

2

M. CH. 01/5614

République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et la recherche scientifique

Université de Ouargla

Institut de chimie industrielle



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état en chimie industrielle

Option : Génie chimique

Thème

L'utilisation du plâtre comme
agent thixotrope

Réalisé par :

Bengharbi Zoulikha

Encadré par :

Dr: Lanez . Touhami

Promotion 2001

Remerciements



Ce travail à été réalisé à l'entreprise nationale des services aux puits dans le cadre du projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en chimie industrielle option génie chimique .

A l'usée de ce travail je tiens a remercier sincèrement , Dr. Touhami Lanez d'avoir accepter de m'encadrer et de juger ce travail réaliser sous sa conduite . Homme d'expérience , pro vu de qualités humaines , et scientifique exemplaire

Je tiens à remercier vivement monsieur N. Guerraiche chef de département des opération spéciales de m'avoir proposé ce sujet de fin d'étude je le remercie pour ses conseils , ses encouragement , son soutien morale et logistique , son aide précieuse je le remercie aussi parce qu'il ma fait honneur d'examiner ce travail , ces critique constructive et ces nombreuse intervention .

Mes sincères remerciement à monsieur Dees Nash , B Hamiane K Helilou , N Abada , M Madjid , M Zoubir pour leurs aides et leurs encouragement .

Mes remerciement à monsieur L. Laroussi responsable des laboratoires au CRD de Hassi Messaoud pour l'accueille , l'extrême gentillesse , les encouragement .

Je tiens à remercier vivement monsieur Baba Arbi CRD pour l'accueille et sont aide précieuse qu'il trouve ici mon profond respect

Mes sincères remerciement à tous mes enseignant , tous les enseignants de l'université de Ouagla , et tous ceux qui m'ont aider de loin ou de proche .

DEDICACES

Je me serais exprimer mes sentiments a l'égard de mes parents pour leur compréhension, aide et confiance, tout en espérant leur rendre le peut du grand qu'ils m'ont donnés, amour et affection.

A ma très chère mère qui s'est tout sacrifiée pour mon bonheur.

A mon chère père qui ma toujours entouré d'amour

A mes frères, sœurs, toute ma famille et surtout Tounsi.

A mon chère ami Faress

A tout mes amies Warda , Hayat , Sakina , Rania , Bouchera , Sabrina , Hakima .

A toute ma promotion et surtout : Messaoud , Lamine , Oussama , Toufik , Riad , Madani , Khaled , Djamel et Pepsi .

A tous ceux qui me sont chères.

Sammaire

Description du lieu de stage

· Introduction .

PARTIE THEORIQUE

I-les ciments.....	01
I-1-définition des ciments	01
I-2- fabrication des ciments.....	01
* les composants	01
* les étapes de fabrication	02
I-3- hydrotation et prise des ciments.....	03
I-4-chimie des ciments	04
I-5- classification des ciments	06
A- ciment normalisé pour la construction.....	06
B- ciments pour sondage.....	06
C- ciments spéciaux	07
I-6- contrôle des caractéristiques physico-chimiques des ciments pétroliers	11
I-7- influence de certains paramètres sur les caractéristiques du laitier de ciment	16
II-fluides et additifs	18
A- bouchons laveurs chimiques	18
B- les additifs du ciments	18
III- l'opération de cimentation.....	20
III-1- les types de cimentations	20
III-2- principe de la methode de cimentation	21
IV- la thixotropie	21
1- définition de la thixotropie	21
2- les laitiers thixotropes.....	21
3- Caracteristiques des laitiers thixotropes.....	22
V- Le plâtre.....	23
1- définition.....	23
2- fabrication du plâtre	23
3- prise et durcissement du pâtre.....	23

PARTIE PRATIQUE

I- réalisation d'un ciments thixotrope par l'ajout du plâtre.....	25
II- formulation d'un laitier thixotrope.....	26
III- Equipement du laboratoire de cimentation.....	27
IV- Les resultats obtenus et les interprétations.....	30
- Conclusion.....	37
- Bibliographie.	
- Annexe	

Description du lieu de stage :

L'entreprise nationale de services aux puits (ENSP) est une compagnie de services pétroliers. Ses activités déployées sur l'ensemble des sites pétroliers algériens.

Elle couvre un large éventail de service dans les activités de forage et d'exploitation des champs producteurs d'hydrocarbures.

L'ENSP est organisé en unités opérationnelles autonomes. L'autonomie d'action des unités opérationnelles se traduit par une décentralisation sélective qui leur permet une gestion efficace des moyens matériels et des ressources humaines requises pour la réalisation des opérations.

L'ENSP est structurée en unités opérationnelles, en filiales et en groupements :

- Direction Servicing;
- Direction Fluides de forage;
- Direction des Opération Spéciales;
- Direction Aldim;
- Filiale BJSP (51% ENSP-49%BJ).
- Filiale HESP (51% ENSP- 49% Halliburton)
- Groupement WSP
- Groupement MEDES
- Groupement SOLIDE

La direction des opérations spéciales est située à 04 km au nord de la ville de Hassi-Messaoud, elle est l'une des plus importantes unités de l'ENSP elle offre au client une variété de services fortement sollicités par les sociétés pétrolières.

- La cimentation.
- Bouchons squeeze
- Testing.
- Power tong
- Pompage.

Introduction :

Pour l'exploitation et l'exploration des nappes de pétrole et de gaz, l'Algérie utilise d'importantes quantités de ciments pétroliers A.P.I. de classe G. Actuellement le volume de forage est de l'ordre de 250.000m³ par an.

Le besoin annuel de ciment est de plus 12.500 tonnes. [1].

Durant le processus de forage, la cimentation des puits représente une étape capitale, car la qualité de la cimentation est liée à la durée d'exploitation d'un puits, celle-ci est effectuée afin de prévoir la migration des fluides et éviter les pertes de production, ou encore, pour isoler des zones productrices à exploiter ultérieurement.

* PROBLEMATIQUE :

Pendant l'opération de cimentation, nous pouvons rencontrer de graves problèmes tels que les pertes de circulation, cela signifie que tout ou, la quasi totalité du laitier de ciment injecté disparaît dans la formation et nous n'avons aucun retour du laitier en surface.

Ce problème de perte de circulation est posé dans plusieurs champs pétroliers. On prend comme exemple la région TFT et Hassi R'mel .

Qu'est-ce qu'une perte Circulation?

La perte de circulation ou, perte dans la formation du fluide de forage ou laitier de ciment. La perte peut varier d'une perte partielle à une perte totale. (Les réductions du volume de la boue dû aux pertes de filtrat de la boue ou le remplissage d'un nouveau trou ne devrait pas être confondu avec perte de circulation.)

Les pertes de la boue varient selon le type, sévérité, et le niveau dans le puits. Malgré l'expérience et les différentes corrélations, il est difficile de faire des recommandations et valider la méthode à suivre. Mais il y a une approche systématique pour contrôler cette perte de circulation en utilisant la méthode la plus économique et efficace. Cette approche implique des mesures préventives et correctives. Et l'utilisation correcte des différents produits en particulier et tel que la bentonite, huile diesel et ciment et le mélange des agents liants.

PARTIE PRATIQUE

Types des Zones de la Perte :

Les pertes de la boue peuvent se produire à cinq types des formations:

- 1) non consolidé ou les formations très perméables (graviers dégagés),
- 2) fractures naturelles,
- 3) les fractures provoquées horizontalement,
- 4) formations cavernueuses (fentes et les canaux),
- 5) fractures naturelles et provoquées

En général, les zones de perte sont horizontales ou verticales.

Les causes principales de ces pertes sont :

- Le gradient de fracturation anormalement bas dans les zones fissurées.
- Une grande pression hydrostatique exercée par la colonne de ciment dans l'espace annulaire.

Afin de résoudre ces problèmes, plusieurs techniques peuvent être utilisés à savoir l'utilisation :

- ❖ Des laitiers à différentes densités ;
- ❖ Un seul laitier super allégé ;
- ❖ Cimentation étagée;
- ❖ Des packer gonflables ;
- ❖ Des laitiers avec des colmatant ;
- ❖ Des laitiers thixotropes.

Les solutions citées ci avant ne sont malheureusement pas commodes à appliquer du fait de leur complexité, le risque d'échec leur prix de revient...

L'étude que je propose repose sur la recherche d'un laitier thixotrope en utilisant le plâtre de moulage de Ghardaïa, Ce produit présente les avantages suivants :

- ◆ Prix de revient moins cher (prix d'achat et frais de transport)
- ◆ Disponibilité (approvisionnement sans stock)
- ◆ Facile à manipuler (se mélange à sec)
- ◆ Non dangereux.

Ce modeste travail consiste à déterminer le pourcentage de plâtre à utiliser et le faire approprier aux différentes conditions exigées par la formation. Ça veut dire l'utilisation des ciments thixotropes à base de plâtre dotée de régler ce problème.

Partie
theorique

PARTIE THEORIQUE

I- Les ciments :

I-1- Définition des ciments :

Le ciment est une poudre finement pulvérisée, obtenue par la clinkerisation d'un mélange de calcaire (75 à 80%) et l'argile (20 à 25%). Il est donc obtenu par combinaison de silice et de chaux qui sont les constituants essentiels des matières premières en moindre proportion de l'alumine et de l'oxyde de fer.

La cuisson jusqu'à fusion partielle de ce mélange bien dosé et homogénéisé donne le clinker, produit ayant des propriétés hydrauliques après pulvérisation de ce dernier, leur emploi est difficile, due à la prise rapide quand on le mélange avec l'eau, d'où la nécessité d'ajouter un régulateur de prise <<le gypse>> en quantité égale à 3 à 5% de la masse de ciment.

I-2- Fabrication du ciment :

Les composants de base qui constitue chaque type de ciment sont :

a -Clinker Portland:

C'est un produit constitue en majeure partie de silicates de calcium, obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle d'un mélange défini et homogénéisé de matière (calcaire, argiles, pyrite ou scories) renfermant principalement de la chaux, de la silice et en moindre proportion de l'alumine et de l'oxyde de fer.

b- Laitier de haut fourneau :

Produit granule obtenu par refroidissement brusque de la gangue en fusion, de composition convenable, provenant de la fusion des minerais de fer en haut fourneau.

C -Pouzzolane :

Produit naturel ou artificiel apte à fixer la chaux à la température ambiante et en présence d'eau pour former des composés ayant des propriétés hydrauliques. Elle peut être des cendres volcaniques, des terres diatomées, certaines argiles cuites. [3]

PARTIE THEORIQUE

d- Sulfate de calcium :

* Les étapes de fabrication :

a) - Extraction :

L'extraction de la matière première de roche tendre se fait à l'aide d'excavateurs à godets, dans le cas de roches dure, l'extraction se fait à l'aide de charge explosive et de pelles mécaniques. Après l'extraction, c'est par le concassage, broyage ou délayage que la fragmentation est poussée jusqu'à ce que le grain le plus gros ne dépasse pas 1/10 de mm.

❖ Préparation par voie humide :

Cette méthode s'applique aux minéraux tendres, riche en eau, facilement déloyales et peu aptes au séchage.

❖ Préparation par voie sèche ou semi sèche :

Cette méthode s'applique aux roches dures, pauvres en eau, aptes au Broyage et au séchage.

b)-Opération de cuisson :

L'appareillages de cuisson est essentiellement constitué par le four rotatif qui est un cylindre métallique d'une longueur de 75 à 200 m et d'un diamètre de 2.5 à 5 m légèrement incline par rapport à l'horizontale de 3 à 5 pour 100 et tournant lentement autour de son axe, il est protégé intérieurement par un revêtement en briques réfractaire silico-alumineuse ou de magnésie dans la zone la plus chaude.

La cuisson peut être décomposée en quatre phases :

- ◆ Jusqu'à 100 ou 200 °C on a l'évaporation de l'eau.
- ◆ De 100 ou 200 ° C à 600 ou 700 ° C on a le préchauffage.
- ◆ De 600 ou 700 ° C à 900 ou 1100 ° C on a la carbonatation et calcination.
- ◆ De 900 ou 1100 °C à 1350 ou 1450 °C on a clinkerisation.

PARTIE THEORIQUE

1- Cuisson par voie humide :

Toutes les phases de cuisson sont réalisées dans le four ce dernier est doté, a sa partie supérieure de chaînage accroches aux parois permettant de briser la pâte qui s'agglomère.

2- Cuisson par voie sèche ou semi-sèche :

Les phases de séchage, réchauffage et partiellement de décarbonisation ont lieu avant l'entrée dans le four.

Quel que soit le procédé employé, le clinker portland sort de four sous forme de granules a la température de 1100 a 1200°C, il passe ensuite au refroidisseur sous forme de grille en escalier qui le fait cercler vers la sortie. [3]

c)- Stockage et expédition :

Le ciment est stocké type par type dans des silos puis expédié soit en vrac soit après ensachage. [6]

I-3- Hydratation et prise du ciment :

L'hydratation des ciments présente un phénomène complexe avec des réactions exothermiques, on peut distinguer trois étapes principales suivantes :

a)-Hydratation :

Les réactions d'hydratation des constituants des liants hydrauliques découlent directement des propriétés étudiées précédemment, des sels hydratés.

En présence d'eau, les silicates $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ bêta et $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ s'hydratent avec mise en liberté d'hydrate de chaux et formation de silicates monocyclique hydrate.



PARTIE THEORIQUE

Les aluminates de calcium anhydres s'hydratent en formant à les températures ambiantes, les aluminates hexagonaux.

On aura par exemple pour l'hydratation des ciments alumineux la réaction suivante [4] [5]



b)- Cristallisation :

Elle est précédée de la dissolution du sel qui donne aux molécules, ou plus exactement aux ions, la mobilité nécessaire à leur arrangement suivant un ordre géométrique.

c)- Durcissement :

Il résulte de l'hydratation progressive des constituants anhydres du liant il se divise en deux phases :

- La prise.
- Le durcissement.

La distinction entre ces deux phases n'est pas très nette. [4] [5]

I- 4- Chimie Des ciments:

La connaissance et la modification des propriétés des laitiers pour les rendre aptes aux différents types de cimentation dans les sondages ne peuvent se faire que dans la mesure où l'on connaît la constitution des ciments anhydre et aussi celle des ciments hydratés.

On sait que les ciments sont des liants hydrauliques c'est -à- dire, qu'au contact de l'eau, leurs constituants minéralogique s'hydratent en donnant naissance d'abord à une pâte (laitier), puis à un matériau dur doué de propriétés mécaniques intéressantes et Capables de lier d'autres matériaux. les propriétés de laitier et celle du matériau dur dépendent de la nature des hydrates formés. Et la nature de ces derniers dépend de la composition chimique et minéralogique comme le montre le tableau 1 et 2 .

PARTIE THEORIQUE

Le tableau -1-, ci-dessous, donne les compositions chimiques des ciments portlands ordinaires et à prise lente (ou retardée) :

CHAUX (CAO)	66	64
SILICE (SiO ₂)	21	25
ALUMINE (Al ₂ O ₃)	6 à 8	3
OXYDE DE FER (Fe ₂ O ₃)	2 à 3	5
MAGNESIE (Mg O)		1
ANHYDRIDE SULFURIQUE (SO ₃)	2,5	2

- Calcaire apporte la chaux
- Les argiles apportent la silice, l'alumine et l'oxyde de fer
- La pyrite ou les scories apportent l'oxyde de fer.
- le gypse (SO₄Ca, 2H₂O) additionné au cours du dernier broyage joue le rôle de régulateur de prise .
- Dans le cas de ciments retardés, on additionne une faible quantité de produits retardateurs, généralement d'origine organique.

Tableau -2- composition minéralogique

Constituants minéralogiques	Notations usuelles	Ciments nom retardés %	Ciments retardés %
Silicate tricalcique (3CaO, SiO ₂)	C3S	55	50
Silicate dicalcique	C2S	20	30
Aluminate tricalcique (3CaO, Al ₂ O ₃)	C3A	12 à 15	0 à 1
Ferro- Aluminate tétra-calcique (Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , 4CaO)	C4AF	5 à 7	12 à 18
Gypse (SO ₄ Ca, 2H ₂ O)		3 à 4	3
Magnésie (MgO)		1	1

PARTIE THEORIQUE

- De cette composition minéralogique, il ressort que :

Les silicates entrent pour 75 à 80 % dans les constituants, soit 50 à 55 % de silicate tricalcique et 20 à 30 % de silicate dicalcique.

▪ De plus, nous constatons que dans le cas des ciments retardés, la concentration en aluminates tricalciques est très faible ou nulle. [6]

I-5 Classification des ciments:

Suivants leurs compositions et leurs caractéristiques de prise et de durcissement, les ciments sont classés en plusieurs catégories..

A- Ciments normalisés pour la construction :

Symbolisation :

La désignation symbolique des ciments se présente sous forme de lettres qui représentent en abrégé le type de ciment et le nombre représente la résistance en bars dans des conditions d'essais normalisés, après 28 jours de prise. [6]

B- Ciments pour sondages :

A la classification générale précédente vient s'ajouter une normalisation propre aux sondages.

Les problèmes posés par les conditions de fond et de mise en place imposent certaines caractéristiques et certains essais que les normes de travaux publics ne permettent pas de vérifier.

L'américain pétrolier institut (API) a établi un classement des ciments pour sondages basé principalement sur la profondeur d'utilisation et ce classement est le suivant : [8]

Tableau II : Classement API des ciments de sonde

Classification API	Profondeur d'utilisation	Température d'utilisation (F°)
A (portland)	0 à 1830	80 à 170
B (portland)	0 à 1830	80 à 170
C (high early)	0 à 1830	80 à 170
D (retarde)	1830 à 3660	170 à 260 170 à 290
E (retarder)	1830 à 4270	170 à 290
F (retarder)	3050 à 4880	230 à 320
G (basic)	0 à 2440	80 à 200
H (basic)	0 à 2440	80 à 200

PARTIE THEORIQUE

Le tableau ci-dessous représente les propriétés des ciments Portlands A.P.I

Classe A.P.I	C3 S%	C2A %	C3A %	C4AF %	Finesse cm ³ /G	Spéciaux applications
A	53	24	8	8	1.500-1.900	Aucune
B	47	32	5	12	1.500-1.900	Résistants aux sulfates
C	58	16	8	8	2.000-2.800	Prise rapide
D et E	26	54	2	12	1.200-1.600	RETARDE
G et A	50	30	5	12	1.400-1.700	Conditions plus rigoureuses

Les classes A ,B,C(ces chiffres désignent la chronologie qui a été développée en 1950 et évaluée pour les puits de moins de 6000 pieds(1830m de profondeur)

C- Ciments Spéciaux :

Afin de satisfaire à certaines conditions particulière qui n'entrent pas dans le cadre de la normalisation API ,ou la normalisation générale nous somme amenés a utiliser des ciments spéciaux ou systèmes non normalisés, parmi ces systèmes :

▪ Ciments Allégés :

Ce sont les ciments de base utilisés pour la cimentation, une fois gâchés à l'eau donnent des laitiers de densités normalement comprises entre 1.78- 1.98. Ces densités peuvent parfois présenter des inconvénients. Certaines formations ne tolèrent pas de colonnes de ciment d'un tel poids.

Il est parfois donc nécessaire d'alléger les laitiers de ciment pour diminuer la pression hydrostatique au droit des couches fragiles et d'éviter ainsi les fracturations. Il est utile également pour colmater des pertes de circulation en cours de forages, de confectionner des bouchons de ciments de faibles densités. [6]

PARTIE THEORIQUE

▪ Ciments à la bentonite (gel ciment) :

La bentonite est une argile colloïdale constituée essentiellement de montmorillonite (environ 85%), qui est hydrsilicate d'alumine $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, dont les grains ont la faculté d'accroître de 10 à 20 fois le volume, en absorbant 5 à 6 fois leurs poids d'eau ce qui provoque le gonflement. Les bentonites ont une densité voisine de [2.65]

*** Avantage de la bentonite :**

Les bentonites peuvent être ajoutées aux ciments pour les raisons suivantes :

- Abaisser les densités du laitier
- Réaliser les cimentations sur des grandes hauteurs sans risque de provoquer des fracturations
- Réduire le coût de l'opération de cimentation
- Augmenter la valeur de rendement de cimentation de laitier.
- Diminuer l'eau libre et le filtrat.

Inconvénients de la bentonite :

La bentonite présente une certaine limite dans son utilisation qui peut se résumer en quatre points :

- Faible résistance à la compression.
- La perméabilité augmente.
- Faible résistance aux attaques des sulfates et des fluides corrosifs.
- Formation de gels.
- Augmentation de la porosité.

Pour chaque addition de 1% de bentonite à sec, la quantité d'eau de gâchage doit être augmentée de 5.3% par rapport au poids de ciments. Si le pourcentage de la mécanique diminue.

▪ Les ciments denses :

Les ciments denses sont gâchés suivant la norme API RP 10B, le laitier de ciment présente une densité comprise entre 1.78-1.98, cette limite peut être repoussée jusqu'à 2.15 par l'emploi de dispersants. (la baryte densité 4.2, la densité de laitier max. est de 2.28. L'hématite de densité 4.9 à 5.3, densité max. De laitier 2.40. L'ilmélite de densité 4.7 densité de laitier 2.40.).

PARTIE THEORIQUE

Les densités élevées sont utilisées, lorsqu'une pression hydrostatique importante est nécessaire au contrôle des puits.

Dans ce cas, la densité de la boue peut être supérieure à 2.00, celle de laitier devra lui être légèrement supérieure, pour avoir un bon déplacement de la boue. [6]

▪ **Les ciments basses températures :**

Lorsque la température des forages à cimenter s'abaisse au dessous de 10 °C, les ciments classiques ne donnent pas de résultat satisfaisants. (de tels ciments ne sont pas utilisés en Algérie).

▪ **Les ciments fondus :**

Les ciments fondus ou ciments alumineux obtenus par fusion à 1600 °C d'un mélange de bauxite et de calcaire ou de chaux. Il se compose de 70 à 80 % d'aluminate mono calcique et silicate calcique pour la fraction restante avec du fer, du magnésium, et divers autres composés en proportions divers. Ils sont utilisés par temps froid.

▪ **Les ciments au gypse :**

L'ingrédient de base est un ciment pétrolier nom retardé (la classe G est souvent utilisée) mélangé avec une forte proportion de plâtre spécialement étudié pour cet usage.

Il est utilisé dans les cimentations à profondeur continuellement gelée permafrost.

▪ **Les ciments thixotropes :**

Ce sont des laitiers de ciment ou de mélanges qui possèdent des propriétés rhéologie particulières et auxquelles sont associées des propriétés mécaniques intéressantes.

Ces ciments sont hautement thixotropes, c'est-à-dire qu'un gel se forme rapidement en l'absence d'agitation ou d'écoulement, ce gel étant toutefois détruit Si l'agitation est reprise.

Ces ciments sont expansifs, ce qui assure une meilleure liaison entre casing et formations consolidées.

La résistance mécanique de ces ciments est convenable bien qu'elle se développe plus lentement que pour un laitier classique.

- Ciment Expansifs :

L'étanchéité des cimentations est un problème qui n'a pas encore résolu dans tous les cas.

Le retrait des ciments est un phénomène bien connu en travaux publics et il est admis que les ciments purs conservés sous eau s'allongent d'environ **2 mm/m** alors que les ciments conservés à l'air libre diminuent d'une quantité du même ordre.

Etant donné que le retrait ou l'expansion dépend beaucoup du milieu de conservation dans lequel se trouve le ciment, les conclusions. [6]

La contraction du tubage conduisant à la formation d'un micro-annulaire, peut être due à plusieurs causes :

- Changement d'une boue lourde utilisée pour la chasse du laitier par une boue légère nécessaire à la reprise du forage.
- Fermeture du puits sous pression pendant la cimentation et ensuite ouverture du puits.
- Chaleur d'hydratation du ciment : lorsque le ciment fait prise, la chaleur dégagée par le laitier fait dilater le tubage; ce dernier se contracte par la suite, il se crée alors un micro annulaire non étanche.

L'utilisation d'un ciment expansif permettrait d'éviter le retrait du ciment et la formation d'un micro annulaire.

PARTIE THEORIQUE

1-7- Contrôle des caractéristiques physico-chimiques des ciments pétroliers :

Les caractéristiques physiques requises pour les ciments pour sondages sont définies par l'A.P.I., les mesures les plus couramment effectuées sont les suivantes :

A - densités des laitiers :

La densité du laitier influe sur :

- la pression hydrostatique en cours de cimentation.
- Le temps de pompabilité.
- La résistance à la compression.
- La perméabilité du ciment.

Préparé selon les préconisations de la norme API, un laitier de ciment a une densité comprise entre 1.78 et 1.98.

B- propriétés rhéologiques:

La détermination des propriétés rhéologiques et le contrôle de ses paramètres permette l'aptitude d'un laitier à déplacer le fluide en place.

La construction de la courbe représentant la contrainte en fonction du taux de cisaillement permet de distinguer trois modèles de fluides :

- ♦ **Les fluides Newtoniens.**
- ♦ **Les fluides plastiques Binghamiens.**
- ♦ **Les fluides en équation de puissances.**

Ces modèles font apparaître trois types de profils d'écoulement (voir figure n°9)

- ♦ **Sub-laminaire**
- ♦ **Laminaire**
- ♦ **Turbulent**

Les paramètres agissant sur l'injectabilité d'un laitier donc :

- ♦ **Le poids spécifique du laitier.**
- ♦ **Les paramètres rhéologiques du laitier.**
- ♦ **La géométrie de l'espace annulaire. Les conditions de pompage.**
- ♦ **La température de circulation des fluides puisqu'elle peut avoir une influence sur le comportement des additifs (gélifiants ou dispersants).**

PARTIE THEORIQUE

Cette mesure est prise à l'aide «Fann 6 vitesse V.G.35 »qui donne la contrainte en fonction du gradient de vitesse.

En plus de la détermination du régime d'écoulement, le contrôle des caractéristiques rhéologiques permet de juger de l'action des additives, de la contamination par la boue et de comparer les caractéristiques de la boue et du laitier.

Dans le cas des fluides BINGHAM, les paramètres sont

Le seuil de cisaillement (yield value) : y_v

Le laitier de ciment ne se met en mouvement que s'il est soumis à une force supérieure au seuil de cisaillement.

La viscosité plastique : v_p

C'est le coefficient de proportionnalité qui existe entre la force agissante et le gradient de vitesse au-delà du cisaillement.

C'est le cas le plus répandant pour les laitiers de ciment.

Un type de rhéomètre est utilisé, c'est : Fann V - 35000

Le Fann est l'appareil qui permet de déterminer l'rhéogramme du fluide, c'est - à - dire la loi d'écoulement qui est représenté par la fonction :

$$T=f(y)$$

Avec :

T : tension de cisaillement.

Y : taux de cisaillement

C – Filtration :

Le laitier de ciment est une suspension de poudre dans l'eau, ce n'est pas un liquide homogène.

Le ciment ne jouit d'aucune propriété colloïdale et ne retient par absorption qu'une partie de l'eau à laquelle il est mélange.

De ce fait. Un laitier de ciment placé au droit d'une formation perméable et soumis à une pression pourra perdre une plus ou moins grande partie de son eau, l'eau ainsi expulsée ne participe plus à la réaction d'hydratation, entraînant une déshydratation prématurée qui peut le rendre impompable, empêchant sa mise en place, réduisant la résistance à la compression du ciment durci, augmentant la perméabilité. Les essais de laboratoire montrent qu'un laitier peut perdre une quantité d'eau considérable. Jusqu'à 50% de l'eau utilisée à la fabrication.

PARTIE THEORIQUE

Cette mesure est prise au moyens d'un filtre presse haute pression et haute température standardise lorsque l'on veut simuler les conditions de fond.

❖ Méthode de contrôle :

La filtration du lait de ciment est mesurée comme d'une boue de forage, en utilisant le filtre - presse AP I à la température ambiante sous 7 bar, ou le filtre presse haute pression et haute température standardisée lorsque l'on veut simuler les conditions du fond.

Du fait que fréquemment, le laitier de ciment est totalement déshydraté avant le temps normalisé de 30 minutes d'essai, il est nécessaire d'exprimer le résultat en appliquant la formule approchée de la loi de filtration :

$$F_{30} = f_t \cdot \sqrt{\frac{30}{t}} \quad (\text{ml})$$

Avec :

f_{30} : filtrat en 30 minutes .

f_t : filtrat obtenu au temps t (ml)

t : temps d'essai (< 30min) .

et on a alors la quotité du filtrat :

$$Q_f = 2 \cdot f_{30} \text{ (ml)}.$$

Dans le cas où l'essai prolonge jusqu'à ce que dépasse 30 minutes, on applique directement la loi suivant :

$$Q_f = 2 \cdot f_{30} \text{ (ml)}.$$

D -Temps de pompabilité :

Le temps de pompabilité est défini par l'API est le temps mis par le laitier pour atteindre une viscosité de 100 UC (unité de consistance) dans des conditions de température et de pression normalisées (simulant celles du forage), en fonction du type de cimentation envisagé.

Le temps de pompabilité est directement lié au phénomène d'hydratation, il dépend de :

- ❖ La granulométrie.
- ❖ La composition du ciment.

PARTIE THEORIQUE

- ▼ La nature des ajouts.
- ▼ La température et la pression.
- ❖ Méthode de contrôle :

Le temps de pompabilité du laitier de ciment est mesuré à l'aide de consistomètre. Ce type d'appareil est normalisé par l'API (Le consistomètre Pan American).

Le laitier de ciment est contenu dans une cellule maintenu en rotation à 150tr/ min.

Au centre de cette cellule se trouve un axe porteur de palettes. Celui-ci est soumis à un couple d'entraînement d'autant plus important que la viscosité du laitier augmente.

Un potentiomètre et un rhéostat couplé sur l'axe permettant de donner une lecture et enregistrement de la consistance et de la température. Elle s'exprime en unité de consistance (uc).

Ce consistomètre est conçu de telle sorte que le laitier peut être soumis à des variations conjointes de température et de pression, afin de permettre la simulation des conditions de pompage dans le puits.

E - Eau libre :

Le laitier de ciment doit être préparé suivant la norme API, après on le met directement dans le consistomètre atmosphérique pour le conditionnement pendant 20 minutes.

Après, quand il est sorti du consistomètre, on l'agite à l'aide d'une spatule et on le remixe pendant 15 à 30 secondes, pour éviter toute ségrégation pendant le conditionnement.

On remplit une éprouvette de 250 ml, après 2 heures d'attente, on lit le volume d'eau libre dans le cylindre gradué (Y).

Alors l'eau libre s'exprime en (%) comme suivant :

$$(\%) \text{ d'eau libre} = \frac{V}{250} \times 100 (\%)$$

F- Résistance à la compression :

Le ciment durci doit supporter :

- ◆ L'effort de cisaillement du au poids.
- ◆ Les contraintes dues à la pression régnant à l'intérieur du tubage.

PARTIE THEORIQUE

- ♦ Les contraintes dues aux différences de pressions et de température entre l'intérieur et l'extérieur du tubage [8].

Ces contraintes dépendent des conditions du puits et peuvent nécessiter des résistances supérieures à 100 bars.

❖ Méthode de contrôle :

En accord avec la norme API, on mesure à l'aide d'une presse, la résistance à l'écrasement d'une éprouvette de ciment de dimensions standardisées.

L'éprouvette (de dimension 5x5x5cm) est préalablement vieillie de 8 à 72 heures dans des conditions normalisées de température et de pression.

G- la perméabilité :

C'est la mesure de l'aptitude d'un ciment durci à se laisser traverser par les fluides. La perméabilité dépend du type de ciment des conditions de pression et de température, de l'âge du ciment. Elle évolue parallèlement à la résistance à la compression. Elle doit naturellement être la plus faible possible afin que le ciment remplisse sa fonction d'étanchéité.

La perméabilité est testée dans un perméamétrie dans des conditions standardisées.

❖ Méthode de contrôle :

Une éprouvette normalisée de ciment durci dans des conditions standardisées est testé dans un perméamétrie.

On mesure le débit d'eau à travers une éprouvette dont les deux extrémités sont soumises à une certaine différence de pression .

La perméabilité s'exprime sous la forme :

$$K = 14700 \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot P}$$

Avec :

K : Perméabilité en millidarcy.

Q : Débit en cm³ par seconde.

μ : Viscosité de l'eau (cp).

PARTIE THEORIQUE

L : Longueur de l'éprouvette en cm.

A : section de l'éprouvette en cm^2 .

P : Différence de pression entre avant et avale éprouvette en (psi).

II – les autres caractéristiques :

En plus de cet ensemble de contrôles par L 'API, les ciments sont soumis a des conditions variées et doivent satisfaire a certains impératifs : Elasticité, Retrait et Expansion Adhérence, Compatibilité avec les fluides du gisement, Chaleur d'hydratation, etc...

1-8- Influence de certains paramètres sur les caractéristiques du lait de ciment :

▪ Température :

Comme nous l'avion vu, la température influe sur la composition des ciments hydratés. De plus, la température modifiant la vitesse d'hydratation celle-ci s'accélère lorsque la température s'élève.

Cette action sur la vitesse d'hydratation est primordiale, car elle conditionne le temps de pompabilité du laitier.

La température a également une action sur les caractéristiques rhéologiques du laitier. Ces caractéristiques décroissent lorsque la température croit.

En fin, la température modifie la résistance à la compression du ciment durci. On note, pour un ciment donné, une diminution dans la durée de la résistance à la compression au-dessus d'une certaine température.

▪ Pression :

La pression affecte le temps de pompabilité. Une augmentation de pression amène une réduction du temps de pompabilité.

Influence des eaux de formation :

La présence de certains électrolytes dans les eaux de formation affecte les caractéristiques des ciments. Nous noterons tout particulièrement l'action des sulfates de sodium et de magnésium et des chlorures de sodium et de calcium.

Sulfate de magnésium ou sulfate de sodium :

Ils réagissent avec la chaux pour donner de l'hydroxyde de magnésium insoluble, de l'hydroxyde de sodium et du sulfate de calcium qui réagit avec le C_3A non hydraté pour donner

PARTIE THEORIQUE

l'ettringite, ce composant occupant plus de place que les composants d'origine, la structure cristalline est rompue (sel de candlot).

Chlorure de sodium et du calcium :

Dans ce cas, nous avons une double action :

- Le chlorure de sodium NaCl en solution dans l'eau de gâchage modifie l'équilibre de la solution contenant du gypse, des alcalis et du sel. Il influe donc sur les réactions du C_3A .
- Le chlorure de calcium réagit avec le C_3A pour donner un chloroaluminate double de calcium.

En conséquence :

- Le chlorure de calcium $CaCl_2$ est un accélérateur.
- Le chlorure de sodium est un accélérateur aux faibles concentrations et est retardateur aux concentrations élevées.

▪ Influence de la boue de forage :

Les opérations de cimentation dans les forages pétroliers ont pour conséquence la mise en présence d'un laitier de ciment avec la boue utilisée pour le sondage. Les interactions entre les deux fluides sont réciproques, mais nous ne prendrons en considération que les effets de la boue sur le laitier de ciment.

Nous pouvons les regrouper en deux catégories distinctes : les modifications de l'équilibre chimique de la phase liquide et les perturbations physiques.

▪ Modification de l'équilibre de la phase liquide :

La phase liquide d'un ciment est surtout une solution de sulfate et d'hydroxyde de calcium (cas de ciment thixotrope).

Toute modification de l'équilibre de cette phase affectera l'hydratation de ciment et par voie de conséquence, son temps de pompabilité et sa prise.

L'hydroxyde de sodium, le carbonate de sodium et le silicate de sodium provoquent une accélération plus ou moins importante du début de la prise. Mais il est important de noter que cette accélération est le plus souvent imprévisible tout dans son importance que dans son résultat final.

Elle peut se limiter à une augmentation considérable de la viscosité sous que pour autant celle-ci précède une prise effective.

On note également une très grande diversité de réponses pour chaque type de ciment.

▪ Perturbations physiques de la prise :

A côté de ces effets chimiques, certains additifs des boues de forage agissent plutôt par modification de la structure physique de la suspension de ciment.

Les dérivés de la cellulose, les sels de l'acide lignosulfonique, ont tous des propriétés fortement retardatrices pouvant aller jusqu'à une impossibilité complète de prise au-dessus d'un certain seuil de concentration et plus particulièrement à basse température.

Il est également important de noter que les dépôts de boue en s'interposant entre le ciment et les parois du puits empêchent son adhérence et diminuant la résistance de la cimentation aux agressions externes.

II - Fluides et additifs

La sélection des fluides utilisés pour une cimentation est faite en fonction des caractéristiques physiques et chimiques propre au laitier de ciment et au terrain.

A- Bouchons laveurs chimiques :

Pour affiner la boue et la déplacer en régime turbulent, il est recommandé d'utiliser des bouchons laveurs chimiques de faible viscosité. Ils sont considérés comme les meilleurs agents de nettoyage avant le placement du laitier de ciment.

- Les spacers :

Dans le cas où des bouchons laveurs de faible densité ne peuvent pas contrôler le puits tout au long de l'opération, il est recommandé d'injecter des spacers pour effectuer un nettoyage de la boue en tête de laitier et créer une séparation avant le nettoyage entre la boue et ce dernier.

B - Les additifs du ciment ;

Selon les différentes propriétés requises pour un laitier de ciment, plusieurs types d'additifs sont utilisés, On peut les diviser globalement selon les paramètres sur lesquels agissent principalement, en sachant qu'il possède souvent des effets secondaires qui, suivant leur concentration, influent sur d'autres.

- Temps de pompabilité : Accélérateurs et retardateurs.
- Densité : Agents alourdissant et allégeant.
- Rhéologie : Dispersants.
- Contrôle du filtrat : Réducteur du filtrat.
- Problèmes particuliers : Additifs spéciaux.

PARTIE THEORIQUE

-Les accélérateurs :

En raison du nombre élevé de puits peu profonds forés et de la nécessité de réduire le temps d'attente de prise de ciment, les accélérateurs de prise sont couramment utilisés pour diminuer le temps de prise et durcissement initial (CaCl_2 , NaCl , Na_2SO_4 ,....ect).

-Les retardateurs :

Largement utilisés, les retardateurs procurent un temps de pompage plus une marge de sécurité suffisante au déroulement de calcium (1%) et des mélanges à base d'acides organiques.

-Les réducteurs de filtrat :

Le filtrat du laitier de ciment constitue une source d'endommagement pour les formations perméables. C'est la raison première de son contrôle. Il convient aussi d'éviter le remplissage prévu de l'espace annulaire.

Les règles du métier en ce qui concerne le contrôle du filtrat soit :

- <150 ml/30 min : Pour les tubages intermédiaires>
- < 50ml/30 min : Pour les cuivages de production, règle impérative pour les cimentations en zones à gaz.>

-Les dispersants :

Pour ajuster la rhéologie des laitiers, en particulier si un placement en régime turbulent est envisagé, l'addition de dispersant place des charges négatives à la surface des particules de ciment en solution. Celui-ci se repousse entre elles, assurant une meilleure fluidité.

-Les alourdissant :

Les matériaux de densité élevés sont ajoutés tant aux spacers qu'aux laitiers besoins de haute densité, dans le cas de pressions de formation élevées. Ces matériaux sont essentiellement la barrit et l'hématite.

-Les allégeant :

Il existe trois façons d'alléger les laitiers :

1. Par addition d'eau : des additifs argileux ou viscosifiant empêchant l'eau de s'échapper du laitier, parmi ces additifs, la bentonite est la plus employée.
2. Par addition de matériaux de faible densité : des résidus industriels, des matériaux naturels (gilonite, perlite) ou des billes creuses (microsphères) sont couramment utilisées.
3. Par addition du gaz : un additif moussant est introduit aux fluides de mixage pour transformer le laitier en mousse lors de l'injection du gaz.

PARTIE THEORIQUE

Les additifs spéciaux :

Ces additifs sont utilisés ou prévenir la migration des gaz ou colmater des fissures dans les formations, pour chaque problème particulier, il convient de se référer à la littérature correspondante.

III- L'opération de cimentation :

Les cimentations consistent la mise en place d'un laitier de ciment approprié à une cote donnée de puits ou dans l'espace annulaire entre le tour foré et le couvage en place.

❖ **Il Existe des différents types de cimentation répondant chacun à un problème particulier :**

1. Les cimentations de couvages ou casing dont les buts sont multiples :

- Isoler une couche productrice des couches adjacentes.
- Assurer mécaniquement les tubages dans la formation.
- Protéger ce tubage contre la corrosion due aux fluides contenus dans les couche
- Traversées.
- Fournir une base étanche aux équipements de contrôle et de sécurité installée en tête de puits.

2. Les cimentations en pression appelées squeeze ou esquichages, en trous tubés perforés ont pour but :

- D'injecter du ciment complémentaire, à travers les orifices des perforations pratiques dans les tubages, pour consolider ou réparer la cimentation primaire de ces tubages.
- D'obturer une couche productrice épuisée.
- D'isoler une couche des zones adjacentes dans le but de limiter la proportion d'eau ou de gaz accompagnant la production d'huile.

3. Pose de bouchons de ciment en trou ouvert, en cours de forage. Ces bouchons ont pour but :

- De colmater des venues d'eau.
- D'obturer des zones à pertes de boue de forage.
- De servir de point d'appui à une déviation du forage (side track).
- De respecter des séquences d'abandon de puits. [6]

PARTIE THEORIQUE

❖ Principe de la méthode de cimentation

Il s'agit de forcer un laitier de ciment dans l'espace annulaire existant entre l'extérieur du tubage en place et la paroi du trou, en l'injectant directement à l'intérieur du tubage à cimenter ou à travers les tiges de forage, de façon de le faire ensuite remonter dans cet annulaire jusqu'à une hauteur prédéterminée.

Ce laitier est généralement mixé en surface de façon continue au moyen de deux indicateurs d'eau sous pression qui mouillent et entraînent le ciment pulvérulent jusqu'à un petit bac tampon ou ce laitier, dont la densité est contrôlée en permanence. Il est ensuite repris par des pompes à pistons haute pression pour être injecté dans le puits.

IV -Thixotropie :

IV - 1- définition de la thixotropie :

La thixotropie a été étudiée par SZEGVARI et SCHALEK dans le laboratoire de FRENDLICHMEN en 1923.

Certains gels ont la faculté de se liquéfier de façon réversible sous l'influence de certaines actions mécaniques (agitation, brassage, vibration), c'est - à - dire se transforment en sols et reprennent la forme du gel au repos. Ces transformations peuvent se répéter plusieurs fois.

Ce phénomène est appelé : « Thixotropie ».

IV -2 – les laitiers thixotropes:

Un laitier est dit thixotrope lorsqu'il se gélifie rapidement en l'absence d'agitation ou d'écoulement, ce gel étant toute fois détruit si l'agitation est reprise.

Les ciments thixotropes sont des laitiers de ciments ou des mélanges qui possèdent des propriétés rhéologiques particulières.

A l'état statique (absence d'agitation), ils forment rapidement un gel très élevé, Ce gel étant toutefois détruit une fois l'agitation sera reprise.

Les ciments thixotropes sont des laitiers de ciments ou de mélanges qui possédant des propriétés particulière, et sont utilisés pour le colmatage des fissures car ils développent une masse gélatineuse ou propos qui se manifeste comme une prise rapide, alors que la pression hydrostatique escroc par la colonne de ciment dans l'espace annulaire sera presque nulle au bout de cinq (05) minutes.

Donc, un laitier thixotrope sera fluide pendant le mis cage et le pompage, ces ciment restent malléables avant la prise, parce qu'ils devient fluides lorsqu'on les agite de nouveau.

PARTIE THEORIQUE

Une fois le déplacement du laitier est interrompu pendant un certain temps ; le gel se développera et le laitier devient très visqueux. A la reprise du pompage, le laitier se liquéfiera à nouveau et sa viscosité sera réduite.

Ce système (thixotropie) est très utile aux problèmes des pertes dans les terrains fissurés, ou le laitier thixotrope se gélifie en réduisant les pertes. Par contre un laitier non thixotrope s'infiltrerait à travers les fissures.

Donc, un laitier thixotrope sera fluide pendant le mixage et le pompage. Une fois le déplacement du laitier est interrompu pendant un certain temps ; le gel se développera et le laitier devient très visqueux la reprise du pompage, le laitier se liquéfiera à nouveau et sa viscosité sera réduite.

Ce système (thixotrope) est très utile aux problèmes de perte dans les terrains fissurés, ou le laitier thixotrope se gélifie en réduisant les pertes. Par contre un laitier non thixotrope s'infiltrerait à travers les fissures

IV -3- caractéristique des laitiers thixotropes:

- ❖ Sont expansifs, assurant une meilleure liaison tubage – formation.
- ❖ Possédant une résistance mécanique convenable.
- ❖ Leurs densités et légèrement plus basse que celles des laitiers classiques.
- ❖ Ils empêchent le cheminement des gaz.
- ❖ Pertes de charges faibles ; malgré une grande viscosité, du fait de sa mise en place à débit réduit.
- ❖ Temps de pompabilité pour des pressions et températures faibles et filtrat sont comparables à celles enregistrées sur laitiers classiques.
- ❖ Ils nécessitent l'utilisation d'un retardateur spécial non dispersant, pour éviter la cassure du gel former.
- ❖ Bon filtrat.
- ❖ N'exercent par de pression hydrostatique, du fait de son gel élevé.

PARTIE THEORIQUE

V - La plâtre :

V-1- Définition:

Le plâtre est un liant aérien obtenu par cuisson à température modérée, du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Il comprend surtout, sous forme commune, un semi hydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ qui, réduit en poudre, puis gâché avec de l'eau fait prise pour reconstituer l'hydrate à deux molécules d'eau.

Le plâtre est beaucoup moins résistant mécaniquement que le ciment, très sensible à l'action de l'humidité.

V - 2 - Fabrication du plâtre:

Soumis à la chaleur, le gypse perd tous ou une partie de son eau de cristallisation, selon les conditions dans lesquelles s'opère cette décomposition thermique, on obtient toute une série de produits.

On obtient le plâtre selon la réaction:



La cuisson du gypse peut être dans des fours rotatifs, des fours verticaux, ou dans des fours à marmite.

V-3 -Prise et durcissement du plâtre:

Il existe plusieurs théories qui tendent d'expliquer ces phénomènes, la plus connue est celle de lechatelier. Partant de l'idée que la prise de tout les liants hydrauliques se fait d'une façon analogique, lechatelier fut amener à distinguer trois processus successifs dent la prise du pâtre.

- ❖ Un phénomène chimique d'hydratation, le gypse se reforme identique à celui qui constituait la pierre du plâtre.
- ❖ Un phénomène physique de cristallisation, c'est la prise au cours de laquelle les cristaux de gypse se forment en ai quilles parfaitement enchevêtrées.
- ❖ Un phénomène mécanique de durcissement; la durée définitive dépend de la cohésion interne des cristaux et de leur adhérence mutuelle.

PARTIE THEORIQUE

Cette théorie dite cristallisation, repose sur la différence de solubilité entre les constituants du plâtre et le gypse.

Un plâtre se semi hydrate (solubilité à 20 °C = 9,08 g/l) se dissous jusqu'à saturation dans l'eau de gâchage. Cette solution saturée par rapport au semi hydrate est sursaturée par rapport au gypse moins soluble (solubilité = 2,03 g/l).

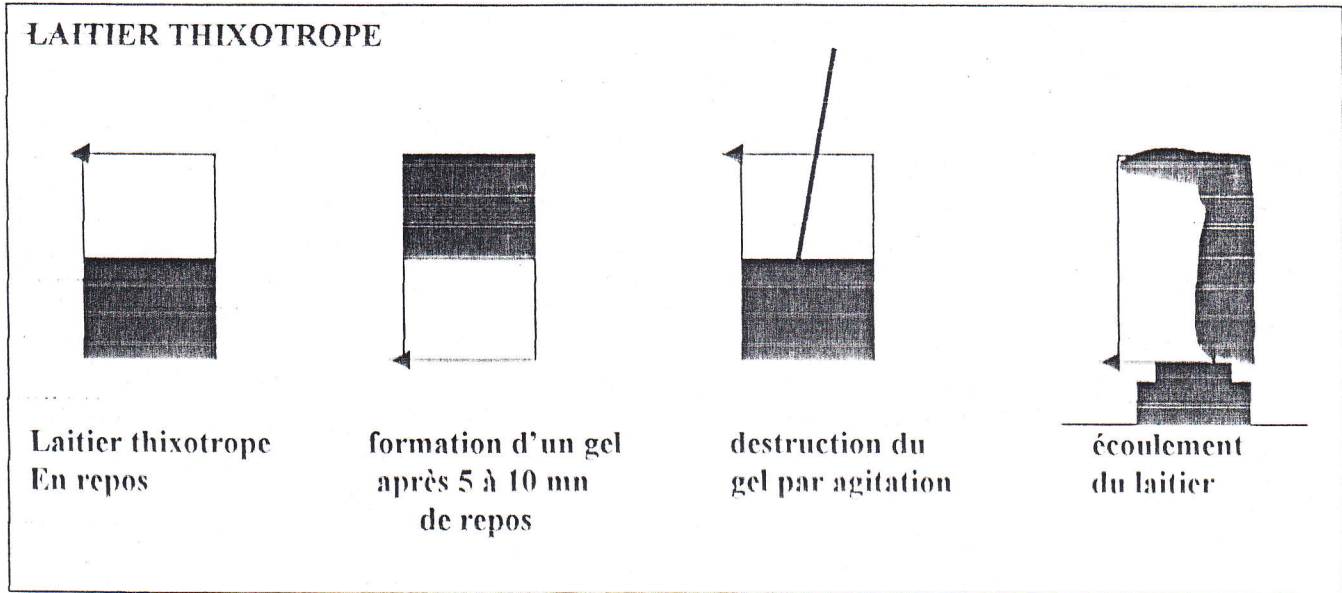
Ils apparaissent rapidement des sels hydratés de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. ces sels précipitent sous forme d'aiguilles, contribuant à un entrelacement et à la formation d'une masse dense. C'est le début de prise. On observe une élévation de la température, qui entraîne une augmentation de la vitesse de réaction.

Partie

Pratique

I- réalisation d'un ciment thixotrope par l'ajout du plâtre :

On dit qu'on a réalisé un ciment thixotrope s'il suit le comportement suivant :



Les sulfates jouent un rôle important non seulement en fabrication des liants, mais encore et surtout lors de leur utilisation dans les mécanismes rhéologiques et d'hydratation aussi que pour la durabilité.

Lorsqu'on hydrate un ciment, à la présence des sulfates ; l'hydrolyse de toutes les phases démarrent simultanément la phase qui nous intéresse, c'est celle de formation de l'ettringite.

Avant que la concentration de la phase liquide de CO_3^{2-} , les aluminates produisent les hydrates : C_2AH_8 et C_4AH_{19} .

L'hydrolyse de l'alite (C_3S) entraîne une sursaturation de la phase liquide vis-à-vis de $Ca(OH)_2$.

Le plâtre se dissout et sature l'aqueuse. Les concentrations élevées en $Ca(OH)_2$ et $CaSO_4$ transforment rapidement les aluminates hydratés en ettringite trisulfaté (sel de CANDLOT).

C'est la présence du sel de CANDLOT qui confère au laitier de ciment la propriété rhéologique particulière dite thixotropie.

Cette dernière est liée à une teneur optimale en sulfate, en effet, les sulfates en quantité trop grande prolongent trop longtemps l'hydratation des aluminates ; l'ion SO_4 sera encore disponible pour former le tri-sulfaté longtemps après la prise, provoquant une expansion continue de la pâte et empêchant le développement de la résistance.

II- Formulation d'un laitier thixotrope avec l'ajout de plâtre:

A fin de déterminer la formulation adéquate en cherchant le pourcentage présentant une thixotropie optimale, nous avons jugé utile de procéder des différents mélanges de ciment classe G avec des différentes proportions de plâtre allant de 10% à 25% .

L'ajout a cela l'exigence de la formation qui impose à utiliser les densités 1.55 , 1.75 et 1.85.

Les échantillants sont pris par rapport a 1Kg de ciment.

On prend le pourcent ages des additifs comme l'exemple ci-dessous :

Produit	Mass (g)	Volume ml	Densité
Ciment	1000	317.46	3.15
Additif (plâtre)	180	67.92	2.65
P- DAL	1	1	1
Eau	X	x	1

$$\Sigma Mi = 1181 + x , \Sigma Vi = 386.38 + x$$

$$\text{Densité} = \frac{\sum mi}{\sum Vi} = \frac{1181 + x}{386.38 + x}$$

Et on ajoute une quantité d'eau x selon la densité qu'on désire travailler avec .

EQUIPEMENTS DU LABORATOIRE DE CIMENTATION

1. CONSISTOMETRE PRESSURISE.

Les équipements utilisés pour la mesure du temps de pompabilité des laitiers de ciment dans les laboratoires de cimentation sont appelés : Consistomètres.

Il en existe trois :

- CONSISTOMETRE STANDARD OIL CALIFORNIA
- CONSISTOMETRE HALLIBURTON

Ils opèrent à des pressions et à des températures relativement basses. Les résultats obtenus ne reflètent pas le comportement du laitier de ciment du fond d'un puits profond. Ces deux appareils ne sont plus utilisés maintenant.

Le troisième type de consistomètre est normalisé par l'API

- CONSISTOMETRE PAN AMERICAN

Conçu de telle sorte que le laitier peut être soumis à des variations conjointes de température et de pression afin de simuler les conditions du puits. Le laitier de ciment préparé, selon les normes API, est placé dans un cylindre jusqu'à la marque intérieure, où il sera maintenu à 150 tr/min jusqu'à temps de prise. Au centre du cylindre se trouve un axe porteur de palette. Celui-ci est soumis à un couple d'entraînement d'autant plus important que la viscosité du laitier augmente. Un rhéostat couplé sur l'axe permet de donner une lecture et un enregistrement de la consistance.

2. FILTRE PRESSE (HP/HT)

Les composants majeurs de l'appareil filtre presse sont :

Une chemise chauffante qui peut être réglé à une température du test, maintenue constante jusqu'à la fin du test, un cylindre d'acier inoxydable de dimension standardisée selon l'API, où deux tamis de 250 mesh sont placés à chaque extrémité du cylindre. Le cylindre contenant le laitier doit être fermé à chacune de ses extrémités par un couvercle où deux vannes (ergot) sont vissés. La vanne supérieure laisse passer l'azote à l'intérieur du cylindre et la vanne inférieure permet l'écoulement du liquide à mesurer (voir schéma).

Procédures

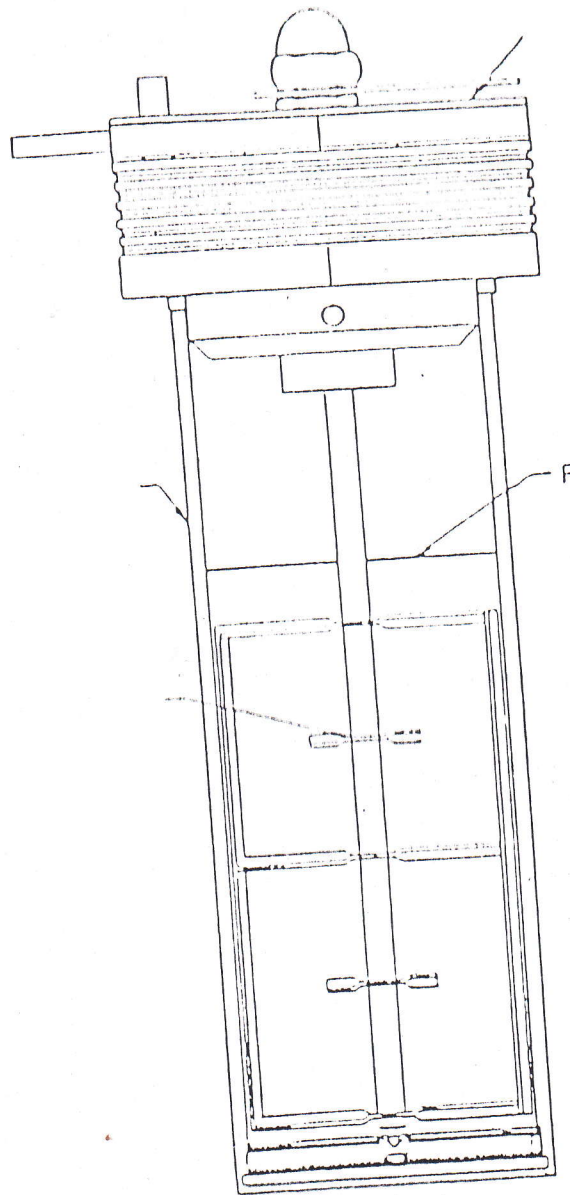
Le laitier de ciment préparé, selon les normes API, doit être versé rapidement dans l'un des cylindres du consistomètre atmosphérique pour le conditionner. Après 20 min d'agitation on doit immédiatement verser le laitier dans le filtre presse préalablement chauffé à la température du test.

Le temps entre la fin de l'agitation du laitier et sa mise sous pression ne doit pas excéder deux minutes.

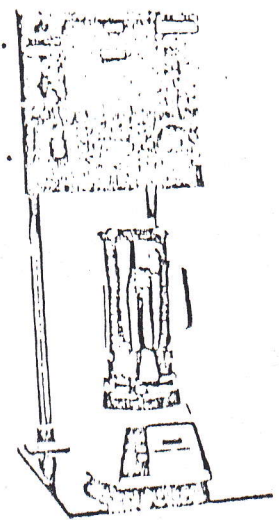
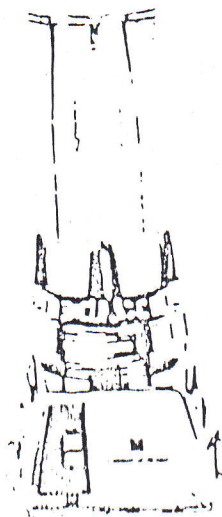
La pression appliquée à la partie supérieure du cylindre est de 1000 psi.

Une fois la pression est appliquée, on doit immédiatement ouvrir la vanne supérieure d'1/4 de tour, puis la vanne inférieure d'un (01) tour complet, en même temps actionner le chronomètre.

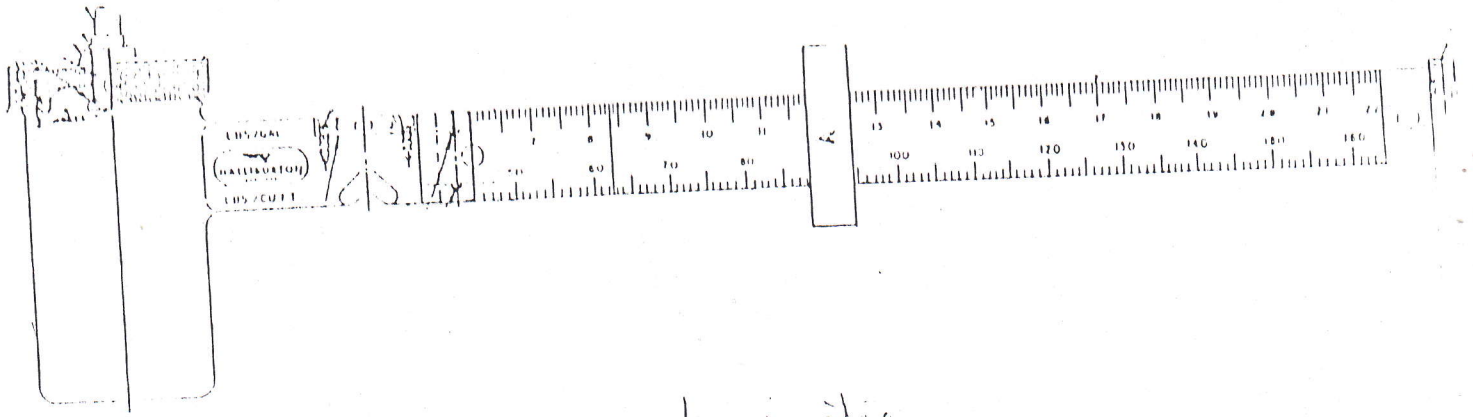
A la fin du test, on referme la vanne supérieure et on fera la lecture du filtrat directement d'une éprouvette graduée.



- viscosimètre -

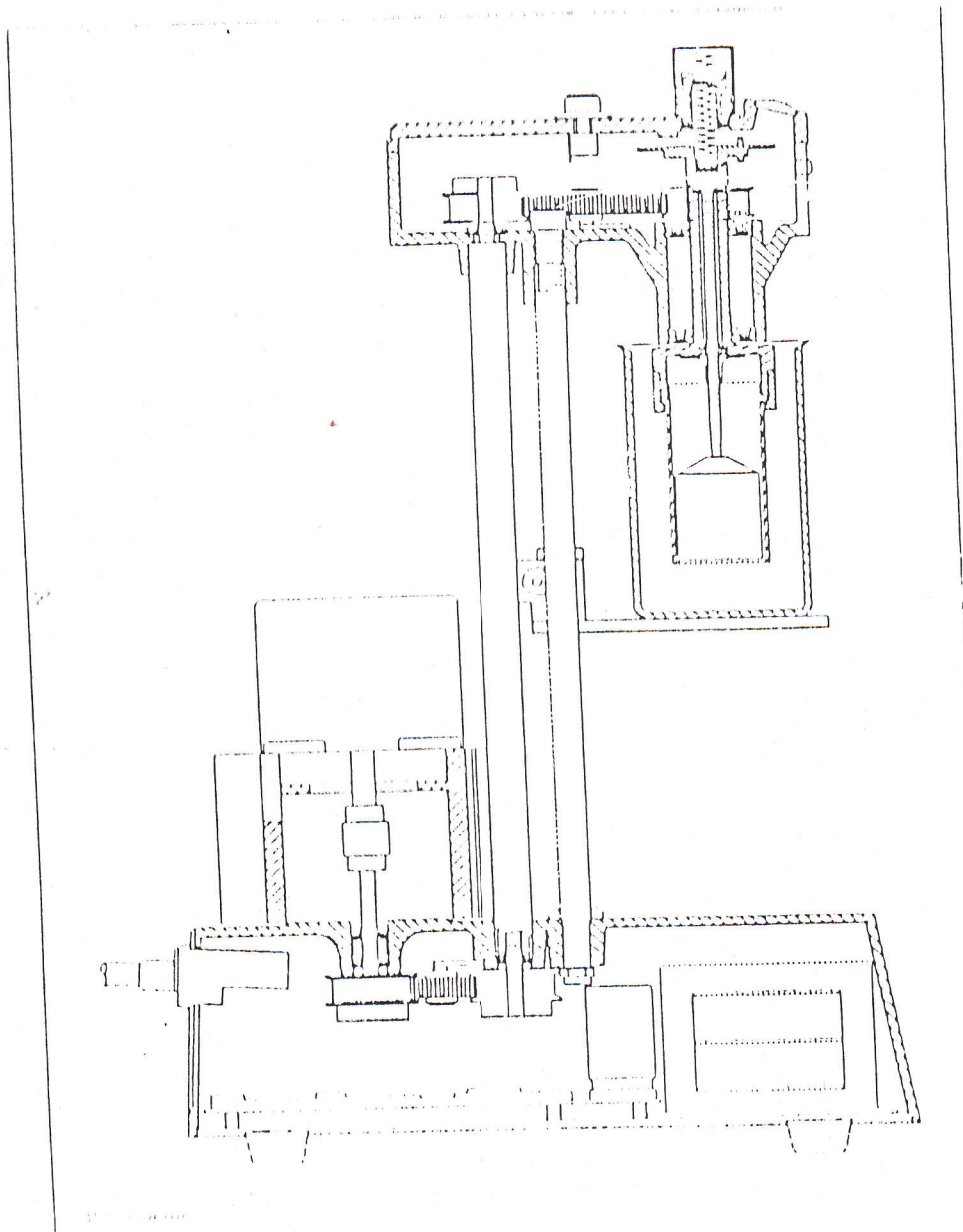


- viscosimètre -



- densimetric -

11



- densimetric

PARTIE PRATIQUE

5. CURING CHAMBER

C'est un équipement comportant une chambre hermétique qui peut être conditionnée à des températures extrêmement élevées, sous une pression de 3000 PSI.

Le curing chamber est doté d'un contrôleur automatique qui fait progresser la température, de la température ambiante jusqu'à la température de test (température statique de fond).

Cet appareil permet de déterminer la résistance à la compression que développe le laitier de ciment après cuisson de deux cubes, dans un moule bien scellé immergé dans la chambre pleine d'eau.

Après la cuisson de spécimen de cubes au temps et température désirés, les cubes sont crachés à l'aide d'une presse hydraulique qui indiquera la force d'éclatement du cube.

6. RHEOMETRE

Le viscosimètre Fann modèle 35 sert à mesurer les propriétés rhéologiques des laitiers de ciment. Cet instrument est composé d'un moteur, d'une transmission pour actionner de différentes vitesses de rotation, 600, 300, 200, 100, 6, 3, tr/mn.

Principe de fonctionnement

Le rhéomètre est composé de deux parties essentielles. D'un manchon extérieur et d'un bob intérieur fixe. Au cours du test, la rotation du manchon extérieur provoque une torsion du bob qui provoque à son tour une déflexion du ressort situé à la partie supérieure de l'axe, en indiquant ainsi les lectures Fann à chaque vitesse de rotation (voir fig-)

7. DENSIMETRE

Pour mesurer la densité des laitiers de ciment, d'habitude on utilise soit une balance standard BAROID, ce dernier présente une erreur relative à cause de présence des bulles d'air, soit une balance pressurisée qui mesure la densité du laitier sous une pression de 30 Psi pour chasser les bulles d'air.

8. MIXER

La préparation des laitiers de ciment et le mélange des mixtures solides / liquides se fait à l'aide d'un mixeur composé de :

- Bol de mixage, muni d'une hélice fabriquée avec un métal anti-corrosif.
- Mixeur, c'est un socle muni d'une tige rotative.
- Armature de commande, pour le nombre de tours par minutes et d'un minuteur automatique pour compter le temps de développement du ciment.

PARTIE PRATIQUE

Si la période du test est égale à 30 minutes

Volume du filtrat = $Q * 2$ où Q : volume du filtrat en 30 min

Si le laitier se déshydrate avant 30 min, enregistrer le volume finale et le temps de déshydratation

$$Q_{30} = Q_t * \frac{5.477}{\sqrt{t}} * 2$$

où Q_{30} : volume du filtrat en 30 min

Q_t : quantité du filtrat en temps t

t : temps en minute à la fin du test

3. CONSISTOMETRE ATMOSPHERIQUE

Le consistomètre atmosphérique est utilisé pour conditionner les laitiers de ciment, avant les tests suivants :

EAU LIBRE
FILTRATION
RHEOLOGIE

Le consistomètre atmosphérique est composé :

- D'un moteur, dont la vitesse de rotation varie de 0 rpm Jusqu'à 2500 rpm
- De deux cylindres jaugés, chaque cylindre dispose d'une palette et d'un potentiomètre
- D'un bain d'huile, d'une capacité de 15 litres.
- D'un contrôleur de température.

Procédure

Le laitier après mixage doit être versé immédiatement dans le cylindre, préalablement nettoyé de tout résidu, en suite insérer la palette, elle-même liée au potentiomètre, à l'intérieure du cylindre. Le tout doit être placé dans le bain d'huile chauffé à la température du test. A la fin actionner le moteur.

L'intervalle entre la fin du mixage et la mise en marche de l'appareil ne doit pas excéder une (01) minute.

La durée de l'agitation du laitier dans le consistomètre atmosphérique est de 20 minutes.

4. BAIN-MARIE

Le bain-marie est utilisé pour la cuisson des laitiers de ciment, dans le but de déterminer la résistance à la compression.

Il est composé essentiellement d'un bac contenant de l'eau et d'un rhéostat pour chauffer l'eau à la température du test.

On utilise le bain-marie pour des tests dont leur température statique (BHST) est égale ou inférieure à 82 °C, et le curing chamber pour des tests dont leur BHST est supérieure à 82 °C.

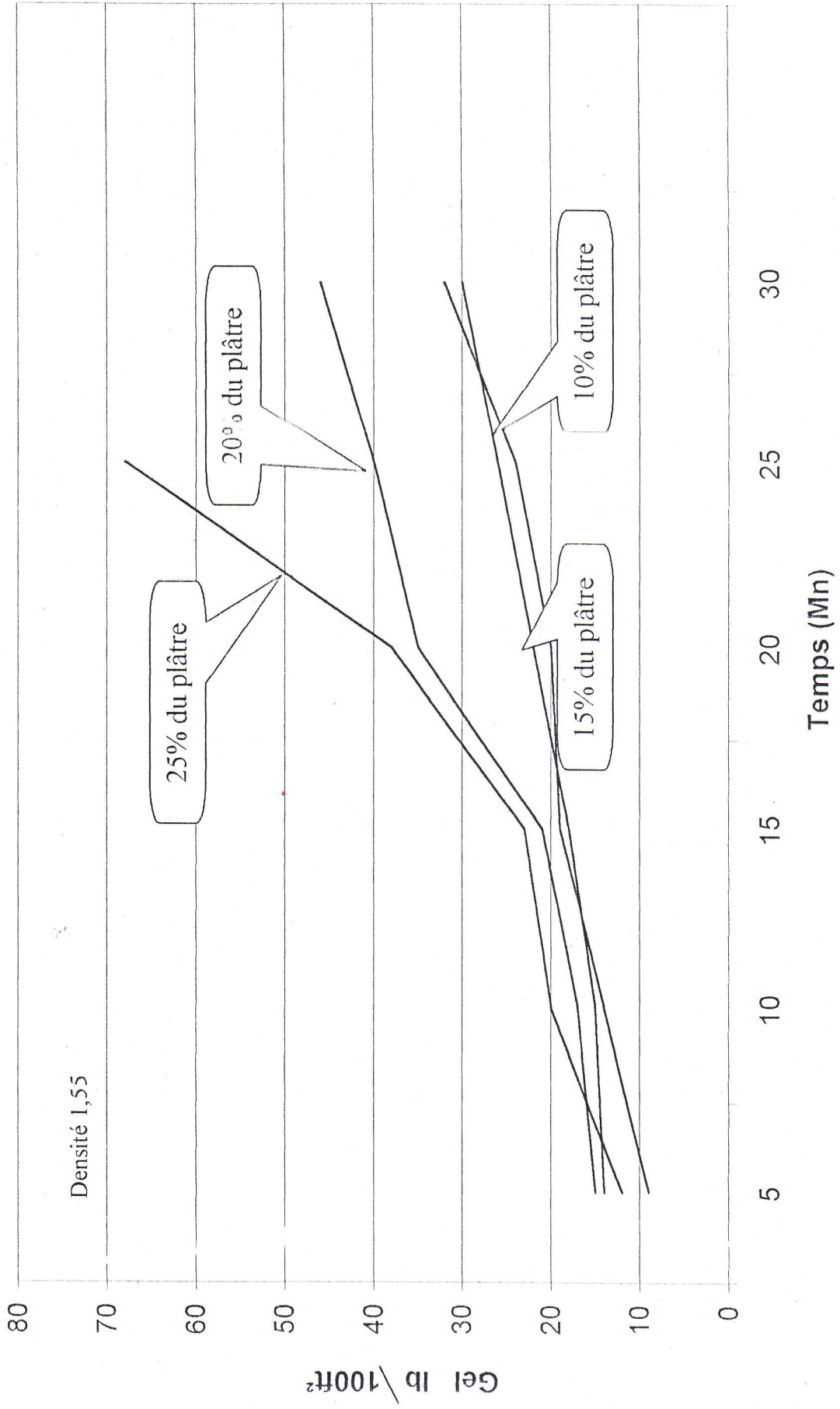
IV-Les résultats obtenus et l'interprétation:

A titre indicatif et avec la collaboration des techniciens de l'ENSP – DOS par leur expérience, je tiens à vous présenter uniquement les résultats que nous avons jugé utiles et significatifs.

Densité : 1,55

Formulation	temps (mn)	3 rpm	600 rpm
Ciment Classe G à 10% du plâtre	5	9	94
	10	14	91
	15	19	85
	20	20	82
	25	24	80
	30	32	74
Ciment Classe G à 15% du plâtre	5	14	64
	10	15	58
	15	18	36
	20	22	40
	25	26	43
	30	30	48
Ciment Classe G à 20% du plâtre	5	15	60
	10	17	65
	15	21	70
	20	35	81
	25	40	89
	30	46	
Ciment Classe G à 25% du plâtre	5	12	75
	10	20	75
	15	23	76
	20	38	79
	25	68	84
	30		

evolution du gel en fonction du temps



Densité 1.55 :

D'après le graphe qui montre le développement du gel en fonction de temps traduit par la variation de la viscosité en fonction de temps , on observe que le pourcentage de plâtre utilisé développent un gel .

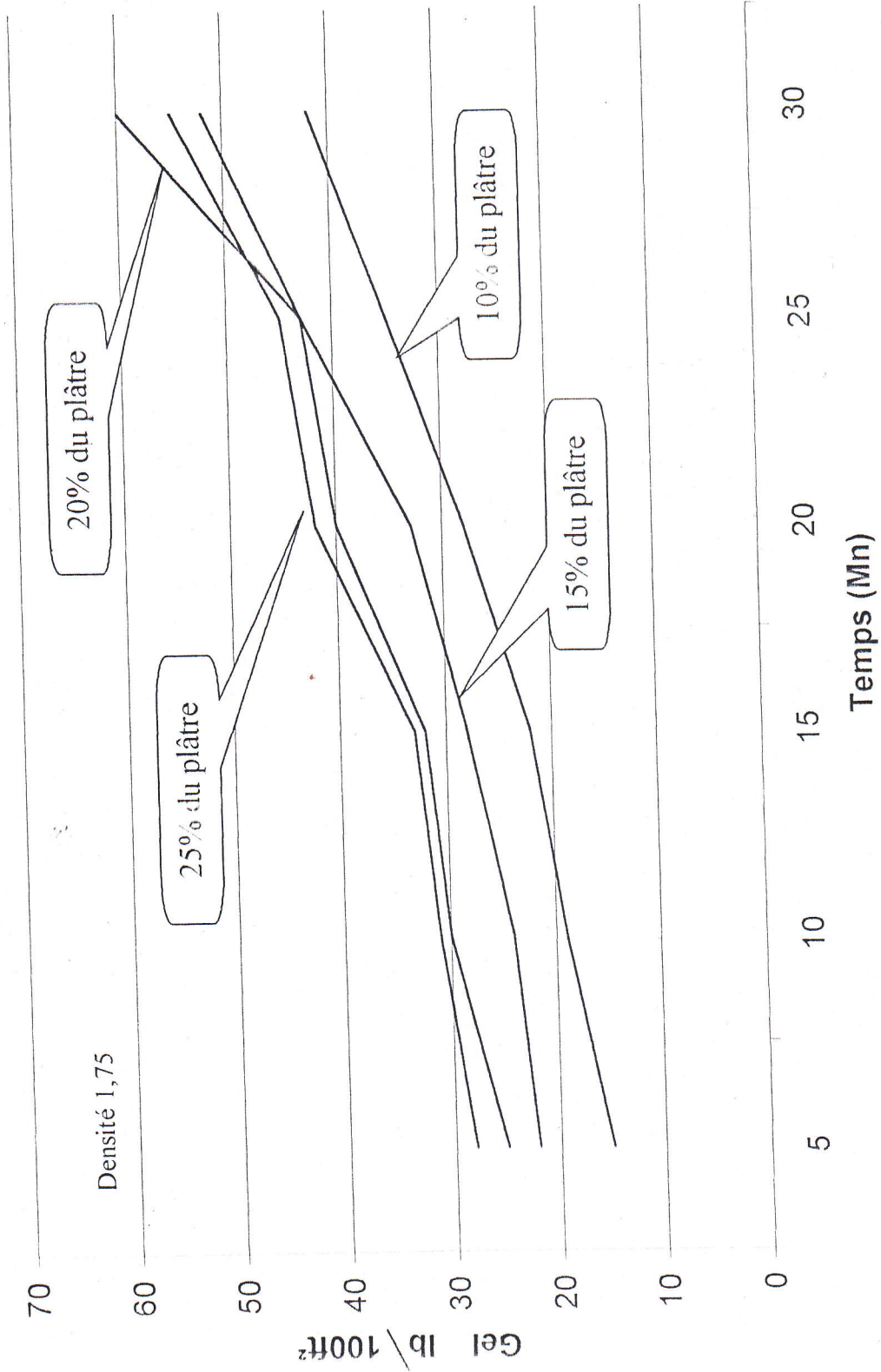
Les résultats obtenue laissent à opter pour un laitier a 25% de plâtre du fait que ce laitier présente des caractéristiques de thixotropie très développées en fonction du temps d'ou la possibilité de le moduler en fonction des exigences de la formation d'un part, et l'opération d'autre part .

(Voir le programme de cimentation 9 TFT à 500 m -Annexe-) .

Densité : 1,75

Formulation	temps (mn)	3 rpm	600 rpm
Ciment Classe G à 10% du plâtre	5	15	175
	10	19	167
	15	22	174
	20	28	184
	25	35	167
	30	42	191
Ciment Classe G à 15% du plâtre	5	22	183
	10	24	175
	15	28	184
	20	33	190
	25	43	173
	30	52	198
Ciment Classe G à 20% du plâtre	5	25	195
	10	30	183
	15	32	198
	20	40	192
	25	43	186
	30	60	207
Ciment Classe G à 25% du plâtre	5	28	220
	10	31	209
	15	33	216
	20	42	218
	25	45	223
	30	55	230

Evolution du gel en fonction du temps



Densité 1.75 :

La conclusion qu'on peut tirer de ce graphe se présente comme suit :

- 1- L'ajout du plâtre développe un gel .
- 2- Les laitiers de 20% et 25% plâtre ont presque la même allure pendant 25 min mais après ce temps le développement du gel de 20% plâtre est le plus rapide

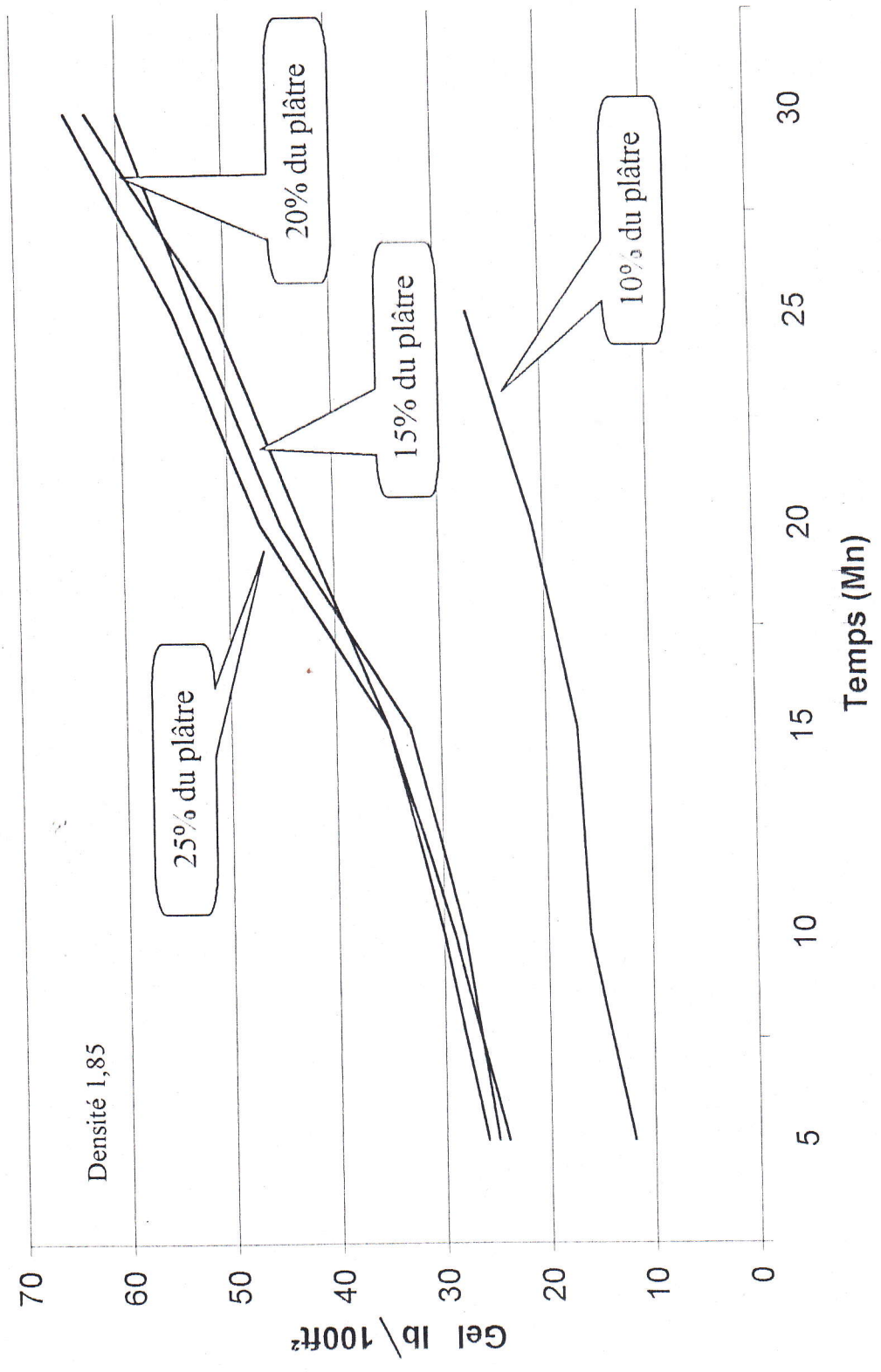
Ce qui nous a permis de le choisir. Il présente des caractéristiques très adéquates selon le type de formation et les conditions exigées par la formation

(Voir programme de cimentation 9 TFT à 500 m -Annexe-).

Densité : 1,85

Formulation	temps (mn)	3 rpm	600 rpm
Ciment Classe G à 10% du plâtre	5	12	159
	10	16	115
	15	17	120
	20	21	114
	25	27	142
	30		
Ciment Classe G à 15% du plâtre	5	24	135
	10	29	172
	15	35	210
	20	43	276
	25	51	
	30	63	
Ciment Classe G à 20% du plâtre	5	25	130
	10	28	170
	15	33	185
	20	45	215
	25	53	219
	30	60	
Ciment Classe G à 25% du plâtre	5	26	140
	10	30	148
	15	35	193
	20	47	239
	25	55	
	30	65	

Evolution du gel en fonction du temps



Densité 1.85 :

D'après les résultats élustrés dans le graphe nous constatons :

- 1-les laitiers des différents pourcentages forment un gel .
- 3- Les courbes des laitiers 15% 20% 25% plâtre ont presque la même allure se qui traduit une rhéologie similaire mais on a choisi le laitier de 15% plâtre parce qu'il absorbe une quantité d'eau plus que les autres ça veut dire qu'il aura un temps de prise adéquat selon le type de formation .

La formulation de ciment classe G à 15% de plâtre comme adjuvant confère au laitier.

les particularité nécessaires pour aux éventuels problèmes qui peuvent surgir durant la réalisation de la phase technique (Voir programme de cimentation HR 13 à 600 m – Annexe-).

Conclusion

L'utilisation du plâtre de moulage de Ghardaïa semble techniquement répondre aux différents problèmes de perte rencontrés durant la réalisation de forage .

Reste son application sur chantier avec les différentes suggestions selon les spécificités qui peuvent surgir durant l'opération .

L'ajout du plâtre de moulage de Ghardaïa avec différents pourcentages et dans plusieurs gammes de densité a montré qu'on peut réduire la rhéologie du laitier de ciment afin d'améliorer son comportement thixotropique .

Vu les avantages que présente ce produit il serait souhaitable de le moduler davantage afin qu'il soit plus approprié.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] *Salem Souria, Thèse de doctorat, Oran "utilisation des scories des hautes fourneaux pour amélioration de ciment pétrolier à Aslande, classe "G" et des ciment benthoniques "*.
- [2] *7^{ème} congrès international de la chimie des ciments volumes : I, II et III, paris 1980.*
- [3] *Traité de chimie industrielle tome 1. Edition Paul Baud 19.*
- [4] *Dowell Schlumberger cimentation, Quatrième Edition 1983.*
- [5] *Henri La Fuma, Liants hydrauliques, Edition Dunod 1964.*
- [6] *Ciment et cimentation, Edition Technip 1973-1974.*
- [7] *Cementing Technology, Edition Dowell Schlumberger.*
- [8] *Duightk Smith Haliburton Services, Cementing, deuxième édition 1990.*
- [9] *M.Martin, une introduction a l'ingénierie pétrolière 1988.*
- [10] *A.Cherikh "Rhéologie".*

ANNEXE

*Programme de cimentation
9^{5/8} TFT à 500M
pour le laitier de Densité 1.55
25% Plâtre*

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:36

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 412 TP 179 - 9" 5/8 CASING JOB

Well Parameters

```

Entered Surface Temperature . . . . . 26.0 C
Outlet Temperature . . . . . 30.0 C
Entered BHCT . . . . . 32.0 C
Back-Pressure . . . . . .14 bar
Turbulence Depth . . . . . 445.0 m
Frac Zone Depth. . . . . 505.0 M
Frac Zone Gradient . . . . . 1950.0 kg/cu m
Pore pressure . . . . . 1000.0 kg/cu m
Safe ECD. . . . . 1929.82 kg/cu m
Safety Factor . . . . . 1.00 bar
Additional Pressure to Seat Plug. . . 35.00 bar

```

Fluids Table

Stage Number	Fluid Description	Density (kg/cu m)	Rate (cu m/min)	Volume (cu m)	Foamed (Y/N)
1	BOUE	1100.0	1.200	37.69	N
2	P-CWL WASH	1000.0	.800	6.00	N
3	LATTIER	1550.0	.800	19.32	N
4	This is a 10.0 minute shutdown.				
5	BOUE DE CHASSE	1100.0	.800	8.00	N
6*	BOUE DE CHASSE	1100.0	.500	8.00	N
7	BOUE DE CHASSE	1100.0	.300	2.38	N
* TRACER FLUID					

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:29

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 412 TP 179 - 9" 5/8 CASING JOB

Rheology Data
=====

Fluid 1, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
-----	-----
30.0	16.0

Fluid 2, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
-----	-----
2.0	0.0

Fluid 3, Fann data, constant rheology.

RPM	Dial Reading
-----	-----
300.0	76.0
200.0	65.0
100.0	51.0

Fluid 4, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
-----	-----
30.0	16.0

Backpressure Schedule
=====

#	Backpressure (bar)	Return Volume at each Backpressure (m ³)
---	-----	-----
1	0.000	0.00

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:29

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 412 TP 179 - 9" 5/8 CASING JOB

Wellbore Geometry
=====

Pipe OD (mm)	Pipe ID (mm)	Length (m)	Measured Depth (m)	TVD or Angle at the bottom of the segment (m or °)	Casing Weight (kg/m)
244.50	220.50	505.0	505.0	0.	69.9

Annular ID (mm)	Annular Excess (%)	Length (m)	Measured Depth (m)
311.25	25.	505.0	505.0

Pumping Schedule
=====

Stage #	Name	Volume (m ³)	Rate (m ³ /min)	Density (kg/m ³)	Flags* (DTFS)
1	BOUE	0.00	1.19	1100.	
2	P-CWL WASH	6.00	0.80	1000.	
3	LAITIER	19.32	0.80	1550.	S
-	10.0 minute shutdown				
4	BOUE DE CHASSE	8.00	0.80	1100.	D
4	BOUE DE CHASSE	8.00	0.50	1100.	T
4	BOUE DE CHASSE	2.37	0.29	1100.	

(D)isplacement fluid
(T)racer fluid
(F)oamed fluid
(S)hutdown following this fluid

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:29

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 412 TP 179 - 9" 5/8 CASING JOB

Job Information
=====

Units of Measurement	SI(Metric)
SI Pressure Units.	bar
Precision.	1. Standard
Output Format.	Summary
Temperature Option	Enter BHCT
Surface Temperature.	26.0 °C
Bottom Hole Circulating Temperature. .	32.0 °C
Mud Outlet Temperature	30.0 °C
Additional Pressure to Seat Plug	35.000 bar

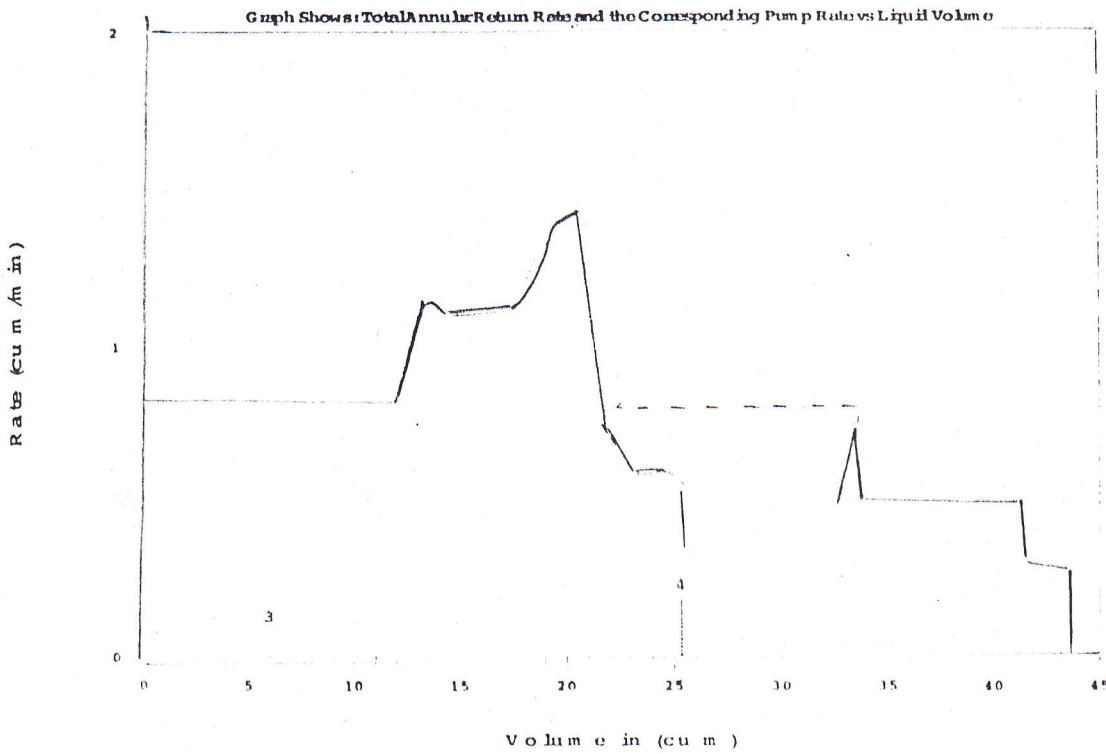
Wellsite Information
=====

Offshore Rig	No
Surface Iron	Yes
Length	20.0 m
Height from Pump to RKB.	11.0 m
Diameter	55. mm
Zone of Interest	
Measured Depth	505.0 m
Fracture Gradient.	1950. kg/m ³
Pore Pressure.	1000. kg/m ³
Measured Depth for Turbulence Calc.. .	445.0 m
Rate Redesign.	Yes
Safety Factor.	1.000 bar

Cement Job Simulator

Liquid pump rate in
Total flow into/out

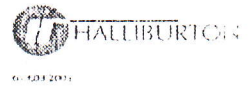
Comparison of Rates In & Out



Fluids Pumped

- 2 P-CHEM WASH
- 3 LATHEX
- 4 BOUE DE CHASSE

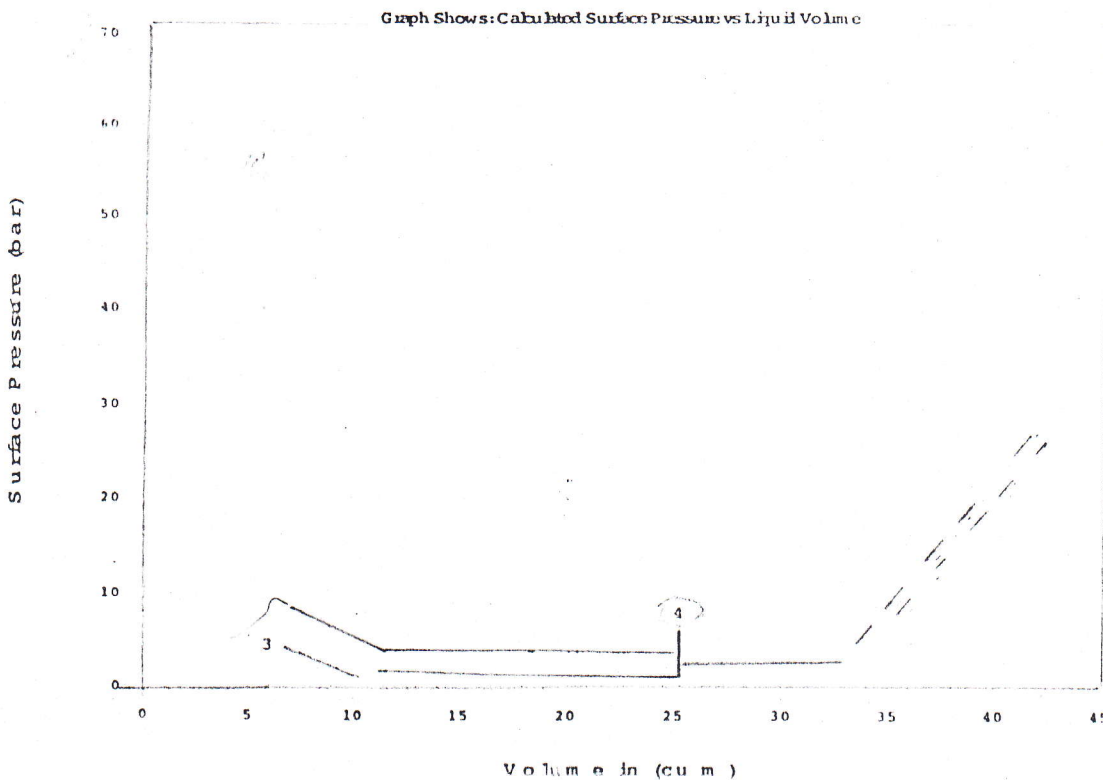
SONATRACH D/EDN FORAGET FT
WELL# FT 412 TP 179 - 9" 58 CASNG JOB



Cement Job Simulator

Wellbore Pressure
Pump Pressure

Calculated Surface Pressure *



Fluids Pumped

- 2 P-CHEM WASH
- 3 LATHEX
- 4 BOUE DE CHASSE

SONATRACH D/EDN FORAGET FT
WELL# FT 412 TP 179 - 9" 58 CASNG JOB

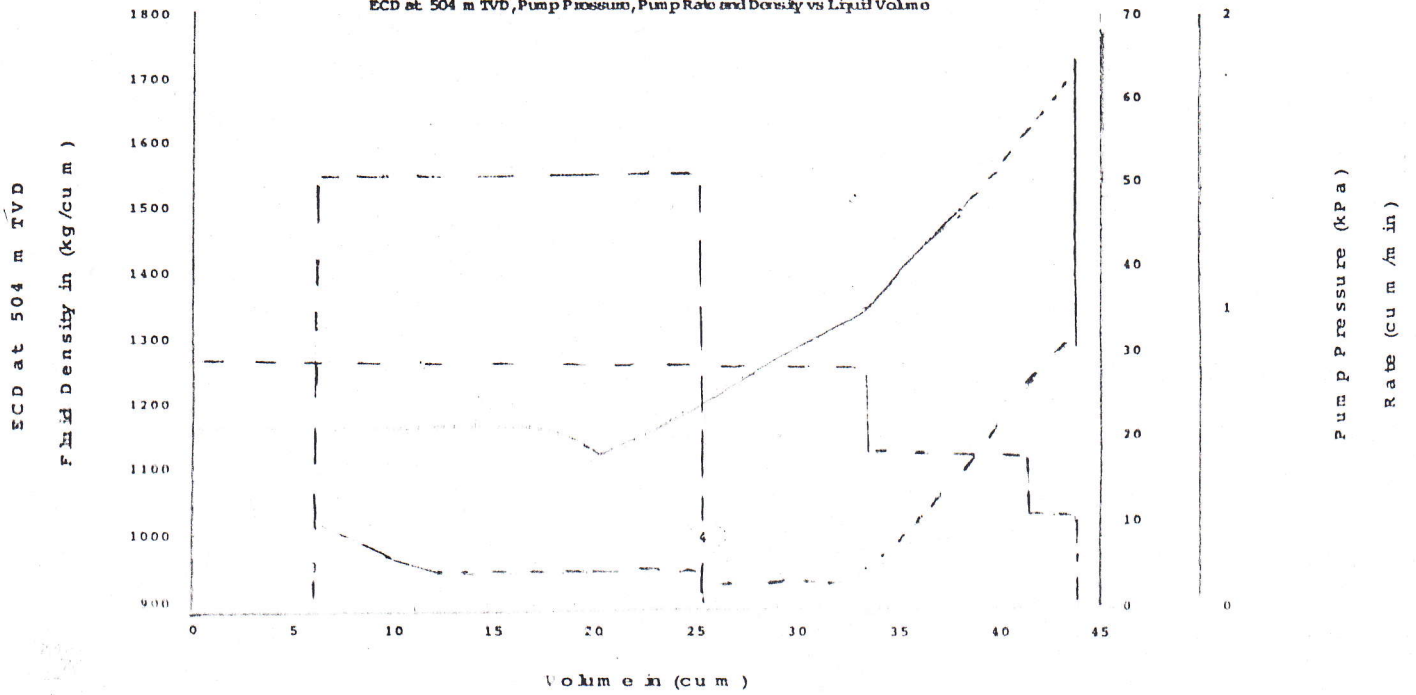


Cement Job Simulator

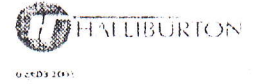
Summary Graph

Fluid Density
 Pump Pressure
 ECD
 Rate

ECD at 504 m TVD, Pump Pressure, Pump Rate and Density vs Liquid Volume



SONATRACH D/E/DN FORAGE T/F/T
 WELL# T/T 412 TP 179 - 9" 58 CASNG JOB

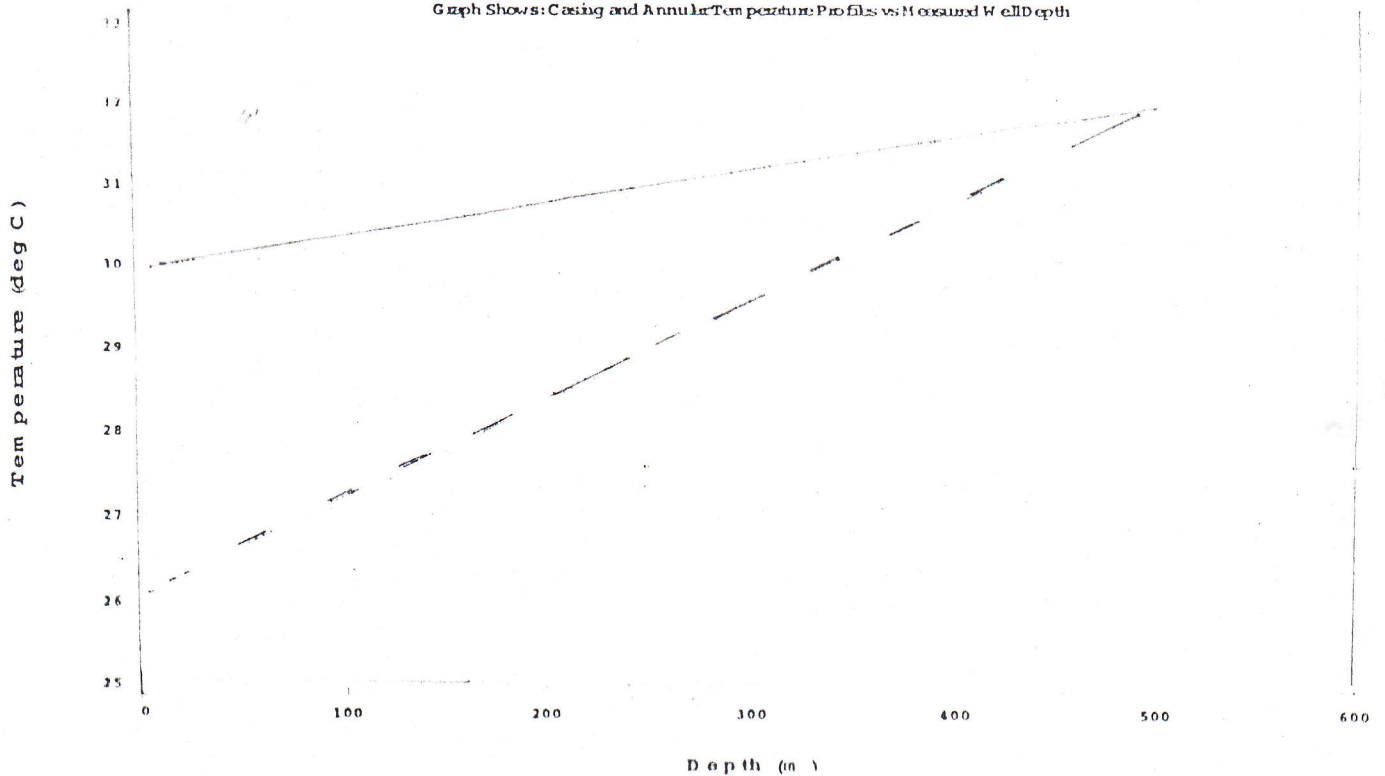


Cement Job Simulator

Wellbore Temperature Profile

Casing Temperature
 Annular Temperature

Graph Shows: Casing and Annular Temperature Profiles vs Measured Well Depth



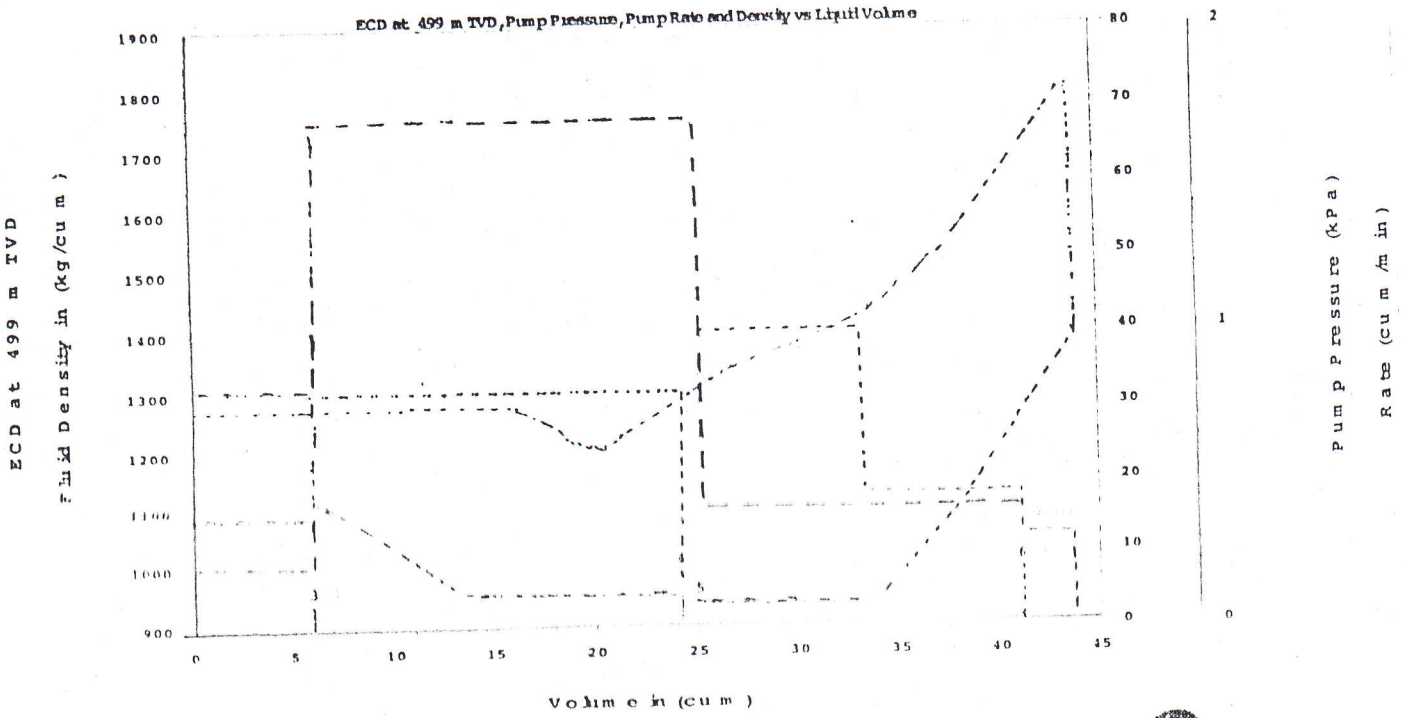
SONATRACH D/E/DN FORAGE T/F/T
 WELL# T/T 412 TP 179 - 9" 58 CASNG JOB



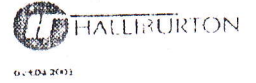
Cement Job Simulator

Summary Graph

Fluid Density
 Pump Pressure
 ECD
 Rate



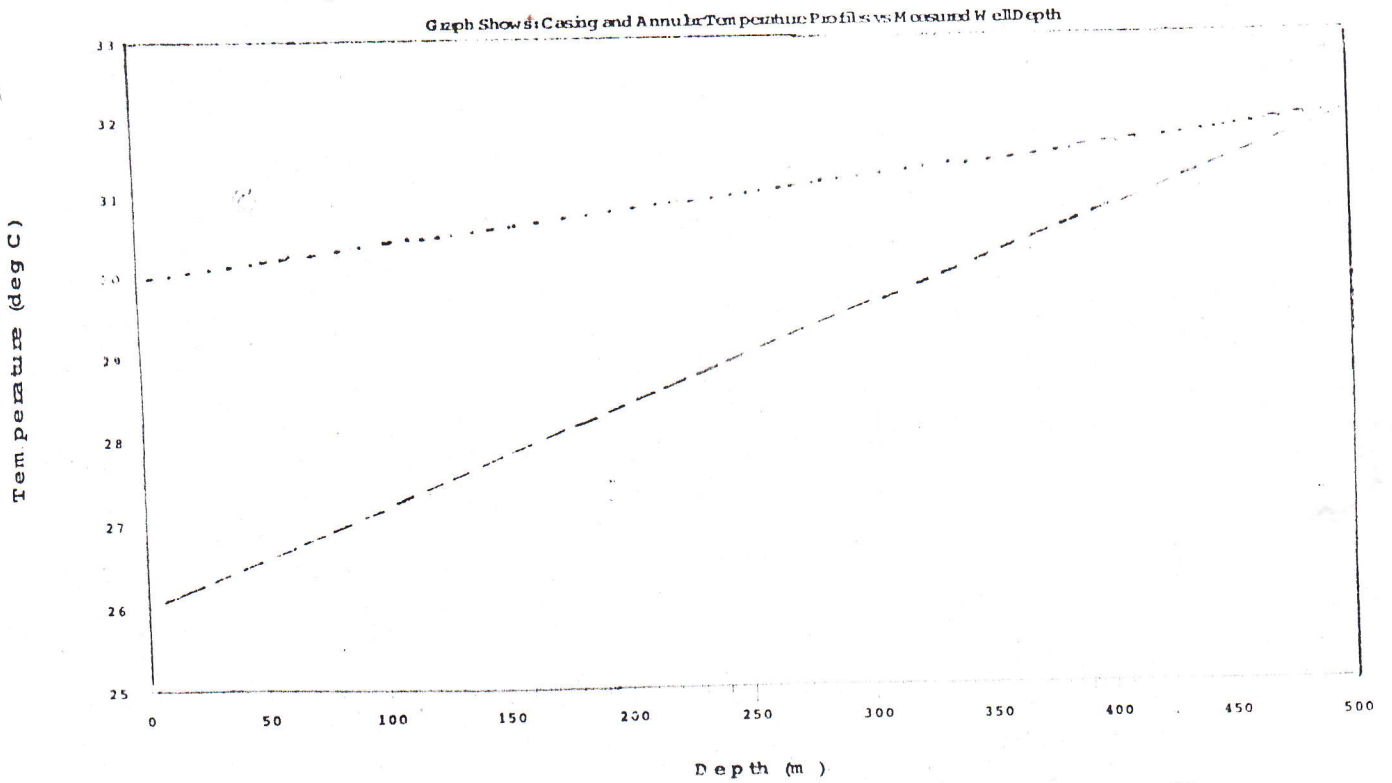
SONATRACH DVEDN FORAGET FT
 WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 58 CEMENT CASNG JOB



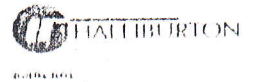
Cement Job Simulator

Wellbore Temperature Profile

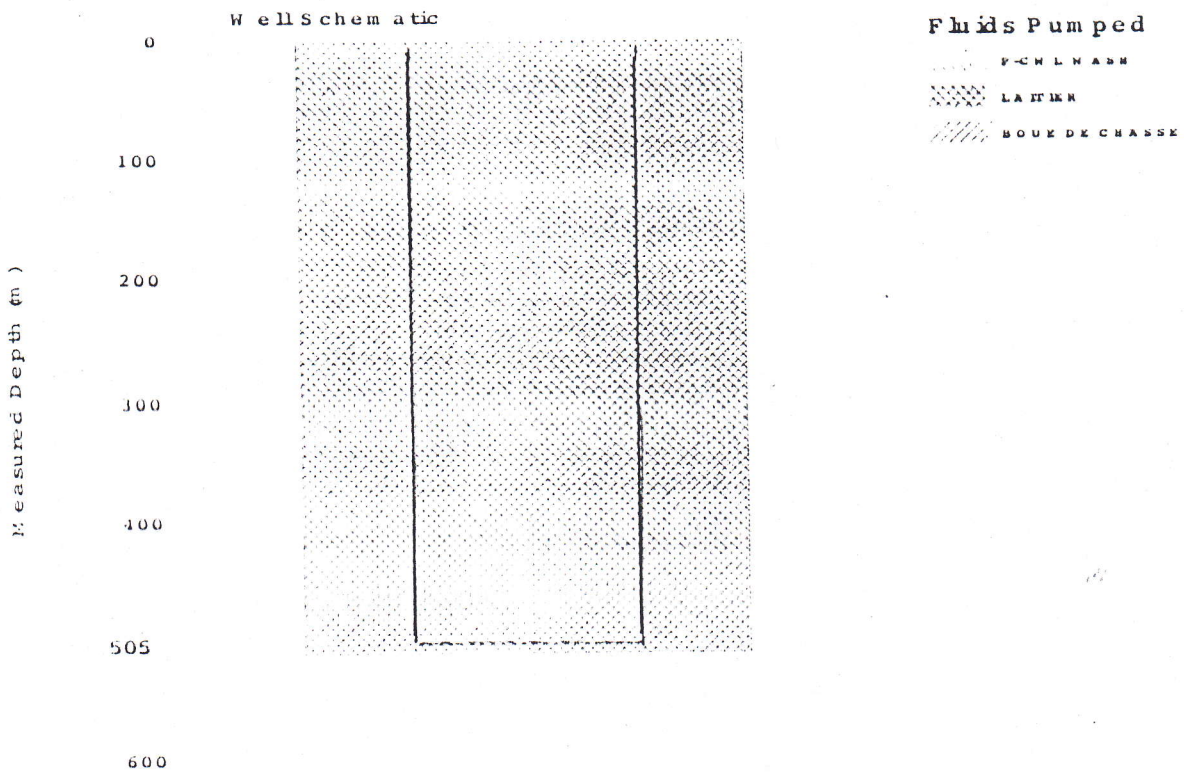
Casing Temperature
 Annular Temperature



SONATRACH DVEDN FORAGET FT
 WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 58 CEMENT CASNG JOB

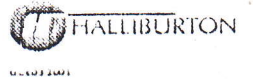


Cement Job Simulator



Graph Shows: Calculated Slurry Position as the Plug Lands

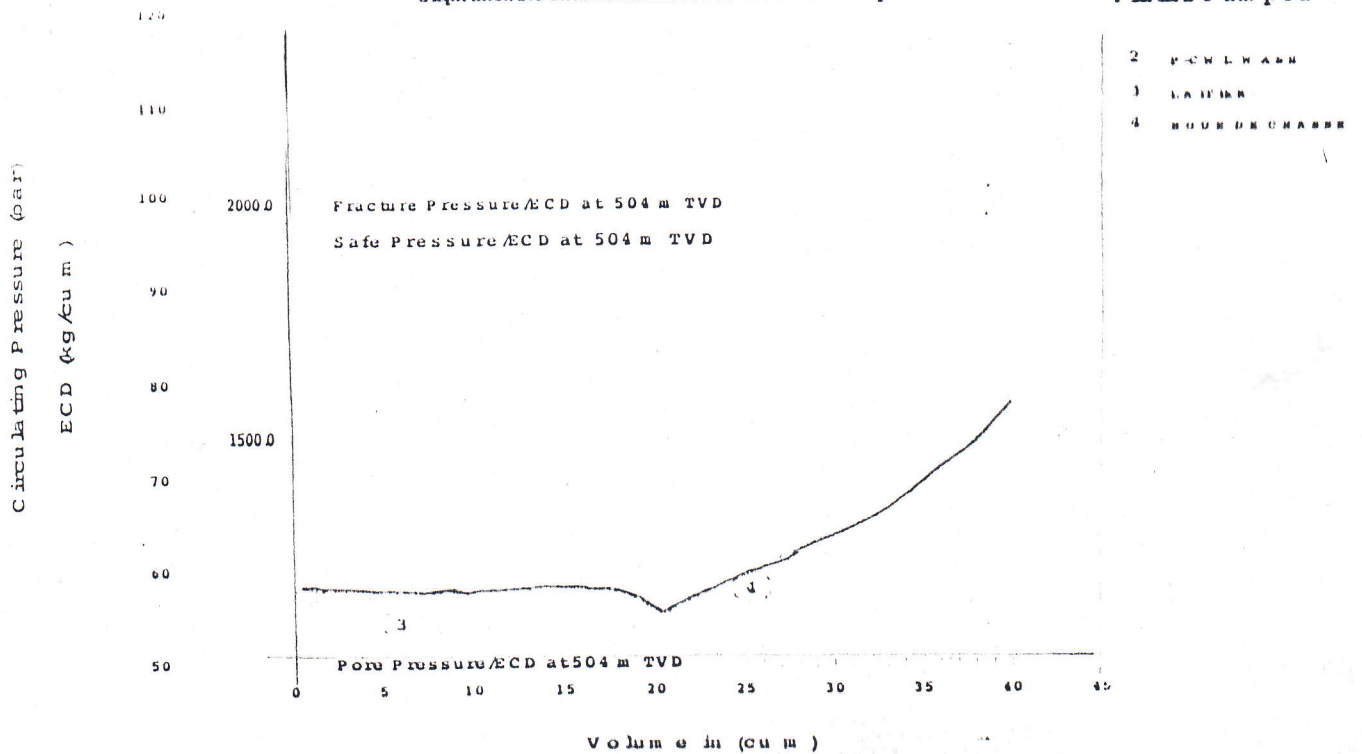
SOURATRACH DMEEDH FORAGETFT
WELLTFT-412 TP-179 - 9" 5/8 CASING JOB



Cement Job Simulator

Circulating Pressure and Density at 504 m TVD

Graph Shows: Downhole Annular Pressure and ECD vs Liquid Volume



SOURATRACH DMEEDH FORAGETFT



CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:36

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TPT 412 TP 179 - 9" 5/8 CASING JOB

Time of Events Table
=====

Job Time (min)	ECD (kg/cu m)	Fluid Being Pumped	Fluid Entering the Annulus
.2	1166.7	P-CWL WASH	
7.7	1167.1	LAITIER	
22.0	1166.3		P-CWL WASH
27.4	1140.3		LAITIER
41.8	1216.8	BOUE DE CHASSE	
52.0	1355.1	BOUE DE CHASSE	
68.2	1625.2	BOUE DE CHASSE	
75.6	1710.6		Prior to plug landing
76.6	1552.1		Plug landed

The above report is based on sound engineering practices, but because of variable well conditions and other information which must be relied upon, Halliburton makes no warranty, express or implied, as to the accuracy of the data or of any calculations or opinions expressed herein. You agree that Halliburton shall not be liable for any loss or damage whether due to negligence or otherwise arising out of or in connection with such data calculations or opinions.

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:36

SOMATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 412 TP 179 - 9" 5/8 CASING JOB

Turbulence Table

The following is based on the number 2 geometry at 32 degrees C

Fluid Description	Rate For Turbulence (cu m/min)	Velocity For Turbulence (m/sec)	Critical Reynold's Number
BOUE	4.90	2.24	7394
P-CWL WASH	.11	.05	2100
LAITIER	6.10	2.79	10437
BOUE DE CHASSE	4.90	2.24	7394

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:36

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 412 TP 179 - 9" 5/8 CASING JOB

Geometries Table

Geometry Number		Measured Depth		Angle of Deviation	
		Start	End	Start	End
1	Inner Casing - ID -- 220.50	0	505	.0	.0
2	325.82 X 244.50 ANN-INC 25% EX	505	0	.0	.0

RHEOLOGY TABLE

Output Parameters - Calculated PV (cp) and YP (lb/100 sq ft)						
Fluid Name	Surface 26.0 C		Midpoint 29.0 C		BHCT 32.0 C	
	BOUE	30.0	16.00	30.0	16.00	30.0
P-CWL WASH	2.0	.00	2.0	.00	2.0	.00
LAITIER	37.5	41.57	37.5	41.57	37.5	41.57
BOUE DE CHASSE	30.0	16.00	30.0	16.00	30.0	16.00

*Programme de cimentation
9^{5/8} TFT à 500M
pour le laitier de Densité 1.75
20% Plâtre*

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4-Oct-01 10:24

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Well Parameters
=====

Entered Surface Temperature	26.0 C
Outlet Temperature	30.0 C
Entered BHCT	32.0 C
Back-Pressure14 bar
Turbulence Depth	500.0 m
Frac Zone Depth.	500.0 M
Frac Zone Gradient	1950.0 kg/cu m
Pore pressure	1000.0 kg/cu m
Safe ECD.	1909.24 kg/cu m
Safety Factor	2.00 bar
Additional Pressure to Seat Plug. . .	35.00 bar

Fluids Table
=====

Stage Number	Fluid Description	Density (kg/cu m)	Rate (cu m/min)	Volume (cu m)	Foamed (Y/N)
1	BOUE	1080.0	1.200	37.61	N
2	chemical WASH	1000.0	.800	6.00	N
3	LAITIER	1750.0	.800	18.20	N
4	This is a 10.0 minute shutdown.				
5	shoe slurry	1750.0	.800	.93	N
6	BOUE DE CHASSE	1100.0	1.000	8.00	N
7*	BOUE DE CHASSE	1100.0	.450	8.00	N
8	BOUE DE CHASSE	1080.0	.300	2.56	N
* TRACER FLUID					

CJOB:IM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4-Oct-01 10:27

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Rheology Data (cont.)
=====

Fluid 6, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
10.0	50.0

Backpressure Schedule
=====

#	Backpressure (bar)	Return Volume at each Backpressure (m ³)
1	0.000	0.00

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4-Oct-01 10:27

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Rheology Data

Fluid 1, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
----- 10.0	----- 50.0

Fluid 2, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
----- 2.0	----- 0.0

Fluid 3, Fann data, constant rheology.

RPM	Dial Reading
----- 300.0	----- 62.0
200.0	48.0
100.0	31.0
100.0	28.0

Fluid 4, Fann data, constant rheology.

RPM	Dial Reading
----- 300.0	----- 62.0
200.0	48.0
100.0	31.0
100.0	28.0

Fluid 5, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
----- 10.0	----- 50.0

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4-Oct-01 10:27

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Job Information
=====

Units of Measurement	SI(Metric)
SI Pressure Units.	bar
Precision.	1. Standard
Output Format.	Summary
Temperature Option	Enter BHCT
Surface Temperature.	26.0 °C
Bottom Hole Circulating Temperature.	32.0 °C
Mud Outlet Temperature	30.0 °C
Additional Pressure to Seat Plug	35.000 bar

Wellsite Information
=====

Offshore Rig	No
Surface Iron	Yes
Length	20.0 m
Height from Pump to RKB.	11.0 m
Diameter	55. mm
Zone of Interest	
Measured Depth	500.0 m
Fracture Gradient.	1950. kg/m ³
Pore Pressure.	1000. kg/m ³
Measured Depth for Turbulence Calc..	500.0 m
Rate Redesign.	Yes
Safety Factor.	2.000 bar

CJOPSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4-Oct-01 10:27

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Wellbore Geometry
=====

Pipe OD (mm)	Pipe ID (mm)	Length (m)	Measured Depth (m)	TVD or Angle at the bottom of the segment (m or °)	Casing Weight (kg/m)
244.50	222.40	500.0	500.0	0.	63.6
Annular ID (mm)		Annular Excess (%)	Length (m)	Measured Depth (m)	
311.16		25.	500.0	500.0	

Pumping Schedule
=====

Stage #	Name	Volume (m ³)	Rate (m ³ /min)	Density (kg/m ³)	Flags* (DTFS)
1	BOUE	0.00	1.19	1080.	
2	chemical WASH	6.00	0.80	1000.	
3	LAITIER	18.19	0.80	1750.	S
-	10.0 minute shutdown				
4	shoe slurry	0.93	0.80	1750.	
5	BOUE DE CHASSE	8.00	1.00	1100.	D
5	BOUE DE CHASSE	8.00	0.45	1100.	T
6	BOUE DE CHASSE	2.56	0.29	1080.	

*(D)isplacement fluid
(T)racer fluid
(F)oamed fluid
(S)hutdown following this fluid

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4-Oct-01 10:24

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Time of Events Table
=====

Job Time (min)	ECD (kg/cu m)	Fluid Being Pumped	Fluid Entering the Annulus
.2	1273.8	chemical WASH	
7.7	1274.4	LAITIER	
22.0	1251.3		chemical WASH
25.6	1201.4		LAITIER
40.4	1290.6	shoe slurry	
41.6	1312.7	BOUE DE CHASSE	
49.8	1419.8	BOUE DE CHASSE	
67.7	1702.7	BOUE DE CHASSE	
75.7	1807.3		Prior to plug landing
76.7	1752.9		Plug landed

The above report is based on sound engineering practices, but because of variable well conditions and other information which must be relied upon, Halliburton makes no warranty, express or implied, as to the accuracy of the data or of any calculations or opinions expressed herein. You agree that Halliburton shall not be liable for any loss or damage whether due to negligence or otherwise arising out of or in connection with such data calculations or opinions.

Hook Load Simulation

=====

Casing Weight	31800 kg
Static Hook Load.	27420 kg
Maximum Hook Load	27420 kg
Minimum Hook Load	10790 kg
Volume Pumped Prior To Maximum Hook Load . .	0 cu m
Volume Pumped Prior To Minimum Hook Load . .	44 cu m

Final Fluids Position Table

=====

Fluid Description	Volume (cu m)	Annular Fill (m)	Top of Fluid (m)
BOUE	37.61	0	0
chemical WASH	43.61	0	0
LAITIER	61.81	499	0
shoe slurry	62.74	0	499

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4 Oct-01 10:24

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Rheology Table - Continued

Output Parameters - Calculated PV (cp) and YP (lb/100 sq ft)			
Fluid Name	Surface 26.0 C	Midpoint 29.0 C	BHCT 32.0 C
BOUE DE CHASSE	10.0 50.00	10.0 50.00	10.0 50.00

Turbulence Table
=====

The following is based on the number 2 geometry at 32 degrees C

Fluid Description	Rate For Turbulence (cu m/min)	Velocity For Turbulence (m/sec)	Critical Reynold's Number
BOUE	6.74	3.09	29376
chemical WASH	.11	.05	2100
LAITIER	4.05	1.86	5969
shoe slurry	4.05	1.86	5969
BOUE DE CHASSE	6.67	3.06	29618
BOUE DE CHASSE	6.74	3.09	29376

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
4-Oct-01 10:24

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# TFT 413 TP 179 - 9" 5/8 CEMENT CASING JOB

Geometries Table

Geometry Number		Measured Depth	Angle of Deviation	
			Start	End
1	Inner Casing - 1D -- 222.40	0	500	.0 .0
2	325.71 X 244.50 ANN-INC 25% EX	500	0	.0 .0

RHEOLOGY TABLE

Output Parameters - Calculated PV (cp) and YP (lb/100 sq ft)						
Fluid Name	Surface 26.0 C		Midpoint 29.0 C		BHCT 32.0 C	
	BOUE	10.0	50.00	10.0	50.00	10.0
chemical WASH	2.0	.00	2.0	.00	2.0	.00
LAITIER	49.3	14.34	49.3	14.34	49.3	14.34
shoe slurry	49.3	14.34	49.3	14.34	49.3	14.34
BOUE DE CHASSE	10.0	50.00	10.0	50.00	10.0	50.00

*Programme de cimentation
HR 13^{3/8} à 600M
pour le laitier de Densité 1.85
15% Plâtre*

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:53

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

Well Parameters
=====

Entered Surface Temperature	26.0 C
Outlet Temperature	30.0 C
Entered BHCT	32.0 C
Back-Pressure14 bar
Turbulence Depth	540.0 m
Frac Zone Depth	600.0 M
Frac Zone Gradient	1950.0 kg/cu m
Pore pressure	1000.0 kg/cu m
Safe ECD	1933.02 kg/cu m
Safety Factor	1.00 bar
Additional Pressure to Seat Plug . . .	35.00 bar

Fluids Table
=====

Stage Number	Fluid Description	Density (kg/cu m)	Rate (cu m/min)	Volume (cu m)	Foamed (Y/N)
1	BOUE	1100.0	1.200	44.77	N
2	P-CWL WASH	1000.0	.800	6.00	N
3	LAITIER	1850.0	.800	19.32	N
4	This is a 10.0 minute shutdown.				
5	BOUE DE CHASSE	1100.0	.800	8.00	N
6*	BOUE DE CHASSE	1100.0	.500	8.00	N
7	BOUE DE CHASSE	1100.0	.300	2.38	N
* TRACER FLUID					

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:53

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

Geometries Table
=====

Geometry Number		Measured Depth		Angle of Deviation	
		Start	End	Start	End
1	Inner Casing - ID -- 220.50	0	600	.0	.0
2	325.82 X 244.50 ANN-INC 25% EX	600	0	.0	.0

RHEOLOGY TABLE

Output Parameters - Calculated PV (cp) and YP (lb/100 sq ft)						
Fluid Name	Surface		Midpoint		BHCT	
	26.0 C		29.0 C		32.0 C	
BOUE	30.0	16.00	30.0	16.00	30.0	16.00
P-CWL WASH	2.0	.00	2.0	.00	2.0	.00
LAITIER	30.0	57.56	30.0	57.56	30.0	57.56
BOUE DE CHASSE	30.0	16.00	30.0	16.00	30.0	16.00

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:53

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

Time of Events Table
=====

Job Time (min)	ECD (kg/cu m)	Fluid Being Pumped	Fluid Entering the Annulus
.2	1166.3	P-CWL WASH	
7.7	1167.6	LAITIER	
23.8	1158.3		P-CWL WASH
27.4	1144.1		LAITIER
41.8	1243.9	BOUE DE CHASSE	
52.0	1382.0	BOUE DE CHASSE	
68.2	1639.9	BOUE DE CHASSE	
75.6	1732.5		Prior to plug landing
76.6	1580.7		Plug landed

The above report is based on sound engineering practices, but because of variable well conditions and other information which must be relied upon, Halliburton makes no warranty, express or implied, as to the accuracy of the data or of any calculations or opinions expressed herein. You agree that Halliburton shall not be liable for any loss or damage whether due to negligence or otherwise arising out of or in connection with such data calculations or opinions.

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:53

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

Turbulence Table

The following is based on the number 2 geometry at 32 degrees C

Fluid Description	Rate For Turbulence (cu m/min)	Velocity For Turbulence (m/sec)	Critical Reynold's Number
BOUE	4.90	2.24	7394
P-CWL WASH	.11	.05	2100
LAITIER	6.07	2.78	15422
BOUE DE CHASSE	4.90	2.24	7394

Hook Load Simulation

Casing Weight	41964 kg
Static Hook Load.	36078 kg
Maximum Hook Load	36566 kg
Minimum Hook Load	20287 kg
Volume Pumped Prior To Maximum Hook Load	22 cu m
Volume Pumped Prior To Minimum Hook Load	44 cu m

Final Fluids Position Table

Fluid Description	Volume (cu m)	Annular Fill (m)	Top of Fluid (m)
BOUE	44.77	30	0
P-CWL WASH	50.77	164	30
LAITIER	70.09	404	195

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:55

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

Wellbore Geometry
=====

Pipe OD (mm)	Pipe ID (mm)	Length (m)	Measured Depth (m)	TVD or Angle at the bottom of the segment (m or °)	Casing Weight (kg/m)
244.50	220.50	600.0	600.0	0.	69.9
Annular ID (mm)	Annular Excess (%)	Annular Length (m)	Measured Depth (m)		
311.25	25.	600.0	600.0		

Pumping Schedule
=====

Stage #	Name	Volume (m ³)	Rate (m ³ /min)	Density (kg/m ³)	Flags* (DTFS)
1	BOUE	0.00	1.19	1100.	
2	P-CWL WASH	6.00	0.80	1000.	
3	LAITIER	19.32	0.80	1850.	S
-	10.0 minute shutdown				
4	BOUE DE CHASSE	8.00	0.80	1100.	D
4	BOUE DE CHASSE	8.00	0.50	1100.	T
4	BOUE DE CHASSE	2.37	0.29	1100.	

*(D)isplacement fluid
(T)racer fluid
(F)oamed fluid
(S)hutdown following this fluid

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:55

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

Job Information
=====

Units of Measurement	SI(Metric)
SI Pressure Units.	bar
Precision.	1. Standard
Output Format.	Summary
Temperature Option	Enter BHCT
Surface Temperature.	26.0 °C
Bottom Hole Circulating Temperature.	32.0 °C
Mud Outlet Temperature	30.0 °C
Additional Pressure to Seat Plug	35.000 bar

Wellsite Information
=====

Offshore Rig	No
Surface Iron	Yes
Length	20.0 m
Height from Pump to RKB.	11.0 m
Diameter	55. mm
Zone of Interest	
Measured Depth	600.0 m
Fracture Gradient.	1950. kg/m ³
Pore Pressure.	1000. kg/m ³
Measured Depth for Turbulence Calc.	540.0 m
Rate Redesign.	Yes
Safety Factor.	1.000 bar

CJOBSIM Version 2.3.3
Halliburton Energy Services' Cement Job Simulator
3-Oct-01 17:55

SONATRACH DIVISION FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

Rheology Data
=====

Fluid 1, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
----- 30.0	----- 16.0

Fluid 2, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
----- 2.0	----- 0.0

Fluid 3, Fann data, constant rheology.

RPM	Dial Reading
----- 300.0	----- 85.0
200.0	72.0
100.0	65.0

Fluid 4, PV & YP data, constant rheology.

Plastic Viscosity (MPa.s)	Yield Point (kg/100 m ²)
----- 30.0	----- 16.0

Backpressure Schedule
=====

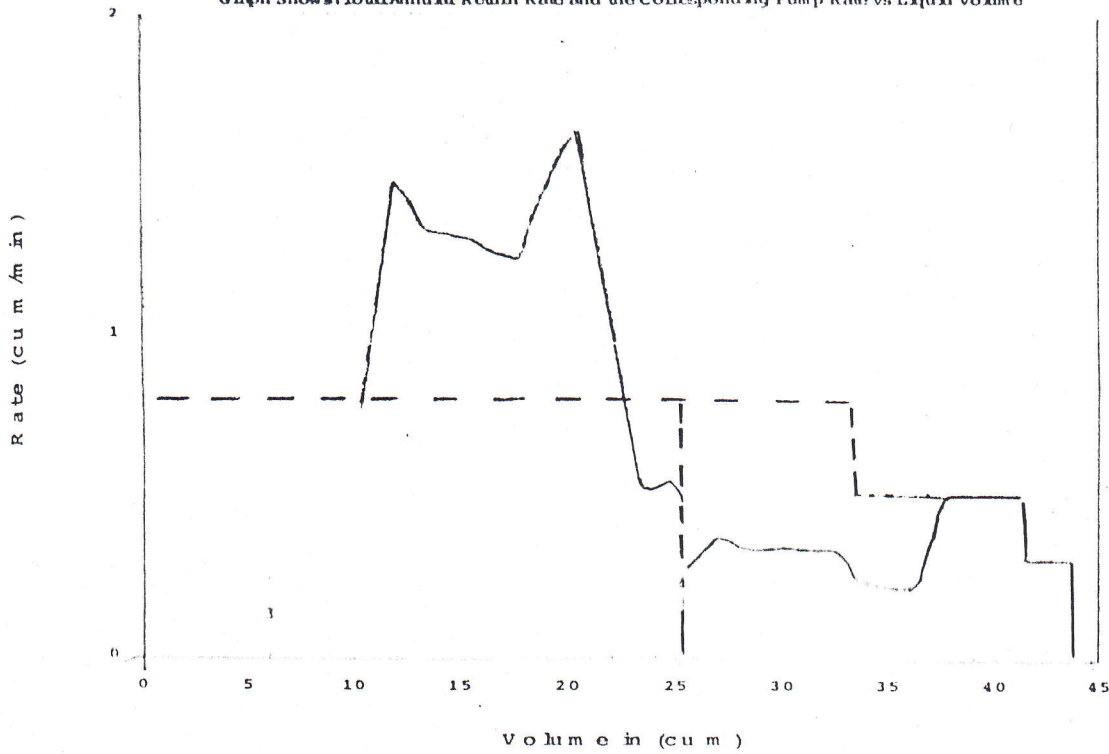
#	Backpressure (bar)	Return Volume at each Backpressure (m ³)
----- 1	----- 0.000	----- 0.00

Cement Job Simulator

Liquid pump rate in
Total flow into out.

Comparison of Rates In & Out

Graph Shows: Total Annular Return Rate and the Corresponding Pump Rate vs Liquid Volume



Fluids Pumped

- 2 P-CML WASH
- 3 LATIER
- 4 BOUE DE CHASSE

SONATRACH DMSDN FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

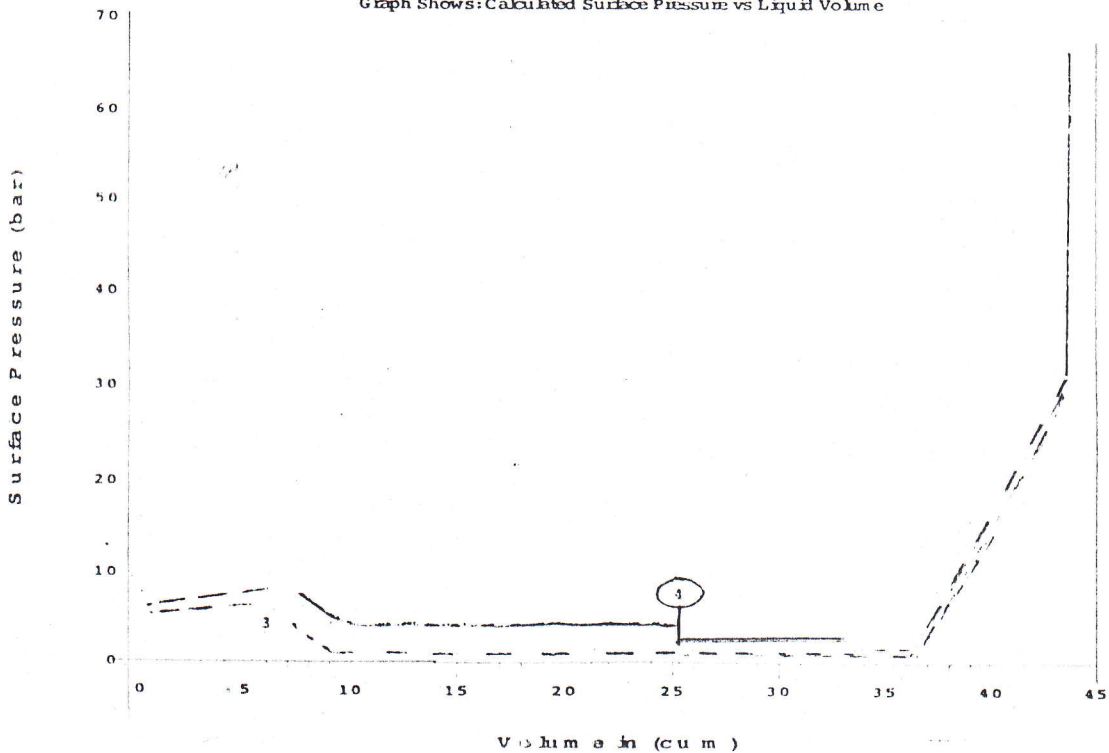


Cement Job Simulator

Wellhead Pressure
Pump Pressure

Calculated Surface Pressure

Graph Shows: Calculated Surface Pressure vs Liquid Volume



Fluids Pumped

- 2 P-CML WASH
- 3 LATIER
- 4 BOUE DE CHASSE

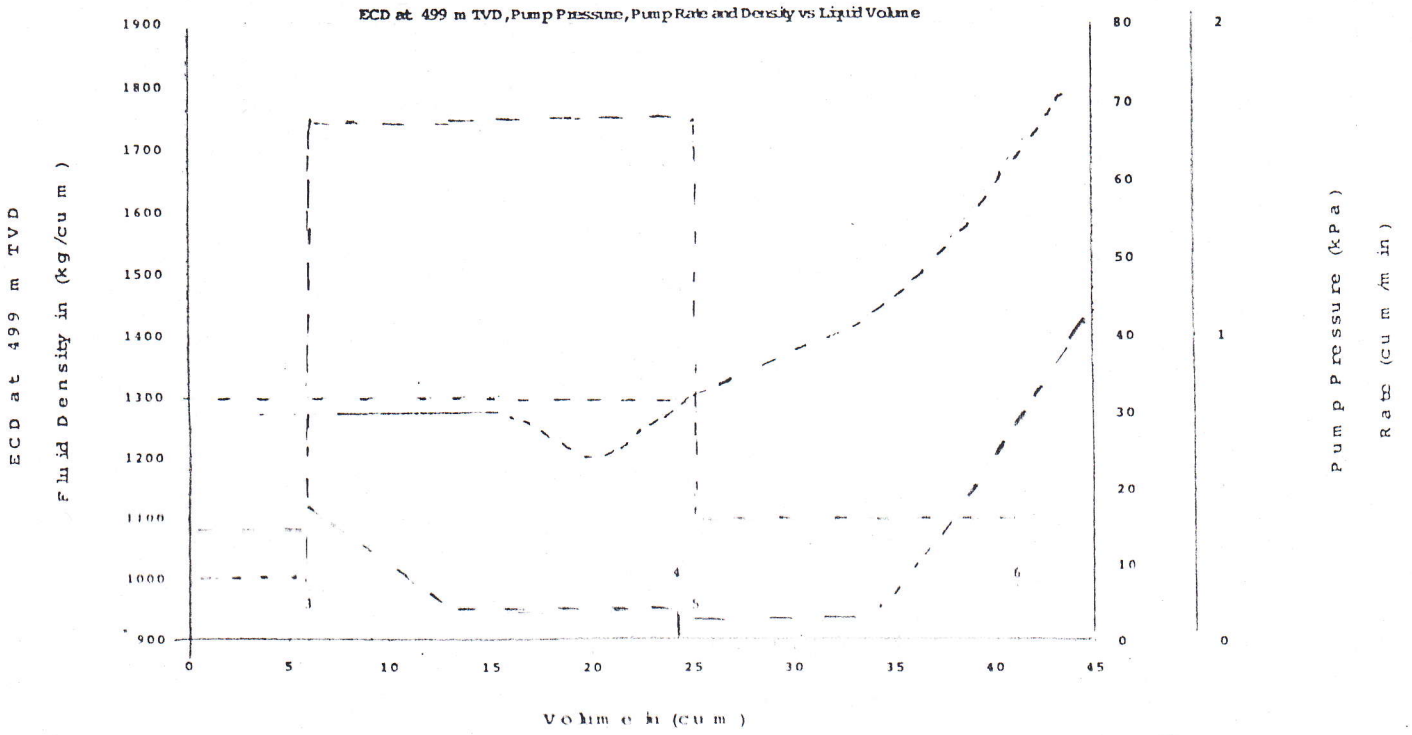
SONATRACH DMSDN FORAGE T.F.T
WELL# HR 18 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB



Cement Job Simulator

Summary Graph

Fluid Density
 Pump Pressure
 ECD
 Rate



SONATRACH DUBEDN FORAGETFT
 WELL#HR 18 ENF 14 - 13" 38CEMENTCASING JOB

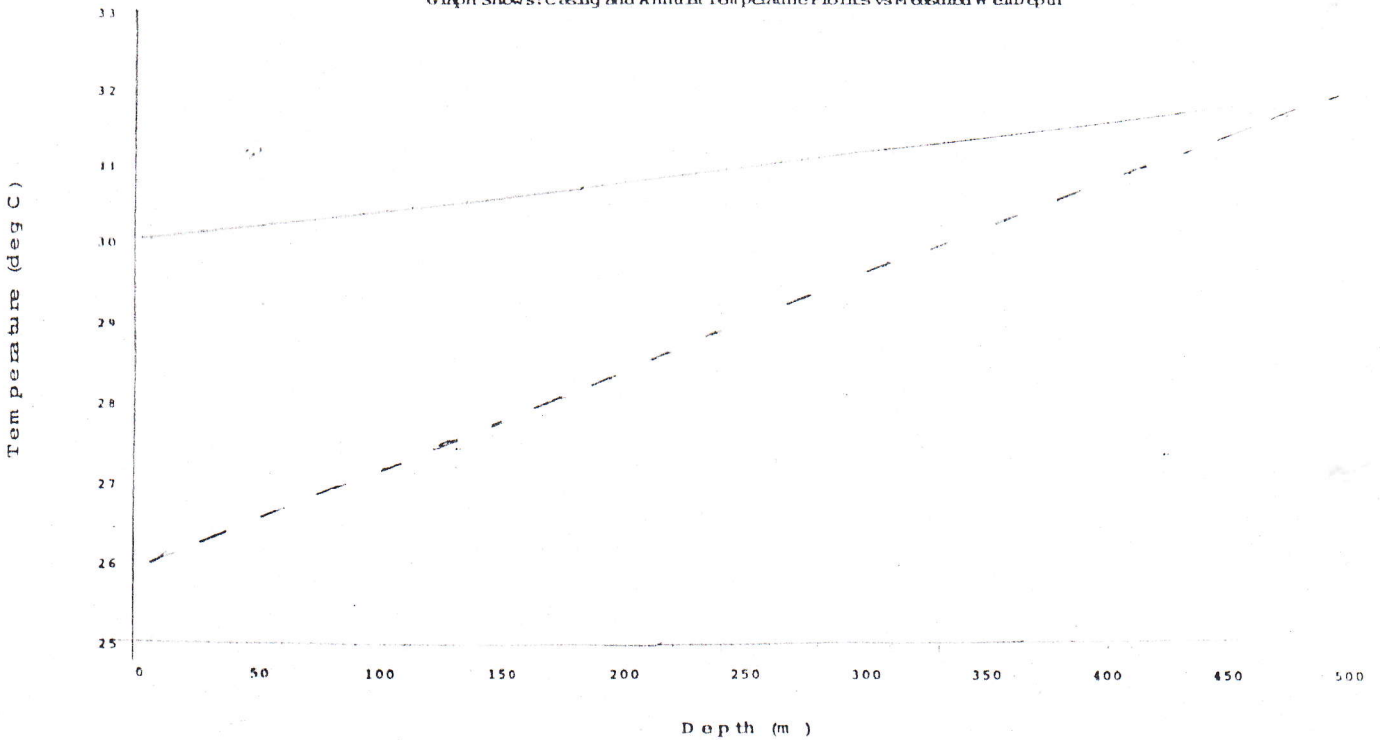


Cement Job Simulator

Casing Temperature
 Annular Temperature

Wellbore Temperature Profile

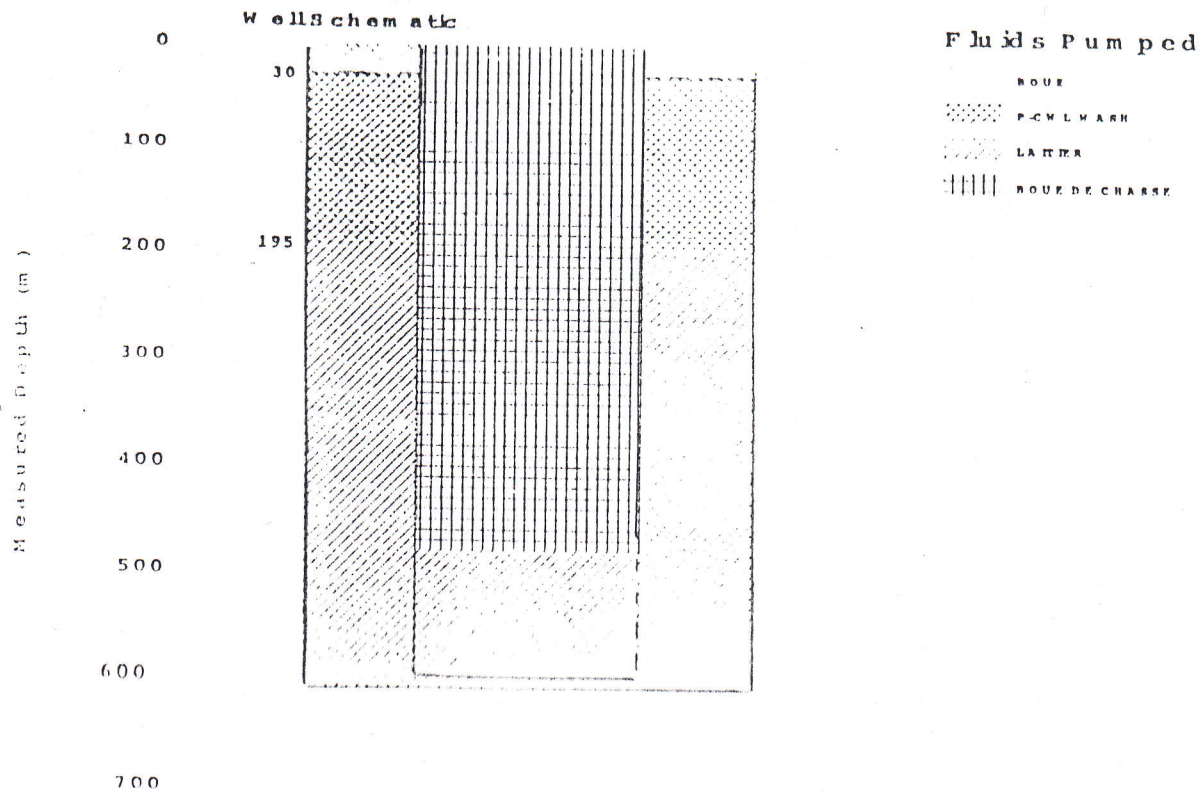
Graph Shows: Casing and Annular Temperature Profiles vs Measured Well Depth



SONATRACH DUBEDN FORAGETFT
 WELL#HR 18 ENF 14 - 13" 38CEMENTCASING JOB

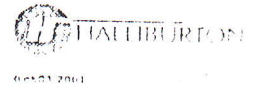


Cement Job Simulator



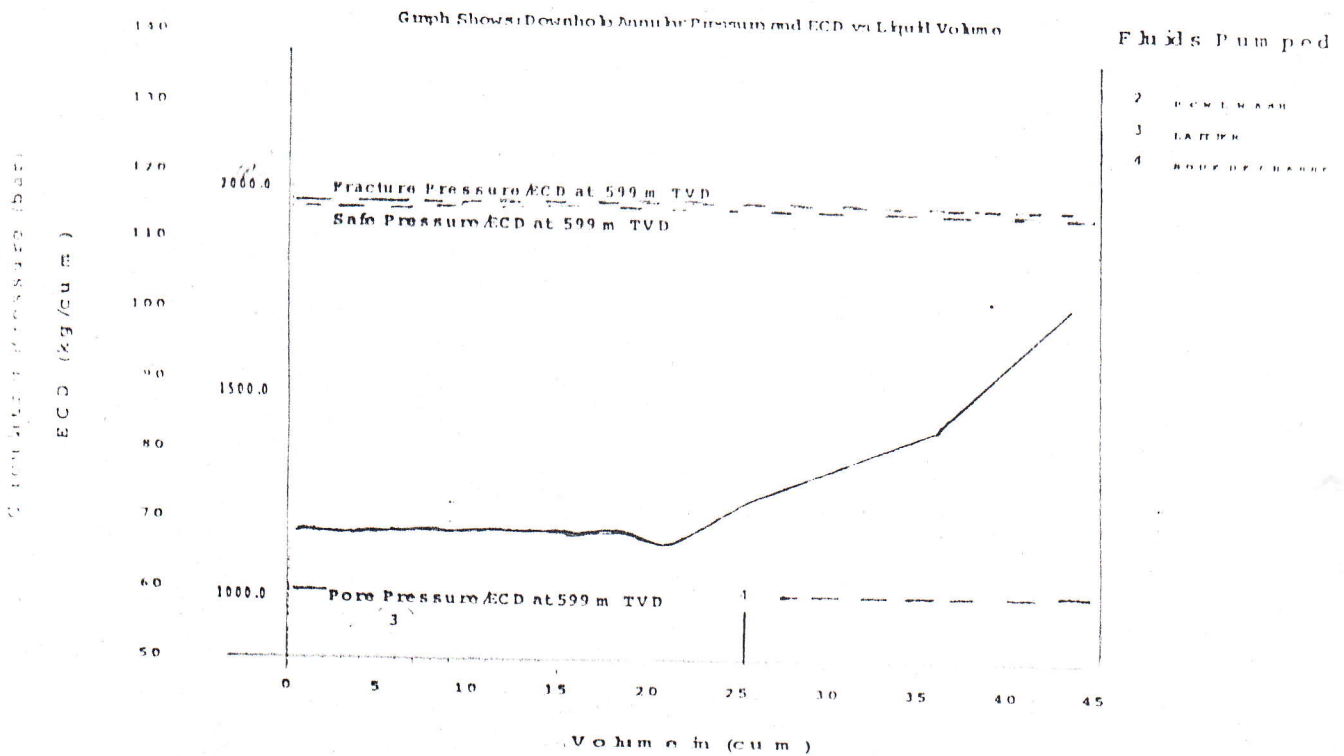
Graph Shows: Calculated Slurry Position as the Plug Lands

SONATRACH DEKON FORAGE TPT
WELL# HR 19 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB



Cement Job Simulator

Circulating Pressure and Density at 599 m TVD



SONATRACH DEKON FORAGE TPT
WELL# HR 19 ENF 14 - 13" 3/8 CASING JOB

