente à 8.1 ml mais toujours le filtrat des boues enregistrés reste dans la gamme requise pour les boues de forage à base d'eau.

b). Poudre de Bois à 315 μm

b).1.Paramètres rhéologiques

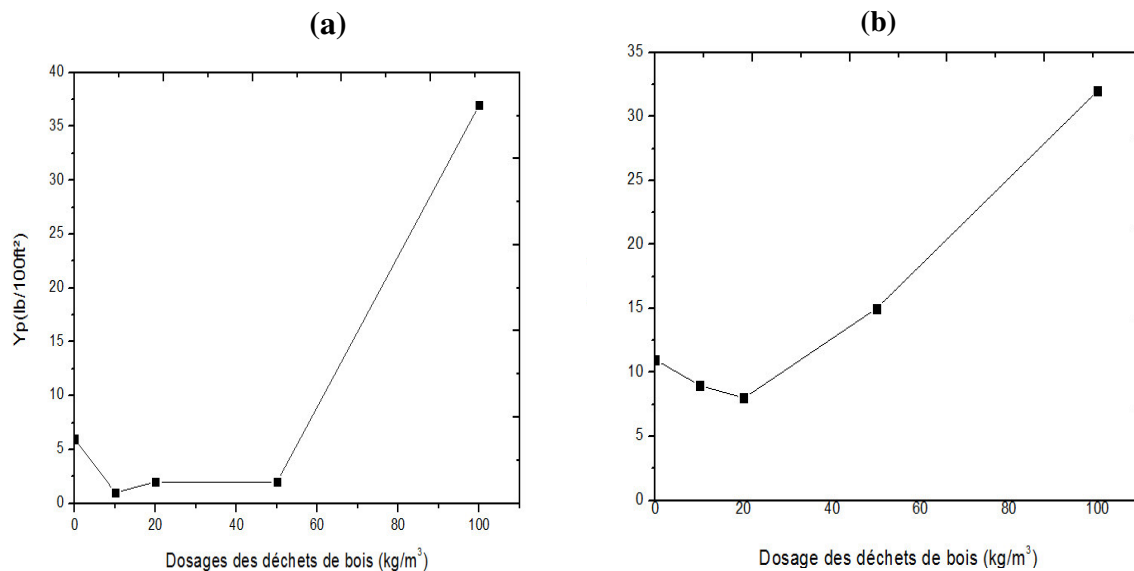


Figure IV.6 Effet de la teneur de déchets de bois (fraction $<315\mu\text{m}$) sur les paramètres rhéologiques

Tableau IV.6 Paramètres rhéologiques

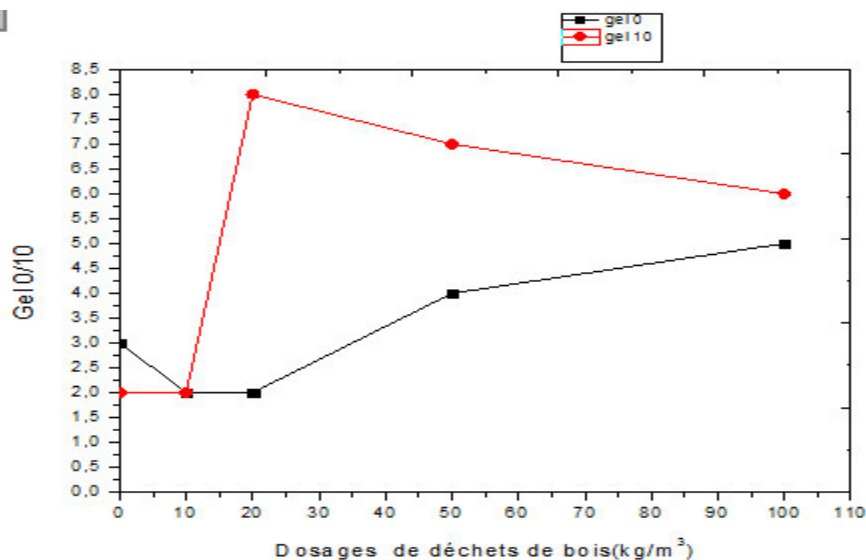
Dosage kg/m ³	V _p (CPo)	Y _p (Ib/100ft ²)
0	11	6
10	9	1
20	8	2
50	15	2
100	32	37

La **figure IV.6** illustre l'évolution des principaux paramètres rhéologiques des boues en fonction de dosage des déchets de bois. On remarque que les paramètres rhéologiques (Y_p ; yield point et V_p ; viscosité plastique) des boues étudiées, ont augmentés considérablement avec dosages de déchets de bois. En effet, jusqu'à 50kg/m³ de déchets, la contrainte seuil de la boue était faible suivit d'une diminution de la viscosité plastique de 11 à 8CPo. Ensuite au-delà de 50kg/m³ de déchets, une augmentation de la viscosité des boues a été enregistrée de 8 à 32 CPo (voir **figure IV.6.b**).Ce résultat semble intéressant du fait que la fraction de la poudre de bois de 315µm a aussi jouée le rôle d'un viscosifiant et peut être comme substituant de CMC.

b).2. Gel 0/10

Tableau IV.7 Gel 0/10

Dosage kg/m ³	Gel 0	Gel 10
0	3	2
10	2	2
20	2	8
50	4	7
100	5	6

**Figure IV.7** :Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10

La **figure IV.7** montre l'effet dosage des déchets de bois sur le gel (0/10) des boues étudiées. Selon les résultats obtenus, il est remarquable qu'avec l'augmentation de dosage des déchets de bois dans la boue, le gel 0 diminue jusqu'à une quantité de 20kg/m^3 des déchets de bois ensuite le gel 0 a augmenté au-delà de ce dosage. Tandis que le gel 10 reste également constant jusqu'à un dosage de 10kg/m^3 de déchets de bois ensuite le gel 10 a augmenté au-delà de ce dosage. On peut constater que la poudre de bois ayant $315\mu\text{m}$ peut développer un gel en cas d'arrêt de forage afin d'éviter la précipitation des déblais de forage c'est le même rôle joué le par le polymère CMC.

b).3. Comportement rhéologiques

Tableau IV. 8 Rhéogrammes des boues

Lecteur	0kg/m^3	10kg/m^3	20kg/m^3	50kg/m^3	100kg/m^3
600	28	19	18	32	101
300	17	10	10	17	69
200	12	6	6	12	56
100	7	3	4	6	35
6	3	2	2	4	7
3	2	1	1	3	4

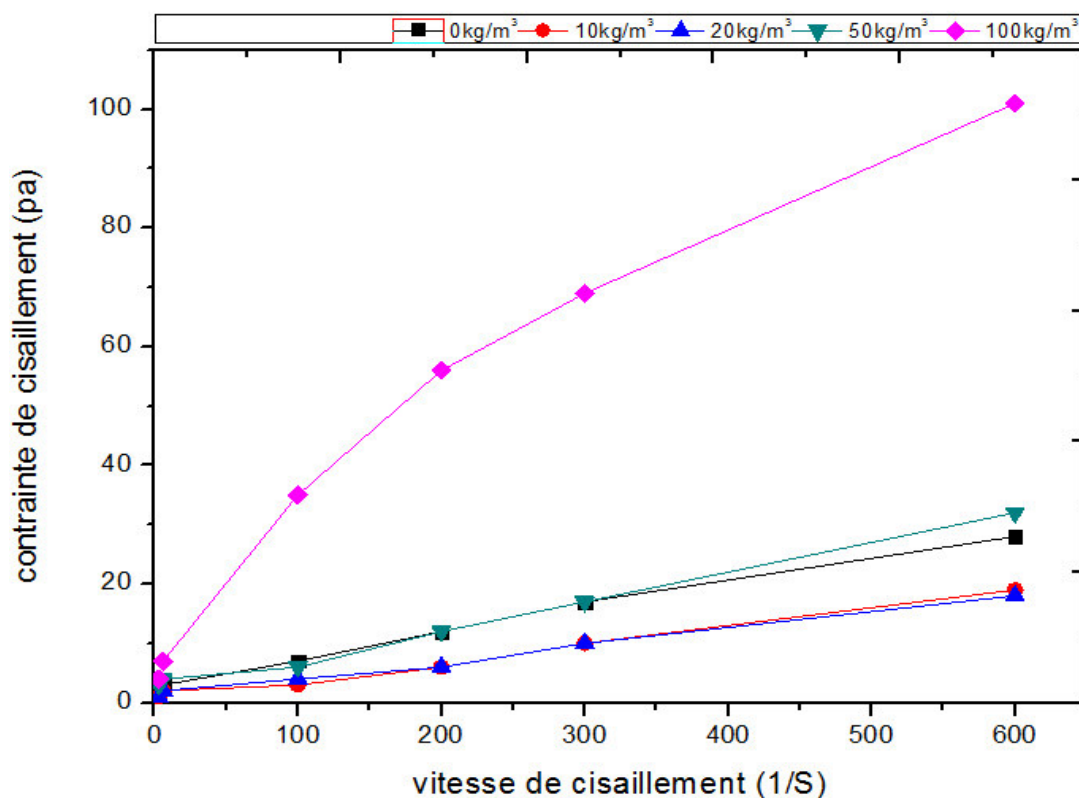


Figure IV.8. Rhéogramme des boues à différents dosages de déchets de bois (fraction $<315\mu\text{m}$)

La **figure IV.8** représente le comportement rhéologique de boues étudiées. D'après les rhéogrammes, toutes les boues montrent un écoulement non-Newtonien ayant un seuil d'écoulement. Cela veut dire qu'elles ont un comportement caractérisant un fluide non-Newtonien. De même pour les précédentes formulations, ces boues ont un comportement rhéologique qui suit le modèle Herschel Bulkely.

b).4. Propriétés physico-chimique

Tableau IV. 9 Propriétés physico-chimique

Dosage kg/m ³	PH avant H-R	pH après H-R
0	12,8	11,8
10	12,5	10,2
20	10,6	9,1
50	10,5	9
100	10,8	7,7

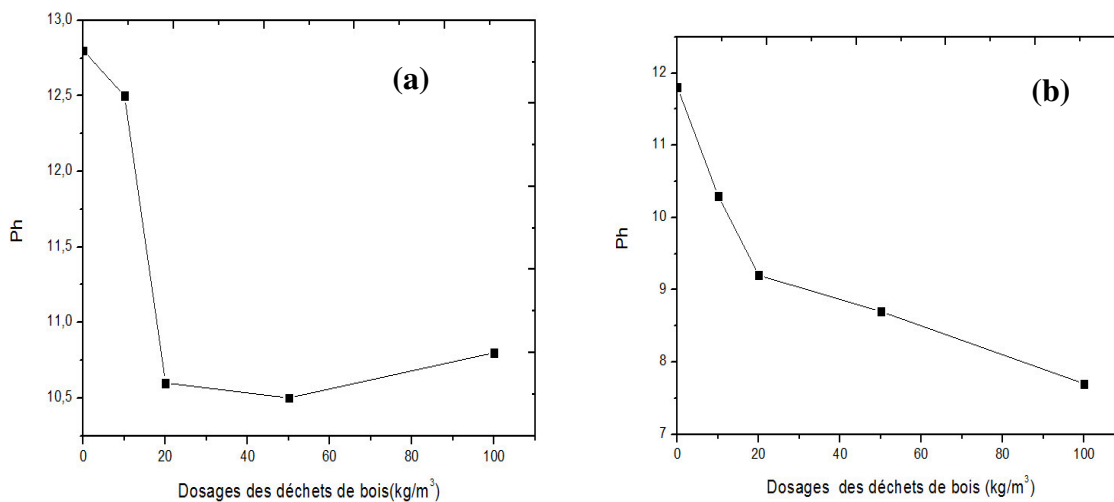


Figure IV.9: Effet de différent dosage de déchets de bois sur les paramètres physico-chimique avant (a) et après (b) Hot-rolling.

La variation des paramètres physico-chimique (pH avant et après hot-rolling) en fonction de dosage de déchets de bois ayant la taille des grains <315 μ m. La figure montre clairement que le pH de la boue diminue de 12.8 à 10.5 jusqu'à 50kg/m³. On note aussi que jusqu'à 100kg/m³, le pH était toujours basique environ il continue à diminuer 10.8. Après Hot-rolling (cad simulation de la mise en circulation de la boue dans un puits pendant le forage), on a noté une diminution importante du pH de la boue de 12.8 au 7.7. Cela peut être expliqué la réaction et la dissolution quelques constituant de la boue sous la température 80°C qui fait diminuée le pH.

b).5. Filtrat API des boues

Tableau IV.10 Filtrat API des boues

Dosage kg/m^3	API (ml)
0	4
10	4
20	6,8
50	6
100	8,9

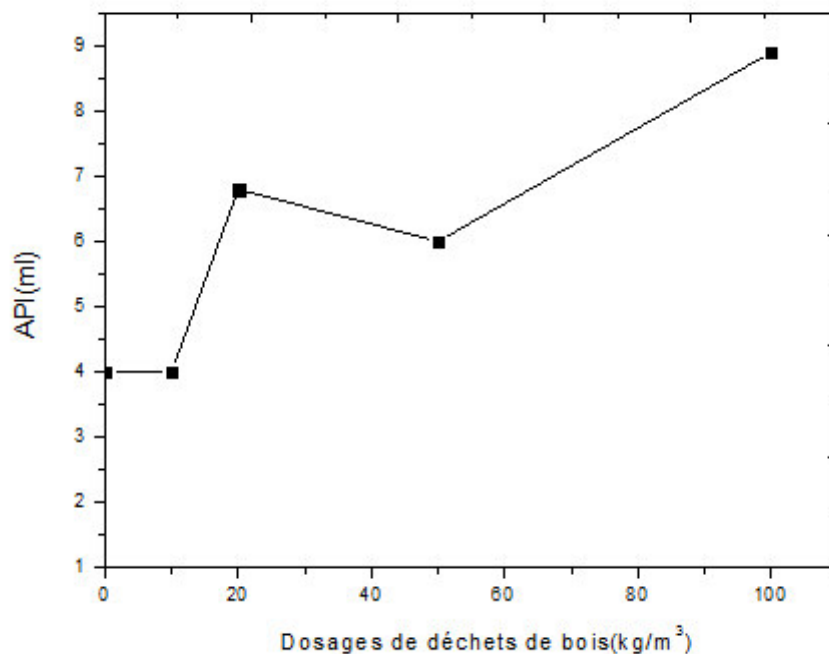


Figure IV.10: Effet de dosage de déchets de bois sur le filtrat.

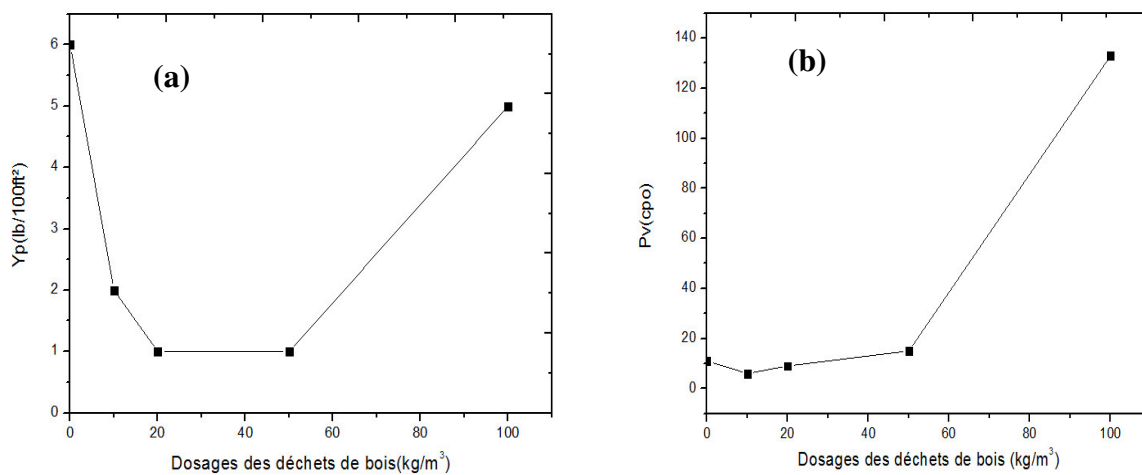
La figure IV.10 donne la variation du filtrat API des boues en fonction de dosage des déchets de bois ayant la fraction $<315\mu\text{m}$. Il en résulte d'après les résultats que le filtrat des boues a légèrement augmenté lorsque le dosage de la poudre en bois augmente de 0 à 50kg/m^3 de déchets de bois. Ensuite, au-delà de 50kg/m^3 , le filtrat a augmenté significativement de 6 à 9ml mais reste toujours inférieur à 10ml. Cette dernière valeur de filtrat est acceptable pour les boues à base d'eau.

c). Poudre de Bois à 160 μm

c).1. Paramètres rhéologiques

Tableau IV.11 Paramètres rhéologiques

Dosage kg/m^3	V_p (Cpo)	Y_p (Ib/100ft ²)
0	11	6
10	6	2
20	9	1
50	15	1
100	133	5

Figure IV.11. Effet de la teneur de déchets de bois (<630 μm) sur les paramètres rhéologiques

L'évolution des principaux paramètres rhéologiques des boues à base des déchets de bois ayant taille <160 μm , est donnée dans la figure IV.11. On note que la contrainte seuil (Y_p) des boues diminue avec l'augmentation de dosage de déchets de bois jusqu'à 50 kg/m^3 puis elle augmente atteignant 5 Ib/100ft² accompagnant aussi une augmentation significative de la viscosité des boues.

c).2. Gel 0/10

Tableau IV.12 Gel 0 /10

Dosage kg/m^3	Gel 0	Gel 10
0	3	2
10	2	2
20	1	2
50	3	4
100	8	11

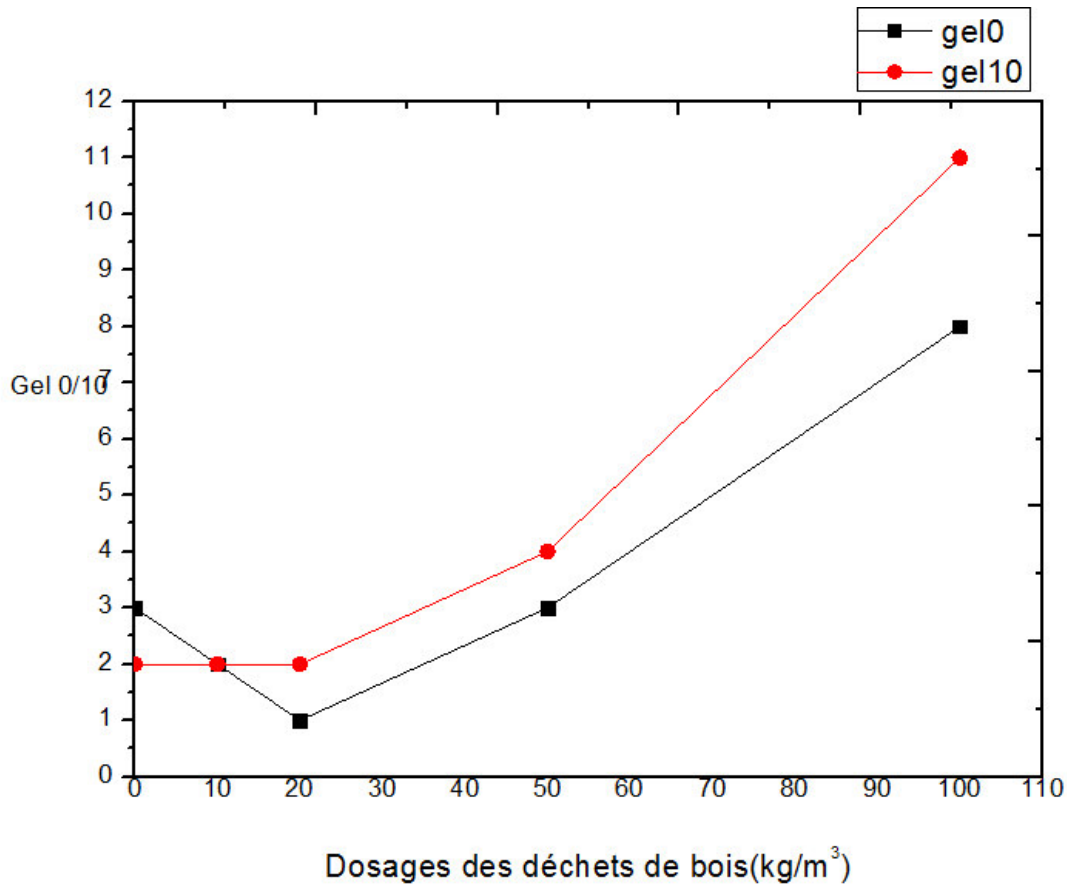


Figure IV.12 Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10.

La **figure IV.12** montre l'effet de dosage de déchets de bois sur le gel (0/10) des boues étudiées. Selon les résultats obtenus, il est remarquable qu'avec l'augmentation de dosage de déchets de bois dans la boue, le gel 0 a diminué de 3 à 1 pour un dosage de 0 à 20 kg/m³, puis il a augmenté à 8. Tandis que, le gel 10 il reste également constant pour un dosage de 0 à 20 kg/m³ ensuite il a augmenté.

c). 3. Comportement rhéologiques

Tableau IV.13 comportement rhéologiques

Lecteur	0kg/m ³	10kg/m ³	20kg/m ³	50kg/m ³	100kg/m ³
600	28	14	19	31	256
300	17	8	10	16	135
200	12	5	7	11	85
100	7	3	4	7	47
6	3	2	3	3	10
3	2	1	2	2	6

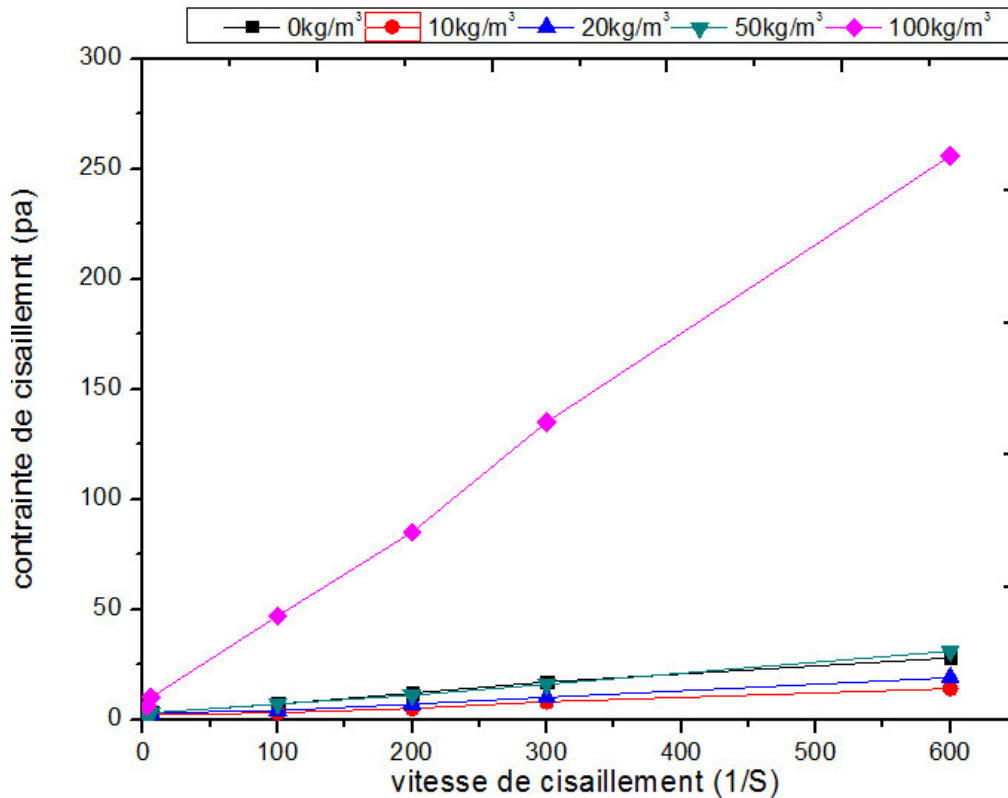


Figure IV.13. Rhéogramme des boues à différent dosage de déchets de bois (<630 μ m)

La **figure IV.13** représente le comportement rhéologique de boues étudiées à base de la poudre de bois ayant la dimension <160 μ m. Egalement, nous remarquons que toutes les boues montrent un écoulement non-Newtonien ayant un seuil d'écoulement. Cela veut dire qu'elles ont un comportement caractérisant un fluide non-Newtonien.

c).4. Propriétés physico-chimiques

Tableau IV.14 Propriétés physico-chimiques

Dosage kg/m ³	pH avant H-R	pH après H-R
0	12,8	11,8
10	12,7	10,9
20	10,5	9,4
50	10,5	8,4
100	10,5	7,6

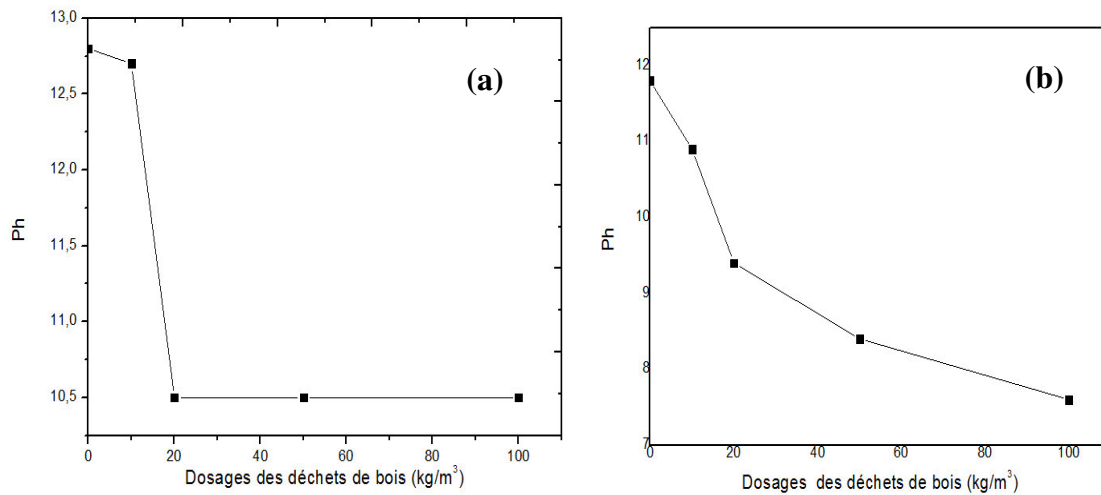


Figure IV.14. Effet de différents dosages de déchets de bois sur les paramètres physico-chimique avant (a) et après (b) Hot-rolling.

La variation des paramètres physico-chimiques des pH en fonction de dosage de déchets de bois, est représentée dans la figure IV.14. Il est à noter que le pH des boues étudiées avant et après Hot-rolling, a diminué avec l'augmentation du dosage de déchets de bois. En effet, le pH avant Hot-rolling a nettement diminué de 12,5 à 10,5 puis il se stabilise à 10,5 (voir figure III.14 .a). Tandis que, le pH après Hot-rolling a nettement diminué de 11,8 à 7,7 (voir figure III.14.b). On note aussi que le milieu est resté toujours milieu basique avant le HR et neutre pour les boues traitées après HR.

c).5. Filtrat API

Tableau IV.15 Filtrat API

Dosage kg/m ³	API (ml)
0	4
10	5,2
20	6,9
50	4,8
100	5,4

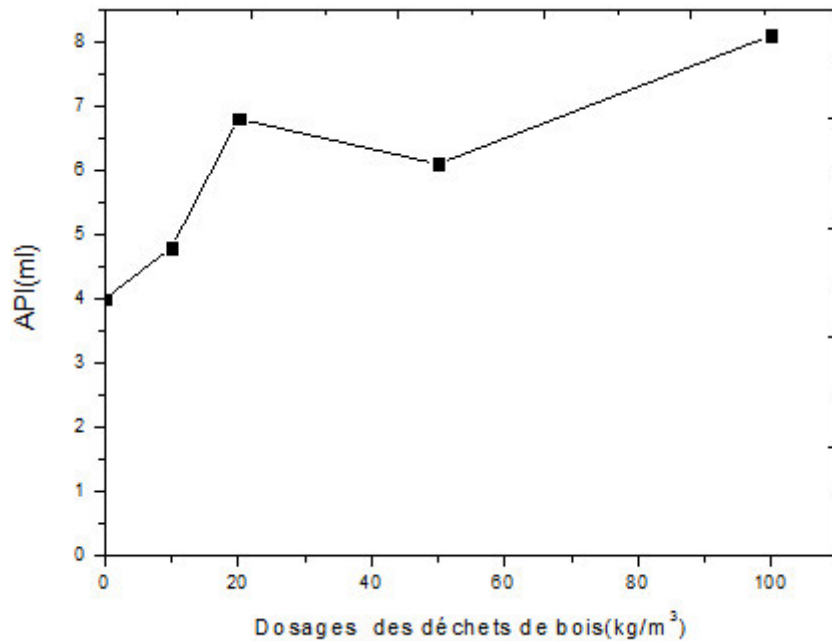


Figure IV.15: Effet de dosage de déchets de bois sur le filtrat.

La **figure IV.15** représente la variation du filtrat des boues étudiées en fonction du dosage de déchets de bois. Il est remarquable d'après cette figure une légère augmentation de filtrat de 4 à 6,9 ml puis il a légèrement diminué de 6,9 à 4,9 ml pour un dosage de 20 à 50 kg/m³ puis il a diminué.

IV.2. Utilisation du déchet de bois en tant qu'un réducteur de filtrat

a). Poudre de Bois à 630 µm

a).1. Paramètres Rhéologiques

Tableau IV.2.1 Paramètres Rhéologiques

Dosage kg/m ³	Vp (cpo)	Yp (lb/100ft ²)
0	11	6
10	6	4
20	10	14
50	4	10
100	22	63

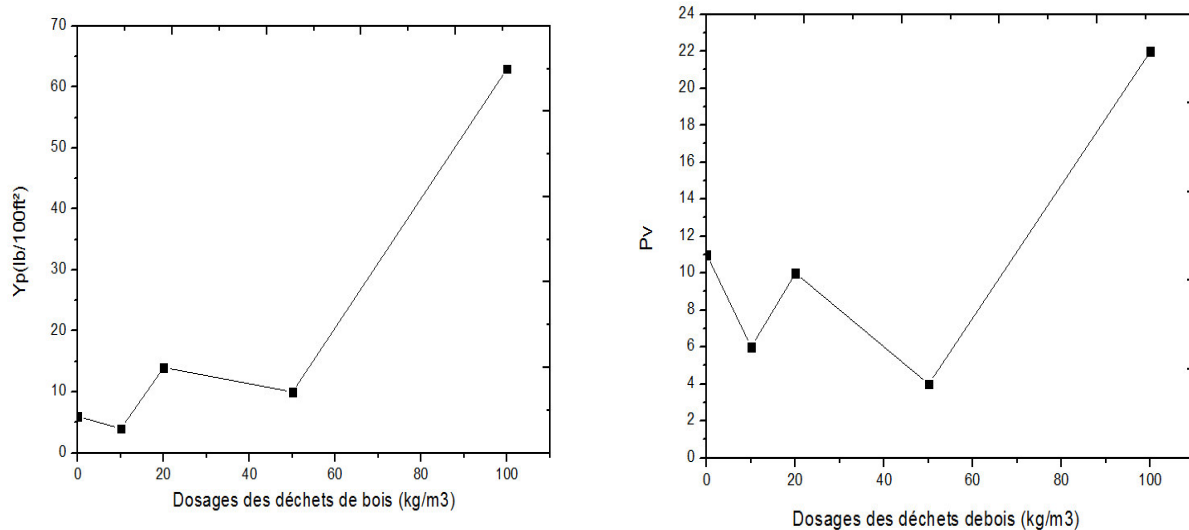


Figure IV.2.1 Effet de la teneur de déchets de bois ($<630\mu\text{m}$) sur les paramètres rhéologiques

La **figure IV.2.1** montre l'évolution des principaux paramètres rhéologiques des boues en fonction de dosage de déchets ($<630\mu\text{m}$). Il est remarquable que les principaux paramètres rhéologiques (Yp et Vp) des boues étudiées, augmentent avec le dosage de déchets de bois. En effet, au-delà de 20kg/m^3 augmente de 80% (de 14 à 63 lb/100ft²) (voir figure IV.2.1). Cependant une légère augmentation de la viscosité plastique

a).2. Gel (0/10)

Tableau IV.2.2 Gel 0/10

Dosage kg/m ³	Gel 0	Gel 10
0	3	2
10	3	4
20	6	8
50	8	9
100	14	16

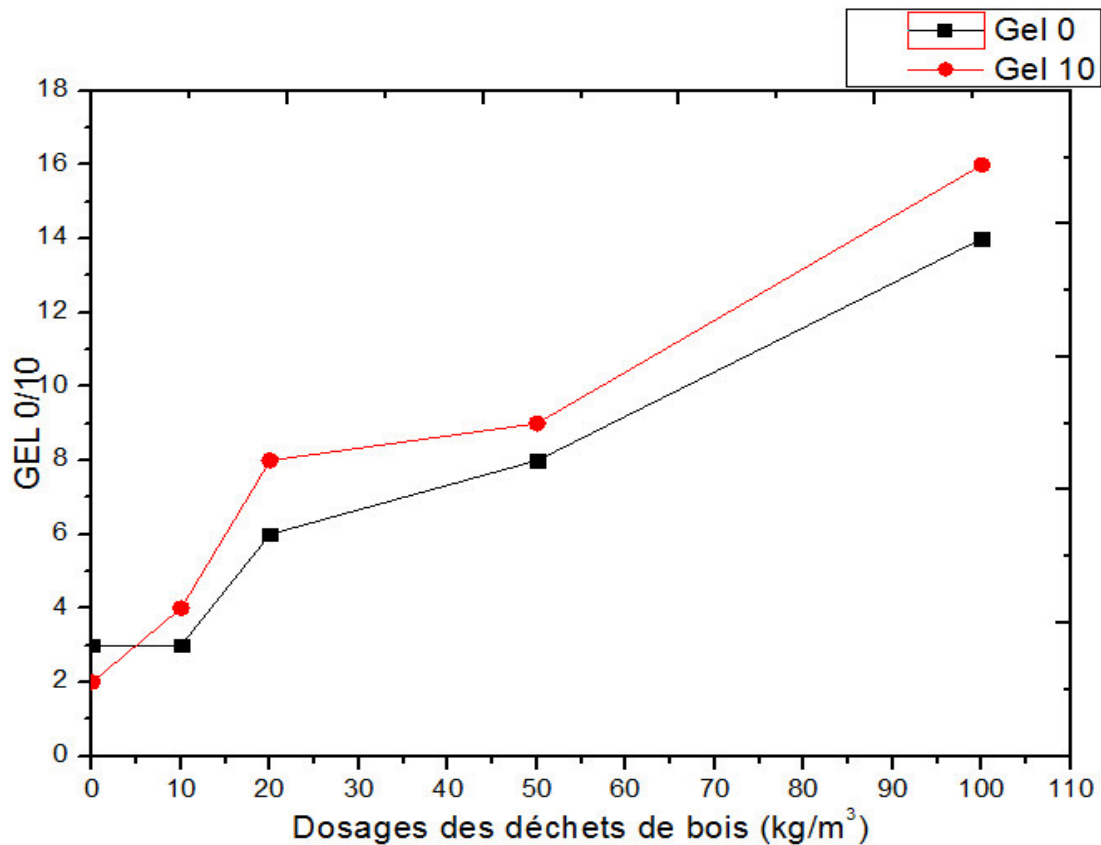


Figure IV.2.2. Effet de la teneur de déchets de bois sur le Gel 0/10.

La figure IV.2.2 illustre l'effet de dosage de déchets de bois sur le gel (0/10) des boues étudiées. D'après cette figure, il est clair qu'avec l'augmentation de dosage de déchets de bois dans la boue le gel 0 a augmenté, tandis que le gel 10 a augmenté 2 fois que le gel 0

a).3. Comportement rhéologiques

Tableau IV.2.3 comportement rhéologiques

Lecteur	Déchets de bois (kg/m³)				
	0	10	20	50	100
600	28	16	18	34	107
300	17	10	14	24	85
200	12	8	12	9	64
100	7	5	9	7	45
6	3	3	6	9	21
3	2	2	5	7	17

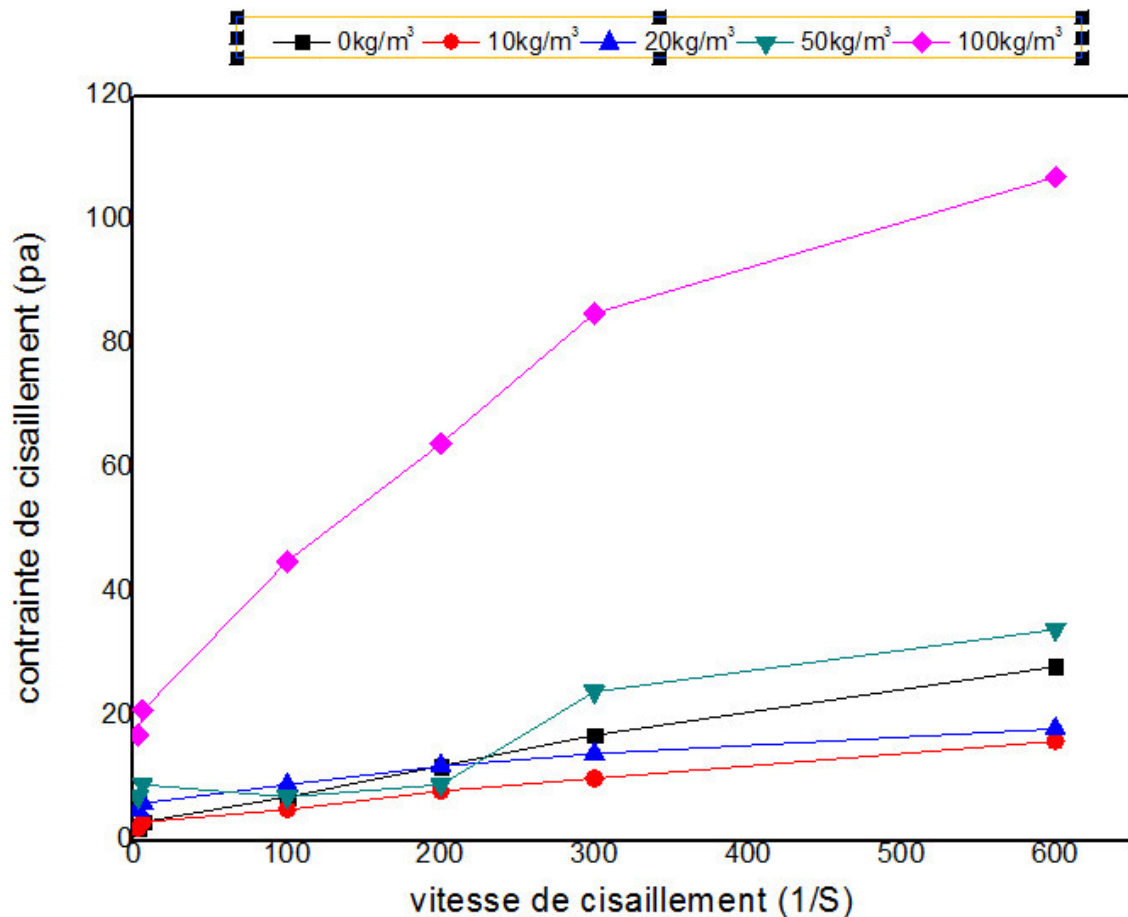


Figure IV.2.3. Rhéogramme des boues à différentes concentrations de déchets de bois (<630µm).

La **figure IV.2.3** montre le comportement rhéologique des boues étudiées. D'après les rhéogrammes, toutes les boues montrent un écoulement non-Newtonien. Le comportement de ces boues peut être identifié par l'utilisation des modèles rhéologiques existants. En effet, la **figure IV.2.3** montre clairement que ces boues ont un seuil d'écoulement ce qui prouve qu'elles ont un comportement non-Newtonien. D'après plusieurs chercheurs ont constaté que le comportement de ces types de boues suit le modèle de Herschel Bulkely

a).4. Propriétés physico-chimique

Tableau IV.2.4 Propriétés physico-chimique

Dosage kg/m ³	pH avant H-R	pH après H-R
0	12,8	11,8
10	12,6	10,6
20	12	9,2
50	11,2	8,3
100	10,4	7

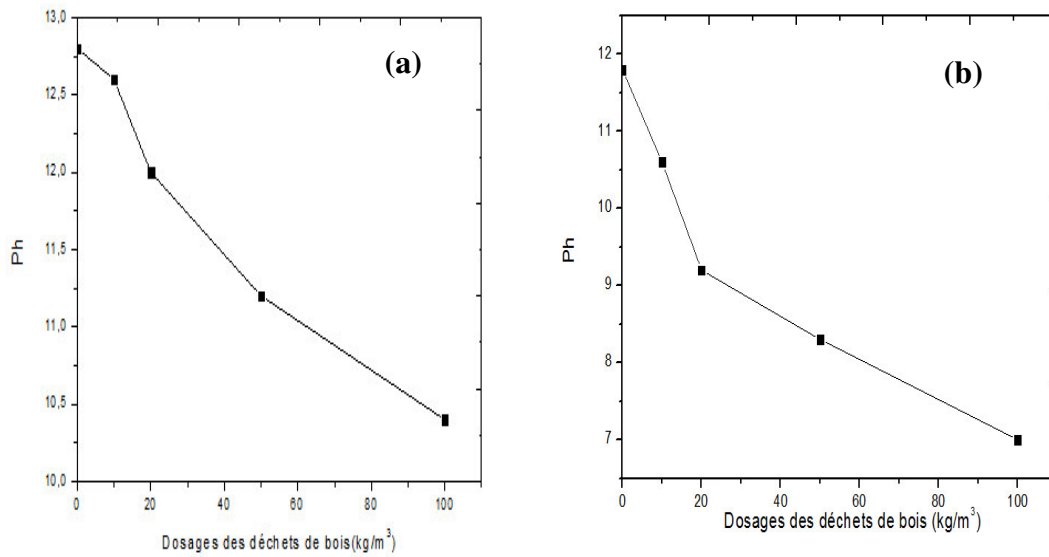


Figure IV.2.4. : *Effet de différent dosage de déchets de bois sur les paramètres physico-chimique avant (a) et après (b) Hot-rolling.*

La variation des paramètres physico-chimiques des pH en fonction de dosage de déchets de bois, est représenté dans la figure IV.2.4 il est remarquable une diminution de pH avant et après Hot-rolling a diminué de 12,8 à 10,4 et de 11,8 à 7 respectivement (voir figure IV.2.4.)

a).5.Filtrat API des boues

Tableau IV.2.5 Filtrat API des boues

Dosages (kg/m ³)	Tailles (μm)		
	630	315	160
0	4	4	4
10	150	150	150
20	150	145	140
50	145	145	145
100	145	150	140

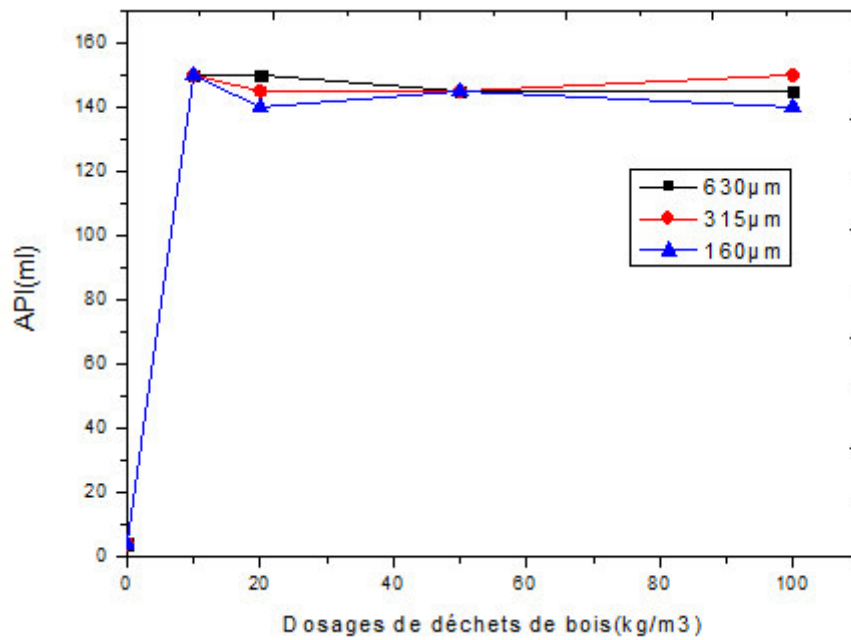


Figure.IV.2.5. Effet de dosage de déchets de bois sur le filtrat.

La **figure IV.2.5** représente la variation du filtrat des boues étudiées en fonction de dosage de déchets de bois. Il est remarquable d'après cette figure que le filtrat a nettement augmenté de 4 à 150 ml et cette valeur est totalement rejetée pour les boues à base d'eau car la valeur maximale du filtrat ne dépasse pas 10 ml.

Il est à signaler aussi que l'étude des boues à base de déchet de bois ayant fraction $<315\mu\text{m}$ et celle $<160\mu\text{m}$, ont données les mêmes valeurs du filtrat cad dépassant les 10 ml, c'est la raison pour laquelle nous n'avons présentés les résultats de ces boues. Ce constat nous a permis de conclure que le déchet de ce type de bois ne peut être utilisé comme réducteur de filtrat quel que soit le dosage et la taille des grains.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était le recyclage et la valorisation de la poudre de bois (déchets de la menuiserie de bois) dans la formulation des boues de forage à base d'eau en tant que viscosifiant (par substitution totale du polymère CMC) et comme réducteur de filtrat (par substitution totale du polymère PAC). L'utilisation de déchet de bois à différentes tailles (160, 315 et 630 μ m) et différents dosages (0, 10, 20, 50 et 100kg/m³), a été réalisée en premier lieu par substitution totale du CMC puis par substitution totale du PAC. Après l'obtention et traitement des résultats, il en résulte que;

En tant que viscosifiant (Par substitution du CMC)

- Les propriétés physicochimiques et rhéologiques (Y_p , V_p) des boues étudiées ont nettement améliorées en présence des déchets de bois avec un dosage 20 au 50kg/m³ quel que soit les fractions utilisées. Cependant, au-delà 100kg/m³ de bois les boues présentent des propriétés rhéologiques très élevées ayant une viscosité que peut freiner l'opération de la circulation du fluide dans le puits ;
- L'étude rhéologique a montré que les boues étudiées ont un comportement non-Newtonien quel que soit la taille des grains ou le dosage du déchet de bois ;
- Il est à noter que le filtrat API des boues étudiées était conforme à la norme API en présence du déchet de bois pour les trois dosages et tailles utilisés. En effet, le filtrat des boues étudiées a augmenté mais toujours reste dans la gamme requise pour les boues de forage à base d'eau.

En tant que réducteur de filtrat (Par substitution du PAC)

- Lorsque le déchet de bois est utilisé en tant que réducteur de filtrat par substitution du PAC, le filtrat a nettement augmenté de 4 à 150ml et cette valeur est totalement rejetée pour les boues à base d'eau car un filtrat élevé peut provoquer des problèmes d'éruption ou contamination de la boue par la formation géologique ;

Il est à signaler aussi que l'étude des boues à base de déchet de bois ayant fraction <315 μ m et celles <160 μ m, ont données les mêmes valeurs du filtrat cad dépassant les 10ml, c'est la raison pour laquelle nous n'avons pas présentés les résultats de ces boues. Ce constat nous a permis de conclure que le déchet de ce type de bois ne peut être utilisé comme réducteur de filtrat quel que soit le dosage et la taille des grains

Références Bibliographique

- [1] **NGUYEN J .,P.**, «fluide de forage», Technique d'exploitation pétrolière, le Forage Technip, 1993.
- [2] **Garcia C., Parigo P.**, Drilling fluids, French Petroleum Institute (I.F.P), Technip Edition, Paris, 1968.
- [3] **Gray, G.R.; Darely, H.C.; Rogers, W.F.**, "Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids", 4th Ed.; Gulf Publishing: Houston, TX, 1980, pp. 1-36.
- [4] **Y.PEYSSON**, "Solid /Liquid Dispersions in Drilling and Production". Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP, Vol. 59 (2004), No.1,pp.11-21.
- [5] **CD manual** of drilling fluids, BASP.
- [6] **RYEN CAENN, GEORGE V. CHILLINGAR**, «Drilling fluids: state of the art».
- [7] **DE LAMBALLERIE G.**, « Boue à base d'huile», Collection Colloques et Séminaires I.F.P, Edition Technip, 1969.
- [8] **LANDRIOT G.**, «Fluide de forage», édition Technip 1968.
- [9] **American Petroleum Institute**. Principles of Drilling Fluid Control, 12th ed., I, University of Texas, Continuing Education Petroleum Extension service, Austin. (1969)