

P0013/05B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Schlumberger

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme
D'Ingénieur d'Etat en Génie Chimique

SUJET :

**RECHERCHE DE NOUVEAUX AGENTS DE CONTROLE DE
FILTRATION ET DISPERSANTS UTILISES DANS
L'INDUSTRIE PETROLIERE.**



Proposé par :
Schlumberger

étudié par :
Mlle A.LARBI

dirigé par :
M J.P.CARITEY
M T.AHMED ZAID

Promotion : Octobre 2005.

صياغة ملاط الاسمنت لها دورا هاما عند انشاء بئر بثرول خاصة في الريولوجيا, وفاعلية تقليص خسائر الراشح لها اهمية كبيرة لانجاز هذه العمليات. في إطار هذه الدراسة, نعرض فاعلية عامل مراقبة الراشح من أجل إستعمالها في درجات حرارة عليا, ثم نقارنها بالمضافات المستعملة حاليا.

كلمات المفتاح :

ملاط الاسمنت, بئر بثرول, الراشح, المضافات, فاعلية

RESUME

Dans la construction d'un puits de pétrole, la formulation du coulis de ciment a une importance particulière. En particulier, la rhéologie et les performances de réduction de perte de filtrat sont essentielles pour une bonne réalisation des opérations.

Dans cette étude, nous présentons la performance de nouveaux dispersants et agents de contrôle de filtrat en vue d'une utilisation à des températures plus élevées, en les comparant aux additifs utilisés actuellement.

Mots clés :

Pétrole, formulation, coulis de ciment, rhéologie, dispersants, agents de contrôle de filtrat.

ABSTRACT

Optimization of cement slurries formulations are essential in oil and gas wells construction. Rheology and fluid loss control performance are important parameters to achieve successful operations.

In this study, we present performance of new dispersants and fluid loss control agents expected to be used at higher temperatures. They were compared to the current additives.

Key Words:

Slurry, rheology, dispersant, fluid loss, control agents.

REMERCIEMENTS



Ce projet a été réalisé dans le département Chimie et Matériaux de la société Schlumberger à Clamart (92).

J'adresse tout d'abord mes remerciements à M. Jean Philippe Caritey, chef de projet Schlumberger à Clamart, qui a su me guider dans mes recherches et a pu être disponible tout au long de l'étude.

Je remercie également Frédéric Thery et Yamna Boubeguir, ingénieurs développement, pour leurs remarques constructives durant l'étude.

Je tiens à remercier aussi tous les ingénieurs, les techniciens et les stagiaires de l'équipe de Chimie qui ont facilité la réalisation de l'étude dans des conditions optimales.

J'adresse aussi mes remerciements les plus sincères à M. Toudert Ahmed Zaid, maître de conférence à l'Ecole Polytechnique d'Alger, qui m'a dirigé tout au long de cette étude, je tiens aussi à remercier du fond du cœur tous les professeurs du département génie chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique (M. Benyoussef, Mlle Boutekedjiret, Mme Cherchari, M. C.E.Chitour, M. Hadjadj-Aoul, Mme Haddoum, Mme Mefti, Mme Meziani, M. Selatnia et Mme Souahi).

Enfin je remercie tout particulièrement mes parents, ma sœur Amel, mes deux frères Rafik et Mounir qui ont toujours cru en moi.

Je ne pourrai clore cette liste sans citer mes amies (Hala, Nadjat, Mounira, Karima et Amna) pour avoir toujours été là pour moi.

SOMMAIRE



I .PRESENTATION DU GROUPE SCHLUMBERGER.....	9
I. 1. HISTORIQUE.....	10
I. 2. SCHLUMBERGER LIMITED	12
I. 3. OILFIELD SERVICES	12
I. 4. SCHLUMBERGER RIBOUD PRODUCT CENTRE (SRPC)	13
II COMMENT SE FORME LE PETROLE?	14
II. 1. LE GISEMENT DU PETROLE	15
II. 2. ORIGINE DES GISEMENTS DE PETROLE:	17
II. 3. CONSTRUCTION SIMPLIFIEE D'UN Puits DE PETROLE.....	18
III .FORMULATION D'UN COULIS DE CIMENT.	21
III. 1. LE CIMENT	22
<i>III. 1. 1 Historique du ciment.....</i>	<i>22</i>
<i>III. 1. 2 Fabrication du ciment Portland</i>	<i>23</i>
<i>III. 1. 3 Les différents composés du Clinker</i>	<i>23</i>
III. 2. RHEOLOGIE D'UN COULIS DE CIMENT.....	24
III. 3. PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES DES FLUIDES DE FORAGE : ..	26
III. 4. LES ADDITIFS	33
IV .PARTIE EXPERIMENTALE.....	41
IV. 1. LES DISPERSANTS	42
IV. 2. LES AGENTS DE CONTROLE DE FILTRAT	44
IV. 3. TESTS DE REPETABILITE	47
IV. 4. INFLUENCE DE LA VARIATION DE LA QUANTITE DE DISPERSANT (DISPERSANT A) A 185F.....	48
IV. 5. INFLUENCE DE LA VARIATION DE LA QUANTITE DE DISPERSANT (DISPERSANT A) A 250F	49
V .DISCUSSION DES RESULTATS.....	50
V. 1. LES RESULTATS OBTENUS POUR LES DISPERSANTS	51
V. 2. COURBES COMPARATIVES ENTRE LE DISPERSANT 4 (LIQUIDE) ET LE DISPERSANT 6 (SOLIDE)	58
V. 3. RESULTATS COMPARATIFS ENTRE DEUX PRODUITS A MASSES EN MATERIE ACTIVE EQUIVALENTES.....	59

V. 4. COURBES COMPARATIVES ENTRE LES DIFFERENTS PRODUITS.....	61
V. 5. COMPORTEMENT A 45C DU DISPERSANT REF, DISPERSANT 3 ET DISPERSANT 4.....	62
V. 6. COMPORTEMENT A 65C DU DISPERSANT 3 ET DISPERSANT 4.....	63
V. 7. COMPORTEMENT A 85C DU DISPERSANT 1, DISPERSANT 2 ET DISPERSANT 4.....	64
V. 8. LES RESULTATS OBTENUS POUR LE FLAC REF,FLAC 2 ET FLAC 1 A 185F.....	65
V. 9. LES RESULTATS OBTENUS POUR LE FLAC REF,FLAC 1 ET FLAC 2 A 250F.....	67
V. 10. LES RESULTATS OBTENUS POUR LE FLAC REF ET FLAC 1 A 185F.....	70
V. 11. LES RESULTATS OBTENUS POUR LE FLAC REF ET FLAC 1 A 250F :.....	76
VI. CONCLUSION.....	78
VII. BIBLIOGRAPHIE.....	80

LEXIQUE

Gisement :

Un gisement est une roche réservoir perméable. La roche réservoir doit présenter des caractères de porosité, de perméabilité et de volume intérieur accueillant une quantité d'hydrocarbure suffisante pour une exploitation économiquement justifiée.

Incertitude :

Dispersion d'un ensemble d'observations, d'un même laitier, préparé par la même personne (répétabilité + reproductibilité).

Isolation de zone :

La gaine de ciment permet l'isolation entre les fluides de la formation : eau potable, eau salée, gaz ; c'est le support mécanique du tubage. Elle permet aussi d'isoler le tubage des fluides agressifs que peut contenir une formation.

Kérogène :

Du grec Kéros : cire.

Macromolécules sur lesquelles jouent la pression géotectonique, la chaleur géothermique et le temps.

Laitier ou Slurry :

Un laitier est une préparation de 600 mL contenant de l'eau et du ciment. Le ciment est ajouté à la partie liquide contenant les additifs en 15 s ; à 4 000 tours par mnute, puis 35 secondes à 12 000 tours par mnute (d'après les normes de l'American Petroleum Institut, API.

Masse volumique d'un laitier :

La densité d'un laitier représente la masse volumique de l'ensemble : les phases solides (ciment et les autres additifs solides) et la phase liquide (eau et additifs liquides).

Migration :

La migration du pétrole de la roche mère vers une roche-réservoir a lieu lorsque le pétrole rencontre une roche poreuse où se mélange à un fluide de densité différente ce qui provoque un mouvement pour établir un équilibre physique.

Perméabilité :

C'est la propriété des espaces intérieurs d'une roche de communiquer entre eux ,ce qui permet aux fluides qu'ils contiennent de se mouvoir à travers la roche en question.

Pompable :

Un laitier est dit pompable lorsque le fluide s'écoule facilement et qu'il n'induit pas une perte de charge trop importante lorsqu'on le place dans la gaine de ciment.

Porosité :

La porosité d'une roche est caractérisée par le volume des espaces inter granulaires des éléments la constituant. Elle représente la fraction volumique occupée par l'eau et l'air dans une éprouvette de ciment pris.

Prise de ciment :

Lors de la prise de ciment une réaction chimique a lieu et elle se traduit par un dégagement de chaleur. Le laitier est liquide au départ puis lorsque la réaction chimique débute des liens se forment entre les grains de ciment. Par conséquent la viscosité du laitier augmente et les hydrates forment un réseau enchevêtré ce qui empêche le déplacement du laitier.

Répétabilité :

La répétabilité est la dispersion des observations de différents échantillons générés par un même laitier, préparé par une même personne. Les résultats permettent d'évaluer la marge d'erreur du type de laitier étudié et la répétabilité intrinsèque au sein d'un laitier. Son étude nous donne la précision de l'appareil de mesure et la dispersion due au mode opératoire.

Reproductibilité :

C'est la dispersion des moyennes des observations d'une même formulation. La reproductibilité permet d'évaluer l'influence de la préparation de laitiers, de la variabilité des matières premières, de l'opérateur. Son étude nous montre donc la robustesse de la méthode.

Roche Mère :

La roche mère est une formation sédimentaire qui a emprisonné, en se déposant, les matières organiques et minérales qui ont donné naissance aux hydrocarbures.

Roche-réservoir :

C'est une roche sous-sol pouvant contenir du gaz, du pétrole de l'eau ou d'autres fluides.

Sédimentation :

C'est un phénomène à minimiser lors de la formulation du laitier par exemple trop de dispersant déstabilise la suspension.

Tubage ou Casing :

Dans un puits de production, c'est le conduit tubulaire par lequel l'effluent (eau, pétrole, gaz) s'élève de la couche productrice jusqu'à la surface. Ce conduit est fixé en surface à la tête de production.

Viscosité :

La viscosité d'un fluide se manifeste par sa plus ou moins grande facilité à s'écouler. Ceci est dû au frottement des particules composant ce fluide. On parle de viscosité absolue, elle représente l'énergie due au frottement interne du fluide, et qui s'oppose aux mouvements de ce dernier. La perte de charge générée par un fluide pour être pompé est un facteur important quant au coût de l'opération de cimentation d'un puits de pétrole. Plus un fluide est visqueux, plus il faut de l'énergie pour le pousser et le placer dans le puits, par conséquent le coût augmente d'autant.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La qualité de la cimentation d'un puits de pétrole est une phase primordiale pour le bon déroulement de l'exploitation d'un champ pétrolifère . En effet, la mise en place des tubages coûte cher et c'est aux sociétés de service de proposer des matériaux économiques, durables et résistants aux contraintes subies par le ciment au fond du puits.

La gaine de ciment doit en effet maintenir le tubage en place mais aussi garantir l'isolation des différentes couches géologiques traversées par le puits afin d'éviter le flux de fluides (eau, gaz, pétrole) à l'extérieur du tubage. L'isolation de zone doit être maintenue pendant l'exploitation du puits.

Donc la formulation du ciment est très importante, c'est pour cela que nous avons concentré notre étude sur la recherche de nouveaux dispersants et leur effet avec variation de température, nous avons aussi cherché à trouver de nouveaux agents de contrôle de filtrat avec effet de la température aussi.

Nous nous limiterons ici à l'étude du ciment Portland pur .Le ciment Portland est en effet le ciment le plus largement utilisé par les ingénieurs lors de la cimentation d'un puits de pétrole.

- La première partie du mémoire est la présentation du groupe Schlumberger.
- La deuxième partie décrit comment se forme le pétrole.
- La troisième partie traite de la formulation d un laitier de ciment.
- La quatrième partie du mémoire est consacrée à la partie expérimentale.
- La cinquième partie est réservée à la discussion des résultats.
- Et enfin la dernière partie porte sur la conclusion.

Les objectifs de L'étude

Tout d'abord nous avons commencé par étudier 7 dispersants (classifiés super plastifiants) : l'un d'eux se présente sous forme solide Dispersant 6, les autres sont des liquides.

Dans cette gamme de dispersants choisie, on avait une référence liquide (DISPERSANT REF), qui est un produit déjà utilisé, tous les autres sont des produits expérimentaux ; donc la première phase était une phase de «screening » et on avait des objectifs bien précis:

- Comparer les performances des produits expérimentaux avec la référence DISPERSANT REF à iso concentration.
- Savoir si on pouvait dépasser la température limite du DISPERSANT REF (60C).
- Avoir des additifs et des chimies équivalentes sous les deux formes liquide et solide.

La deuxième partie de notre étude concernait les agents de contrôle de filtrat , avec pour références FLAC REF et FLAC 1 .Ce sont tous les deux des polymères organiques avec la même composition chimique ;la seule chose qui les différencie est leur synthèse.

Les particules du FLAC 1 sont plus fines et ceci est dû à un cisaillement plus fort lors de la synthèse.

On a évalué le FLAC 2 qui est équivalent au FLAC REF plus un peu de surfactant.

A noter que les échantillons de FLAC REF et FLAC 2 ne provenaient pas du même batch.

Nos objectifs étaient donc les suivants :

- Augmenter la température limite des références à iso concentration.
- Ajuster les performances en faisant varier les concentrations des agents de contrôle de filtrat.
- Tester les combinaisons de produit si nécessaire.

I .Présentation du groupe Schlumberger

I. 1. Historique

La société Schlumberger est née au début du 20^{ème} siècle (1926). Elle est le fruit de la découverte par deux frères alsaciens, Conrad et Marcel Schlumberger figure I.1, d'un nouveau système de mesure permettant de décrire la nature du sous-sol.

Un signal électrique émis au fond d'un puits traverse les différentes couches géologiques jusqu'à la surface puis est réceptionné par un capteur. La nature du terrain ainsi inspectée est mise en évidence par la variation de résistivité mesurée. Le premier principe du logging électrique venait de voir le jour. Cet événement devait doter l'industrie pétrolière d'un puissant outil d'exploration.

Ce premier log ne fut pas le résultat d'une inspiration soudaine. Quinze ans auparavant, le polytechnicien et ingénieur du corps de Mines, Conrad Schlumberger, eût l'idée qu'il était possible de déterminer la structure des sous-sols par des mesures électriques. A l'école des Mines, il entreprit d'examiner si la résistivité des roches pouvait servir de base à une méthode géophysique.



Figure I.1 .Marcel et Conrad Schlumberger [1].

C'est dans le parc du Val Richer, propriété de famille en Normandie, qu'il fit ses premières mesures électriques en 1912. La même année, dans une région où les formations géologiques d'âges largement différents étaient bien connues, il mit en lumière la corrélation entre les mesures électriques et la géologie du sous-sol. En 1913, à Soumont (Normandie), les mesures électriques permirent de déterminer le prolongement d'un banc de minerai qui avait été déclaré par une faille.

Pendant une période d'une trentaine d'années, l'entreprise se développa en améliorant sa technique de prospection. Une compagnie pétrolière alsacienne demanda, la première, aux frères Schlumberger si leur méthode pouvait aider à obtenir des informations plus précises et détaillées sur les couches traversées par des puits d'explorations. Conrad était convaincu que les techniques de prospection électriques pouvaient être adaptées à l'exécution de mesures dans les sondages. La technique était rudimentaire et lente puisque chaque mesure était effectuée point par point, instruments descendus et remontés au moyen d'un treuil manuel. Cependant, le résultat aisément obtenu et peu coûteux, permit de supprimer en grande partie le carottage mécanique, beaucoup plus onéreux, consistant à prélever des échantillons dans les sondages.

A partir de 1929, des équipes de logging furent envoyées à l'étranger en Amérique Centrale et du Nord, ainsi qu'en U.R.S.S. En 1931, Schlumberger fit une grande découverte qui devait augmenter fortement l'efficacité du logging. On remarqua que des potentiels apparaissent naturellement – dans une couche perméable ; des expériences montrèrent la valeur immédiate de la mesure de ce phénomène : les couches perméables et imperméables purent être clairement identifiées. Ainsi la combinaison des courbes de potentiel spontané et de résistivité eut une valeur pratique bien supérieure à celle du log de résistivité pour situer les horizons pétroliers. Une estimation de leur production était ainsi rendue possible. Cette innovation contribua à l'acceptation de la technique du logging par les compagnies pétrolières et ce en pleine période de récession économique.

En 1931, les opérations commencèrent en Roumanie et au sud de Sumatra ; en 1932 à Trinidad. 1933 vit l'activité de l'entreprise augmenter aux Etats-Unis où les débuts, en 1929 avaient été difficiles à cause de la crise rendant les travaux d'exploitations limités. Schlumberger comptait alors 243 opérations de logging à son actif, pour un effectif de 12 ingénieurs, 40 employés et 11 camions. Une compagnie de droit américain, Schlumberger Corporations fut alors fondée à Houston, Texas.

Ensuite, l'expansion fut rapide ; Schlumberger devait maintenir sa supériorité technique dans un domaine dont l'importance pour l'industrie pétrolière ne cessait de grandir. L'importance de l'œuvre des frères Schlumberger fut reconnue par l'institut Américain des ingénieurs des Mines et par l'association Américaine des Géologues Pétroliers qui, respectivement, décernèrent aux frères Schlumberger, la Lucas Gold Medal et le Prix Spécial 1.

En 1957, la création de Schlumberger Limited permit une diversification des champs d'activité de l'entreprise.

Les mesures physiques dans les puits de pétrole avaient ouvert à Schlumberger un autre champ d'action : celui de l'électronique, de l'acquisition et du traitement des données. Aujourd'hui, ce secteur désigné sous le nom de « Mesure, Régulation et Composants » englobe les capteurs d'électricité, de gaz et d'eau, les instruments scientifiques, les systèmes d'acquisition et de transmission des données, les semi-conducteurs, les équipements automatiques de test des composants et de sous-ensembles électroniques.

Mettant à profit son expérience de la prospection du pétrole, Schlumberger a étendu son activité à d'autres destinés dans l'industrie pétrolière. Aujourd'hui, le secteur pétrolier de Schlumberger concerne, outre le logging, le forage en terre et en mer, les mesures pendant le forage, la mise en production du puits, la cimentation des tubages et la stimulation des puits de pétrole ou de gaz.

Services Pétroliers Schlumberger est un fournisseur le Leader de services d'exploitation, de manufacturing et de technologie dans l'industrie pétrolière internationale. Les Services Pétroliers Schlumberger offrent une suite de services et de solutions qui combine l'expertise du domaine, les meilleures pratiques, les opérations de wellsite, les opérations ne nuisants pas à l'environnement et les technologies innovatrices.

Schlumberger est aujourd'hui une multinationale dotée de deux sièges, Paris et New York, et de sept cent centres de profits. Elle possède également des usines, des laboratoires et des écoles sur les cinq continents.

I. 2. Schlumberger Limited

SCHLUMBERGER EN CHIFFRES

Depuis 1962, date de l'induction de Schlumberger à la bourse de New York, le chiffre d'affaire total est passé de 200 millions de dollars à plus de 10 milliards de dollars. En 2002 le chiffre d'affaires consolidé est de 13.5 milliards de dollars. La baisse du chiffre d'affaires est due à l'absence claire de la demande pétrolière et gazière et à la faiblesse persistante des dépenses dans le secteur de l'informatique. En 2003, le revenu était 11.5 Milliards de dollars.

Schlumberger emploie aujourd'hui environ 52000 collaborateurs de 140 nationalités dans plus de 80 pays.

STRUCTURE DU GROUPE SCHLUMBERGER

Tout au long de ces dernières années, le groupe Schlumberger a beaucoup évolué suite à de nombreuses diversifications et acquisitions. L'organisation se présente sous trois axes principaux :

- Test and Transaction (T&T) dont le but est de créer des services et des solutions dans les secteurs des cartes à puce et des équipements de tests automatisés.
- Ressources Management Services (RMS) dont le but est de fournir des produits, des systèmes, des services nécessaires à la gestion et à l'optimisation de la distribution des ressources telles que l'eau, l'électricité et le gaz.
- Oilfield Services (OFS) dont le but est de proposer des services allant de la prospection jusqu'à l'exploitation des gisements d'hydrocarbures.

Le travail effectué au cours de ce mémoire a été réalisé dans ce dernier service dont nous allons présenter plus en détail la structure.

I. 3. Oilfield Services

Tout d'abord rappelons que la branche Oilfield Services est la branche historique de Schlumberger et représente les deux tiers du chiffre d'affaire du groupe. Les soixante-dix années d'expérience dans les services pétroliers ont permis à Schlumberger de développer des solutions et des services techniques capables d'aider les compagnies pétrolières à localiser et à produire les hydrocarbures dans des conditions optimales de rentabilité, de sécurité et de respect de l'environnement. Ainsi Schlumberger fournit les prestations suivantes :

- Services de sismique : acquisition, traitement, et interprétation de données sismiques afin de déterminer l'emplacement du forage.
- Services de forage et de mesures en cours de forage : forage de puits, mesures en temps réel des propriétés pétro physiques et géologiques des roches traversées par le puits.
- Service d'évaluation par logging : évaluation des caractéristiques du puits et du potentiel de production des gisements.
- Services d'ingénierie des fluides : tubage, mise en œuvre des fluides de forage (cimentation), opération de stimulation des puits.
- Services de produits logiciel : solutions informatiques pour l'exploration et la production des hydrocarbures (logiciels, traitement informatique et interprétation des données).
- Services de gestion des projets intégrés : mise en œuvre globale d'une gestion ciblée et coordonnée des opérations sur le site.

Le projet a eu lieu dans le cadre de ce service, présentons plus en détail la structure d'accueil de ce projet.

I. 4. Schlumberger Riboud Product Centre (SRPC)

J'ai effectué ce projet à Schlumberger Riboud Product Center (SRPC) qui est un centre de technologie situé à Clamart (92 Hauts-de-Seine) **figure I.2.**

Le site, dont le nom rend hommage à Jean Riboud patron du groupe Schlumberger de 1966 à 1986, compte environ 500 employés dont 40 % sont des ingénieurs et cadres et 25 % sont des techniciens.



http://www.clamart.srpc.slb.com/global/images/jpgs/srpc_by_night.j

Figure I.2 .Le site de Schlumberger, Clamart.

SRPC est le pôle européen de développement dans les domaines suivants :

- Services d'évaluation est un secteur qui quantifie le potentiel de production du puits. Des outils sont descendus dans le puits pour mesurer la résistivité de la roche et donnent des informations sur les fluides qui la composent. On peut également obtenir des diagraphies de production (logging) du puits qui donnent une information sur les quantités produites d'hydrocarbures, d'eau et de gaz.
- Services de production et de test, il développe des outils qui donnent des mesures de pression. Ce service développe également des capteurs et des sondes qui informent de l'état de production du puits.
- Services de cimentation, il développe les projets relatifs à la chimie des ciments (les différents additifs tels que les accélérateurs, les retardateurs) ou encore à la création d'équipements, de logiciels susceptibles d'améliorer les opérations d'ingénierie des fluides. [1].

Le travail effectué au cours de ce mémoire a été réalisé dans ce dernier service, il concerne en particulier la recherche de nouveaux agents de contrôle de filtration et dispersants formulés dans les fluides utilisés dans les opérations pétrolières.

II Comment se forme le pétrole?

II. 1. Le gisement du pétrole

Le pétrole est connu des hommes depuis très longtemps. Tout a commencé il y a plus de 5000 ans quand les Egyptiens, les Grecs, les Romains, les Perses et les Turcs se sont servis du pétrole pour leurs rites religieux ou pour s'éclairer. Les premiers gisements de pétrole ont été trouvés là où le pétrole filtrait à travers la roche. On sait également que des gisements de pétrole brut, le bitume, ont été utilisés comme mastic pour colmater les bateaux, comme mortier pour assembler les briques et pour faire le feu. Cette première industrie du pétrole a été florissante au moyen-orient, entre 3 000 ans et 600 ans avant Jésus-Christ (la conquête persane).

Les prémices de l'utilisation moderne du pétrole se situent au XIX^{ème} siècle. A cette époque, la demande d'énergie a considérablement augmenté. On a dû recourir à plusieurs types de sources d'énergie pour l'éclairage, le chauffage, les transports et l'industrie. Les sources classiques telles que le bois et le charbon ont été utilisés mais aussi l'huile de baleine. Cette dernière source était la principale origine de lumière dans les foyers américains. Il a rapidement fallu s'orienter vers une source d'énergie alternative. La première solution a été le kérosène, de la houille compacte, molle et grasse qui offre une bonne propriété d'éclairage. On continuait cependant à chercher une huile bon marché pour alimenter les lampes.

Dans certaines zones marécageuses, les Indiens d'Amérique recueillaient de l'huile flottant sur l'eau. Des observateurs se sont demandés si l'on pouvait extraire du pétrole par forage. (Cette technique était déjà utilisée pour l'extraction du sel).

Une autre zone riche en pétrole, où celui-ci suintait hors du terrain rocheux, se situait autour de Titusville en Pennsylvanie, Etats-Unis. Des premiers puits expérimentaux, on est passé à une découverte importante sur le pétrole en 1859, par Edwin L. Drake et son équipe. On s'est donc mis à chercher du pétrole dans toute l'Amérique, et des "Forêts de derricks" se sont rapidement dressées à travers le pays **figure II.1.**

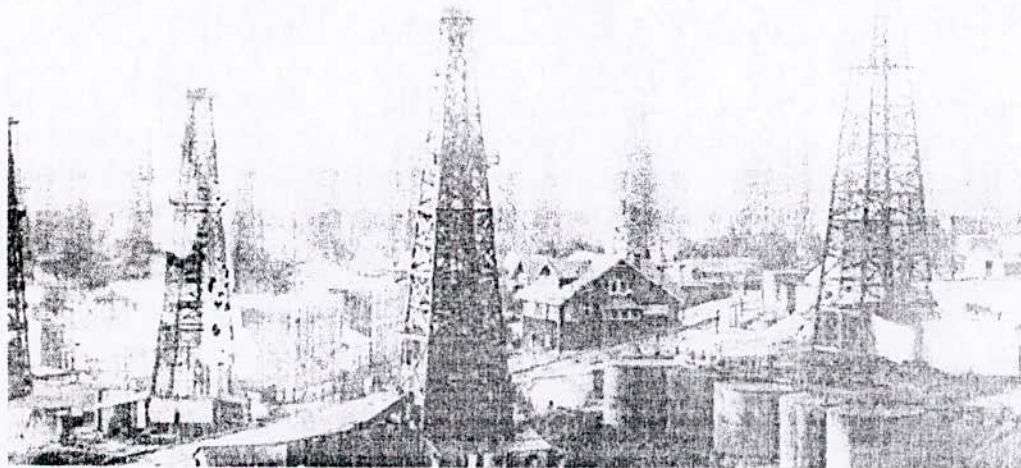


Fig.2 "Forêt" de derricks aux USA.

Figure II.1. Forêt de Derricks aux USA [1].

À cette époque, le pétrole était transporté dans de vieux barils de whisky en bois fabriqués selon une taille standard. C'est pourquoi aujourd'hui nous mesurons toujours le pétrole en baril (1 Baril=159 Litres).

E. Drake a foré le premier puits par la méthode dite «sondeuse par battage au câble». De nos jours, on a recourt presque exclusivement au forage rotatif .Le principe du forage par battage au câble est illustré sur la **figure II.2**. Un câble est précipité du haut vers le sol ,entraînant de lourdes coulisses de forage qui enfoncent un taillant dans le sol .Le taillant doit être hissé à intervalles réguliers hors du puits de façon à pouvoir évacuer les déblais dans un panier spécial, nommé cuillère. Le puits est ainsi foré petit à petit.

Le procédé du forage rotatif est ensuite devenu plus populaire. La principale différence est l'utilisation d'un trépan au lieu d'un taillant. Le câble est également remplacé par une tige de forage qui entraîne le trépan en rotation .Pendant le forage la tige entière tourne.

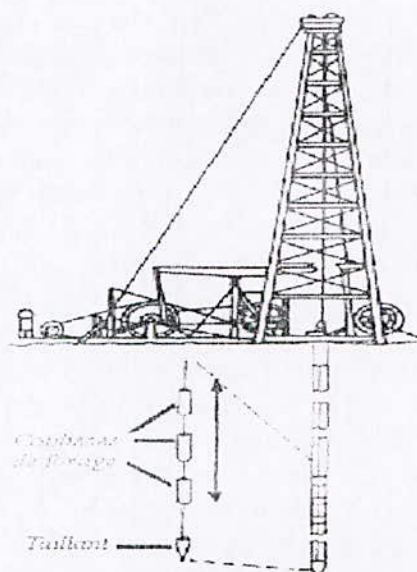


Fig 3 Principe de la sondeuse par battage au câble.

Figure II.2.Principe de la sondeuse par battage au câble [1].

Un autre événement important dans le développement de l'industrie de forage du pétrole a eu lieu en 1901 à Spindletop, Texas, Etats-Unis. Le responsable du forage était le Capitaine Anthony Lucas, il était convaincu que du pétrole pouvait être extrait sous le dôme de Spindletop. Mais la question était : Quel procédé de forage utiliser ? Le sol autour du dôme étant composé de formations non consolidées, le forage par battage au câble ne fonctionnait pas. On a donc dû recourir au forage rotatif. Cette méthode, et le système de circulation de fluide associé, étaient plus appropriés à l'utilisation dans des formations tendres. Le puits de Spindletop a également démontré que de grandes quantités de pétrole pouvaient être extraites de formations plus jeunes non consolidées. Précédemment, seules les formations anciennes et consolidées étaient considérées comme des sources de pétrole potentielles.

À cette époque, l'Europe dépendait presque exclusivement des Etats-Unis concernant le combustible pour éclairage. Mais après 1870, des réservoirs ont été explorés à Bakou, dans l'Empire Russe. Aux environs de 1900, Bakou produisait plus de pétrole que les Etats-Unis.

Les Américains ont continué à améliorer les techniques de forage en actionnant le trépan avec des moteurs à vapeur et en effectuant le cuvelage avec des tubes en acier. Ces améliorations technologiques ont contribué à stabiliser le prix du pétrole.

C'était impératif, le pétrole devenant une denrée de plus en plus vitale pour les Etats-Unis et l'Europe, nouvellement industrialisés. De plus en plus de machines nécessitaient du pétrole comme source d'énergie. En 1888, Karl Benz a inventé le moteur à essence.

Avec l'avènement de l'automobile, au début des années 1900, la demande de pétrole a encore augmenté. De 1900 à 1910, la production d'automobiles est passée de 8 000 à 450 000 voitures par an. Cette augmentation a été fortement influencée par la production en série du modèle T de Henry Ford, en 1909.

D'autres pays ont suivi les Etats Unis dans la recherche du pétrole. D'abord, l'Italie en 1860, puis le Canada, la Pologne, le Pérou, l'Allemagne, la Russie, le Venezuela, l'Inde, les Indes Néerlandaises (Indonésie), le Japon, Trinidad, le Mexique et l'Argentine.

La première découverte importante de pétrole au Moyen-Orient a eu lieu en Iran en 1908, suivie de découvertes en Irak en 1927 et en Arabie Saoudite en 1938. Depuis, d'autres grands gisements de pétrole ont été découverts autour du Golfe Persique.

II. 2. Origine des gisements de pétrole:

Le pétrole et le gaz naturel trouvent leur origine dans la formation de vases au fond des lacs ou des mers de débris d'origine végétale, provenant de l'érosion de l'écorce terrestre, et de débris d'origine animale. Notons cependant que les matières organiques n'ont le temps de sédimenter que dans les eaux pauvres en oxygène car celles-ci ne sont pas attaquées par les bactéries aérobies. Ainsi tous ces débris s'accumulent et s'organisent en fonction de leurs tailles et densités pour former des couches successives. Le processus se poursuit pendant des millions d'années pour former des vases noirâtres. Elles sont ainsi enfouies dans des sédiments peu perméables et sont attaquées par les micro-organismes anaérobies pour donner naissance à des macromolécules de produits carbonés : le kérogène. Les nouveaux sédiments par leur charge viennent compacter ceux qui sont déjà là, et deviennent ainsi moins poreux tout en expulsant l'eau. Le poids de ces sédiments peut provoquer un affaissement de l'écorce terrestre et la masse est entraînée à des profondeurs importantes où la température est plus élevée. Le kérogène y subit un craquage thermique qui élimine l'azote et l'oxygène : les longues chaînes se cassent pour donner des molécules plus courtes, les hydrocarbures ou pétrole.

C'est en fonction de la période de l'affaissement terrestre, de la pression, de la température et de la chimie subie entre le kérogène et les produits rencontrés lors de la migration (de la roche mère à la roche-réservoir), que dépendent les caractéristiques chimiques et physiques du pétrole.

C'est donc lui que l'on va chercher à extraire en construisant un puits [1,2,3].

II. 3. Construction simplifiée d'un puits de pétrole

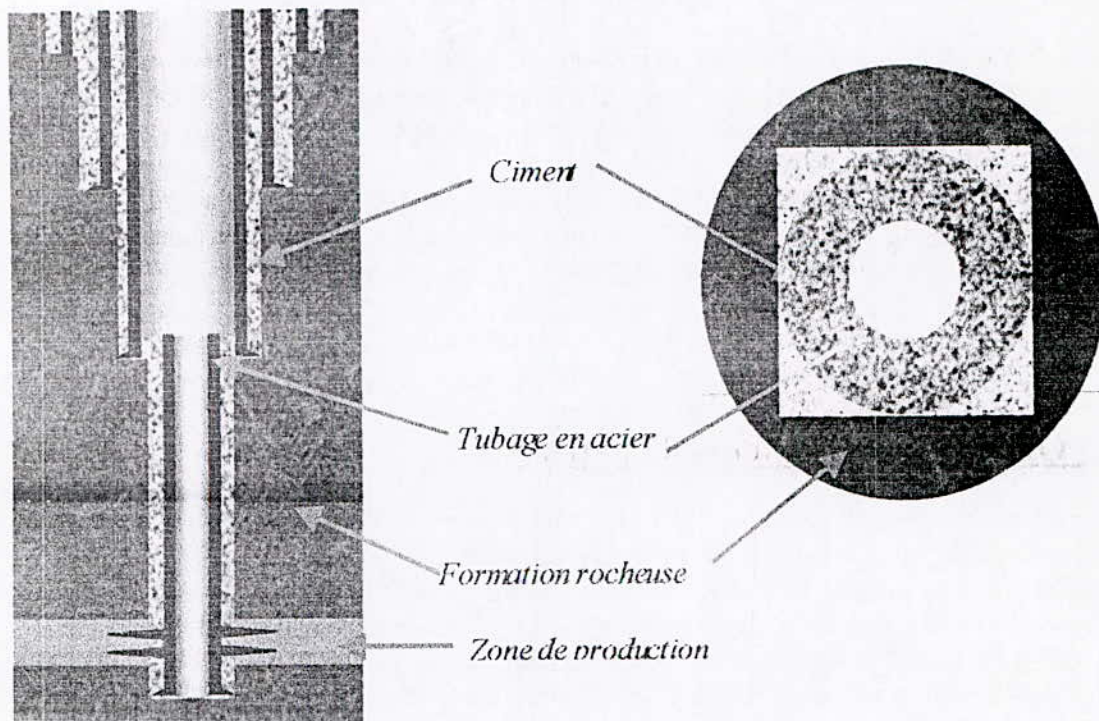


Figure II.3. Coupe longitudinale et transversale d'un puits de pétrole [2].

L'objectif de la cimentation est de renforcer et de rendre imperméable à toute attaque chimique des liquides provenant de la formation, l'anneau entre le tubage et la formation et de créer l'isolation de zone afin d'éviter la corrosion possible du tubage. Le ciment de par son pH basique isole le casing par passivation de la surface du tubage. L'intérêt de la cimentation se justifie à travers l'explication de la technique de forage. Le forage s'effectue par l'intermédiaire de tiges métalliques assemblées progressivement et surmontées d'une tête de forage. Une fois le puits foré le cuvelage métallique figure II.4 est mis en place. C'est à l'intérieur de ce dernier que remontera le pétrole.

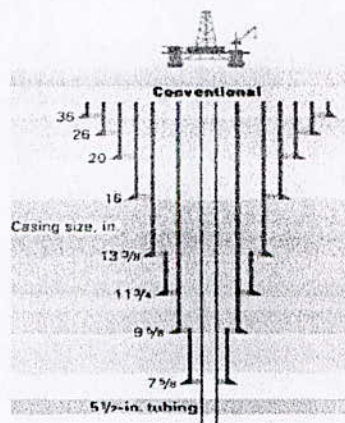


Figure II.4. Cuvelage traditionnel [1].

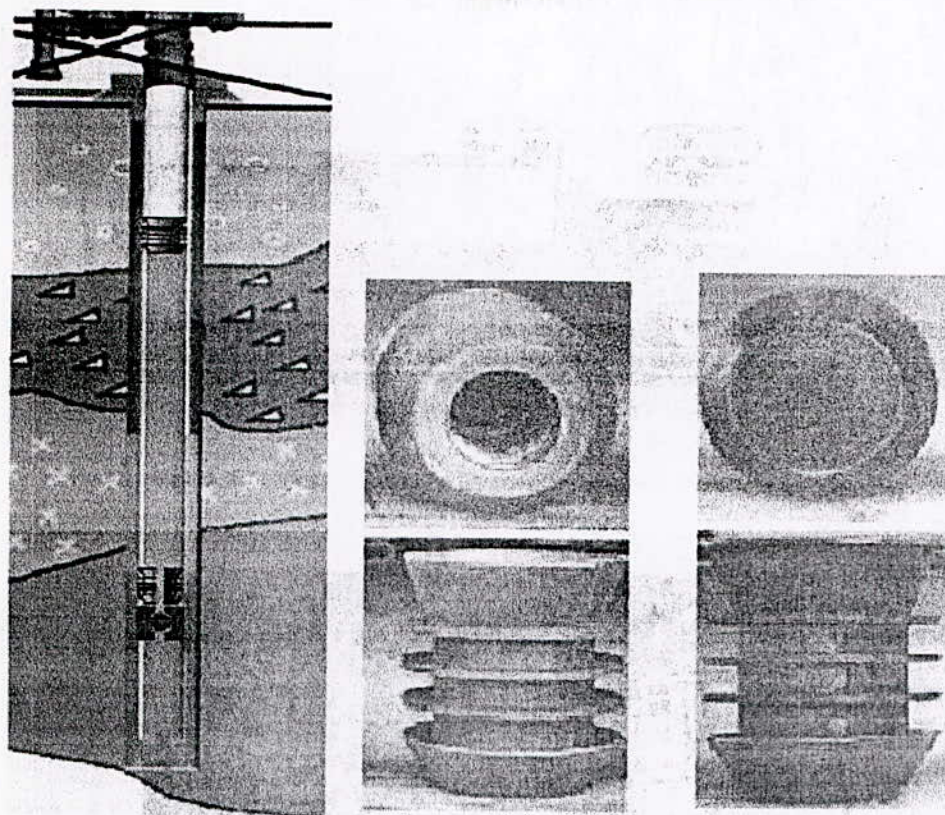


Figure 11.5. Principe de cimentation d' un puits
Noter les bouchons en haut (noir) et en bas (rouge) [2].

Nous comprenons ainsi pourquoi la cimentation entre le tubage et la formation est primordiale. Elle permet d'ancrer le tubage et d'empêcher toute migration de fluides d'une formation vers une autre. On protège également par la cimentation le tubage de l'action corrosive de certains fluides provenant des formations, par exemple des saumures. Pour atteindre ces objectifs la gaine de ciment doit être continue, homogène, imperméable et adhérente aux parois de la formation et du tubage [1,4].

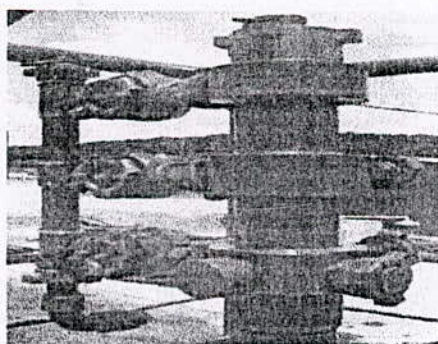


Figure 11.6. Tête de cimentation [1].

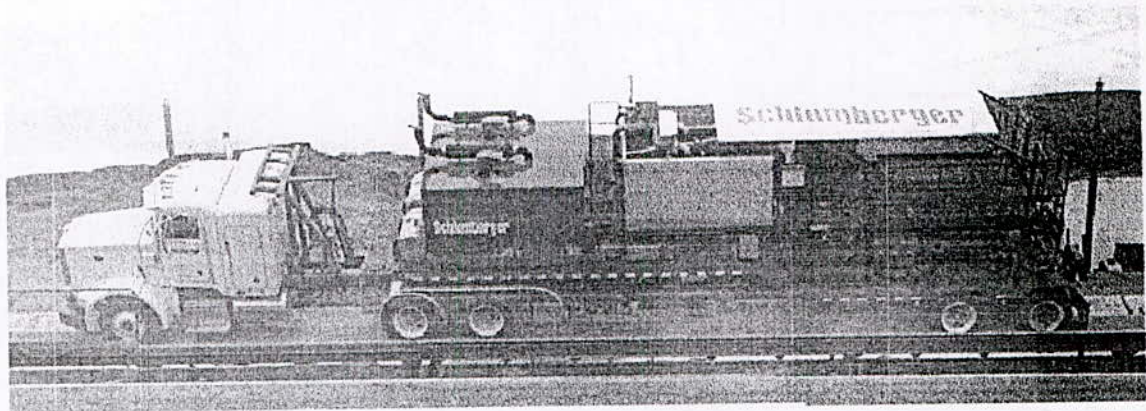


Figure II.7. Unité de cimentation, sur remorque, pour forage sur terre [1].

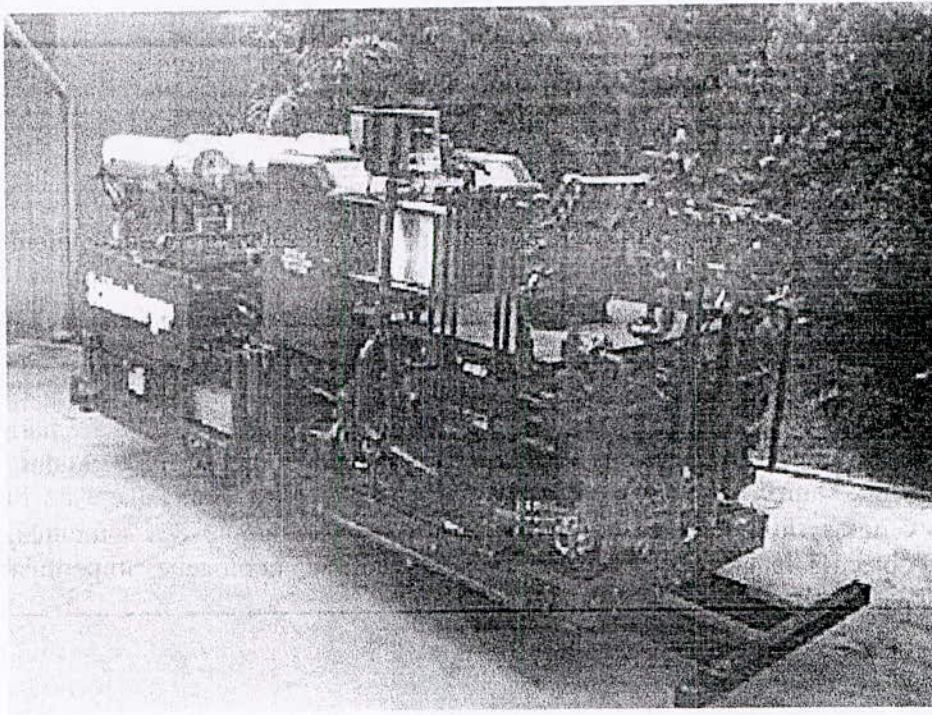


Figure II.8. Unité de cimentation pour forage en mer [1].

Suivons maintenant les grandes lignes de l'histoire du ciment.

III Formulation d'un coulis de ciment.

III. 1. Le Ciment

III. 1. 1 Historique du ciment

Les Romains sont certainement les premiers à avoir pensé un véritable liant hydraulique, c'est à dire un mélange capable de durcir non seulement à l'air mais aussi sous l'eau. Ils mélangeaient de la chaux et des pouzzolanes riches en silice, qui étaient des cendres volcaniques.

En 1756, l'Anglais Smeaton découvrit, lors de la reconstruction d'un phare, que la chaux hydraulique pouvait être formée à partir de calcaire contenant 20 à 25 % d'argile. Le produit obtenu ressemblait à la pierre de Portland et c'est de là que vient le nom de Ciment Portland, utilisé universellement aujourd'hui.

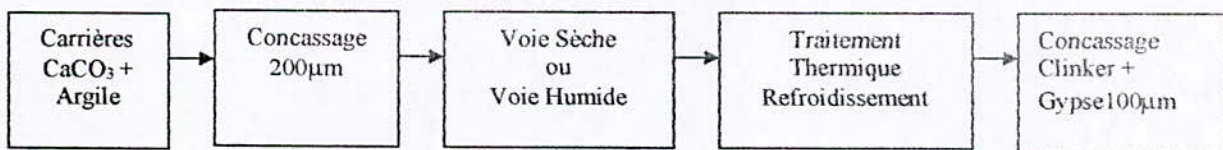
En 1818, le français Vicat démontra que l'on pouvait fabriquer de la chaux hydraulique, artificiellement et avec des produits communs, en mélangeant en proportion 80 % de calcaire et 20 % d'argile.

C'est finalement en 1845 que Johnson fixa les proportions et températures optimales pour la fabrication industrielle du ciment Portland : 8 parties de CaCO_3 et 2 parties d'argile. La décarbonatation du CaCO_3 apporte la chaux nécessaire à la formation par saturation de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, venant de l'argile, des phases réactives du ciment. C'est le traitement thermique à très haute température qui met en présence le mélange chaux et alumine et le porte à l'état de fusion.

Ce mélange forme donc une seule phase liquide qui réagit et qui est ensuite refroidie. C'est lors du refroidissement que les phases cristallines du clinker vont se former. La rapidité du refroidissement va déterminer les phases qui vont être formées et ainsi influencer sur la réactivité du ciment final [4].

C'est le schéma 1 qui nous montre le cheminement du cru, c'est à dire l'ensemble formé par la matière provenant de la carrière (carbonate et argile) et l'eau qui a aidé à l'extraction de la matière à partir des carrières. Le mélange carbonate et argile doit avoir des particules d'une taille de 200 microns afin de faciliter la suite de fabrication du ciment et le rendre le plus homogène possible. Le mélange doit par conséquent être concassé. Ensuite le mélange doit subir le procédé en voie sèche ou en voie humide. Le choix se fait en fonction des impératifs financiers. En effet, le traitement par voie humide nécessite l'élimination de l'eau qui est un procédé très coûteux en énergie. Le mélange ainsi obtenu va subir un traitement thermique puis un refroidissement. Cette partie du procédé permet au mélange de former les phases cristallines nécessaires à la réactivité finale du ciment. En dernier lieu on ajoute du gypse dont la taille des particules est de 100 microns environ qui permet de réguler l'hydratation du ciment. L'ensemble clinker + gypse est ensuite homogénéisé. Toutes ces étapes seront développées dans la suite de la bibliographie.

Schema III.1. Synoptique du procédé de fabrication du ciment [4].



Etudions maintenant en détail la méthode de fabrication actuelle du ciment Portland.

III. 1. 2 Fabrication du ciment Portland

Le ciment Portland est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium. C'est la résultante de la combinaison de la chaux avec la silice, l'alumne et l'oxyde de fer. La chaux est apportée par les roches carbonatées alors que les autres éléments sont apportés par l'argile. Tout le cru qui donnera le ciment final provient de carrières calcaires et de carrières d'argile, qui sont forcément d'origine sédimentaire [5].

Avant d'aller plus en avant, expliquons les abréviations des termes chimiques qui seront employées tout au long de cette étude.

Nomenclature:

Dès 1915, Rankine et Wright ont établi une notation simplifiée pour parler des oxydes qui forment le clinker.

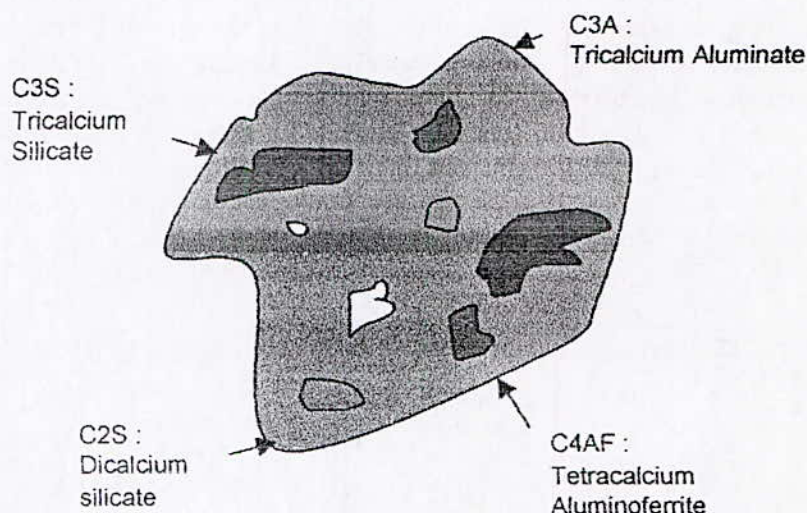
C = CaO	F = Fe ₂ O ₃
A = Al ₂ O ₃	M = MgO
S = SiO ₂	H = H ₂ O

Les principaux composés du clinker étant :

Le silicate tricalcique :	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5 = 3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$
Le silicate bicalcique :	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4 = 2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$
L'aluminate tricalcique :	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 = 3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$
L'aluminoferrite tétra calcique :	$\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5 = 4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$

On peut à présent parler du principe de fabrication.

III. 1. 3 Les différents composés du Clinker



Schema III.2. Agrandissement de la composition d'une particule de clinker [2].

La réactivité de la phase interstitielle (C₃A, C₄AF) est fonction, de la vitesse de refroidissement du clinker. Trop de C₃A va induire une prise trop rapide du ciment, donc sans

contrôle. Son hydratation provoque un dégagement de chaleur important ce qui provoque une mauvaise adhésion du ciment sur le tubage.

C'est également lui qui est responsable du comportement rhéologique du slurry, par formation d'hydrates qui s'enchevêtrent, ce qui rend le laitier moins maniable et empêche l'hydratation de C_3S . C'est pourquoi les cimentiers limitent la teneur en C_3A des ciments. Les phases silicatées (C_3S ou C_2S) représentent, quant à elles, 80% de la matière. C'est par conséquent leur chimie qui influe le plus lors de l'hydratation d'un laitier [2].

Une composition typique des phases majoritaires du ciment Portland est :

C_3S	60.2 %	C_3A	4 %
C_2S	11.1 %	C_4AF	8.4 %

Remarque : composition du ciment Portland peut varier en fonction de la matière première.

III.2. Rhéologie d'un coulis de ciment

La rhéologie étudie l'écoulement des liquides sous l'effet d'une contrainte. On caractérise l'aptitude à l'écoulement des fluides par une courbe qui représente la variation de la vitesse de déformation en fonction d'une contrainte de cisaillement **figure III.8**.

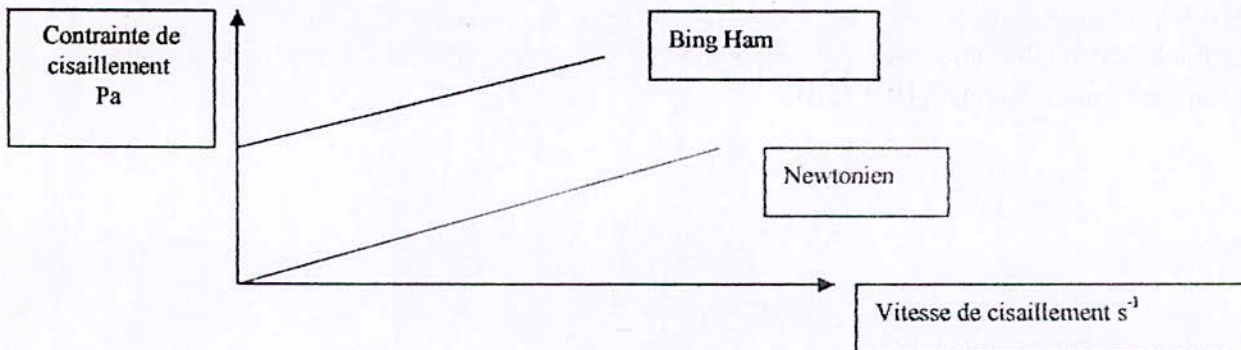


Figure III.1 Exemple de courbes utilisées en industrie pétrolière[10].

Cette étude se fait grâce à un viscosimètre Fann 35 **figure III.9**. Ce système de mesure de la viscosité du laitier fait passer le laitier entre deux cylindres coaxiaux dont l'un est fixe (le bob) et l'autre tourne (le rotor). Le bob est une pièce cylindrique pleine en acier inox. Le rotor, quant à lui, est une pièce cylindrique creuse en acier inox.

Le bob est maintenu en place de manière immobile par un axe. La mesure est ainsi toujours effectuée dans le même volume de laitier. L'axe qui maintient le bob est lui-même relié à un ressort qui est solidaire au châssis de l'appareil. Le ressort doit être contrôlé périodiquement dans un intervalle de trois mois. Ce contrôle est important afin de s'assurer que la torsion du ressort est bien reliée à la déformation induite par la viscosité du laitier. En effet, lorsque le laitier est visqueux il va induire une certaine déformation. Un laitier moins visqueux va provoquer une déformation du ressort moins importante. Le ressort doit donc être toujours en accord avec la viscosité réelle du laitier. Afin de s'en assurer, on utilise des huiles étalon de 500 cp. Ainsi une marge d'erreur de 10 cp est tolérée en tenant compte de la température.

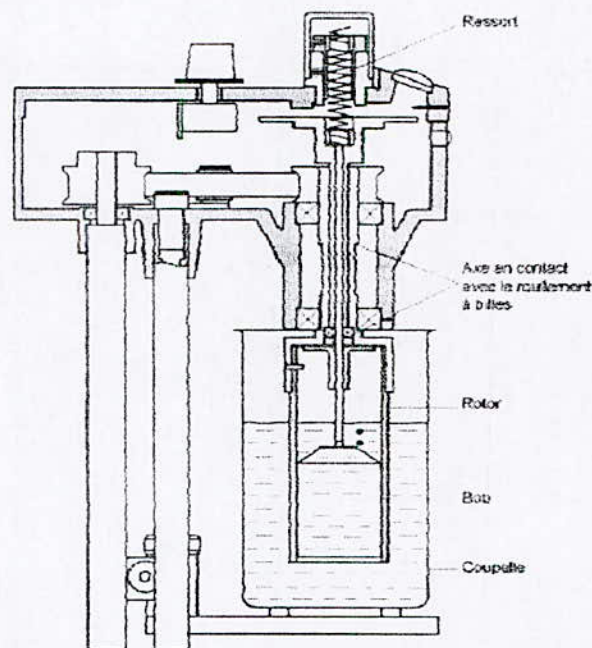
Il faut cependant noter que les valeurs de rhéologie données par le rhéomètre n'ont une signification physique que si le laitier est bien homogène et ne présente pas de sédimentation.

En effet, la mesure rhéologique d'un laitier à deux phases n'est pas représentative de l'état du laitier et les valeurs obtenues ne peuvent pas être interprétées. Les valeurs rhéologiques obtenues ne sont que celles d'une seule phase. De même un laitier qui a trop de bulles doit être dégazé avant la mesure rhéologique afin d'avoir un échantillon représentatif et homogène du laitier.

La caractérisation rhéologique précise est nécessaire afin d'avoir une évaluation de la mixabilité du slurry ainsi que de sa pompabilité.

Les valeurs qui sont mesurées concrètement par le Fann 35 sont le seuil de cisaillement (en Pa ou Nm^{-2}), et la viscosité plastique (en cp ou MPa.s). Les valeurs obtenues donnent une indication de la pompabilité du laitier. Un laitier trop visqueux va conduire à une perte de charge trop importante pour le placer entre le casing et la formation. Ce type de laitier n'est pas fiable car il induit une surcharge pour la pompe qu'il use et ainsi elle consomme beaucoup plus qu'en régime nominal [10,11,13].

Figure III.2 Fann 35 [13].



III. 3. Propriétés physicochimiques des fluides de forage :

Introduction :

On désigne ici par propriétés physicochimiques, les caractéristiques dépendant de la **structure** du fluide, c'est-à-dire les relations qui existent entre le liquide de base, les composés dissous et les particules solides en suspension . Ajouté à cela, le comportement du système entier vis-à-vis du milieu environnant (formation, arrivées d'eaux... etc.).

Pour cela, on se doit d'essayer de porter quelques éclaircissements et définitions régissant ces caractéristiques.

Etant des suspensions colloïdales, les boues de forage possèdent toutes les caractéristiques de ces dernières. Néanmoins, le boueur ne se préoccupera que de quelques unes, dont il doit assurer le contrôle. Deux parmi celles-ci sont particulièrement importantes :

Caractéristiques rhéologiques.

Caractéristiques de filtration.

II-2 Rhéologie et formulation :

Historique :

Rhéologie : Mot créé au Etats-Unis en 1929 par Eugène Cook BINGHAM (1878-1945).

L'émergence de la rhéologie est liée à l'épanouissement des polymères et bien sûr à la construction des premiers rhéomètres.

Définition :

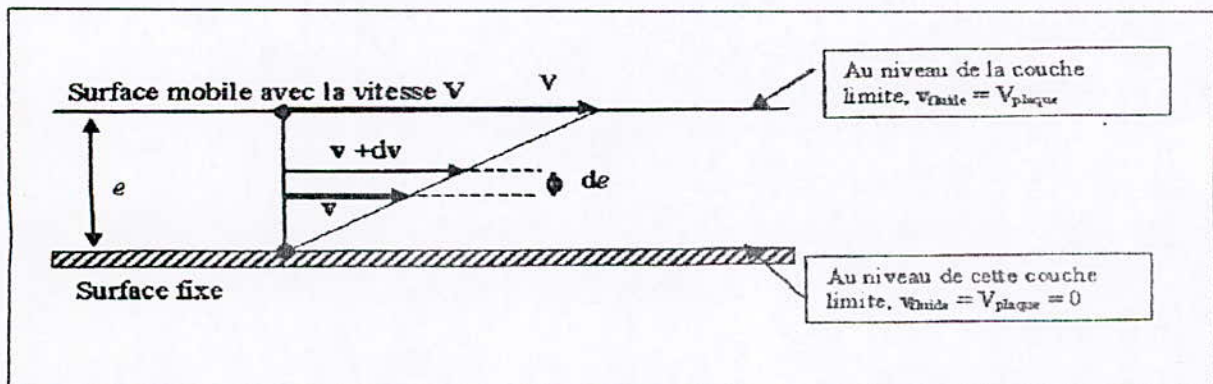
Etymologiquement, la rhéologie est une science qui traite de l'écoulement, des déformations , et plus généralement de la **viscosité** des matériaux sous l'action de **contraintes**. Elle est capable d'intégrer l'étude des solides ; cependant, il faut partir du fait que la notion de liquide recouvre aussi bien des liquides très fluides comme l'eau, les solvants organiques, les solutions et les dispersions diluées ; mais aussi des substances beaucoup plus visqueuses et consistantes à l'aspect pâteux, semi solide voire même solide.

Malgré cela, ce sont les mêmes lois de comportement et les mêmes grandeurs qui régissent leurs écoulements, nonobstant le paramètre temps.

Pour commencer, il convient de définir le **mouvement de cisaillement** qui est le type de mouvement mis en œuvre en rhéologie . Qu'est-ce qu'un mouvement de cisaillement ?

Nous prenant pour exemple, le mouvement d'un échantillon entre deux surfaces planes. L'une immobile, l'autre animée d'un déplacement parallèle à l'autre. Ce mouvement idéal s'apparente à celui de la peinture étalée à la brosse sur un mur.

Schéma du mouvement de cisaillement :



Hypothèses du modèle

Pendant toute la durée de l'écoulement (du cisaillement) :

Le mouvement est laminaire ; les couches glissent les unes sur les autres.

Le matériau est assimilé à une superposition de couches adjacentes d'épaisseurs infiniment minces, sans qu'il y ait transfert de matière entre les couches.

Définitions

Deux grandeurs servent à caractériser quantitativement le cisaillement :

a) La vitesse de cisaillement

Aussi appelée **gradient de vitesse**, dans la littérature on peut trouver les notations : D , $\dot{\gamma}$ & C' est $\dot{\gamma}$ qui sera adopté dans ce document.

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{de}$$

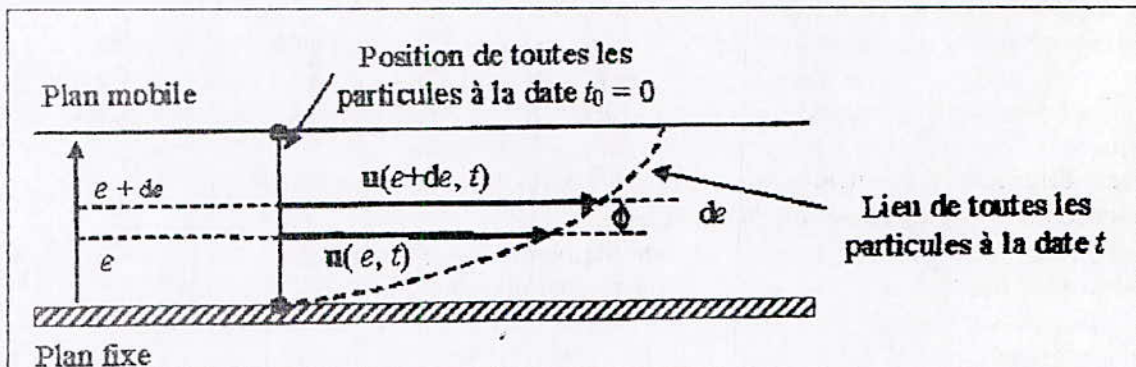
$$[\dot{\gamma}] = S^{-1} ; \text{tr/mn (système anglo-saxon)}$$

Les deux paramètres influençant la vitesse de cisaillement sont la vitesse de la plaque mobile et l'épaisseur de la couche cisailée.

Remarque

Bien que liée à la vitesse de cisaillement, il convient de ne pas confondre la déformation de cisaillement ε et celle citée auparavant $\dot{\gamma}$ [12].

En effet, la déformation correspond au vecteur de placement U de la particule fluide d'une couche sous l'effet du mouvement de cisaillement, pendant une durée t ; donnant un nombre adimensionnel ε .



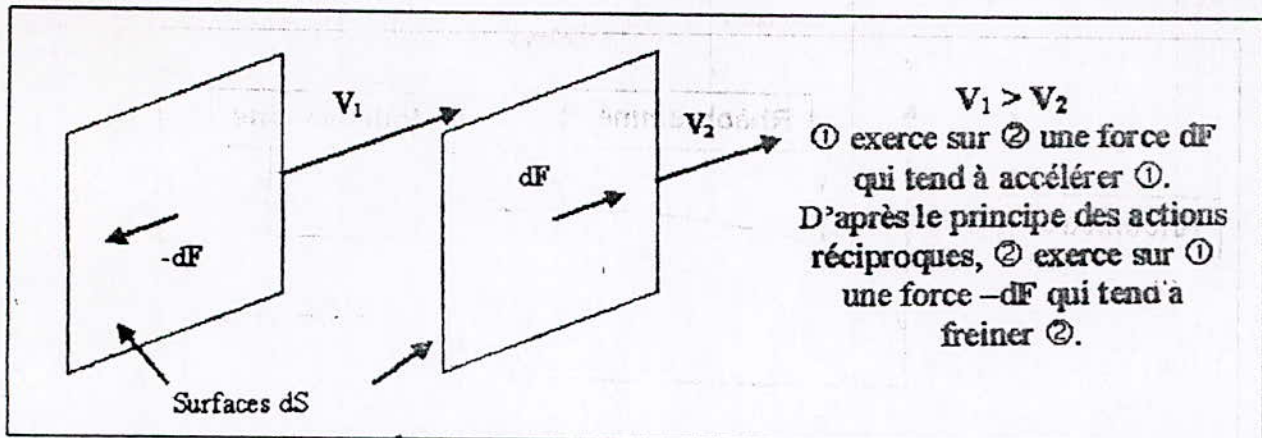
$$\varepsilon = \frac{du}{de}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{du}{de} = \frac{d}{de} \frac{du}{dt} = \frac{dv}{de}$$

Nota : si la courbe en pointillés est un segment de droite, $\dot{\gamma}$ ne dépend pas de e mais seulement du temps t .

b) La contrainte de cisaillement

Si on admet le fait que deux couches en contact se déplacent l'une par rapport à l'autre ; alors, une force de frottement en résultera tangentiellement à leur surfaces. Il s'agit d'une **force de cisaillement**.



Ces forces dépendent de la surface considérée. Dès lors, On est amené à définir la contrainte de cisaillement par : $\tau = \frac{dF}{dS}$ $[\tau] = \text{N/m}^2 = \text{Pa}$

La contrainte de cisaillement, malgré qu'elle soit définie en tout point du matériau, elle varie d'une couche à l'autre, bien qu'elle soit constante sur la même couche.

Remarque

Les mouvements de cisaillement sont réalisés avec des **rhéomètres**, qui en réalité produisent un mouvement rotatif (cylindres coaxiaux, cône plan).

Viscosité

L'observation expérimentale nous a amené au constat de la réciprocité (relativité) de la contrainte de cisaillement T et la vitesse de cisaillement D . **mais au fait, qu'en est-il de leur rapport ?** C'est une propriété du matériau appelée **viscosité dynamique**.

Viscosité dynamique

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

$$[\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s} = \text{PI} = \text{Po (CGS)}$$

Nota η s'appelle aussi viscosité apparente. $\eta = f(T, P, \tau)$ ou de même $\eta = f(T, P, \dot{\gamma})$.

Viscosité cinématique

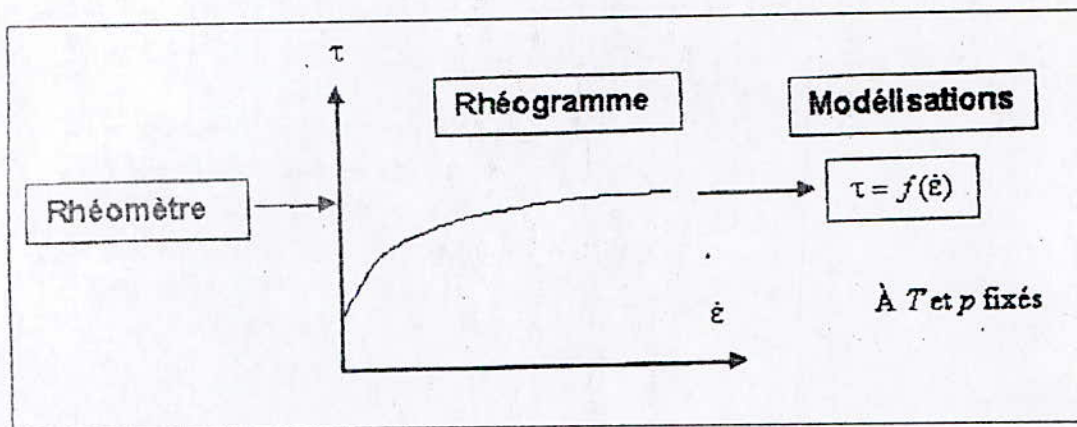
$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

$$[\nu] = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} = \text{stokes (CGS)} \text{ où } \rho : \text{ la masse volumique}$$

La viscosité cinématique présente un intérêt dès que celle-ci dépend de la densité (huiles). Elle est utilisée dans les viscosimètres à orifice

Rhéogrammes (courbes d'écoulements)

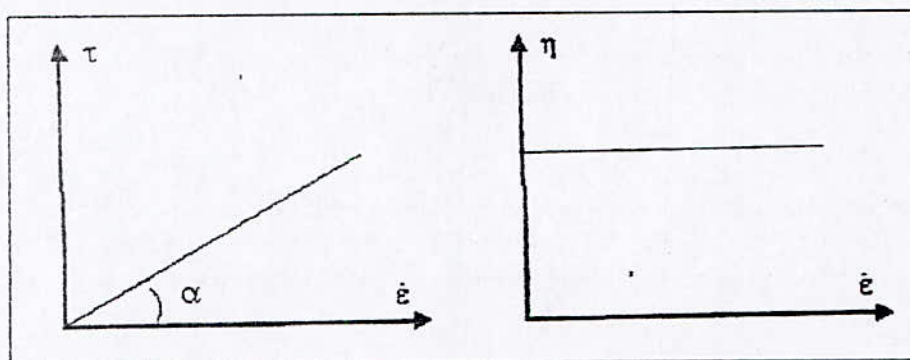
Ils nous permettent d'obtenir des courbes définissant l'évolution $\tau = f(\dot{\gamma})$, qui servent à décrire les propriétés d'écoulement du matériau.



Les fluides newtoniens

Leur viscosité ne dépend pas du cisaillement appliqué. En effet, on n'utilise le rhéomètre que pour vérifier le caractère newtonien du fluide. Un viscosimètre suffira pour étudier le comportement de la viscosité en fonction du temps, pression, et concentration. De ces fluides on citera, l'eau, la plupart des solvants, huiles minérales, certaines dispersions.

Les rhéogrammes présentent l'aspect suivant :



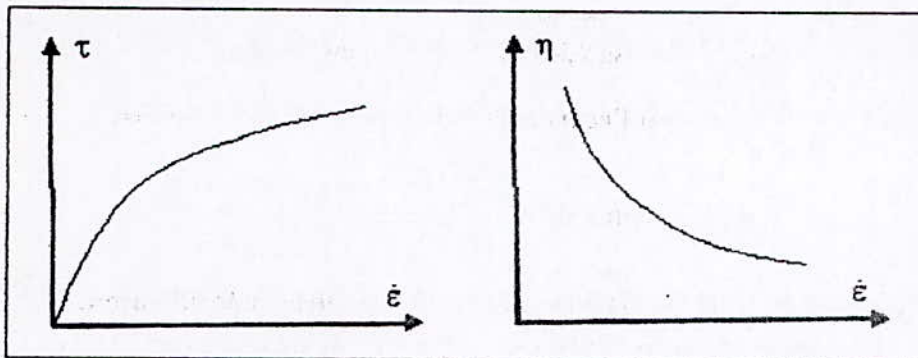
Modèle mathématique : $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \tan \alpha = cte$

Nota : pour un fluide newtonien on parle de **viscosité absolue**

II-2.5.2 Les fluides non newtoniens (non linéaires)

Pour ces fluides la viscosité n'est pas constante, donc pour chaque couple $(\tau, \dot{\gamma})$ correspond une valeur de η . Dès lors, on parle de **viscosité apparente**.

Liquides rhéofluidifiants (parfois appelées pseudo plastiques.)



Ce type de comportement est de loin le plus fréquent. Il concerne les dispersions de particules asymétriques, les polymères à longues chaînes en solution, les ciments... etc.

Modèle mathématique : aucune équation ne peut prétendre venir à bout de ce type de comportement, l'empirisme est roi ; c'est pourquoi plusieurs modèles doivent être essayés.

a) Les modèles à deux paramètres :

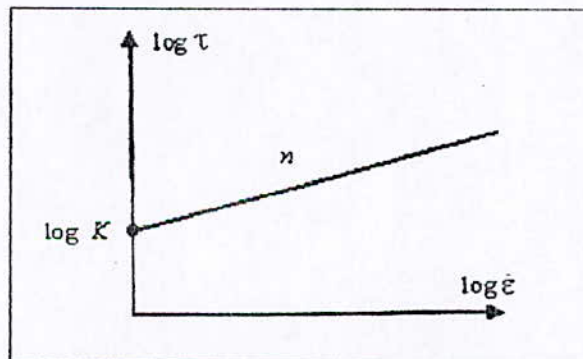
Equation d'Ostwald ou loi de puissance (1925)

$$\tau = K \cdot \dot{\epsilon}^n$$

Où K : le coefficient de consistance ;

$n (<1)$: l'indice de comportement qui traduit l'écart avec le fluide newtonien.

Les limites de ce type de loi interviennent quand le matériau présente des régions de comportement newtonien ; l'une à faible vitesse de cisaillement et l'autre à forte vitesse de cisaillement. Par exemple :



b) Modèles à trois paramètres

La loi de puissance est tronquée du côté des faibles vitesses de cisaillement, et est remplacée par une loi de newton.

$$\tau = \eta_0 \dot{\epsilon} \quad \text{Pour } \dot{\epsilon} < \dot{\epsilon}_c$$

$$\tau = K \dot{\epsilon}^n \quad \text{Pour } \dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_c$$

Avec une condition de raccordement pour $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_0$

On peut citer le modèle d'Ellis :

$$\tau = \frac{\eta_0 D}{1 + (\tau + \tau_{1/2})^{\alpha-1}} \quad \text{Où } \alpha > 1 \text{ traduit l'écart avec le comportement newtonien}$$

$\eta_0 =$ Viscosité de la 1^{ère} région newtonienne

$\tau_{1/2} =$ Contrainte pour laquelle $\eta = \eta_0/2$

Remarque :

Quand $\eta \ll \eta_0$, on retrouve la loi de la puissance ou encore le **modèle de Williamson**.

La contrainte est la somme de deux termes ; le premier traduit l'écoulement par rupture de liaison ; le second est la contrainte visqueuse habituelle

$$\tau(\dot{\gamma}) = \tau_p(\dot{\gamma}) + \tau_v(\dot{\gamma})$$

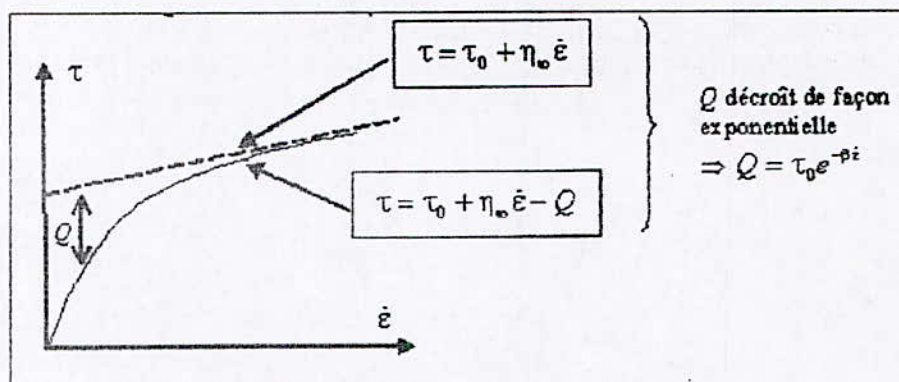
En supposant que dans la seconde région newtonienne

$$\tau_v(\dot{\gamma}) = \eta_\infty \dot{\gamma}$$

On obtient :

$$\tau = \frac{A \dot{\gamma}}{B + \dot{\gamma}} + \eta_\infty \dot{\gamma}$$

Quant à l'équation de Shangraw, elle admet que les rhéogrammes ont une asymptote oblique qui impose à l'écart Q de décroître exponentiellement



Le modèle prend alors la forme :

$$\tau = \tau_0 (1 - e^{-\beta \dot{\gamma}}) + \eta_\infty \dot{\gamma}$$

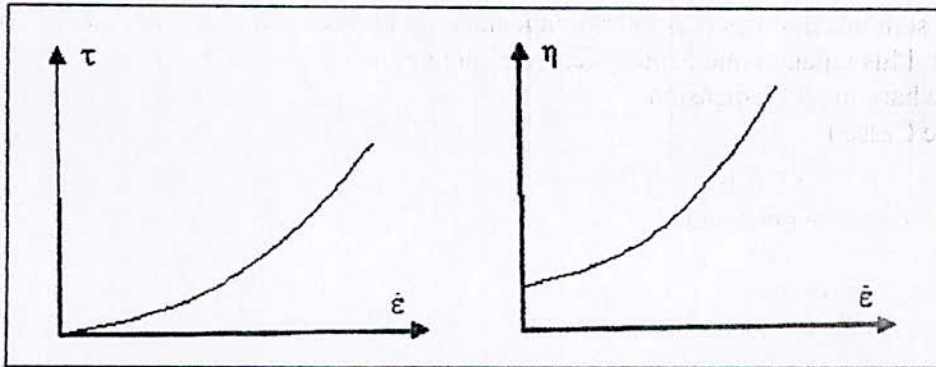
τ_0 et η_∞ sont directement déterminés sur le rhéogramme. Q est ensuite calculée point par point, et $\ln Q$ en fonction de la vitesse de cisaillement permet d'accéder à B .

c) **Modèle à quatre paramètres**

Vu la multitude des modèles on ne citera que le **modèle de Cross**

$$\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = \frac{1}{1 + (C \dot{\gamma})^n}$$

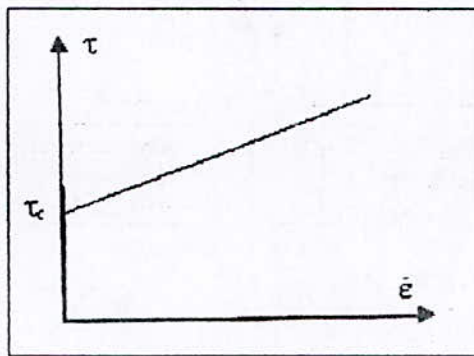
Liquides rhéoépaississants :



Ce comportement est beaucoup moins fréquent. Il concerne les dispersions, les solutions d'amidon, sable mouillé et compacté, et certaines huiles polymériques. Certains de ces produits augmentent de volume ou la contrainte, d'où l'appellation « épaississant ». En tout cas, les causes ne sont pas toutes élucidées ; entre autres, augmentation du volume libre entre les particules lors de l'augmentation du gradient de vitesse.

Modèle : une loi de puissance avec $n > 1$

Liquides plastiques



Ce dernier nous indique qu'il n'y a écoulement, qu'à partir d'une certaine valeur de contrainte τ_c . En effet, au repos les particules du liquide sont imbriquées dans une structure tridimensionnelle rigide (floculées). Le seuil d'écoulement correspond à l'énergie nécessaire pour les séparer. On distingue deux types de liquides plastiques :

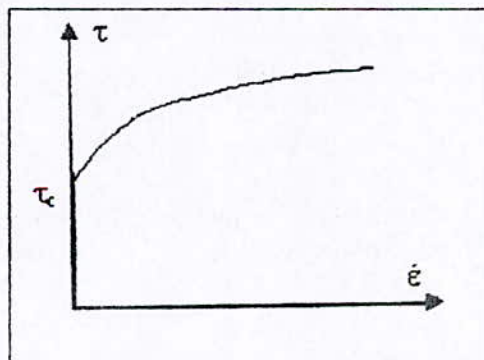
Liquide plastique idéal ou liquide de Bingham :

Il a un comportement newtonien au-delà du seuil

$$\tau = \tau_c + \alpha \dot{\epsilon}$$

Où α : viscosité plastique.

Liquides de Casson



Ce sont des liquides plastiques non idéaux qui possèdent un comportement plastique fluidifiant. Plus répandu que le précédent, on citera pour l'exemple ; les boues, le sulfate de zinc ou de baryum en suspension.

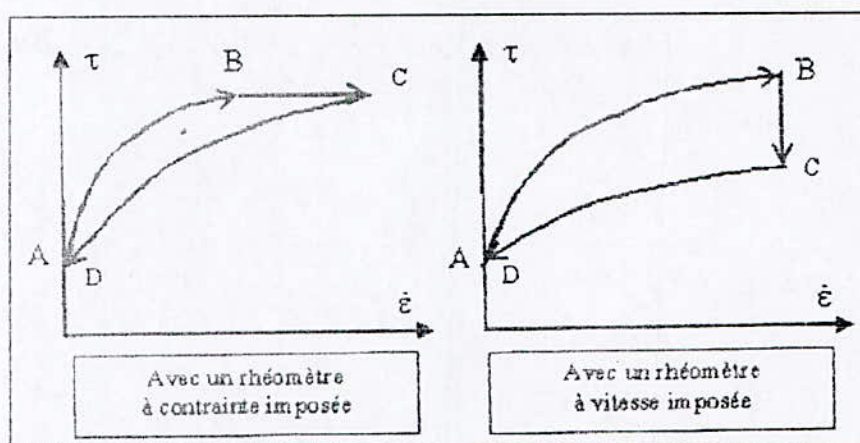
Modèle de Casson

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_c} + \sqrt{\beta \dot{\epsilon}}$$

Où β est la viscosité plastique

Les liquides thixotropes

Les contraintes subies dans un passé relativement récent modifient le comportement du liquide à l'écoulement présent. Mais il ne sera considéré comme thixotrope que s'il retrouve ces propriétés initiales. Cela se traduit par des rhéogrammes qui présentent un cycle d'hystérésis[13,14].



III. 4. Les additifs

1) Définitions

L'adjuvant est un produit chimique, organique ou minéral, qui modifie la vitesse d'hydratation du ciment. Il agit par réaction chimique sélective sur les constituants silicate ou aluminate [13]. Le développement des additifs a permis l'utilisation des ciments dans diverses conditions tant en pression jusqu'à 30000 psi (2100 bars), qu'en température de -4°C à $+350^{\circ}\text{C}$.

Aujourd'hui plus de 100 additifs sont utilisés sous forme liquide ou solide. Le choix entre un produit chimique solide ou liquide se fait suivant le type de transport que ce dernier doit suivre. En effet, les produits peuvent être transportés par voie terrestre ou par voie fluviale. Ainsi les produits chimiques solides sont préférés lorsque le transport maritime est obligatoire, comme c'est le cas pour les exploitations pétrolières en mer. Les produits chimiques solides occupent un volume moins important que la version liquide. La version liquide des produits chimiques est cependant plus facile d'utilisation car les produits réagissent directement sur le ciment. En effet, lorsque la version solide est utilisée la réactivité du produit peut être retardée, à cause du temps de dissolution du solide dans la phase liquide. Ainsi la version liquide des produits chimiques est choisie lorsque la situation géographique du puits le permet.

En conséquence, les fournisseurs sont de plus en plus amenés à proposer une version solide ou liquide d'un même produit chimique.

Voyons maintenant les différentes catégories de produits chimiques utilisés dans l'exploitation pétrolière ; On distingue huit catégories de produits chimiques :

- Accélérateur : qui réduit le temps de prise du ciment.
- Additifs spéciaux tels que des fibres : qui rendent la matrice de ciment plus résistante mécaniquement.
- **Agent de contrôle de perte de fluide : qui permet de garder l'eau pour l'hydratation du ciment au lieu de la perdre dans la formation.**
- Agent de contrôle de perte de laitier : qui assure le colmatage de formations fissurées avant la phase de cimentation.
- Allégeant : qui abaisse la densité d'un coulis.
- Alourdissant qui permet d'augmenter la densité d'un laitier.
- **Dispersant : qui améliore la viscosité d'un laitier.**
- Retardateur : qui permet d'augmenter le temps de prise.

Selon sa concentration, un même additif peut être retardateur ou accélérateur. Le sel (NaCl), par exemple, est accélérateur jusqu'à 10 % en poids de la masse d'eau et est retardateur à partir de 18 % en poids [2].

Les dispersants sont aussi des éléments importants pour moduler la viscosité d'un coulis de ciment. En effet, les dispersants jouent sur la charge superficielle des particules de ciment afin d'obtenir la rhéologie désirée. La viscosité du laitier dépend de la quantité d'eau et de dispersant nécessaire à la fluidité du slurry. Lorsque le ciment est mis dans l'eau une charge négative apparaît à sa surface par dissolution des ions les plus solubles dans l'eau (Ca^{2+} , Na^+ , OH^- , etc.). Les ions Ca^{2+} présents dans l'eau s'adsorbent à la surface du grain le rendant ainsi positif. Les dispersants de charge négative peuvent avoir une action de répulsion électrostatique entre les grains de ciment puisqu'ils s'adsorbent à leur surface et repoussent ainsi les autres particules de même signe, Les dispersants peuvent également jouer sur l'encombrement stérique dû à la taille de la macromolécule.

La chimie du ciment a donc pour conséquence de rendre le laitier plus ou moins fluide. En effet, les phases cristallines présentes dans le ciment induisent l'utilisation d'additifs, à plus ou moins forte concentration, afin de rendre le laitier suffisamment fluide. Il faut que le laitier ne soit pas trop visqueux afin de pouvoir être placé facilement entre le tubage et la formation rocheuse [13].

2) Les dispersants

Les laitiers de ciment sont des suspensions fortement concentrées en particules solides dans l'eau. Le contenu de solides peut aller jusqu'à 70%. La rhéologie de telles suspensions est liée à la rhéologie du liquide support, le volume de la fraction solide (volume de particules/de volume total) et aux interactions inter particules.

Dans un laitier de ciment, le fluide interstitiel est un soluté de beaucoup d'espèces ioniques et additifs organiques. Par conséquent, la rhéologie peut différer considérablement par rapport à celle de l'eau. La teneur en solides du laitier est une fonction directe de la densité de ce dernier.

Les interactions de particules dépendent principalement de la distribution de charge extérieure.

Les dispersants utilisés dans la cimentation, également connus dans l'industrie du bâtiment en tant que « superplasticizers, » ajustent les charges des particules en surface pour obtenir les propriétés rhéologiques désirées du laitier. Dans cette partie nous allons traiter les propriétés électriques des grains de ciment dans un milieu aqueux, le rapport entre le

comportement viscoplastique de Bingham du laitier et les attractions inter particules. Et en conclusion, nous allons parler des effets des dispersants sur la rhéologie du laitier et l'homogénéité de celui-ci.

a). Ionisation des particules de Ciment dans un milieu aqueux:

L'hydrolyse de C-S-H mène à une surface chargée:



Les ions libres de calcium dans la solution réagissent avec les groupes négativement chargés sur les grains de surfaces. Un ion de calcium peut lier deux Si O⁻ comme le montre la figure III.10. Les ponts peuvent se crever en raison de la grande superficie du ciment, et de la concurrence pour des ions de calcium entre les emplacements d'adsorption. Une partie peut être positivement chargée, dû à l'adsorption de calcium, alors qu'une autre partie est négativement chargée [14].

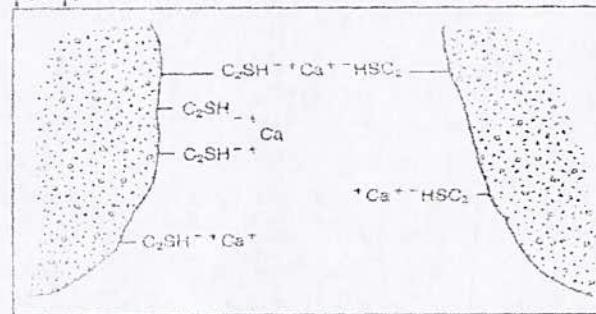


Figure III.3 interactions entre les grains de ciment [14].

b). Viscoplasticité des laitiers de ciment et le mécanisme de la dispersion

Quand le ciment et l'eau sont mélangés, une structure est formée dans tout le laitier, cette dernière empêche l'écoulement au-dessous d'un seuil donné d'effort de cisaillement: (yield value) Ty. C'est le résultat des interactions électrostatiques précédemment-décrites entre les particules. Donc, au-dessous de la valeur du seuil d'écoulement (yield point), le laitier se comporte comme un solide, et au-dessus il se comporte comme un liquide.

Comme on peut le voir dans la figure III.11, les courbes expérimentales de contrainte de cisaillement/vitesse de cisaillement sont approximativement linéaires. La pente de la ligne est « la viscosité en plastique, » et son ordonnée à l'origine est la « yield value. »

Cependant, « la viscosité apparente, » c.-à-d., le rapport de contrainte de cisaillement/vitesse de cisaillement, n'est pas une constante. Au lieu de cela, elle diminue avec l'augmentation de l'effort de cisaillement. Cette plasticité résulte de la rupture de la structure électrostatique sous le cisaillement. Une fois la valeur de rendement est dépassée, la boue ne se comporte plus comme une unité singulière ; au lieu de cela, elle est cassée en morceaux, on a alors la formation d'agrégats. Ces agrégats contiennent l'eau interstitielle enfermée.

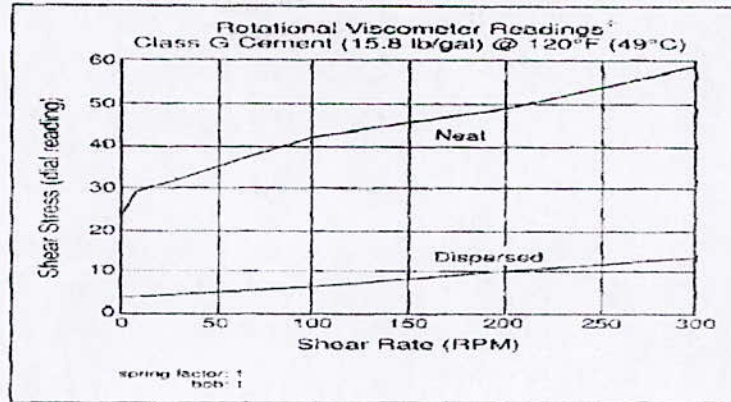


Figure III.4 Rhéologie et dispersants [5].

Le volume de la phase dispersée est le facteur principal qui détermine la rhéologie de la dispersion. Ainsi, les grands agrégats de particules de ciment correspondent à la viscosité élevée du laitier.

On le voit dans la figure III.12 que la rupture globale peut être réalisée par le cisaillement ou en ajoutant un dispersant, les deux actions libèrent une partie de l'eau enfermée dans les agrégats ; par conséquent, le volume efficace de la phase dispersée est diminué, ainsi que la valeur de viscosité du coulis de ciment. La viscosité atteint un minimum quand tous les agrégats sont détruits, ayant pour résultat une dispersion de différentes particules[14].

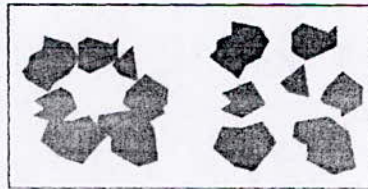


Figure III.5 dispersion vs flocculation [5].

c) Composition chimique des dispersants pour les ciments

Les sulfonates sont les dispersants pour les ciments les plus communs. Les matériaux préférés ont généralement 5 à 50 groupes de sulfonate fixés à un squelette principal à plusieurs branches de polymère. Ces polymères ramifiés dit de structure « peigne » sont plus souhaitables, parce que la gamme de la concentration pour laquelle ils peuvent former un pont sur deux particules est beaucoup plus étroite.

Cependant, quelques polymères linéaires, aussi bien que de petites molécules organiques portant plusieurs groupes anioniques, sont assez efficace. Le sulfonate de Polymélamme (PMS) est fréquemment utilisé dans l'industrie du bâtiment [14].

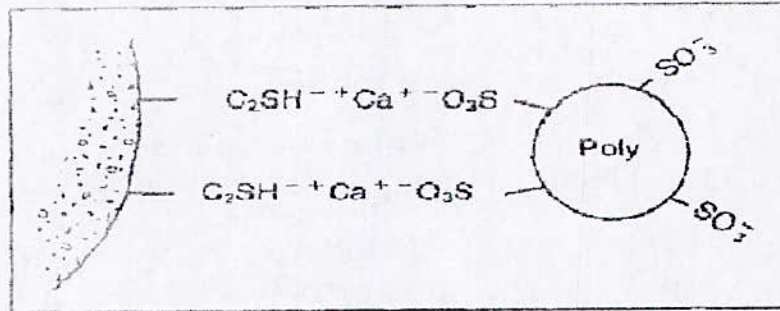


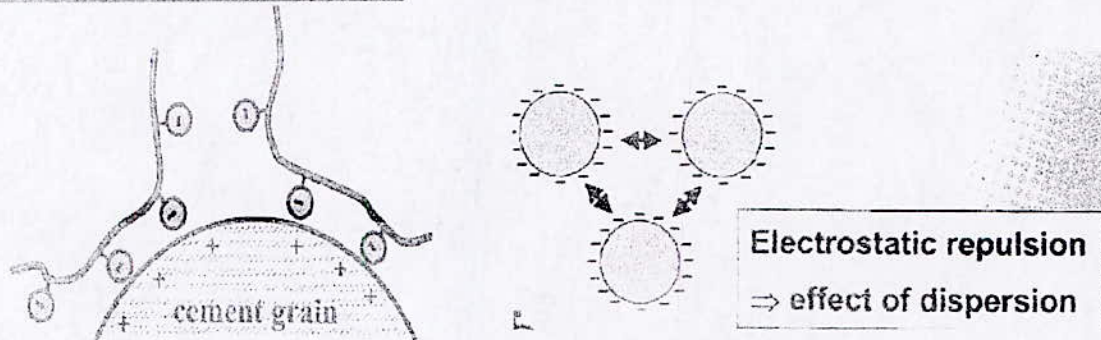
Figure III.6 mécanisme d'action du Polynaphthalene sulfonate et du Polymélammesulfonate [14].

d) Mécanismes d'action des dispersants:

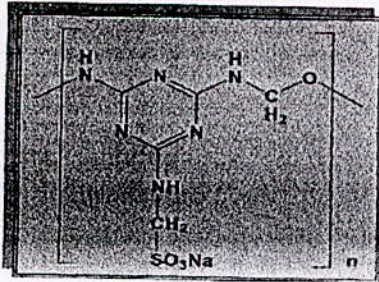
Il existe trois mécanismes des dispersants:

- Répulsion électrostatique.
- Répulsion stérique et électrostatique
- Répulsion stérique [14].

La répulsion électrostatique [14]:



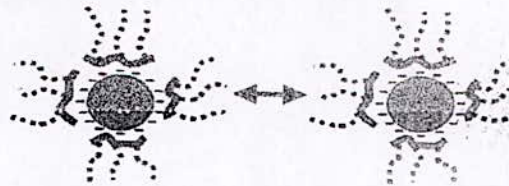
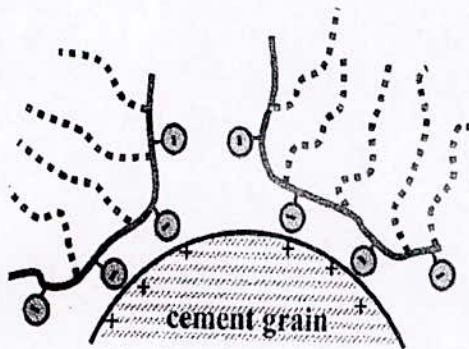
Exemple:



Sulfonated Polycondensates

- melamine-formaldehyde-sulfite resin
- naphthalene (NSF) resin

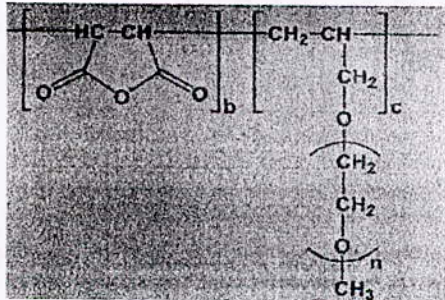
La répulsion Stérique et électrostatique [14]:



Steric & electrostatic repulsion

⇒ effect of dispersion

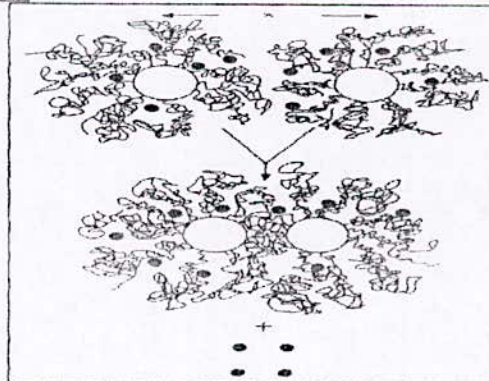
Exemple:



• maleic-based polycarboxylates

• typ I: ester typ II: ether

La répulsion stérique [14]:



Représentation schématique de la répulsion stérique

3) Les agents de contrôle de filtrat

a) Définition de la perte de liquide (fluid loss)

C'est un procédé de filtration sous pression lorsque le ciment ou le fluide de forage sont placés face à une formation perméable, le filtrat envahit alors la formation en laissant les particules solides dans l'anneau (ce qui forme des 'filter cake') [5].

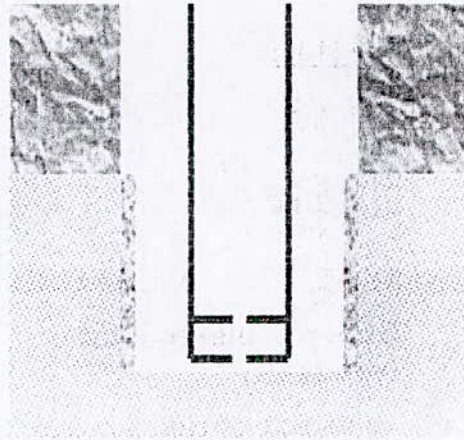


Figure III.7 la formation avec perte de liquide [5].

b) Effet de la perte liquide (fluid loss) sur les propriétés du laitier de ciment

- Augmentation de la viscosité plastique: augmentations de pression de frottement
- Augmentations de la pression de trou inférieur (BHP).
- Peut altérer l'enlèvement de boue.
- Réduction du temps d'épaississement si la perte n'est pas contrôlable.

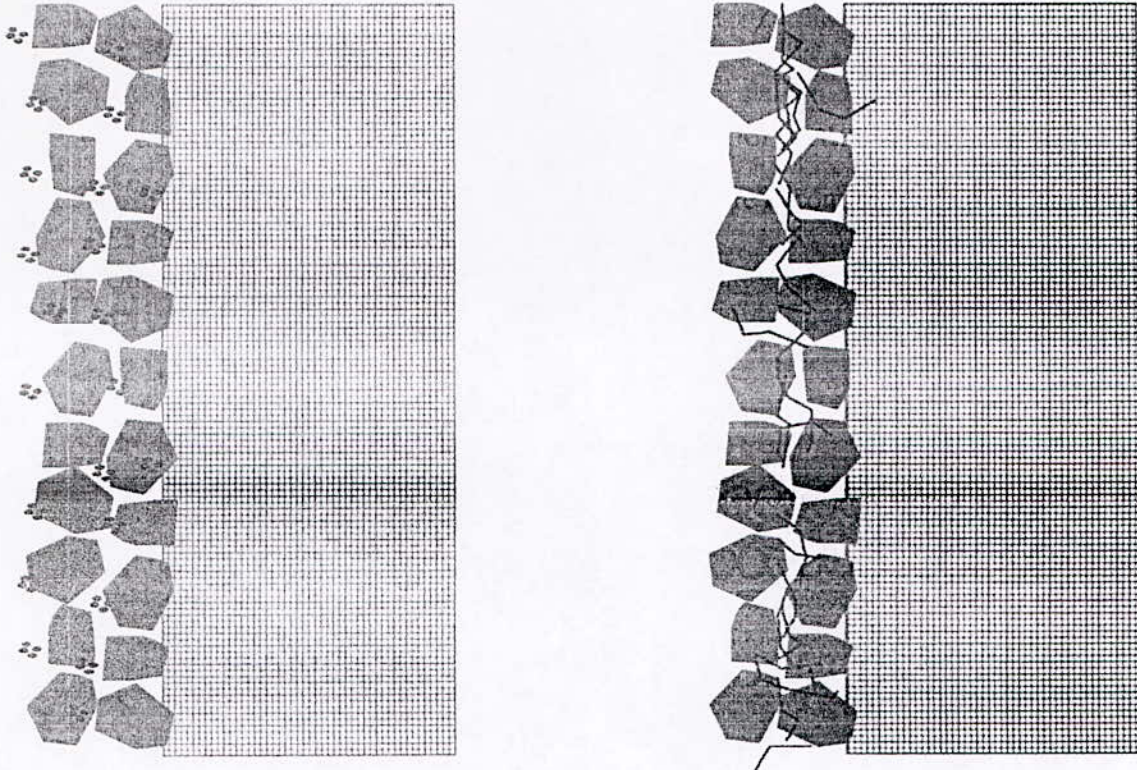
Mais quelques additifs de contrôle de perte de fluide ont un effet de retard.

c) Mécanisme d'action des agents de contrôle de filtrats (flacs):

Ils réduisent la perméabilité du « filtercake » de ciment :

- Par le branchement de polymères ou de matériaux particuliers dans les pores ($\sim 1\mu\text{m}$).
 - Par la modification de la distribution des particules de ciment avec des dispersants.
- Ils augmentent la viscosité de la phase aqueuse car la viscosité de la solution de polymère dépend de son poids moléculaire [5].

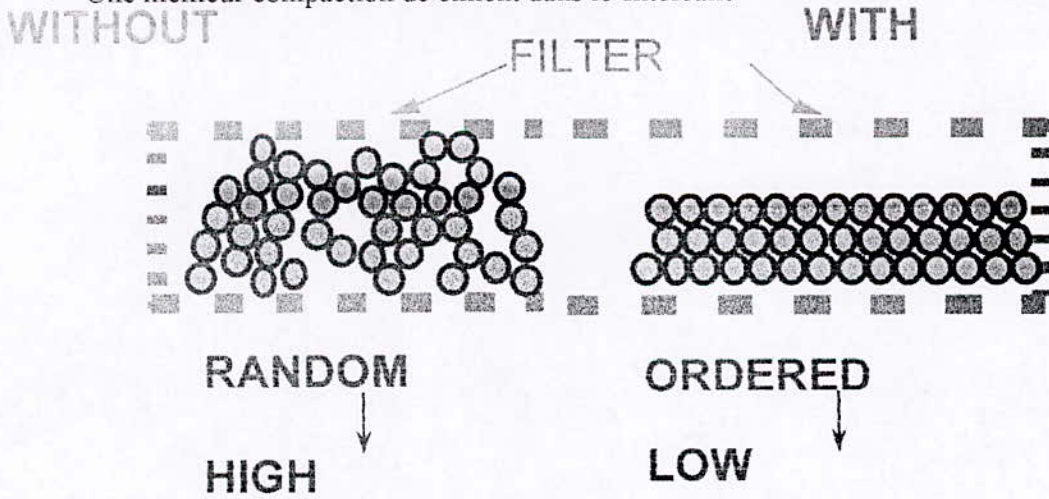
Figure III.8 branchement des particules (gauche) et branchement des polymères (droite) [5].



d) Les agents de contrôle de filtrat et les dispersants

La dispersion des suspensions (ciment, boue) améliore le contrôle de la perte du filtrat :

- La déformation des particules solides.
- Une meilleur compaction de ciment dans le filtercake



IV .Partie expérimentale

IV. 1. Les dispersants

a) Les dispersants étudiés

Nous avons fait une étude comparative de 7 dispersants, en prenant pour référence le dispersant ref.

Nom du produit	Densité	Forme
Dispersant ref	1.03	Liquide
Dispersant 1	1.04	Liquide
Dispersant 2	1.04	Liquide
Dispersant 3	1.05	Liquide
Dispersant 4	1.10	Liquide
Dispersant 5	1.19	Liquide
Dispersant 6	1.26	Solide

tableau IV.1. les dispersants étudiés, leurs densités et leurs formes.

b) Description des manipulations

Dans toutes les manipulations, seule la concentration du dispersant varie dans les formulations. La densité du laitier reste constante, elle est de 1.90 SG.

les concentrations sont en gps ; 1 gal/sk=89 L/tonne.

- le ciment est du Dyckerhoff Black Label.
 - On utilise un AGENT ANTI MOUSSE
1. On prépare la formulation.
 2. On mixe le mélange 15sec à 4000 tours/mn en introduisant la phase solide puis on le mixe à 12000 tours/mn durant 35sec.

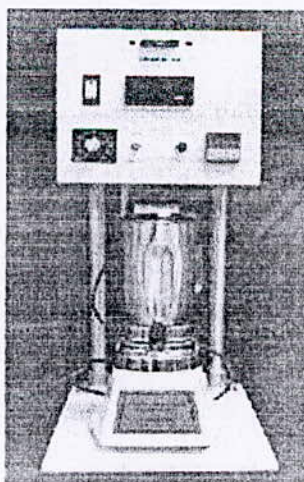


Figure IV.1. Le mixeur [13].

3. On mesure la rhéologie après mixage avec le Fan 35.

Speed	Déviation @ (degF) and (psi)		
	Ramp-up	Ramp-down	Average
(rpm)	(deg)	(deg)	(deg)
300			
200			
100			
60			
30			
6			
3			

tableau IV.2. La vitesse en rpm (tours/mn) et la déviation lue sur le Fann 35 après mixage.

4. On conditionne notre laitier à la température voulue .Il va être agité à vitesse constante (tours/mn) pendant 20mn.

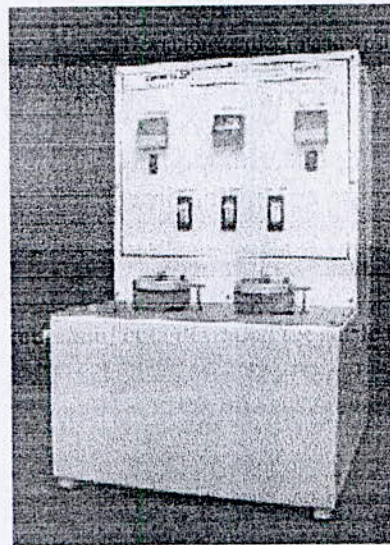


Figure IV.2.Le conditionneur [13].

5. On mesure la rhéologie après conditionnement.

Speed	Déviation @ (degF) and (psi)		
	Ramp-up	Ramp-down	Average
(rpm)	(deg)	(deg)	(deg)
300			
200			
100			
60			
30			
6			
3			

tableau IV.3. La vitesse en rpm (tours/mn) et la déviation lue sur le Fann 35 après conditionnement.

6. On met le laitier dans une éprouvette de 250ml pour avoir le Free fluid après 2heures.

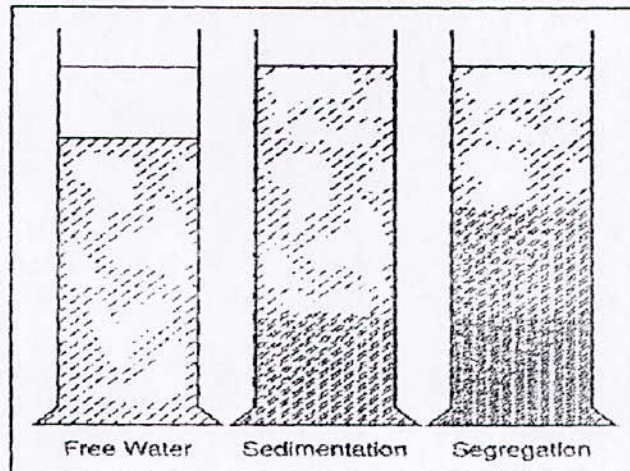


Figure IV.3. Free fluid, sedimentation et segregation [13].

7. On mesure la PV (viscosité plastique) et le Ty (yield value) selon le modèle de BINGHAM et ceci à l'aide d'un logiciel (LabDB).

IV. 2. Les agents de contrôle de filtrat

a) Présentation des produits étudiés

Cette étude est une étude comparative entre 3 agents de contrôle de filtrat :

Nom du produit	Densité	Forme	Commentaires
FLAC REF	1.02	Liquide	Base
FLAC 2	1.02	Liquide	Base+surfactant
FLAC 1	1.02	Liquide	Base+cisaillée

tableau IV.4. les agents de contrôle de filtrat étudiés, leurs densités et leurs formes.

b) Description des manipulations

Dans toutes les manipulations la seule variable qui change est la concentration du produit. La densité du laitier est de 15.80 lb/gal.

1. On prépare la formulation.

2. On mixe le mélange 15sec à 4000 tours/mn en introduisant la phase solide puis on le mixe à 12000 tours/mn durant 35sec.

3. On mesure la rhéologie après mixage avec le Fan 35.

4. On conditionne notre laitier à la température voulue.

5. On sépare le laitier en deux : une partie pour mesurer sa rhéologie et l'autre pour évaluer la perte de fluide (Fluid loss).

6. On mesure la rhéologie après conditionnement.

7. On met le laitier dans une éprouvette de 250ml pour avoir le Free fluid après 2 heures.

8. On mesure la PV (viscosité plastique) et le Ty (yield value) selon le modèle de BINGHAM et ceci à l'aide d'un logiciel (LabDB).

- Si on veut faire un fluid loss à 185F, on utilise la petite cellule.
- Si on veut faire un fluid loss à 250F, on utilise la grande cellule.

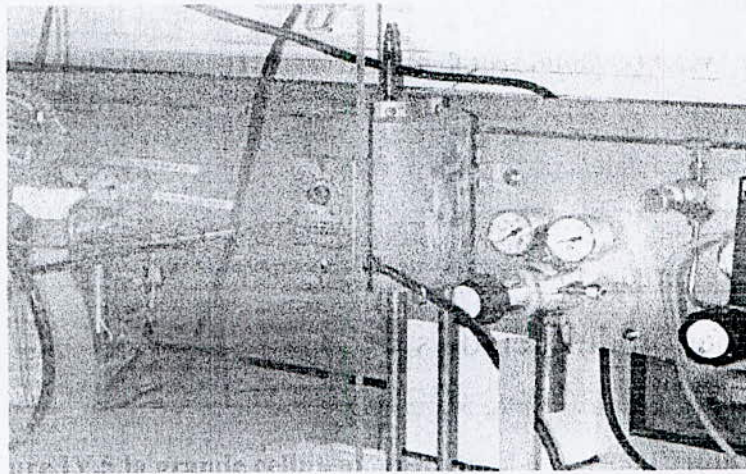


Figure IV.4. La petite cellule pour un fluid loss à 185F (85C) [13].

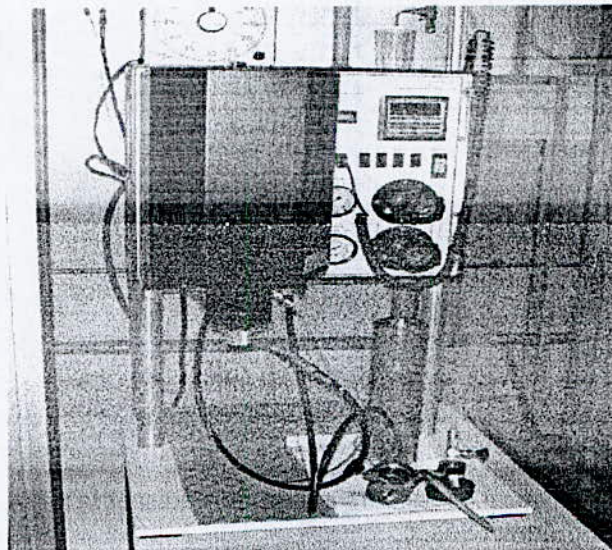


Figure IV.5. la grande cellule pour un fluid loss à 250F (120C) [13].

9. On calcule le Fluid loss :

- Pour les tests qui durent 30mn : pour avoir la valeur du fluid loss en API, il suffit de multiplier la valeur du volume récupéré durant 30mn par 2.
- Pour les tests qui durent moins de 30 mn, il y a une équation qui permet de calculer le fluid loss en API [13] :

$$\text{API fluid-loss} = 2 \times Q_t \times 5.477 / \sqrt{t}$$

Avec Q_t = volume récupéré durant le temps t (mn).

IV. 3. Tests de répétabilité

A 185F:

Dans toutes les formulations :
AGENT ANTI MOUSSE: 0.03gps.
DISPERSANT A: 0.05.
RETARDATEUR A:0.04gps .
FLAC 1:1.2gps .

Formulation	01	02	03
Fluid loss			
Volume (ml)	19	14.5	15
Masse (g)	17.33	13.40	13.82
API (ml)	38	29	30

tableau IV.5. Les trois tests de répétabilité et les résultats obtenus à 185F.

A 250F:

Dans toutes les formulations :
SILICE:35% .
AGENT ANTI MOUSSE: 0.03gps.
DISPERSANT A: 0.05gps.
RETARDATEUR B: 0.1gps.
FLAC 1: 1.5gps .

Formulation	01	02	03
Fluid loss			
Volume ml	14.5	19	23
Masse g	13.45	18.80	22.04
API	29	38	46

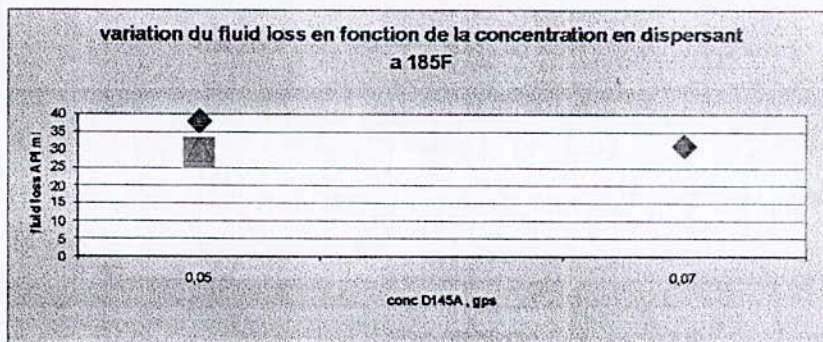
tableau IV.6. Les trois tests de répétabilité et les résultats obtenus à 250F.

IV. 4. Influence de la variation de la quantité de dispersant (DISPERSANT A) à 185F

Dans toutes les formulations :
 AGENT ANTI MOUSSE: 0.03gps .
 RETARDATEUR A: 0.04gps .
 FLAC 1:1.2gps .

tableau IV.7. Les résultats obtenus sur la rhéologie et le fluid loss en augmentant la quantité de dispersant à 185F.

Formulation	1	2	3		
DISPERSANT A, gps	0.03	0.05	0.07		
Rhéologie après mixage vitesse (tours/mn)					
300	47	40	53		
200	29/31	26/27	35/35		
100	16/16	14/14	17/18		
60	10/10	9/8	11/11		
30	5/5	5/4	5/5		
6	2/1	2/2	1/1		
3	1/1	2/1	1/1		
PV, cP	46	39	53		
Ty, lb/100ft ²	1	1	0.1		
Index					
Rheo après conditionnement 185F Vitesse (tours/mn)					
300	260	29	52		
200	225/225	22/22	38/36		
100	216/216	14/16	21/22		
60	180/184	11/13	14/15		
30	65/63	9/11	9/10		
6	44/44	7/10	5/7		
3	38/42	6/10	5/6		
10-sec gel	--	11	7		
10-mn-gel	--	14	9		
1-mn stirring	--	8	4		
30mn gel	--	17	--		
PV, cP	93	21	47		
Ty, lb/100ft ²	170	8	5		
Index					
Masse (g)	Trop	17.33	14.5	15	11.30
Volume (ml)	Visqueux	19	13.40	13.82	13
API (ml)		38	29	30	31
Durée du test (mn)		30	30	30	21



graphe IV.1. Variation du fluid loss en fonction de la concentration en dispersant à 185F.

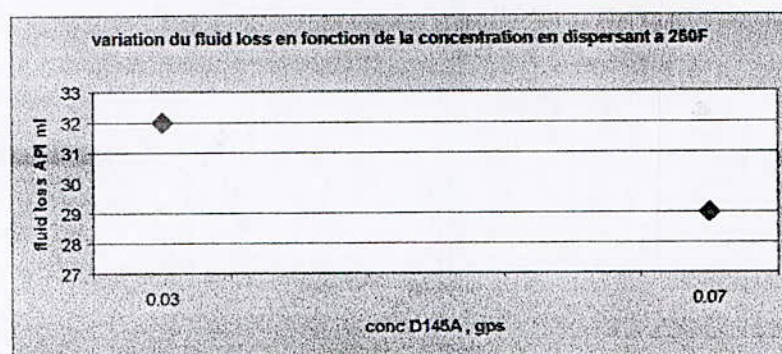
Remarques On remarque que lorsque la concentration du dispersant augmente la valeur du Ty diminue mais que celle du Fluid loss ne varie pas beaucoup, c'est pour cette raison que la concentration optimum du dispersant pour ce système est de 0.05gps.

IV. 5. Influence de la variation de la quantité de dispersant (DISPERSANT A) à 250F

Dans toutes les formulations:
 SILICE: 35%BWOC.
 AGENT ANTI MOUSSE: 0.03gps.
 RETARDATEUR B: 0.04gps.
 FLAC I: 1.2gps.

tableau IV.8. Les résultats obtenus sur la rhéologie et le fluid loss en augmentant la quantité de dispersant à 250F.

Formulation	1	2
DISPERSANT A, gps.	0.03	0.07
Rhéologie après mixage		
300	50	47
200	32/34	28/31
100	17/18	14/15
60	11/11	8/9
30	6/7	4/4
6	3/3	1/1
3	2/2	1/1
PV, cP	48	45.9
Ty, lb/100ft ²	1.6	0.00
Rheo après cond 185F		
300	132	74
200	111/109	52/53
100	91/84	29/30
60	74/73	19/21
30	56/61	14/14
6	24/32	9/9
3	19/19	7/8
10-sec gel	19	9
10-mm-gel	16	15
1-min stirring	24	9
30mn gel	--	--
PV, cP	79	67
Ty, lb/100ft ²	57	7
Index		
Masse g	14.01	13.02
Volume ml	16	14.5
API	32	29



graphe IV.2. Variation du fluid loss en fonction de la concentration en dispersant à 250F.

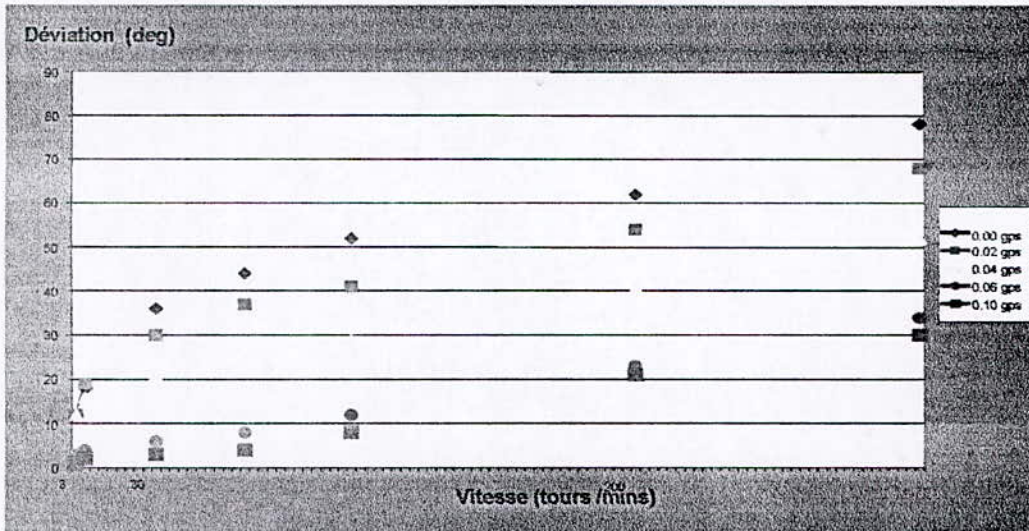
Remarques On remarque là aussi que lorsque la concentration du dispersant diminue la valeur du Ty diminue aussi, la concentration optimum du dispersant choisie pour ce système est de 0.05gps.

V .Discussion des résultats.

LES DISPERSANTS

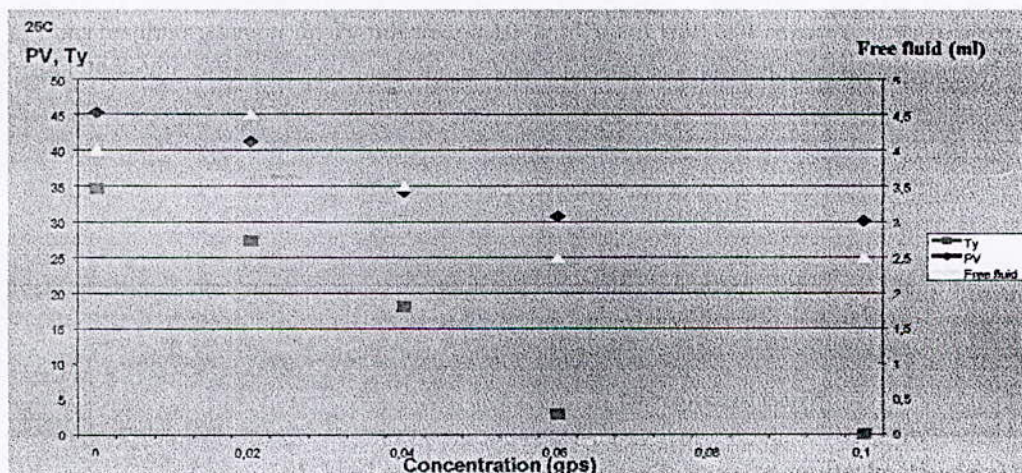
V. 1. Les résultats obtenus pour les dispersants

DISPERSANT REF



graphe V.1 .Rhéologie du DISPERSANT REF après conditionnement à 25C.

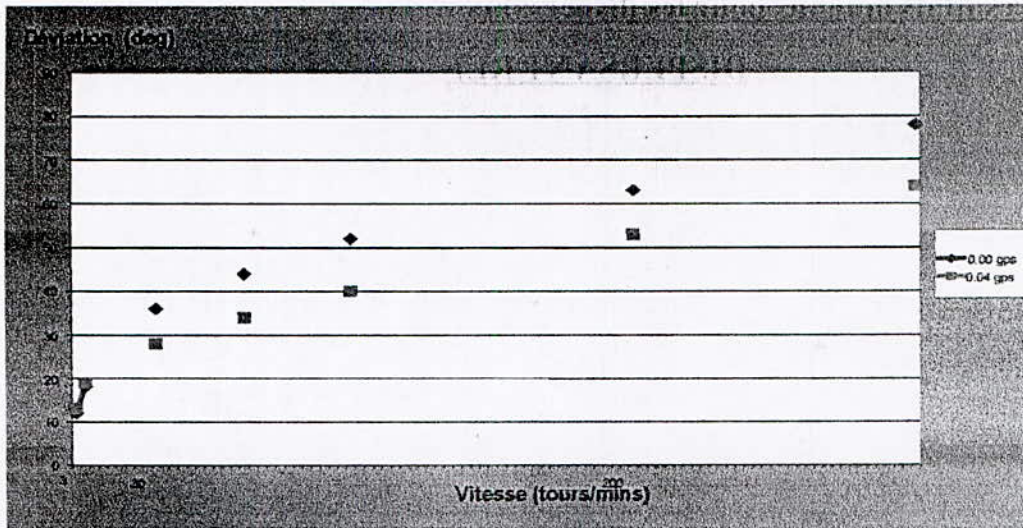
Remarque Nous remarquons que la concentration en DISPERSANT REF la plus élevée 0.1gps donne la rhéologie la plus basse. A partir de 0.06gps, on note une stabilisation des résultats.



graphe V.2 .PV, Ty (viscosité plastique et seuil d'écoulement) et le Free fluid du DISPERSANT REF en fonction des concentrations après conditionnement 25C.

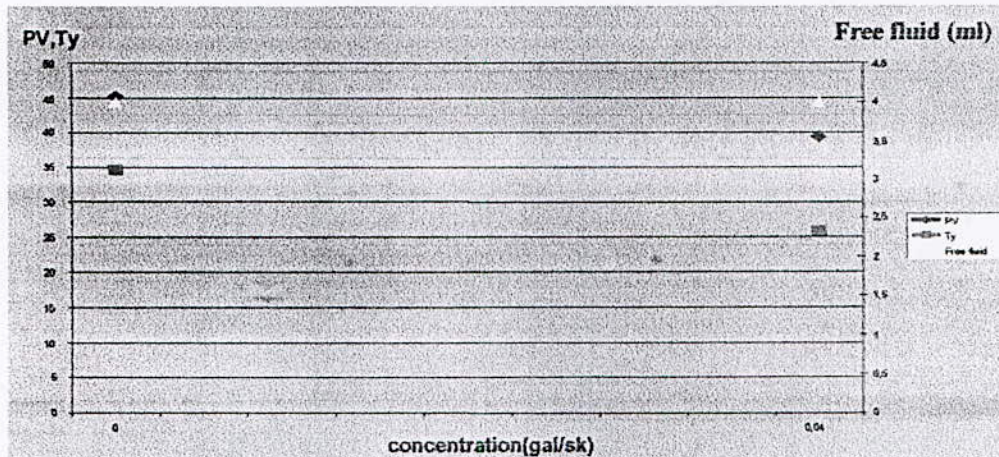
Remarques : Sur ce graphe, nous pouvons noter le système optimum est celui avec 0.06gps de DISPERSANT REF, parce qu'il faut savoir que pour choisir le système optimum il faut faire une balance et un compromis entre les trois paramètres PV, Ty, et Free fluid, et dans ce cas on a obtenu de bons résultats à savoir un Ty inférieur à 10, un PV entre 30 et 40 et une valeur de Free fluid assez bonne 2.5ml.

DISPERSANT 1



graphe V.3 .Rhéologie du DISPERSANT 1 après conditionnement à 25C.

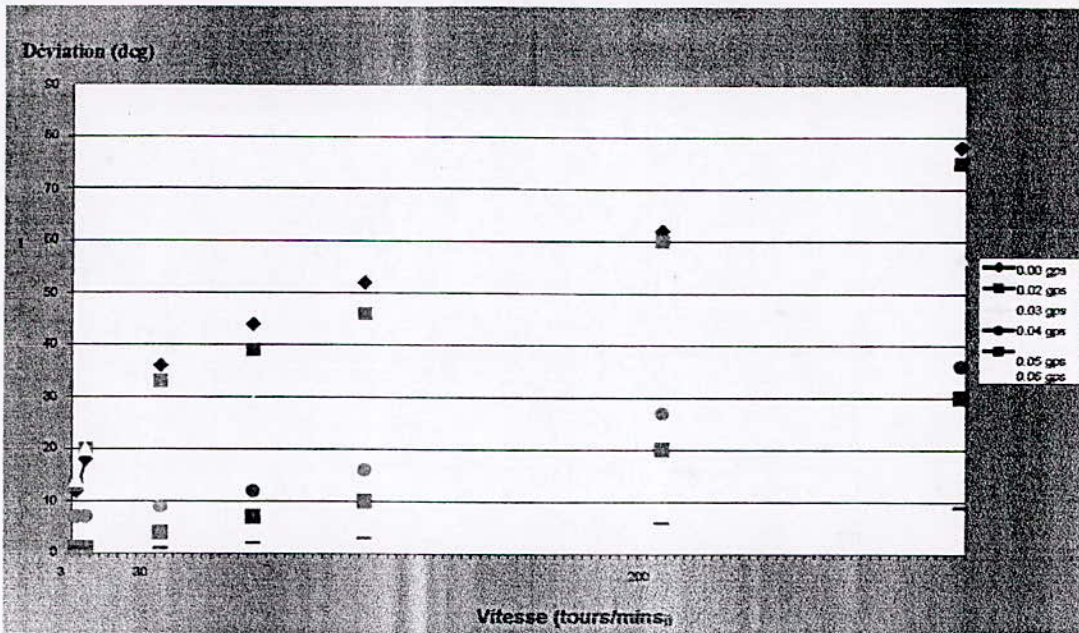
Remarques : Nous remarquons que la courbe représentant la concentration 0.04gps est au-dessous de celle sans DISPERSANT 1 (0.00gps) ce qui est normale vu que quand on augmente la concentration en dispersant la rhéologie diminue et c'est l'un des rôles des dispersants.



graphe V.4 .PV, Ty (viscosité plastique et seuil d'écoulement) et le Free fluid du DISPERSANT 1 en fonction des concentrations après conditionnement 25C.

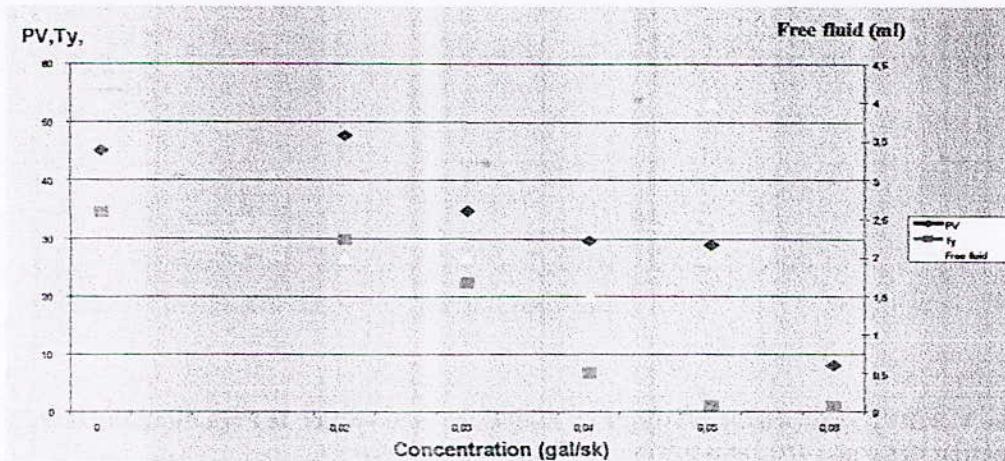
Remarques: On remarque que la valeur du Free fluid ne varie pas en fonction de la concentration. Nous pouvons souligner aussi que le système à 0.04gps donne de meilleurs résultats le comparant avec celui sans dispersant 1 ce qui est normale vu que lorsque la quantité de dispersant augmente , les valeurs du PV et du Ty diminuent et celle du Free fluid diminue et ceci est visible sur ce graphe.

DISPERSANT 2



graphe V.5 .Rhéologie du DISPERSANT 2 après conditionnement à 25C.

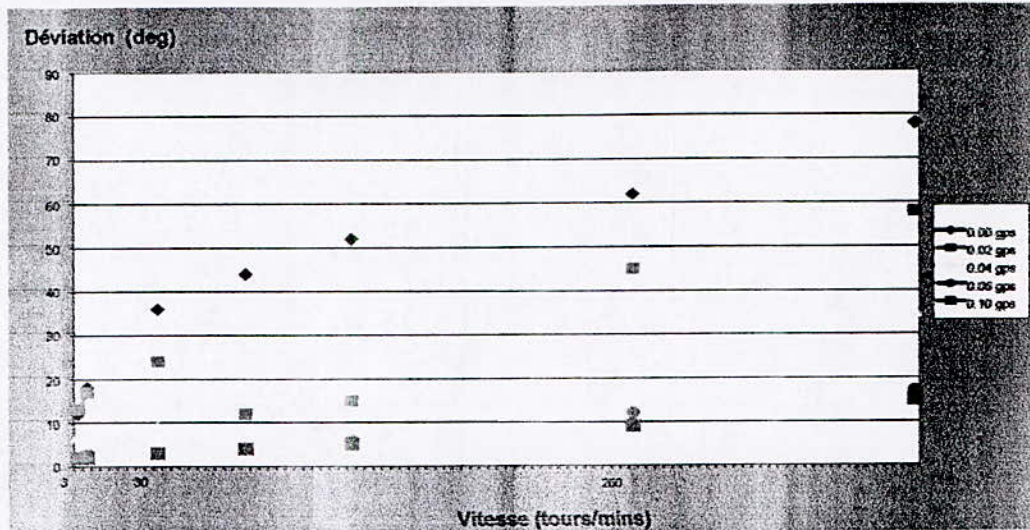
Remarques: Nous remarquons que la rhéologie du laitier avec une concentration de 0.06gps de DISPERSANT 2 est très basse et que si on met 0.02gps de DISPERSANT 2 l'effet sur la rhéologie n'est pas très important par rapport à la rhéologie sans dispersant.



graphe V.6 .PV, Ty (viscosité plastique et seuil d'écoulement) et le Free fluid du DISPERSANT 2 en fonction des concentrations après conditionnement 25C.

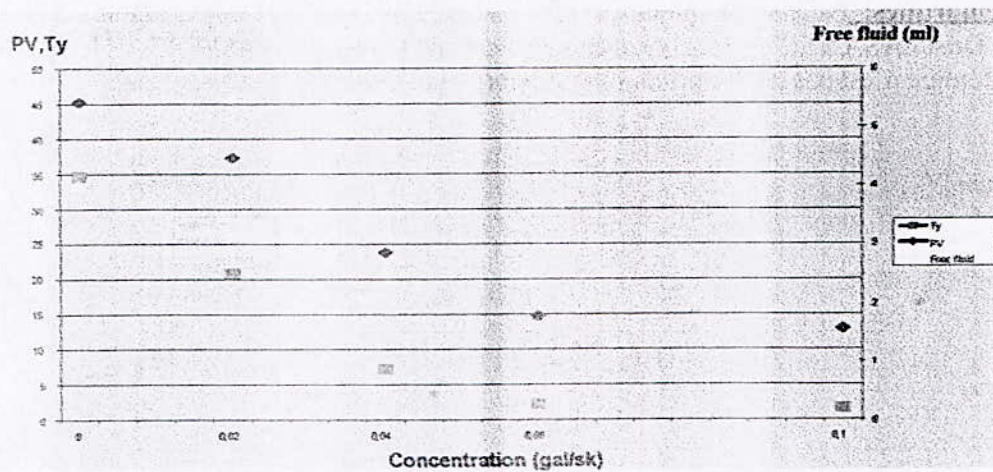
Remarques : Nous pouvons noter qu'ici encore la concentration optimale est de 0.04gps en dispersant 2 et que le Free fluid est très bas 1.5ml, le Ty est inférieur à 10 et le PV est égal à 30 ; les valeurs des trois paramètres sont correctes.

DISPERSANT 3



graphe V.7. Rhéologie du DISPERSANT 3 après conditionnement à 25C.

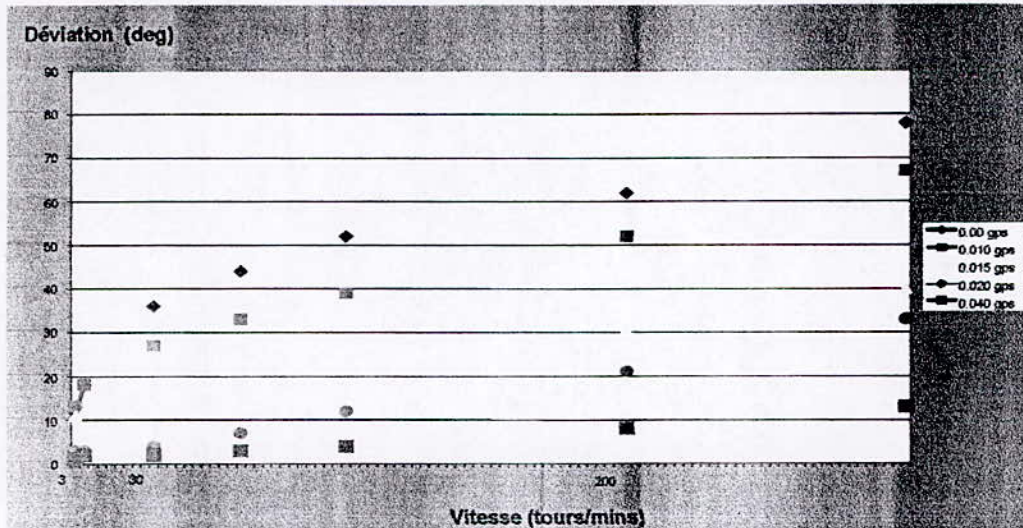
Remarques : Nous pouvons souligner que les deux courbes celle qui représente la rhéologie du laitier a 0.06gps de dispersant et celle a 0.10gps sont très proches.



graphe V.8. PV, Ty (viscosité plastique et seuil d'écoulement) et le Free fluid du DISPERSANT 3 en fonction des concentrations après conditionnement 25C.

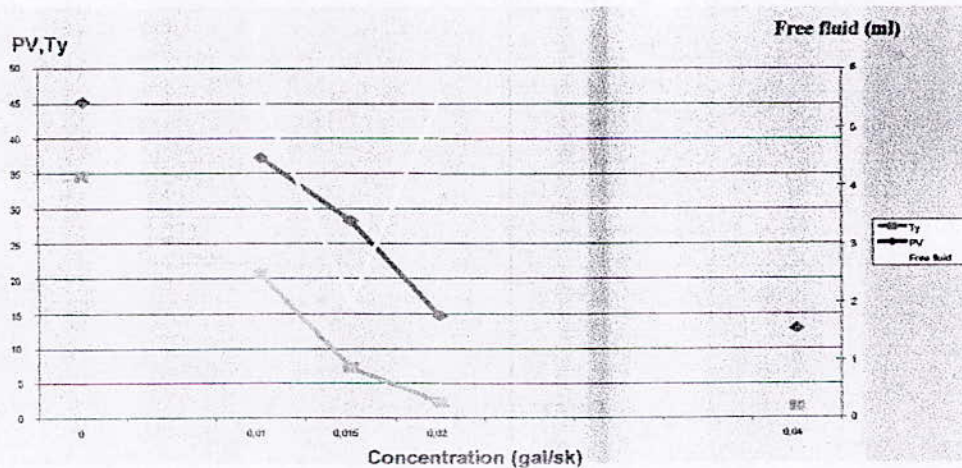
Remarques : Nous remarquons que la concentration 0.04gps en dispersant 3 est la meilleure, à savoir un Ty inférieur à 10, un PV inférieur à 25 et un Free fluid de 2.5ml.

DISPERSANT 4



graphe V.9 .Rhéologie du DISPERSANT 4 après conditionnement à 25C.

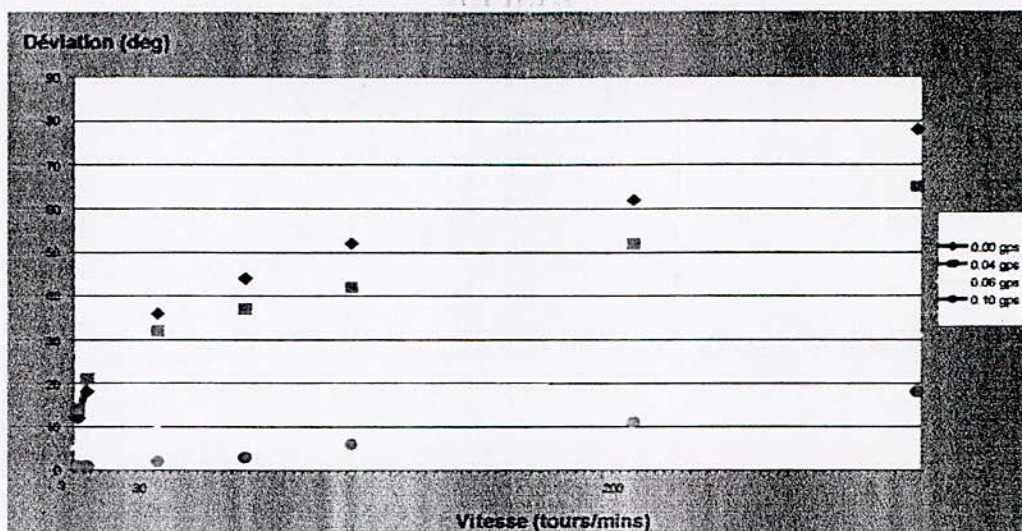
Remarques : Sur cette courbe la différence entre les courbes de concentrations respectives 0.015gps ; 0.02gps et 0.04gps est bien visible.



graphe V.10 .PV, Ty (viscosité plastique et seuil d'écoulement) et le Free fluid du DISPERSANT 4 en fonction des concentrations après conditionnement 25C.

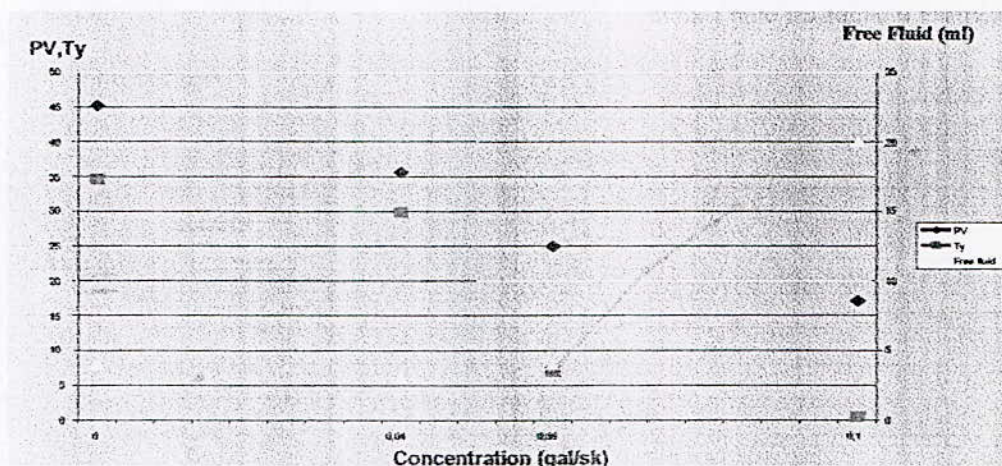
Remarques : Dans ce système nous remarquons qu'avec seulement 0.015gps de Dispersant 4 nous pouvons obtenir notre système optimum, avec un Ty inférieur à 10, un PV inférieur à 30 et un Free fluid de 2ml, nous pouvons souligner aussi qu'étant donné la quantité très faible de produit utilisée, il serait préférable d'utiliser ce dernier pour des raisons d'économies de dispersant et d'argent.

DISPERSANT 5



graphe V.11 .Rhéologie du DISPERSANT 5 après conditionnement à 25C.

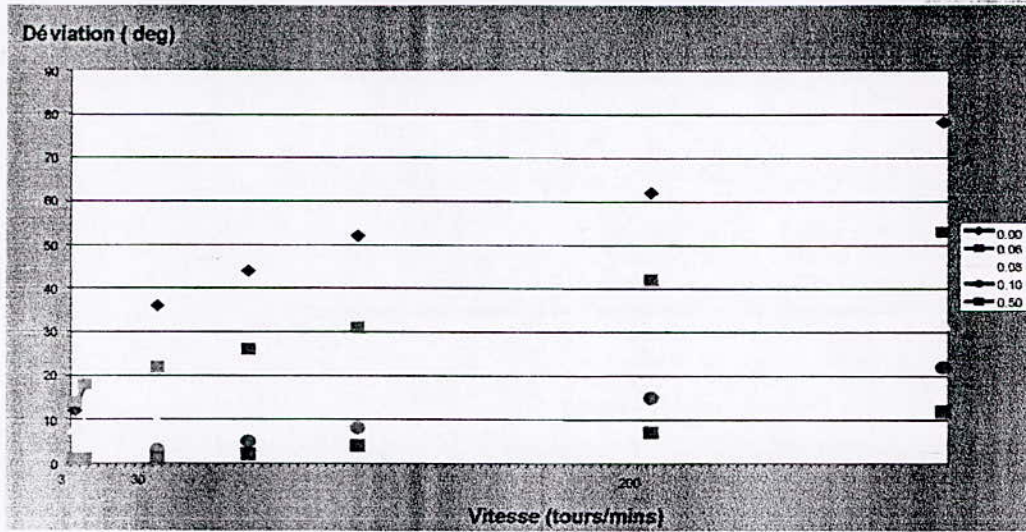
Remarques : Nous pouvons noter que dans ces courbes l'écart est plus important notamment entre les deux concentrations 0.04gpc et 0.05gpc



graphe V.12 .PV, Ty (viscosité plastique et seuil d'écoulement) et le Free fluid du DISPERSANT 5 en fonction des concentrations après conditionnement 25C.

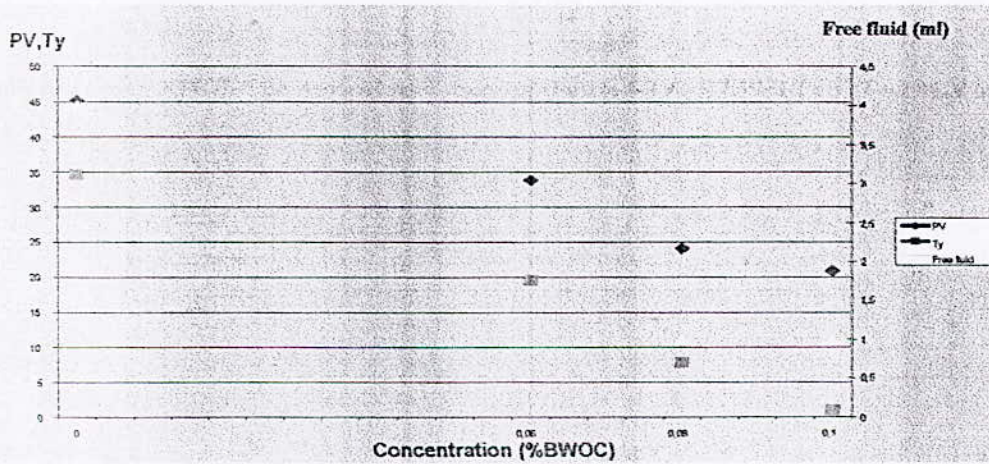
Remarques: Nous remarquons qu'à 0.06gpc, la valeur de Ty chute à 7 alors qu'elle était de 30 à 0.04gpc ; qui est une bonne valeur (inférieure à 10) et dans ce cas c'est notre système optimum (0.04gpc), le PV est égal à 25 et le Free fluid est inférieur à 5ml.

Dispersant 6



graphe V.13 .Rhéologie du Dispersant 6 après conditionnement à 25C.

Remarques : Sur cette courbe nous pouvons souligner que l'augmentation de la concentration du dispersant fait baisser la rhéologie et cette différence est bien visible entre les deux concentrations 0.1% et 0.5%, ce qui n'était pas le cas après mixage.



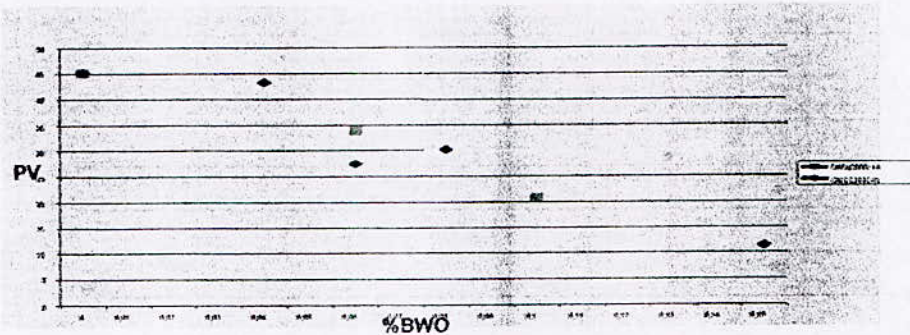
graphe V.14 .PV, Ty (viscosité plastique et seuil d'écoulement) et le Free fluid du DISPERSANT 3 en fonction des concentrations après conditionnement 25C.

Remarques : Nous pouvons noter la variation du Free fluid qui passe de 4ml quand il n'y a pas du Dispersant 6 à 1ml à 0.08% et 0.10% de ce dernier.

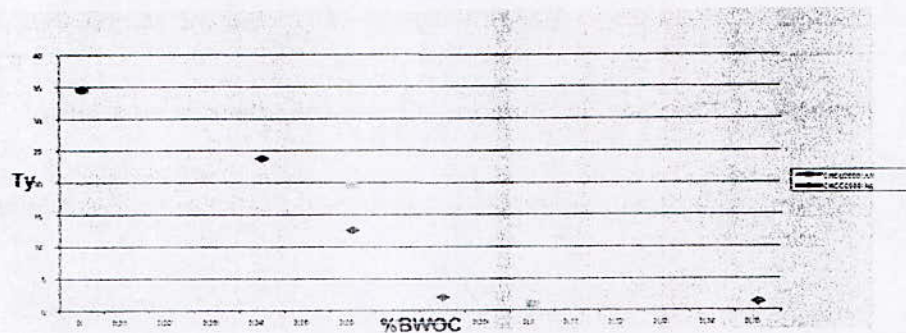
Nous remarquons aussi qu'avec ce dernier dispersant qui est quant à lui solide, le système optimum a une concentration de 0.08 %BWOC de dispersant, et les résultats sont satisfaisants : un Ty inférieur à 10, un PV inférieur à 25 et un Free fluid égal à 1ml.

V. 2. Courbes comparatives entre le DISPERSANT 4 (liquide) et le Dispersant 6 (solide)

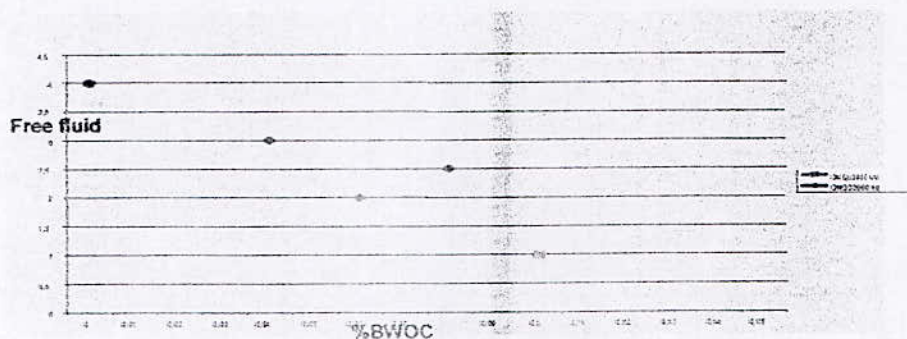
Après conditionnement 25C:



graphe V.15. Le PV du DISPERSANT 4 et du DISPERSANT 6 en fonction du %BWOC après conditionnement.



graphe V.16 Le Ty du DISPERSANT 4 et du Dispersant 6 en fonction du %BWOC après conditionnement



graphe V.17 Le Free fluid du DISPERSANT 4 et du Dispersant 6 en fonction du %BWOC après conditionnement.

Remarques :

Tout d'abord, il faut remarquer que les deux produits sont testés avec les mêmes concentrations en %BWOC, c'est-à-dire que pour le dispersant 4 (liquide) les concentrations en gps ont été converties en %BWOC en utilisant une règle de trois de masses (un exemple de calcul a été fait après page 61).
 Donc en analysant ces trois graphes, nous remarquons que le système optimum pour le dispersant 4(liquide) a une concentration de 0.08%BWOC, alors que pour le dispersant 6 (solide) elle est légèrement supérieure (environ 0.09%BWOC), la différence entre les deux produits n'est pas très importante, on peut alors utiliser soit la version solide , soit la liquide selon les besoins, les conditions de transport et le climat de la région de forage.

V. 3. Résultats comparatifs entre deux produits à masses en matière active équivalentes

Afin de comparer, les différents produits utilisés, il est utile de rapporter leur l'efficacité par rapport à la quantité de matière active qui peut être variable d'un produit à un autre. Le tableau ci-dessous donne cette information.

Masse de la matière active des différents produits

produits	Masse de la matière active/10g de produit Essai1	Masse de la matière active/10g de produit Essai2	Masse de la matière active/10g de produit Moyenne
DISPERSANT REF	1.48	1.52	1.50
Dispersant 1	2.01	2.03	2.02
DISPERSANT 2	2.12	2.08	2.10
DISPERSANT 3	2.02	1.96	1.99
DISPERSANT 4	3.91	3.93	3.92
DISPERSANT 5	3.91	3.91	3.91
Dispersant 6	10.00	10.00	10.00

tableau V.2. Masse de la matière active des différents produits.

Remarque

D après les résultats obtenus précédemment, on a vu que le DISPERSANT 4 donnait de meilleurs résultats par rapport aux autres produits notamment la référence DISPERSANT REF ceci pourrait s'expliquer par la quantité de matière active qui est plus importante pour le DISPERSANT 4 tandis que celle du DISPERSANT REF est la plus faible.

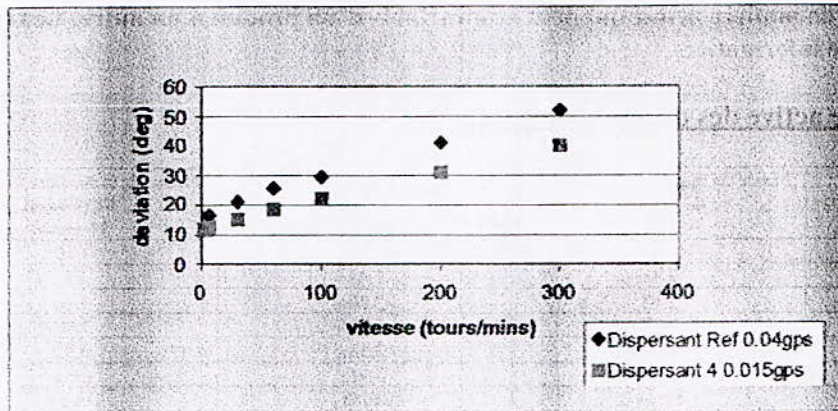
C'est pour cela qu'on a voulu tester les deux produits a iso masse en matière active.

	0,015 gps DISPERSANT 4	0,04 gps DISPERSANT REF
<i>Rhéologie après mixage</i>		
300 (tours/mins)	27	36
200 (tours/mins)	17/18	28/26
100 (tours/mins)	9/9	13/15
60 (tours/mins)	5/6	9/10
30 (tours/mins)	¼	6/7
6 (tours/mins)	2/1	3 /4
3 (tours/mins)	1/1	2/3
PV	26	34
Tv	1	3
<i>Rhéologie après conditionnement 25C</i>		
300 (tours/mins)	40	52
200 (tours/mins)	30/32	40/42
100 (tours/mins)	21/23	28/31
60 (tours/mins)	18/19	24/27
30 (tours/mins)	14/16	19/23
6 (tours/mins)	12/13	16/17
3 (tours/mins)	11/12	12/13
10 sec gel	11	13
10 min gel	13	18
1 min sterring	12	16
30 min gel	14	19
PV	27	34
Tv	13	18
Free fluid(ml)	2.0	3.5

tableau V.3. Résultats comparatifs entre le DISPERSANT REF et le DISPERSANT 4 à masses égales en matière active.

Calcul de la concentration du DISPERSANT 4 équivalente en matière active à 0.04gps de DISPERSANT REF :

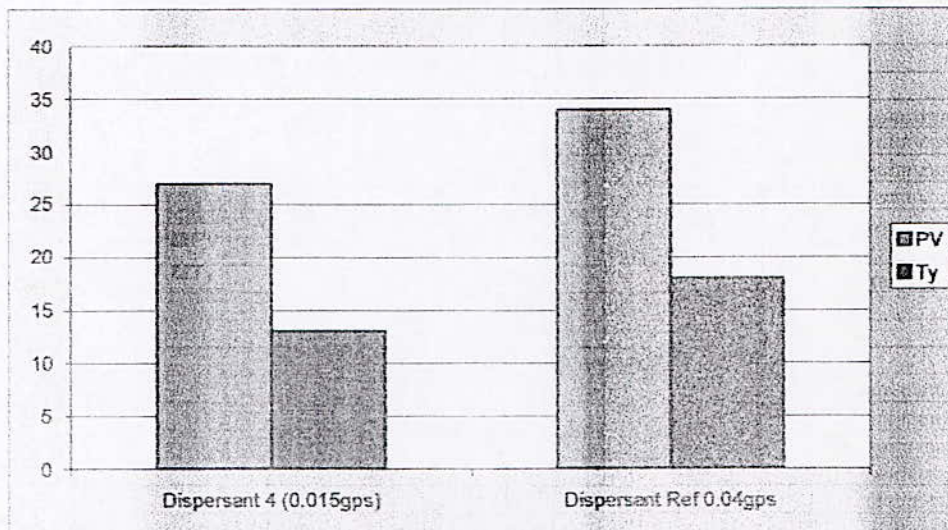
1.50g (DISPERSANT REF) → 100% 0.04g/sk (DISPERSANT REF) → 261.33%
 3.92g (DISPERSANT 4) → X C → 100%
 X = 261.33% C = 0.015gps DISPERSANT 4.



graphe V.18 La rhéologie du DISPERSANT REF et du DISPERSANT 4 à masses égales en matière active après conditionnement à 25C.

Remarques : cette courbe représente la rhéologie du DISPERSANT REF et du DISPERSANT 4 après conditionnement à iso masse en matière active.

Là aussi on peut remarquer que le DISPERSANT 4 donne une rhéologie plus basse.

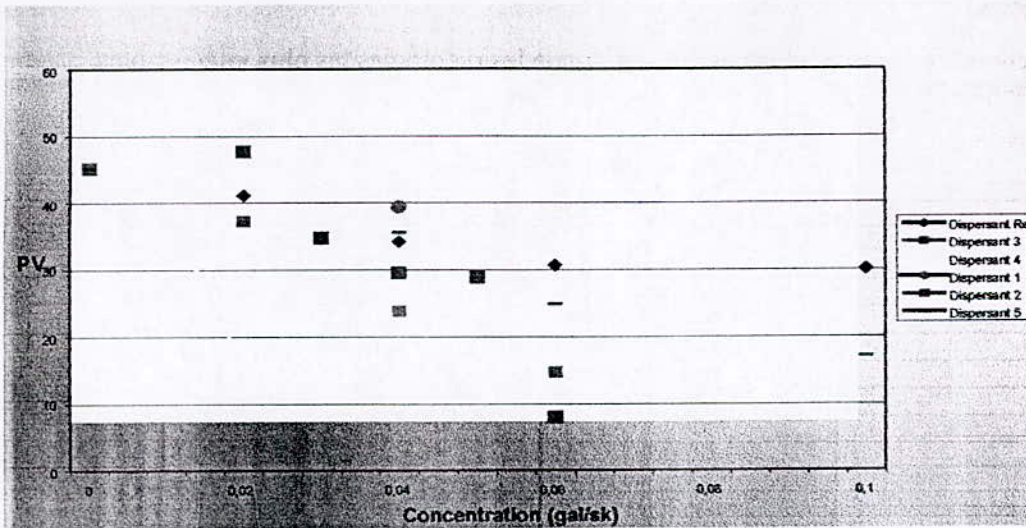


graphe V.19 . Histogramme comparatif du PV, Ty du DISPERSANT 4 (0.015gps), DISPERSANT REF (0.04gps) après conditionnement 25C

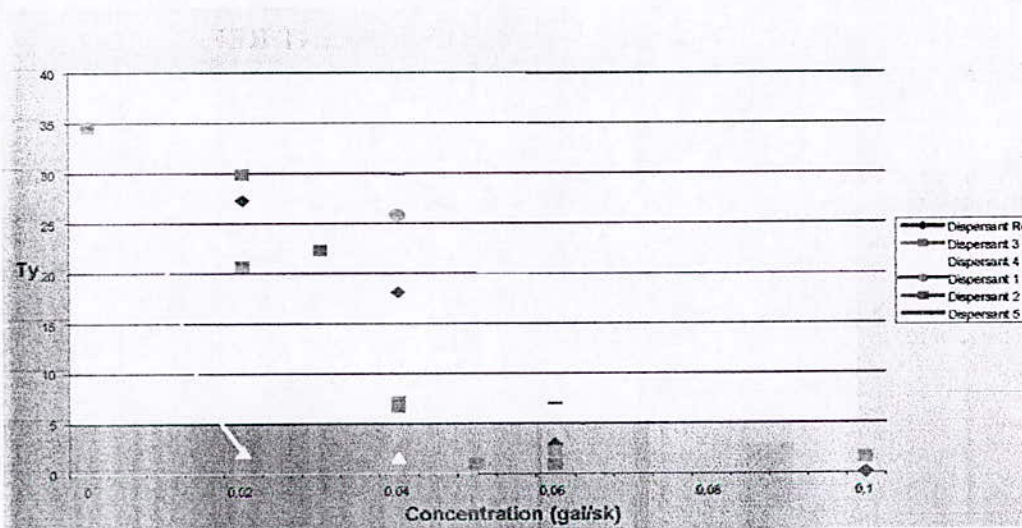
Remarque :

Nous remarquons que même à masse en matières actives équivalentes , le dispersant 4 donne de meilleurs résultats à savoir un PV inférieur à 40 et un Ty inférieur à 15, ce sont de très bons résultats si on tient compte de la quantité de matière active qui représente environs 40% du dispersant.

V. 4. COURBES COMPARATIVES ENTRE LES DIFFERENTS PRODUITS / APRES CONDITIONNEMENT 25C



graphe V.20 .Le PV des différents produits en fonction de leurs concentrations après conditionnement à 25C.



graphe V.21 .Le Ty des différents produits en fonction de leurs concentrations après conditionnement à 25C.

Remarques :

Nous remarquons qu'à chaque concentration, le dispersant 4 donne les valeurs les plus faibles en PV et Ty et ceci même à des concentrations très petites. Avec le dispersant 3 aussi nous obtenons des résultats satisfaisants, néanmoins l'écart avec le dispersant 4 est à noter par exemple à la concentration 0.02gps pour le dispersant 4 le PV est de 15, le Ty est de 2; par contre pour le dispersants 3 ces deux valeurs sont de 37 et de 21 respectivement.

Nous pouvons souligner aussi que dans toute cette gamme de produits et de concentrations, le système optimum est celui avec 0.02gps de dispersant 4 avec un Ty inférieur à 5, un PV entre 10 et 20 mais le Free fluid est de 5.5ml c'est pour cela que nous avons étudié le même système avec moins de dispersant 4 (0.015gps) dans ce dernier cas le Free fluide tait meilleur, la valeur a chuté à 2ml, le PV est de 27 et le Ty de 13 qui sont d'assez bons résultats.

V. 5. Comportement à 45C du DISPERSANT REF, DISPERSANT 3 et

DISPERSANT 4

Remarque

Nous avons choisi ces trois produits car ils ont donné les rhéologies les plus intéressantes
Après conditionnement à 25C.

Rhéologie

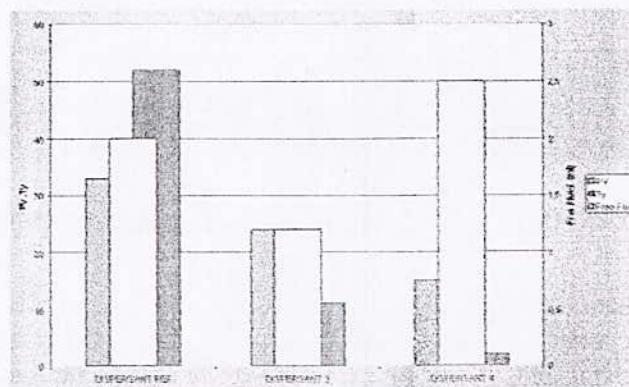
0.04 gps	DISPERSANT REF	DISPERSANT 3	DISPERSANT 4
Rhéologie après conditionnement à 45C	Déviaton deg	Déviaton deg	Déviaton deg
300 (tours/mins)	85	36	17
200 (tours/mins)	78/73	23/27	11/11
100 (tours/mins)	68/62	17/9	7/6
60 (tours/mins)	63/55	14/15	4/4
30 (tours/mins)	59/50	14/15	3/3
6 (tours/mins)	30/25	13/14	3/2
3 (tours/mins)	24/16	10/12	2/1
10 sec gel	24	11	4
10 min gel	26	17	6
1 min sterring	26	13	—
30 min gel	32	20	—
PV	33	24	15
Ty	52	11	2
Free fluid (ml)	2.0	1.2	2.5

tableau V.4. Les résultats de la rhéologie et du fluid du DISPERSANT REF, DISPERSANT 3 et le DISPERSANT 4 à 0.04gps et 45C.

Remarques

D'après ce tableau, nous pouvons noter que la rhéologie du DISPERSANT 4 est la plus faible, suivie de celle du DISPERSANT 3 et enfin celle du DISPERSANT REF et remarquons aussi l'écart entre les trois courbes.

Notons aussi la chute du ty entre les produits, ceci peut s'expliquer techniquement par la masse de la matière active car entre le DISPERSANT REF et le DISPERSANT 3 par exemple 33% de plus en matière active fait chuter la valeur du Ty de 52 à 11.



graphe V.22 . Histogramme comparatif du PV, Ty et Free Fluid après conditionnement 45C

Remarques :

Nous remarquons ici tout d'abord la valeur très faible du Ty du dispersant 4, ceci indique un état sur dispersé ce qui veut dire que pour optimiser ce système il faut diminuer la concentration.

Donc à cette concentration (0.04gps) et à cette température 45C, le meilleur produit à utiliser est le dispersant 3 qui donne un Ty de 11, un PV de 24 et un très bon Free fluid (1ml).

V. 6. Comportement à 65C du DISPERSANT 3 et DISPERSANT 4

Remarque : Dans ce cas, on a pas teste le DISPERSANT REF la référence, car déjà après un conditionnement a 45C la valeur du Ty était élevée.

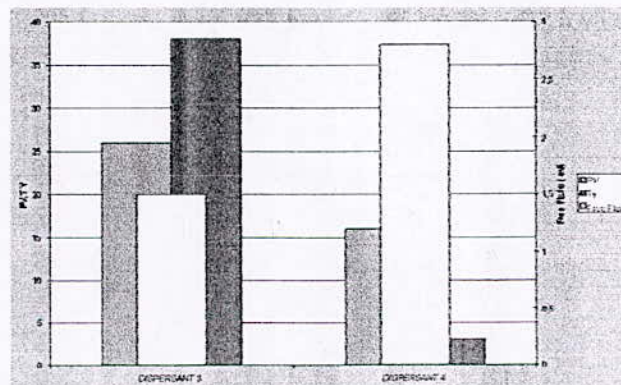
Rhéologie :

0.04 gps	DISPERSANT 3	DISPERSANT 4
Rhéologie après conditionnement à 65C	Déviaton deg	Déviaton deg
300 (tours/mins)	63	20
200 (tours/mins)	56/54	13/13
100 (tours/mins)	50/44	8/7
60 (tours/mins)	46/40	7/5
30 (tours/mins)	41/37	6/4
6 (tours/mins)	24/25	5/3
3 (tours/mins)	19/18	4/3
10 sec gel	22	3
10 min gel	26	15
1 min sterring	21	3
30 min gel	26	19
PV	26	16
Ty	38	3
Free fluid (ml)	1.5	2.8

tableau V.5. Les résultats de la rhéologie et du fluid du DISPERSANT 3 et le DISPERSANT 4 à 0.04gps et 65C.

Remarques :

D'après ce tableau, nous pouvons remarquer que la rhéologie du DISPERSANT 4 est bien inférieure a celle du DISPERSANT 3, à 300rpm par exemple la déviation pour le DISPERSANT 4 est de 20deg, par contre celle du DISPERSANT 3 elle est de l'ordre de 60deg.



graphe V.23 . Histogramme comparatif du PV, Ty et Free Fluid après conditionnement 65C

Remarques

Il faut noter que l'échelle des Free fluid est très grande et que pour les deux systèmes les résultats du Free fluid sont très bons.

V. 7. Comportement à 85C du Dispersant 1, DISPERSANT 2 et DISPERSANT 4

Remarque :

Les formulations sont les mêmes pour toutes les manipulations (après conditionnement 25C, 45C, 65C, et 85C).

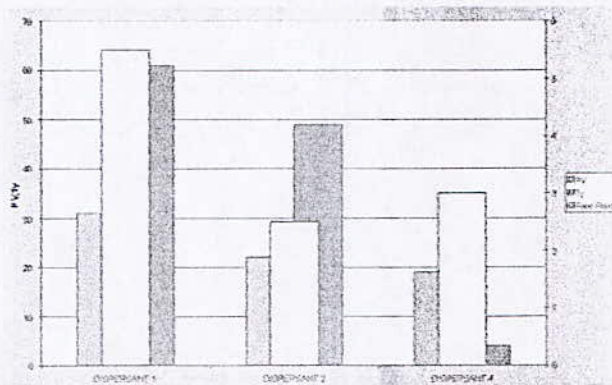
Rhéologie :

0.04 gps	DISPERSANT 1	DISPERSANT 2	DISPERSANT 4
Rhéologie après conditionnement à 85C			
300 (tours/mins)	92	70	22
200 (tours/mins)	84/81	64/63	19/19
100 (tours/mins)	75/70	58/54	12/11
60 (tours/mins)	70/63	56/50	8/8
30 (tours/mins)	59/51	48/45	6/6
6 (tours/mins)	22/22	26/22	4/5
3 (tours/mins)	14/16	23/17	4/5
10 sec gel	18	17	6
10 min gel	35	21	12
1 min sterring	20	22	4
30 min gel	50	110	22
PV	31	22	19
Ty	61	49	4
Free fluid (ml)	5.5	2.5	3

tableau V.6. Les résultats de la rhéologie et du Free fluid du DISPERSANT 1, DISPERSANT 2 et le DISPERSANT 4 à 0.04gps et 85C.

Remarques :

Nous pouvons noter que la rhéologie du DISPERSANT 4 est la plus faible suivie de celle du DISPERSANT 2 et enfin celle du Dispersant 1 et remarquons aussi l'écart entre les trois courbes.



graphe V.24 .Histogramme comparatif du PV,Ty et Free Fluid après conditionnement 85C

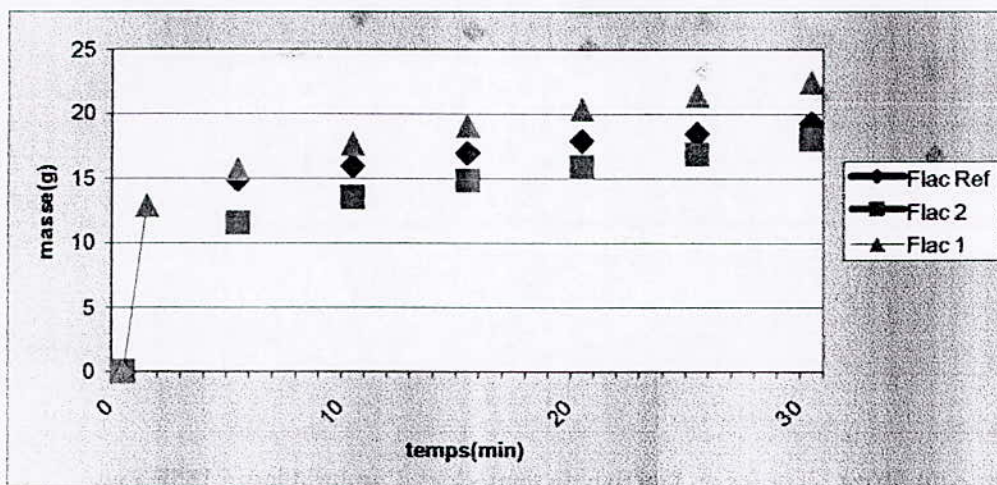
Remarques :

En comparant ces trois produits, il est visible que le meilleur d'entre eux est le dispersant 4 quoique son Ty est assez faible , donc en diminuant un petit peu la concentration , on obtiendra un système parfait à 85C.

LES AGENTS DE CONTROLE DE FILTRAT

V. 8. Les résultats obtenus pour le FLAC REF, FLAC 2 et FLAC 1 à 185F

FLAC REF, FLAC 1, FLAC 2 (0.8gps) 185F

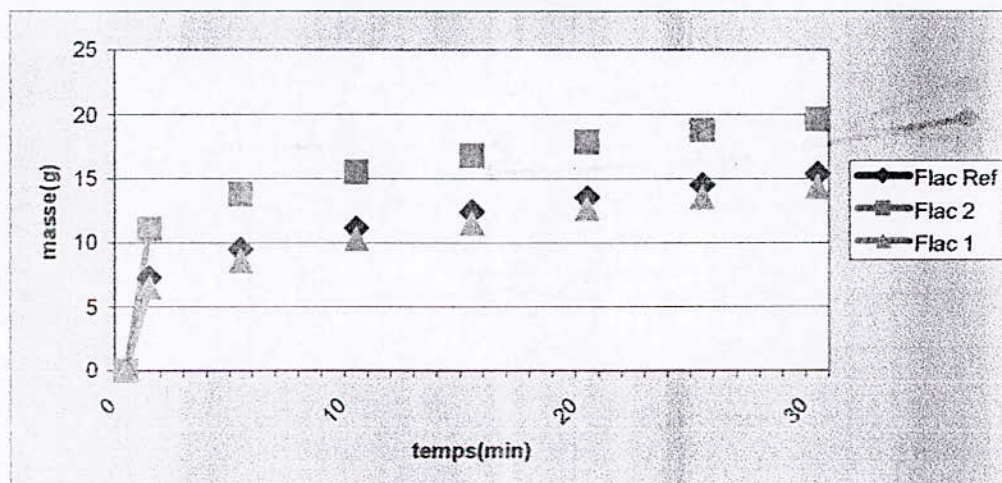


graphe V.25 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps lors d'un fluid loss à 185F à une concentration de 0.8gps pour les trois produits (FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2).

Remarque:

Nous remarquons que le FLAC 2 donne la masse la plus faible.

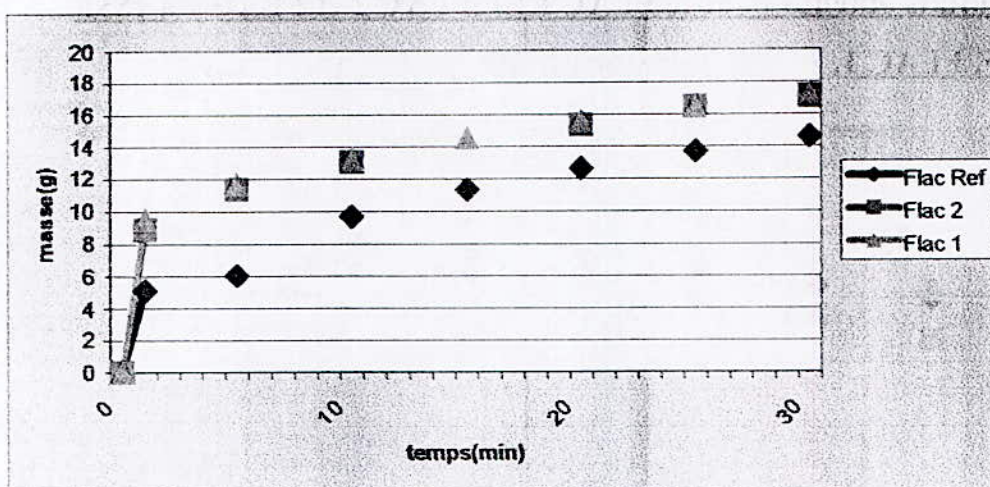
FLAC REF, FLAC 1, FLAC 2 (1gps) 185F



graphe V.26 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps lors d'un fluid loss à 185F à une concentration de 1gps pour les trois produits (FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2).

Remarque: Nous remarquons que le FLAC 1 donne la masse la plus faible.

FLAC REF, FLAC 1, FLAC 2 (1.2gps) 185F

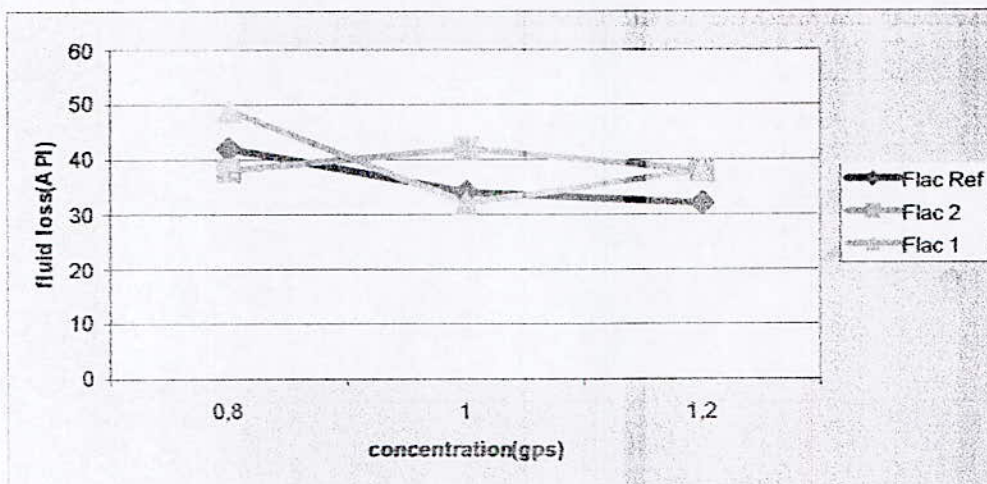


graphe V.27 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps lors d'un fluid loss à 185F à une concentration de 1.2gps pour les trois produits (FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2).

Remarque:

Nous remarquons que c est le FLAC REF qui donne la masse la plus faible.

FLUID LOSS FLAC REF, FLAC 1, FLAC 2 A 185F



graphe V.28 Le fluid loss (API ml) en fonction des concentrations des trois produits (FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2) et ceci à 185F.

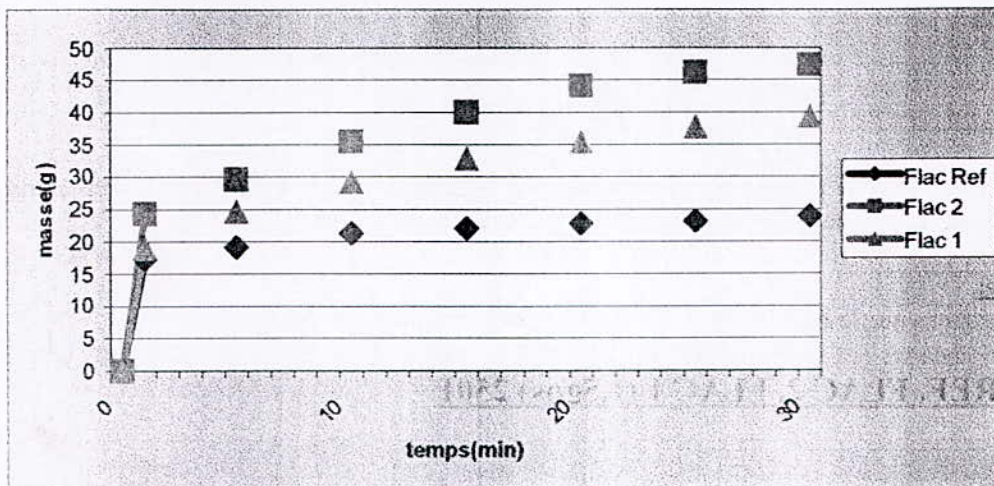
Remarque:

Nous pouvons noter qu il n y a pas de tendance particulière sauf pour le FLAC REF dont le fluid loss diminue en augmentant la concentration.

- Un fluid loss a 50Api est un excellent contrôle de fluid loss.
- Le FLAC REF et le FLAC 1 sont déjà utilisés avec succès sur le terrain à 185F.
- Le FLAC 2 donne un niveau de performance comparable mais l'objectif était les hautes températures 250F.

V. 9. Les résultats obtenus pour le FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2 à 250F

FLAC REF, FLAC 1, FLAC 2 (0.8gps) 250F

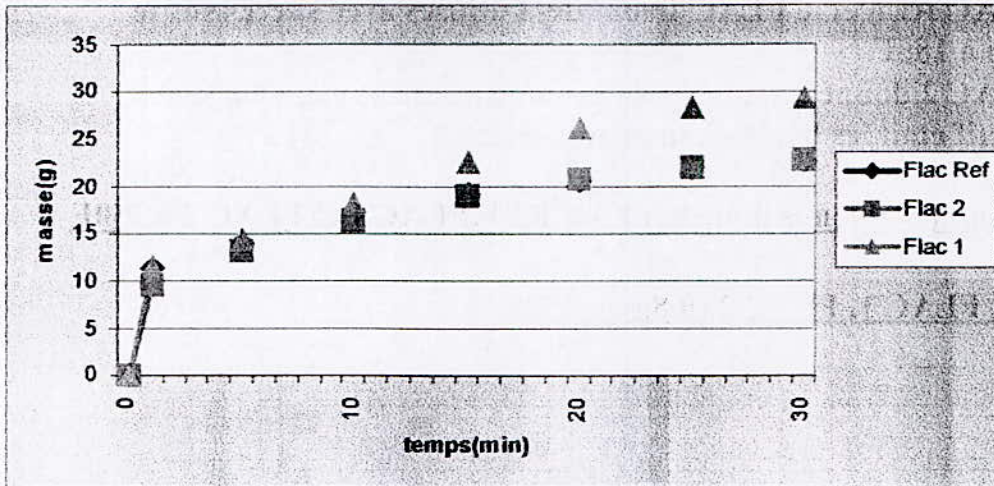


graphe V.29 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps lors d'un fluid loss à 250F à une concentration de 0.8gps pour les trois produits (FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2).

Remarque:

Nous remarquons que le FLAC REF donne la masse la plus faible.

FLAC REF, FLAC 1, FLAC 2 (1.2gps) 250F

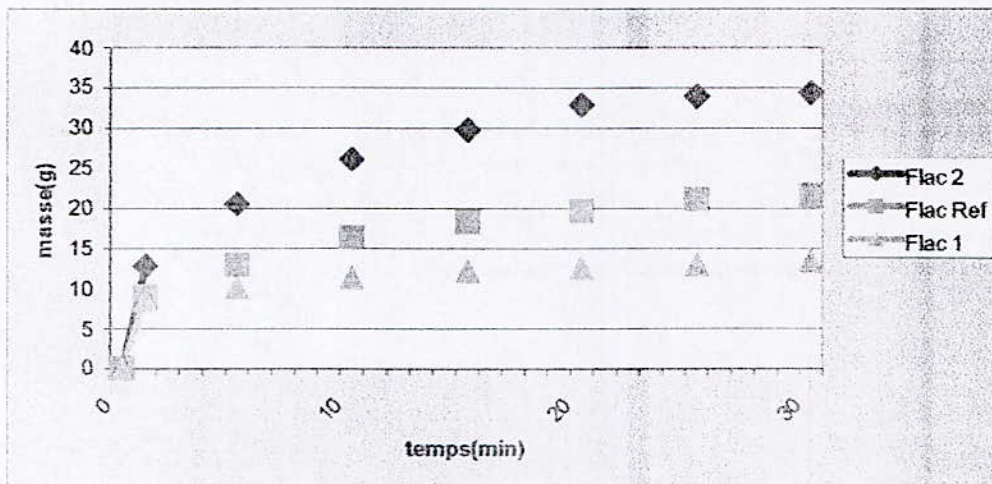


graphe V.30 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps lors d'un fluid loss à 250F à une concentration de 1.2gps pour les trois produits (FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2).

Remarque:

Nous remarquons que le FLAC 1 et le FLAC 2 donnent les masses les plus faibles.

FLAC REF, FLAC 2, FLAC 1 (1.5gps) 250F

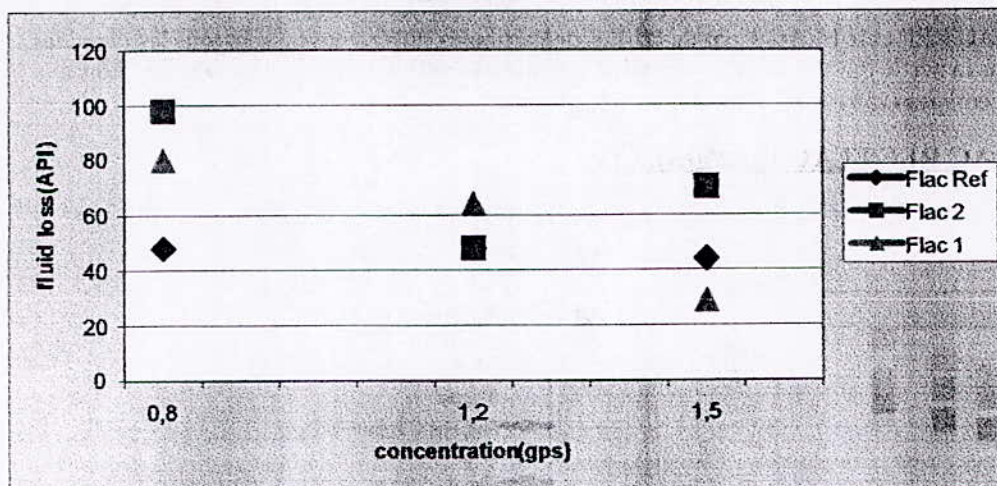


graphe V.31 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps lors d'un fluid loss à 250F à une concentration de 1.5gps pour les trois produits (FLAC REF, FLAC 1 et FLAC 2).

Remarque:

Nous remarquons que c'est le FLAC 1 qui donne la masse la plus faible.

FLUID LOSS FLAC REF, FLAC 1, FLAC 2 A 250F



graphe V.32 Le fluid loss (API ml) en fonction des concentrations des trois produits (FLAC REF, FLAC 2 et FLAC 1) et ceci à 250F.

Remarque

A 250F aussi nous remarquons qu'il n'y a pas de tendance particulière..

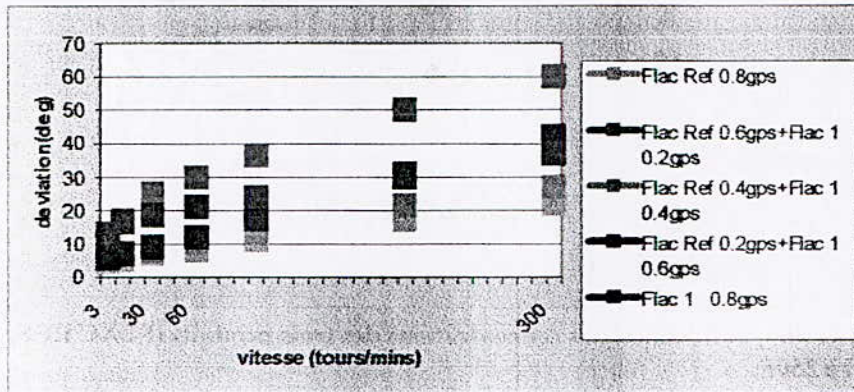
- Le FLAC 2 n'est pas concluant en terme d'amélioration de performances à 250F.

V. 10. Les résultats obtenus pour le FLAC REF et FLAC 1 à 185F

Remarques

A priori, le FLAC REF et le FLAC 1 ont des tailles de particules différentes ce sont tous les deux des micro gels. Dans la partie qui va suivre, nous allons tester des combinaisons de ces deux produits à différents pourcentages (25%-75%, 50%-50%...).

Rhéologie FLAC REF/FLAC 1 (0.8gps):

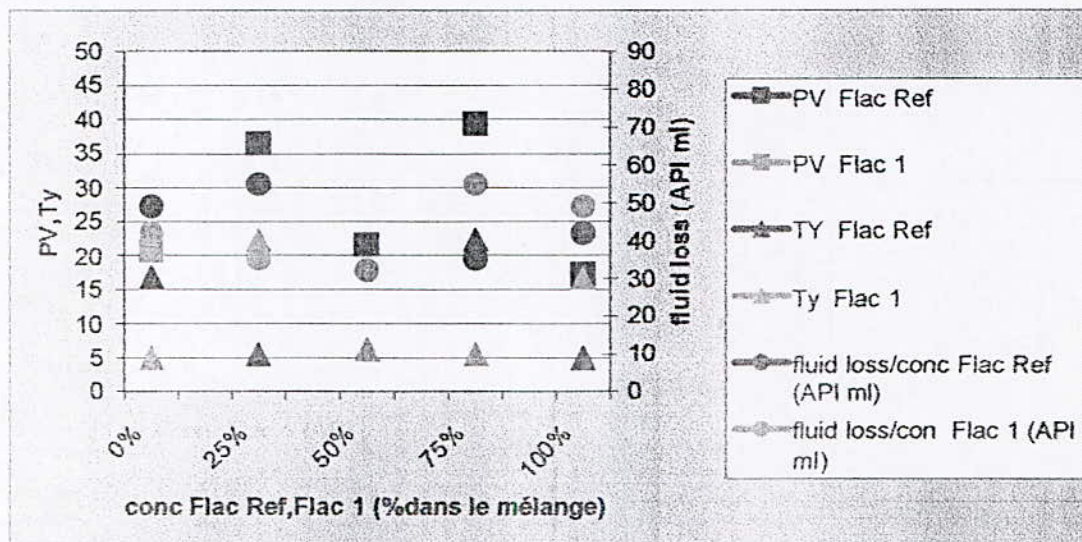


graphe V.33 La rhéologie du FLAC REF/ FLAC 1 (0.8gps) et leurs combinaisons après conditionnement à 185F: déviation (degré) en fonction de la vitesse (tours/min).

Remarque

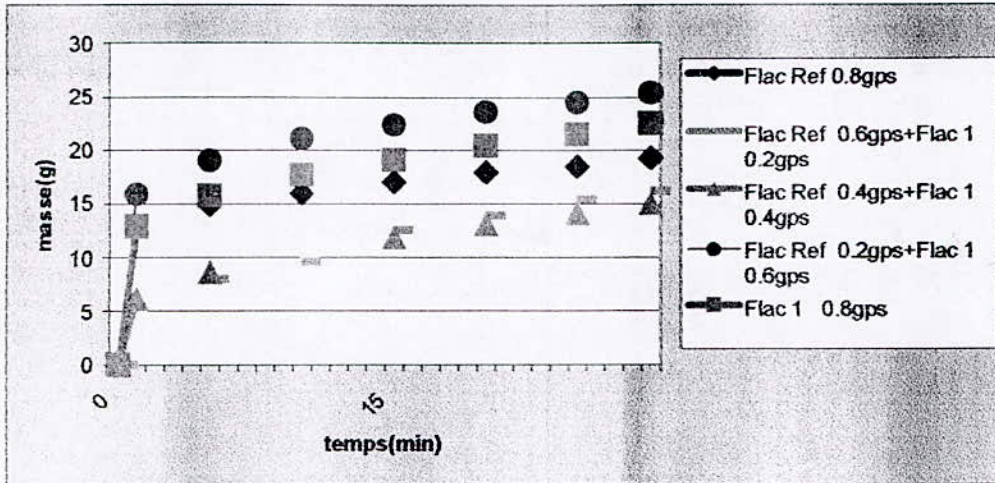
Nous remarquons que la rhéologie la plus basse est celle du [FLAC REF 0.8gps] et celle avec [50% FLAC REF-50% FLAC 1] est également basse.

PV, Ty Fluid loss FLAC REF/FLAC 1 (0.8gps) :



graphe V.34 Le PV et le Ty et le fluid loss du FLAC REF/FLAC 1 (0.8gps) après conditionnement à 185F en fonction des concentrations.

Fluid loss FLAC REF/FLAC 1 (0.8gps):



graphe V.35 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps et ceci lors d'un fluid loss à 185F Et à une concentration de 0.8gps pour le FLAC REF, FLAC 1 et le mélange des deux.

Remarque

Nous remarquons que la formulation [0.4gpsFLAC REF+0.4gpsFLAC 1] donne la plus faible masse.

- On remarque aussi que c'est lors des premières minutes qu'on récupère le plus de filtrat, ceci pourrait être expliqué par le temps de formation du filter cake compact, et faiblement perméable.

Des photos de quelques échantillons après un test de fluid loss à (0.8gps et 185F) :



Filter cake du
FLAC 1 0.8gps
Epaisseur
moyenne : 22mm
Fluid loss : 49API.

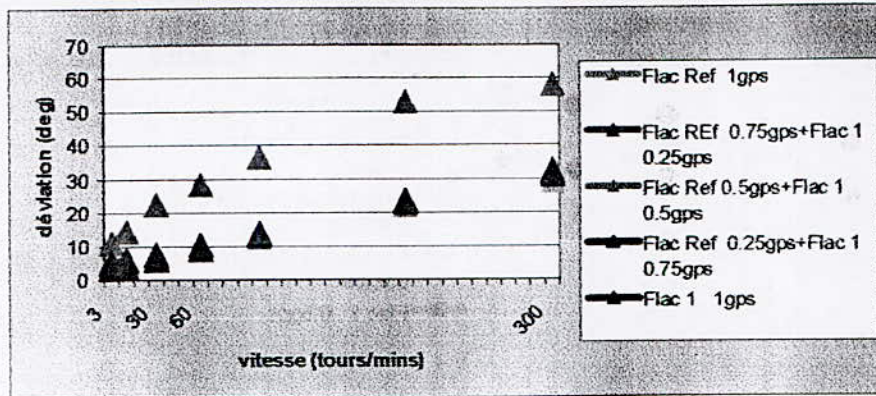


Filter cake du
FLACREF 0.6gps+
FLAC 1 0.2gps.
Epaisseur
moyenne : 16mm
Fluid loss : 35API

Remarque

on remarque qu'il y a un rapport inversement proportionnel entre l'épaisseur moyenne du filtercake et la valeur du fluid loss, plus le filter cake est fin meilleur sera son fluid loss.

Rhéologie FLAC REF/ FLAC 1 (1gps) :

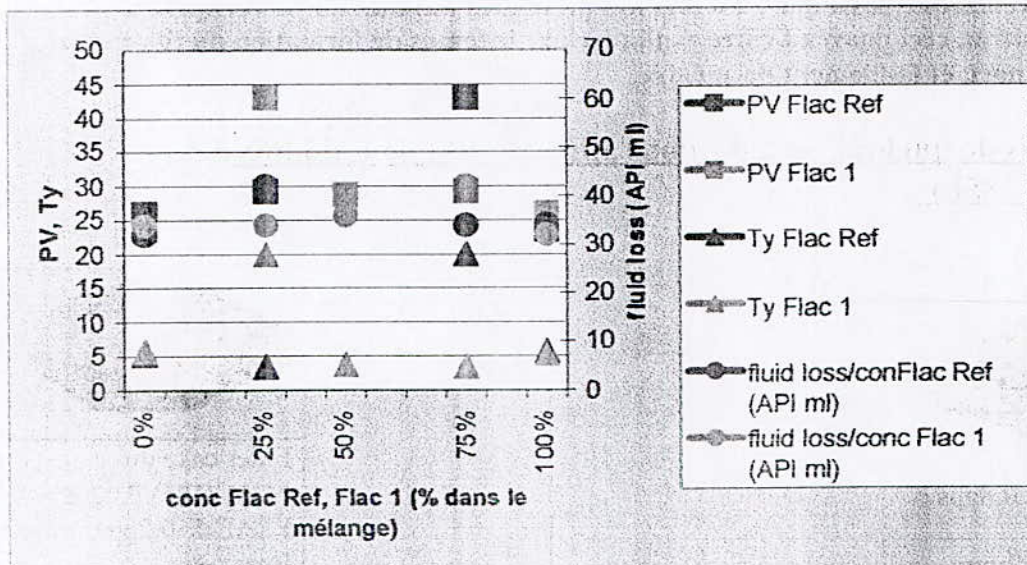


graphe V.36 La rhéologie du FLAC REF/ FLAC 1 (1gps) et leurs combinaisons après conditionnement à 185F: déviation (degré) en fonction de la vitesse (tours/mins).

Remarque:

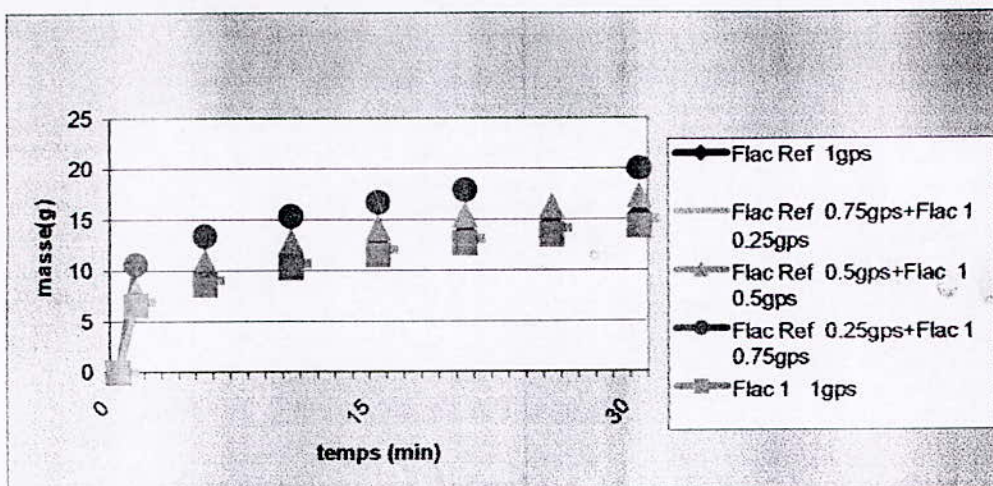
Nous remarquons qu'à 1gps, les différences sont nivelées par rapport à 0.8gps (excepté pour le mélange [0.75gps FLAC REF, 0.25gps FLAC 1]).

PV, Ty Fluid loss FLAC REF/FLAC 1 (1gps) :



graphe V.37 Le PV et le Ty et le fluid loss du FLAC REF/FLAC 1 (1gps) après conditionnement à 185F en fonction des concentrations.

Fluid loss FLAC REF/FLAC 1 (1gps):



graphe V.38 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps et ceci lors d'un fluid loss à 185F et à une concentration de 1gps pour le FLAC REF, FLAC 1 et le mélange des deux.

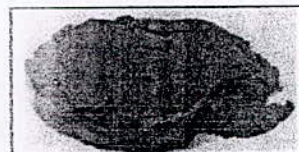
Remarque:

Nous remarquons que la formulation [1gps FLAC 1] donne la plus faible masse. Mais les résultats sont tous excellents.

Des photos de quelques échantillons après un test de fluid loss à (1gps et 185F) :



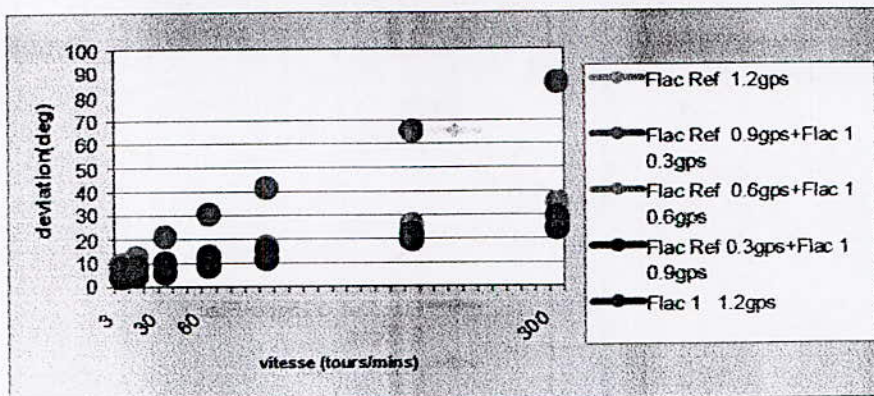
Filter cake du
FLACREF 0.5gps+
FLAC 1 0.5gps.
Epaisseur
moyenne : 11
Fluid loss : 36API



Filter cake du
FLACREF 0.75gps+
FLAC 1 0.25gps
Epaisseur
moyenne : 14
Fluid loss: 42PI.

Remarque nous pouvons signaler que les résultats avec les combinaisons à 1gps étaient moins performants que ceux à 0.8gps.

Rhéologie FLAC REF/FLAC 1 (1.2gps) :

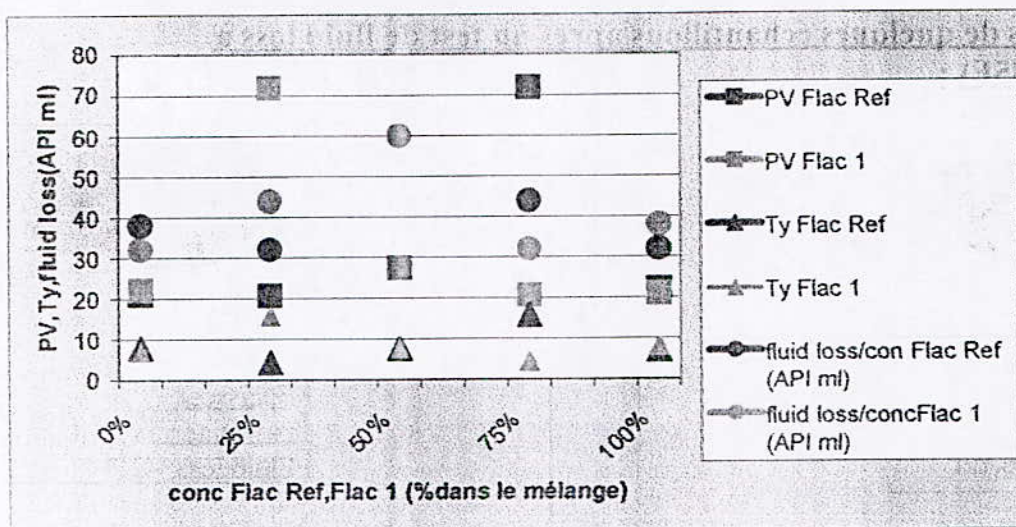


graphe V.39 La rhéologie du FLAC REF/ FLAC 1 (1.2gps) et leurs combinaisons après conditionnement à 185F: déviation (degré) en fonction de la vitesse (tours/min).

Remarque

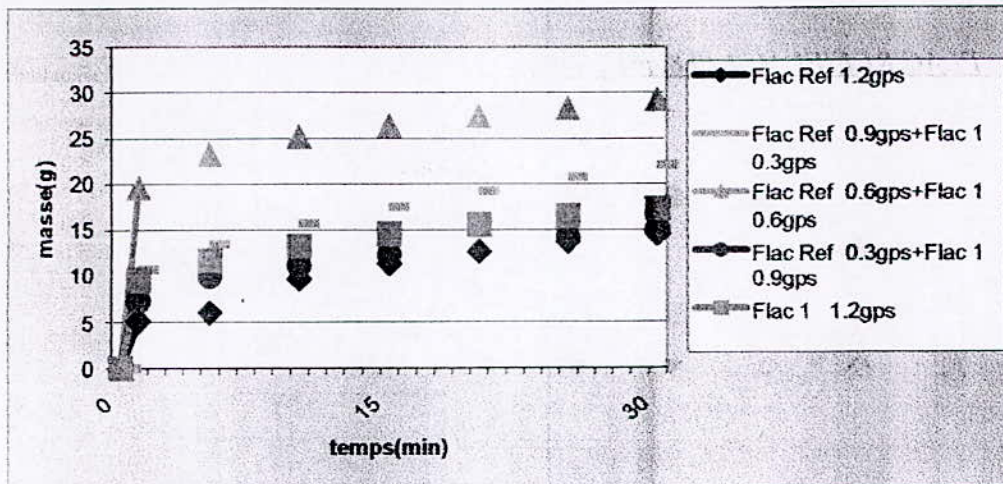
Nous remarquons que la combinaison [75%FLAC REF-25%FLAC 1] donne la plus mauvaise rhéologie.

PV, Ty Fluid loss avec FLAC REF/FLAC 1 (1.2gps) :



graphe V.40 Le PV et le Ty et le fluid loss du FLAC REF/FLAC 1 (1.2gps) après conditionnement à 185F en fonction des concentrations.

Fluid loss avec FLAC REF/FLAC 1 (1.2gps) :



graphe V.41 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps et ceci lors d'un fluid loss à 185F Et à une concentration de 1.2gps pour le FLAC REF, FLAC 1 et le mélange des deux.

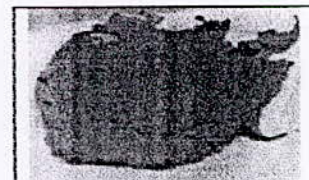
Remarques:

Nous remarquons que la formulation [1.2gps FLAC REF] donne la plus faible masse.

Des photos de quelques échantillons après un test de fluid loss à (1.2gps et 185F) :



Filter cake du
FLACREF 0.9gps+
FLAC 1 0.3gps.
Epaisseur
moyenne :21
Fluid loss : 44l



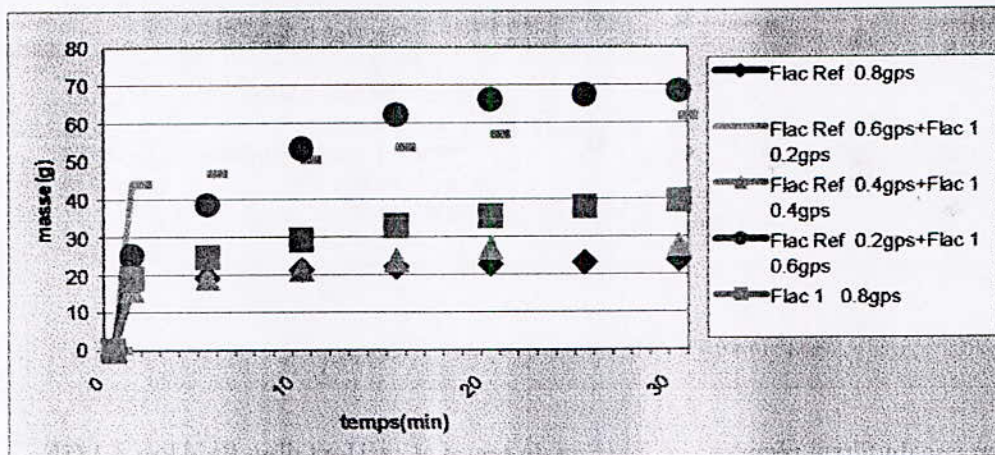
Filter cake du
FLAC REF 1.2gps.
Epaisseur
moyenne :19
Fluid loss : 32API

Remarque:

• Après l'étude des combinaisons à 0.8gps, 1gps et 1.2gps à 185F, nous pouvons noter que cette combinaison n'améliore pas le fluid loss à 1 et 1.2gps, donc l'effet de combinaison disparaît avec l'augmentation de la concentration.

V. 11. Les résultats obtenus pour le FLAC REF et FLAC 1 à 250F :

Fluid loss avec FLAC REF/FLAC 1 (0.8gps) 250F:

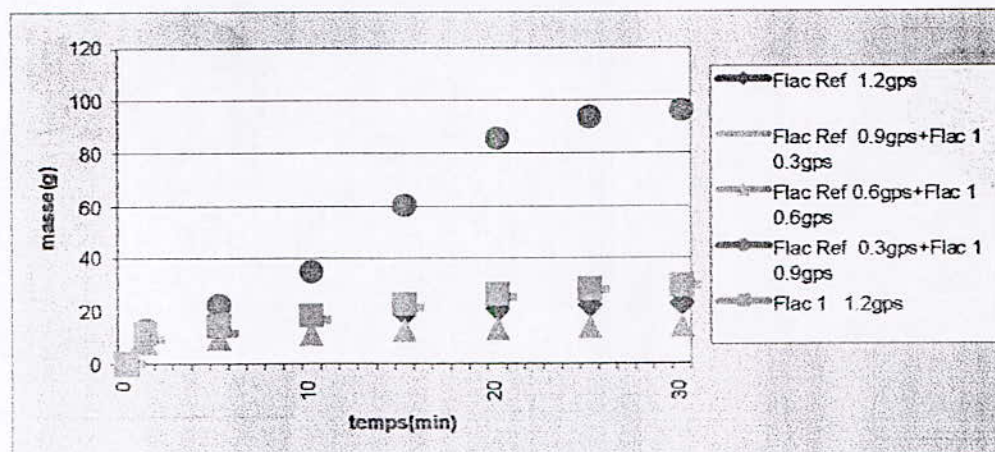


graphe V.42 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps et ceci lors d'un fluid loss à 250F Et à une concentration de 0.8gps pour le FLAC REF, FLAC 1 et le mélange des deux.

Remarques:

Nous remarquons que les formulations [0.4gpsFLAC REF+0.4gpsFLAC 1] et [0.8gps FLAC REF] donnent les plus faibles masses.

Fluid loss avec FLAC REF/ FLAC 1(1.2gps) 250F:

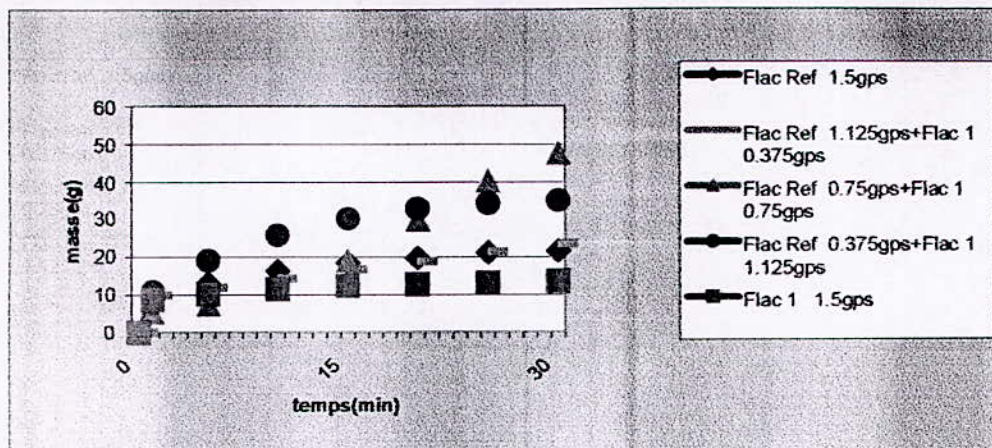


graphe V.43 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps et ceci lors d'un fluid loss à 250F Et à une concentration de 1.2gps pour le FLAC REF, FLAC 1 et le mélange des deux.

Remarque

Nous remarquons que la formulation [0.6gpsFLAC REF+0.6gpsFLAC 1] donne la plus faible masse.

Fluid loss avec FLAC REF/FLAC 1 (1.5gps) 250F:



graphe V.44 La masse du filtrat récupéré en fonction du temps et ceci lors d'un fluid loss à 250F Et à une concentration de 1.5gps pour le FLAC REF, FLAC 1 et le mélange des deux.

Remarques:

Nous remarquons que la formulation [1.5gps FLAC 1] donne la plus faible masse.

CONCLUSION

VI CONCLUSION

Les buts de la première partie de cette étude étaient de :

- Comparer les performances des produits expérimentaux avec la référence DISPERSANT REF à iso concentration.
- Savoir si on pouvait dépasser la température limite du DISPERSANT REF (60C).
- Avoir des additifs et des chimies équivalentes sous les deux formes liquide et solide.

Il ressort de l'étude comparative à iso concentration que DISPERSANT 4 et DISPERSANT 3 ont un effet dispersant meilleur que le produit de référence (DISPERSANT REF).

Ainsi les rhéologies obtenues étaient très satisfaisantes et ce sans l'aide de retardateurs. Cependant leurs teneurs en matière active étaient plus importantes que le DISPERSANT REF (la masse en matière active est de 1.50,1.99 et 3.92g/10g de produit pour le DISPERSANT REF, DISPERSANT 3, DISPERSANT 4 respectivement).

Il est à signaler qu'un test spot a été effectué à iso masse en matière active (0.015gps DISPERSANT 4/0.04gps DISPERSANT REF) et a donné de meilleurs résultats pour le DISPERSANT 4, ($T_y = 13$) par rapport au DISPERSANT REF ($T_y=18$) après conditionnement à 25C.

Ensuite, l'étude comparative entre le DISPERSANT 4 (liquide) et le Dispersant 6 (solide) montre des résultats similaires, on a alors la possibilité d'obtenir le produit sous les deux formes.

La deuxième partie de l'étude concernait les agents de contrôle de filtrat ; il fallait comparer la performance du FLAC 2 avec les références FLAC REF et FLAC 1.

Il en ressort que l'ajout de surfactant au FLAC REF, soit le FLAC 2, n'améliore pas les performances de contrôle de filtrat à 185F et 250F. Finalement des combinaisons de FLAC REF et FLAC 1 ont été évaluées.

L'hypothèse à vérifier était une plus grande imperméabilité du filter cake du fait d'une distribution plus large de taille de particules.

Les tests de fluid loss ont d'abord été effectués à 185F avec une concentration totale de 0.8gps.

La combinaison [50%FLAC REF-50%FLAC 1] a donné un meilleur contrôle de filtrat par rapport aux autres combinaisons [100%FLAC REF-0%FLAC 1],[75%FLAC REF-25%FLAC 1].....

Ce résultat n a pas été confirmé avec une concentration totale de 1 et 1.2gps. Il est supposé que l'augmentation de la concentration totale nivèle les performances.

Cependant le rapport performance/quantité de produit a été optimisé à 185F avec 0.8gps et [50% FLAC REF-50% FLAC 1].

Finalement, les performances des combinaisons ont été évaluées à 250F.

On peut observer un excellent résultat avec 0.8gps de FLAC REF (48API). La combinaison avec [50%FLAC REF-50%FLAC 1] donne encore de meilleurs résultats que les combinaisons [75%FLAC REF-25%FLAC 1],[25%FLAC REF-75%FLAC 1].....

En augmentant la concentration à 1.2gps, la combinaison [50%FLAC REF-50%FLAC 1] est à nouveau la plus performante (29API).

Il serait intéressant pour compléter cette étude de vérifier la reproductibilité avec les combinaisons suivantes :

- [50%FLAC REF-50%FLAC 1] a 0.8gps et 185F.
- [50%FLAC REF-50%FLAC 1] a 1.2gps et 250F.

En outre il faudrait obtenir des fournisseurs des données concernant la taille des particules des produits.

BIBLIOGRAPHIE

VII Bibliographie

1. **Persson, C.**,
« Le pétrole : des pores au pipeline », Schlumberger Riboud Product Center, Clamart, (2002), 3-33.
2. **Boubeguir, Y.**,
« Propriétés mécaniques du ciment pris, application à la cimentation d'un puits de pétrole », 19-50. Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris (2004).
3. **Lafuma, H.**,
« Liants hydrauliques », Propriétés, Choix et Conditions d'emploi, Dunod, Paris (1942), 3-13.
4. **Baron, J., Sauterey, R.**,
"Le Béton Hydraulique", Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris (1982), 11, 193-222.
5. **Michaux, M., Nelson, E.B., Vidick, B.**,
"Well Cementing", Chemistry and Characterisation of Portland Cement, Copyright, New York (1990), 2.
6. **Hewlett, P.C.**,
"Lea's Chemistry of Cement and Concrete", Fourth Edition, Arnold, New York (1998), 14.2, 779.
7. **Papadakis, M., Venuat, M.**,
"Fabrication et utilisation des liants hydrauliques", 2^e Edition, Eyrolles (1966), 2, 187-211.
8. **Jacquot, M.**,
"Nouveaux Ciments", Stage de DESS Matériaux "Surface" à Orsay (2001), 1, 7-12.
9. **Bogue, R.H.**,
"The Chemistry of Portland Cement", Reinhold Pub. Corp., New York (1955), 3, 37-60.
10. **Di Stasio, J.L.**,
"Chemicals for oil field operations", Noyes Data Corporation, New Jersey (1981), 282-290.
11. **Barbier, Y.**,
"Dictionnaire du Pétrole", SCM, Paris (1980).
12. **Boy de la Tour, X.**,
"Le pétrole, une épopée", Objectif pétrole, Presses Pocket, Paris (1993), 34-39.
13. **Guillot, D., Nelson, E.B.**,
"Well Cementing", Rheology of Well Cement Slurries, Copyright, New York (1990) Elsevia.
14. **Belaidi, Benseddik**,
PFE, 'les fluides de forage', ENP Alger, juin 2005.