



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique (E.N.P)

Ecole Doctorale Sciences de l'Eau et Développement Durable

Option Science de l'Eau

Mémoire de Magister en Hydraulique Sciences de l'EAU

Présenté par

Mr. KHALIFA Aissa

Ingénieur d'état en hydraulique (E.N.S.H Blida)

THEME

RECYCLAGE DES BOUES DE FORAGE

Soutenance publique le 9 Mai 2012 à 9heures à la bibliothèque devant le jury :

Président:	Mr.BALI	Abderrahim (Prof)	ENP. Alger
Rapporteur :	Mme. MITICHE- KETTAB	Ratiba (MCA)	ENP. Alger
Examineurs :	M^{lle}. BENMAMAR	Saida (MCA)	ENP. Alger
	Mr. BERMAD	Abdelmalek (MCA)	ENP. Alger
Invité:	Mr. JIRIDI	Abdelkader (chef .Dép technique)	ENSP. ALG

ENP. Alger 2012

ملخص

- هذه الدراسة تخص عملية رسكلة الموائع التي تستعمل بالأساس للحفاظ على الخصائص الريولوجية لهذه الأخيرة التي تفقد بعضها منها أثناء الحفر. هذا الفقدان يعود بالأساس التفاعلات موائع-صخور، معيار ميكانيك الصخور، السلوك الغير عادي للطبقات الجيولوجية التي تمر عليها عملية الحفر، إضافة إلى بعض الممارسات الغير ملائمة أثناء الحفر.
- هذه الدراسة سمحت لنا بمعرفة بشكل جيد تأثير البوليمرات على النظام موائع- بوليمار بأنواع وبتراكيز مختلفة حسب احتياجاتنا أثناء الحفر أو بالنسبة لمطلباتنا الجديدة (إعادة هيكلة موائع جديدة انطلاقا من أخرى مستعملة).
- عملنا التجريبي تناول ثلاثة مراحل أساسية لإعادة تحضير تركيبات للموائع التي فقدت بعض خصائصها أثناء الحفر، الاختبارات الكيميائية- الفيزيائية و الريولوجية للموائع التي تم تحضيرها.
- الاختبارات بعد خروج الموائع من الحاسي بعد تعرضها لتأثيرات هذا الأخير من ضغط، حرارة، تفاعلات موائع-صخور.
- الاختبارات بعد إعادة الاعتبار لهذه الموائع و الحفاظ على الخصائص الريولوجية و الكيميائية-الفيزيائية اللازمة، وهذا بعد معالجتها بالبوليمرات الضرورية وهذا لضمان اللزوجة و التصفية المطلوبتين.
- و في الأخير كيفية تسبب النفايات و مراقبة المواد الصلبة في الموائع بإهمالها و نزاعها كل مرة تتم فيها عملية دخول هذه الأخيرة إلى داخل الحاسي. لأنه هذا المانع يكون متلوثا بمجموعة من المواد الصلبة بسبب تفاعلات مائع-صخور. تتم مراقبة المانع من أجل الحفاظ على كثافته لأنه يمثل عنصر فيزيائي مهم جدا وهذا حفاظا على البيئة.

المصطلحات

رسكلة الموائع الريولوجية التفاعلات البوليمرات تراكيز متلوثا كثافة الكيميائية الفيزيائية

Résumé

- Cette étude s'intéresse aux processus de recyclage des boues permettant de maintenir les caractéristiques rhéologiques dont certaines sont perdues pendant le forage. Cette perte est due principalement aux interactions fluides - roche, à l'aspect mécanique des roches, au comportement des formations géologiques traversées ainsi que certaines pratiques inappropriées lors du forage.
- Cette étude nous a permis de maîtriser l'impact des polymères au système fluides-polymères avec différents types de polymères et différentes concentrations en fonction des besoins pendant le forage, ou des exigences du chantier (reformulation des fluides selon la demande).
- Les boues de forage perdent de leurs propriétés car ils ont été exposés aux effets de la pression, température, roche...etc. Ces dernières sont soumises à des tests, afin de vérifier les dégradations éventuelles de leur performances (teneur en solide, viscosité, stabilité électriques...etc)
- En fonction de la demande et pour des considérations environnementales, nous procédons à leur renouvellement en reformulant leur composition et en les soumettant aux mêmes tests que les boues réintégrées.
- Et en parallèle, de l'écoulement des boues, une épuration mécanique est effectuée ayant pour but de contrôler les solides (densité) et de gérer les déchets.

Mots clefs : recyclage, fluide, polymère, réintégrée; boue, renouvellement, écoulement, épuration.

Summary

- This study concern the process of recycling of fluids that are used primarily to maintain their rheological characteristics of the latter may be lost during drilling. This loss is due primarily interactions fluids - rocks, the standard mechanical rock, unusual behavior the geological layers of with the drilling process, in addition to some Inappropriate practices during drilling
- This study allowed us to know well the impact of polymers on the system fluids - polymers types and in different concentrations according to our needs during drilling, new requirements (new fluids restructuring).
- Experimental work used with three basic stages to re-prepare combinations of fluids that have lost some of their properties during the drilling, chemical tests - for the physical and rheological fluids that have been prepared.
- Tests of fluids after exposure to the pressure, temperature, interactions of fluids - rocks.
- Tests after the rehabilitation of these fluids and maintain the chemical and rheological properties - the necessary physical, and that after the necessary processing polymers this is to ensure the viscosity and the filter needed.
- In the end, how waste management and control of solids in the fluid and negligence is removed each time the process of entry of the latter into the drill, because this fluid is contaminate a range of solids due to fluid interactions - rocks. Fluid is monitored in order to maintain the density because it represents a physical element and this is very important to preserve the environment,

Key words drill, fluid, complex, behavior, formulation, mud, rheological characteristic, addition, solution.

Dédicace

Je dédie ce travail à ma
Chère mère qui m'a toujours épaulé dans mes
projets et mes rêves,
Je le dédié également à mes frères et mes
sœurs,
A toute ma famille,
A mes amis

Aissa

Remerciements

Je remercie d'abord dieu tout puissant qui m'a guide et me donne le courage et l'espoir de terminer mes études.

Je remercie vivement Ma mère, ma famille,

Je remercie vivement ma promotrice R. MITICHE-KETTAB qui m'a Suivi avec patience pendant la durée de mon travail.

*Je remercie également tous mes professeurs :
Mr BALI Abderrahim de m'avoir présidé ce jury
Mlle BENMAMAR Saadia de m'avoir enseigné et examiné et honoré ce jury
Mr BERMAD de m'avoir examiné et honoré ce jury*

Je remercie encore Mr Jiridi Abdelkader et à travers lui tout le Personnel de la société BASP.

*Tous professeurs et le personnel de L'ENP à leur tête Mr Pr.
KETTABA hmrd*

Aïssa Khalifa

Sommaire
Introduction Générale

CHAPITRE I
LES FLUIDES DE FORAGE

Introduction

I.1. Généralités sur les fluides de forage	4
I.2. Définition d'un fluide de forage.....	4
I.3. Fonctions du fluide de forage.....	4
I.4. Circulation du fluide de forage.....	5
I.5. Classification des fluides de forage.....	5
I.5.1. Fluides à base d'huile.....	5
I.5.2. Les fluides à base d'eau.....	6
I.5.3. Les fluides de forage gazeux.....	6
I.6. Composition des fluides de forage.....	7
I.6.1. Composants de la boue de forage et leur rôle.....	7
I.6.2. Formulation des boues de forage.....	8
I.6.3. Contrôle et caractérisation des propriétés.....	8
I.6.4. Paramètres physiques et chimiques.....	9
I.7. Filtration et endommagement des formations.....	15
I.8 Rhéologie des fluides de forage.....	18
I.8.1 Notions utiles.....	18
I.8.1.1 Viscosité.....	18
I.8.1.2 Modèles rhéologiques.....	21
I.8.2 Techniques de mesures rhéologiques.....	23
I.8.2.1 Viscoélasticité.....	24
I.8.2.1.1 Essai de fluage.....	24

CHAPITRE II

Pollution par les fluides de forage

Introduction

II.1 Analyse des sources de pollution.....	27
II.2 Diagnostic des traitements de la pollution appliqués sur HMD.....	29
II.2.1 Traitement par stabilisation/solidification.....	29
II.3 Problèmes de pertes de fluides au cours du forage et contamination du sol.....	30
II.3.1 Cas des fluides à base d'eau (WBM).....	30

II.3.2 Cas des fluides émulsionnés inverses (OBM).....	31
II.4 Méthodologie d'évaluation de la pollution.....	32

CHAPITRE III

POLYMERES

Introduction.....	33
III.1. Définition.....	34
III.2. Classification des polymères.....	36
III.3. Adsorption des polymères.....	36
III.4. Les polymères dans le fluide de forage.....	37
III.4.1. La carboxyméthylcellulose (CMC) et PAC.....	37
III.4.1.1. Définition.....	37
III.4.1.2. Influence des électrolytes.....	38
III.4.2. Les silicates de sodium.....	39
III.4.2.1. Introduction.....	40
III.4.2. 2. Chimie des silicates.....	41
III.4.2.3. Mode d'action du système silicate.....	42
III.4.2.4. Les avantages environnementaux des silicates.....	43
III.4.3 Aquagel.....	44
III.4.4 Barablock.....	45
III.4.5. Barazan.....	46
III.4.6. Dextrid	47
III.4.7. EzMul.....	48
III.4.8. Ez-Mud.....	49
III.4.9. Geltone.....	50
III.4.10. Invermul.....	51
III.4.11. N -DrilHt- Plus.....	51
III.4.12. N-Vis.....	53
III.4.13. N-Vis O.....	54
III.14. PAC	55

CHAPITRE IV

Contrôle de Solide et Gestion des Déchets

Introduction

IV.1	Principes de traitement des boues.....	58
IV.2	Règlement de l'environnement: Fluides et des résidus de forage	60
IV.3	Gestion des déchets	61
IV.4	Tamis vibrants à haute Performance.....	62
IV.5	Dégazeurs.....	64
IV.6	Mud-cleaners.....	66
IV.7	Centrifugeuses de décantation.....	68

CHAPITRE V

Résultats expérimentaux et interprétations

V.1.	Intérêt du travail effectué au laboratoire	76
V.2.	Travail effectué au laboratoire.....	78
V.3.	Protocole des tests de rhéologie.....	78
V.4.	Exploitation des résultats.....	83
CONCLUSION GENERALE.....		108
Annexe I.....		i
Annexe II.....		ix

Liste des tableaux

Tableau I.1	Catégories des composants utilisés dans les fluides de forag.....	07
Tableau II.1	variation de la concentration en hydrocarbures et en métaux lourds après solidification.....	30
Tableau III.1	Représentation schématique des structures de polymères.....	35
Tableau V-1	Formulation d'une boue légère de densité $D=0,87$	83
Tableau V-2	Formulation d'une boue moyenne de densité $D=1,2$	83
Tableau V-3	Formulation d'une boue lourde de densité $D=1,47$	83
Tableau V.4	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques.....	84
Tableau V.5	Additifs a la boue de retour.....	85
Tableau V.6	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques après ajouts de N-Vis.....	86
Tableau V.7	Additifs à la boue de retour.....	86
Tableau V.8	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physique.....	88
Tableau V.9	Additifs à la boue de retour.....	88
Tableau V.10	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physique.....	90
Tableau V.11	Additifs a la boue de retour.....	91
Tableau V.12	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques.....	92
Tableau V.13	Additifs a la boue de retour.....	93
Tableau V.14	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques.....	94
Tableau V.15	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques : Boue N°01.....	95
Tableau V.16	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques : Boue N°02.....	95
Tableau V.17	Additifs aux boues de retour.....	96
Tableau V.18	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques : La boue a base d'huile désiré.....	96
Tableau V.19	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques.....	97
Tableau V.20	Additifs a la boue de retou.....	97
Tableau V.21	Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques : Boue désirée de densité $D=0,90$	97
Tableau.V.22	Paramètres des modèles rhéologiques adéquats aux rhéogrammes expérimentaux des formulations étudiées.....	104

Liste des figures

Figure I.1	Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation..	16
Figure I.2	Mouvement laminaire de cisaillement plan.....	20
Figure I.3	Lois de comportement élémentaires.....	21
Figure I.4	Essai de fluage (contrainte imposée) - a) solide élastique, - b) fluide newtonien, - c) matériaux viscoélastiques.....	25
Figure II .1	Vue de bournier et point d'échantillonnage.....	28
Figure III.1	Schéma d'adsorption d'une chaîne de polymère sur une surface.....	36
Figure III.2	Structure chimique PAC.....	38
Figure III.3	Diminution des dimensions des chaînes du CMC dans un milieu salin...	39
Figure III.4	Structures d'anion de silicate.....	41
Figure III.5	Polymérisation du monomère de silicate de haut rapport fournit efficacement une barrière physique et chimique à l'invasion de filtrat et de particules.....	42
Figure IV.01	Tamis vibrant Modèle National Oilwell D285P-DM	63
Figure IV.02	Opération Dégazeur à vide.....	65
Figure IV.03	Mudcleaner D380P National Oilwell 20 / 3.....	68
Figure IV.04	composition du centrifuge et les mécanismes de fonctionnement.....	70
Figure IV.05	Processus d'écoulement de deux centrifuges.....	73
Figure IV.06	Processus de récupération de matériaux de poids.....	73
Figure IV-07	Processus pour l'élimination des solides colloïdaux.....	74
Figure V.01	Relaxation du liquide de Maxwell.....	79
Figure V.01	Rhéogrammes des échantillons de boue réintégrée à base d'huile.....	83
Figure V.02	Viscosités des échantillons en fonction du gradient de cisaillement. en fonction du gradient de vitesse.....	84
Figure V.03	Rhéogrammes de la boue légère après le recyclage par N-VIS a différentes température.....	85
Figure V.04	Viscosité de la boue légère après recyclage par N-VIS a différentes température en fonction du gradient de vitesse.....	85
Figure V.05	Rhéogramme de la boue lourde après recyclage par N-VIS O a différentes température.....	87
Figure V.06	Viscosités de la boue lourde après recyclage par N-VIS O a différentes température en fonction du gradient de vitesse.....	87
Figure V.07	Rhéogrammes de la boue moyenne après le recyclage par Aquagel Gold à différentes température.....	89
Figure V.08	Viscosité de la boue moyenne après le recyclage par Aquagel Gold a différentes température en fonction du gradient de vitesse.....	89
Figure V.09	Rheogrammes de la boue après le recyclage par Dextrid.....	91
Figure V.10	Viscosité de la boue après recyclage par Dextrid en fonction du gradient de vitesse.....	92
Figure V.11	Rhéogrammes de la boue réintégrée après recyclage par Barazan.....	93
Figure V.12	Viscosité de la boue réintégrée après recyclage par Barazan en fonction de gradient de vitesse.....	94
Figure V.13	Rhéogrammes de la boue de production après le traitement par N Vis-O.....	96
Figure V.14	Viscosité de la boue de production après traitement par N Vis-o en	

	fonction du gradient de vitesse.....	96
Figure V.15	Rhéogramme de la boue de production après le traitement par GELTON.....	98
Figure V.16	Viscosité de la boue réintégrée après traitement par GELTONE fonction du gradient de cisaillement.....	98
Figure V.17	Rhéogrammes de la boue recyclée par le Barazan (0,5%) à différents taux de KCl.....	100
Figure V.18	Viscosité de la boue recyclée par le Barazan (0,5%) en fonction du gradient de vitesse à différents taux de KCl.....	101
Figure V.19	Rhéogrammes de la boue recyclée par le PAC (1,5%) a différents taux de KCl.....	101
Figure V.20	Viscosité de la boue recyclée par le PAC (1,5%) en fonction du gradient de vitesse. à différents Taux de KCl.....	102
Figure V.21	Rhéogrammes de la boue recyclée par le silicate (1%) +PAC a différents taux.....	102
Figure V.22	Viscosité de la boue recyclée par le silicate (1%) +PAC en fonction du gradient de vitesse. a différents taux De KCl.....	103

Introduction Générale

Pour éviter que le trou se rebouche au fur et à mesure du forage, il faut enlever les débris de roche et nettoyer le fond du puits. Pour cela, on utilise un **fluide de forage** aussi appelé *boue de forage* par son aspect. Ce fluide indispensable au forage a une composition spéciale déterminée par un Ingénieur spécialisé, adaptée aux terrains traversés lors du forage.

Un circuit fermé permet de recycler la majeure partie de boue utilisée. Elle est mélangée et conservée dans un bassin, acheminée par la colonne d'injection de boue, vers la tête d'injection qui la propulse dans le train de tiges. Elle descend alors jusqu'au fond du puits et "traverse" le trépan grâce à des trous percés dans celui-ci et se retrouve dans les débris. Sous l'effet de la pression, la boue remonte entre les parois du puits et le train de tiges, emportant avec elle les débris arrachés. Une fois à la surface, une conduite d'aspiration attire la boue jusqu'à un tamis vibrant qui sépare les débris de la boue, ensuite renvoyée dans le bassin de décantation. Et ainsi de suite.

Le fluide de forage sert également à stabiliser la pression sur les bords du puits pour leur éviter de s'écrouler, il lubrifie et refroidit les outils et permet surtout de prévenir des éruptions.

La boue remontant à la surface est analysée par les géologues, à la recherche de traces d'hydrocarbures. Lorsque les géologues pensent que le forage traverse un réservoir, il peut ordonner un carottage. Le train de tiges est alors remonté et l'outil de forage est remplacé par un carottier. Le dispositif est redescendu et on fore à nouveau, mais cette fois sans broyer la roche : le carottier découpe un cylindre de roche qui est conservé dans l'outil. Dès que le carottier est plein, celui-ci est remonté à la surface. On en retire alors une carotte de plusieurs mètres, qui n'est autre que l'échantillon cylindrique de roche découpé.

Cette carotte est très utile : elle fournit des informations indispensables sur la nature de la roche, l'inclinaison des couches, sa structure, sa perméabilité, porosité ...etc. Les géologues peuvent alors déterminer si elle contient des hydrocarbures.

L'effort est donc consacré plutôt à la description qu'à l'interprétation physico-chimique et rhéologique des phénomènes observés.

Le but de notre travail est observés les propriétés rhéologiques et les paramètres physico-chimiques des boues recyclées, et a pour but d'évaluer l'influence exercée par les paramètres structuraux couramment utilisés pour la reformulation et la régénération des fluides de forage à base d'huile sur les performances en tant que réducteurs de filtrat ou viscosifiant et le rapport huile/eau de point de vue technico-économique, ainsi que le contrôle de solide et l'élimination des déchets de forage. Les objectifs de gestion des déchets s'appuient sur la notion de «durabilité» ou de développement économique durable.

Cette étude a été réalisée à la compagnie Algéro-américaine BASP SPA spécialisée dans le domaine des boues de forage et située à Hassi- Messaoud).

Le but de ce travail peut être résumé dans les trois points suivants

- Etat des connaissances sur les fluides de forage.
- Régénération et reformulation des boues de forage et l'influence des ajouts sur les caractéristiques rhéologiques ;
- Contrôle de solide et gestion des déchets du forage.

Chapitre I

LES FLUIDES DE FORAGE

Introduction

Les fluides de forage constituent le pivot de toutes les opérations de forage modernes, bien qu'ils ne représentent que moins de 8% des dépenses totales (01).

La technologie des fluides de forage est dominée par trois facteurs principaux : la performance, la rentabilité, et le souci environnemental et sécuritaire. L'objectif principal du fluide de forage est de réaliser les meilleures performances qui permettront de mener à bien la totalité des opérations de construction et d'exploitation du puits. Cependant, il doit être disponible, rentable, et non nuisible, que ce soit pour la santé, la sécurité des utilisateurs ou pour l'environnement.

Trouver le juste équilibre entre ces trois facteurs, constitue le défi majeur que doit relever l'industrie des fluides de forage qui fournit cette technologie, et les foreurs qui l'utilisent

Le succès de l'opération de forage est assuré par ces facteurs dont le choix des fluides de forage classés dans la famille des fluides complexes du fait de leur nature même (ces fluides peuvent être des émulsions/suspensions de divers constituants) et dont les fonctions sont multiples (refroidir et lubrifier l'outil au cours du forage, maintenir les parois du puits, maintenir les déblais en suspension, assurer la remontée des déblais, ...etc.). La connaissance et le contrôle des propriétés rhéologiques des fluides de forage ont donc une incidence majeure sur le bon déroulement d'une opération de forage. Ces fluides appelés classiquement « boues » présentent un comportement non newtonien ; ils sont habituellement rhéofluidifiants, thixotropes et fortement thermo dépendants, et ceci à différents niveaux suivant le type de boue et les conditions d'utilisation.

I.1. Généralités sur les fluides de forage.

Depuis le siècle dernier, le développement des exploitations pétrolières s'avère d'une grande importance, l'exploitation d'un gisement pétrolier nécessite plusieurs opérations ;

(2) :

- Localisation de la roche réservoir et confirmation de la présence des hydrocarbures ;
- Evaluation de la viabilité économique du développement et
- Forage et mise en production des puits de pétrole et de gaz.

Par ailleurs, le succès d'une opération de forage est assuré en grande partie par le bon choix du fluide de forage.

Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux rôles et caractéristiques des fluides de forage.

I.2. Définition d'un fluide de forage.

Un fluide de forage ou boue de forage est un système composé de différentes combinaisons liquides (eau, huile, ...), gazeuses (air ou gaz naturel) contenant en suspension une phase solide (argile, déblais, ciments, ...). C'est un fluide non newtonien, visqueux ou viscoélastique, le plus souvent thixotrope **(3)**.

I.3. Fonctions du fluide de forage.

La plupart des manuels de fluide de forage listent entre 10 à 20 fonctions que le fluide de forage exécute tout en forant un puits **(4)**. En général, les principaux rôles du fluide de forage sont :

- Assurer la remontée des déblais du fond du puits jusqu'à la surface grâce à la circulation d'un fluide visqueux dans l'espace annulaire.
- Maintenir les déblais en suspension 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 déposer un film sur la paroi appelée «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 devienne pas épais afin 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 être ni corrosive ni abrasive pour l'équipement, ni toxique ou dangereuse pour le personnel et ne risque pas de provoquer des incendies.

I.4. Circulation du fluide de forage.

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

Le fluide est préparé dans les bacs à boues ; il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil, ensuite, il remonte par l'espace annulaire chargé de déblais formés au front de taille.

A la sortie du puits, il subit divers traitements, (tamisage, dilution, ajout de produit, ...) de telle façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques par rapport aux valeurs importantes (avant injection) **(5)**.

I.5. Classification des fluides de forage.

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

I.5.1. Fluides à base d'huile.

Les boues à l'huile sont choisies pour leur stabilité à des hautes températures, lubrification et attributs stabilisants le trou de puits. Bien qu'elles aient des propriétés particulières. Leur utilisation occasionne quelques difficultés, tels que la manipulation spéciale et les problèmes environnementaux. **(4)**

Les boues à base d'huile sont des émulsions inverses dont la phase continue est une huile organique ou minérale (pétrole brut, gazoil, ...) et la phase dispersée (discontinue) est une solution aqueuse de 50% en volume au maximum qui garde l'avantage d'une phase externe constituée par l'huile **(6)**. Des agents viscosifiants, émulsifiants, stabilisants, fluidifiants et alourdissant sont alors additionnés. Ces fluides présentent une insensibilité aux contaminants (NaCl, KCl, argile, ...), une réduction du frottement de la garniture sur les parois du puits et un endommagement limité de la formation, d'où une meilleure productivité, à moins qu'ils posent des problèmes écologiques (pollution), ils peuvent contaminer le laitier de ciment et ils sont très coûteux.

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

I.5.2. Fluides à base d'eau

Ces fluides sont les plus utilisés dans le domaine du forage. Ils sont généralement constitués par des suspensions d'argile (bentonite, ...), des solides inertes (carbonates, ...) dont les caractéristiques rhéologiques sont corrigées par addition de polymères viscosifiants (Xanthane, ...). Des réducteurs de filtrat entrent également dans leur composition (carboxyméthylcellulose, polymères synthétiques) **(5)**.

Ces fluides sont moins coûteux et moins polluants. Cependant, la dégradation thermique des polymères utilisés dans ces formulations présente un inconvénient majeur, pour le bon déroulement d'une opération de forage (domaine de stabilité thermique du Xanthane 120 à 138 °C).

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

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

I.5.3. Fluides de forage gazeux

Ceux sont des fluides dont la phase continue et du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajouté intentionnellement. Le gaz peut être de l'air, du gaz naturel **(7)**.

I.6. Composition des fluides de forage.

Le choix de la formulation à utiliser va dépendre de la formation rocheuse à traverser, des contraintes environnementales et économiques ainsi que des possibilités d'approvisionnement sur place des produits à boue. Différentes formulations peuvent être utilisées sur un même forage selon les couches géologiques traversées. Les boues à l'huile donnent généralement de meilleurs résultats (meilleures lubrifications, minimisation de l'endommagement des formations productrices, résistances aux hautes températures) mais sont généralement plus chères et posent des problèmes écologiques.

I.6.1. Composants de la boue de forage et leur rôle.

Les propriétés que l'on exige des boues de forage sont multiples et peuvent parfois même être contradictoires. Les boues doivent, par exemple, être très visqueuses pour assurer la remontée des déblais, mais la viscosité ne doit pas être trop élevée afin de diminuer les pertes de charge dues à l'écoulement et éviter la fracturation de la formation. De nombreux composants multi-fonctions sont donc ajoutés à la boue pour obtenir les propriétés désirées.

Il est possible de classer grossièrement ces composants en 20 catégories (8) représentées dans le tableau I.1 :

Tableau I.1: Catégories des composants utilisés dans les fluides de forage

1	Contrôleur d'alcalinité	11	Lubrifiant
2	Bactéricides	12	«Décoïnant »
3	Anti-calcium	13	Inhibiteur de gonflement des argiles
4	Inhibiteur de corrosion	14	Produits facilitant la séparation
5	Anti-mousse	15	Stabilisateur haute température
6	Agent moussant	16	Défloculant
7	Emulsifiant	17	Viscosifiant
8	Réducteur de filtrat	18	Alourdissant
9	Floculant	19	Fluide de base aqueux (saumure)
10	Colmatant	20	Fluide de base oléagineux

On peut trouver, par exemple, dans la famille des viscosifiants des argiles (Bentonites, organophiles) et de polymères : PAC, HEC, Biopolymères (Xanthane, Guar) ;

Pour les allourdissants : de la bartyne (BaSO₄) ou de Carbonate (CaCO₃), pour les réducteurs de filtrat (servant à consolider le cake de filtration pour limiter l'invasion par

le filtrat) : des amidons, des CMC ou des résines, pour les inhibiteurs de gonflement : des argiles, du KCl, du Glycérol et divers polymères, et enfin, pour les colmatants, il est possible de trouver des additifs exotiques comme des granuleux (Coquilles de noix), des fibreux (fibres de bois, Canne à sucre), des lamellaires (Coquilles d’huîtres, céréales) **(9)(10)**.

I.6.2. Formulation des boues de forage.

Les boues de forage sont donc des formulations extrêmement complexes comprenant des additifs de fonctions multiples. Pour éviter des problèmes de reproductibilité sur chantier, la profession a normalisé la préparation et la caractérisation des fluides de forage par les normes éditées par l’API (American Petroleum Institute), pour la formulation sur site et au 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. Au laboratoire, sont utilisés des agitateurs normalisés (exemple, Hamilton Beach mixer 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.6.3. 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 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 corrige, 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 au chantier pour une formulation de boue.

Les conditions existantes sur site doivent être prises en compte lors du contrôle des propriétés et posent 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 de prévoir la rhéologie des fluides aux hautes températures et pressions ainsi que la tenue des additifs soumis à ces conditions (3).

I.6.4. Paramètres physiques et chimiques.

La viscosité est la principale propriété des boues de forage, mais la densité est la seconde. Dans l'opération de forage, la pression au fond du trou 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. En 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 **(10)**.

a). La 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 traversées) pour ne pas les fracturer et pour ne pas avoir une perte de boue au cours de sa circulation.

La boue exerce une pression sur les parois du puits donnée par l'expression suivante **(12)** :

$$p = \rho * g * h \quad (I.1)$$

Où :

p : Pression de la formation en kgf / cm^2

h : Profondeur de la couche traversée en m

ρ : Densité de la boue en kg / m^3 .

g : Pesanteur en m / s^2 .

b). Filtration.

b).1. Principe fondamental de la filtration

Les fluides de forage sont des suspensions composées 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 causée 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 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. La taille des agents de liaisons doit être la moitié de la taille des pores de la formation. 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 l'arrêt de la circulation du fluide, et la filtration dynamique au cours de la circulation du fluide 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 tests peuvent être réalisés à hautes pressions et hautes températures.

De nombreux travaux et études ont été réalisés sur la filtration et l'évolution de ses paramètres sous différentes conditions inhérentes au forage.

Filtration statique

Le processus de filtration statique des suspensions classiques des particules solides dans un liquide est d'une manière générale bien connu ; ont étudié plus particulièrement le cas des boues de forage. (13) ont montré que la filtration de ces fluides ne suit qu'en partie la théorie classique résumée comme suit :

$$Q = k.t^{1/2} \quad (I.2)$$

Avec

Q : Débit filtré de liquide (cm^3/s);

K : Perméabilité du cake (1 darcy = $1\mu m^2$);

t : temps mesuré du début de la filtration (s).

Equation de la filtration.

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

$$Q = \frac{-k}{\mu} * \frac{dP}{dl} * A \quad (I.3)$$

Où

Q : Débit de la filtration en m^3 / s ;

ΔP : Pression en Kgf/cm^2 ;

A : Surface en cm^2 ;

μ : Viscosité dynamique en $kg / m.s$;

k : Perméabilité du cake en 1 darcy = $1\mu m^2$.

Filtration dynamique

La filtration dynamique est nettement 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, HTHP et la filtration dynamique.

Aussitôt que le trépan est en contact avec une roche perméable, la filtration dynamique débute (11).

b).2. Rôle du filtrat.

Le filtrat est d'une importance capitale dans le forage d'un puits ; il doit être suffisamment élevé 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. Fixer le filtrat que doit posséder la boue est un problème délicat qui nécessite une grande connaissance des problèmes et des objectifs de forage.

c). PH.

Une solution aqueuse peut contenir divers ions ; elle possède toujours une plus ou moins grande quantité d'ions H^+ et OH^- dissociés.

Pratiquement, le pH des boues de forage couramment utilisées varie entre 6 et 13,5. 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 électrométrique (PH-mètre), au moyen d'électrodes en verre.

d). Alcalinité.

La mesure du pH est insuffisante pour permettre un bon contrôle des propriétés de la boue de forage. Elle est d'ailleurs parfois difficile à contrôler, surtout aux pH élevés, cas où elle manque de sensibilité.

Une mesure complémentaire s'avère nécessaire, c'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 ; où b signifie boue, f filtrat, p phénophtaléine, M méthylorange ; le virage à la phénophtaléine se produit à pH égale à 8,2 et celui du méthylorange est de 4,2.

▪ 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 $Ca(OH)_2$, souvent, en présence de carbonates.

▪ 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 son écoulement et pour savoir par quelle loi rhéologique cette boue est régie. La loi la plus simple du comportement est représentée par le modèle dit newtonien, tandis que les autres types de fluides sont qualifiés de non newtoniens. Les caractéristiques les plus recherchées par l'étude rhéologiques sont :

e).1. La viscosité plastique (VP).

Elle dépend avant tout de la teneur en solides contenus 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.

$$V_A = L600 / 2 \quad (\text{Pa.s}) \quad \text{I.4}$$

$$V_P = L600 - L300 \quad (\text{Pa.s}) \quad \text{I.5}$$

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

Les solides présents dans la boue de forage influencent un autre paramètre autre que la viscosité plastique ; c'est la contrainte seuil plus connus sous le 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 des types des solides présents, de leurs charges de surface, respectives, de la concentration de ces solides, du type et la concentration des autres ions ou sels qui peuvent être présents.

$$Y_P = L300 - V_p \quad (\text{Pa.s}) \quad \text{I.6}$$

L600 et L300 sont les lectures respectives à 600 rpm et 300 rpm sur le rhéomètre FANN 35.

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 thixotropique 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, est appelé 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.** 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 Pa.
- **Le gel 10.** 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 Pa.

I.7. 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 présentent un intérêt évident. En effet, elle doit permettre, 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 physicochimiques, pression, température) ;
- A la boue elle-même (composition, caractérisation rhéologique) 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 forée, il pénètre immédiatement dans celle-ci. Puis, la pénétration étant limitée, certains pores sont 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.

- 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 susceptibles, 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'extérieures, le long de la paroi, en constituant le cake externe.

Comme le montre la figure I.2, différentes zones peuvent être distinguées 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.

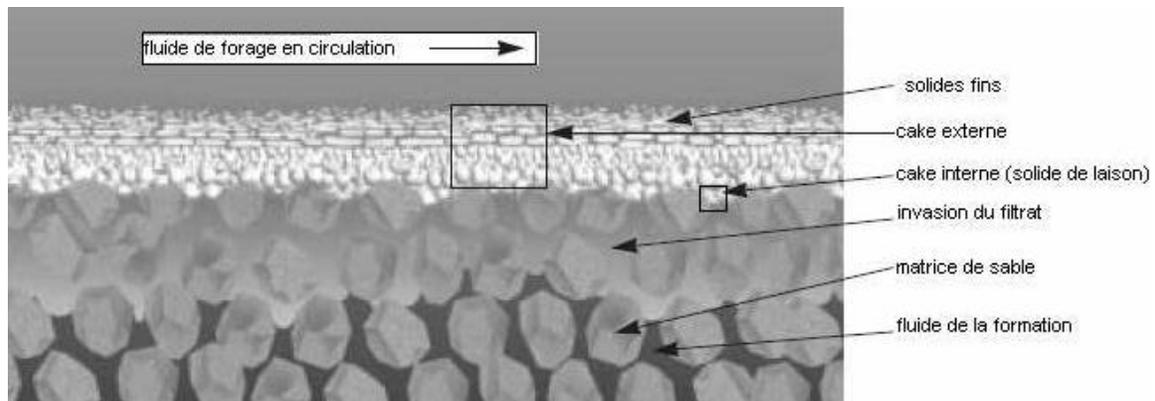


Figure I.1 : Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation [11]

Un des paramètres critiques pour la prédiction de l'invasion de la formation par la boue est la perméabilité de la roche et du cake et sa variation avec la pression. Des tests de filtration dynamique sur roche réalisés 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 entraîner une invasion minimale de la formation par le fluide.

I.8 Rhéologie des fluides de forage.

I.8.1 Notions utiles

La rhéologie consiste à déterminer la relation qui relie la contrainte de cisaillement au taux de déformation. Cette relation peut être linéaire ou non-linéaire dans le cas d'un fluide complexe comme une suspension de bentonite. Ces fluides complexes dits "non-newtoniens" sont caractérisés différemment, soit parce que la viscosité n'est pas constante, mais dépend du cisaillement, soit parce qu'il apparaît des termes diagonaux dans le tenseur des contraintes qui sont le signe d'effets élastiques (viscoélasticité).

Dans cette partie, nous exposons les notions de base, avec comme objectif la compréhension de la rhéologie des suspensions argileuses. Nous exposons les grandeurs fondamentales de la rhéologie, quelques modèles rhéologiques et nous introduisons la viscoélasticité des matériaux.

I.8.1.1 Viscosité

Dans le cadre de la mécanique des milieux continus, la distribution des contraintes et des déformations est représentée sous forme tensorielle. Les relations entre ces champs sont appelées lois de comportement **(17)**.

Le tenseur des contraintes Σ se décompose en deux termes : *i) la pression hydrostatique* qui ne conduit pas à la déformation du fluide. *ii) le déviateur des contraintes τ* , qui se rapporte aux contraintes tendant à déformer le fluide :

$$\Sigma = -p.I + \tau \quad (I.7)$$

Avec p la pression statique et I le tenseur identité.

Au cours d'un écoulement, les éléments fluides peuvent se déplacer les uns par rapport aux autres, ce qui conduit à l'obtention des vitesses différentes d'un point à un autre. Le tenseur gradient de vitesse $\nabla \vec{u}$ est par conséquent non nul. Les termes de la diagonale caractérisent des efforts en traction ou en compression, alors que les autres représentent les efforts associés au cisaillement.

La loi de comportement, en général, relie le déviateur des contraintes $\underline{\underline{\tau}}$ au tenseur des taux de déformation $\underline{\underline{D}}$ défini comme la partie symétrique du tenseur gradient de vitesse

$$: \underline{\underline{D}} = \frac{1}{2} (\underline{\underline{\nabla}}\underline{\underline{u}} + (\underline{\underline{\nabla}}\underline{\underline{u}})^T) \quad (I.8)$$

La loi de comportement la plus simple est celle obtenue pour un fluide newtonien :

$$\underline{\underline{\tau}} = -2\eta \cdot \underline{\underline{D}} \quad (I.9)$$

Où η est la viscosité du fluide. La forme tensorielle de la loi de comportement reste trop générale pour qu'elle puisse être caractérisée expérimentalement. C'est pourquoi, l'objectif du rhéomètre est de réaliser des écoulements simples conduisant à une simplification de la forme des tenseurs. Dans le cas du cisaillement le plus simple, on obtient la simplification suivante :

$$\underline{\underline{\tau}} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \tau_{zz} \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \underline{\underline{D}} = \frac{\gamma}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Où, γ représente la vitesse (taux) de cisaillement ou le gradient de vitesse. La contrainte tangentielle de cisaillement est définie par τ_{xy} , généralement notée τ . La première et seconde différence de contraintes normales sont respectivement : $N_1 = \tau_{xx} - \tau_{yy}$ et $N_2 = \tau_{yy} - \tau_{zz}$.

Une schématisation d'un exemple de cisaillement simple est présentée sur la figure I.2. Il s'agit d'un fluide confiné entre deux plans parallèles. Le plan supérieur est animé d'une vitesse tangentielle \vec{v}_0 , et le plan inférieur est fixe. Si cet écoulement est laminaire, on peut découper le fluide en couches infiniment minces. Alors, la déformation du matériau s'effectue par glissement relatif des couches les unes par rapport aux autres, sans transport de matière d'une couche à l'autre. Il en résulte des forces de frottement appelées forces de cisaillement qui s'exercent tangentiellement à la surface de chaque couche. Il est d'usage de rapporter ces forces à l'unité de surface sur laquelle elles s'exercent ; on définit ainsi la contrainte tangentielle de cisaillement $\tau = -\tau_{xy}$ qui est une grandeur dynamique fondamentale de la rhéologie. D'autre part, la couche du matériau immédiatement en

contact avec le plan fixe à une vitesse nulle, et la couche en contact avec le plan mobile a une vitesse v : c'est la condition de non-glissement à la paroi :

$$v(x=0) = 0$$

$$v(x=e) = v_0$$

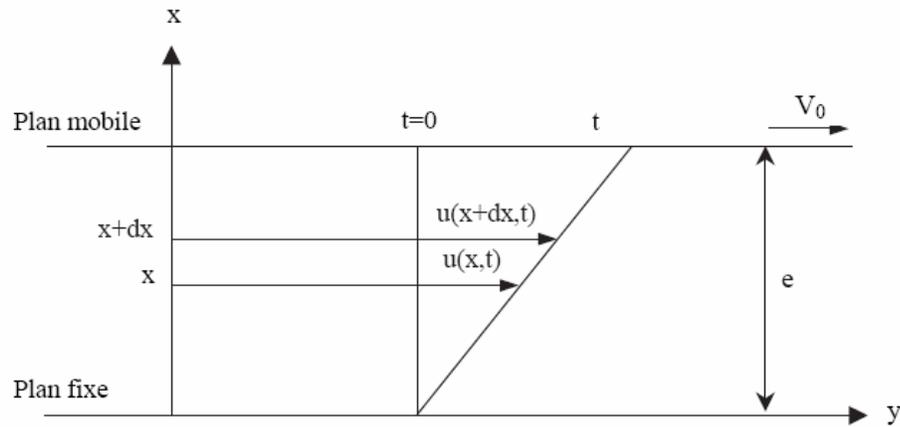


Fig. I.2 : Mouvement laminaire de cisaillement plan

Entre les deux, la vitesse des couches augmente avec la distance au plan fixe. Considérons un élément de volume infinitésimal situé à l'instant $t = 0$ à une distance x du plan fixe. A un instant t ultérieur, ce volume aura parcouru la distance $u = (x,t)$. On

définit le taux de cisaillement $\dot{\gamma}$ en $[s^{-1}]$ par la relation :

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial v_y}{\partial x} \quad (\text{I.10})$$

Où la vitesse en $[m/s]$ et la viscosité dynamique en $[Pa.s]$ s'écrivant par :

$$v_y = \frac{\partial u(x;t)}{\partial t} \quad (\text{I.11})$$

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (\text{I.12})$$

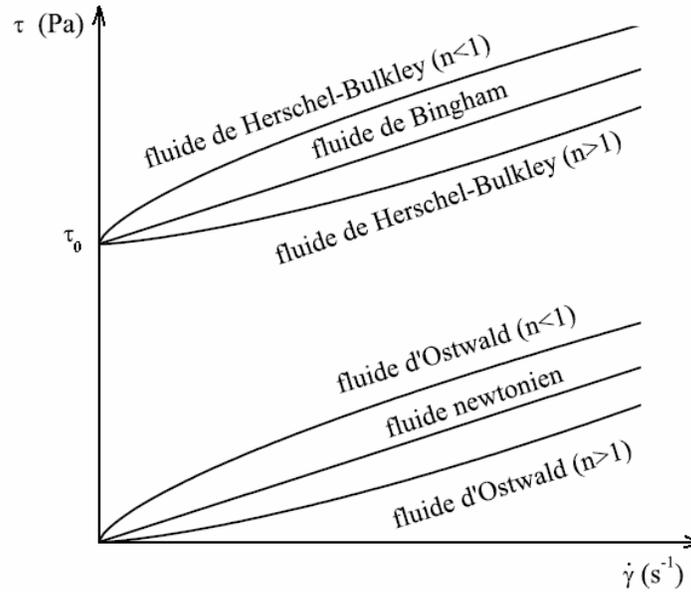


Fig. I.3 : Lois de comportement élémentaires

I.8.1.2 Modèles rhéologiques

De nombreux modèles, reliant la contrainte de cisaillement τ au gradient de cisaillement $\dot{\gamma}$ ont été développés afin de décrire les comportements rhéologiques les plus couramment rencontrés. Le cas le plus simple correspond à celui des fluides newtoniens (fig. I.3):

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (I.13)$$

Viennent ensuite les fluides dont les propriétés ne dépendent pas du temps et dont la relation $\tau = f(\dot{\gamma})$ peut s'écrire en loi de puissance. Cette loi permet de décrire la rhéofluidification ou le rhéoépaississement d'un grand nombre de fluides. Un fluide est rhéofluidifiant lorsque sa viscosité apparente diminue avec le gradient de cisaillement. Cela peut être dû par exemple à un alignement de molécules anisotropes dans le sens de l'écoulement ou à une destruction des structures moléculaires [14]. Un fluide rhéoépaississant voit sa viscosité apparente augmenter avec le cisaillement. C'est une caractéristique non-newtonienne plus rare que le caractère rhéofluidifiant. Le plus souvent, et pour décrire ces deux types de fluide, d'un point de vue phénoménologique, on utilise une loi de puissance, proposée par Ostwald-de Waele (1925). Elle a pour expression:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (\text{I.14})$$

La viscosité s'écrit alors : $\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{-(1-n)}$. k est une constante et n un exposant qui traduit l'écart au comportement newtonien pour lequel $n = 1$. Si $n < 1$ le fluide est rhéofluidifiant et si $n > 1$ le fluide est rhéoépaississant. En réalité un fluide n'est en général rhéofluidifiant que pour une certaine gamme de taux de cisaillement (fig. I.3). Pour les faibles cisaillements, on observe souvent un comportement newtonien, avec un plateau de viscosité à une valeur η_0 appelée viscosité à cisaillement nul. Pour des cisaillements élevés on observe aussi un plateau de viscosité de valeur η_∞ appelée viscosité à cisaillement infini. IL existe d'autres modèles plus sophistiqués que la loi de puissance pour décrire le comportement de la viscosité en fonction du cisaillement [14]. Les modèles de Carreau- Yassuda [14] et de Cross (1965), par exemple, tient en compte du plateau de la viscosité à cisaillement nul et infini. Il s'écrit respectivement:

$$\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = \left(1 + \left(\lambda \cdot \dot{\gamma} \right)^a \right)^{(n-1)/a} \quad (\text{I.15})$$

$$\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = \frac{1}{1 + \lambda \cdot \dot{\gamma}^n} \quad (\text{I.16})$$

Où a et n sont des constantes, λ est un temps caractéristique de relaxation η_0 et η_∞ sont respectivement la viscosité à cisaillement nul et à l'infini en [Pa.s].

Les modèles d'Ostwald-de Waele, de Carreau-Yassuda et de Cross représentent des comportements sans contrainte seuil. Dans le cas des "fluides à seuil", on ajoute la contrainte seuil τ_0 . Si la contrainte appliquée reste inférieure à cette valeur critique τ_0 le matériau se comporte comme un solide. Dans le cas contraire, le matériau retrouve le comportement d'un fluide. Les deux modèles les plus utilisés pour caractériser les fluides à seuils sont, respectivement, le modèle de Bingham (1922) et le modèle de Herschel-Bulkley (1926) [fig. I.3]

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \dot{\gamma}$$

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^{1/n} \quad (\text{I.17})$$

Où η_{pl} est la viscosité plastique, k la consistance du fluide et n l'indice d'écoulement. Ces deux modèles permettent de représenter le comportement rhéologique de beaucoup de fluides au delà de la contrainte seuil. On note qu'on peut trouver dans la littérature beaucoup d'autres modèles avec différents paramètres (phénoménologiques ou d'ajustement) (15).

I.8.2 Techniques de mesures rhéologiques

Par l'intermédiaire des rhéomètres ou viscosimètres, on réalise des écoulements qui permettent, à partir des considérations géométriques et d'hypothèses sur l'écoulement, de relier les paramètres macroscopiques (couple, vitesse de rotation, débit, différence de pression...) aux paramètres régissant les lois de comportement qui sont en général la contrainte de cisaillement τ et le gradient de vitesse $\dot{\gamma}$. Les techniques qu'on utilise souvent sont: *i) Capillaires*, dont le principe est basé sur l'écoulement dans une conduite cylindrique. *ii) Rhéomètres rotatifs* dans lesquels le fluide est cisailé entre deux cylindres coaxiaux, entre deux plans ou entre un plan et un cône. Ces rhéomètres permettent de déterminer le comportement d'écoulement [$\tau = f(\dot{\gamma})$] et viscoélastique des matériaux. Dans de tels tests, on soumet l'échantillon à une sollicitation (contrainte ou cisaillement appliqués suivant le type de rhéomètre), constante ou oscillatoire, et l'on étudie sa réponse dans les instants qui suivent ((17); (14)). On note que les rhéomètres capillaires et rotatifs ne sont pas les seuls utilisés. On cite par exemple la *Rhéométrie par IRM* (imagerie par résonance magnétique) qu'on rencontre souvent dans la littérature récente. Cette technique est en pleine expansion. En effet, elle permet d'obtenir des informations locales sans perturbations de l'écoulement et aucun marqueur n'est nécessaire. Miller (1998) fait une revue, non exhaustive, des différentes techniques utilisées ainsi que des applications possibles, notamment en rhéologie des fluides et des matériaux granulaires. En ce qui concerne les techniques propres à la résonance magnétique nucléaire, des ouvrages spécialisés donnent des informations plus complètes

comme celui de Callaghan (1991). On note que cette technique a permis d'obtenir des renseignements dans des géométries très complexes, comme des extrudeurs, des conduites non linéaires ou des malaxeurs (14).

I.8.3.1 Viscoélasticité

La frontière entre liquide et solide n'est pas toujours aussi évidente qu'on le croit. Il existe des substances au comportement intermédiaire entre celui d'un solide élastique parfait et celui d'un liquide visqueux newtonien; ce sont les corps *viscoélastiques*. Dans ce paragraphe, nous rappelons les propriétés des deux matériaux idéaux en explicitant le comportement viscoélastique des suspensions de bentonite à travers les essais à palier de contrainte imposée (Fluage) et les tests en régime dynamique (essais en oscillations).

I.8.3.1.1 Essai de fluage

i) Solide élastique: Dans ce cas, l'équation rhéologique est la loi de Hooke qu'on écrit sous la forme (18):

$$\tau = G \cdot \gamma = \frac{\gamma}{J} \quad \text{I.18}$$

Où G est le module élastique (de rigidité), J est la complaisance élastique. La déformation est proportionnelle à la contrainte, si celle-ci s'arrête, la déformation redevient instantanément nulle. On dit que la déformation élastique est instantanée et récupérable. On peut schématiser ce comportement par un ressort qui récupère sa forme initiale lorsque l'on supprime la contrainte qu'il a subie (fig.I.4.a). La fonction fluage a pour expression:

$$f(t) = J \quad \text{I.19}$$

ii) Fluide visqueux newtonien: L'équation rhéologique d'un tel matériau est donnée par l'équation I.19. Lorsqu'une contrainte constante est appliquée à ce fluide, la déformation croît linéairement avec le temps: le liquide s'écoule indéfiniment. De plus, il se souvient de toutes les valeurs prises par la contrainte de t_0 à t_1 (fig. I.4.b). Si la contrainte est ramenée à 0, la déformation demeure constante et égale à la valeur qu'elle possédait à l'instant t_1 . La déformation est donc irrécupérable. On peut schématiser ce comportement visqueux par un amortisseur qui ne récupère pas, après la suppression de la contrainte, la

déformation qu'il a subie (fig.I.4.b). L'expression de la fonction fluage est obtenue en remplaçant, dans l'éq. I.19, τ par l'unité sachant que $\dot{\gamma} = \gamma / t$: (18): $f(t) = \frac{t}{\eta}$

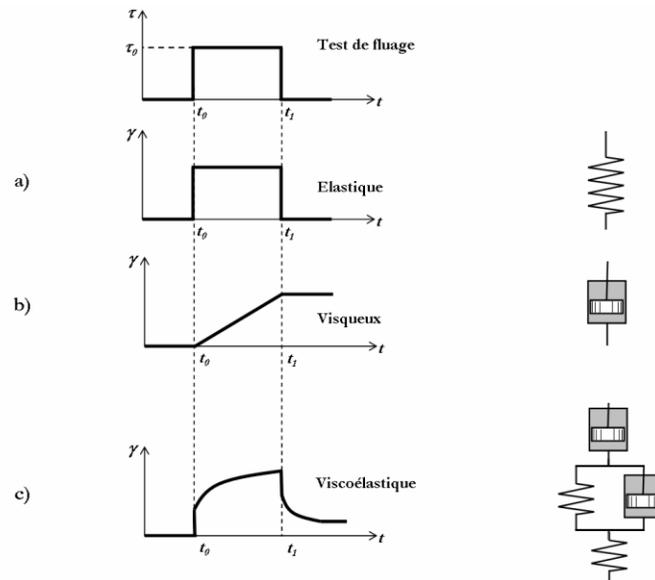


Fig. I.4: Essai de fluage (contrainte imposée) - a) solide élastique, - b) fluide newtonien, - c) matériaux viscoélastiques.

iii) *Matériau viscoélastique*: C'est un comportement intermédiaire entre celui d'un liquide et celui d'un solide. Le test de fluage permet de mieux comprendre la structure responsable de ces comportements rhéologiques dans le cas des suspensions argileuses en accédant aux propriétés des dispersions dans des conditions proches de l'état de repos, sans destruction de la structure interne. La figure I.4.c présente un cas type de comportement viscoélastique. En général, La modélisation de la viscoélasticité est basée sur l'association en parallèle (solide de Kelvin- Voigt) ou en série (Liquide de Maxwell) d'un ressort de complaisance élastique J et d'un amortisseur de viscosité η [18].

CONCLUSION

L'utilisation des fluides de forage a pour objet de réaliser les meilleures performances qui permettront de mener à bien la totalité des opérations de construction et d'exploitation du puits. Cependant, il doit être disponible, rentable, et non nuisible, que ce soit pour la santé, la sécurité des utilisateurs ou pour l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE:

- (1) Garcia C., Parigo P., « *Boues de Forage* », Institut Français du Pétrole (I.F.P), Société des éditions Technip, 1968.
- (2) Forage Rotary, « *La boue de Forage* », Edition Technip 1972.
- (3) Nguyen J., P., « *fluide de forage* », Technique d'exploitation pétrolière, le Forage Technip, 1993.
- (4) Ryen CAENN, GEORGE V. CHILLINGAR, « Drilling fluids: state of the art », Journal of petroleum science and engineering 14, 1996, 221-230.
- (5) Landriot G., « *Fluide de forage* », édition Technip 1968.
- (6) De LAMBALLERIE G., « *Boue à base d'huile* », Collection Colloques et Séminaires I.F.P, Edition Technip, 1969.
- (7) Adam T., BOURGOYNE Jr, et al., " *Applied drilling engineering*", SPE Textbook series. Vol 2. 1991, pp. 41.
- (8) Michael J. ECONOMIDES, et al. " *Petroleum well construction*", édition John wiley & sons. 1988. pp. 199 – 204.
- (9) Herzhaft B., « *Les fluides de forage : un exemple de fluides complexes Industriels* », 36ème colloque annuel du Groupe Français de Rhéologie (GFR 2001), Marne-la-Vallée France, 10-12 octobre 2001.
- (10) Y. PEYSSON, "Solid/Liquid Dispersions in Drilling and Production". *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, Vol. 59 (2004), No. 1, pp. 11-21
- (11) CD manual of drilling fluids, MI-SWACO
- (12) Fergusson et Klotz), (Glen et Slussers,) , "Applied Fluid Rheology" Elsevier Applied Science, 323p. (1991).
- (13) Fergusson et Klotz) , "Applied Fluid Rheology" Elsevier Applied Science, 323p. (1991).
- (14) Barnes *et al.* (1989)]. "An Introduction to Rheology" Elsevier Science Publishers B.V (1989).
- (15) Roberts *et al.*; Mendes et Dutra (2004) "Modelling the flow behaviour of very shear-thinning liquids" **56**, 5617-5623 (2001).
- (16) Benchabane et Bekkour Un nouveau modèle rhéologique pour les fluides à seuil. Application à des mélanges argile-polymère. *40ème Colloque annuel du GFR. Nice 2005c*, p. 228-231.
- (17) Ferguson et Kemplowski "Applied Fluid Rheology" Elsevier Applied Science, 323p. (1991).

(18) Couarraze et Grossiord "Initiation à la rhéologie" 3e éd., Tec & Doc Lavoisier, 300p. (2000).

Chapitre II

Pollution par les fluides de forage

Introduction :

Une quantité importante d'hydrocarbures est généralement dispersée dans l'environnement. Cette quantité, estimée à près de 0,1% de la production mondiale (3 650 million de tonnes en 2003) est variable selon les procédés de récupération, de raffinage et d'utilisation (**Ward et al. 2003**)(03). En raison de leur impact négatif sur la santé et l'environnement, les hydrocarbures sont considérés comme le contaminant majoritaire du sol et des eaux souterraines. Des informations sur les propriétés et surtout sur la biodégradation de ces hydrocarbures sont nécessaires pour le choix et l'application d'un traitement efficace ou pour le contrôle de l'atténuation naturelle **Gallego et al. 2001** (01)(;(**Salanitro, 2001**)(02).

Sur le champ de Hassi Messaoud, les systèmes à base d'eau (WBM) sont généralement utilisés pour le forage de la première phase. Pour le reste des puits, on utilise des systèmes de fluides émulsionnés (OBM). Dans l'attente des techniques de traitement, des centaines de mètres cubes de fluides sont rejetés dans la nature. Souvent, il faut compter des mois, voire des années, pour procéder à ce traitement et, entre temps, une grande quantité d'hydrocarbures s'évapore, s'infiltrer, s'adsorbe et pollue l'environnement. En parallèle, est rejetée dans le sol une quantité non négligeable de produits de traitement dont on ignore le devenir et le parcours à travers les formations traversées.

La teneur en hydrocarbures dans les cuttings après forage est généralement comprise entre 6 et 17% (**Bedborough et al. 1987**)(04). En vue de traiter et de réduire cette pollution, un programme a été entamé par l'entreprise Sonatrach à partir de 1990. L'objectif de ce programme est d'abaisser la teneur en huile selon les standards appliqués en Algérie.

Les actions entreprises par la Sonatrach en matière d'Hygiène, Sécurité, Environnement (HSE) ont pour objectif de respecter les exigences de santé, de

sécurité et de protection de l'environnement dans les processus de gestion et de décision comme dans les actions et opérations quotidiennes.

Elle s'est alors engagée à considérer la sécurité des personnes et des biens, la santé des employés et des populations riveraines ainsi que la protection de l'environnement et des ressources naturelles.

II.1 Analyse des sources de pollution

Les conditions actuelles de stockage et de traitement des boues et déchets de forage présentent de nombreuses insuffisances. Celles-ci sont sources de pollutions, accidentelles ou non, des compartiments naturels tels que le sol, l'eau ou l'air. Cette partie présente succinctement les sources de pollution potentielle lorsque les substances attendent d'être traitées dans le bournier. Durant le stockage momentané dans le bournier, les hydrocarbures peuvent s'étaler à la surface du sol. Ils subissent alors une série de modifications par différents processus, parmi lesquels les plus importants sont :

- L'évaporation : elle touche les fractions de faible masse molaire (chaînes de longueur inférieure à 12C). Les composés ayant de 4 à 12 atomes de carbone représentent une bonne partie de la composition du gazole ; il peut donc y avoir une pollution atmosphérique notable.
- La dissolution : les composés aromatiques sont nettement plus solubles dans l'eau que leurs analogues saturés. Ces hydrocarbures solubles sont de loin les plus dangereux pour l'environnement, car difficiles à éliminer et absorbés par la faune et la flore.
- L'émulsification : des émulsions eau-dans-huile et huile-dans-eau peuvent se produire. Elles sont facilitées par la présence d'agents tensioactifs, de fines particules, ou d'autres composés organiques à la surface de l'eau.
- La sédimentation : elle est le fait des fractions les plus lourdes et constitue un phénomène fréquemment observé. La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement biodégradables par voie naturelle.
- La photo-oxydation : elle s'observe en surface mais aussi dans les vapeurs atmosphériques.

Elle touche plus particulièrement les composés aromatiques (non volatils et photosensibles) et conduit à la formation de nombreux composés chimiques.

- La dégradation microbienne : plusieurs composés présents dans les fluides de forage sont naturellement biodégradables. Les microorganismes autochtones permettent, préférentiellement dans les conditions aérobies, de dégrader plusieurs composés.

En cas de déversement de fluides à base de gazole dans le borbier, il se forme presque immédiatement une nappe huileuse (**Figure II.1**). Les constituants polaires, polarisables (aromatiques) et/ou de faible masse molaire se dissolvent et s'éliminent de la nappe par lessivage; les constituants volatiles s'évaporent en surface et il y a un début de dégradation microbienne, mais les alcanes, normaux ou ramifiés, les cyclanes et les composés aromatiques restants peuvent demeurer dans les sédiments pendant plus d'un an. Par attaque chimique et biologique, la composition se modifie donc en fonction du temps et de la température.

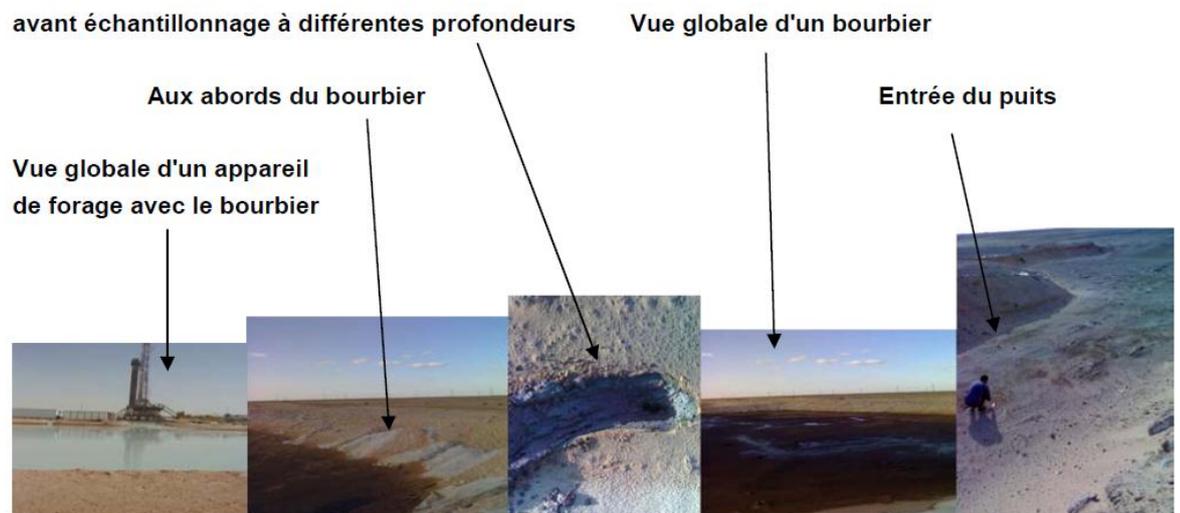


Figure II.1 Vue des borbiers et différents points d'échantillonnage

Dans les zones arides, les conditions sont différentes comparativement aux zones humides quant au développement des micro-organismes. On signale une grande biodiversité donnant un milieu potentiel pour les micro-organismes (**Ozenda, 1977 ; Dhina et Aroun, 2004**)(05)(06). La sélection du type de micro-organismes peut améliorer la biodégradation et stimuler l'activité des autochtones pour l'augmentation de la vitesse de décontamination des hydrocarbures. La bio-stimulation et la bio-augmentation sont des types de bio-remédiation (**Lee et al. 1993**)(07).

Notre objectif est de stimuler la flore microbienne et d'optimiser les conditions de dégradation. Les composés organiques biodégradables sont métabolisés par la population des micro-organismes du sol (**Huddleston et al. 1984 ; Bartha et Atlas,**

1977)(08). Plusieurs types de micro-organismes du sol sont capables de dégrader des hydrocarbures. La capacité individuelle de la microflore est renforcée par le processus de coopération (synergie) entre les communautés microbiennes (Beam et Perry 1974 (09); Penet et al. 2004.)(10)

II.2 Diagnostic des traitements de la pollution appliqués sur HMD

II.2.1 Traitement par stabilisation/solidification

Dans l'objectif d'évaluer les traitements du type stabilisation/solidification (Khodja et al. 2005d et 2007b)(11))(12), une série d'analyses a été effectuée sur des dizaines d'échantillons des cuttings avant et après traitement durant la période 2003-2006 selon les procédures françaises (AFNOR, 1998)(14). Après extraction liquide/solide, les hydrocarbures et les différents éléments présents dans le filtrat ont été dosés. La pollution organique a été caractérisée par chromatographie en phase gazeuse (CPG).

- Les cuttings ont été collectés dans des bouteilles en verre. La matière organique a été extraite par CCl₄ (AFNOR, 1979.)(13) Une méthode spectroscopique a été utilisée pour le dosage des hydrocarbures totaux (AFNOR, 1979))(13). Les détails de la méthode sont donnés dans l'annexe V.

- le dosage du carbone organique total a été effectué selon la norme NF ISO 10694 après une extraction au CCl₄.

- L'absorption atomique (AAS) a été utilisée pour le dosage des métaux (Cr total, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd et Pb) et la colorimétrie pour le dosage du Cr (VI).

- Le mercure a été dosé par Spectrométrie d'absorption atomique en vapeur froide (volatile hydride by Cold Vapor : CVAAS).

- Les chlorures ont été dosés par la méthode de Mohr.

La concentration initiale en hydrocarbures totaux dans les bourbiers varie entre 0,13 et 4,40 mg/L.

Après traitement, la concentration chute entre 0,04 et 0,5 mg/L. Pour les métaux lourds, on note une diminution significative de la concentration souvent inférieure à celle requise par la réglementation algérienne 20 mg/L (J. O. République Algérienne, 1993))(15). La teneur élevée en chlorures est expliquée par l'utilisation d'une salinité importante dans les fluides de forage ou par la présence de sels dans les formations traversées durant le forage. Cette salinité importante peut influencer la biodégradation (Okpokwasili et Odokuma, 1990))(16).

Durant la période 2005- 2007, l'analyse de plusieurs échantillons de cuttings après traitement par solidification a montré que la totalité des échantillons renfermaient une concentration en métaux lourds inférieure à la norme : en fait, dans la majorité des cas, la concentration initiale en métaux avant traitement était déjà inférieure à la norme. Le **tableau II.1** donne un exemple des résultats obtenus. Le traitement physique par solidification a été la méthode employée pendant quelques années pour réhabiliter les sites de forage. Cependant, plusieurs études ont montré que cette technique n'est pas suffisante car elle permet l'immobilisation du polluant mais non son élimination.

Tableau II.1 : variation de la concentration en hydrocarbures et en métaux lourds après solidification

Concentration mg/l	Techniques analytiques	Èch 01	Èch 02	Èch 03	Èch 04	Èch 05
Hydrocarbures totaux	XPT 90-114	0,29	0,29	0,46	0,04	0,50
Hg	CVAAS	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cd	AAS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cr total	AAS	0,40	0,20	0,05	0,50	0,05
Cr VI	Colorimétrie	0,07	0,08	0,01	0,23	0,04
Ni	AAS	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Zn	AAS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Pb	AAS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

D'autres limitations sont généralement signalées au sujet de l'application de la technique de solidification à savoir :

- la teneur en hydrocarbures ne doit pas dépasser 45% en masse,
- la présence d'au moins 15% de solides est exigée,
- la présence d'une quantité excessive de fines particules de sol, ou la présence excessive de particules de grandes dimensions est indésirable.

II.3 Problèmes de pertes de fluides au cours du forage et contamination du sol

II.3.1 Cas des fluides à base d'eau (WBM)

Sur le champ de Hassi Messaoud, les problèmes de perte de circulation durant le forage de la première phase ont été soulevés depuis longtemps. Après plus de 1200 puits forés, l'expérience a montré que la traversée de formations mal consolidées

(jusqu'à 400 à 600 m de profondeur) nécessite l'utilisation de fluides de forage de grande viscosité, afin de réduire les pertes de fluides, ainsi que l'amélioration des techniques de traitement des solides. Les premières formations traversées (cf. stratigraphie du champ de HMD, **Annexe I**) sont généralement constituées de sable avec une faible compaction, d'où les éventuelles fissures naturelles ou induites durant le forage. Les pertes de fluides de forage (WBM) enregistrées dans les terrains pour les premières phases sont considérables.

On donne l'exemple de quelques puits forés récemment (03/2006 - 04/20 06) tels que OMIZ#402 avec $110 \text{ m}^3 / 967 \text{ m}^3$ de pertes totales, et OMO#652 avec $135 \text{ m}^3 / 985 \text{ m}^3$ de pertes totales. La minéralogie des premières formations est caractérisée par une faible réactivité (faible rétention) et par une grande conductivité hydraulique. L'utilisation des fluides à base d'eau (WBM), généralement de simples boues bentonitiques, soulève les possibilités d'infiltration de grands volumes à travers les formations pour atteindre les nappes phréatiques, généralement au niveau du miopliocène et de l'éocène. Face à cette situation et vu les perspectives de forage dans ce champ historique, une attention particulière doit être apportée à ces problèmes. Du point de vue du fluide de forage, le remède actuel consiste à améliorer le traitement des solides au cours du forage afin de réduire la densité des fluides et, partant, les pertes. Du point de vue des problèmes de pollution induits par les pertes d'hydrocarbures en surface (bourbier, pertes accidentelles) les précautions sont étroitement liées aux techniques de traitement ainsi qu'aux pratiques au niveau du chantier de forage.

II.3.2 Cas des fluides émulsionnés inverses (OBM)

Les OBM sont généralement utilisés pour traverser les formations réactives et les zones réservoirs. En Algérie, si l'on cumule le nombre de puits forés en efforts propres et en association (48 en exploration et 92 en développement pour l'année 2007), dont plus de 80% forés en boues à base d'huile, le nombre de forages est en augmentation constante.

Les pertes d'OBM ne sont pas négligeables dans la phase 16" (17"1/2) et 12"1/4 : on enregistre 185 m^3 de pertes terrain/544 m^3 de pertes totales (OMKZ#512) dans la phase 12"1/4 et plusieurs dizaines de m^3 dans les phases 16" et 17"1/2 sur plusieurs puits. L'utilisation du gazole dans une formulation de boue à base d'huile varie en fonction du rapport huile/eau : pour 1 m^3 de boue formulée ce

dernier varie de 50 % à plus de 90 % par rapport au volume total de la boue formulée. La production nationale est presque constante depuis plus de cinq ans et se situe généralement entre 6.106 et 6,5 106 t/an. La quantité de gazole consommée dans le secteur du forage a été estimée à partir des quantités consommées par les trois centrales à boue des sociétés de services opérant à HMD pour le profit de Sonatrach, et montre une augmentation de 32 000 t en 2002 à plus de 70 000 t en 2006. En plus des problèmes de pollution des sites de forage et des eaux souterraines, cette augmentation importante soulève des problèmes d'approvisionnement à long terme.

II.4 Méthodologie d'évaluation de la pollution

Dans l'objectif d'évaluer la variation de la contamination par les hydrocarbures, un échantillonnage a été effectué le 13/03/2007 à 16 h. 1 kg de chaque échantillon a été prélevé, introduit dans un sachet en plastique et conservé au réfrigérateur jusqu'au laboratoire. Les bourbiers sélectionnés sont relatifs aux puits forés à différentes dates et les échantillons ont été prélevés à des profondeurs et en des points différents. La **figure II.1** montre les points et les niveaux d'échantillonnage des bourbiers. Vu la présence d'une épaisseur de sable (couverture) sur la surface des bourbiers, les échantillons ont été prélevés après élimination d'une épaisseur moyenne de 1 cm de sable. En parallèle aux échantillons des cuttings sélectionnés, d'autres échantillons de sol ont été préparés par mélange de sol du champ de HMD non contaminé avec différentes solutions de fluides. La granulométrie du sol non contaminé varie entre 40 et 150 μm .

CONCLUSION

Suite aux opérations de forage, d'exploitation, un nombre important de sites industriels pollués, constitue depuis quelques années un souci majeur pour les entreprises travaillant dans le domaine.

Il est nécessaire de trouver des solutions pour que l'activité de forage puisse répondre aux critères de Développement Durable. En d'autres termes, quelles solutions adopter, pour qu'entre profit (intérêt économique) et respect de l'environnement.

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUES

- 01-** Gallego.JLR.loredo J.llmas.JF.vazquez.F et sanchez.J (2001) bioremediation of diesel-contaminated soils: evaluation of potential in situ techniques by study of bacterial degradation biodegradation 12-325-335.
- 02-** Salinro. JP 2001 bioremediation of petroleum hydrocarbons in soil *adv.argon* 72:53-105.
- 03-** Ward I et Williams R 1996 silicate water based muds-a significant advance in water based drilling fluid technology. Paper presented at the IBC conference on the prevention of oil discharge from drilling operations. Aberdeen, June 18 and 19.
- 04-** Bedrough D.R Blackman R.A.A et law R.J (1987) au survey of inputs to the north sea resulting from oil and gas development *phil .trans. R soc lond* B316,495-509.
- 05-** Dhina. O.et Aroun C 2004 Environment preservation in oil and gas upstream activities en Algeria. Difficulties and sustainable development challenge 19 th world energy congress. Sydney Australia September 5-9
- 06-** Ozenda P 1977 flore du sahara.CNRS paris
- 07-** Lee, k treamblay, GH et levy E.M 1993 bioremediation application of slow release fertilizers on low energy shorelines proceeding of the 1993 oil spills conference. American petroleum institute.washington DC pp 449-453.
- 08-** Bartha, R et Atlas R.M 1977 the microbiology of aquatic oil spills, *Av. App microbial* 22.225-66.
- 09-** Beam H.Wet perry J.J 1974 microbial degradation of cycloparaffine hydrocarbons via co-metabolism and commensalisms *J Gen.microbiol* 82: 163-169.
- 10-** Panet, S. Marchal R sghir . A et monot, F .2004 biodegradation of hydrocarbon cuts used for diesel oil formulation.*APP, microbial. Biotechnology* 66: 40-47.
- 11-** Khoja, M .Hafid S. et Canselier, J,P .2005d A diagnostic of the treatment and disposal of oil well drilling waste. *Waste eng 05, Albi .proceeding on CD-Rom.may*
- 12-** Khodja .M. canselier. J.P dall .c .Hafid S et Ouahab. R 2007b a comparaison of the various treatment oil well drilling waste in Algerian fields. *GPE. Avril Toulouse.*
- 13-** AFNOR 1979 essais des eaux – dosage des hydrocarbures totaux, french standarized procédure XP T90-114, NF T 90-101, NF T 90-114, octobre. Saint-Denis-la plaine France.

14- AFNOR 1998 Déchets essais de lixiviation. French standardized procedure NF X31-210, May 1998.saint Denis la plaine, France.

15- J.O Republique algérienne 1993 decret executif n° 93-160, 10/07.

16- Okpokwasli GC et odokuma L.O 1990 effet of salinity on biodegradation of oil spill dispersant waste management 10,141-146.

Chapitre III

POLYMERES

Introduction

Les polymères ont été employés dans les fluides de forage pendant les années 30 ; l'amidon de maïs a été ajouté comme additif pour réduire les pertes de fluide dans les formations poreuses. Depuis cette date, les polymères sont devenus très spéciaux leur utilisation a augmenté en conséquence. Et ils font pratiquement partie de chaque système à base d'eau utilisé de nos jours. En effet, quelques systèmes sont totalement à base de polymères dépendant et ils sont appelés systèmes de polymères. Dont Les polymères les plus utilisés sont les polymères naturels modifiés; d'autres polymères plus sophistiqués sont dérivés des synthétiques du potentiel illimité de la technologie de polymère. Il est possible d'analyser une situation à un niveau moléculaire et concevoir un polymère avec des propriétés spécifiques pour dresser la situation. Pour cette raison, les polymères ont un avenir intéressant dans le domaine des fluides de forage.

Les bio-polymères représentent l'une des variétés de polymères utilisés dans l'industrie pétrolière ; ce sont des molécules produites par des cellules biologiques, y compris des bactéries, et les cellules des plantes et d'animaux. Ceux produits par les bactéries et par d'autres micro-organismes ont un large domaine d'application dans la résolution des problèmes industriels ; ils sont aussi employés comme émulsifiants de nourriture, épaississants, produits pharmaceutiques. Plusieurs applications environnementales se fondent sur des bio-polymères.

Les polymères hydrosolubles revêtent une grande importance pour de nombreuses applications industrielles. L'industrie pétrolière est en particulier une grande consommatrice de polymères pour les diverses opérations de récupération d'huiles : forage, fracturation, modification de perméabilité, cimentation, colmatage, contrôle de mobilité des phases aqueuses. **(01)**

III.1. Définition.

Un polymère est un système formé par un ensemble de macromolécules, c'est-à-dire d'entités moléculaires de grande dimension, issues de l'assemblage covalent d'un grand nombre d'unités répétitives plus communément appelées unités (ou motifs) monomères **(02)**. Ils peuvent se présenter :

- En chaînes linéaires avec une répétition linéaire n fois du motif X (homopolymère) ou de deux ou plusieurs motifs (copolymères XY par exemple).

-X-X-X-X-X-X-X- ou -X-Y-X-X-Y-Y-X-Y-X-

- En chaîne non linéaire : branchés en étoiles ou en réseau.

Lorsque ces polymères présentent des groupements de charges anioniques ou cationiques, on les appelle des poly-électrolytes.

III.2. Classification des polymères.

· Selon leur origine

On peut les classer en trois catégories

1. Les polymères naturels : Sont issus des règnes végétal ou animal ; les exemples les plus connus sont la famille des polysaccharides (cellulose, amidon...) celle des protéines (laine, soie...), le caoutchouc naturel, etc...

2. Les polymères artificiels : Sont obtenus par modification chimique de polymères naturels, de façon à transformer certaines de leurs propriétés. Les esters cellulosiques ont toujours connu une certaine importance économique.

3. Les polymères synthétiques : Totalement issus du génie de l'homme, sont obtenus par polymérisation de molécules monomères.

· Selon leur domaine d'application

Il est difficile de proposer une classification exhaustive la variété des propriétés a multiplié les applications des polymères, comme matériaux en particulier, polystyrène, les polyamides, les polymères thermostables, adhésifs, etc.

· Selon leur structure (dimensionnalité)

Les polymères peuvent encore être classés en trois catégories.

1. Celle des polymères linéaires (ou monodimensionnels), pour lesquels chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre élevé mais fini d'unités monomères. De tels systèmes correspondent à la polymérisation de monomères bivalents.

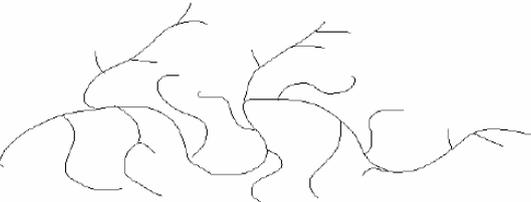
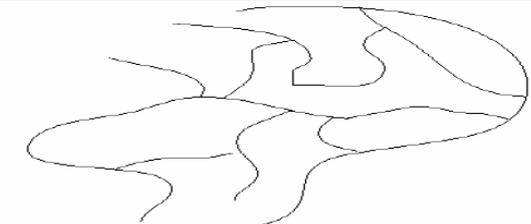
2. Celle des polymères bidimensionnels, dont certains peuvent être produits par la nature (carbone graphite, kératine...) ; ils se présentent sous forme de feuillets bidimensionnels d'épaisseur comparable à celle des molécules simples.

3. Celle des polymères tridimensionnels, qui résultent de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux ou encore de la réticulation (formation d'un réseau tridimensionnel), par voie physique ou chimique de polymères linéaires. Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infinie puisque toutes les unités monomères constitutives d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule.

Les liaisons se développent dans les trois dimensions.

Les différentes structures des polymères sous lesquelles elles peuvent être rencontrées sont dans le tableau suivant :

Tableau III.1: Représentation schématique des structures de polymères. (02)

Type de structure	Schéma de la structure	Exemples
Linéaire ou monodimensionnel		CMC, PHPA, HEC
Branché ou bidimensionnel		Amidon, gomme de xanthane
Réticulé ou tridimensionnel		Gomme de xanthane réticulé

Il y a une possibilité infinie dans les conformations structurales des polymères, certaines d'elles et qui affectent les performances des polymères sont :

- Le type du monomère ou des monomères ;
- La masse moléculaire ;
- Le type et l'abondance de la modification chimique sur le polymère ;

- Le nombre de groupes ramifiés ou réticulés dans la chaîne du polymère.

Les polymères en fluides de forage peuvent être classés en trois manières, ils peuvent être classés selon leur chimie, en tant qu'anionique ou non-anionique, ils peuvent être classés par leur fonction telle que des additifs viscosifiants ou réducteur de filtrat, ou ils peuvent être classés tout simplement par leur origine naturelle, naturelle modifiée ou synthétique.

III.3. Adsorption des polymères.

L'adsorption des polymères à l'interface solide/liquide est associée à des problèmes variés telle la stabilisation colloïdale, la floculation, l'adhésion, la lubrification. La structure des couches de polymères adsorbés de même que les quantités de polymères dans ces couches jouent un rôle capital pour ces processus. L'adsorption des poly-électrolytes sur les surfaces minérales est généralement différente de celle des polymères non chargés ; la différence principale étant liée à l'intervention de forces électrostatiques à longue portée dans le cas des polymères chargés.

L'étude statistique d'une chaîne isolée adsorbée a été l'objet de nombreux travaux dans les années 60. Hovee et Silberberg distinguent les **boucles**, les **trains** et les **queues** (figure III.1). Les boucles sont constituées par les portions de chaînes situées entre deux monomères en contact avec la surface, les trains désignent les sections de chaînes complètement adsorbées sur la surface, tandis que les queues sont les portions terminales de la chaîne, situées entre un bout libre et le plus proche monomère en contact avec la surface.

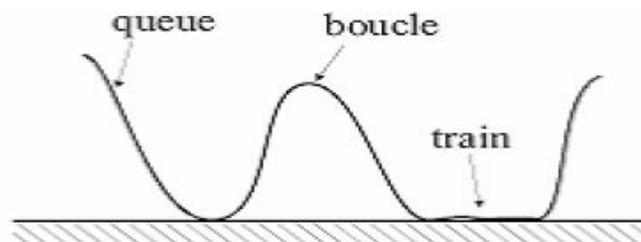


Figure III.1 : Schéma d'adsorption d'une chaîne de polymère sur une surface. (03)

Plusieurs interactions thermodynamiques doivent être prises en compte pour décrire le processus d'adsorption du polymère à la surface d'une particule minérale. Ainsi, les interactions segment - surface, segment - solvant, et segment - segment apportent une contribution à la thermodynamique du processus. D'autres

changements sont aussi à considérer si l'on désire obtenir une image complète du système, il s'agit notamment :

1. du changement de conformation du polymère après son adsorption à l'interface ;
2. du changement de conformation d'une molécule adsorbée induit par l'adsorption de nouvelles molécules à l'interface ;
3. des phénomènes d'échanges associés à l'adsorption préférentielle de molécules de poids moléculaires élevés ;
4. du changement du taux d'ionisation de la surface minérale et du polymère lié à une augmentation de la densité entière de charge au voisinage de la surface.

Il convient également de souligner que dans la plupart des situations, l'adsorption d'un polymère sur une surface minérale est limitée par le temps d'accès d'une molécule de polymère vers la surface ; cet accès est contrôlé, suivant le système considéré, soit par la diffusion du polymère soit par la convection.

III.4. Les polymères dans le fluide de forage.

III.4.1. La carboxyméthylcellulose (CMC) et PAC.

Depuis 1947 le Carboxyméthylcellulose (CMC) a été employé dans divers fluides de forage à base d'eau comme réducteur de filtrat ou comme viscosifiant. La molécule de base a été synthétisée en 1930 en Allemagne durant la première guerre mondiale **(04)**.

Au commencement, la CMC a été employée pour stabiliser les boues à base d'eau chargée avec des particules d'argile. Plus tard, l'interaction de la molécule CMC avec des argiles a été étudiée, et le caractère anionique des molécules a été changé pour arriver à un certain niveau d'inhibition d'argile. Ceci a eu comme conséquence l'apparition des polymères poly-anioniques de cellulose (ou PAC) appliqués largement dans les fluides à base d'eau aujourd'hui. **(05)**

III.4.1.1. Définition.

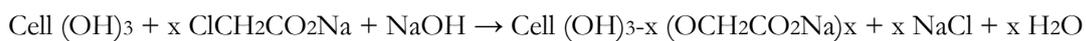
La CMC est un polymère linéaire de cellulose d'éther, anionique et biodégradable. Il est un des plus souples des hydrocolloïdes hydrosolubles et a un certain nombre des propriétés importantes comprenant la solubilité, la rhéologie, l'adsorption sur des surfaces, etc. Indépendamment de ces derniers, la viscosité et le degré de substitution (DS) sont les deux propriétés principales du CMC qui

déterminent la fonctionnalité, dont toutes les deux peuvent être réglés pendant le traitement (04).

La CMC est préparé par modification chimique de la cellulose. La cellulose est un polyholoside constitué de macromolécules linéaires formées par l'enchevêtrement de motifs β -D-glucose ; chaque motif étant tourné de 180° par rapport à son motif voisin. D signifie qu'en projection de Fisher, le groupement hydroxyle secondaire du glucose porté par le carbone le plus éloigné de la fonction aldéhyde $H-C=O$ est à droite, β signifie que tous les substituants (atomes ou groupes d'atomes autre que H) sont en position équatoriale. L'oxygène hémi-acétatique et l'hydroxyle 2 forment des ponts holosidiques.

La cellulose naturelle est insoluble dans l'eau même en solution diluée parce que les atomes d'hydrogène des groupements hydroxyles forment des liaisons intra et intermoléculaires qui rendent impossible la dissociation des chaînes. Une méthylation partielle écarte les chaînes et affaiblit cette interaction ; la cellulose devient alors soluble dans l'eau.

Les trois groupements hydroxyles de chaque motif peuvent être substitués par réaction chimique. Le degré de substitution est une caractéristique du polymère. Il peut être au maximum de trois, l'estérification de la cellulose apporte un groupement chargé ($-COONa^+$) et confère un caractère polyelectrolyte au polymère ; on obtient ainsi les dérivés de type carboxyméthylecellulose.



Avec x: degré de substitution du produit.

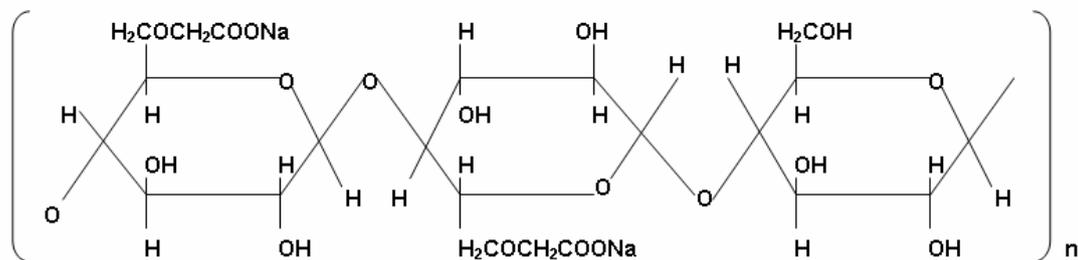


Figure III.2 : Structure chimique PAC. (04)

III.4.1.2. Influence des électrolytes

La CMC est à classer dans la catégorie des polymères flexibles puisque sa longueur de persistance est de l'ordre de 7 nm. Il résulte comme nous l'avons

expliqué précédemment, que lorsqu'on ajoute du sel à une solution de la CMC, ses dimensions en solution diminuent fortement voir figure.

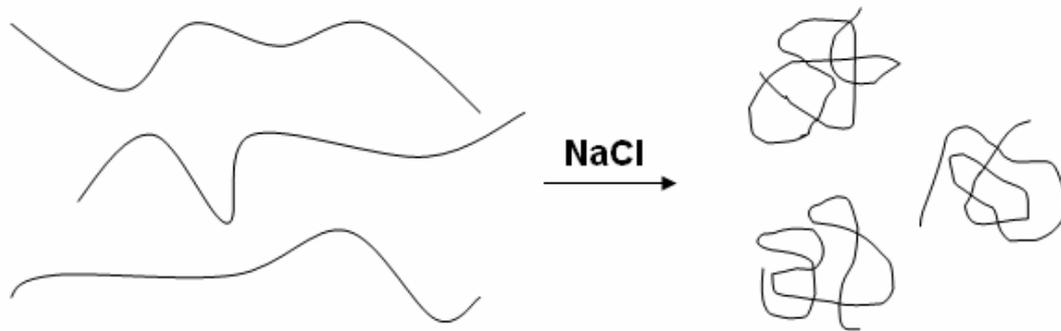


Figure III.3 : Diminution des dimensions des chaînes du CMC dans un milieu salin.

En présence d'ions di- ou multivalents, les fonctions carboxyliques présentes sur la chaîne sont susceptibles de fixer les ions multivalents provoquant une agrégation du polymère ou même une précipitation par pontage intermoléculaire par liaisons entre les ions Ca^{2+} et les groupes $-\text{COO}-$ appartenant à différentes chaînes enchevêtrées dans la solution, les résultats de la littérature montrent que la stabilité des solutions des CMC en présence de cations divalents dépend fortement de la concentration en polymère.

Une caractéristique du PAC est le degré de substitution (DS) du groupe carboxyméthyl qui est supérieure à 0,8. Le poly-anionique de cellulose est employé principalement comme réducteur de filtrat pour les boues à base d'eau douce et d'eau de mer mais il agit également en tant que viscosifiant dans ces systèmes. Le PAC est disponible en deux catégories (viscosité élevée et faible), ce qui donne le même degré de réduction de filtrat mais différents degrés de viscosité. La stabilité thermique du PAC est de $149\text{ }^{\circ}\text{C}$ et il n'est pas sensible à la dégradation bactérienne (06).

III.4.2. Les silicates de sodium

C'est au milieu des années 90 qu'il y a eu une augmentation dans la pression afin de trouver un fluide de forage à base d'eau de rendement élevé qui serait acceptable côté environnement et une alternative aux fluides de forage à base d'huile. Depuis les années 30, on a su que les fluides de forage à base de silicates fournissent une stabilité des argiles telles que celle à base d'huile, hormis contenir le silicate de sodium ou de potassium, les fluides de forage à base de

silicates courants auraient peu de similitude avec les premiers fluides. Les progrès dans la chimie de formulation ont fait que les fluides de forage à base de silicates aient une alternative efficace, souple et à prix réduit aux fluides de forage à base d'huile (07).

III.4.2.1. Introduction.

Les silicates solubles sont fabriqués en fondant le sable (SiO_2) avec du carbonate de sodium ou de potassium (K_2CO_3 ou Na_2CO_3) dans un four cake 1100-1200 °C, la dissolution du verre en utilisant la vapeur à haute pression tout en formant un espace libre, le liquide légèrement visqueux connu sous le nom de " verre soluble" est produit. Le silicate liquide est la forme commerciale la plus populaire de silicates solubles utilisés en fluides de forage. Cependant, les silicates liquides peuvent être séchés au vaporisateur pour former les poudres hydrols à dissolution rapide. Quand la garantie de conditions, tel que le stockage limité sur les installations en mer, les longues distances de transport ou l'exposition prolongée aux températures inférieures à zéro est assurée les poudres hydrols peuvent offrir une alternative rentable aux silicates liquides.

Un des principaux paramètres qui détermine les propriétés des solutions solubles de silicates est le rapport de poids de SiO_2 - Na_2O . Par exemple, un silicate du rapport " 2,0 " a 2kgs de SiO_2 pour chaque 1kg de poids moléculaire de Na_2O . La masse moléculaire de SiO_2 et Na_2O est si proche que les rapports molaire et massique seraient les mêmes pour tous les produits de silicate de sodium. Cependant, il convient de noter que les rapports molaire et massique pour des silicates de potassium diffèrent de manière significative.

En termes de structure d'anion de silicate et concentration relative, les silicates liquides avec des rapports plus élevés contiendront des niveaux proportionnellement plus grands des espèces condensées et complexes avec des poids moléculaires plus élevés. De même, les bas et mi liquides de rapport contiendront les niveaux significatifs des chaînes et des répétitions à faible poids moléculaire de poids aussi bien que le mono-silicate libre. Ces changements d'espèces de silicate peuvent avoir un impact mesurable sur la rhéologie du fluide de forage ; l'inhibition de l'argile et la stabilité globale de boue. Le choix de

rapport est donc une considération importante en fluides de forage à base de silicate.

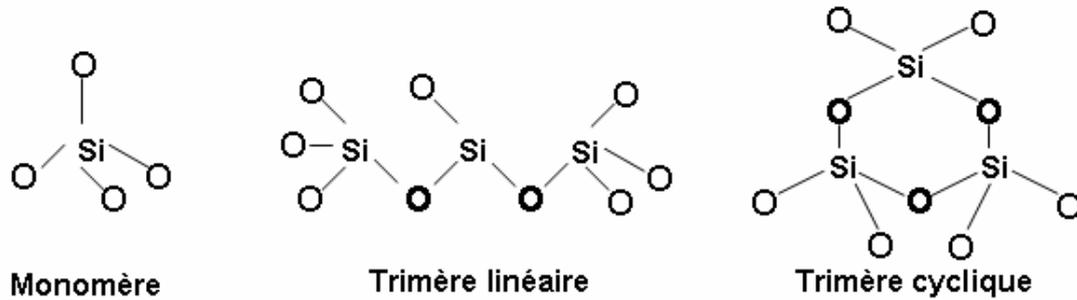
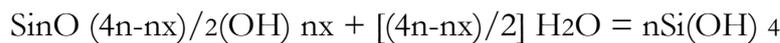


Figure III.4 : Structures d'anion de silicate (07)

III.4.2. 2. Chimie des silicates

Une solution de silicate de sodium se compose d'espèces monomérique et polymérique. Les concentrations du monomère et du polymère dépendent de la teneur en silice et du rapport de $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ de la solution. Une solution concentrée ayant un rapport de $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ de 1,0 ou de 0,5 se compose principalement de SiO_3^- et HSiO_3^- ; des solutions avec des rapports plus élevés de $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ sont caractérisées en augmentant la concentration en polymère et en augmentant la taille de polymère (diamètre jusqu'à 30nm). En outre, le polymère est en équilibre avec le monomère soluble $\text{Si}(\text{OH})_4$ suivant :



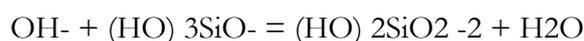
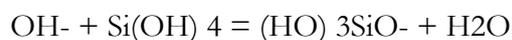
n = degré de polymérisation, dépend du $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$;

x = OH/Si dans le polymère (diminution de x avec l'augmentation de n).

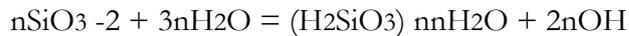
Les polymères sont approximativement uniformes dans la taille. Dans une large gamme des polymères, les siliciums intérieurs sont liés par des ponts d'oxygène tandis que le silicium extérieur peut être lié au moins à un OH⁻. En outre, les particules du polymère peuvent être ionisées :



Ainsi, les particules du polymère sont en équilibre avec $\text{Si}(\text{OH})_4$ comme cité ci-dessus, et le $\text{Si}(\text{OH})_4$, alternativement, est dans l'équilibre avec les ions monomériques de silicate, pour exemple :



Par conséquent, un équilibre existe entre la silice ionique et colloïdale, ou la silice polymérisée, s'exprime de cette façon:



En général, en tant que solutions alcalines concentrées, les silicates sont dilués (à une limite inférieure de ~330 ppm), le pH et $[\text{OH}^-]$ sont réduites, et des ions de silicate s'hydrolysent pour former une large espèce polymérique avec un rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ inférieur. Comme indiqué par Iller (08): "quand une solution soluble de silicate, qui est toujours fortement alcaline, est neutralisée par l'acide à un pH d'environ 10,7, les ions de silicate se décomposent en acide silicique $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, qui, après se polymérise en silice."

III.4.2.3. Mode d'action du système silicate.

Le système de silicate réalise son inhibition supérieure par une triple approche :

- La liaison chimique directe des polymères de silicate pour forer les déblais et les surfaces de la formation
- Précipitation du silicate avec les ions bivalents
- La polymérisation de silicate qui a comme conséquence les structures complexes et inorganiques de polymère qui réagissent avec les surfaces argileuses.

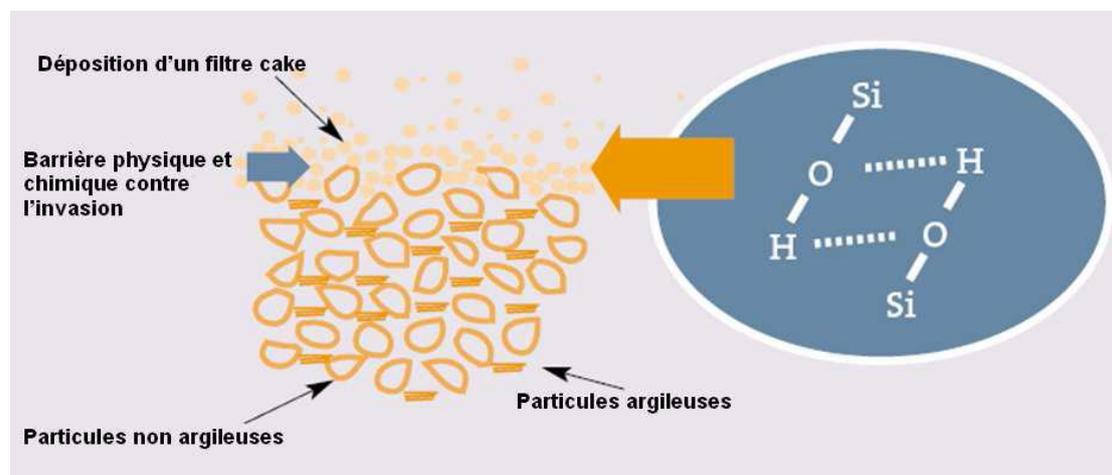


Figure III.5 : *Polymérisation du monomère de silicate de haut rapport fournit efficacement une barrière physique et chimique à l'invasion de filtrat et de particules. (08)*

On peut remarquer deux mécanismes d'actions du silicate qui sont :

a)- La gélification : est l'auto polymérisation où la condensation des structures solubles de silicates pour former une structure hydrosoluble et amorphe de gel de

silicate. La gélification est apportée par une baisse du pH avec une polymérisation commençant à se produire rapidement à pH en dessous de 10,5.

b)- La précipitation : est le raccordement absolu des molécules de silicate par les cations polyvalents (c.-à-d. Ca^{+2} Mg^{+2} Al^{+3} Fe^{+3} etc...). On le croit que pendant que le silicate dans la boue entre en contact avec l'eau interstitielle légèrement acide (pH 6-8) et polyvalent, une réaction localisée de gélification, couplée à une quantité mineure de précipitation, a lieu généralement pour bloquer l'afflux de la boue et la pression dans la formation. Ces réactions mènent également au scellement de microfissure, les fissures et la blocaille donnant au silicate un avantage décidé par rapport à n'importe quelle boue d'huile, réduisant de manière significative les pertes et coûts potentiels de la boue.

Ces mécanismes uniques de gélification et/ou de précipitation font également que le silicate est un agent réducteur de filtrat, surtout qu'il y a peu de transfert de fluide et de pression vers la formation, maintenant l'intégrité du puits intacte. De plus de cette chimie unique, les fluides de forage à base de silicate fournissent un produit de filtration perméable mince, dur, ultra bas réduisant de manière significative les problèmes de forage, tout en fournissant le cimentage amélioré.

Les mécanismes d'inhibition de silicate empêchent les déblais d'être facilement dispersés dans le fluide de forage. Il n'est pas rare qu'une boue à base de silicates maintienne sa densité initiale durant tout le forage. La capacité d'un fluide de forage de silicate d'inhiber signifie également un très peu alésage, menant à un court ou pas de temps d'arrêt.

III.4.2.4. Les avantages environnementaux des silicates

Les silicates font partie des produits destinés pour le forage pétrolier et ne présentent pratiquement pas d'inconvénients pour l'environnement. Des silicates solubles sont dérivés, et finalement de retour vers la nature, tel que la silice (SiO_2) et le sodium et le potassium qui sont des composés solubles. Puisque ceux-ci sont parmi les composants chimiques les plus communs de la terre, elles offrent peu de potentiel pour des effets nocifs sur l'environnement.

L'addition du silicate de sodium ou de potassium à l'eau de mer mène à leur précipitation rapide pour former des silicates de calcium et de magnésium. Ces précipités sont des produits relativement inertes et non toxiques.

III.4.3 Aquagel

Aquagel est une bentonite visocifiant, polymère prime qui ne contient aucun additif.

Aquagel visocifiant conforme aux spécifications API 13A, agit principalement comme un agent de viscosité, mais contribue également à une réduction de filtrat pour les fluides de forage à base d'eau.

Aquagel visocifiant fonctionne efficacement dans les fluides de forage à base d'eau fraîche.

Fonctions

1. Viscosifiant anionique des fluides de forage à base d'eau.
2. Réduire les infiltrations d'eau ou la filtration dans des formations perméables.
3. Former un filtre galette à faible perméabilité.
4. Promouvoir la stabilité du trou des formations mal consolidés

Avantages:

- Peut fournir des suspensions pour les fluides pondérée par la baryte ou l'hématite ;
- Peut améliorer la capacité de nettoyage du trou des fluides de forage ;
- Polymère ne contient aucun additif chimique ;
- Respectueux de l'environnement;
- Peut être ajouté directement à les fluides de forage à base d'eau douce fraîche ;
- Peut être compléter avec des diluants polymères.

Propriétés:

- Poudre de couleur variable
- Densité 2.6

Traitement:

Ajouter Aquagel viscosifiant à des concentrations de (14 à 70 kg / m³) lentement à travers un jet mélangeur ou tamiser lentement dans le tourbillon d'un agitateur à grande vitesse.

Note: Pour un rendement optimal, Aquagel viscosifiant devrait être préhydratée en eau douce.

Emballage:

Aquagel viscosifiant est disponible en (22, 7 kg) et (45, 4 kg) sacs.

III.4.4 Barablock

Barablock est un haut melting de gilsonite, est un agent de controle de filtration qui peut extruire dans la formation de microfractures pour former une étanchéité / mecanisme de collage et de branchement, contribue également à stabiliser les schistes et de prevenir desquamation. Barablok peut etre utiliser dans les deux fluides de forage a base d'eau et inverser emulsion a base d'huile pour controler et de reduire filtrat de boue par la creation un dur, lisse gateau .Barablok peut également stabiliser efficacement les schistes friables et de réduire affouillements dans les séquences de sable interstratifiées. Dans les fluides de forage à base d'eau. Barablok est efficace à des températures jusqu'à 350 ° F (177 ° C). Pour une température plus élevée on remplace par le Barablock400.

Fonctions

- 01- Stabiliser les schistes;
- 02-Contrôle la perte de liquide;
- 03- Réduire l'invasion de fluide à travers des mécanismes de brancher ;
- 04- Minimiser collé différentielle.

Avantages

- Ne montre aucune fluorescence ;
- Aide à améliorer le contrôle de la perte de liquide ;
- Aide à fournir gâteau de filtration optimale et dépôt d'étanchéité;
- Peut mélanger facilement avec fluides à base d'huile et a base d'eau;
- Aide à minimiser le collage différentiel.

Propriétés:

La poudre noire

Densité 1.05

Non soluble

Traitement

1. Pour des systems à base d'eau, ajouter 5, 7 à 28, 5 kg / m³.

2. Pour les fluides de forage à base d'huile, ajouter 14, 2 à 99, 8 kg / m³.

Emballage

Barablock est emballé dans 22,7 kg / sacs.

III.4.5 Barazan

Barazan est une poudre de polymère de la gomme xanthane qui est utilisé pour viscosifier l'eau douce, l'eau de mer et les saumures monovalent. Barazan à promouvoir des quantités réduites cisailés pour l'amélioration des propriétés de mélange.

Barazan à des spécifications de développement la viscosité et excellent suspension, elle peut être utilisée jusqu'à 250 ° F (121 ° C).

Fonctions:

- Viscosifiant des fluides de forage a base d'eau douce et eau salée, agents de pontage de suspension et des matériaux de pondération dans l'eau douce et les systèmes de saumure.

Avantages :

- Aide à fournir des propriites thixotropiques et des caracteristiques d'écoulement non newotonien se disperser facilement dans l'eau douce ou de la saumure avec cisaillement

- Aide à fournir des propriétés thixotropiques et des caractéristiques d'écoulement non-newtonien d'une large gamme de salinité de faibles concentrations.

- Aide à fournir une excellente suspension;

- Aide à minimiser les risques de détérioration de la formation

Propriétés

La poudre est jaune à Blanche

PH=6.3 (1% solution aqueuse)

Densité 1.6

Traitement:

Mélanger (0,3 à 5,7 kg / m³) de Barazan, selon le besoin pour obtenir la viscosité et les caractéristiques désirées.

Barazan viscosifiant est emballé dans (11,3 kg) et(25 kg) sacs.

III.4.6 Dextrid

Dextrid est un produit de l'amidon modifié utilisé pour réduire le filtrat des boues dans la plupart des fluides à base d'eau, en particulier de polymère non-dispersion. Dextrid ne contient pas de conservation d'amidon. Dextrid est fonctionnel dans l'eau douce et eau saturée et ne pas augmenter la viscosité du fluide. Dextrid est stable en température à environ de 250 ° F (121 ° C). Dextrid peut aussi être utilisé pour encapsuler le forage par les cutting et d'exposer les formations des puits à réduire la dispersion des particules d'argile et réactive / formation de schiste enflure. PH de fluide doit être maintenu à 8, 0 ou supérieur (de préférence 8,5 à 9,0) à prévenir la dégradation bactérienne de l'amidon. Dextrid est utilisé dans les zones ou l'environnement est empêcher l'utilisation des variantes des bactéries de la stabilisation Dextrid est non dommageable et peut être utilisé dans les deux fluide de forage et l'application dans le réservoir des fluides de forage.

Fonctions :

- 01- Aide à diminuer le taux de filtration dans la plupart des systèmes fluide de forage à base d'eau ;
- 02- Aide à améliorer la stabilité de forage ;
- 03- Aide à flocculer la dispersion les cutting dans les forages d'eau claire.

Avantages:

- Aide à maintenir le contrôle de filtration sans augmentation préjudiciable de la viscosité ;
- Efficace avec les systèmes de forage rapide non dispersé ;
- Aide à diminuer la dispersion d'argile.

Propriétés

- Poudre blanche.
- Densité 1.5

Traitement

- Pour aider à réduire la filtration des fluides de forage, ajouter (5,7 à 17,1 kg / m³)

Note: De petites quantités de PAC complètera Dextrid dans les fluides de forage à base d'eau fraîche et l'eau saline.

Emballage

Dextrid est emballé dans (22, 7 kg) et (25 kg) sacs.

III.4.7 Ez mul

Ez mul est une emulsion d'inverse et un agent mouillant d'huile pour l'huile minérale, paraffine et XP-07 des systèmes des fluides a base d'huile. Ez Mul est encore plus responsable de l'environnement. Ez Mul peut être utilisé comme émulsifiant primaire pour les fluides RF Invermul. elle a peu des exigences d'alcalinité.

Fonctions

- 01- Aide à préparer les fluides d'Enviromul, Innovert et XP-07 ;
- 02- Aide à préparer des fluides NAP d'environnement acceptable ;
- 03- Aide à promouvoir les systèmes d'émulsion inverse ;
- 04- Aide à améliorer la stabilité électrique ;
- 05- Permet de réduire les propriétés d'écoulement des émulsions inverses.

Avantages

- Efficace dans des faibles concentrations;
- Peut être ajouté directement au système;
- Thermiquement stable à des températures supérieures à 260 ° C (500 ° F);
- Compatible avec d'autres additifs de boue à base d'huile.

Propriétés

- Liquide épais rouge-ambre
- Point d'éclair, PMCC 65 ° C (81 ° F)
- Densité 0.96

Traitement

- Pour les systèmes Enviromul, Innovert et XP -07, ajouter 17-34 kg / m³ directement au système.

Ez mul émulsifiant est emballé dans (208 L)

III.4.8 Ez-mud

Ez-mud est une active synthétique a 100% des secs polymères qui agit comme une argile réactive et stabilisateur de schiste par inhibition de l'absorption d'eau. En raison de sa structure physique unique, Ez-mud stabilisateur de schiste est facilement dispersées et mélangées dans un fluide avec cisaillement minimale et ne pas significative d'augmentation de la viscosité du fluide. Ez-mud stabilisateur de schiste est utilisable jusqu'à 300 ° F (149 ° C) dans l'eau douce l'eau, l'eau de mer et les saumures monovalent. Haut PH environnements (> 10, 5) peut provoquer une hydrolyse, en particulier aux températures élevées.

Fonctions

- 01- Améliore les propriétés rhéologiques des boues de forage à faible solide ;
- 02- Favorise la stabilisation d'argile et de schiste pour éviter un gonflement ou la dispersion ;
- 03- Favorise la stabilité de forage dans les zones ou des formations sensibles à l'eau ;
- 04- Réduit la couple de rotation et la pression de circulation ;
- 05- Favorise l'amélioration la capacité de récupération de mousse-air du système ;

Avantages

- Unique structure physique permet une dispersion facile et un mélange avec de cisaillement minimale
- Permet d'utiliser des concentrations accrues d'obtenir l'inhibition sans excès de la production, de viscosité
- Aucune présentation des distillats de pétrole.
- Décompose chimiquement avec l'eau de javel (hypochlorite de sodium)
- Compatible avec autre additifs des Baroid fluides de forage lorsqu'il est ajouté dans le bon ordre
- Non-fermentation

Propriétés

Blanc, à écoulement libre perles

Densité en vrac £ 52 / pi³

PH (solution à 1%) 7.75

Traitement

En utilisant un mélangeur Venturi, ou en tourbillon d'un agitateur à vitesse élevée, ajouter lentement et uniformément à l'ensemble système de circulation.

Emballage

Ez-Mud est emballé dans (4,54 kg), (15 kg) et (18,1 kg) en plastique contenant refermables avec couvercles flip top.

III.4.9 Geltone

Geltone viscosifiant est une argile organophile utilisés pour conférer des propriétés de viscosité et de la suspension de fluides de forage à base d'huile. Geltone viscosifiant est également utilisé pour geler les fluides de forage à base d'huile à long terme de la suspension des agents de pondération des fluides de forage. GeltoneII a un rendement généralement plus rapide que Geltone V mais atteindre la même viscosité finale. Geltone II est habituellement préféré à des fluides à base d'huile minérale. Geltone II est stable à 350 ° F (176 ° C). Geltone II ne doit pas être utilisé dans les fluides à base huile en argile performance.

Fonctions:

- 01- Viscosifiant tout les fluide de forage à base d'huile
- 02- Améliorer le nettoyage et de reconditionnement du trou pendant les opérations de forage
- 03- Maintenir la boue à base d'huile en suspension à long terme

Avantages:

- Stable à des températures approchant 350 ° F (176 ° C)
- Aide à contrôler la filtration

Propriétés:

- Poudre grise
- Densité 1.7

Traitement:

Ajouter (5,71 à 42,80 kg / m³) de Geltone II lentement à travers la trémie.

Note: Réduire le temps de rendement en ajoutant un petit ruisseau d'eau à travers la trémie en même temps.

Emballage

Geltone II est emballé dans 50-lb (22,7 kg) sacs.

III.4.10 Invermul

Invermul émulsifiant primaire est conçu pour l'huile minérale et fluide de forage à base de paraffine.

Invermul émulsifiant aide à stabiliser les propriétés des émulsions et de la suspension, et de réduire de filtration HPHT.

Invermul émulsifiant nécessite l'ajout de chaux pour produire un émulsifiant savon de calcium.

Fonctions:

01- Aide de stabiliser l'émulsification de l'eau-huile

02- Aide à minimiser le taux de filtration

03- Aide à donner la stabilité à haute température les fluides à base d'huile

Avantages:

- Peut être ajouté directement au système

- Résiste à la contamination d'électrolyte

Propriétés:

- Dark liquide

Point d'éclair, SETA 156 ° F

Point d'éclair, SETA 69 ° C

Densité 0.94

Traitement:

1. Pour une utilisation normale, ajoutez (11,41 à 34,24 kg / m³).

2. Pour des températures élevées (> 350 ° F), complément de (28,53 à 71,33 kg / m³).

3. Pour détendue-systèmes filtrat, ajouter 0,25 à 4,0 lb / baril (de 0,71 à 11,41 kg / m³).

Note: Pour chaque livre de Invermul NT émulsifiant qui est ajouté au système, ajoutez 0,5 lb / bbl (1,4 kg / m³) de chaux.

Emballage

Invermul émulsifiant est emballé dans 55-gal (208 l), 190 kg tambours et en vrac.

III.4.11 N -Dril Ht- plus

N-dril ht Plus agent de contrôle de la filtration est un produit d'amidon lié-cross destinés à réduire la perte de filtrat de fluides à base d'eau, HTHP en

particulier dans les sections réservoir. N-dril peut être utilisé dans tous les fluides à base d'eau, de travailler dans complétion des fluides. Il a caractéristiques des dommages minimales et est facilement éliminé avec ou N FLOW acide générateurs retardée.

Lorsqu'il est utilisé avec des pièges à oxygène ou dans des formations de saumures, N-dril est efficace jusqu'à 300 ° F (149 ° C).

Fonctions :

N-dril, lorsqu'il est utilisé avec la bonne taille des particules de pontage de pondération et, peut:

01- Assurer le contrôle de filtration

02- Réduire au minimum les dommages à la formation productive

Avantages:

- Utilisable pour tous les fluides de forage à base d'eau, de reconditionnement et de complétion des fluides appropriés, y compris: l'eau de mer, chlorure de potassium, chlorure de magnésium, chlorure de sodium, bromure de sodium, le bromure de calcium et le zinc bromure.

- Résiste la contamination de calcium sur une large gamme de pH

- Soluble dans les acides et les oxydants

- Nettoie facilement la suite du forage, de reconditionnement, ou des opérations de complétion

- Respectueux de l'environnement, ne présentant pas de problèmes de toxicité ou de l'écologie

Propriétés:

Poudre blanche,

Densité 1.5

Traitement :

- Disperse N-dril dans de mélange de l'équipement classique de la boue.

- La concentration varie de (9 à 26 kg / m³).

Emballage:

N-dril est emballé dans (22,7 kg) sacs..

III.4.12 N-vis

N-vis viscosité est de première qualité, a précisé polymère gomme de xanthane. Il est utilisé dans N-Dril réservoir dans les fluides forages de fournir les matières en suspension et des capacités de nettoyage du trou. Il est conçu pour fournir de transport les trous de nettoyage des capacités des boutures, et d'aider à minimiser les dommages aux formations réservoir. N-Vis viscosifiant peut être utilisé dans tous les saumures jusqu'à 11,8 lb / gal (1,32 SG) et jusqu'à 250 ° F (120 ° C).

Fonctions:

N-vis viscosifiant peut être utilisé dans les applications suivantes:

- Forage à forfait (y compris le forage horizontal, forage dans les fluides, et en vertu de l'alésage)
- gravillonnage
- Sand-linge
- Contrôle de puits

Note: Les propriétés uniques de suspension N -vis viscosifiant permettre la conception de systèmes sans bentonite.

Avantages:

- Plus efficace que d'autres systèmes polymères pétroliers en éliminer les solides, y compris ceux aussi dense que la bauxite du puits lors du ponçage
- Un très raffiné, biopolymère xanthane clarifié
- Peut donner des propriétés excellentes de suspension
- Peut fournir en circulation des transports solides
- Aide à minimiser les dommages formation

Propriétés:

poudre dispersible beige

Densité en vrac 45lb/ft

Densité en vrac 721 kg / m³

Maillage, (% à 40 mesh) 95

Traitement:

Fluides polymère hydratant avant les utiliser. Viscosité et la filtrabilité moniteur tout en mélangeant afin d'assurer une hydratation complète.

Mixte au pH de 3 à 6 que N -vis viscosifiant hydrates plus rapide à pH de 8 à 10.

Note: teneur élevée en sel ou la température du fluide froid peut ralentir N-vis hydratation viscosifiant. Laisser plus de temps pour hydratation complète dans ces situations.

Emballage:

N-Vis viscosifiant est emballé dans 25-lb (11, 3 kg) et 55, 1 lb (25 kg) sacs.

III.4.13 N-Vis O

Viscosifier

N-Vis O est une argile organophile utilisé pour fournir un nettoyage du trou et propriétés de la suspension pour COREDRIL-N tous les fluides de forage a base d'huile. Pour une utilisation dans tous les systèmes d'huile, un activateur polaire comme Baractive doit être utilisé pour améliorer le rendement du produit.

Fonctions:

01- Viscosifier les fluides de forage à base d'huile.

02- Améliorer le nettoyage du trou pendant les opérations de forage et de reconditionnement.

Avantages:

- Stable à des températures approchant 350 ° F (177 ° C)
- Aide du contrôle de la filtration

Propriétés:

Poudre de Tan

Densité 1.7

Traitement :

Ajouter 2-15 lb / bbl (5,71 à 42,80 kg / m³) de N-VIS O viscosifiant lentement à travers la trémie.

Note: Réduire le temps du rendement en ajoutant un petit ruisseau d'eau à travers la trémie en même temps.

Emballage:

N-Vis O viscosifiant est emballé dans 50-lb (22, 7 kg) sacs.

III.14 PAC

Agent de contrôle Filtration

PAC est utilisée dans la plupart des fluides de forage à base d'eau, y compris l'eau douce, eau de mer, et de la saumure jusqu'à 300 ° F (121 ° C). Pac L a un impact très faible sur la rhéologie du fluide, est non-toxique et ne nécessite pas un biocide. Dans l'eau de mer et les saumures, il peut être utilisé comme un diluant à faible concentrations et aussi comme un stabilisateur de schiste. Pac L des produits de filtration sont fluides de qualité supérieure produite de contrôle des pertes offrant des performances supérieures à la plupart des autres produits de leur catégorie. -filtration Pac dépasse les spécifications européennes pour les faible polyanionique viscosité de la cellulose.

Fonctions:

- 01- Aide à de contrôler le taux de filtration sans augmenter considérablement la viscosité du fluide
- 02- Encapsuler les schistes pour éviter le gonflement et de la désintégration

Avantage :

- Efficace dans fluides de forage à base d'eau, d'eau salée, et de la saumure ;
- Efficace dans des faibles concentrations pour le contrôle de filtration ;
- Est stable à des températures jusqu'à 300 ° F (121 ° C) ;
- Efficace dans les systèmes de modérée à pH élevé.
- Ne nécessite pas un bactéricide ;
- Non toxique.

Propriétés :

Poudre Blanche ou beige

Densité en vrac 40 à 55lb/ft³

Densité en vrac 641 à 881 kg / m³

PH, (1% solution aqueuse) 7.75

Traitement:

Ajouter de 0.5 à 3.0 lb / bbl (1, 43 à 8,56 kg / m³) de Pac-L 'agent de contrôle de filtration lentement à travers la trémie.

Emballage :

- PAC agent de contrôle filtrations est emballé dans 50-lb (22,7 kg), et 55,1 lb (25 kg) sacs.

Conclusion

Les polymères deviennent d'une grande importance pour de nombreuses applications des industries pétrolières est en particulier une grande consommatrice de polymères pour les diverses opérations de forage, fracturation, modification de perméabilité, cimentation,

QIQI IP ARGOI IBIB

[01] G. MULLER, « polymères hydrosolubles d'origine naturelle et synthétique », IFP, vol 45, n° 6, novembre-décembre 1990, 703-71

[02] MICHEL FONTANILLE, YVES GNANOU « chimie et physico-chimie des polymères » Dudon, Paris, 2002.

[03] BARBARA KATZBAUER, “Propriétés and applications of xanthan gum”, Polymer Degradation and Stability, Elsevier, 59 (1998) 81-84

[04] YOKOI, H., SHRAKI, M., et al. « Flocculation proprieties of xanthan produced by Xanthomonas Campestris ». Biotechnology Techniques, 10, 789-792, 1996

[05] STEVE YOUNG, and al., “Novel polymer chemistry increases shale stability”, AADE 01-NCHO-41, National Drilling Conference, March 27 - 29, 2001.

[06] A SENTHIL KUMAR, VIKAS MAHTO & V P SHARMA “Behaviour of organic polymers on the rheological proprieties of Indian bentonite-water based drilling fluid system and its effect on formation damage”, Indian Journal of Chemical technology, Vol. 10, September 2003, pp. 525-530.

[07] Drilling fluids technology, PQ Corporation, 2001.

[08] ILLER, R.K. “The Chemistry of Silica”. New York. John Wiley and Sons. 1979.

Chapitre VI

Contrôle de Solide et Gestion des Déchets

Introduction

La contamination des fluides de forage avec déblais de forage est une conséquence inévitable des opérations de forage fructueux. Avant l'utilisation d'équipements mécaniques, la dilution est utilisée pour le contrôle de solides dans la boue. Le terme de «dilution» est définie comme le processus de dumping d'une partie du volume de forage en activité fluide à une fosse à déchets, puis diluer la concentration en solides dans le restant en ajoutant un fluide de base liquide.

VI.1 Principes de traitement des boues

Au moyen des équipements de contrôle à fin de minimiser les solides, la dilution a été une pratique standard pour l'industrie du forage de plus de 60 ans. Des matériels et des méthodes ont changé pendant cette période, mais les principes fondamentaux derrière le processus sont les mêmes:

- 01.** Les questions de concentration des solides – l'augmentation de la teneur en matières solides est préjudiciable.
- 02.** Les questions de volume - le volume de déchets générés est indicatif de la performance.
- 03.** Les questions de la taille –les fines particules solides sont les plus nocifs et difficiles à éliminer.
- 04.** Les questions de sélection de l'écran. Les écrans rendent la séparation uniquement basée sur la taille.
- 05.** Les questions de surface - l'espace disponible pour les équipements sur les plates-formes est toujours limité.

VI.1.1 Concentration en solides :

L'augmentation de la concentration en solides dans la boue de forage est un problème pour l'exploitant, l'entrepreneur de forage, et le fournisseur de fluides. Il est bien prouvé que de l'augmentation de la teneur en solides dans le fluide de forage résulte un taux de pénétration (TBP). D'autres problèmes liés à la concentration de solides sont:

- la haute viscosité et la résistance au gel ;
- la Perte de la circulation attribuable à l'augmentation de la densité équivalente en circulation (DEC) ;
 - L'abrasion et l'usure de la pompe de fluide ;
- La perte de production due à des dommages, formation du filtrat ou de l'invasion de solides
- Le taux élevé de gâteaux de filtration influe sur la confection de ciment ;
- Les déchets de forage excessif ;
- La hausse du coût de maintenance des fluides de forage.

Le volume dilué est déterminé par la formule :

$$V_{dilué} = \frac{V_{solide}}{\%LGS} \quad VI-01$$

Avec

$V_{dilué}$: volume de dilution.

V_{solide} : volume de solide.

$\%LGS$: volume désirés de LGS (Grains légers de solide).

VI.1.2 Décantation

Hydro-cyclones, centrifugeuses et décanteurs reposent tous sur la vitesse de sédimentation. La vitesse de sédimentation est décrite mathématiquement par la loi de Stokes. Il indique que la vitesse à laquelle une particule se dépose dans un liquide est proportionnelle à la différence entre la densité de la particule et le liquide, l'accélération, et le carré du diamètre des particules. La vitesse de chute est inversement proportionnelle à la viscosité du liquide.

$$VI-02 \quad V_g = \frac{d^2 (\rho_p - \rho_l)}{\eta} g$$

Avec

V_g : Vitesse de sédimentation due à la force de la gravité m/s

d : Diamètre de la particule μm

ρ_p : Densité de la particule

ρ_l : Densité de liquide

g : Accélération de la gravité m/s^2

η : Viscosité dynamique du liquide Pa.s

Le carré du diamètre des particules a un effet important sur l'efficacité de séparation. Toutefois, d'autres facteurs qui influent sur le taux de décantation ne doivent pas être négligés.

Par exemple, si un liquide contient à la fois des solides à haute densité (HGS) et des solides de faible gravité (LGS), une centrifugeuse qui récupère les particules de barytine dans la gamme 10-micron permettra également de récupérer les particules LGS dans la gamme 15-micron, car les deux se déposent au même taux. Il résulte également de la loi de Stokes que le réglage de la vitesse est plus lent dans les fluides visqueux et dense, donc la valeur seuil et la capacité des séparateurs centrifuges seront affectées par augmentation de la viscosité et de la densité.

VI.2 Règlement de l'environnement: Fluides et des résidus de forage

- Régulation des fluides et des déchets de forage : Quel que soit le lieu dans lequel le puits est foré, l'élimination et le traitement des déchets de forage sera soumis à la réglementation environnementale. Les réglementations environnementales sont susceptibles de changer avec le temps et sont parfois rédigées pour s'appliquer à des endroits précis.

Le règlement favorise les options disponibles pour l'élimination, le recyclage ou la réutilisation des déchets de forage ; la conformité réglementaire est une cible mouvante, qui doit mettre en évidence des modèles spécifiques de l'environnement réglementaire qui ont un large impact sur la gestion des déchets de forage à travers le monde.

Les règlements couvrent de nombreux aspects des fluides, d'achèvement de forage /et la gestion des déchets et peuvent inclure :

- L'interdiction l'utilisation de certains produits de fluide ;
- le réglage des limites de concentration des composants dans les fluides ou les voies d'évacuation des déchets ;
- Le suivi et le contrôle des méthodes et les sites d'élimination ;
- l'interdiction les rejets ;
- La réglementation du transport et de stockage de produits chimiques et les fluides de forage.

Le but de la réglementation est de limiter l'impact environnemental des opérations de forage, en particulier les risques pour la santé humaine. Les règlements sont parfois écrits des méthodes d'analyse autour chimiques et biologiques précis et préciser les méthodes d'essai sur le terrain en tant que mesure de la conformité. Un exemple serait la mesure de la biodégradation du fluide de base.

Les réglementations environnementales concernant les déchets de forage sont influencées par les organisations gouvernementales et non gouvernementales (ONG). Ces organisations sont internationales

VI.3 Gestion des déchets

Ces dernières années, "la gestion des déchets» est devenu un menace pour les entreprises qui fournissent les fluides de forage, le traitement de boue, et les services d'élimination des déchets du forage. Le terme signifie des choses différentes dans les différents secteurs de l'industrie, mais tous les objectifs de gestion des déchets s'appuyant sur la notion de «durabilité» ou le développement économique durable.

VI.3.1 Principes de gestion des déchets

Il ya cinq principes s'appuyant sur la mise en œuvre de programmes de gestion des déchets à travers le monde.

- a. Réduire le volume de déchets produits
- b. Réutiliser plutôt que jeter
- c. Recycler les déchets en un produit utilisable
- d. Récupérer la matière des flux de déchets
- e. Séparer les déchets

VI.3.2 Lignes directrices pour la gestion des déchets de forage

Les étapes ci-dessous peuvent être appliquées sur presque toutes les plates-formes pour améliorer la performance globale de gestion des déchets.

- . Ne pas mélanger les déchets-Séparer les déchets qui peuvent être réutilisés.
- . Éviter les fosses ouvertes et éviter le contact avec le sol autant que possible.
- . La majeure partie des déchets de forage est générée à l'agitateur.
- . Réduire le volume des produits de la boue et la boue stockées sur le site.
- . Utiliser l'eau de lavage avec parcimonie. Un nettoyeur haute pression fait un travail beaucoup mieux avec beaucoup moins d'eau.
- . Protéger tous les produits chimiques à des conditions météorologiques.
- . Nettoyer tout déversement immédiatement avant la contamination de la zone.
- . Réparer rapidement les fuites d'emballage sur les pompes ou les vannes.
- . Garder les bourbiers bien agités pour empêcher la sédimentation.
- . Utiliser en parallèle des Mud-cleaners et hydro-cyclones.
- . Utiliser drayer pour récupérer le fluide et baisser le volume des déchets.
- . Utiliser les systèmes à boucle fermée lors du forage dans les zones écologiquement sensibles.
- . Garder les volumes des fosses au niveau minimum de sécurité.
- . Inspecter régulièrement les soupapes de décharge et installer des brides pleines si nécessaire.
- . Mesurer le volume cumulé de fluides de dilution ajouté à un système de boue.

VI.4 Tamis vibrants

Les tamis vibrants ont changé considérablement au cours des années écoulées depuis qu'ils ont été introduits. Les dispositifs de contrôle d'origine empêchent la contamination de la boue par les solides, les tamis vibrants sont utilisés à des fins multiples décrites comme suit:

- Les tamis vibrants scalping sont utilisés pour éliminer les solides grossiers ;
- Les tamis vibrants séchage sont utilisés pour la récupération secondaire des fluides à partir des déblais humides rejetés par les tamis primaires ;
- Les tamis vibrants primaires sont généralement des tamis de performance élevées de mouvement linéaire utilisé pour enlever la majeure partie des déblais de forage ;
- Les tamis vibrants Cascade combinent un scalpeur avec un agitateur de haute performance.

VI.4.1 Mouvement Asymétrique elliptique

Ce mouvement est créé par la rotation d'un seul arbre excentrique pondérée qui est monté au-dessus du centre de gravité d'un panier de Tamis vibrants. Ce mouvement ne sera pas transmis aux solides que dans un sens et nécessite une plate-forme inclinée vers le bas. Par exemple, la plupart de ces agitateurs utilisent 3 moteurs HP à conduits excentriques à entraînement par courroie qui tournent de 1000 à 1200 tr / min. Les moteurs peuvent être hydrauliques ou électriques.

VI.4.2 Mouvement circulaire

Ce mouvement est créé par la rotation d'un seul arbre excentrique pondérée qui est monté au centre de gravité d'un panier de Tamis vibrants, qui avait habituellement deux ponts ou ponts tandem. Le mouvement circulaire transmettra les solides vers la fin de décharge si les écrans sont horizontaux, mais ne sera pas transmis en amont. Avec l'introduction du mouvement circulaire les pertes de boue ont été réduites considérablement grâce à l'orientation horizontale de l'écran. Les moteurs peuvent être hydrauliques ou électriques.

VI.4.3 Mouvement Linéaire

Le mouvement est créé en utilisant deux arbres excentriques pondérés (deux moteurs cartouche arbre) pour lutter contre la rotation. Le principal avantage du mouvement linéaire est la capacité de transmettre des solides en amont. Les écrans stratifiés capables d'éliminer les matières solides de l'ordre de 70 microns peuvent être exécutés sur des agitateurs de mouvement linéaire. Presque tous les agitateurs de mouvement linéaire utilisent des moteurs électriques dans la gamme de 1,5 à 2,5 Hp. Selon que la fréquence de ligne est de 60 Hz ou 50 Hz, les moteurs tournent à environ de 1800 tr / min ou 1500 tr / min.

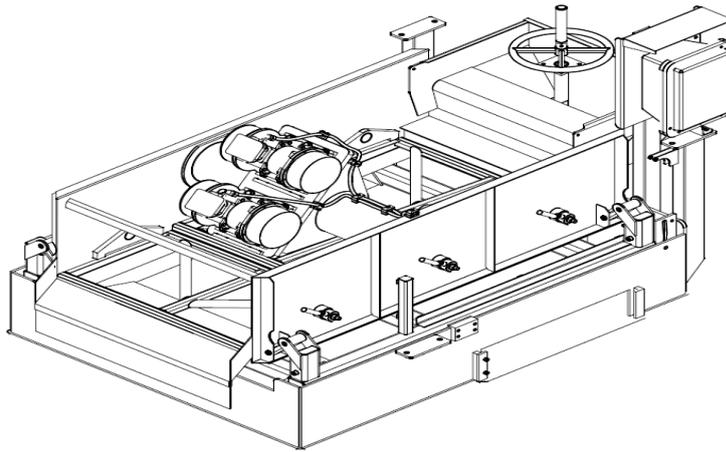


Figure VI-01 Tamis vibrant Modèle National Oilwell D285P-DM

G-Force du déplacement panier

La relation entre la force G et le déplacement est donnée ci-dessous

VI-03

$$G_{peak} = \frac{(n_{moteur})^2 (d_{agitateur})}{70414}$$

Avec :

- G_{peak} : Accélération de peak Gs.
- n_{moteur} : Vitesse du moteur de l'agitateur en tr/mn.
- $d_{agitateur}$: Déplacement de l'agitateur en inche.
- 70414** : constant.

VI.4.4 Lignes directrices pour les tamis vibrants

- 01.** Les tamis vibrants doivent être utilisés avec des écrans qui vont éliminer la quantité maximale des solides de forage tel que décharger des déblais humides.
- 02.** les tamis fonctionnent avec un petit angle pour maintenir la couverture de fluide sur la surface des écrans de 50% à 70% sans perte de boue.
- 04.** Lorsque la circulation est interrompue pour des connexions, les écrans doivent être lavés avec de l'eau ou d'huile.
- 05.** Un nettoyeur à haute pression est plus efficace pour les écrans (utilise moins de fluide).
- 06.** Dans le cas de l'aveuglement de sable, essayez d'installer des écrans multicouches d'un maillage plus fin.
- 07.** Si le transport solides est lent causé par des argiles collantes, essayer d'utiliser un écran plus fin pour tenter de réduire les frottements entre solides et l'écran.
- 08.** Ne jamais utiliser des by-pass agitateurs pour empêcher la perte de boue, changer l'angle de pont ou installer des écrans plus grossiers pour gérer le flux.

09. Vérifier l'état des caoutchoucs platelage de tous les écrans de temps à autre et remplacer ceux qui sont non utilisables.
10. Éviter l'utilisation d'un excès de l'eau de lavage pour nettoyer les écrans.
11. Ne jamais laver les écrans utilisés pour OBM avec de l'eau.
12. Si on a des tamis tandem, utiliser toujours un tamis à mailles plus fines sur le pont inférieur.

VI.4.5 Maintenance et directives d'installation

Les étapes sont :

01. Suivre les recommandations du fabricant concernant l'entretien et la lubrification.
02. Porter une attention particulière au type de lubrification et le calendrier de cartouche et le style du moteur vibrant.
03. Ne pas utiliser de graisse à usage général sur les moteurs vibrants.
04. Ne pas graisser tout le moteur électrique.
05. Replacer les caoutchoucs dans le cas d'usure, déformation, ou tout autre dommage constaté.

VI.5 Dégazeurs

L'entraînement de gaz naturel dans un fluide de forage est un danger d'incendie et de nuit à l'exploitation du système de boue. Il a longtemps été une pratique courante d'installer un dégazeur immédiatement en aval du tamis vibrants pour enlever la majorité du gaz avant qu'il peut s'accumuler autour des réservoirs de boue ou de causer des problèmes de pompe qui empêchent la circulation normale de la boue. Les deux types de dégazeurs trouvés sur les plates-formes de forage peuvent être décrits soit comme «atmosphériques» ou «sous vide».

VI.5.1 Dégazeurs atmosphériques

Les dégazeurs atmosphériques sont peu coûteux, compacts et d'une efficacité limitée dans le cas de la boue de gaz coupées sévère. Ces dégazeurs sont habituellement trouvés sur les plates-formes terrestres et dépendent d'une turbine immergée et un boîtier à la pompe de liquide au-dessus du niveau de boue dans une chambre d'empiétement qui est à la pression atmosphérique. Le fluide est accéléré puis d'accélération par la conduite de la boue de forage contre la paroi intérieure de la chambre cylindrique. Le gaz s'échappe de la boue à cause de l'énergie communiquée à la surface créée en cours d'accrochage. Le gaz s'échappe dans l'atmosphère au-dessus des bacs à boue ou est dirigé vers une torchère où une unité de soufflerie est installée. L'efficacité de coupure de gaz est limitée avec de la boue profonde et est due à la turbine immergée de perdre sa capacité à pomper le fluide quand la teneur en gaz du fluide augmente.

VI.5.2 Dégazeurs sous vide

Le principe de fonctionnement des dégazeurs sous vide est connu comme le principe des couches minces. En forçant le fluide dans les couches minces sur de grandes surfaces au

sein d'une enceinte à vide, des taux élevés d'élimination des gaz occlus peuvent être réalisés dans un encombrement relativement faible.

Deux caractéristiques de dégazeurs à vide suite à une performance supérieure par rapport aux dégazeurs atmosphériques sont :

1. Le liquide est aspiré dans le dégazeur utilisant la chute de pression créée par une pompe à jet.
2. Les Dégazeurs à vide fonctionnent bien en dessous de la pression atmosphérique.

Le but de la pompe d'alimentation de gaz est souvent mal compris parce que le fluide qui est pompé n'entre jamais dans le dégazeur. La pompe d'aspiration prend en aval de dégazeur et la pompe de fluide est libre de créer la force motrice qui attire le fluide dans le vide. La pompe délivre environ 400 gallons par minute à une buse à jet avec un diamètre dans la gamme de 1 ¾ pouces pour créer une chute de pression sur le tuyau de décharge du dégazeur. Cette chute de pression crée une aspiration qui abaisse la pression dans la cuve. Le vide est maintenu par une pompe à vide qui attire le gaz libre sur le navire et dirige le gaz à la torchère.

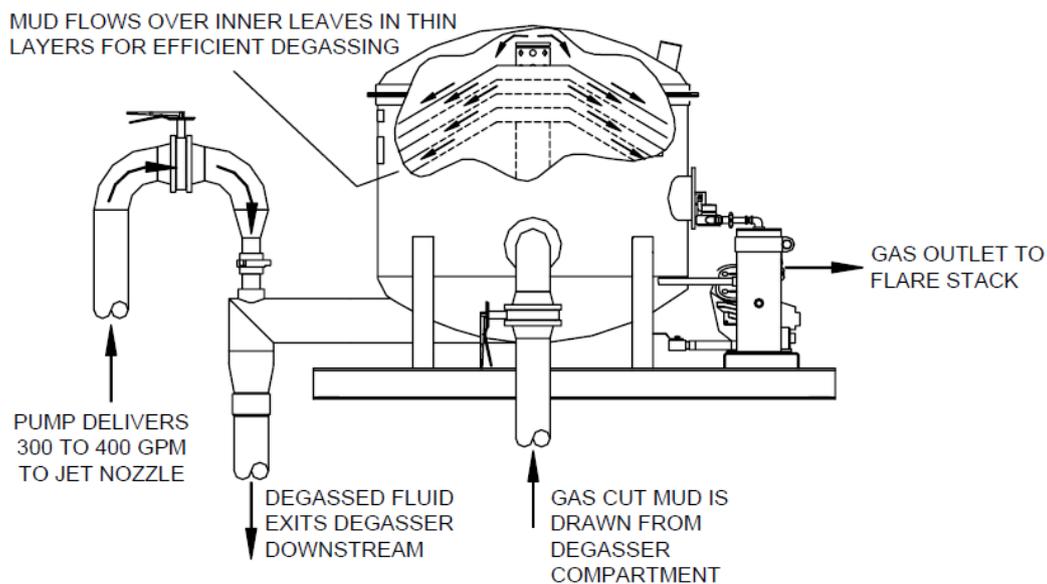


Figure VI-02 Opération Dégazeur à vide

VI.5 .3 Directives pour l'installation :

- Directives pour l'installation peuvent être résumées comme suit :

01 La pompe dégazeur doit être dimensionnée pour livrer la tête correcte et le débit de la buse par les recommandations du fabricant.

02. Le dégazeur doit traiter 125% de la vitesse de circulation maximale prévue avec les gaz contenus dans la boue. Cela peut nécessiter un changement du gicleur pour ajuster le débit.

03. Le dégazeur aspiration devrait être installé dans le compartiment juste en aval de la fosse de sable.

04. L'entrée du tuyau d'aspiration doit être de 12 à 18 pouces [300 à 450 mm] du fond du réservoir.
05. Toujours brancher la ligne d'évacuation de gaz à la torchère. (Cela signifie qu'un ventilateur doit être installé si un dégazeur atmosphérique est installé.)
06. Laisser un espace suffisant pour accéder à la trappe de nettoyage

Les orientations sont :

01. Nettoyer régulièrement le fonctionnement interne de la cuve de dégazage pour enlever la boue séchée et la barytine.
02. L'essai de fonctionnement du dégazeur doit être réalisés au moins une fois par mois.
03. Lubrifier la pompe à vide selon les instructions du manuel du BAROID.

VI.6 Mud-cleaners

Un agitateur combiné avec une unité hydro cyclone forment un "mudcleaners» ou «climatiseur de la boue.". Bien que le mud-cleaners original ait des cônes desilter monté sur un tamis vibrant fin pour traiter les boues pondérée, mud-cleaners sont utilisés pour les raisons suivantes:

01. Minimiser les déchets en récupérant une grande partie de la phase liquide qui serait perdue avec un cake d'hydro-cyclone ;
02. Améliorer le contrôle des solides des fluides pondérés en utilisant des écrans bien sélectionnés a fin de récupérer la barytine du gâteau et éliminer les solides de forage
03. Améliorer le contrôle des matières fluides non aqueuses par la récupération des fluides de base qui ne seraient pas rentable, ou écologiquement indésirables et de s'acquitter avec un gâteau d'hydro-cyclone.

VI.6.1 Caractéristiques de conception

Mudcleaners sont généralement fabriqués avec un agitateur linéaire de hautes performances comme la composante principale et une unité hydro-cyclone configuré pour s'adapter à l'application. Parfois le mudcleaner est équipé d'un ventre d'opossum et connecté à la tubulure de distribution de flux. Mudcleaners sont généralement spécifiés par leur capacité à dessabler et de fluide de forage à descendre.

VI.6.2 Directives pour l'installation.

- Les directives pour l'installation sont :

01. Assurer que les unités hydro-cyclone peuvent être accessibles en toute sécurité. Cela peut nécessiter la construction d'une plateforme en raison de l'élévation de l'hydro-cyclone sur le tamis vibrant.
02. Suivre les recommandations du fabricant pour l'entretien et la lubrification dans le manuel de BSS, en particulier le type de lubrification / calendrier des moteurs vibrants.

03. Remplacer le pont en cas d'usure en caoutchouc, de flambage ou autre dommage constaté.
04. Chaque unité hydro-cyclone devrait être capable de traiter 125% de la vitesse de circulation maximale prévue.
05. Chaque unité hydro-cyclone devrait avoir une pompe d'alimentation dimensionnée pour fournir la bonne circulation vers le collecteur d'admission.
06. La ligne de débordement doit être inclinée à environ 45 degrés pour éviter le siphonnage (siphonnage soulève effectivement la césure des cônes). Alternativement, un disjoncteur de siphon peut être installé si la ligne de débordement doit fonctionner à la verticale. La ligne de débordement devrait s'acquitter d'environ 2 pouces à 4 pouces au dessus du niveau de boue maximum.
07. S'assurer que le compartiment aval reçoit le gâteau et communique avec le compartiment de la pompe d'aspiration par un égaliseur de cake.

VI.6.3 Orientations

- Les principales orientations sont :

01. Utiliser des écrans de mud-cleaner avec les meilleures césures possibles sans excès humide.
02. Faire fonctionner la platine à angle faible pour améliorer le transport des solides.
03. Vérifier la tension de l'écran au moins une fois par tour si les écrans sont de style bande à crochets
04. Dans le cas de sable aveuglant, essayer d'installer des écrans multi-couche d'un maillage plus fin
05. Vérifier l'état des caoutchoucs platelage de tous les écrans changer et remplacer ceux qui sont usés ou manquants.
06. Ne jamais laver les écrans utilisés pour OBM avec de l'eau.
07. Vérifier la pression dans le collecteur d'admission régulière. La jauge doit être isolée par un robinet, et la vanne ne doit être ouverte que lors de la vérification de pression.

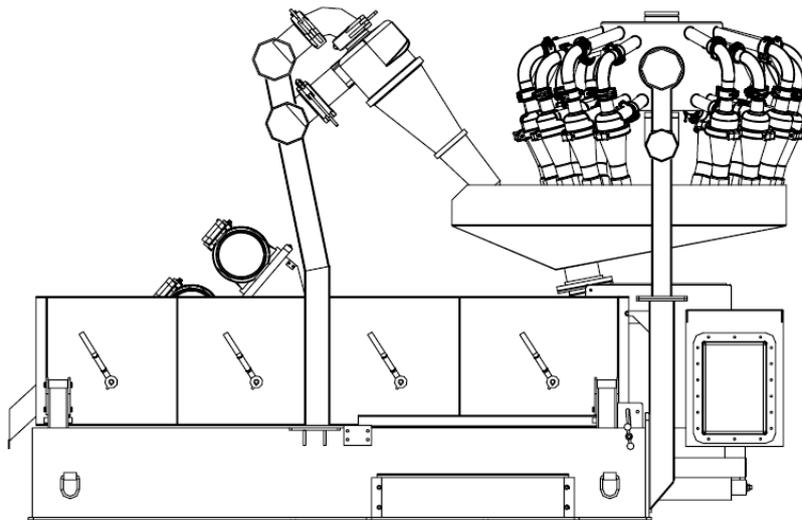


Figure VI-03 Mudcleaner D380P National Oilwell 20 / 3

VI.7 Centrifugeuses de décantation

Le contrôle de la concentration des solides de forage qui se situent dans la fourchette de 2 à 50 microns nécessite l'utilisation des centrifugeuses. Ces dernières sont plus importantes, non seulement pour le contrôle de solides, mais aussi pour d'autres processus de gestion des déchets, les applications typiques pour l'élimination des solides de faible densité, les systèmes de traitement en boucle fermés, la déshydratation, la minimisation des déchets, la fermeture de mines, et la récupération de produits utiles comme la barytine, le pétrole brut, ou les liquides synthétiques.

Les centrifugeuses offrant des taux de récupération élevée, n'ont pas besoin d'attention de l'opérateur intensive, et peut être mobilisé assez facilement. La capacité de centrifugeuses pour séparer les matières en suspension dépend de la taille et de la densité des particules à la fois. Les inconvénients cités pour les centrifugeuses comprennent les coûts d'investissement élevés, la consommation d'énergie importante, et les coûts d'entretien inhérents aux machines à grande vitesse dans un service abrasif. La clé pour réduire au minimum les inconvénients et de maximiser les avantages est de comprendre comment les paramètres opérationnels affectent les performances de centrifugation.

VI.7.1 Principes de fonctionnement

Une centrifugeuse ne peut pas séparer les matières en suspension qui se déposent. Cela signifie que les solides dissous, comme les sels et les particules de dimensions colloïdales ne peuvent pas être séparés par des séparateurs centrifuges ou en fonction de la gravité. Il est possible d'éliminer les particules colloïdales chimiquement par la floculation, ce qui les rend non-colloïdales.

Le temps et l'espace sont les deux avantages offerts par les centrifugeuses plus que les clarificateurs statique parce que les centrifugeuses créent des forces d'accélération plusieurs fois plus forte que la gravité. Comme le montre l'équation VI-04, la force centrifuge peut être calculée comme suit :

$$G_{force} = \frac{(RPM_{Bole})^2 (D_{Bole})}{70414} \quad VI-04$$

G_{force} : Force de centrifugation m/s;

RPM_{Bole} : Vitesse de rotation tr/mn;

D_{Bole} : Diamètre intérieur du Bole m;

70414 : Constant.

La loi de Stokes définit la vitesse à laquelle une particule se dépose dans un fluide, si la concentration en solides est diluée et l'interaction de particules n'empêche pas des sédimentations. Le calcul de la vitesse de sédimentation réelle à l'intérieur d'une centrifugeuse est plus complexe, mais il est important de comprendre les relations établies par la loi de Stokes.

$$VI-05 \quad V_g = \frac{d^2 (\rho_p - \rho_l)}{\eta} g$$

Avec :

V_g : Vitesse de sédimentation due à la force de gravité

d : Diamètre de la particule

ρ_p : Densité de la particule

ρ_l : Densité de liquide

g : Accélération de la gravité

η : Viscosité dynamique de liquide

Le rendement de la centrifugation peut être défini par cinq paramètres, qui sont les suivants:

- le diamètre des particules (taille);
- La différence entre la densité des solides et des boues;
- La viscosité de la boue;
- La force de l'accélération;
- Le temps de séjour.

Le carré du diamètre des particules dans la loi de Stokes signifie que la taille des particules a un effet plus important que tout autre paramètre. Si vous double la taille des

particules, les augmentations de taux de sédimentation quadruplé, ce qui explique pourquoi la floculation chimique des particules est un outil efficace pour améliorer la capture des matières solides dans une centrifugeuse.

Une centrifugeuse de décantation n'est pas un parfait séparateur ni un bon séchoir parce que certaines matières solides déchargées contiennent des liquides. Tout effort visant à améliorer la sécheresse des solides déchargés est liée à la qualité des rejets liquides. C'est parce que les deux phases sont en compétition pour le temps de séjour dans la centrifugeuse.

VI.7.2 Caractéristiques de conception mécanique

Le cœur d'une centrifugeuse de décantation est composé d'un bol, d'un convoyeur, et d'un réducteur. Une fois assemblés ces composants sont appelés un «ensemble tournant» ou «ET». Le bol est une section de cylindre ou d'une section conique. Un convoyeur hélicoïdal interne correspond au contour du bol. Une boîte de vitesses mécanique lie le bol et le convoyeur de sorte qu'ils tournent dans le même sens, mais à des vitesses légèrement différentes.

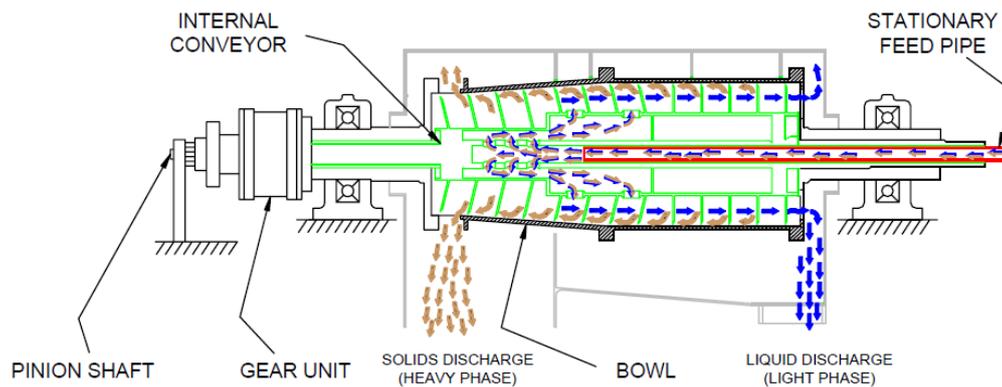


Figure VI-04 composition du centrifuge et les mécanismes de fonctionnement

La boue est accélérée avec la vitesse d'axe de transport à l'intérieur du bol. Une fois à l'intérieur du bol, la pâte forme une masse liquide cylindrique avec un noyau d'air. L'épaisseur de la masse de liquide dans la paroi intérieure du bol est connue comme "la profondeur du bassin." La profondeur du bassin est ajustée en déplaçant des déversoirs sur la tête bol. La géométrie de la cuvette en liaison avec la profondeur du bassin détermine le temps de séjour du liquide pour une vitesse d'alimentation donnée. Par exemple, si la piscine a un volume de 5 litres et le débit d'alimentation est de 10 gpm, alors le temps de séjour du liquide est de 30 secondes. Avec l'augmentation de débit d'alimentation, le liquide diminue le temps de séjour, ce qui signifie qu'il ya moins de temps pour le dépôt des solides.

La vitesse différentielle (tr / min) ou "delta" (Δ) entre le bol et le convoyeur détermine le temps de séjour des solides dans le bol. La vitesse différentielle est créée en utilisant une boîte de vitesses mécanique d'une manière inhabituelle. La boîte de vitesses tourne avec le bol, l'arbre de sortie est fixé au convoyeur, et l'arbre d'entrée (ou arbre de pignon) est

généralement fixé de manière qu'il ne peut pas tourner. Cela provoque le convoyeur de tourner à une vitesse de rotation légèrement plus lente ou légèrement plus rapide que le bol.

VI-06

$$\Delta = \frac{RPM_{Bole} - RPM_{Pinion}}{vitesse\ de\ reduction}$$

Avec :

Δ : Différence de vitesse entre le Bole et le Pinion

RPM_{Bole} : Vitesse de rotation du Bole en tr/mn

RPM_{pinion} : Vitesse de rotation du Pinion en tr/mn

Si l'axe du pignon est fixé à un objet fixe, le régime du pignon est égal à zéro et la vitesse différentielle ne varie jamais. Lorsque les conditions de processus est de dicter, un moteur à vitesse variable / frein est utilisé pour piloter l'axe du pignon, à une vitesse variable.

Le convoyeur interne pousse les solides vers les ports de déchargement sur le bol. La section conique est partiellement submergée dans la piscine, la partie non- immergée des solides peuvent drainer ou déshydrater.

L'arbre du pignon sur la boîte de vitesses doit être protégé par un dispositif limiteur de couple pour éviter des dommages mécaniques de la centrifugeuse. Les conditions à couple élevé sont dues aux raisons suivantes:

- Excès de solides chargés donc un taux élevé à l'entrée ;
- Forte concentration des solides denses comme la barytine ;
- Hautes forces G et la vitesse de bol est maximale ;
- Constitution des solides séchés ou congelés dans le bol.

VI.7.3 Directives d'exploitation

Il ya seulement quatre paramètres mécaniques qui peuvent être ajustés de contrôler les performances de centrifugation:

- Bol de vitesse (tr / min)
- Vitesse d'avance
- Pool profondeur
- différentiel de vitesse (tr / min)

Chaque paramètre affecte soit le temps de stabilisation de taux ou de séjour. Le dosage des produits chimiques est un paramètre important qui s'applique seulement lors de la floculation des boues de forage.

La vitesse du bol détermine la force centrifuge de conduite de la séparation. Les forces G permettent en générale d'améliorer la clarté et la sécheresse des solides. Cependant, la vitesse augmente, elle peut parfois gêner ou empêcher le transport des solides parce que le transporteur peut être incapable de pousser les solides jusqu'à la plage et à la sortie de la machine en raison de la hausse de la G-Force. Ceci est habituellement la première observation de diminution la clarté des effluents des boues au sein de la piscine. Il est également intéressant de noter que les coûts de maintenance d'équipements rotatifs sont proportionnels au cube de la vitesse de fonctionnement. Si la vitesse de fonctionnement augmente par un facteur de deux, les coûts de maintenance peuvent s'attendre à une augmentation octuple. La meilleure vitesse de rotation pour les toutes les applications est la vitesse minimale possible qui répond aux exigences du processus.

Toutes les centrifugeuses ont des limitations d'alimentation de débit qui dégradent la qualité de l'effluent, causant sortie des solides avec le liquide. Si le débit augmente ce qui requis par le processus, d'autres ajustements comme l'élevage de la profondeur de la piscine ou en augmentant la vitesse du bol peuvent compenser la perte de temps de séjour.

La profondeur de la piscine est un paramètre du processus extrêmement sensible et peut nécessiter des réglages fins aussi petits que ± 1 mm pour optimiser les performances.

VI.7.4 Lignes directrices pour les centrifugeuses

- 01.** Les tamis vibrants et le mudcleaners doivent être exécutés en amont d'une centrifugeuse afin que les grosses particules abrasives soient éliminées par la centrifugeuse.
- 02.** Lors du traitement des boues non pondérés, le cake (gâteau) est débarrassé avec les déchets.
- 03.** Lors du traitement des boues pondérée, le cake est retourné au système actif et les capacités des particules colloïdales sont abandonnées (ou envoyées à une unité de déshydratation).
- 04.** L'alimentation de la centrifugeuse doit être prise à partir d'un endroit bien agité du compartiment immédiatement en amont du compartiment de décharge de la centrifugeuse.
- 05.** Lorsque le cake de la centrifugeuse est retourné à la boue doit être déversé dans un endroit bien agité.
- 06.** Lorsque la centrifugation des fluides pondérées, l'alimentation doit être dilué pour réduire au minimum la viscosité d'environ 40.

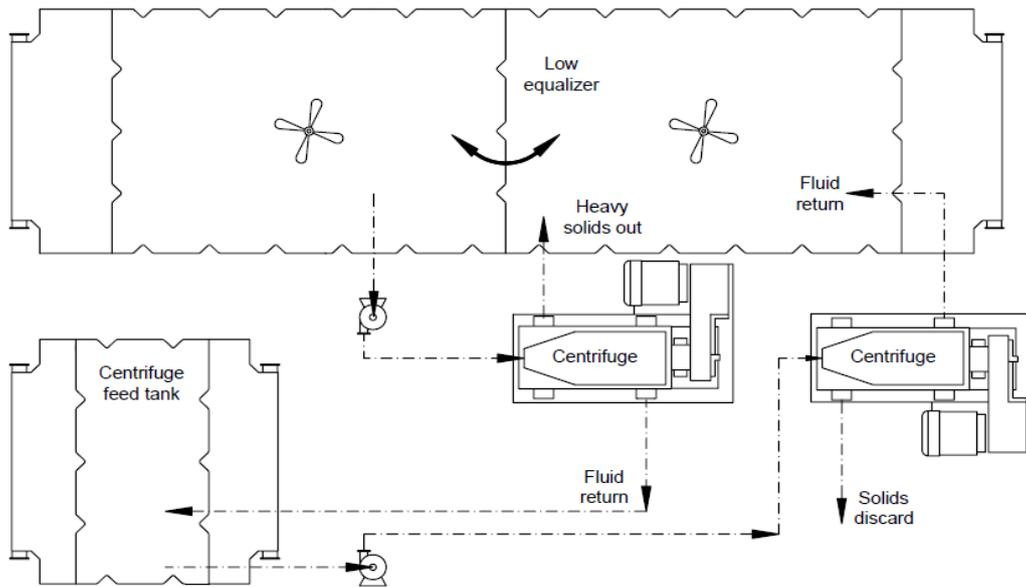


Figure VI-05 Processus d'écoulement de deux centrifuges

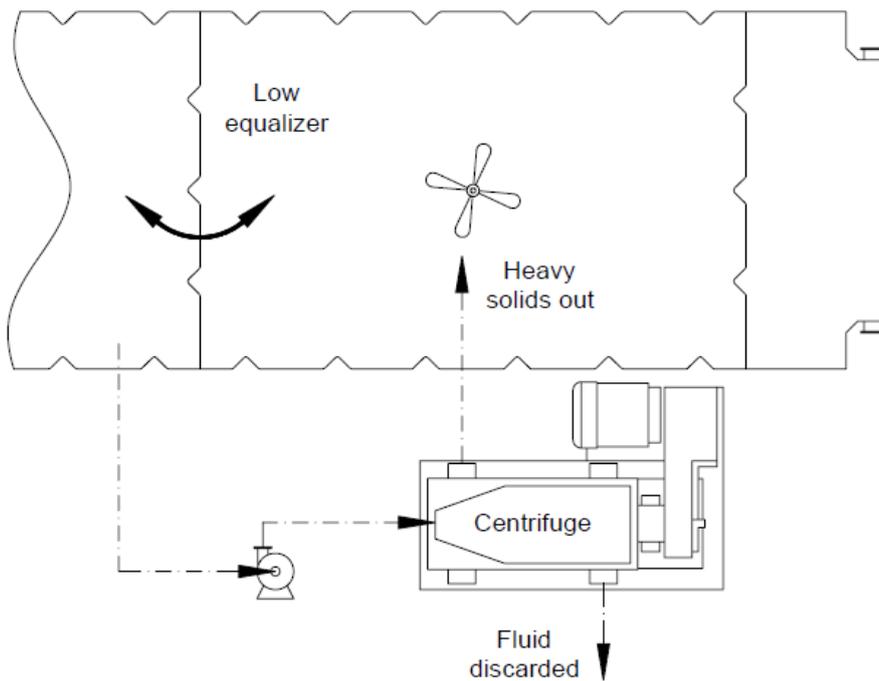


Figure VI-06 Processus de récupération de matériaux de poids

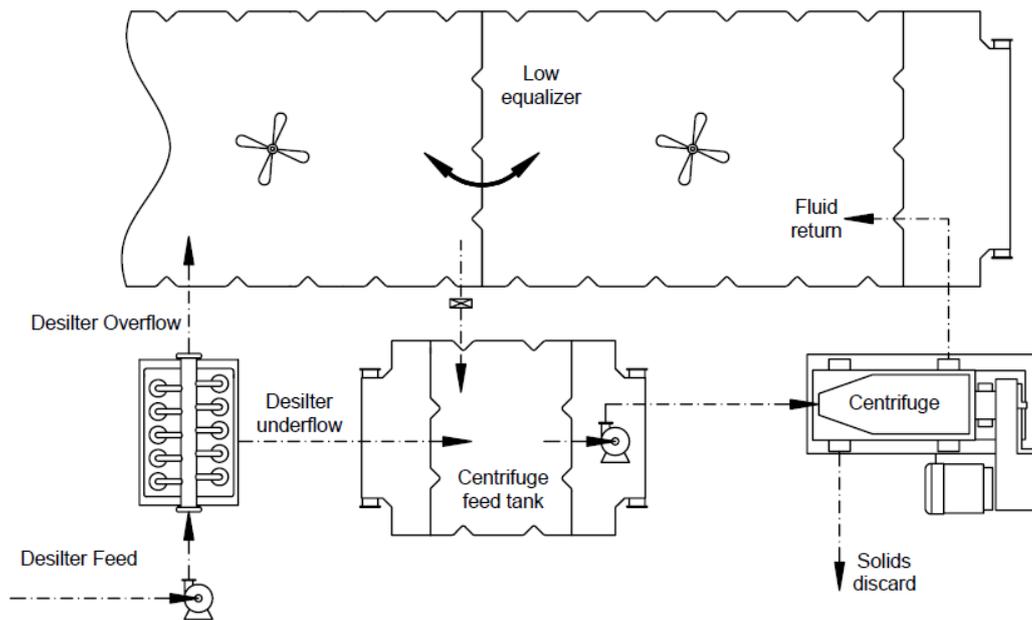


Figure VI -07 Processus pour l'élimination des solides colloïdaux

COCLUSION

Le contrôle des solides dans le fluide a pour objet d'éliminer et d'enlever l'excès de solides. La boue est contrôlée afin de maintenir la densité, car elle représente un élément physique très important. Afin d'éliminer les matières solides, nous utilisons un ensemble de méthodes et de machine –citées au dessus- accompagné par le processus de forage et qui sont : les tamis vibrants, les mud –cleaners et la centrifugeuse. Nous utilisons ces machines pour la gestion des déchets des forages à fin de préserver l'environnement.

RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES :

Baroid surface solution, solide contrôle and waste management

www.Haliburton/baroid.com

CHAPITRE V

Résultats expérimentaux et interprétations

V.1. Intérêt du travail effectué au laboratoire ;

V.2. Travail effectué au laboratoire ;

V.3. Protocole des tests de rhéologie ;

V.4. Exploitation des résultats.

Les lois de comportement rhéologique des boues sont difficiles à définir sur le plan théorique ; l'expérience reste actuellement la seule voie permettant de les maîtriser.

C'est dans cet objectif que nous allons déterminer expérimentalement les caractéristiques physiques et surtout rhéologiques de différents échantillons des boues réintégrées à base d'huile au sein du laboratoire de BASP (Company ENSP-HALIBURTON spécialisée dans le domaine des boues de forage et situé à Hassi-Messaoud).

Les boues à base d'eau ne sont pas recyclées dans la zone de Hassi Messaoud lorsqu'elle n'est pas nocif à l'environnement; moins coûteux et son utilisation dans la première phase de forage,

V.3.1. Rhéomètre à régime transitoire

Les rhéomètres à régime transitoire sont utilisés essentiellement pour déterminer le comportement viscoélastique des matériaux linéaires, aussi bien solides que liquides. On soumet l'échantillon à une sollicitation instantanée, qui est maintenue constante, Pendant un certain intervalle de temps qui précède l'établissement d'un régime permanent, le matériau manifeste un comportement dépendant de temps ; l'étude de ce régime « transitoire » permet la détermination des propriétés viscoélastiques.

Il existe deux types de rhéomètres transitoires les rhéomètres à fluage et les rhéomètres à relaxation.

. Rhéomètres à fluage

Définition : L'expérience de fluage est une expérience au cours de laquelle une certaine amplitude constante τ est appliquée à l'échantillon étudié à partir de l'instant initial $t=0$. La déformation de cisaillement correspondante $\varepsilon(t)$ est mesurée, pour un matériau linéaire. On peut alors déduire la fonction de fluage $f(t)$.

$$f(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\tau} \quad \forall 01$$

Un rhéomètre à fluage est donc capable :

- D'imposer à un instant donné une contrainte constante τ connue ;
- De mesurer la déformation de cisaillement correspondante $\varepsilon(t)$ et d'en suivre sur l'évolution dans le temps.

. Rhéomètres à relaxation

L'expérience de relaxation consiste à soumettre l'échantillon initialement au repos à une déformation instantanée qu'on maintient constante et à enregistrer l'évolution des contraintes au cours du temps. L'analyse de la fonction de relaxation, fournit le spectre des temps de relaxation, ainsi que les modules de rigidité associés à chaque élément de maxwell du modèle de maxwell généralisé.

Il existe aussi une dualité parfaite entre les expériences de fluage et de relaxation, l'échelon de contrainte étant remplacé par un échelon de déformation. Alors les expériences de fluage ne peuvent être mises en œuvre que par des rhéomètres pilote en contrainte, il faut faire appel à des rhéomètres pilotes en déformation pour réaliser les tests de relaxation. Ces deux modes de pilotage étant exclusifs l'un de l'autre.

Il existe aussi une expérience dite de « **relaxation généralisée** ». Elle consiste, le matériau étant dans un état d'écoulement permanent. Caractérisé par une vitesse et une contrainte de cisaillement constantes, à ramener instantanément cette vitesse à zéro et à mesurer l'évolution de la contrainte au cours du temps.

Ce type d'expérience peut être réalisé très facilement dans la plupart des rhéomètres rotatifs : *il suffit pour cela qu'on puisse faire varier instantanément la vitesse de rotation du mobile de w_0 à 0*. Il s'applique aux substances à comportement liquide (puisque récupérant l'existence d'un régime initial d'écoulement) en analysant le graphe enregistré $\tau = t$ traduisant la relaxation dans le temps de la contrainte, on peut déterminer certaines propriétés viscoélastiques du matériau.

Dans le cas du liquide viscoélastique linéaire le plus simple « le liquide de maxwell », l'équation rhéologique s'écrit selon la relation suivante :

$$j \frac{d\tau}{dt} + \frac{1}{\eta} \tau = \varepsilon \quad \text{V 02}$$

Lorsque la vitesse de cisaillement est brutalement ramenée à zéro, la contrainte τ satisfait l'équation :

$$j \frac{d\tau}{dt} + \frac{1}{\eta} \tau = 0 \quad \text{V 03}$$

Soit encore :

$$\frac{d\tau}{\tau} = -\frac{dt}{\theta} \quad \text{V 04}$$

Où $\theta = \eta j$ est le temps de relaxation du liquide de Maxwell. Équation qu'on intègre aisément entre instant $t=0$ où la contrainte est égale à la contrainte initiale τ_0 et l'instant t où la contrainte est τ :

$$\int_{\tau_0}^{\tau} \frac{d\tau}{\tau} = - \int_0^t \frac{dt}{\theta} \quad \text{V 05}$$

$$\tau = \tau_0 e^{-t/\theta} \quad \text{V 06}$$

La contrainte décroît donc exponentiellement au cours du temps, à partir de sa valeur initiale τ_0 figure V-01

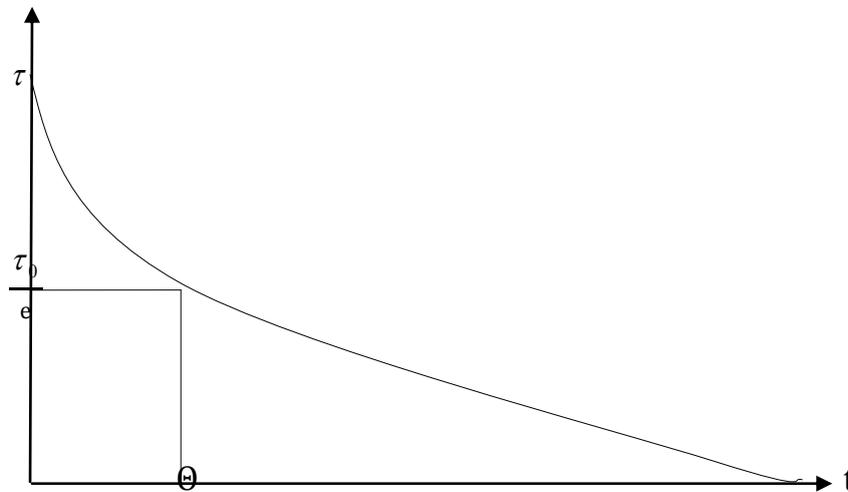


Fig V.01 Relaxation du liquide de Maxwell

Il est facile à partir de cette courbe de calculer le temps de relaxation θ du liquide de Maxwell : par exemple, en déterminant le temps $t = \theta$ au bout duquel la contrainte initiale τ_0 est ramenée à $\frac{\tau_0}{e}$, connaissant le coefficient de viscosité par des mesures en régime permanent, il est alors possible de déduire le coefficient de complaisance élastique j du modèle.

Il faut noter que le rhéomètre ne mesure pas directement la contrainte τ mais le couple M qui à condition de négliger les forces d'inertie (approximation d'autant plus justifiée que l'entrefer est petit), lui est proportionnel.

Il semblait que cette méthode puisse être adaptée à un liquide viscoélastique linéaire plus complexe que le liquide de Maxwell. Cependant, compte tenu de l'imprécision du dispositif expérimental, une telle étude n'aurait guère de signification : l'expression décrite ici est seulement susceptible de fournir l'ordre de grandeur des paramètres η, J du modèle décrivant un comportement très voisin du liquide de Maxwell.

V.1. Intérêt du travail effectué au laboratoire

Lors du recyclage d'un fluide de forage, l'utilisation des polymères et leur efficacité sont directement liés à la connaissance de la relation existant entre leur structure chimique (macrostructure et microstructure) et leurs propriétés en solution à fin de répondre aux besoins de la demande.

L'étude au laboratoire a été entreprise pour évaluer l'influence exercée par les paramètres structuraux couramment utilisés pour la reformulation des fluides de forage à base d'huile sur les performances en tant que réducteurs de filtrat ou viscosifiant ainsi que le rapport huile/eau de point de vue technico-économique .

Ce rapport fait la synthèse des divers types de polymères hydrosolubles fournis au laboratoire et qui ont un intérêt pratique et définit les paramètres structuraux et fonctionnels gouvernant leurs comportements rhéologiques et leur efficacité en fonction d'un certain nombre de paramètres extérieurs (salinité, température...etc).

V.2. Travail effectué au laboratoire

Produits et appareillages

Produits:

- Bentonite brute ;
- Baryte (BaSO_4 alourdissant) ;
- Additif viscosifiant BASP ;
- Chlorure de sodium (NaCl);
- Eau de robinet ;
- Eau distillée ;
- Gasoil ;
- Invermul + Ez-mul (émulsifiants primaire + émulsifiants secondaire anioniques BASP) ;
- Réducteurs de filtrat BASP;
- viscosifiants BASP;
- CaCO_3 ;
- Chlorure de calcium (CaCl_2) ;
- La chaux éteinte (Ca(OH)_2) ;
- Hydroxyde de sodium (NaOH);
- Indicateur coloré $-\text{H}_2\text{SO}_4\text{-AGNO}_3\text{- EDTA-}$;
- Carbonate de sodium (Na_2CO_3);
- Briseur d'émulsifiant

V.3. Protocole des tests de rhéologie

Appareillages:

- Verrerie usuelle;
- Agitateurs mécaniques "Hamilton Beach" et magnétiques;
- Tiges d'agitation métalliques et en verre;
- Pipette "Robinson kohn";
- Etuve rotative;
- Filtre presse API;
- Filtre HPHT;
- Rhéomètre Fann 35SA + thermocup ;
- Distillateur;
- Testeur d'émulsion
- Cellule haute température;
- Densimètre boue;
- Balance numérique.
- Stabilisateur Electrique
- Four.

Ce sont des appareils standards propres au domaine des fluides de forage selon les normes API.

V.3.1. Mesures avec le rhéomètre Fann 35SA

Description de l'appareil

C'est un appareil de type rotatif à deux cylindres coaxiaux, entraîné par un moteur électrique. La boue se trouve dans l'espace annulaire entre les deux cylindres. Le cylindre extérieur (rotor) tourne à une vitesse constante. La rotation produite par un couple de torsion dans la boue se transmet sur le cylindre intérieur (Bob). Un ressort de rappel (spring) arrête le mouvement de ce cylindre. La tension sur le ressort est transmise à une aiguille liée à un cadran de lecture étalonné.

Ce genre d'instruments est fourni sur une large variété de modèles, essentiellement selon la gamme de vitesses de rotation réalisées.

L'appareil utilisé est le Fann 35SA de Fann instruments; il présente les caractéristiques suivantes:

- Moteur Synchrone (220V, 50Hz) à deux vitesses (min, max);
- Gamme de vitesses de rotation N: 3, 6, 100, 200, 300 et 600 trs/min qui ($\dot{\gamma}$ respectivement : 5.1, 10.2, 170, 340, 510, 1020 s^{-1}). Elles sont variées par le biais de l'interrupteur et du bouton moleté de changement de vitesse au-dessus de l'appareil.

- Gamme de viscosité : 1 à 30.000 cP
- Température maximale 200°F
- Cylindre extérieur (rotor) :
 - Diamètre intérieur 36.83 mm
 - Longueur 87 mm
 - Trait (repère) d'immersion 58.4 mm à partir du bas du cylindre
- Cylindre intérieur (Bob):
 - diamètre 34.49 mm
 - longueur 38 mm
- Constante de torsion du ressort (spring) : 386 dyne.cm / degré

Lors de tests, la boue est mise dans un récipient thermostaté (Thermocup), muni d'un thermomètre (en °F).

V.3.2. Protocole des mesures

Dans notre travail, on a utilisé la boue à base d'huile, on fait le recyclage avec des différents polymères (viscosifiants-réducteurs de filtrat ...etc) pour les boues à base d'eau utilisée dans le but de connaître l'influence des conditions de forage « première phase » sur les propriétés rhéologiques et les caractéristiques physicochimiques de cette boue, en répondant aux besoins de la demande et en procédant comme suit :

- Varier la nature du viscosifiant pour la boue selon nos besoins;
- Varier les réducteurs de filtrat en qualité et en quantité selon nos besoins ;
- Vérifier l'électro-stabilité pour les boues à base d'huile ;
- Calculer le Sag facteur (vérification du taux de décantation) ;
- Calculer le pourcentage d'occupation [(eau/huile/solide)] ;
- Calculer les paramètres physicochimiques des boues recyclées.

Après l'identification des propriétés de chaque boue réintégrée, des essais spécifiques de comportement nous ont permis de tracer les rhéogrammes et d'identifier la loi de comportement appropriée à chaque nouvelle formulation, le modèle rhéologique ainsi que les caractéristiques rhéologiques propres à chacune.

Selon les normes API, la boue est assimilée à un fluide thixotrope obéissant au modèle de Bingham. Son comportement rhéologique est essentiellement caractérisé par la viscosité plastique (VP), la contrainte seuil (Yield Point), ainsi que la résistance du gel et son évolution dans le temps.

Le test se fait comme suit :

On met la boue récemment agitée dans le thermo-cup, et on immerge les cylindres coaxiaux exactement jusqu'à la ligne de repère du rotor. On agite doucement jusqu'à atteindre la température désirée. On fait tourner le moteur à 600 trs/min, on attend que l'aiguille se stabilise et on prend la lecture à 600 trs/min. en suite la même démarche d'une manière descendante pour les autres vitesses 300, 200, 100, 60, 30, 6trs/min.

Les constantes de l'appareil sont prévues de telle façon que les lectures sur cadran correspondent aux contraintes de cisaillement exprimées en livre/100 pieds carrés (lbs/100) et que la viscosité plastique (Pv) en (cP) et la Yield Point (YP) en (lbs/100) soient déterminées directement à partir des lectures à 600 trs/min et à 300 trs/min.

Ainsi, selon ces normes on a :

- V_P (cP) = lecture à (600 trs/min) - lecture à (300 trs/min)
- Y_P (lbs/100ft²)=lecture.à300trs/min).- V_P (cP)

Par ces mêmes normes, le caractère thixotrope de la boue est évalué par la mesure de la force de gel après 10s et 10min au repos. (Gel0 et Gel10 respectivement). Pour les déterminer on agite la boue à 600 trs/min pendant 15s, on laisse reposer pendant 10s puis on fait tourner à 3trs/min. la déviation maximale relevée sur le cadran constitue le Gel0 en (lbs/100). On agite à nouveau, on laisse reposer pendant 10 min, et on refait tourner à 3trs/min. la déviation maximale relevée sur le cadran constitue le Gel10 en (lbs/100).

Les paramètres du modèle de Bingham (Pv, YP) ainsi déterminés, ne constituent pas les caractéristiques réelles du fluide étudié. En fait ce sont des indices pratiques adoptés par les normes API, qui permettent d'avoir certaines informations sur le comportement rhéologique du fluide et surtout de juger de sa qualité, d'où leur grande importance, surtout sur chantier.

- **Tableau de conversion :**

Vitesse de cisaillement	$1 \dot{\gamma} \text{ (s}^{-1}\text{)} = 1.7 \text{ N (trs/min).}$
Contrainte de cisaillement	$1 \text{ Pa} = 2.0885 \text{ lbs/100 ft}^2.$
Viscosité	$1 \text{ Pa.s} = 10^3 \text{ Centipoise.}$
Température	$1 \text{ T (}^\circ\text{C)} = [\text{T(}^\circ\text{F)} - 32]/ 1.8.$

V.4. Exploitation des résultats

V.4.1. Rhéologie de trois échantillons à base d'huile avec différentes densités :

Les tableaux de V -1 à V -3 donnent les formulations des boues et leurs densités

Tableau V-1- Formulation d'une boue légère de densité $D=0,87$:

Gasoil	Invermul	Ez-Mul	Duraton	Gelton	Chaux	Eau($H_2O+CaCl_2$)
910 ml	10 ml	06 ml	15 g	17 g	20 g	50 ml

Tableau V-2- Formulation d'une boue moyenne de densité $D=1,20$:

Gasoil	Invermul	Ez-Mul	Barablock	Gelton	Baryte	Chaux	ESS
583 ml	12ml	06 ml	05 g	12 g	380 g	20 g	270 ml

Tableau V-3- Formulation d'une boue lourde de densité $D=1,47$:

Gasoil	Invermul	Ez-Mul	Duraton	Gelton	Baryte	Caco3	ESS
730 ml	14 ml	06 ml	10 g	08 g	504 g	398 g	124 ml

- Rhéologie des formulations N° 1 ; 2 et 3 à base d'huile après utilisation (boues réintégrées) :

Les graphes Fig.V-1àfigV-8définissent la rhéologie des trois formulations avant et après recyclage

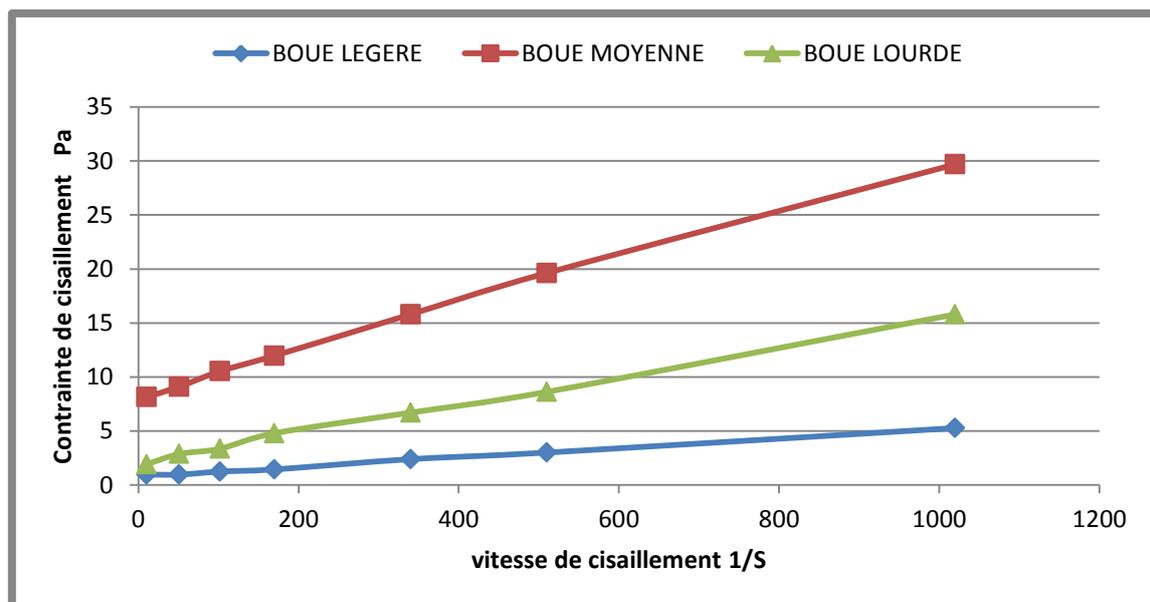


Figure V.2: Rhéogrammes des échantillons de boue réintégrée à base d'huile.

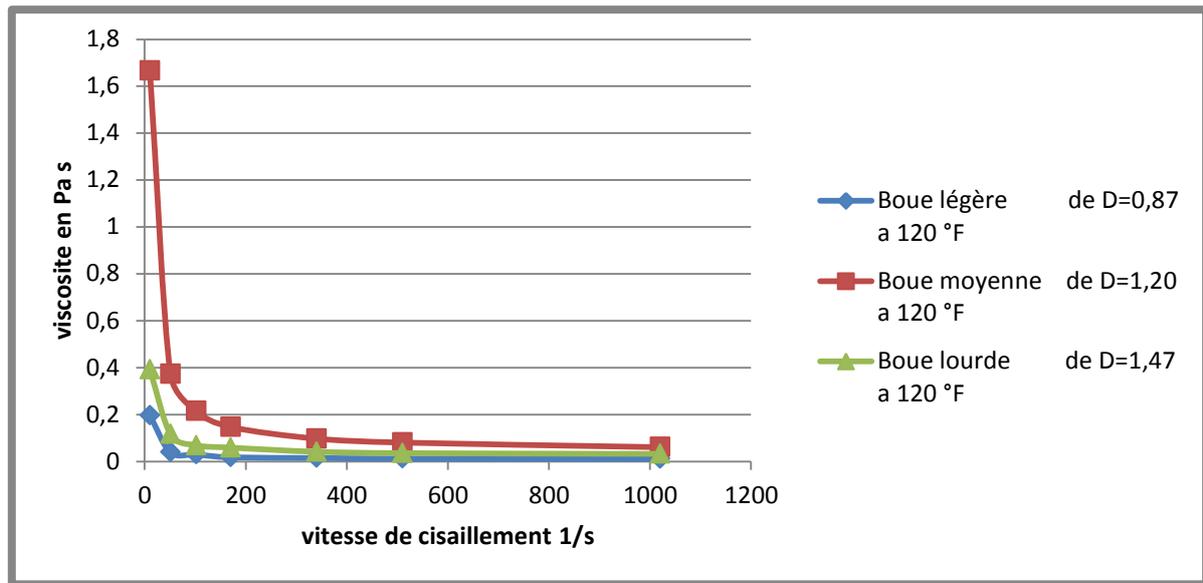


Figure V.3: Viscosités des échantillons en fonction en fonction du gradient de vitesse.

Tableau V.4: Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques :

Paramètres rhéologiques	Unité	Boue légère de D=0,87 a 120 °F	Boue moyenne de D=1,20 a 120 °F	Boue lourde de D=1,47 a 120 °F
Gèle 10S	lbs/100 ft2	2	19	5
Gèle 10min	lbs/100 ft2	3	23	7
YP	lbs/100 ft2	1	20	3
VP	CP	5	21	15
VA	CP	5,5	31	16,5
Densité	-	0,87	1,20	1,47
Huile/Eau	%	96/4	70/30	83/17
ES *	V	1284	579	521
HP-HT **	MI	11,6	7	4

* E .S : électro-stabilité.

** HP-HT: hautes pressions / hautes températures

V.4.1.1 Recyclage des boues avec différents viscosifiants

1. Recyclage de la boue légère de densité 0,87 :

- Traitement par addition de N-VIS

La boue désirée devrait avoir les caractéristiques suivantes $Y_p=3$ et $R_{H/E}=96/4$

Les polymères ajoutés sont donnés dans le tableau V.5

Tableau V.5: Additifs à la boue de retour :

Additifs	Fonction	Quantité ajoutée en g/l
N-VIS « bio-polymère »	Viscosifiants	3
Barablock	Réducteur de filtrat	10
Caustic soude	Alcalinité	1

On traite les boues de retour par ces additifs avec des dosages bien précis à fin de maintenir les caractéristiques rhéologiques et les paramètres physico-chimiques selon nos exigences (on prend en considération les paramètres dégradés pendant le forage).

- Rhéologie de l'échantillon N° 1 après recyclage par l'addition de N-VIS à différentes températures

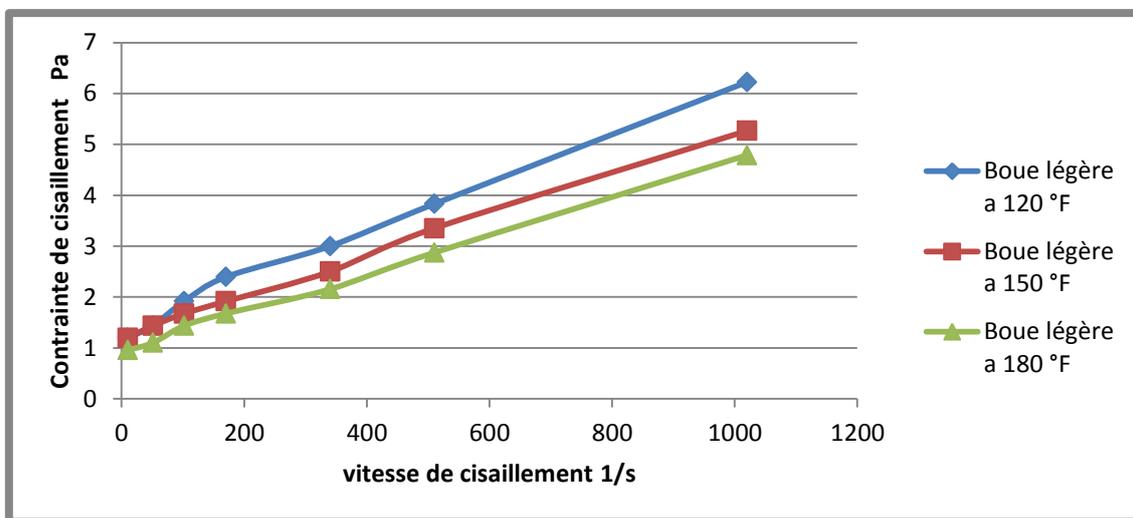


Figure V.4: Rhéogrammes de la boue légère après le recyclage par N-VIS à différentes températures.

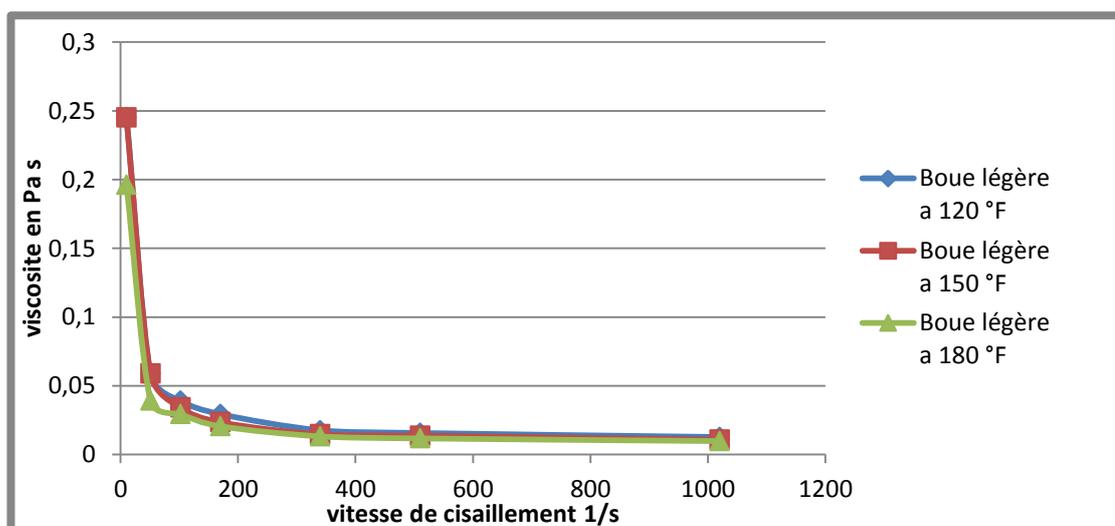


Figure V.5: Viscosité de la boue légère après recyclage par N-VIS à différentes températures en fonction du gradient de vitesse.

Tableau V.6 : Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques après ajouts de N-Vis :

Paramètres rhéologiques	Unité	Boue légère à 120 °F	Boue légère à 150 °F	Boue légère à 180 °F
Gèle 10S	lbs/100 ft2	5	4	4
Gèle 10min	lbs/100 ft2	6	5	5
YP	lbs/100 ft2	3	3	2
VP	CP	5	4	4
VA	CP	6,5	5,5	5
Densité	-	0,87	0,87	0,87
H/E	%	96/4	96/4	96/4
ES	V	1115	1115	1115
HP-HT	ml	9	9	8

Interprétation des paramètres rhéologiques et physiques

On constate ce qui suit :

- Le filtrat est réduit après traitement de 11,6 ml jusqu'à 9 ml.
- Les propriétés rhéologiques de la boue recyclée sont plus importantes que celles de la première formulation.
- N-VIS est un apport de viscosité ce qui justifie l'augmentation de Yp et permet par conséquent une bonne circulation des transports solides.
- Stabilisation des schistes et réduire l'érosion produite au cours du forage.

2. Recyclage de la boue Lourde de densité 1,47 :

- Traitement par addition de N-VIS O

La boue désirée devrait avoir les caractéristiques suivantes : $Y_p=6$ et $R_{H/E}=70/30$

Le N-VIS O joue les deux rôles à la fois la viscosité de la boue et la mise en suspension (phase 6 pouces)

Tableau V.7: Additifs à la boue de retour :

Additifs	Fonction	Quantité ajoutée en g/l
N-VIS O « bio-polymère »	Viscosifiants+Agent de suspension	8
Barablock	Réducteur de filtrat	2
CausticSouda	Alcalinité	1

- Rhéologie de l'échantillon N° 3 après le recyclage par l'addition de N-visO à différentes températures

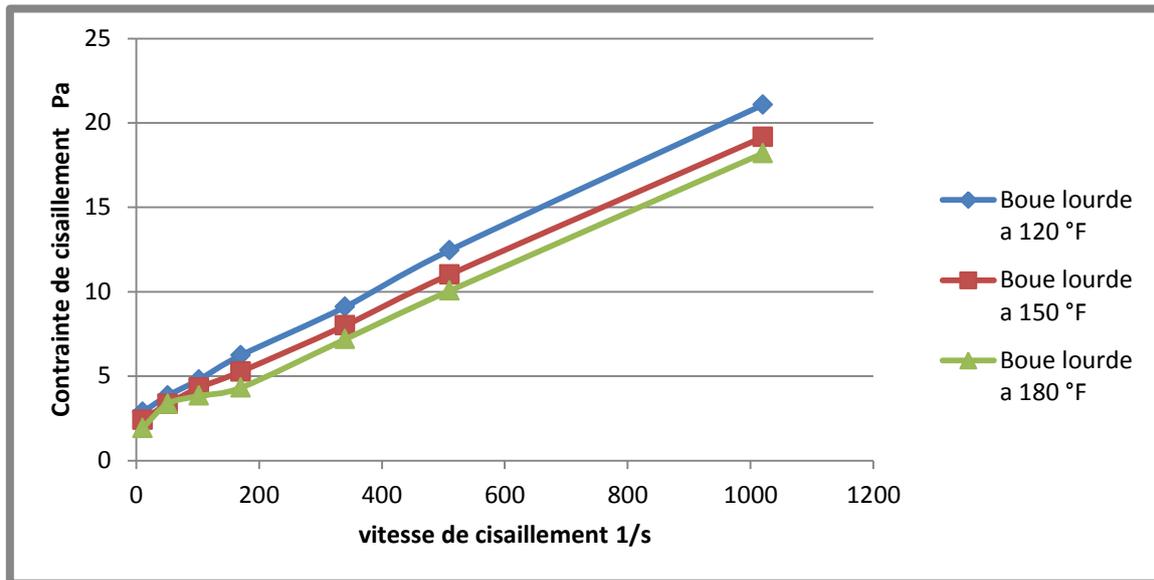


Figure V.6: Rhéogramme de la boue lourde après recyclage par N-VIS O à différentes températures

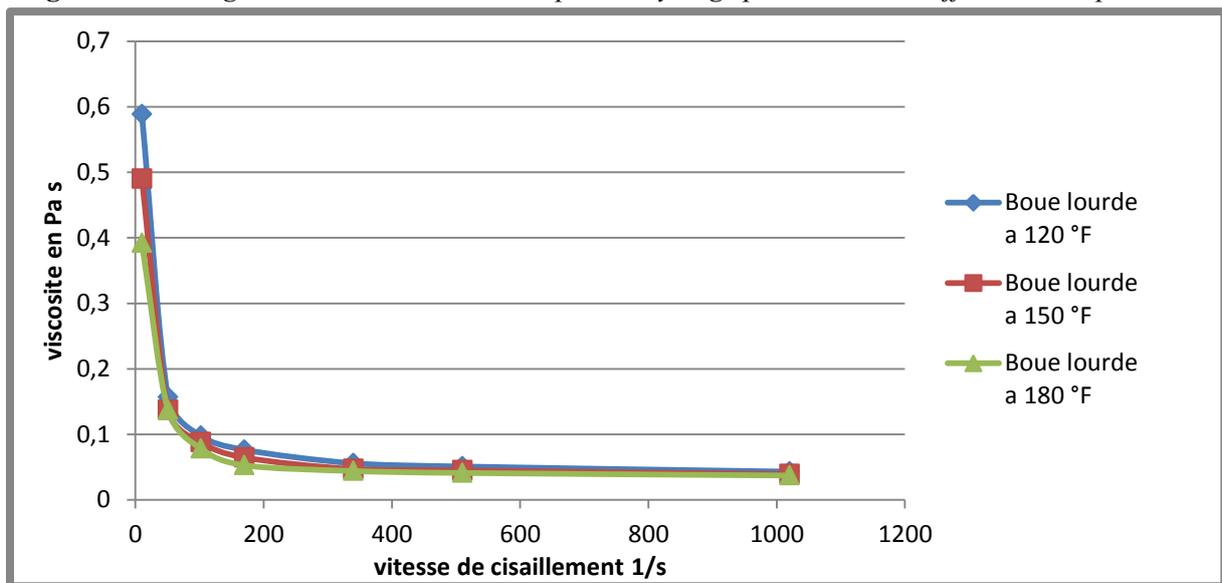


Figure V.7: Viscosités de la boue lourde après recyclage par N-VIS O à différentes températures en fonction du gradient de vitesse.

Remarque:

- N vis-o maintient la boue en suspension dans le cas de l'arrêt de forage.

Tableau V.8: Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques :

Paramètres rhéologiques	Unité	Boue lourde à 120 °F	Boue lourde à 150 °F	Boue lourde à 180 °F
Gèle 10S	lbs/100 ft2	05	4	4
Gèle 10min	lbs/100 ft2	07	6	5
YP	lbs/100 ft2	8	6	4
VP	CP	18	17	17
VA	CP	22	20	19
Densité	-	1,47	1,47	1,47
H/E	%	70/30	70/30	70/30
ES	V	534	534	534
HP-HT	MI	4	4	4

Interprétation des paramètres rhéologiques et physiques

- Les propriétés rhéologiques la boue recyclée avec N - Vis O sont plus élevées que celles la formulation de base.
- H/E est diminué, ce qui implique un abaissement de l'électro-stabilité et par conséquent un déficit d'émulsification.
- N vis-o est un apport de viscosité ce que justifie l'augmentation de Yp

3. Recyclage de la boue Moyenne de densité 1,20 :

- Traitement par addition d'Aquagel Gold (apport de viscosité) :

La boue désirée devrait avoir les caractéristiques suivantes $Y_p=17$ et $R_{H/E}=86/14$

On ajoute les polymères suivants

Tableau V.9: Additifs à la boue de retour

Additifs	Fonction	Quantité ajoutée en g
Aquagel Gold « bio-polymère »	Viscosifiants	8
Barablock	Réducteur de filtrat	8

- Rhéologie de l'échantillon N° 2 après le recyclage par l'addition d'Aquagel Golda à différentes températures

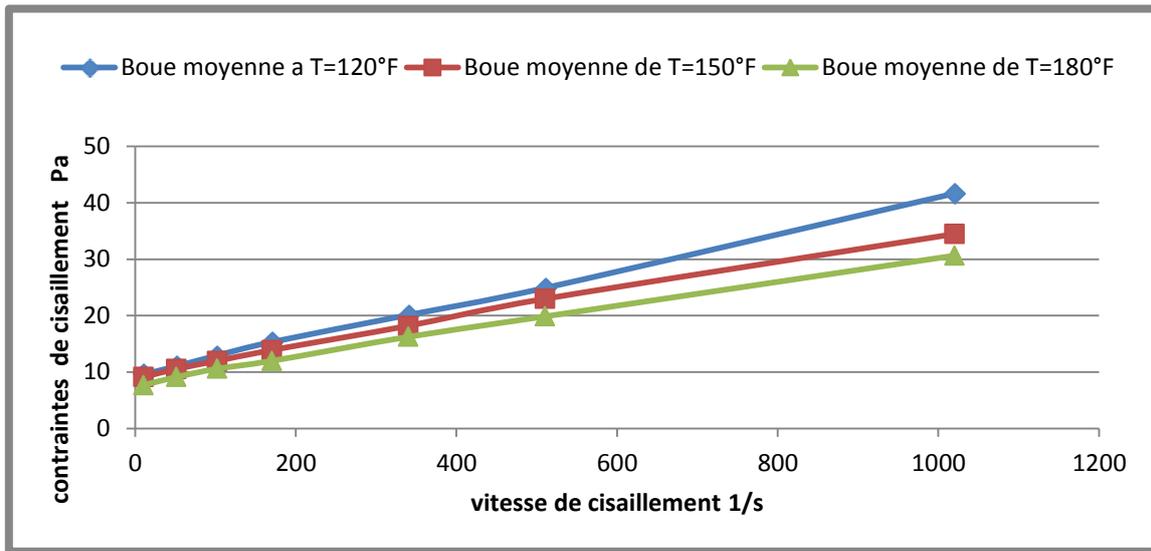


Figure V.8 : Rhéogrammes de la boue moyenne après le recyclage par Aquagel Golda à différentes températures.

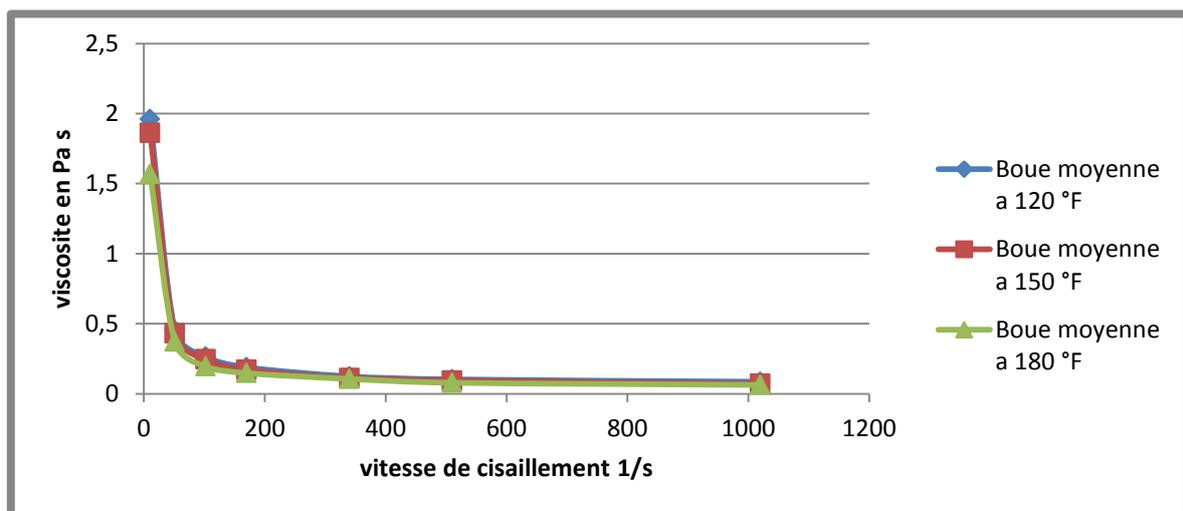


Figure V.9: Viscosité de la boue moyenne après le recyclage par Aquagel Golda à différentes températures en fonction du gradient de vitesse.

Observation :

- Aquagel maintient la boue en suspension pendant l'arrêt de forage.

Tableau V.10: Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques :

Paramètres rhéologiques	Unité	Boue moyenne à 120 °F	Boue moyenne à 150 °F	Boue moyenne à 180 °F
Gèle 10s	lbs/100 ft2	20	20	20
Gèle 10min	lbs/100 ft2	27	26	25
YP	lbs/100 ft2	17	24	16
VP	CP	35	24	24
VA	CP	43,5	36	32
Densité	-	1,20	1,20	1,20
H/E	%	86/14	86/14	86/14
ES	V	702	702	702
HP-HT	ml	4	3	3

Interprétation des résultats des paramètres rhéologiques et physiques :

- Aquagel est un apport de viscosité **Vp avant=21cp** et **Vp après= 35cp**. à 120 °F
- H/E augmente implique l'augmentation de l'électro-stabilité ce qui confirme l'émulsification de la boue ;
- Le filtrat est diminué après le traitement par le Barablock de HPHT avant= 7ml aHPHT après= 4ml.
- Les propriétés rhéologiques la boue recyclées sont beaucoup plus élevées que celles de la première formulation.

Remarques et comparaison :

Après avoir analysé les résultats, nous pouvons conclure que :

- Les paramètres rhéologiques du viscosifiant Aquagel utilisé pour le recyclage de la boue moyenne sont très importants comparativement à ceux utilisés pour des boues légère et lourde.
- Aquagel est le bio-polymère le moins nocif pour l'environnement par rapport à ceux utilisés pour les autres boues mais c'est aussi le plus coûteux
- Le caustic de soude joue un rôle important dans la basicité de la boue pour jouer le rôle d'inhibiteur du gonflement d'argile.
- N-VIS O est un bio-polymères qui joue les rôles à la fois de viscosifiant et de mise en suspension de la boue par contre le N-VIS est un viscosifiant.
- Les résultats obtenus dévoilent toute la sensibilité de la boue à base d'huile à la chaleur, bien que le fluide garde toujours une difficulté à s'écouler.

- Le Barablock montre sa fiabilité dans le contrôle et de réduction de filtration et peut également stabiliser efficacement les schistes fragiles et réduire les affouillements.

V.4.1.2 Recyclage des boues au cours de forage de la même phase (même forme géologique) :

- Traitement par addition Dextrid (réducteur de filtrat)

La boue désirée devrait avoir les caractéristiques suivantes $Y_p=6$ et $R_{H/E}=77/23$

Tableau V.11: Additifs à la boue de retour

Additifs	Fonction	Quantité ajoutée en g/l
Caustic Souda	Alcalinité	2
Dextrid	Réducteur de filtrat	10
Eau(H ₂ O+Cacl ₂)	Diluant	10

- Rhéologie de l'échantillon N° 4 à base d'huile après le recyclage

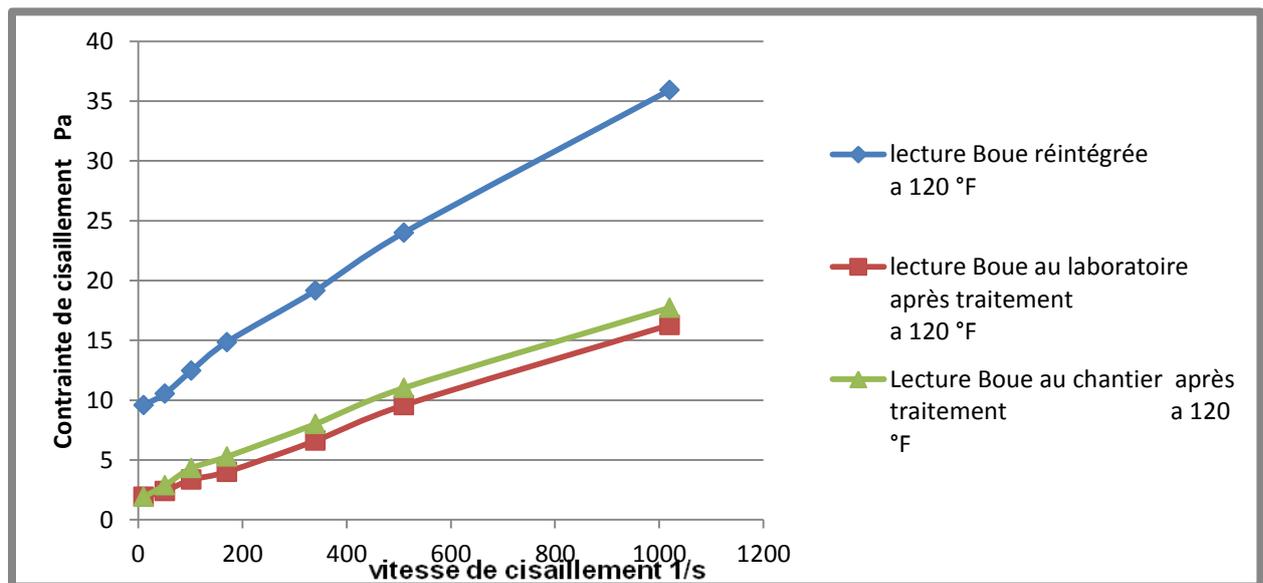


Figure V.10: Rheogrammes de la boue après le recyclage par Dextrid.

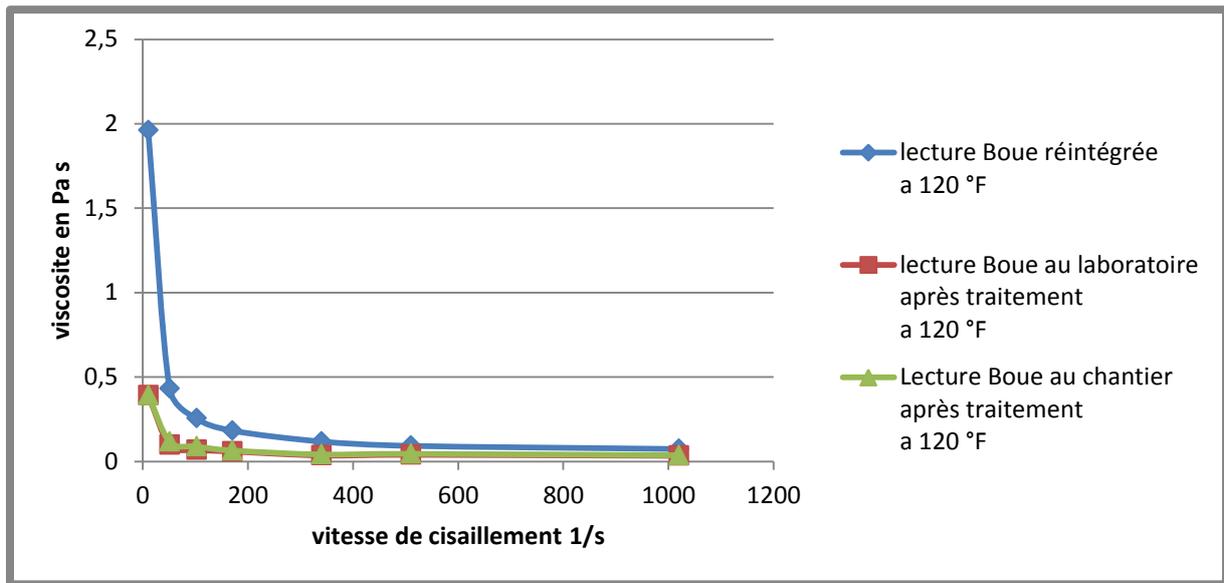


Figure V.11: Viscosité de la boue après recyclage par Dexrid en fonction du gradient de vitesse.

Tableau V.12: Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques :

Paramètres rhéologiques	Unité	lecture Boue réintégrée a 120 °F	lecture Boue au laboratoire après traitement a 120 °F	Lecture Boue au chantier après traitement a 120 °F
Type	-	Invermul	Invermul	Invermul
Appareil	-	TP 202	TP 202	TP 202
Phase	Pouce	16	16	16
Gèle 10s	lbs/100 ft2	15	3	3
Gèle 10min	lbs/100 ft2	20	5	5
YP	lbs/100 ft2	19	6	6
VP	CP	28	14	14
VA	CP	37,5	17	18,5
Densité	-	1,43	1,20	1,20
H/E	%	80/20	77/23	78/22
ES	V	758	420	423
HP-HT 200F 500 psi	MI	7,6	2,4	2,4
LGS	%L	3,99	1,26	2,22
HGS	%L	15,24	10,24	9,43
NaCl dans l'eau douce	g/l	118,36	209,23	225,56
Cacl2 dans l'eau douce	g/l	95,06	123,41	119,43

Interprétation des résultats des paramètres rhéologiques et physiques

- Nous observons une réduction de filtrat après traitement par le Dexrid de HPHT avant=7,6ml à HPHT après=2,4ml.
- La diminution du rapport Huile/Eau (H/E) implique l'abaissement de l'électro-stabilité et par conséquent un déficit d'émulsification.
- L'augmentation de Yield-value de la boue réintégrée est due à la contamination lors de forage en revanche ; elle a diminué après le traitement par le Dexrid en

agissant sur les charges superficielles des particules pour qu'on puisse avoir une YP faible qui est souvent prise comme critère de bon équilibre chimique.

- Ca^{++} jouent le rôle d'inhibiteurs d'argile (anti-gonflement), mais il faut être prudent avec l'ion de calcium puisqu'un excès de ce dernier peut rendre instables des colloïdes organiques, et déplacer l'équilibre d'échange de cations dans l'argile, qui perturbe le filtrat et la rhéologie c'est pour ça on a favorisé le milieu alcalin par l'ajout de NaCl.

- Traitement par addition Barazan

La boue désirée devrait avoir les caractéristiques suivantes $Y_p=25$ et $R_{H/E}=89/11$

Tableau V.13: Additifs a la boue de retour :

Additifs	Fonction	Quantité ajoutée en g/l
Barazan	Viscosifiant	2
Dextrid	Réducteur de filtrat	2
Gaz-oil	Diluant	5 ml/m ³

- Rhéologie de l'échantillon N° 5 à base d'huile après le recyclage

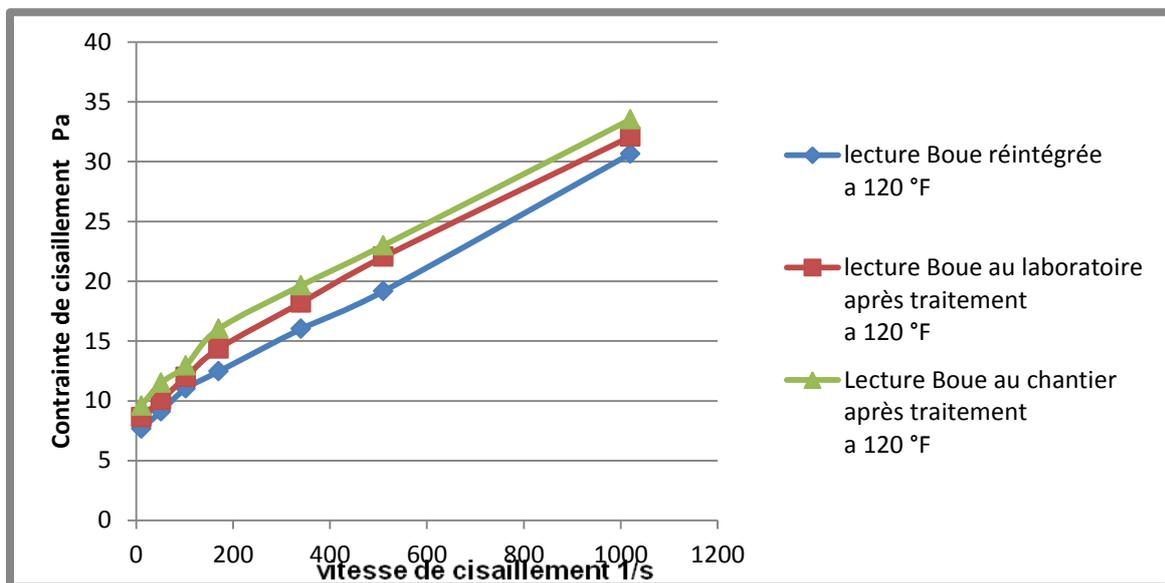


Figure V.12: Rhéogrammes de la boue après recyclage par le Barazan.

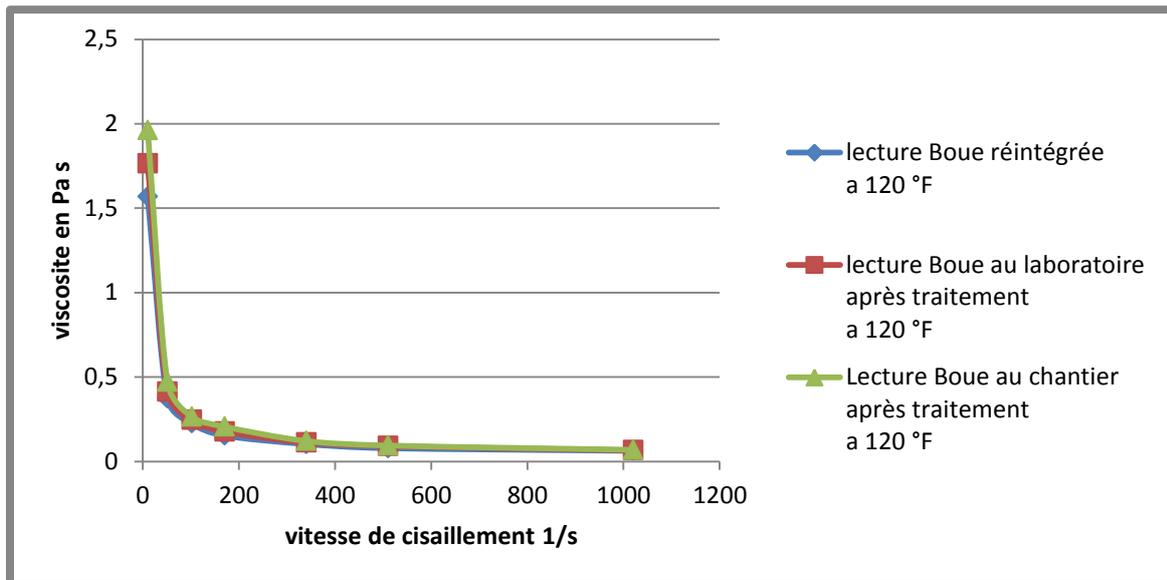


Figure V.13: Viscosité de la boue après recyclage par le Barazan en fonction de gradient de vitesse

Tableau V.14-Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques :

Paramètres rhéologiques	Unité	lecture Boue réintégrée à 120 °F	lecture Boue au laboratoire après traitement à 120 °F	Lecture Boue au chantier après traitement à 120 °F
Type	-	Invermul	Invermul	Invermul
Appareil	-	NAB 779	NAB 779	NAB 779
Phase	Pouce	6	6	6
Gèle 10s	lbs/100 ft2	8	11	12
Gèle 10min	lbs/100 ft2	16	21	22
YP	lbs/100 ft2	16	25	25
VP	CP	24	21	21
VA	CP	32	33,5	35
Densité	-	1,49	0,95	0,95
H/E	%	85/15	89/11	90/10
ES	V	841	1115	1204
HP-HT 200F 500 psi	ml	5,6	4,6	4,6
LGS	%L	0,7	4,46	3,78
HGS	%L	18,54	0,69	1,67
NaCl dans l'eau douce	g/l	142,25	202,82	225,65
Cacl2 dans l'eau douce	g/l	26,14	50,68	34,44

Interprétation des résultats des paramètres rhéologiques et physiques

- On observe une réduction de filtrat après traitement par le Dextrid (qui passe de 5,6 ml à 4,6 ml).
- Le rapport H/E augmente à cause de l'ajout du gas-oil en revanche la densité de la boue diminue.
- l'amélioration de stabilité électrique confirme l'émulsification de la boue.

- Le Barazan fournit des propriétés thixotropiques, des caractéristiques d'écoulement non-newtonien et peut également fournir une excellente suspension ($Y_p=25\text{cp}$).

V.4.1.3 Préparation des boues à partir des boues réintégrées des différentes densités

La boue demandée par l'employeur, doit fournir des caractéristiques rhéologiques bien déterminées tel que : $Y_p=25$ et la densité $D=0,95$, pour cela on choisit les boues suivantes, ces boues devraient avoir des caractéristique rhéologique plus proche de celle désirée, de point de vue économique).

- On a la densité de la boue désirée est comprise entre de la densité 01 et 02
- Nos boues ne sont pas contaminées par les solides (% LGS boue 01=0,86 et % LGS boue 02=4,5)

V.4.1.3.1 Préparation d'une boue de densité (D 0,95) par l'addition de N vis-o (Centrale à boue bac N°12)

Tableau V.15-Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques : Boue N°01 :

Appareil WF 805	Caractéristiques des fluides									
	H/E	SE	D	V _p	V _a	Y _p	Gel 0	Gel 10	%LGS	Filtrat HPHT ml/30mn
Phase 6 pouces	98/02	1301	0,90	11	13	4	3	5	0,86	7,4
Type Invermul										

(Centrale à boue bac N°15)

Tableau V.16-Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques : Boue N°02

Appareil TP 169	Caractéristiques des fluides									
	RH/E	SE	D	V _p	V _a	Y _p	Gel 0	Gel 10	%LGS	Filtrat HPHT ml/30mn
Phase 6 pouces	89/11	1446	1,05	19	24,5	11	6	11	4,5	6,6
Type Invermul										

Boue désirée = Boue 01+Boue 02+Ajouts

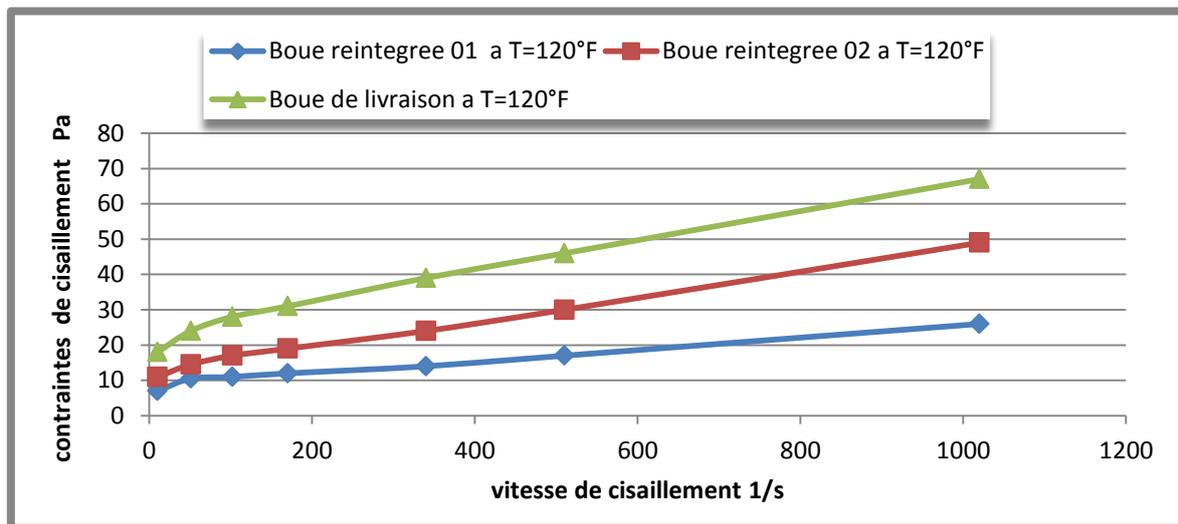
Tableau V.17: Additifs aux boues de retour

Additifs	Fonction	Quantité ajoutée en g/l
N-vis o « bio-polymère »	Viscosifiants+Agent de suspension	16
Barablock	Réducteur de filtrat	4

Tableau V.18-Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques : La boue a base d'huile désirée

Appareil NAB 779	Caractéristiques des fluides									
	RH/E	SE	D	V _p	V _a	Y _p	Gel 0	Gel 10	%HG S	Filtrat HPHT ml/30mn
Phase 6 pouces	89/11	1115	0,95	21	33,5	25	11	20	0,69	4,6
Type Invermul										

- Rhéologie de la base d'huile après le recyclage

**Figure V.14:** Rhéogrammes de la boue de production après le traitement par N Vis-O.

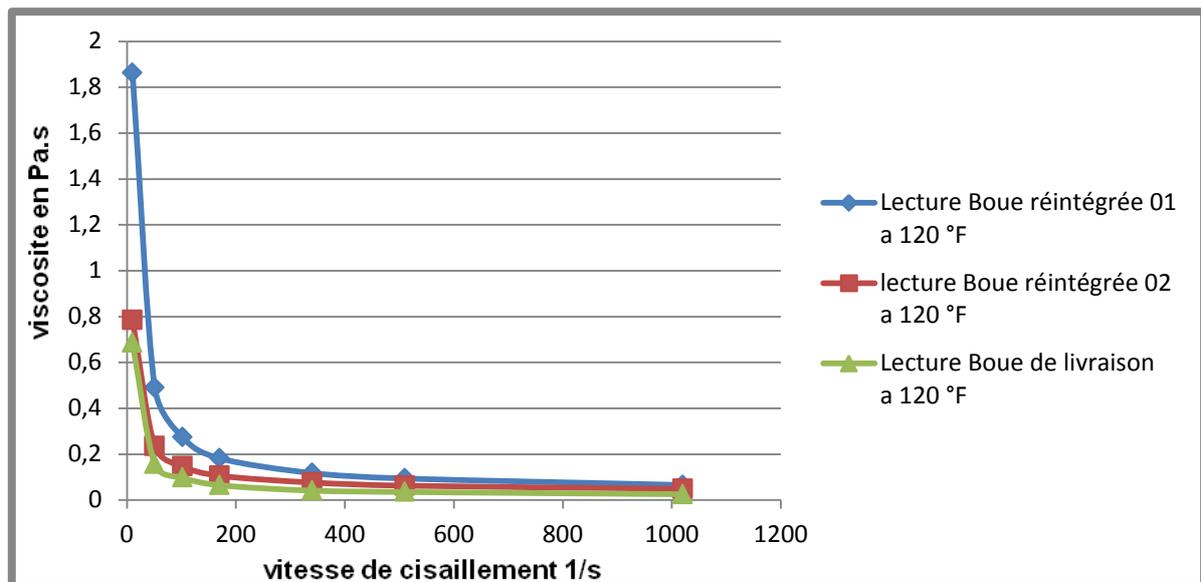


Figure V.15: Viscosité de la boue de production après traitement par N Vis-O en fonction du gradient de vitesse.

Interprétation des résultats des paramètres rhéologiques et physiques

- Réduction de filtrat par l'addition de Barablock(HPHT=4,6 ml).
- Une diminution de l'électro-stabilité ce qui montre un déficit d'émulsification
- L'ajout du N vis o permet d'avoir des paramètres rhéologique importantes Yield value est grand lorsque notre boue est utilisée dans la phase finale où la profondeur est importante à pour but de maintenir et remonter les débris.
- N vis o est stable et fiable même a une température élevé voisinant de 177 °c

V.4.1.3.2 Préparation d'une boue de densité D=0,90 Par l'addition deGeltone

Tableau V.19-Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques :

La préparation de la boue demandée a été effectuée au chantier, et après l'achèvement des travaux de l'injection des boues de forage (ENF 24)

- Caractéristiques de la Boue à traiter

Appareil ENF 24	Caractéristiques des fluides									
	H/E	SE	D	V _p	V _a	Y _p	Gel 0	Gel 10	%HGS	Filtrat HPHT ml/30mn
Phase 6 pouces	89/11	1086	1,30	14	18	8	9	12	4,50	4,2
Type Invermul										

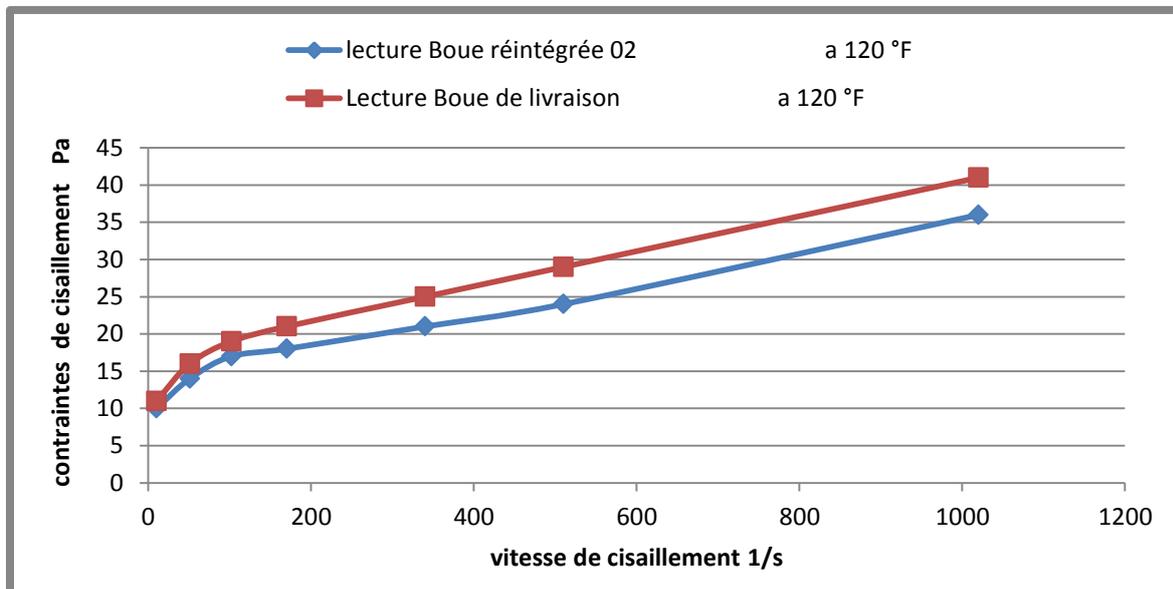
Tableau V.20: Additifs a la boue de retour :

Additifs	Fonction	Quantité ajoutée en g/l
Geltone	Viscosifiant	4
Dextrid	Réducteur de filtrat	2
Gas-oil	Diluer	327 l/m ³
ESS	Diluer	220 l/m ³
Baryte	Alourdissant	380 g/l

Tableau V.21-Tableau récapitulatif des paramètres rhéologiques et physiques :
Boue désirée de densité $D=0,90$:

Appareil TP 202	Caractéristiques des fluides									Filtrat HPHT ml/30mm
	RH/E	SE	D	V _p	V _a	Y _p	Gel 0	Gel 10	%HGS	
Phase 16 pouces	95/5	2000	0,90	20,5	13	15	7	11	0,16	4,1
Type Invermul										

- Rhéologie de la base d'huile après le recyclage

**Figure V.16:** Rhéogramme de la boue de production après le traitement par GELTON.

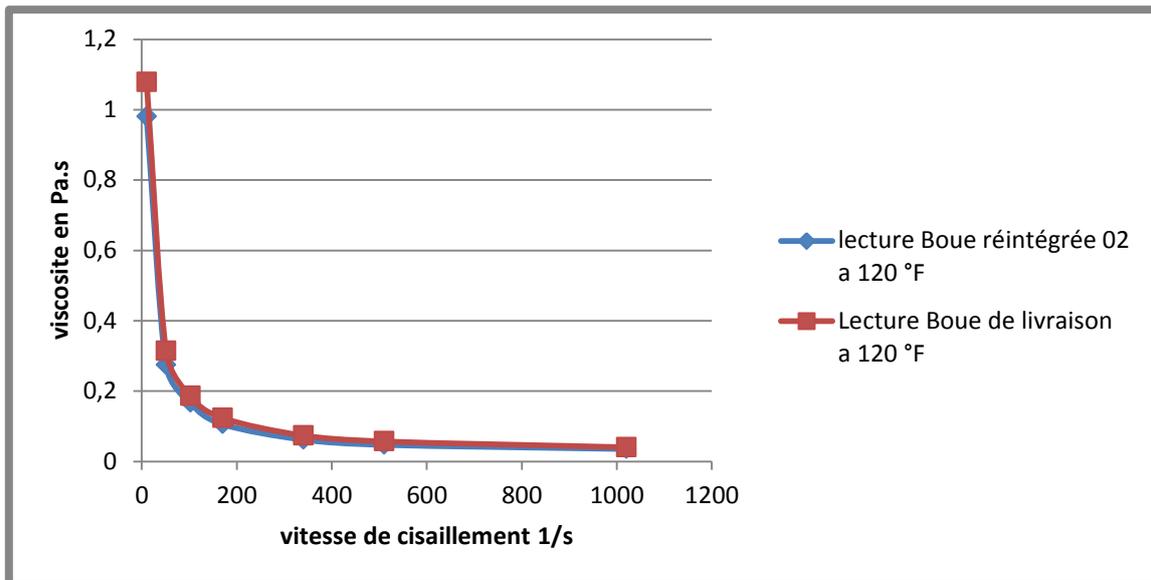


Figure V.17: Viscosité de la boue réintégrée après traitement par GELTONE fonction du gradient de cisaillement.

Remarques :

- Le rapport Huile/eau important, ce qui implique une grande électro-stabilité et confirme une bonne émulsification de la boue.
- La densité de la boue est abaissée par l'ajout de gas-oil.
- Les paramètres rhéologiques de la boue traitée ($Y_p=15$ cp) sont importants par rapport à ceux de la boue réintégrée ($Y_p=8$ cp) à cause de l'ajout de Gelton qui permet d'avoir une suspension à long terme.
- Le Gelton maintient la stabilité de la boue à des hautes températures, et représente un bon viscosifiant pour ce présent fluide de forage à base d'huile.
- ESS (eau saturée en sel Ca Cl₂) jouent le rôle d'inhibiteurs d'argile, mais il faut être prudent avec l'ion de calcium puisqu'en excès ce dernier, peut rendre instables des colloïdes organiques, et déplacer l'équilibre d'échange des cations dans l'argile perturbant le filtrat et la rhéologie.

V.4.2 Effet de sel sur les propriétés rhéologiques :

Le sel est un élément clé dans la formulation des boues de forage jouant en général le rôle d'inhibiteur minéral de gonflement des argiles ainsi utilisé dans la fabrication des fluides de complétion, dans la pratique le type de sel est choisi en fonction de la taille de cation du sel. Le KCl est le sel que notre choix c'est fixé car c'est le sel le plus utilisé en combinaison avec les polymères.

V.4.2 .1 Influence du sel sur la rhéologie.

Les objectifs fixés par notre travail, est de voir l'évolution des comportements des boues de polymères en présence des différents additifs utilisés conventionnellement pour la formulation des fluides de forage.

Dans la partie qui suit l'étude de l'influence du sel, dans notre cas le choix, a été porté sur le KCl, sel qui a trouvé une utilisation très vaste dans le domaine pétrolier vu sa propriété exceptionnelle d'inhibition.

- Additifs à la boue de retour :

Solution de Barazan(5 g/l) +KCl

- Rhéologie de la solution de Barazan :

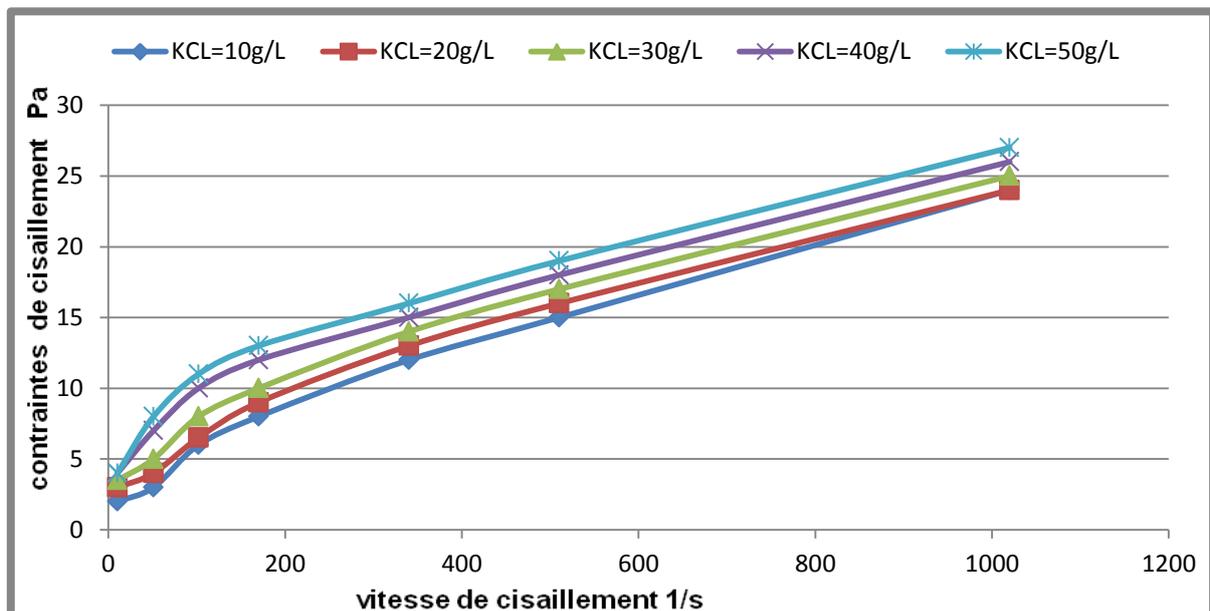


Figure V.18 : Rhéogrammes de la solution de Barazan (0,5%) à différents taux De KCl.

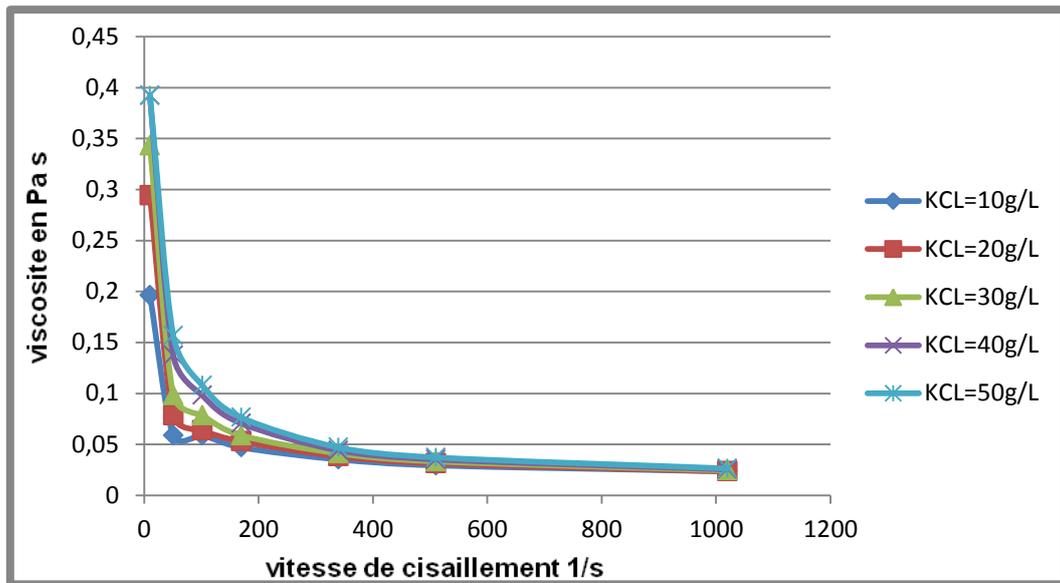


Figure V.19 : Viscosité de la solution de Barazan (0,5%) en fonction du gradient de vitesse à différents taux de KCl.

Interprétation des résultats :

En absence de sel, les charges du polymère ne sont pas écartées et la macromolécule est globalement plus étendue. Par contre, en milieu salin, les charges électrostatiques du motif du Barazan sont écartées.

Lorsqu'on ajoute du sel, les chaînes s'étendent ; la viscosité augmente de la avec l'augmentation du Kcl.

- Additifs à la boue de retour :

Solution de PAC (15 g/l) + KCl

- Rhéologie de la solution de PAC :

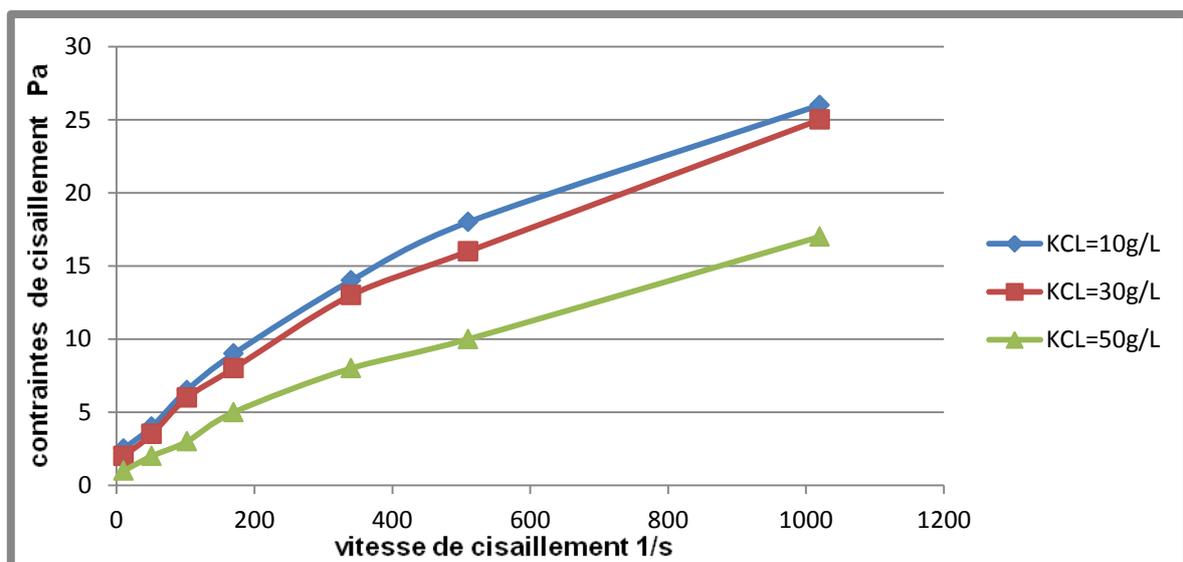


Figure V.20 : Rhéogrammes de la solution de PAC (1,5%) à différents taux de KCl

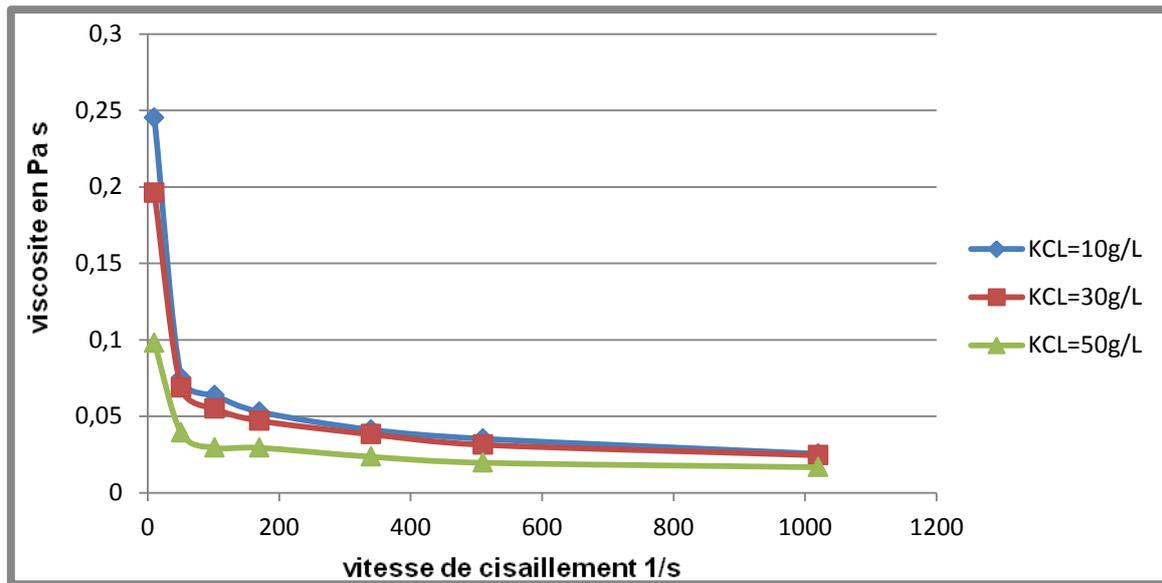


Figure V.21 : Viscosité de la solution de PAC (1,5%) en fonction du gradient de vitesse. à différents Taux de KCl.

Interprétations des résultats :

Le PAC, est un polymère anionique flexible, particulièrement sensible aux cations divalents (Ca^{2+} , Mg^{2+}) et monovalents (K^{+}). Ceux-ci sont en effet susceptibles de se fixer sur les groupes chargés du polymère PAC en provoquant une déshydratation. Cette déshydratation peut provoquer une précipitation du polymère ; ce qui implique directement une chute de la viscosité de la boue.

- Additifs à la boue de retour :

Solution de Silicate (10 g/l) +PAC +KCl.

- Rhéologie de la solution de SILICAT +PAC :

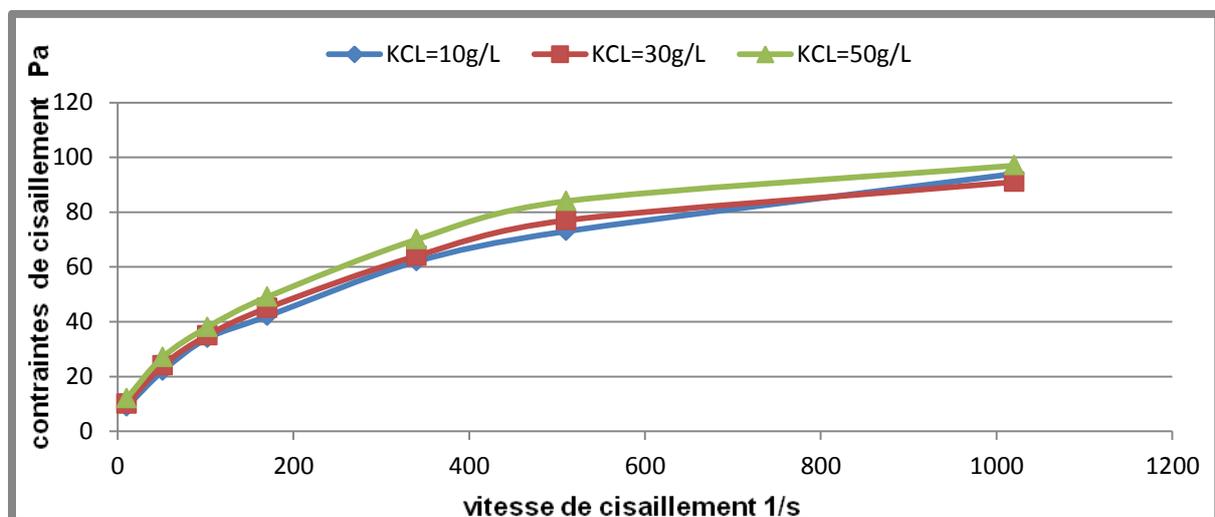


Figure V.22 : Rhéogrammes de la solution de silicate (1%) +PAC a différents taux De KCl.

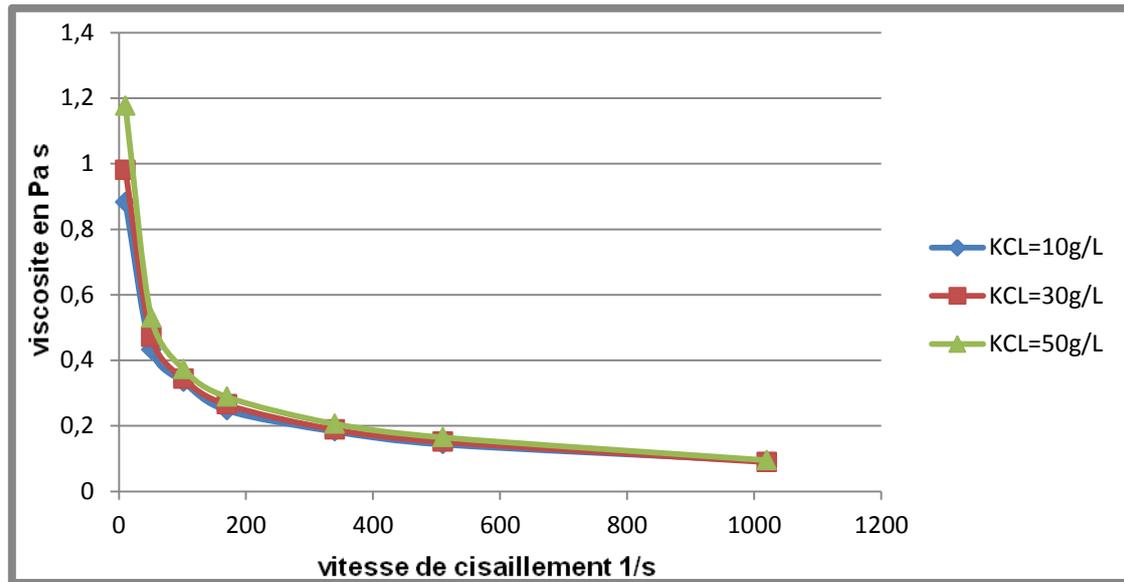


Figure V.23 : Viscosité de la solution de silicate (1%) +PAC en fonction du gradient de vitesse .a différents taux De KCl

Interprétations des résultats :

L'ajout du sel KCl a une influence directe sur les propriétés rhéologiques de la boue recyclée. Le sel KCl joue un rôle en plus de celui joué lors de son ajout aux boues du seul polymère. L'influence du sel est beaucoup plus visible en présence de la combinaison entre les deux polymères : le PAC Polymère Anionique Flexible et le SILICATE. On observe une augmentation de la viscosité des solutions toute en fonction de la concentration en KCl. Cette augmentation de la viscosité et de la contrainte seuil s'explique par l'agrégation des particules argileuses due à la compression de la double couche électrique.

L'utilisation de silicate est intéressante car il a les propriétés de maintenir de la boue en suspension durant tout le forage et pour des raisons environnementales.

V.4.3 Paramètres des modèles rhéologiques adéquats aux rhéogrammes expérimentaux des formulations étudiées.

Le modèle rhéologique de Casson (selon une loi linéaire) et le modèle de Herschel Bulkley (selon une loi de puissance), semblent les plus adéquats aux rhéogrammes expérimentaux obtenus et présentent aussi une bonne corrélation. Les paramètres de ces deux modèles sont déterminés par l'étude des courbes de tendance des graphes tracés ci-dessus.

Les résultats des courbes de tendance des courbes d'écoulement sont rapportés dans le tableau V.22

Tableau. V.22 : Paramètres des modèles rhéologiques adéquats aux rhéogrammes expérimentaux des formulations étudiées.

	Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi linéaire de Casson			Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi de puissance de Herschel Bulkley			
	$\tau = \tau_c^{1/2} + \beta \cdot \dot{\varepsilon}^{1/2}$			$\tau = \tau_c + K \cdot \dot{\varepsilon}^n$			
Types de boues	R%	τ_{0c}	$\mu_{pc} = \tau_{0c} / \varepsilon$	R%	τ_{0c}	K	N
Boues à base d'huile avec différentes densités D=0,87. D=1,47 ; D=1,20	99,8	8,263	5	92,5	0,96	3,43	0,275
	99,7	2,074	21	96,4	8,14	0,536	0,447
	99,3	0,839	15	91,1	1,92	0,29	0,388
la boue légère de densité 0, 87 après le Traitement par addition de N-VIS T=120c° T=150c° T=180c°	99,6	1,327	5	95,6	1,20	0,421	0,353
	99,9	1,220	4	93,2	1,20	0,463	0,311
	99,8	0,962	4	93,75	0,96	0,337	0,340

	Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi linéaire de Casson			Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi de puissance de Herschel Bulkley				
	$\tau = \tau_c^{1/2} + \beta \cdot \dot{\epsilon}^{1/2}$			$\tau = \tau_c + K \cdot \dot{\epsilon}^n$				
	R%	τ_{0c}	$\mu_{pc} = \tau_{0c} / \epsilon$	R%	τ_{0c}	K	n	
la boue Lourde de densité 1,47 après le Traitement par addition de N-VIS O	99,9	2,973	18	95,60	2,87	0,804	0,431	
	T=120c°	99,9	2,468	17	95,70	2,39	0,655	0,445
	T=150c°	99,8	2,008	17	96,00	1,92	0,524	0,487
la boue Moyenne de densité 1,20 après le Traitement par addition d'Aquagel	T=120c°	99,7	9,832	35	93,11	9,58	3,909	0,285
	T=150c°	99,5	2,431	24	97,88	9,10	0,496	0,488
	T=180c°	99,9	1,770	24	94,76	7,66	0,459	0,471
Boue de forage de la même phase	Traitement par addition Dextrid	99,2	10,770	28	95,46	9,58	4,352	0,267
		99,4	9,562	14	95,25	1,92	3,683	0,284
		99,8	8,168	14	94,13	1,92	3,228	0,288
Traitement par addition Barazan		99,6	2,800	24	96,00	2,05	0,875	0,356
		99,9	2,590	21	93,70	1,95	0,959	0,314
		99,8	2,060	21S	94,10	1,80	0,736	0,334

	Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi linéaire de Casson $\tau = \tau_c^{1/2} + \beta \cdot \dot{\epsilon}^{1/2}$			Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi de puissance de Herschel Bulkley $\tau = \tau_c + K \cdot \dot{\epsilon}^n$			
	R%	τ_{0c}	$\mu_{pc} = \tau_{0c} / \dot{\epsilon}$	R%	τ_{0c}	K	n
Préparation des boues							
boue de densité D=0,95 traitée par l'addition de N vis-o	99,0	22,520	11	96,50	23	9,048	0,265
	99,3	10,330	19	98,00	10	2,735	0,392
	99,8	0,765	21	94,50	08	2,987	0,281
boue de densité D=0,90 traitée Par l'addition de Geltone	97,9	215,050	14	98,60	16	5,549	0,27
	97,9	157,000	20,5	98,01	12	5,182	0,255
Effet de sel de différentes concentrations sur les boues : Solution de Barazan(5 g/l) +KCl	96,1	57,400	9,1	99,70	11	1,618	0,402
	97,06	46,840	7,4	99,70	8	1,527	0,400
	97,93	28,030	6,2	98,70	6	1,078	0,440
	98,23	18,600	4,6	97,88	4	0,801	0,474
	98,6	10,760	3	98,65	2	0,455	0,562

	Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi linéaire de Casson $\tau = \tau_c^{1/2} + \beta \cdot \dot{\epsilon}^{1/2}$			Paramètres des modèles rhéologiques selon la loi de puissance de Herschel Bulkley $\tau = \tau_c + K \cdot \dot{\epsilon}^n$			
	R%	τ_{0c}	$\mu_{pc} = \tau_{0c} / \epsilon$	R%	τ_{0c}	K	n
Solution de PAC (15 g/l) + KCl	97,9	17,150	8	98,84	8	0,604	0,533
	98,54	12,550	4	99,20	5	0,458	0,566
	98,4	2,730	3	99,10	3	0,194	0,631
Solution de Silicate (10 g/l) +PAC +KCl.	91,15	835,100	65	99,50	24	4,223	0,470
	91,76	633,580	43	99,50	50	3,405	0,493
	94,02	537,770	30	99,70	60	2,873	0,517

Interprétation des résultats du tableau

D'après les rhéogrammes obtenus précédemment, nos boues ne s'écoulent qu'à partir d'une certaine valeur de la contrainte, notée τ_c , appelée seuil d'écoulement (Yield-value), et qui représente l'ordonnée à l'origine des rhéogrammes

Au de-là de ce seuil, la structure rigide est détruite et l'écoulement s'effectue sous l'effet de la contrainte effective $\tau - \tau_c$.

Liquide de Casson :

Ils manifestent un comportement plastique *non idéal* qui se traduit par le fait que leur rhéogramme présente le plus souvent une concavité dirigée vers le bas, il s'agit donc d'un *comportement fluidifiant*.

La plupart des liquides plastiques sont des liquides de casson.

Pour décrire quantitativement un tel comportement, on utilise essentiellement deux équations :

✓ *Equation de casson*

$$\tau < \tau_c \quad \dot{\epsilon} = 0$$

$$\tau > \tau_c \quad \tau = \tau_c^{0,5} + (\beta \dot{\epsilon})^{0,5} \quad (\text{V.7})$$

Où, β est une constante appelée également *viscosité plastique*.

✓ *Equation de Herschel Bulkley*

Elle est de type loi de puissance avec un seuil d'écoulement :

$$\tau < \tau_c \quad \dot{\epsilon} = 0$$

$$\tau > \tau_c \quad \tau = \tau_c + K \cdot \dot{\epsilon}^n \quad (\text{V.8})$$

Où, n est un exposant à déterminer et dont la valeur est le plus souvent inférieure à l'unité (comportement plastique fluidifiant).

Ces deux équations peuvent fournir de bonnes corrélations dans la mesure où les vitesses de cisaillement demeurent relativement faibles ; en effet les rhéogrammes tendent presque toujours asymptotiquement vers une portion rectiligne qui joue le rôle d'une « **région newtonienne** », et qui ne peut être prise en compte dans les équations (V.7- V.8).

Conclusion Générale

Le processus de recyclage des fluides du forage nécessite la connaissance du comportement rhéologique et les paramètres physico-chimiques des boues de réintégration. A fin de renouveler cette boue, la restructurer ou l'utiliser dans d'autres forages selon la demande.

Le processus de recyclage des fluides devrait maintenir les caractéristiques rhéologiques perdues pendant le forage. Cette perte est due principalement à l'interaction fluide - roche, à l'aspect mécanique des roches, au comportement des formations géologiques traversées ainsi que certaines pratiques inappropriées lors du forage.

Par ailleurs, les propriétés rhéologiques, les caractéristiques de la filtration sont de grande importance pour les fluides de forage.

Cette étude nous a permis de bien connaître l'impact des polymères sur les systèmes fluides - polymères avec des concentrations et des natures différentes en fonction de nos besoins pendant le forage, ou des exigences pour le nouveau produit (restructuration des fluides à partir de ceux utilisés précédemment).

Les boues de forage perdent de leurs propriétés car elles ont été exposées aux effets de la pression, température, roche. Ces dernières soumises à des tests, afin de vérifier les dégradations éventuelles de leur performances (teneur en solide, viscosité, stabilité électriques...etc).

En fonction de la demande et pour des considérations environnementales, nous procédons à leur renouvellement en reformulant leur composition et en soumettant aux mêmes tests que les boues réintégrées les traitées par des polymères.

Les résultats obtenus dévoilent toute la sensibilité de la boue à base d'huile à la chaleur, bien que le fluide garde toujours une difficulté à s'écouler.

L'étude des propriétés rhéologiques de cette boue a permis d'aboutir à des modèles prévisionnels de bonne qualité, traduisant l'évolution de ces propriétés en fonction de la température et de la concentration de produits rentrant dans les reformulations des boues étudiées.

Ces modèles rhéologiques, permettent de faire des prévisions précises en fonction de la température et de la concentration des différents ajouts.

Le contrôle des solides dans le fluide a pour objet d'éliminer et d'enlever l'excès de solides à chaque processus d'entrée de cette dernière dans le forage ; car le fluide sera contaminé avec une gamme de solides due à des interactions fluide - roche. La boue est contrôlée afin de maintenir la densité, car elle représente un élément physique très important.

Afin d'éliminer les matières solides, nous utilisons un ensemble de méthodes et de machines accompagné par le processus de forage et qui sont : les tamis vibrants, les mud –

cleaners et la centrifugeuse. Nous utilisons ces machines pour la gestion des déchets des forages à fin de préserver l'environnement.

Pour un travail plus large et plus complet, beaucoup reste à faire. En effet, les propriétés rhéologiques et paramètres physico-chimiques ne sont pas les seuls à juger de la qualité d'un fluide de forage. D'autres propriétés devraient être étudiées telles que le cake, l'effet de la pression à différentes étapes de forage, l'écoulement gravitaire des fluides dans l'espace annulaire de forage...etc.

Beaucoup aussi reste à faire au niveau de la compréhension de la gestion des déchets qui s'appuyé sur la notion de «durabilité» ou de développement économique durable. Pouvoir les orienter au profit de la performance, la rentabilité, la sécurité et la préservation de l'environnement est notre principal souci.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE:

A

- Adam T., Bourgoyne Jr, et al., " *Applied drilling engineering*", SPE Textbook
- AFNOR 1979 essais des eaux – dosage des hydrocarbures totaux, french standarized procédure XP T90-114, NF T 90-101, NF T 90-114, octobre. Saint-Denis-la plaine France.
- AFNOR 1998 Déchets essais de lixiviation. French standardized procedure NF X31-210, May 1998.saint Denis la plaine, France.
- Asenthil Kumar, Vikas Mahto & V P Sharma “Behaviour of organic

B

- Barbara Katzbauer, “Propretés and applications of xanthan gum”, Polymer Degradation and Stability, Elsevier, 59 (1998) 81-84
- Barnes *et al.* (1989)]. "An Introduction to Rheology" Elsevier Science Publishers B.V (1989).
- Bartha, R et Atlas R.M 1977 the microbiology of aquatic oil spills, Av. App microbial 22.225-66.
- Beam H.Wet perry J.J 1974 microbial degradation of cycloparaffinc hydrocarbons via co-metabolism and commensalisms J Gen.microbiol 82: 163-169.
- Benchabane et Bekkour Un nouveau modèle rhéologique pour les fluides à seuil. Application à des mélanges argile-polymère. *40ème Colloque annuel du GFR. Nice 2005c*, p. 228-231.
- Bedrough D.R Blackman R.A.A et law R.J (1987) au suvey of inputs to the north sea resulting from oil and gas development phil .trans. R soc lond B316,495-509.

C

- CD manual of drilling fluids, MI-SWACO
- Couarraze et Grossiord "Initiation à la rhéologie" 3e éd., Tec & Doc Lavoisier, 300p. (2000).
- De lamballerie g., «*Boue à base d'huile* », Collection Colloques et Séminaires

D

- Dhina. O.et Aroun C 2004 Environment preservation in oil and gas upstream activities en Algeria. Difficulties and sustainable development challenge 19 th world energy congress. Sydney Australia September 5-9
- Drilling fluids technology, PQ Corporation, 2001.
- Fergusson et Klotz, (Glen et Slussers,) , "Applied Fluid Rheology" Elsevier Applied Science, 323p. (1991).

F

- Fergusson et Klotz) , "Applied Fluid Rheology" Elsevier Applied Science, 323p. (1991).
- Ferguson et Kembrowski "Applied Fluid Rheology" Elsevier Applied Science, 323p. (1991).
- Forage Rotary, « *La boue de Forage* », Edition Technip 1972.

G

- Gallego.JLR.loredo J.Illmas.JF.vazquez.F et sanchez.J (2001) bioremediation of diesel-contaminated soils: evaluation of potential in situ techniques by study of bacterial degradation biodegradation 12-325-335.
- Garcia C., Parigo P., « *Boues de Forage* », Institut Français du Pétrole (I.F.P), Société des éditions Technip, 1968.
- G. MULLER, « polymères hydrosolubles d'origine naturelle et synthétique », IFP, vol 45, n° 6, novembre-décembre 1990, 703-7!
- Guy couarraze et jean-louis grossiord 3^{ème} édition « initiation a la rhéologie » 2000.

H

- Herzhaft B., « *Les fluides de forage : un exemple de fluides complexes Industriels* », 36ème colloque annuel du Groupe Français de Rhéologie (GFR 2001), Marne-la-Vallée France, 10-12 octobre 2001.

I

- Iler, R.K. "The Chemistry of Silica". New York. John Wiley and Sons. 1979.

J

- J.O République algérienne 1993 decret executif n° 93-160, 10/07.
- Journal of petroleum science and engineering 14, 1996, 221-230.

K

- Khoja, M .Hafid S. et Canselier, J,P .2005d A diagnostic of the treatment and disposal of oil well drilling waste. Waste eng 05, Albi .proceeding on CD-Rom.may
- Khodja .M. canselier. J.P dall .c .Hafid S et Ouahab. R 2007b a comparaison of the various treatment oil well drilling waste in Algerian fields. GPE. Avril Toulouse.

L

- Landriot G., « *Fluide de forage* », édition Technip 1968.
- Lee, k treamblay, GH et levy E.M 1993 bioremediation application of slow release fertilizers on low energy shorelines proceeding of the 1993 oil spills conference. American petroleum institute.washington DC pp 449-453.

M

- Michel Fontanille, Yves Gnanou « chimie et physico-chimie des polymères » Dudon, Paris, 2002.
- Michael J. ECONOMIDES, et al. " *Petroleum well construction*", édition John wiley & sons. 1988. pp. 199 – 204.

N

- Nguyen J., P., « *fluide de forage* », Technique d'exploitation pétrolière, le Forage Technip, 1993.

O

- Okpokwasli GC et Odokuma L.O 1990 effet of salinity on biodegradation of oil spill dispersant waste management 10,141-146.

- Ozenda P 1977 flore du sahara.CNRS paris

P

- Panet, S. Marchal R sghir . A et monot, F .2004 biodegradation of hydrocarbon cuts used for diesel oil formulation.APP, microbial. Biotechnology 66: 40-47.

- Polymers on the rheological proprieties of Indian bentonite-water based drilling fluid system and its effect on formation damage”, Indian Journal of Chemical technology, Vol. 10,September 2003, pp. 525-530.

R

- Ryan Caenn, George V. Chillingar, « Drilling fluids: state of the art »,

-Roberts *et al.*; Mendes et Dutra (2004) "Modelling the flow behaviour of very shear-thinning liquids" 56, 5617-5623 (2001).

S

- Salintro. JP 2001 bioremediation of petroleum hydrocarbons in soil *adv.argon* 72:53-105.

- Steve Young, and al., “Novel polymer chemistry increases shale stability”, AADE 01-NC-HO-41, National Drilling Conference, March 27 - 29, 2001.

Y

-Y. Peysson, “Solid/Liquid Dispersions in Drilling and Production”. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, Vol. 59 (2004), No. 1, pp. 11-21

W

- Ward I et Williams R 1996 silicate water based muds-a significant advance in water based drilling fluid technology. Paper presented at the IBC conference on the prevention of oil discharge from drilling operations. Aberdeen, June 18 and 19.

Y

- Yokoi, H., Shraiki, M., et al. « Flocculation proprieties of xanthan produced by *Xanthomonas Campestris* ». *Biotechnology Techniques*, 10, 789-792, 1996

Annexes V :

Rhéologie des formulations N° 1 ; 2 et 3 à base d'huile après utilisation (boues réintégrées)

Tableau 1:

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue légère de D=0,87 a 120 °F	Boue moyenne de D=1,20 a 120 °F	Boue lourde de D=1,47 a 120 °F
1020	11	62	33
510	6	41	18
340	5	33	14
170	3	25	10
102	3	22	7
51	2	19	6
10,2	2	17	4

Tableau 2:

Après conversion

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue légère de D=0,87 a 120 °F en Pas	Boue moyenne de D=1,20 a 120 °F en Pas	Boue lourde de D=1,47 a 120 °F en Pas
1020	5,27	29,69	15,80
510	2,87	19,63	8,62
340	2,39	15,80	6,70
170	1,44	11,97	4,79
102	1,44	10,53	3,35
51	0,96	9,10	2,87
10,2	0,96	8,14	1,92

Rhéologie de l'échantillon N° 1 après le recyclage par l'addition de N-VISà différente température :

Tableau 03 :

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue légère a 120 °F	Boue légère a 150 °F	Boue légère a 180 °F
1020	13	11	10
510	8	7	6
340	6	5	4
170	5	4	4
102	4	4	3
51	3	3	2
10,2	3	3	2

Après conversion

Tableau 04:

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue légère a 120 °F en Pa	Boue légère a 150 °F Pa	Boue légère a 180 °F Pa
1020	6,22	5,27	4,79
510	3,83	3,35	2,87
340	3,00	2,50	2,15
170	2,39	1,92	1,68
102	1,92	1,68	1,44
51	1,44	1,44	1,10
10,2	1,20	1,20	0,96

Rhéologie de l'échantillon N° 3 après le recyclage par l'addition de N-vis o a
différente température

Tableau 05:

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue lourde a 120 °F	Boue lourde a 150 °F	Boue lourde a 180 °F
1020	44	40	38
510	26	23	21
340	19	17	15
170	13	11	9
102	10	9	8
51	8	7	7
10,2	6	5	4

Après conversion

Tableau 06:

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue lourde a 120 °F	Boue lourde a 150 °F	Boue lourde a 180 °F
1020	21,07	19,15	18,19
510	12,45	11,01	10,06
340	9,10	8,00	7,18
170	6,22	5,27	4,31
102	4,79	4,31	3,83
51	3,83	3,35	3,35
10,2	2,87	2,39	1,92

Rhéologie de l'échantillon N° 2 après le recyclage par l'addition d'Aquagel Gold à différentes températures

Tableau 07:

Vitesse de cisaillement s^{-1}	Boue moyenne a 120 °F	Boue moyenne a 150 °F	Boue moyenne a 180 °F
1020	87	72	64
510	53	48	40
340	43	38	33
170	32	29	25
102	27	25	20
51	23	22	19
10,2	20	19	16

Après conversion

Tableau 08:

Vitesse de cisaillement s^{-1}	Boue moyenne a 120 °F	Boue moyenne a 150 °F	Boue moyenne a 180 °F
1020	41,66	34,47	30,64
510	25,50	22,98	19,30
340	20,50	18,40	16,00
170	15,32	13,89	11,97
102	12,93	11,97	9,58
51	11,01	10,53	9,10
10,2	9,58	9,10	7,66

Rhéologie de l'échantillon N° 4 à base d'huile après le recyclage

Tableau 09 :

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue moyenne a 120 °F	Boue moyenne a 150 °F	Boue moyenne a 180 °F
1020	75	34	37
510	50	20	23
340	40	14	17
170	31	8	11
102	26	7	9
51	22	5	6
10,2	20	4	4

Après conversion

Tableau 10:

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	lecture Boue réintégrée a 120 °F	lecture Boue au laboratoire après traitement a 120 °F	Lecture Boue au chantier après traitement a 120 °F
1020	35,91	16,28	17,72
510	24,00	9,58	11,01
340	19,15	6,60	8,00
170	14,84	4,00	5,27
102	12,45	3,35	4,31
51	10,53	2,39	2,87
10,2	9,58	1,92	1,92

Rhéologie de l'échantillon N° 5 à base d'huile après le recyclage

Tableau 11:

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	Boue moyenne a 120 °F	Boue moyenne a 150 °F	Boue moyenne a 180 °F
1020	64	67	70
510	40	46	48
340	33	38	41
170	26	30	33
102	23	25	27
51	19	21	24
10,2	16	18	20

Après recyclage

Tableau 12:

Vitesse de cisaillement s ⁻¹	lecture Boue réintégrée a 120 °F	lecture Boue au laboratoire après traitement a 120 °F	Lecture Boue au chantier après traitement a 120 °F
1020	30,64	32,08	33,52
510	19,15	22,03	22,98
340	16,00	18,19	19,63
170	12,45	14,36	16,00
102	11,01	11,97	12,93
51	9,10	10,06	11,49
10,2	7,66	8,62	9,58

Solution Barazan (5 g/l) +KCl

Tableau 13:

KCL=10g/l	Contrainte en Pa	4,2	6,3	12,5	16,7	25,1	31,3	50,1
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=20g/l	Contrainte en Pa	6,3	8,4	16,7	18,8	25,1	33,4	50,1
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=30g/l	Contrainte en Pa	7,3	10,4	18,8	20,9	27,2	35,5	52,2
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=40g/l	Contrainte en Pa	8,4	12,5	21,9	27,2	29,2	39,7	54,3
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=50g/l	Contrainte en Pa	8,4	16,7	23,0	27,2	33,4	39,7	56,4
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020

Après conversion

Tableau 14:

KCL=10g/l	Contrainte en Pa	2	3	6	8	12	15	24
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=20g/l	Contrainte en Pa	3	4	8	9	12	16	24
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=30g/l	Contrainte en Pa	3,5	5	9	10	13	17	25
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=40g/l	Contrainte en Pa	4	6	10,5	13	14	19	26
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=50g/l	Contrainte en Pa	4	8	11	13	16	19	27
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020

Solution de PAC (15 g/l) + KCl

Tableau 15:

KCL=10 g/l	Contrainte en Pa	5,2	6,3	13,6	18,8	29,2	34,5	54,3
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=30 g/l	Contrainte en Pa	4,2	6,3	12,5	16,7	27,2	33,4	52,2
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=50 g/l	Contrainte en Pa	2,1	4,2	6,3	10,4	16,7	20,9	35,5
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020

Après conversion

Tableau 16:

KCL=10g/l	Contrainte en Pa	2,5	3	6,5	9	14	16,5	26
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=30g/l	Contrainte en Pa	2	3	6	8	13	16	25
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=50g/l	Contrainte en Pa	1	2	3	5	8	10	17
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020

Solution de Silicate (10 g/l) +PAC +KCl.

Tableau 17:

KCL=10 g/l	Contrainte en Pa	10,9	13,2	28,4	39,3	61,0	72,1	113,4
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=30 g/l	Contrainte en Pa	8,8	13,2	26,1	34,9	56,8	69,8	109,0
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=50 g/l	Contrainte en Pa	4,4	8,8	13,2	21,7	34,9	43,6	74,1
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020

Après conversion

Tableau 18:

KCL=10g/l	Contrainte en Pa	9	22	34	42	62	73	94
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=30g/l	Contrainte en Pa	10	24	35	45	64	77	91
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020
KCL=50g/l	Contrainte en Pa	12	27	38	49	70	84	97
	Vitesse en 1/s	10,2	51	102	170	340	510	1020

I.1. Généralités sur le gisement de Hassi Messaoud (HMD)

I.1.1 Introduction

Le gisement de Hassi Messaoud, est situé à 650 km au sud est d'Alger et à 80 Km au Sud-Est de Ouargla, dans le bassin de Oued Mya (**Fig.IA.1**). Un travail synthétique de la géologie de l'Algérie a été réalisé par **Askri et al. (2003)**.

Il a été découvert en 1956 et mis en exploitation en 1958. Les dimensions du champ atteignent 2500 km² avec une surface imprégnée d'huile d'environ 1600 km².

Le 16 janvier 1956, la SN.REPAL a amorcé le premier forage MD#1, implanté à la suite d'une campagne sismique. Le 15 Juin de cette même année, ce forage découvrit à 3338 m de profondeur les grès du Cambrien productifs d'huile. Dès lors, les forages se développent et se multiplient sans cesse, jusqu'à arriver aujourd'hui à plus de 1200 puits.

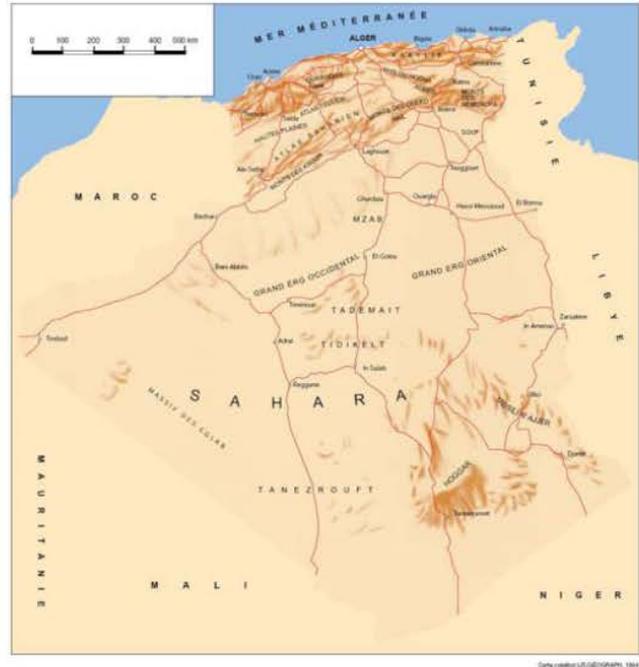


Figure IA.1 : Géographie de l'Algérie

I.1.2 Caractérisation du réservoir

Plusieurs années après la mise en production du champ de Hassi Messaoud, il a été constaté que des ensembles de puits se comportent de manière indépendante les uns par rapport aux autres, d'où la définition de zones. Une zone de production est définie comme un ensemble de puits qui communiquent entre eux et non pas avec ceux des zones avoisinantes.

Il existe actuellement 25 zones de production plus ou moins étendues dans le champ (**Figure IA.2**). Toutefois il est important de souligner que le facteur pression ne peut être le seul critère de caractérisation des zones. La pression de gisement varie de 120 à 400 kg/cm² avec un rapport gaz/huile (gas/oil ratio ou GOR) moyen de 219 m³/m³ sauf pour les puits en percée où le GOR peut atteindre 800 m³/m³ et plus. La porosité est faible : 5 à 10% avec une perméabilité très faible, s'étendant d'une valeur quasi-nulle à 1 D.

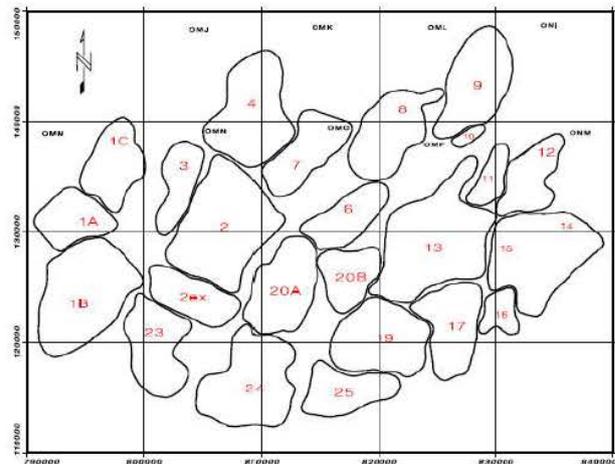


Figure IA.2 : Répartition des zones sur le champ de Hassi Messaoud

Au début de la reconnaissance du gisement, les grès de Hassi Messaoud (âge cambrien) ont été subdivisés en quatre zones : Ri, Ra, R2 et R3.

- Zone Ri ou grès isométriques, habituellement très compacte D5 ou (R 70 – R 90), subdivisée en trois tranches 7,8,9.

- Zone Ra : niveau géologique cambrien anisométrique constituant le principal réservoir de Hassi Messaoud. ; il est composé de bancs gréseux à ciment siliceux à silico-bitumineux, rarement argileux (kaolinite), délimités par des niveaux silteux d'extensions latérales variables.

- Zone R2 ; zone de grès quartzites, plus argileuse, d'une épaisseur moyenne d'une quarantaine de mètres. R2 est un réservoir secondaire par rapport aux réservoirs principaux Ra et Ri, cependant les réserves estimées sont considérables (Selmani et al., 2007) : il est réparti en deux unités : R2ab et R2c, composées essentiellement de grès grossiers anisométriques à ciment argileux illitique plus abondant.

Les qualités de réservoir se trouvent dans sa partie supérieure (R200-R300), R2ab (R200-R250). L'exploitation du réservoir R2 s'est vue confrontée à une multitude de problèmes dus principalement à une répartition aléatoire de ses corps sédimentaires et une détérioration de ses qualités de réservoir par des phénomènes diagénétiques

- Zone R3 : Zone très grossière à micro-conglomératique très argileuse, sans aucun intérêt pétrolier (R300-R400).

Du point de vue sédimentologique, le réservoir est réparti en trois zones suivant des critères granulométriques : une zone grossière inférieure (Ra inférieure), une zone fine médiane (Ra moyen) et une zone grossière supérieure (Ra supérieure).

Les périphéries de zones, les inter-zones et les hors-zones sont des régions de faibles caractéristiques pétrophysiques. Leur développement n'est concevable que par la mise en place de moyens non conventionnels (forages horizontaux ou reprises en "medium" ou "short radius"). La perméabilité horizontale moyenne est très faible (2 mD) et la perméabilité verticale très mauvaise. C'est la raison pour laquelle les puits "medium radius" ne sont pas des puits rigoureusement horizontaux, mais des puits inclinés à 87°, de façon à traverser le réservoir sur toute son épaisseur.

1.2 Problèmes de forage

Sur le champ de Hassi Messaoud, l'expérience montre que dans la même zone, avec une formation identique, en utilisant le même fluide, on peut rencontrer des problèmes différents. La **figure IA.3** donne une coupe stratigraphique ainsi que les phases du forage.

D'une façon générale, et afin de donner une synthèse des problèmes rencontrés, on signale :

Phase 26" : Les pertes de boues dans les sables du mio-pliocène sont actuellement maîtrisées, restent les niveaux calcaires dolomitiques du sénonien carbonaté et sénonien anhydritique : les pertes de boues parfois brutales sont dues à la présence de fissurations assez développées. De plus, le foreur est confronté à la dissolution de ces niveaux carbonatés, ce qui peut provoquer des dégâts irréversibles. On donne l'exemple du puits OMOZ#84 qui fut abandonné en Septembre 2002 à la profondeur 334m suite à un affaissement de la plate-forme dû à une perte importante de boue, provoquant la formation de caves.

Phase 16": La durée de forage d'une longueur moyenne de 1835 m, représente 15 % de la durée de réalisation d'un puits horizontal. Elle commence dans le sénonien anhydritique (vers 500 m) et se termine dans le Dogger lagunaire. Cette phase était forée auparavant en diamètre 12^{1/4} pour le programme léger et en 17^{1/2} en programme lourd avec des outils tricônes. Par la suite, cette phase a été optimisée en passant au diamètre 16" et généralisée sur tout le champ avec l'introduction du forage horizontal, au début avec des outils tricônes, puis avec des trépan PDC.

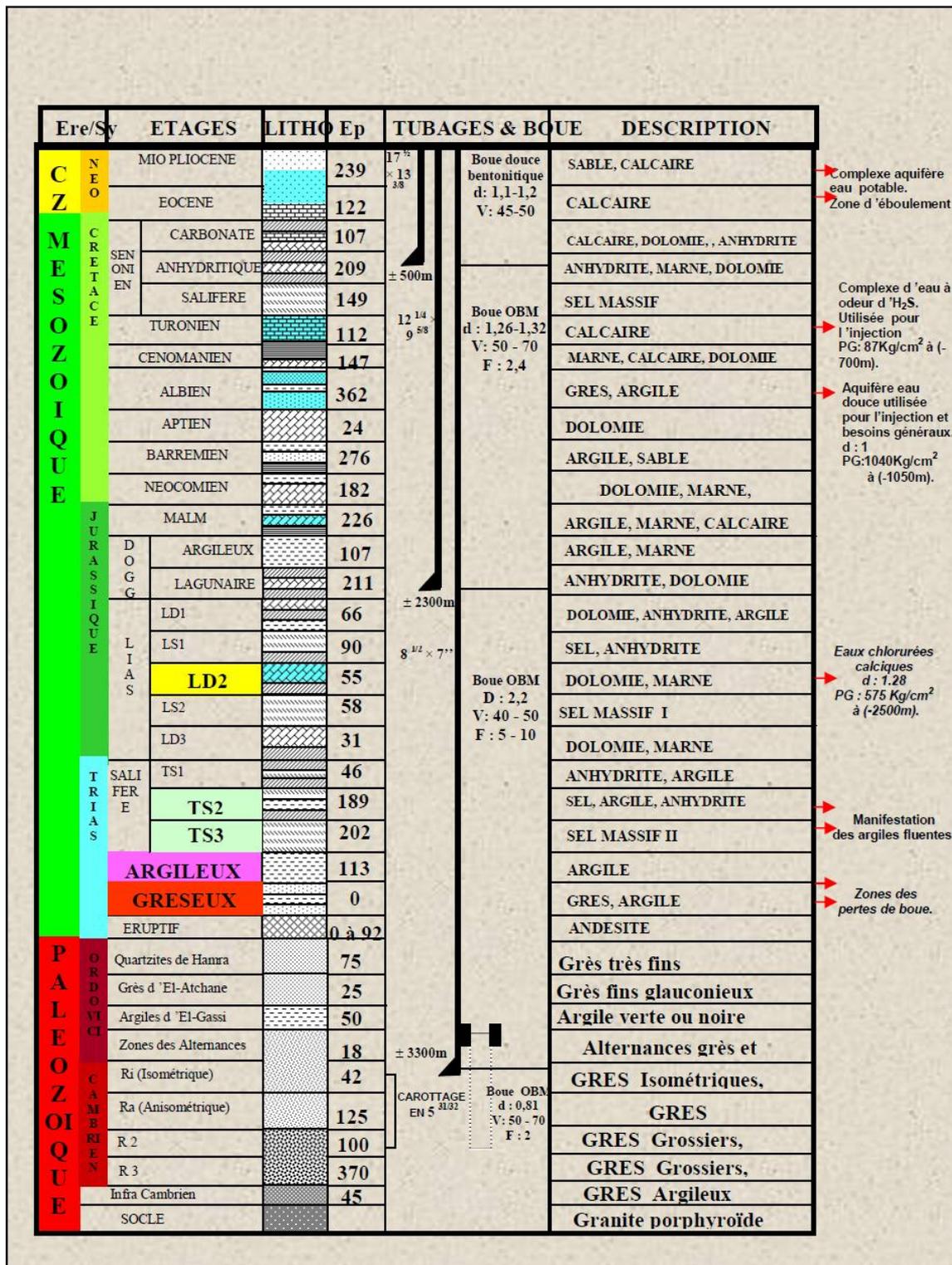


Figure IA.3 : Stratigraphie du champ de Hassi Messaoud

A la fin de la section, on est souvent confronté à des coincements de garniture pendant les manœuvres dans les formations carbonatées du turonien et du cenomanien, qui causent énormément de problèmes auxquels pourraient remédier le "back reaming" (rétro-alésage) et le battage, consistant à désagréger la roche en faisant tomber de quelques centimètres de hauteur, à une cadence assez rapide, un instrument lourd et tranchant.

Après la TD (True Depth), on est régulièrement confronté aux difficultés des manœuvres en face du turonien et le sénonien salifère entre 700 et 950 m, qui passent de simples tractions et des back reaming aux jarring (**Schlumberger, 2008**) voire au pompage de l'acide.

Parfois cette difficulté des manœuvres engendre des instrumentations de plus de 15 jours (OML7 322) (ENF#29). Sur ONMZ#313, l'opération de logging intermédiaire fut annulée suite au coincement à 870m dans le turonien et à l'injection de plusieurs bouchons d'acide. Une mauvaise cimentation du casing (**Anson Oilfield Index, 2008**) obligea à procéder à la restauration (cas du puits OMKZ#32).

Les plus grands problèmes ont été souvent signalés dans cette phase. Depuis les améliorations notables enregistrées après la substitution des boues salées saturées par les boues à l'huile, de bons avancements ont été réalisés avec des performances considérables. Cependant, il est important de rappeler les problèmes signalés à travers cette phase (16''). Initialement, l'utilisation de systèmes émulsionnés avec un rapport H/E : 75/25 de densité 1,25, pour pouvoir forer l'albien sans problème, a donné de bons résultats. Mais face aux problèmes rencontrés du double point de vue technique et environnemental, il a été décidé l'utilisation du système H/E : 50/50 (1990). Son application a donné satisfaction, suite à la disparition des problèmes liés au battage, au back reaming, au pompage des bouchons d'eau et à la qualité de la cimentation face à un caliper (**Anson Oilfield Index, 2008**) très perturbé. La comparaison entre les systèmes H/E : 75/25 et 50/50 utilisés a révélé l'amélioration de la vitesse de pénétration (ROP) de près de 6% au niveau du sénonien salifère, de 5% au niveau du turonien et de 31% dans le cénonanien. Sur 104 puits dans différentes zones, avec plus de 191000 mètres forés, la ROP moyenne était de 12.

Le recours aux systèmes 50/50 a apporté des avantages environnementaux et économiques (moins de gazole), mais a aussi aidé à la résolution des problèmes rencontrés dans la section 12^{1/4} : géométrie du trou excellente, cimentation meilleure, pas de problèmes majeurs signalés. Le grand handicap pour le système 50/50 se résume dans des précautions de maintenance des propriétés ainsi que dans la logistique.

Face aux problèmes signalés au niveau des formations carbonatées du turonien et cénonanien, on a aussi opté pour l'injection de bouchons d'acide (HCl à 15%) qui s'est avérée une bonne solution curative. En revanche, des dégâts importants peuvent en résulter, tels que la fragilisation et la corrosion du BHA et de l'ensemble des tubulaires. L'étude de l'influence du ROP a été aussi examinée. L'analyse de quelques puits avec des ROP relativement lents (plus de 30 m/h) et d'autres avec des valeurs de moins de 15 m/h, n'a pas donné satisfaction de même que la méthode adoptée relative à la diminution du ROP au droit du turonien. Il semblait s'agir d'un problème de mécanique ou de géométrie du trou à travers une formation carbonatée.

Plusieurs approches ont abordé le problème des vibrations et de la qualité des outils. L'analyse statistique montre que sur un nombre de 44 outils neufs de type PDC de diamètre 16" utilisés sur le champ de Hassi Messaoud entre 2002 et 2003, seulement 23 outils ont pu faire toute la phase, tandis que les autres outils ont été endommagés avant d'atteindre la cote finale, souvent à cause de vibrations excessives (**Rachedi et al., 2004**). Ceci a eu comme conséquence l'utilisation d'un nombre supplémentaire d'outils de forage et une augmentation de la durée de réalisation de la phase 16", à la fois par une réduction de la vitesse d'avancement et par les manoeuvres supplémentaires nécessaires pour changer l'outil de forage et pour nettoyer le trou des débris métalliques. En effet, les problèmes de vibration mènent souvent à une augmentation de la durée de forage, à l'usure prématurée des outils et à la fragilisation des parois du trou. L'une des conséquences des vibrations sévères est la génération du cavage (augmentation du diamètre nominal du puits dû à l'instabilité des argiles et des marnes) dans les formations traversées (**Santos et al., 1996**) : cas du puits MDZ#541 (16") avec plus de 35 m³ de volume de cavage (un cavage inférieur à 10 m³ sur certains puits était jugé tolérable).

Plusieurs efforts ont été fournis dans l'objectif de remédier à cette situation. Des améliorations notables ont été effectuées avec l'introduction d'outils de forage de grande stabilité, avec l'optimisation de la conception de la garniture de forage et avec la généralisation des bonnes pratiques de forage. Toutefois, ce problème n'a pas été complètement résolu à ce jour.

Phase 12^{1/4} : On signale les problèmes classiques relatifs au risque de venues très probables d'eaux chlorurées calciques dans les niveaux de dolomie vacuolaire du lias dolomitique (LD2). Le lias dolomitique médian "LD2" a une épaisseur moyenne de 55 m. Il est formé d'une alternance de bancs de dolomies grises avec des passées de marnes grises et gris-foncé, légèrement dolomitiques.

C'est une formation caractérisée par une eau chlorurée calcique et une pression très élevée et il n'est pas possible de l'équilibrer par la pression hydrostatique sans provoquer des pertes : exemple du puits OMKZ#712 où les opérations de logging intermédiaire furent annulées suite à la manifestation du LD2.

Les problèmes de fluage des argiles causent des coincements au niveau du lias salifère (LS2) et du trias salifère (TSE) dont les sels sont intercalés vers 2900 m entre des argiles d'une épaisseur de 15m. De nature plastique, elles peuvent fluer et refermer le puits dans un temps très court, d'où la nécessité d'utiliser une densité supérieure à 2 (cas sur OMLZ#33 et OMLZ#322).

On signale aussi des problèmes de dépôt de sels lors du forage des couches salifères avec une boue à émulsion inverse. Un dépôt de sel se produit à l'intérieur de l'ensemble de fonds de puits ("bottom-hole assembly" ou BHA) (Schlumberger, 2008), au niveau de l'outil, des connexions, dans le moteur et le MWD ("Measurement While Drilling") (Schlumberger, 2008). Ce dépôt fait augmenter la pression de refoulement due à la restriction du diamètre de passage résultant de ce dépôt. Ce dernier se détecte soit par une perte de signal du MWD expliquée par un dépôt de sel au niveau du pulseur ou bien par une augmentation de la pression de refoulement, due à une restriction à l'intérieur de la BHA provenant d'un dépôt de sel sur les parois intérieures du BHA. A chaque fois que le problème se pose, le forage ne peut continuer. Pour pouvoir reprendre le forage, il est donc nécessaire de détruire le sel par un bouchon d'eau. Ceci occasionne une perte du temps (le temps de la manœuvre A/R et du changement du MWD) avec une facturation de tout endommagement sur le MWD.

Phase 8^{3/8} : Dans cette phase le but est d'isoler le lias et le trias salifère nécessitant une densité de boue comprise entre 2 et 2,2 avant d'entrer dans le réservoir du cambro-ordovicien. Cette phase est entamée après la pose du casing 9^{5/8}. L'interception par une vallée d'érosion à éruptif triasique peut perturber le tracé du puits. En 2005, 20 puits ont fait l'objet d'un changement de profil théorique ("well plan") suite à la découverte du réservoir plus haut ou plus bas que prévu.

Des coincements de garniture peuvent se produire pendant les manœuvres dans les formations carbonatées du turonien et du cénomanién. Le turonien a une épaisseur qui varie entre 70 et 120 m. Il est formé d'une alternance de calcaires argileux, dolomitiques et crayeux. Dans le cénomanién, épais de 147 m, on remarque une alternance d'anhydrite et d'argiles brun-rouge, de marnes grises et de dolomies. La limite cénomanién-albien coïncide avec le passage des séries gréseuses de l'albien vers les séries évaporitiques du cénomanién. Les coincements fréquents causent beaucoup de problèmes tels que les back reaming et les battages : exemple du puits MD#Z566 où un instrument a été laissé au fond suite au dévissage de la garniture.

Phase 6'' :

Les pertes de boue dans le réservoir constituent une partie importante des incidents qui surviennent pendant la phase 6'' ; une difficulté subsiste dans la façon de contrôler ces pertes sans endommager le réservoir. Elles sont liées à des zones de fissuration dont l'extension et l'intensité sont variables.

Le temps moyen perdu à cause des problèmes de pertes de circulation et de la mise en place de bouchons varie de 50 h à plus de 280 h pour toute la phase.

Avec l'introduction des puits horizontaux, les pertes de circulation sont devenues plus fréquentes. Selon les pratiques de l'entreprise Sonatrach, les pertes sont classées en pertes par filtration ($< 1\text{ m}^3/\text{h}$), pertes partielles ($1 \text{ à } 6\text{ m}^3/\text{h}$) et pertes totales (supérieures à $6\text{ m}^3/\text{h}$). Le problème des pertes au niveau du cambrien a touché plus de 40% des puits forés en horizontal (Kadi et al., 2004). Le volume perdu varie de quelques dizaines de m^3 à plusieurs centaines de m^3 . Par exemple, dans le cas du puits MDZ#576, le volume total s'est élevé à plus de 2481 m^3 avec l'injection de sept bouchons colmatants et plus de 900 m^3 de boue ont été perdus dans le puits MDZ#546.

Avant l'an 2000, la durée moyenne du forage de la section du drain des puits horizontaux était de 45 jours avec une meilleure performance de 32 jours. Avec l'application du système "incentive", on est arrivé à une durée moyenne de 27 jours. Actuellement, une durée moyenne de 20 jours a été souvent signalée avec un record de 16 jours. Cependant, les performances demeurent toujours irrégulières à cause des problèmes de pertes de boue dans le réservoir et de venues du fluide de formation dues principalement à des puits voisins injecteurs.

Suite Annexe II

V.1. Dosage des hydrocarbures totaux par Infrarouge

Mode opératoire:

L'échantillon doit être homogénéisé avant pesée (de l'ordre de 2 g/L)

Extraction :

- fixer les cartouches aux adaptateurs.
- peser les échantillons dans les cartouches.
- placer une boule de coton hydrophile au-dessus de l'échantillon et mettre en place les cartouches dans l'unité d'extraction.
- mettre sur position "boiling". Les cartouches sont immergées dans le solvant CCl_4 à 160°C ; le temps d'immersion (20-30 min) dépend du type de l'échantillon.

Récupération

- après rinçage de l'échantillon avec CCl_4 , récupérer les extraits, ces derniers sont passés sur Florisil et Na_2SO_4 .

Les volumes recueillis sont mesurés dans des éprouvettes graduées de 100 mL .

Mesure de la concentration des extraits en hydrocarbures

- l'extrait est introduit dans une cuve en quartz de 1 cm d'épaisseur, il est ensuite analysé par spectrométrie IR.
- le logiciel CxHx nous donne la concentration en hydrocarbures recherchée (en mg/kg).

Symboles et unités

-

- Symboles - Unités

YP : Yield point

Y : Taux de deformation cP : Centipoise

: Vitesse de cisaillement Pa : Pascal

τ : Contrainte de cisaillement lbs/100ft : Livre par 100 pieds carres

τ_0 : Contrainte seuil statique CSSpsi : livre par pouce carre

ν_p : Viscosite absolue F° : Degre Fahrenheit

ν_a . Viscosite apparente (dynamique) V : Volt

ν_p : Viscosite plastique

(τ_{0c} et μ_{0c}): Parametres du modele de

Casson :

R^2 : coefficient de corrélation

d: densité

Symboles et unités

- Symboles

YP : Yield point
Y : Taux de deformation
: Vitesse de cisaillement
 τ : Contrainte de cisaillement
 τ_0 : Contrainte seuil statique CSS
 ν_p : Viscosité absolue
 ν_a . Viscosité apparente (dynamique)
 ν_p : Viscosité plastique
(τ_{0c} et μ_{0c}): Paramètres du modèle de Casson :
R²: coefficient de corrélation
d: densité

- Unités

cP : Centipoise
Pa : Pascal
lbs/100ft : Livre par 100 pieds carrés
psi : livre par pouce carré
F° : Degré Fahrenheit
V : Volt