

Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire Master Académique

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Analyse et Contrôle de Qualité

Présenté par : Nassima HAMICHI, Malha HARRAT

Thème

**Procédure de contrôle de qualité du ciment
pétrolier et de l'efficacité des additifs du ciment en
deux systèmes de laitiers doux et salé**

Soutenu publiquement le : 06 / 05 / 2017

Devant le jury :

Mr	BAAMEUR Lotfi	Président	UKM OUARGLA
M ^{elle}	ZIGHMI souad	Encadreur	UKM OUARGLA
Mr	IHADDADENE Belaid	Examineur	UKM OUARGLA
Mr	CHENOUF Noureddine	Examineur	UKM OUARGLA

Année Universitaire : 2016 /2017

REMERCIEMENT :

Nous tenons, tout d'abord, à remercier dieu le tout puissant de la bonne santé, la volonté et la patience qu'il nous a donné tout au long de notre travail.

Mme S-ZIGHMI notre encadreur, Mr NAZIME qui nous à permis de bénéficier de son encadrement au sein de la société BJSP.

Nous tenons aussi à remercier très chaleureusement Mme Soumia Bechar et Mr Yacine SAQER pour le temps qu'ils nous ont consacré tout au long de cette période et pour l'intérêt qu'ils nous ont toujours montré quant a la réussite de notre travail.

Nous remercions toute l'équipe du laboratoire de cimentation de BJSP particulièrement Mr Trabelssi Hicheme.

A vous messieurs les membres du jury, nous tenons à vous exprimer notre gratitude pour avoir bien voulu examiner notre travail.

A nos enseignants de la Faculté des Sciences Appliquées, nous ne vous remercierons jamais assez pour nous avoir amené à cet instant.

Nous remercions vivement toutes les personnes, membre de la famille, qui ont contribué de prêt ou de loin, à la réalisation et a la réussite de ce travail.

SOMMAIRE

Remerciement :	I
Liste des figures :	V
Liste des tableaux	VII
Abreviations:	IX
Résumé.....	X

Introduction générale :	1
-------------------------------	---

Chapitre I :Généralités sur la cimentation pétrolière

I.1 Introduction	3
I.2 La cimentation des puits pétroliers	3
I.3 Intérêt de la cimentation pétrolière	4
I.4 Une cimentation défectueuse	4
I.6 Formulation de laitier de ciment	6
I.7 Types des laitiers de ciment	6
I.7.1 Les laitiers ordinaires	6
I.7.2 Les laitiers allégés	6
I.7.3 Les laitiers denses ou alourdis	7
I.7.4 Les laitiers pour température élevée	7
I.7.5 Les laitiers pour régions froides	7
I.7.6 Les Laitiers thixotropes	7
I.8 Les additifs de formulation	7
I.8.1 Définition	8
I.9 Préparation d'un laitier de ciment	9
I.9.1 Mesure de la densité des produits de départ	9
I.9.2 La pesé	10
I.9.3 Le mixage	10
I.10 Contrôle des caractéristiques d'un laitier de ciment	11
I.10.1 La densité	11
I.10.2 Le conditionnement	12
I.10.3 La rhéologie	13
I.10.5 Le filtrat (fluid loss)	15
I.10.6 Le temps de pompabilité (Thickening Time)	16
I.10.7 La résistance a la compression	17

Chapitre II: Expérimentation, résultats et discussions

II. 1. Introduction :	19
II. 2 Problématique :	19
II.3 L'objectif de l'étude :	19
II.4 Vérification de la densité des produits :	19
II.5 Caractérisation des eaux utilisées dans l'étude :	20
II.6 Contrôle de qualité du ciment G « CAT » par tests API :	21
II.6.1 La définition du ciment G « CAT » :	21
II.6.2 Procédure de contrôle de qualité par tests API :	21
II.6. 3 Résultats des tests API :	22
II.6.3.1 La densité :	22
II.6. 3.2 Eau libre :	22
II.6. 3. 3 Le temps de pompabilité :	22
II-6-3-4 La résistance à la compression :	22
II.7 L'étude de l'efficacité du FL-52 :	23
II.7-1 Définition Du FL-52 :	23
II.7.2 L'objectif à atteindre :	23
II.7. 3 Laitier et produits utilisé :	24
II.7.3.1 Laitier utilisé :	24
Un laitier ordinaire de densité 1.9 g/cm ³ .	24
II.7.3.2 Produits utilisé :	24
II.7.4 Résultats tests dans un système de laitier doux :	24
II.7.4.1 Laitier à 0% de FL-52 :	24
II.7.4.2 Laitier à 0.5% de FL-52 :	25
II.7.4. 3 Laitier à 1 % de FL-52 :	26
II.7.4.4 Laitier à 2 % de FL-52 :	26
II.7.5 Résultats tests dans le système de laitier salé (18% de NaCl) :	30
II.7.5.1 Laitier à 0% de FL-52:	30
II.7.5.2 Laitier à 0.5% de FL-52 :	31
II.7.5.3 Laitier à 01% de FL-52:	32
II.7.5.4 Laitier à 2% de FL-52:	33
II.8 Comparaison entre l'efficacité de FL-52 dans les deux systèmes de laitier (salé et doux) :	36
II.9 L'étude de l'efficacité du R3 :	37
II.9.1 Définition du R3 :	37
II.9.2 L'objectif à atteindre :	38
II.9.3 Laitier et produits utilisés :	38
II.9.3.1 Laitier utilisé :	38
II.9.3.2.Produits utilisés :	38
II.9.4 Résultats test dans le système de laitier doux :	39
II.9.4.1 Formulations des échantillons :	39
II.9.4.2 Résultats des tests :	39

II.9.5 Résultats test dans le système de laitier salé :.....	41
II.9.5.1 Formulations des échantillons :.....	41
II.9.5.2 Résultats tests :.....	42
II.10 Comparaison entre l'efficacité de R3 dans les deux systèmes de laitier (doux et salé):	43
Conclusion générale :	44
Références bibliographiques :	46

LISTE DES FIGURES :

Figure 1:Disposition du ciment.....	3
Figure 2: Le rayon des additifs.....	9
Figure 3 : Pycnomètre à hélium	10
Figure 4 : Exemple de pesé	10
Figure 5 : Mixeur API.....	11
Figure 6 : Densimètre.....	12
Figure 7 : Consistomètre atmosphérique.....	12
Figure 8 : rhéomètre FAN.....	14
Figure 9 : Test d'eau libre.....	15
Figure 10 : Filtre presse.....	16
Figure 11 : Consistometre pressurisé (HTHP).....	17
Figure 12 : Presse hydraulique.....	17
Figure 13 : Ultrason cement analyser (UCA).....	18
Figure 14 : Echantillon de FL-52	23
Figure 15 : La variation de viscosité plastique (Vp) en fonction de la concentration de FL-52 dans le système de laitier doux.....	28
Figure 16 : La variation de yield value en fonction de la concentration de FL-52 dans le système de laitier doux.....	29
Figure 17 : La variation de filtrat en fonction de la concentration de FL-52 dans le système de laitier doux.....	29
Figure 18 : La variation de viscosité plastique en fonction de concentration FL-52 dans le système de laitier salé.....	34
Figure 19 : La variation de yield value en fonction de concentration FL-52 dans le système de laitier salé	35
Figure 20 : La variation de filtrats en fonction de concentration FL-52 dans le système de laitier salé	35
Figure 21 : La variation de filtrats en fonction de concentration FL-52 dans les deux systèmes de laitier (doux et salé).....	36
Figure 22 : La variation de viscosité plastique et yield en fonction de concentration FL-52 dans les deux systèmes de laitier (salé et doux).....	37
Figure 23 : Echantillon de R3	38
Figure 24 : La variation de temps de prise en fonction de concentration R3 dans le système de laitier doux.....	40

Figure 25 : la variation de temps de prise en fonction de concentration R3 dans le système de laitier salé. 42

Figure 26 : La variation de temps de prise en fonction de concentration R3 dans les deux systèmes de laitier (doux et salé)..... 43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 Densités des échantillons	20
Tableau II.2 Caractérisations des eaux utilisées.....	20
Tableau I.3 Formule du laitier pour le test de conformité du ciment CAT.....	21
Tableau II.4 Résultats de test Eau libre.....	22
Tableau II.5 Résultats de temps de pompabilité	22
Tableau II .6 Résultats de test UCA.....	23
Tableau II. 7 Formule du laitier (0%de FL-52).....	24
Tableau II.8 Résultat de test de filtrat	24
Tableau II.9 Lecture donnée par Rhéomètre	25
Tableau II.10 Formule de laitier (0.5%FL-52).....	25
Tableau II.11 Résultat de test de filtrat	25
Tableau II.12 : Lectures donnée par Rhéomètre	25
Tableau II.13 Formule de laitier (1%FL-52).....	26
Tableau II.14 Résultat de test de filtrat	26
Tableau II.15 Lecteur donnée par Rhéomètre	26
Tableau II.16 Formule du laitier (2%FL-52).....	27
Tableau II.17 Résultat de test de filtrat	27
Tableau II.18 : Lecteur donnée par Rhéomètre.....	27
Tableau II.19 : Formule de laitier (0%FL-52).....	30
Tableau II.20: Résultat de test de filtrat	30
Tableau II.21 : Lecteur donnée par Rhéomètre.....	31
Tableau II.22 : Formule de laitier (0.5%FL-52).....	31
Tableau II.23 : Résultat de test de filtrat	31
Tableau II.24 : Lecteur donnée par Rhéomètre.....	32
Tableau II.25 : Formule de laitier (1%FL-52).....	31
Tableau II.26 : Résultat de test de filtrat	32
Tableau II.27 : Lecteur donnée par Rhéomètre.....	32
Tableau II.28 : Formule de laitier (2%FL-52).....	32
Tableau II.29 : Résultat de test de filtrat	33
Tableau II.30 : Lecteur donnée par rhéomètre	33
Tableau II.31 : Formule du laitier (0%R3).....	39
Tableau II.32 : Formule du laitier (0.2%R3).....	39
Tableau II.33 : Formule du laitier (0.5%R3).....	39

Tableau II.34 : Formule du laitier (0.8%R3).....	39
Tableau II.35 : Résultats de temps de pompabilité et de prise	40
Tableau II.36 : Formule du laitier (0%R3).....	41
Tableau II.37 : Formule du laitier (0.2%R3).....	41
Tableau II.38 : Formule du laitier (0.5%R3).....	41
Tableau II.39 : Formule du laitier (0.8%R3).....	41
Tableau II.40 : Résultats de temps de pompabilité et de prise	42

ABBREVIATIONS:

API: American Petroleum Institut .

DL: Densité de Laitier.

VP: Viscosité Plastique.

YD: Yield Value.

HPHT: High pressure/high temperature.

BHST: Bottom hole static temperature.

BHCT: Bottom hole circulating temperature.

UCA: Ultrason Cement Analyser.

UC: Unité de Consistance

ملخص :

منذ أكثر من قرن استعمل الاسمنت لسمنتة آبار البترول والهدف الرئيسي من هذه العملية هو فصل مختلف الطبقات المنتجة بسمنتة آبار البترول تطرح العديد من المشاكل , إضافة عنصر او محلول (صلب او سائل) يسمح لنا بتفادي هذه المشاكل.

في هذه الدراسة نقوم أولاً من التحقق من كفاءة محلولين المضافين (مثبط لتمامك الاسمنت و مخفض لكمية الرشح) و من جهة ثانية دراسة مدى توافق دمج هذين محلولين مع هدر وكسيد الصوديوم بتركيز % 18 . كما قمنا بمقارنة نوعية هذان المحلولان في وسطين (ماء مالح ، ماء عذب) لتحديد ملائمة استخدامها من حيث فعالية الإضافات و من تحليل النتائج وجدنا انه بالنسبة لفقدان السوائل فانه أكثر فعالية في نظام معتدل . أما المثبط له فعالية مماثلة في كلا النظامين.

الكلمات المفتاحية:

السمنتة ، محاليل للسمنتة , API, BJSP.

Résumé :

Depuis plus d'un siècle, les ciments sont utilisés pour la cimentation des puits pétroliers ; leur objectif essentiel réside dans la séparation de diverses zones productrices. La cimentation des puits pétrolier pose jusqu'à nos jours d'énormes problèmes. L'ajout d'additifs dans le ciment nous permet de résoudre certains problèmes.

Notre étude consiste en premier lieux de vérifier l'efficacité de deux additifs réducteurs de filtrat et retardateur de prise et en second lieux d'étudier la compatibilité de ces derniers avec un autre additifs qui est le NaCl a une concentration de 18 % dans l'eau pour déterminer leur usage favorable, les résultats s'avèrent être concluants ; l'efficacité des deux additifs étaient vérifier ainsi que leur compatibilité avec le NaCl, le réducteur de filtrat est plus efficace dans le système de laitier doux. Le retardateur de prise a une efficacité similaire dans les deux systèmes.

Mots clé :

API, Additifs cimentation, BJSP, Cimentation, Laitier de ciment.

Introduction générale

Introduction générale :

L'Algérie dispose de richesses naturelles considérables en réserves pétrolières et de gaz naturel ; où elle occupe des places importantes dans des classements mondiaux en matière de production et d'exportation de ces derniers. L'exploitation des hydrocarbures d'un gisement a pour but d'extraire les hydrocarbures jusqu'à la surface avec des conditions de mise en œuvre favorables.

Le forage pétrolier est considéré comme l'outil incontournable qui suit la prospection des gisements, lors du forage l'opération de cimentation est effectuée, cette opération est déterminante du fait qu'elle garantit la fiabilité de la production, elle est considérée comme l'étape primordiale qui a un impact direct sur la durée de vie des puits pétroliers, elle protège le tubage des différents effluents provenant des formations.

Pour l'ingénierie du domaine pétrolier, cette opération est très critique où la qualité du résultat dépend de plusieurs facteurs, dont la qualité du laitier de ciment. Cependant, les caractéristiques de ce dernier dépendent des conditions thermodynamiques (pression, température) et géologiques du puits.

Un laitier de ciment se compose d'un ciment, eau et des additifs, Afin de réaliser une formulation de laitier de ciment convenable aux conditions de puits, une série de tests est effectuée au sein de laboratoire bien avant l'exécution de l'opération de ciment où toutes les conditions de mise en œuvre sont mises en considération. [1]

Les additifs sont des produits chimiques inertes ou actifs, ajoutés souvent à faible quantité à sec, pendant le mixage ou dans l'eau de gâchage, afin d'améliorer certaines propriétés, ou dans le but de diminuer le coût de revient de ciment. [2]

L'objet de cette présente étude s'inscrit dans le domaine de formulation de l'un des fluides de forage utilisés lors de la construction des puits pétroliers, En effet, notre étude consiste à faire une vérification de l'efficacité de deux types d'additifs de ciment pétrolier : réducteur de filtrat et retardateur de prise, qui sont expérimentés en eau douce et en eau salée à 18%.

Afin de réaliser cette étude nous avons effectué un stage au sein du laboratoire de cimentation de la société de service « BJSP » Hassi Messaoud- Ouargla.

Introduction générale

Ce mémoire comporte, en plus d'une introduction générale et conclusion générale, deux chapitres, le premier est consacré aux généralités sur la cimentation ; dans le deuxième chapitre on regroupe l'ensemble des tests réalisés, les résultats et les discussions.

I.1 Introduction :

Depuis plus d'un siècle, les ciments sont largement utilisés dans les sondages pétroliers, leur objectif essentiel réside dans la séparation de diverses zones productrices.

Plusieurs propriétés sont exigées dont les principales sont celles d'adhérer, aux parois au trou et tubage, d'être imperméable et de posséder une résistance mécanique suffisante, ils doivent en outre conserver leurs propriétés aussi longtemps que le sondage productif, ce chapitre est consacré à des généralités sur la cimentation pétrolière ainsi que à la procédure de préparation du laitier de ciment et le contrôle de ses caractéristiques.

I.2 La cimentation des puits pétroliers :

La cimentation d'un tubage dans un forage est une opération capitale qui vise à obturer l'espace compris entre le cuvelage et le trou foré par un laitier de ciment [Figure 01] ayant des caractéristiques convenables aux conditions de fond du puits telles que :

- La température qui est proportionnelle à la profondeur ;
- La pression ;
- Les éléments agressifs, les sulfates, les chlorures et les hydrocarbonates. [3]

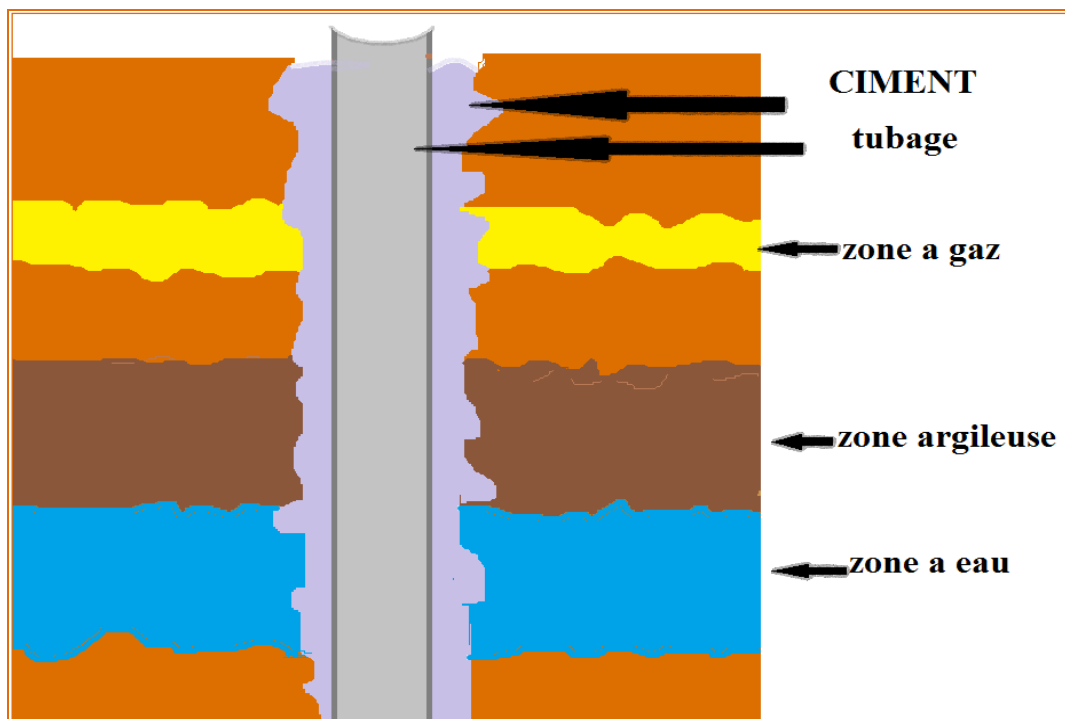


Figure 1:Disposition du ciment

I.3 Intérêt de la cimentation pétrolière :

Cette opération est définie comme le facteur clé qui garantit la fiabilité de production pétrolière, elle est considérée comme l'étape primordiale qui a un impact direct sur la productivité et la durée de vie des puits cela par ces diverses fonctions :

- Assurer l'étanchéité entre le tubage et la formation.
- Assurer le bon ancrage du tubage.
- Prévenir l'éboulement des parois du puits.
- Fermer les couches à haute pression pour éliminer les risques d'éruption.
- Réaliser la séparation entre les différentes couches productrices pouvant contenir des fluides différents à des pressions différentes.
 - Protéger les tubages en place contre les effluents provenant de la formation et faire face à la corrosion électrochimique.
 - Éviter la pollution des nappes phréatique.
 - Prévention du dévissage des tubages pour le prochain forage.
 - Assurer une longévité du puits [4].

I.4 Une cimentation défectueuse :

Beaucoup de facteurs peuvent engendrer une mauvaise cimentation ; dans ce cas les conséquences seront dramatiques et la remédiation est très coûteuse, ces conséquences sont reliées des fois aux principes de formulation des laitiers de ciment au laboratoire ou même aux défauts opérationnels ; parmi ces, on cite :

- Pertes totale ou partielle lors de la mise en place du laitier :

En traversant les différentes phases de forage, on risque de fracturer les formations fragiles, cela est poursuivi par une perte de laitier. [5]
- La prise prématurée du laitier (Flash Set) :

Ce phénomène résulte dans le cas général à la mauvaise prédiction de la température de mise en œuvre ou bien un dosage non adéquat de retardateur de prise. [6]
- Micro annulaire : (mauvaise étanchéité ciment / formations ou bien ciment / tubage). [6]
- La non prise de du laitier de ciment :

Cela est dû peut-être à la contamination du laitier de ciment par la boue (défaut opérationnel).

- Migration des fluides en surface à travers les zones mal cimentées.

I.5 Classification des ciments pétroliers : [7]

Il existe diverses catégories de ciment, définies par des normes fixées par l'institut américain de pétrole **API**, ces catégories sont déterminées selon la profondeur et la température de fond du puits, Ce classement permet de résoudre pratiquement tous les problèmes posés par la cimentation dans les sondages :

1. **Classe A** : utilisé de la surface jusqu'à 6000 pieds (1829 m), lorsque aucune caractéristique particulière n'est demandée. Type ordinaire.
2. **Classe B** : utilisé de la surface jusqu'à 6000 pieds (1829 m), lorsque les conditions nécessitent une résistance modérée ou élevée aux sulfates.
3. **Classe C** : utilisé de la surface jusqu'à 6000 pieds (1829 m), lorsque les conditions nécessitent une haute résistance initiale. Disponible en type ordinaire et en type à résistance modérée ou élevée aux sulfates.
4. **Classe D** : utilisé de 6000 à 10000 pieds (1829 à 3048 m) en conditions de température et pression modérément élevées. Disponible dans les deux types, résistance modérée et élevée aux sulfates.
5. **Classe E** : utilisé de 10000 à 14000 pieds (3048 à 4268 m), dans des conditions de température et pression élevées. Disponible dans les deux types, résistance modérée et élevée aux sulfates.
6. **Classe F** : utilisé de 10000 à 16000 pieds (3048 à 4877 m), dans des conditions de température et pression très élevées. Disponible dans les deux types, résistance modérée et élevée aux sulfates.
7. **Classe G** : utilisé comme ciment de base pour cimenter de la surface jusqu'à 8000 pieds tel que ou, avec des accélérateurs ou retardateurs de prise afin de couvrir une large gamme de profondeurs et de températures. Disponible dans les deux types, résistance modérée et élevée aux sulfates.
8. **Classe H** : utilisé dans les mêmes conditions que le ciment classe G, mais prévu pour des densités de laitier supérieures. Disponible en type, moyenne résistance aux sulfates.
9. **Classe J** : utilisé de 12000 à 16000 pieds (3660 à 4880 m) pour des températures et pressions extrêmement élevées. Existe seulement en qualité à haute résistance aux sulfates.

I.6 Formulation de laitier de ciment :

On peut définir tout simplement le laitier de ciment par le mélange entre le ciment et l'eau de gâchage, ce dernier ; est un mélange d'eau et d'additifs qui ont chacun une fonction bien déterminée dans la matrice de laitier de ciment. Pour formuler un laitier il faut absolument savoir prédire et simuler les conditions réelles du puits telles que : la température statique de fond du trou pour calculer la température de circulation, la température de fond en circulation, le principe est de faire circuler de la boue pour refroidir le puits, cela modifie le temps de prise donc le temps de pompabilité, dans le sens favorable, ainsi que la nature de formations traversées et la pression des pores et de fracturation.

A partir de ces données, nous pouvons bien valider les caractéristiques du laitier à l'échelle de laboratoire :

- La densité du laitier imposée par les limitations de la pression hydrostatique de certaines formations rencontrées.
- Caractéristique de filtration.
- Les paramètres rhéologiques de laitier.
- Le temps de prise de développement de la résistance à la compression. [2].

I.7 Types des laitiers de ciment : [1]

I.7.1 Les laitiers ordinaires :

Les laitiers de base utilisés pour la cimentation possèdent des caractéristiques telles que la composition chimique, la granulométrie ; une fois mélangés à l'eau de gâchage, on obtient des laitiers de densité normalement comprise entre 1.78 et 1.98. Ils se sont appelés aussi les laitiers ordinaires parce que le ciment pétrolier est très stable à ces densités.

I.7.2 Les laitiers allégés :

Les densités des laitiers ordinaires peuvent parfois présenter des inconvénients. En effet, certaines formations ne supportent pas de colonnes de ciment d'un tel poids. Il est donc parfois nécessaire d'alléger les laitiers de ciment pour diminuer les pressions hydrostatiques au droit des couches fragiles et éviter ainsi les fracturations. Dans l'utilisation des ciments allégés on distingue généralement : les bouchons de ciment destinés à colmater les pertes et les cimentations des cuvelages couvrant les zones fragiles.

I.7.3 Les laitiers denses ou alourdis :

Un laitier dit ordinaire présente une densité comprise entre 1,78 et 1,98. Cette limite peut être repoussée jusqu'à 2.15, et pour l'obtention de densités de laitier supérieur, il faut leur incorporer des produits alourdissant. Les densités élevées sont utilisées lorsqu'une pression hydrostatique importante est nécessaire au contrôle du puits.

I.7.4 Les laitiers pour température élevée :

Le ciment Portland peut être utilisés jusqu'aux environs de 80°C ; au-delà de cette température, on utilise des ciments dit retardés, afin d'atteindre un temps de pompabilité suffisant pour mettre en place les laitiers dans puits. Des additifs spéciaux seront ajoutés pour avoir le compromis souhaité.

I.7.5 Les laitiers pour régions froides :

La température de forage à cimenter s'abaisse au-dessous de 10°C, les ciments classiques ne donnent pas des résultats satisfaisants. Toutefois si la température reste supérieure au point de congélation de la phase aqueuse, on constate un ralentissement de prise de plus en plus prononcé avec un développement très lent de la résistance à la compression. Pour une température plus basse, la phase aqueuse gèle, le ciment ne s'hydrate plus et la prise n'intervient pas. Deux remèdes peuvent être appliqués : soit élever la température pour accélérer la prise, soit utilisé des systèmes de ciment pouvant faire prise à basse température.

I.7.6 Les Laitiers thixotropes :

Les ciments thixotropes sont des laitiers de ciment qui possède des propriétés rhéologiques 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 le tubage et formations consolidées, la résistance mécanique de ces ciments est convenable bien qu'elle se développe plus lentement que pour un laitier classique.

I.8 Les additifs de formulation :

Afin de réussir la cimentation et améliorer certaines caractéristiques du laitier de ciment, on ajoute au ciment à sec ou dans l'eau de gâchage certains additifs qui peuvent apporter des changements à ces propriétés. [8].

I.8.1 Définition :

Les additifs sont des produits chimiques que nous mélangeons avec le ciment soit à sec dans le ciment, soit à l'eau de mixage en vue d'obtenir un laitier aux propriétés particulières, Ces additifs peuvent être classés en sept grandes familles : [3].

1) Accélérateurs :

Ces additifs sont destinés à accélérer le durcissement du ciment, mais ils provoquent également une diminution du temps de pompabilité. Précisons qu'à l'inverse une réduction du temps de pompabilité n'implique pas forcément un durcissement plus rapide. Les accélérateurs permettent d'accélérer la prise du ciment, d'augmenter la résistance initiale et de pouvoir reformer plus rapidement (gain de temps).

2) Retardateurs :

On utilise des retardateurs pour permettre d'ajuster le temps de pompabilité du ciment à la valeur désirée car dans un grand nombre de cas le ciment fait prise trop rapidement pour laisser le temps à la l'opération de le mettre en place.

3) Dispersants :

Ces produits comme leur nom indiquent, vont disperser les grains de ciment en suspension dans l'eau, provoquant ainsi une fluidification du laitier de ciment. Leur mode d'action est voisin de celui des retardateurs, car ils enrobent les grains de ciment d'une fine pellicule chargée électriquement.

4) Allégeant :

Ce sont des matières inertes légères mélangées au ciment dont l'effet est d'une part de réduire la densité des laitiers, d'autre part d'en réduire les coûts. Par contre, la plupart des allégeant ont un effet sur le temps de prise et sur la résistance à la compression du ciment. Il sera souvent nécessaire de compenser par des additifs appropriés.

5) Alourdissant :

On alourdit le ciment soit par densification (réduction du rapport E/C) et l'emploi de dispersants, soit par ajout de produits à densité élevée. Parmi les principaux Alourdissant citons : la baryte, les oxydes de fer ; Les alourdissant ont pour rôle :

- Augmenter la densité du ciment.

- Augmenter le rendement du laitier sans réduire l'eau de mixage.
- Contrôler les pressions de fond élevées.

6) Agents de contrôle de filtration :

Ils évitent la perte d'eau du laitier par filtration dans les formations perméables, ce qui risque de déclencher, soit une prise intempestive, soit une absence de prise due à l'absence d'eau nécessaire à l'hydrolyse et à la cristallisation de composants du ciment.

7) Agents spéciaux :

Il y a deux types d'agents spéciaux :

Les anti-moussants : Ils évitent l'excès de mousse produit au mixage de, cela risque d'interférer avec le bon fonctionnement des pompes,

Les gélifiants : Ils modifient les caractéristiques thixotropiques de certain laitier.



Figure 2: Le rayon des additifs

I.9 Préparation d'un laitier de ciment :

I.9.1 Mesure de la densité des produits de départ :

A l'arrivée de chaque produit au laboratoire, une vérification de la densité est incontournable, la mesure se fait à l'aide d'un pycnomètre à hélium [Figure 03] qui permet de déterminer de façon précise le volume d'un échantillon solide de masse connue, permettant d'accéder à sa masse volumique. Le principe de la mesure est d'injecter un gaz à une pression donnée dans une enceinte de référence, puis à détendre ce gaz dans l'enceinte de mesure contenant l'échantillon en mesurant la nouvelle pression. [9]



Figure 3 : Pycnomètre à hélium

I.9.2 La pesé :

On pèse la quantité de ciment et les additifs solides à l'aide d'une balance électronique, et on mesure le volume des additifs liquide à l'aide des seringues.[8]



Figure 4 : Exemple de pesé

I.9.3 Le mixage :

Le mixage de l'eau de gâchage et le ciment doit être conforme aux normes API. La procédure est la suivante ; en premier de mettre la quantité nécessaire d'eau douce dans le mixeur [Figure 05] puis l'ajout des additifs solide et après l'ajout des additifs liquide tout en fixant une vitesse de mixage à 4000tr/min ; une fois l'eau de gâchage est prête on ajoute la quantité de ciment et on augmente la vitesse de mixage à 12000tr/min et cela pour 15 secondes. [7]



Figure 5 : Mixeur API

I.10 Contrôle des caractéristiques d'un laitier de ciment :

1.10.1 La densité : [7]

La densité de laitier peut être calculée très simplement à partir de la densité de poudre de ciment, de celle de l'eau de gâchage, et de celles des différents additifs entrant dans la composition du laitier.

$$DL = \frac{MC + ME + \sum MAD}{Vc + VE + \sum VAD}$$

MAD: masse additives/**VAD:** volume additives

MC : masse de ciment / **VC :** volume ciment

ME : masse d'eau / **VE :** volume eau

Le calcul de la densité est un paramètre très important et indispensable dans la programmation de cimentation car la densité du laitier influe sur :

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

On mesure la densité du laitier à l'aide d'un densimètre [Figure 6], on remplit le godet de laitier de ciment, puis on met le couvercle et on élimine par rinçage à l'eau, l'excès du laitier

qui sort par le trou central . On nettoie à l'eau et on sèche, on place le levier sur le couteau, on déplace le curseur jusqu'à ce que bras soit horizontal, ce que l'on contrôle à l'aide du niveau à bulle incorporé dans le bras. On lit directement la densité sur le bras.



Figure 6 : Densimètre

I.10.2 Le conditionnement :

Une fois la densité du laitier est vérifié on passe au conditionnement de ce dernier a la température du puits à l'aide du consistomètre atmosphérique [Figure 7] qui nous permet de conditionner le laitier de ciment à la température d'opération du puits pendant 20 min ,cela avant de déterminer les caractéristiques suivantes : l'eau libre, le filtrat, et Les paramètres rhéologiques : la viscosité plastique, la viscosité apparente, la yield value, le gel 10 sec et le gel 10 min. [8]



Figure 7 : Consistomètre atmosphérique

I.10.3 La rhéologie :[2]

Les laitiers des ciments pétroliers sont fortement chargés en solides. Par exemple, si on considère le cas classique d'un ciment classé « G », mixé à une densité de 1.90, on a en volume 42 % de solides.

Il est indispensable de connaître le comportement des laitiers de ciment comme il s'agit de déterminer les propriétés rhéologiques de ces derniers afin de pouvoir améliorer l'aptitude d'un laitier à se déplacer. Connaître les paramètres de la rhéologie nous permet de déterminer le débit de pompage optimal pour placer le ciment, et pour travailler à la limite de la pression de fracturation.

Les paramètres rhéologiques dépendent dans une certaine mesure de la composition minéralogique du ciment, de la granulométrie des additifs et de la température. Il est donc possible de préparer soigneusement une cimentation grâce à la connaissance du comportement rhéologique du laitier, en particulier, de multiplier les chances de réussite, on améliore les paramètres rhéologiques.

L'appareil utilisé pour déterminer les paramètres rhéologique est le rhéomètre (viscosimètre) [Figure 08]. Il permet de mesurer la force de cisaillement en fonction de la vitesse de scintillomètre. Cet appareil permet de déterminer les caractéristiques rhéologiques du laitier de ciment qui sont :

- Viscosité plastique.
- Yield value.
- Les différents gels, 10 seconds et 10 minutes.

C'est un appareil à cylindre coaxiaux dont le rotor est entraîné par un moteur électrique. On mesure la résistance de scintillement du laitier contenu dans un godet, dans lequel immergent les cylindres coaxiaux. On lit directement sur un cadran gradué la résistance de cisaillement aux différentes vitesses de rotation du rotor.

Après la mise en marche, le moteur tourne à 600 tr / min. On fait la première lecture après 60 seconds, puis les lectures suivantes toutes les 20 seconds.

D'après la lecture faite sur le viscosimètre nous aurons :(R300, R 200, R100, R 6, R 3) , gel 10seconds et gel 10 minutes ; Puis en calcule les différents paramètres rhéologiques selon les formules suivantes :

- Viscosité plastique V_p : est la résistance à l'écoulement du fluide ; selon le modèle plastique de BANGHAM ; la V_p est la pente de la contrainte de cisaillement et le taux de cisaillement. La V_p est calculé à partir de cette formule [3] :

$$V_p = (\text{lecture } 300\text{tr/min} - \text{lecture } 100\text{tr/min}) \times 1,5 \quad \{\text{Centi Poise}\}.$$

- Yield value : Permet de déterminer le point d'écoulement de ciment C'est-à-dire sa résistance à l'écoulement.

$$Y_d = (\text{lecture } 300\text{tr/min} - V_p) \quad (\text{lb/100ft}^2)$$

- Le gel : C'est l'augmentation apparente de la viscosité lorsque le laitier est au repos on considéra le gel initial (ou gel après 10 seconde de repos) et le gel après 10 minutes.



Figure 8 : Rhéomètre FANN

I.10.4 L'eau libre : [7]

C'est le volume d'eau surnageant au-dessus du laitier après un certain temps de repos. La mesure se fait dans une éprouvette de 250 ml de laitier [Figure 9], après 2 heures de repos. Le résultat est exprimé soit en CC, soit en pourcentage (1 CC correspondant à 0.4 %).

Cette mesure va caractériser le phénomène de sédimentation de suspension de particules de ciment dans l'eau. Contrairement à ce que l'on pourrait penser l'eau libre et le filtrat sont deux mesures totalement indépendantes, Un même laitier peut avoir un filtrat réduit et une eau libre importante et vice versa.



Figure 9 : Test d'eau libre

I.10.5 Le filtrat (fluid loss): [10]

Le laitier va être placé en rencontre d'une formation géologique perméable et va être soumis à une pression ce qui pourrait lui faire perdre son eau. Cette eau expulsée ne participe pas à la réaction d'hydratation mais elle sera plutôt la cause d'une déshydratation prématurée qui peut :

- Rendre le laitier impompable, ainsi empêchant sa mise en place.
- Réduire la résistance mécanique du ciment durci.
- Augmentant la perméabilité.

Le filtre presse [Figure 10] est l'outil qui nous permet de déterminer le filtrat d'un laitier de ciment, Le laitier de ciment est placé contre un filtre, le volume d'eau contenu dans le laitier est forcé au même temps que les additifs solubles à travers ce filtre, Le volume d'eau recueillie

à travers le filtre est appelé filtrat, on appelle cake de filtration, le dépôt sur le filtre des particules de ciment déshydraté.

Le laitier de ciment se déshydrate aussi souvent complètement avant le temps normalisé de 30 minutes, on exprime alors le résultat en valeur extrapolée à 30 minutes par la formule approchée :

- | | | |
|--|------------------|-------------------------|
| • $V_f = Q_R * 2$
d'eau recueillie | Si $t = 30$ mins | avec : Q_R : quantité |
| • $V_f = (Q_R \frac{5,477}{\sqrt{t}}) * 2$ | Si $t < 30$ mins | t : temps |



Figure 10 : Filtre presse

I.10.6 Le temps de pompabilité (THICKENING TIME):[7]

Le temps de pompabilité est défini par API, comme le temps mis par le laitier pour atteindre une consistance de 100 UC. Pratiquement, il correspond à la durée pendant laquelle le laitier reste pompable dans les conditions de température et de pression normalisés en fonction du type de cimentation envisagée.

La prise de ciment étant influencée par l'agitation, la température, et la pression, on doit, durant le test, maintenir le laitier en agitation et simuler la montée en pression et en température

qu'il subira lors de son refoulement dans le puits, Ce test est effectué à l'aide d'un consistomètre pressurisé **HP/HT** [Figure 11] :



Figure 11 : Consistomètre pressurisé (HTHP)

I.10.7 La résistance a la compression :[7]

La mesure de la résistance mécanique du ciment à la compression, est la seule caractéristique qui permet de déterminer la qualité du ciment après sa prise, généralement le ciment doit avoir une résistance qui lui permet de maintenir et de supporter le tubage, et de supporter les chocs du forage, de perforation et de fracturation, cette résistance dépend de l'influence des facteurs, température et pression. La mesure de la résistance à la compression se fait par deux méthodes :

1/Ecrasement des cubes par presse hydraulique : Un moule rempli du laitier de ciment sera introduit dans un Curing chamber à la température statique (BHST) durant 24 heures, Après le mûrissage au bain marie, les éprouvettes (cube de ciment) sont passées à la presse hydraulique [Figure 12] pour subir une pression jusqu'à éclatement du cube de ciment. Elle s'exprime en PSI ou par fois avec Kgf/cm^2 .



Figure 12 : Presse hydraulique

2/Analyseur de ciment par ultrason Cement Analyzer (UCA) : En mesurant la variation de la vitesse d'un signal acoustique, l'analyseur de ciment par ultrasons [Figure 13] fournit une méthode continue non destructive pour déterminer la résistance à la compression en fonction du temps.



Figure 13 : Ultrason cement analyser (UCA)

II. 1. Introduction :

Au cours de forage, l'ingénierie du secteur pétrolier est appelé à résoudre beaucoup de problèmes, où la complexité de la géologie est le défis majeur. Les additifs jouent un rôle déterminant pour acquérir des formulations de laitier de ciment adéquates face à cette complexité.

Ce chapitre présente les tests, résultats et discussions que nous avons effectué afin d'atteindre notre but qui est le contrôle de qualité de deux additifs de cimentation ; réducteur de filtrat et retardateur de prise ainsi à vérifier leur compatibilité avec un autre additif qui est le NaCl a une concentration de 18% (par rapport au poids d'eau de gâchage).

II. 2 Problématique :

Un additif non conforme peut causer d'une cimentation défectueuse, de ce fait le contrôle de qualité des additifs est une étape primordiale et indispensable dans un laboratoire de cimentation, ainsi les produits vont être utilisés en toute sécurité au cours des formulations des laitiers.

II.3 L'objectif de l'étude :

Notre étude a pour but en premier lieu de vérifier l'efficacité de deux additifs de cimentation vis à vis leurs fiches techniques et en second lieu d'étudier la compatibilité de ces derniers avec un autre additifs qui est le NaCl a une concentration de 18 % dans l'eau et faire une comparaison entre l'efficacité des deux additifs dans les deux systèmes de laitier (doux et salé) .

II.4 Vérification de la densité des produits :

Après l'échantillonnage des produits et leurs arrivés au laboratoire il est incontournable de vérifier la densité de chaque produits, cette vérification est considérée comme la première étape du contrôle de qualité afin de collecter toutes informations pour enfin pouvoir remplir les fiches de qualité (Voir en annexe I) qui mentionnent : le nom du produit, la quantité, l'apparence du produit, l'odorat, le PH (pour les liquides).

Nous avons effectué une mesure de densité de tous les produits que nous avons utilisés à l'aide d'un pycnomètre à hélium, Les résultats sont regroupés dans le tableau II.1.

Tableau II.1 Densités des échantillons

Produits	Densité donnée par le pycnomètre	Référence	Unité
Ciment CAT	3.2300	3.22	g/cm ³
FL-52	1.4025	1.40	g/cm ³
R3	1.3100	1.36	g/cm ³

Les densités moyennes donnés par le pycnomètre sont acceptables comparés à ceux des références (fiches techniques Annexe II).

II.5 Caractérisation des eaux utilisées dans l'étude :

Dans notre étude on a expérimenté les deux additifs dans deux types d'eau ; une eau douce à laquelle on a ajouté du NaCl pour préparer le deuxième type d'eau dite salée, pour cela une caractérisation des eaux utilisées était importante.

Les analyses physico-chimiques des eaux utilisés ont été effectuée au niveau de département Analyse de la Direction Laboratoire et Carothèque Centrale (CRD) à Hassi Messaoud, Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous tableau II.2 :

Tableau II.2 Caractérisations des eaux utilisées.

Les Caractéristiques	L'eau douce	L'eau salée	Unité	L'appareil utilisé	Méthode d'analyse
La conductivité	7.4900	171.50	Ms/l	Conductimètre TDS	Mesure par sonde portative électrochimique
Turbidité	2.5600	58.800	NTU	Turbidimètre	
Salinité	4.3000	> 70	g/l	Conductimètre TDS	Mesure par sonde portative électrochimique
Chlorures (cl ⁻)	1897.66	42052	mg/l	Burette	Dosage par solution Ag ⁺
PH	7.7400	7.7500	mg/l	PH mètre	Mesure par sonde portative électrochimique

II.6 Contrôle de qualité du ciment G « CAT » par tests API :**II.6.1 1a définition du ciment G « CAT » :**

C'est un ciment class G HSR (High Sulfate Résistant) pour puits de pétrole, conforme à la norme API Spec .10A (American Petroleum Institute). Ce ciment est la solution idéale pour la construction de puits de pétrole, les pipelines, puits d'eau et travaux de consolidation des bases de soutien de la plate forme. Vue la complexité de l'application et les conditions extrêmes de température et pression, le ciment class G est caractérisé par la constance des besoins importants, comme le temps de début de prise, la haute résistance aux sulfates, la durabilité, la pompabilité, la faible viscosité, la tendance à ne pas se fragmenter et la résistance mécanique. [11]

II.6.2 Procédure de contrôle de qualité par tests API :

A l'arrivage de ciment destiné à notre étude au laboratoire, on a prélevé un échantillon de ciment pour formuler un laitier (Tableau II.3) afin d'effectuer une vérification de conformité par quatre tests API :

- Mesure de la densité du laitier (eau + ciment).
- Eau-libre.
- Le temps de prise à 52 °C
- Résistance à la compression à 60°C par UCA

Tableau II. 3 Formule du laitier pour le test de conformité du ciment CAT

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800.00	g
Eau distillée	365.21	g
D-42L	0.80	ml

Ces quantités sont calculées par la formule de densité de laitier et cela à l'aide d'un classeur Excel qui nous donne une feuille de travail (workheet) (exemple jointe on annexe IIV).

II.6. 3 Résultats des tests API :**II.6.3.1 La densité :**

Une fois le ciment gâché à l'eau, on obtient un laitier de ciment qui présente des caractéristiques spéciales adéquates à la cimentation des puits dont la densité, un laitier de ciment ordinaire doit avoir une densité comprise entre 1.78 et 1.98, et la valeur obtenue est de l'ordre de 1.88g/cm³ et cela est acceptable pour entamer d'autres tests.

II.6. 3.2 Eau libre :

Le résultat d'eau libre est présenté au tableau suivant (Tableau II.4) :

Tableau II.4 Résultats de test Eau libre

Teste	Temps de teste	La quantité d'eau (ml)
Eau libre	2h	2.9

Selon la norme API l'eau libre doit être comprise entre 0 et 3.5 millilitres, dans notre cas on a obtenu une valeur de 2.9, qui fait partie de l'intervalle de la norme API, donc le résultat obtenu est acceptable.

II.6. 3. 3 Le temps de pompabilité :

Les résultats du test sont représentés dans le tableau II.5, ces résultats ont été prélevés de la charte **1-a** donné par le consistomètre (voir en annexe IV) :

Tableau II.5 Résultats de temps de pompabilité

	A 40 UC	A 100 UC
Temps de pompabilité et de prise	1h 49min	2h15min

Selon la norme API le temps de prise de laitier à 40 UC est de 90 à 120 min donc la valeur obtenue est tolérable par rapport aux normes API.

II-6-3-4 La résistance à la compression :

Le tableau II.6 représente le résultat du test effectué par la méthode UCA, le résultat est relevé de la charte **1-b** (voir en annexe IV).

Tableau II.6 Résultats de test UCA

Temps	8h	24h
Résistance en PSI	1300	2500

Selon l'API, le ciment doit développer une résistance à la compression d'au moins 1200 psi pendant 24 heures, dans notre cas le résultat était très concluant en matière de résistance à la compression.

Conclusion 1 :

D'après les résultats des tests représentés précédemment ce ciment est conforme aux normes API donc il peut être utilisé pour des opérations de cimentation ainsi que pour notre étude.

II.7 L'étude de l'efficacité du FL-52 :

II.7-1 Définition Du FL-52 :

Le FL-52 est un des réducteurs de filtrat, il a comme rôle de réduire la perte d'eau du laitier par filtration dans les formations perméables ce qui risque de déclencher une prise prématurée. Figure 14

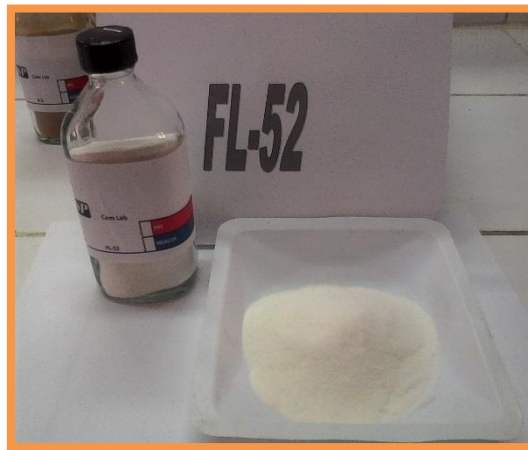


Figure 14 : Echantillon de FL-52

II.7.2 L'objectif à atteindre :

La fiche technique du FL-52 (voir en annexe II) reçue de la part du fournisseur indique que :

- ✓ Le produit peut être utilisé avec les températures jusqu'à 300 F (149°C) .
- ✓ Le FL-52 est compatible avec le NaCl .

Les tests effectués par la suite vont vérifier ces deux informations et vont aussi nous permettre de comparer l'efficacité du produit dans les deux systèmes de laitier (doux et salé).

II.7.3 Laitier et produits utilisé :

II.7.3.1 Laitier utilisé :

Un laitier ordinaire de densité 1.9 g/cm³.

II.7.3.2 Produits utilisé :

- **Ciment CAT**
- **D-42L** : anti-mousse utilisé pour éviter le désamorçage des pompes des unités de cimentation par la mousse de mixage.
- **NaCl** : ajouté à eau douce à 18% par poids d'eau pour la préparation du système salé.

II.7.4 Résultats tests dans un système de laitier doux :

Les quantités des produits utilisés dans chaque laitier sont calculées par la formule de densité du laitier à l'aide d'un classeur Excel qui nous donne une feuille de travail (workheet) (exemple jointe en annexe IIV)

II.7.4.1 Laitier à 0% de FL-52 :

Pour commencer on a fait un test de filtration pour le laitier a 0% de FL52, la formule du laitier est présenté dans le tableau II.7 et les résultats dans le tableau II.8 :

Tableau II. 7 Formule du laitier (0%de FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	365.21	g
D-42L	0.8	ml
FL-52	00	g

Tableau II.8 Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	0.5 min
Volume	70 ml
Filtrat	1084 ml/min

Les Paramètres rhéologique :

Afin de expérimenté l'effet du FL52 sur les paramètres rhéologique on a effectué une lecture des paramètres a l'aide du rhéomètre représenté dans le tableau II.9 :

Tableau II.9 Lecture donnée par Rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	30
R ₂₀₀	26
R ₁₀₀	25
R ₆	12
R ₃	9
G ₀ /G ₁₀	25/29
Viscosité Plastique	7.5 Cp
Yield	22.5 (Ibf/100ft ²)

II.7.4.2 Laitier à 0.5% de FL-52 :

La formule du deuxième laitier de 0.5% de FL52 est présenté dans le tableau II.10 et les résultats dans le tableau II.11 :

Tableau II.10 Formule de laitier (0.5%FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800.0	g
Eau	363.63	g
D-42L	0.80	ml
FL-52	4	g

Tableau II.11 Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	6 min
Volume	86 ml
Filtrat	384.58 ml/min

Les Paramètres rhéologique :

La lecture des paramètres rhéologique pour ce laitier est représentée dans le tableau II.12 :

Tableau 12 : Lectures donnée par Rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	45
R ₂₀₀	39
R ₁₀₀	31
R ₆	22
R ₃	19
G ₀ /C ₁₀	25/28
Viscosité Plastique	21 Cp
Yield	24 (Ibf/100ft ²)

En comparant au résultat obtenu pour le laitier (0 % FL-52) on remarque que le filtrat a diminué, ainsi que les paramètres rhéologiques du laitier ont augmentés.

II.7.4.3 Laitier à 1 % de FL-52 :

On a augmenté la concentration du FL52 de 0.5 % à 1% le tableau (II.13) représente la formule du laitier et le tableau (II.14) contient les résultats de test de filtrat :

Tableau II.13 Formule de laitier (1%FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800.00	g
Eau	362.04	g
D-42L	0.80	ml
Fl.-52	8.00	g

Tableau II.14 Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	13 min
Volume	86 ml
Filtrat	216.27 ml/min

Les Paramètres rhéologiques :

La lecture des paramètres rhéologique de ce laitier est présentée dans le tableau(II.15)

Tableau II.15 Lecteur donnée par Rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	73
R ₂₀₀	56
R ₁₀₀	38
R ₆	12
R ₃	10
G ₀ /G ₁₀	9/23
Viscosité Plastique	52.5 Cp
Yield	20.5 (Ibf/100ft ²)

II.7.4.4 Laitier à 2 % de FL-52 :

On a augmenté la concentration du FL-52 jusqu'à 2% le tableau (II.16) représente la formule du laitier et le tableau (II.17) les résultats du test de filtration :

Tableau II.16 Formule du laitier (2%FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800.00	g
Eau	358.86	g
D-42L	0.80	ml
FL-52	16.00	g

Tableau II.17 Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	30 min
Volume	27ml
Filtrat	54 ml/min

On remarque une diminution du filtrat de **216.57** ml/min à **54** ml/min par l'augmentation de concentration du FL-52 de **8g** à **16g**.

Les Paramètres rhéologiques :

Le tableau (II.18) contient la lecture des paramètres rhéologique pour le laitier à 2% de FL-52.

Tableau II.18 : Lecteur donnée par Rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	262
R ₂₀₀	195
R ₁₀₀	119
R ₆	12
R ₃	12
G ₀ /G ₁₀	12/15
Viscosité Plastique	214.5 Cp
Yield	47.5 (Ibf/100ft ²)

Tous les résultats obtenus précédemment sont représentés dans les figures suivantes : La variation de la viscosité plastique dans les quatre laitiers est exposée dans la figure 15, le changement de la yield value en fonction de la concentration de FL-52 est montré dans la figure 16, tandis que la figure 17 représente la variation du filtrat en fonction de la concentration du FL-52.

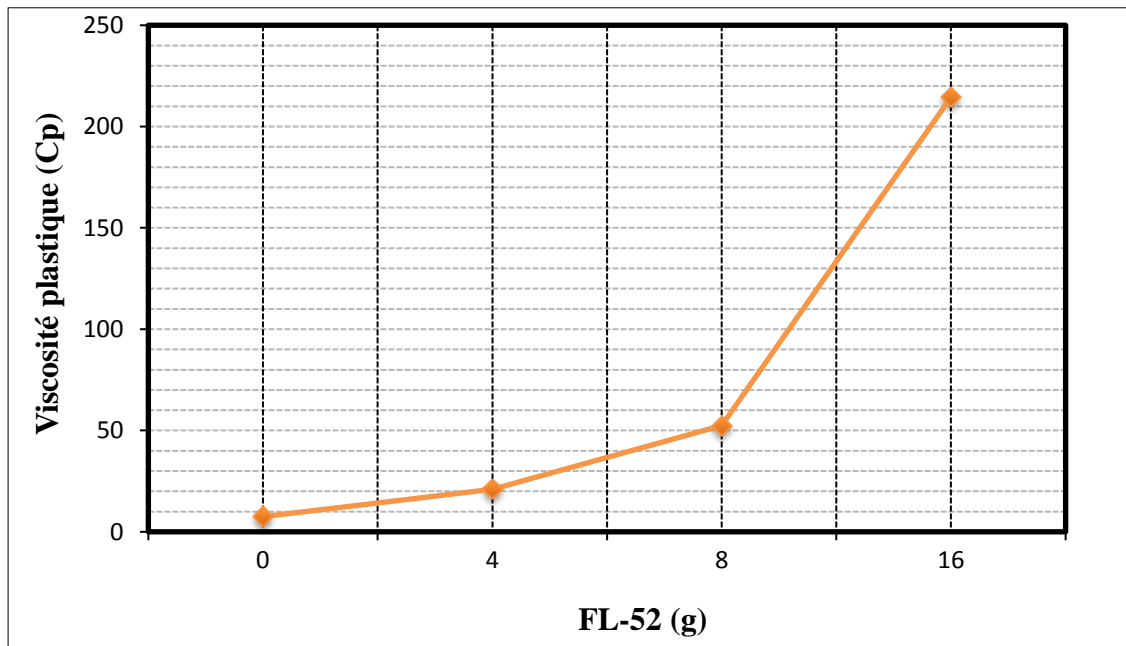


Figure 15 : La variation de viscosité plastique (V_p) en fonction de la concentration de FL-52 dans le système de laitier doux.

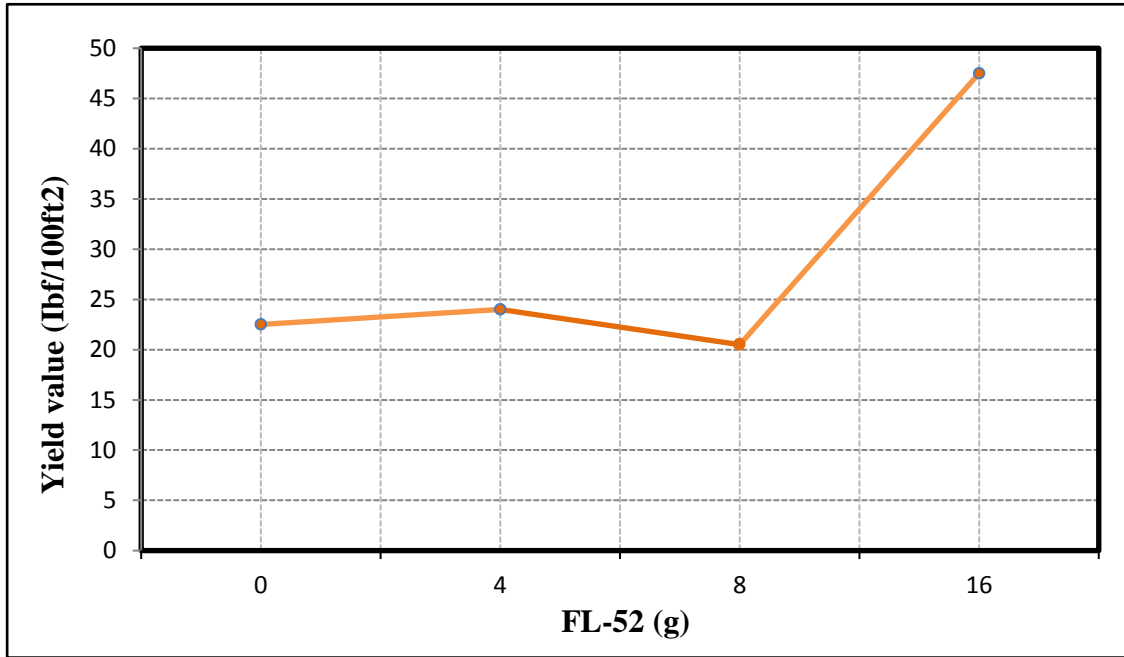


Figure 16 : La variation de yield value en fonction de la concentration de FL-52 dans le système de laitier doux

Les figures 15 et 16 dévoilent que le FL-52 a un effet sur les paramètres rhéologiques d'un système doux car les valeurs de la viscosité plastique et de la yield varient à chaque augmentation de concentration.

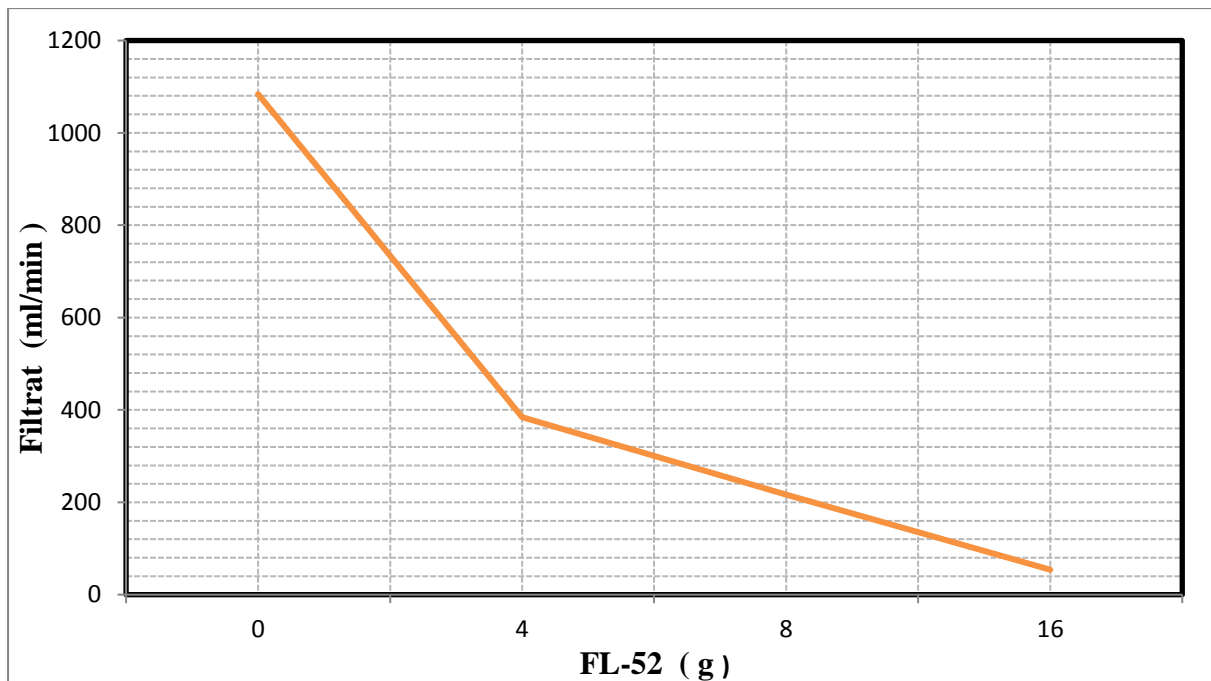


Figure 17 : La variation de filtrat en fonction de la concentration de FL-52 dans le système de laitier doux

Conclusion 2 :

Les résultats montrent que l'additif FL-52 joue son rôle de réducteur de filtrat et présente un comportement cohérent puisque le filtrat diminue avec l'augmentation de la concentration, Le produit peut être utilisé pour les opérations de cimentation, ainsi les paramètres rhéologique ont présentés une sensibilité vis-à-vis de l'ajout de cet additif.

II.7.5 Résultats tests dans le système de laitier salé (18% de NaCl) :

II.7.5.1 Laitier à 0% de FL-52:

Le tableau (II.19) présente la formule du laitier à 0% de FL-52 et 18% de NaCl, les résultats de test de filtration sont présentés dans le tableau (II.20) :

Tableau II.19 : Formule de laitier (0%FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	392.44	g
NaCl	70.64	g
D-42L	0.8	ml
FL-52	00	g

Tableau II.20: Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	05 min
Volume	90ml
Filtrat	1394 ml/min

Les Paramètres rhéologiques :

Le tableau (II.21) présente la lecture des paramètres rhéologique pour le laitier à 0% de FL-52 et 18% de NaCl :

Tableau II.21 : Lecteur donnée par Rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	30
R ₂₀₀	26
R ₁₀₀	25
R ₆	12
R ₃	9
G ₀ /G ₁₀	1/5
Viscosité Plastique	6 Cp
Yield	4 (Ibf/100ft ²)

II.7.5.2 Laitier à 0.5% de FL-52 :

Le tableau (II.22) présente la formule du laitier à 0.5% de FL-52 et 18% de NaCl, les résultats de test de filtration sont présentés dans le tableau (II.23)

Tableau II.22 : Formule de laitier (0.5%FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800.0	g
Eau	390.73	g
NaCl	70.33	g
D-42L	0.80	ml
FL-52	4	g

Tableau II.23 : Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	2 min
Volume	115 ml
Filtrat	890.74 ml/min

Les Paramètres rhéologiques :

Le tableau(II.24) présente la lecture des paramètres rhéologique pour le laitier à 0.5 % de FL-52 et 18% de NaCl :

Tableau II.24 : Lecteur donnée par Rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	12
R ₂₀₀	9
R ₁₀₀	5
R ₆	2
R ₃	1
G ₀ /G ₁₀	2/6
Viscosité Plastique	10.5 Cp
Yield	1.5 (Ibf/100ft ²)

II.7.5.3 Laitier à 01% de FL-52:

On a augmenté la concentration du FL-52 de 0.5 % à 1% le tableau (II.25) représente la formule du laitier et le tableau (II.26) contient les résultats de test de filtrat :

Tableau II.25 : Formule de laitier (1%FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800.00	g
Eau	389.03	g
NaCl	70.03	g
D-42L	0.80	ml
Fl.-52	8.00	g

Tableau II.26 : Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	4 min
Volume	105 ml
Filtrat	575.085 ml/min

Les Paramètres rhéologiques :

Le tableau (II.27) ci de-sous présente la lecture des paramètres rhéologique pour le laitier à 1% de FL-52 et 18% de NaCl :

Tableau II.27 : Lecteur donnée par Rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	32

R ₂₀₀	18
R ₁₀₀	14
R ₆	5
R ₃	3
G ₀ /G ₁₀	4/8
Viscosité Plastique	27 Cp
Yield	5 (Ibf/100ft ²)

Comparant au résultat obtenu pour le laitier (0 %FL-52) on remarque que le filtrat a diminué donc le FL-52 apparait efficace, aussi on remarque un changement dans les lectures des paramètres rhéologique.

II.7.5.4 Laitier à 2% de FL-52:

On a augmenté la concentration du FL-52 jusqu'à 2% le tableau représente (II.28) la formule du laitier et le tableau (II.29) contient les résultats du test de filtration :

Tableau II.28 : Formule de laitier (2%FL-52)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800.00	g
Eau	385.62	g
NaCl	69.41	g
D-42L	0.80	ml
Fl.-52	16.00	g

Tableau II.29 : Résultat de test de filtrat

Température	75 °C
Temps	30 min
Volume	56 ml
Filtrat	112 ml/min

Les Paramètres rhéologiques :

La lecture des paramètres rhéologique de ce laitier est présentée dans le tableau (II.30)

Tableau II.30 : Leteur donnée par rhéomètre

Vitesse de rotation en Tour/Min	Lecture en Ibf/100ft ²
R ₃₀₀	171
R ₂₀₀	122
R ₁₀₀	75
R ₆	11
R ₃	7
G ₀ /G ₁₀	7/9
Viscosité Plastique	144 Cp
Yield	27 (Ibf/100ft ²)

La réalisation de plusieurs tests de filtrations pour des différentes concentrations du produits nous a permis d’acquérir des valeurs différentes présentés comme suite : la variation de la viscosité plastique dans les quatre laitiers est exposée dans la figure 18, le changement de la yield value en fonction de la concentration de FL-52 est montrée dans la figure19, tandis que la figure 20 représente la variation du filtrat en fonction de la concentration du FL-52.

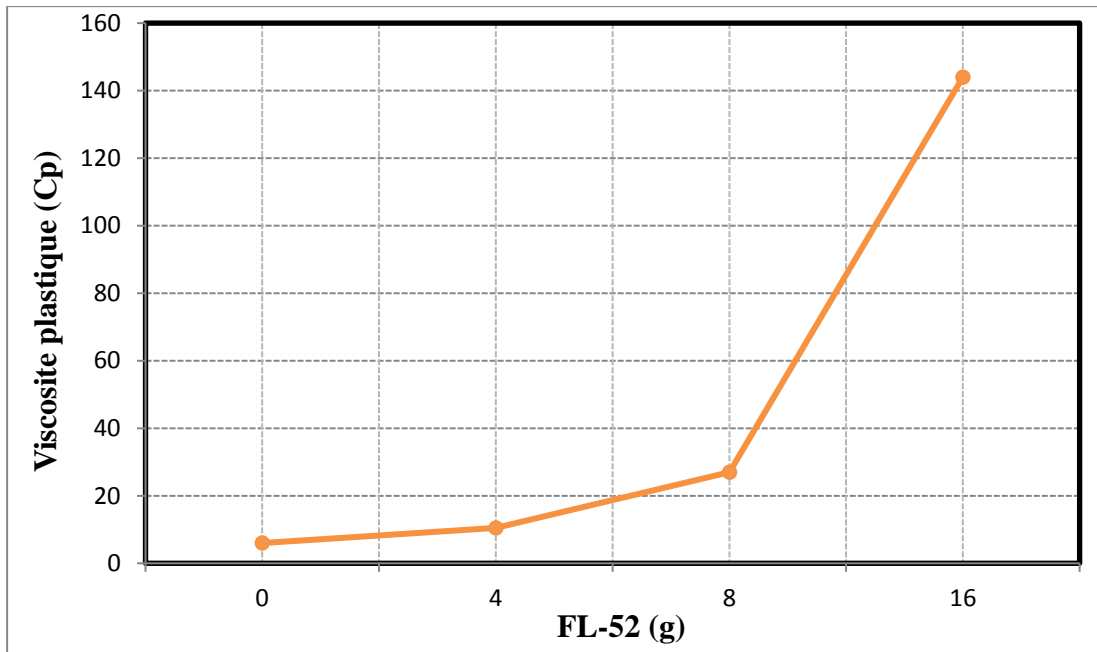


Figure 18 : La variation de viscosité plastique en fonction de concentration FL-52 dans le système de laitier salé

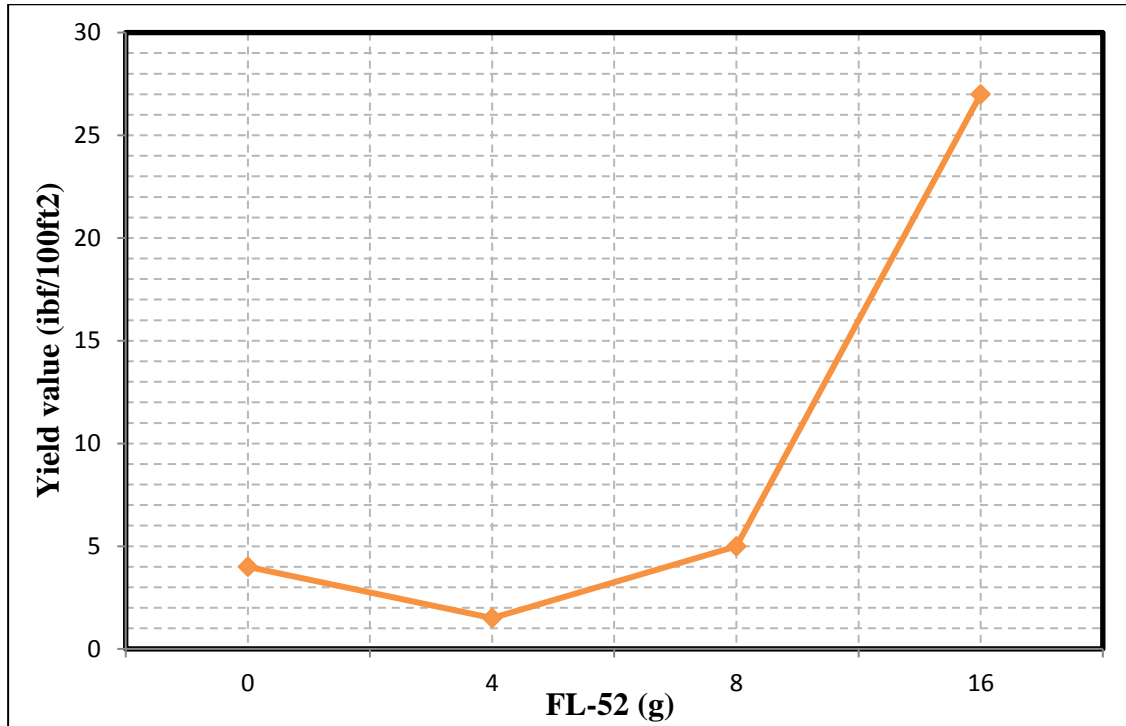


Figure 19 : La variation de yield value en fonction de concentration FL-52 dans le système de laitier salé

Les figures 18 et 19 dévoilent que le FL-52 a un effet sur les paramètres rhéologiques d'un système doux car les valeurs de la viscosité plastique et de la yield varient à chaque augmentation de concentration.

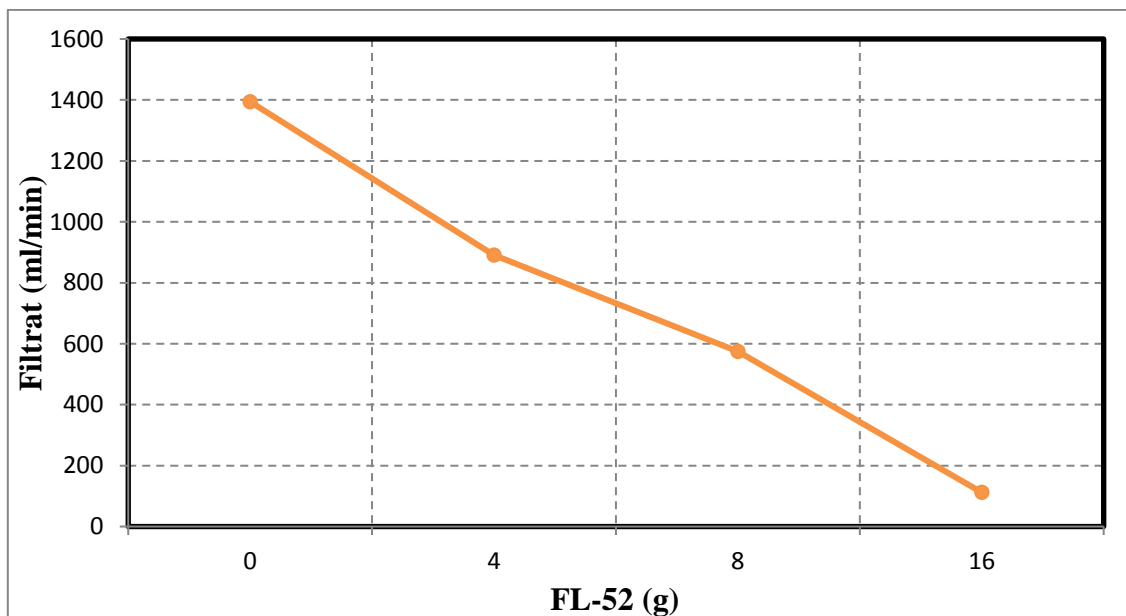


Figure 20 : La variation de filtrats en fonction de concentration FL-52 dans le système de laitier salé

D'après les résultats obtenus et représentés dans la figure 20, on constate que avec l'augmentation de concentration de FL-52 le filtrat se diminue.

Conclusion 3 :

Les résultats montrent que l'additif FL-52 joue son rôle de réducteur de filtrat dans le système de laitier salé à 18% de sel, l'augmentation de la concentration de cet additif et inversement proportionnel au filtrat obtenu, on constate aussi que l'utilisation de cet additif dans les systèmes de laitiers de ciment salés est vérifiée.

II.8 Comparaison entre l'efficacité de FL-52 dans les deux systèmes de laitier (salé et doux) :

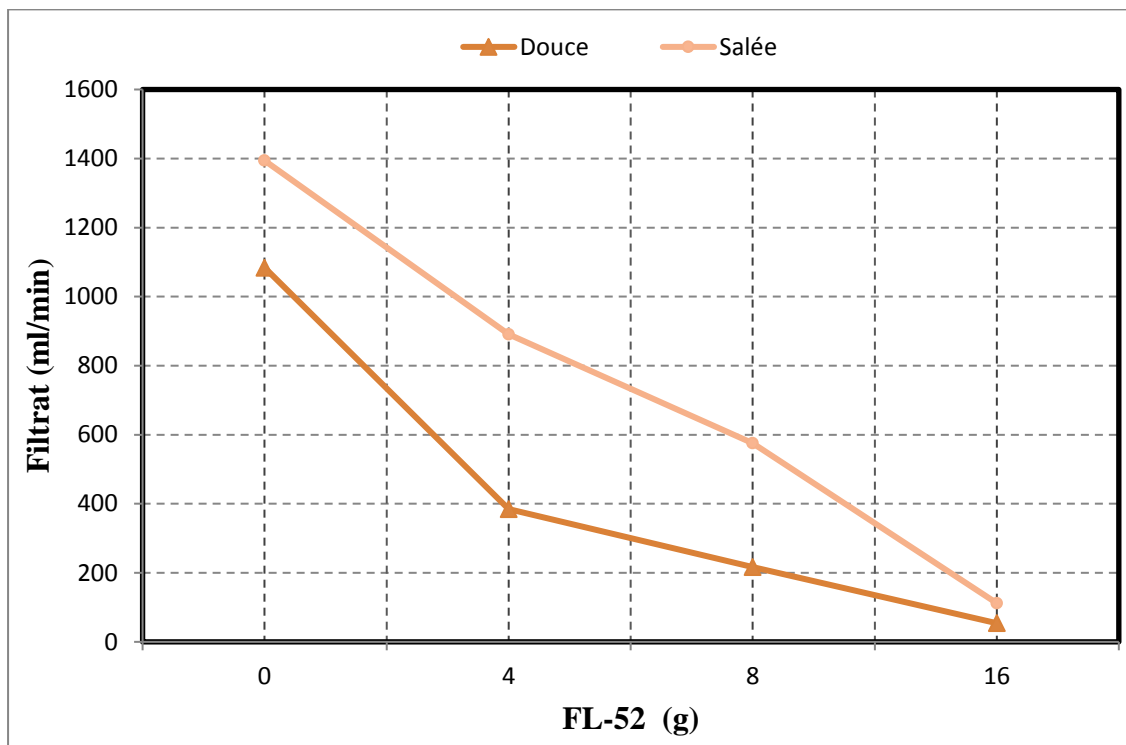


Figure 21 : La variation de filtrats en fonction de concentration FL-52 dans les deux systèmes de laitier (doux et salé)

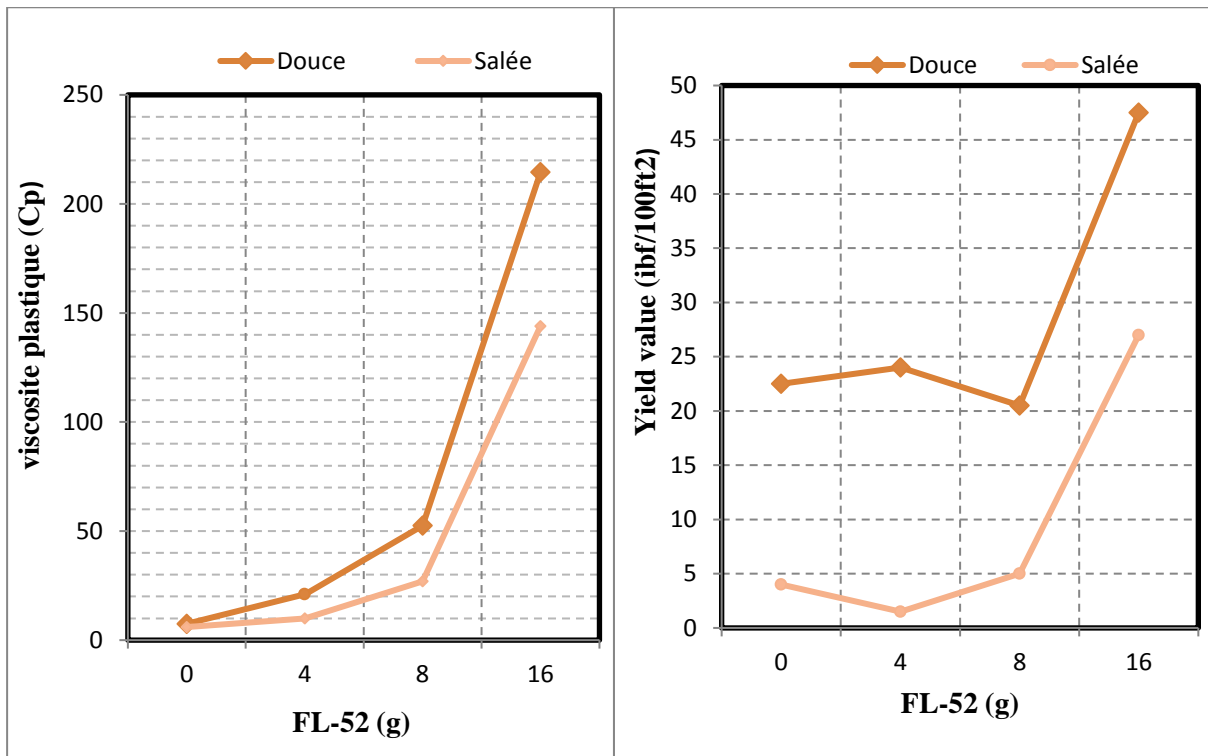


Figure 22 : La variation de viscosité plastique et yield en fonction de concentration FL-52 dans les deux systèmes de laitier (salé et doux)

Conclusion 4 :

En comparant l’effet du FL-52 sur les deux systèmes de laitier (doux et salé) nous remarquons que son utilisation dans le laitier gâché avec l’eau douce est plus favorable que l’eau salée.

II.9 L’étude de l’efficacité du R3 :

II.9.1 Définition du R3 :

Le R3 est un retardateur de prise son rôle est d’ajuster le temps de prise de ciment afin d’assurer la mise en place du laitier durant l’opération de cimentation, c’est une poudre marron d’une odeur piquante. Figure 23



Figure 23 : Echantillon de R3

II.9.2 L'objectif à atteindre :

La fiche technique du R3 [voir en annexe II] reçus de la part du fournisseur indique que :

- ✓ Le produit peut être utilisé avec les températures jusqu'à 240 F (115°C).
- ✓ Le R3 est compatible avec la plupart des additifs de cimentation mais ne mentionne pas s'il est compatible avec le NaCl .

Les tests effectués par la suite vont permettre de :

- Vérifier l'efficacité du produit a une température de 75°C.
- Expérimenter sa compatibilité avec le NaCl.
- Comparer son efficacité dans les deux systèmes de laitier (salé et doux).

II.9.3 Laitier et produits utilisés :

II.9.3.1 Laitier utilisé :

Un laitier ordinaire de densité 1.9 g/cm³.

II.9.3.2.Produits utilisés :

- **Ciment CAT.**
- **DL-42** anti mousse.
- **NaCl**: le **NaCl (A5)** est utilisé comme additif de cimentation en fonction de la concentration ; De 2 à 10 % comme accélérateur de 19 à 37 % comme retardateur.[12]
- On a fixé la concentration de 18% en sel pour que le NaCl sera en phase neutre et qu'il n'affecte pas sur le temps de prise ainsi l'efficacité du R3 sera facilement vérifier.

II.9.4 Résultats test dans le système de laitier doux :

II.9.4.1 Formulations des échantillons :

Pour effectuer cette étude nous avons procédé a des tests de thickening time où on a augmenté la concentration du R3 a chaque test de 0% à 0.8%, les formules des laitiers sont dévoilées dans les tableaux (II.31-II.32-II.33-II.34) :

Tableau II.31 : Formule du laitier (0%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	363.59	g
D-42L	0.8	ml
R3	0	g

Tableau II.32 : Formule du laitier (0.2%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	364.51	g
D-42L	0.8	ml
R3	1.6	g

Tableau II.33 : Formule du laitier (0.5%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	361	g
D-42L	0.8	ml
R3	4	g

Tableau II.34 : Formule du laitier (0.8%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	360.77	g
D-42L	0.8	ml
R3	6.40	g

II.9.4.2 Résultats des tests :

Ces résultats (tableau II-35) ont été prélevé des chartes 2, 3, 4,5 donnés par le consistometre (voir en annexe (IV) :

Tableau II.35 : Résultats de temps de pompabilité et de prise

Quantité de R3 (g)	La consistance du laitier	
	A 40 UC	A 100 UC
00.00	1h30min	2h
01.60	6h20min	6h45min
04.80	11h25min	11h50min
06.40	17h25min	17h50min

La figure 24 montre que le temps de prise augmente par l'augmentation de la concentration du R3.

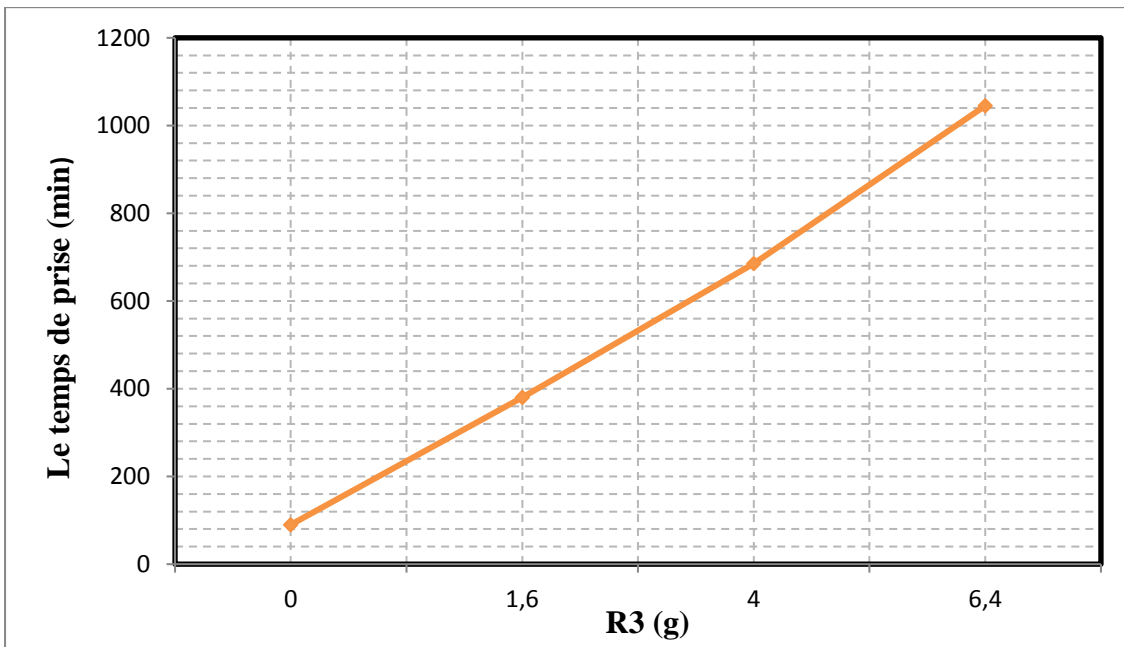


Figure 24 : La variation de temps de prise en fonction de concentration R3 dans le système de laitier doux.

Conclusion 5 :

On distingue une augmentation de temps de prise à chaque augmentation de concentration de R3, donc on peut conclure que le R3 fait son rôle de retardateur dans le système de laitier doux.

II.9.5 Résultats test dans le système de laitier salé :**II.9.5.1 Formulations des échantillons :**

Par la même procédure de tests réalisée pour le système doux des tests de thickening time sont effectués pour le système salé où on a augmenté la concentration du R3 à chaque test de 0% à 0.8%, les formules des laitiers sont dévoilées dans les tableaux (II.36-II.37-II.38-II.39) :

Tableau II.36 : Formule du laitier (0%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	390.70	g
NaCl	70.33	g
D-42L	0.8	ml
R3	00	g

Tableau II.37 : Formule du laitier (0.2%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	391.68	g
NaCl	70.50	g
D-42L	0.8	ml
R3	1.60	g

Tableau II.38 : Formule du laitier (0.5%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	388.80	g
NaCl	69.98	g
D-42L	0.8	ml
R3	4.8	g

Tableau II.39 : Formule du laitier (0.8%R3)

Produits	Quantité	Unité
Ciment CAT	800	g
Eau	387.66	g
NaCl	69.78	g
D-42L	0.8	ml
R3	6.4	g

II.9.5.2 Résultats tests :

Ces résultats (tableau II-40) ont été prélevés des chartes 6, 7, 8,9 donné par le consistomètre (voir en annexe IV).

Tableau II.40 : Résultats de temps de pompabilité et de prise

Quantité de R3 (g)	Consistance de laitier	
	A 40 UC	A 100 UC
00.00	1h35min	2h
01.60	7h05min	7h30min
04.80	12h15min	12h40min
06.40	17h40min	18h

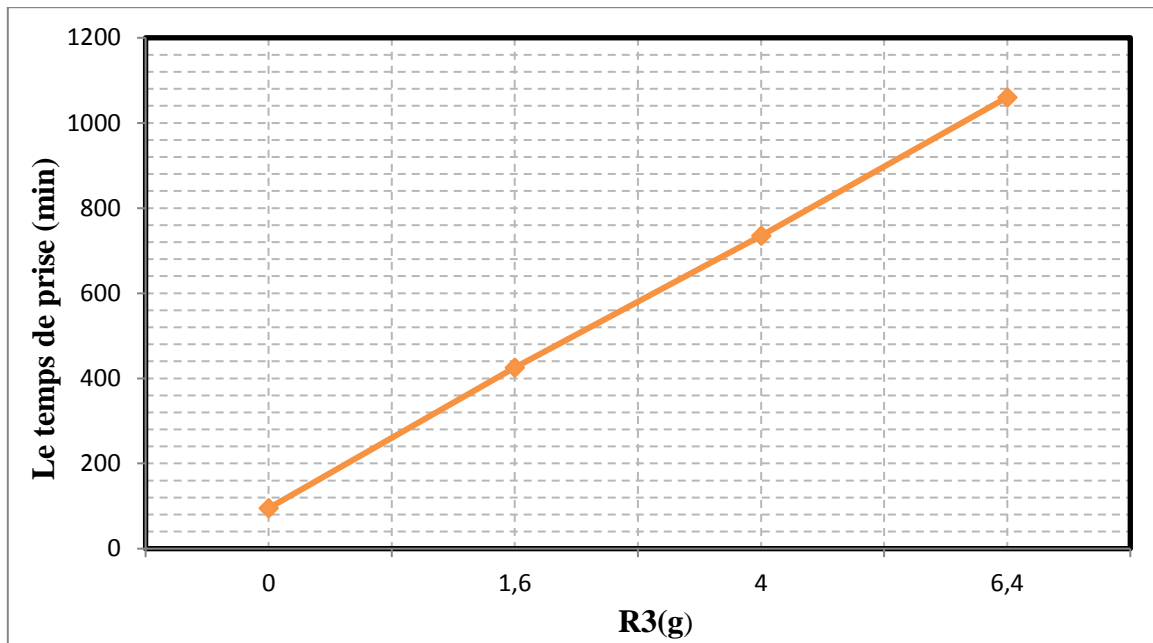


Figure 25 : la variation de temps de prise en fonction de concentration R3 dans le système de laitier salé.

La courbe 10 montre que le temps de prise augmente avec l'augmentation de la concentration du R3.

Conclusion 6 :

Le temps de prise augmente par augmentation de la concentration du R3 et par ceci la compatibilité de cet additif est approuvé avec les laitier qui contient du NaCl, les deux additifs peuvent être utilisés simultanément.

II.10 Comparaison entre l'efficacité de R3 dans les deux systèmes de laitier (doux et salé):

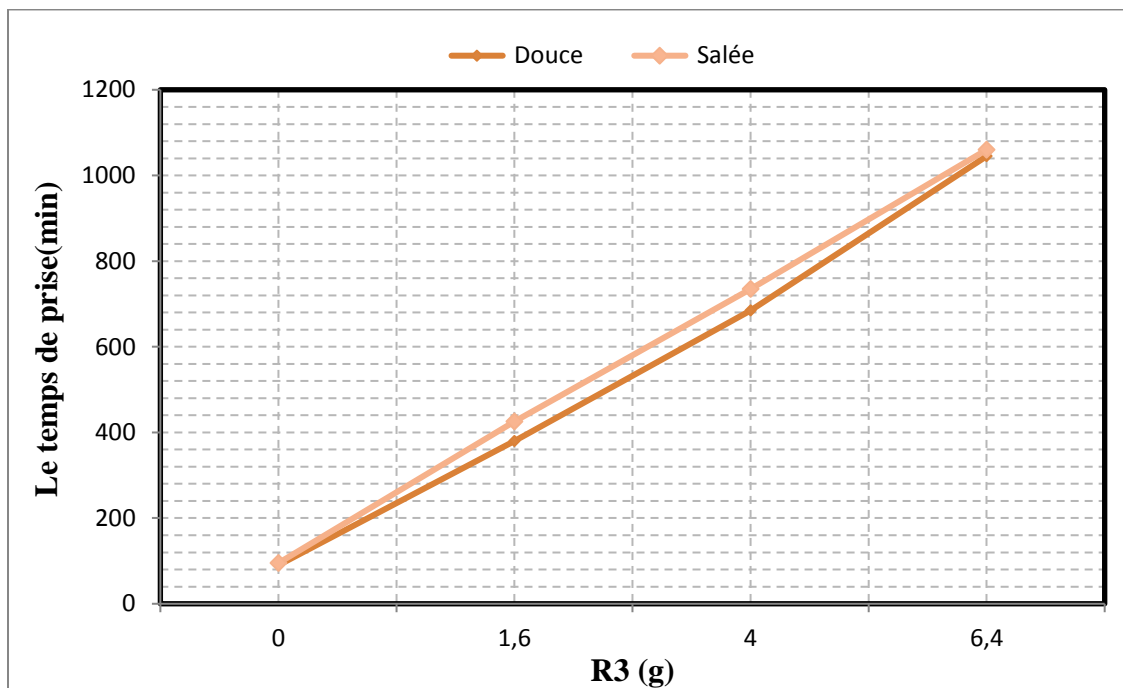


Figure 26 : La variation de temps de prise en fonction de concentration R3 dans les deux systèmes de laitier (doux et salé).

Conclusion 7:

L'efficacité du R3 à 75°C est vérifiée, le R3 est compatible avec le NaCl à 18%. La présence du NaCl dans le système de laitier salé à prolonger la prise de quelques minutes qu'on pourra juger négligeable.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Depuis plus de cinquante ans, les ciments sont largement utilisés dans les sondages pétroliers, pendant la formulation du laitier de ciment les additifs jouent un rôle primordial, ces derniers doivent être efficaces et compatibles avec les autres additifs, pour cela le contrôle de l'efficacité est une étape nécessaire dans un laboratoire de cimentation et cela avant leur usage au niveau opérationnel sur chantier.

Dans ce mémoire on a mis en place une procédure de contrôle de l'efficacité de deux additifs utilisés pour la préparation de laitiers de cimentation pétrolier cela au niveau de la société BJSP dans des conditions réelles de leur usage, Nous nous sommes focalisés sur la vérification des informations mentionnées sur leurs fiches techniques, pour le réducteur de filtrat (FL-52) la fiche technique indique que le produit peut être utilisé à une température jusqu'à 300 F (149°C) et qu'il est compatible avec le NaCl, nous l'avons expérimenté à une température de 75°C dans deux systèmes de laitier doux et salé de densité 1.9g/cm³, la fiche technique du retardateur de prise (R3) mentionne que le produit peut être utilisé jusqu'à la température de 240 F (115°C) et ne mentionne pas une compatibilité avec le NaCl, nous l'avons donc expérimenté à 75°C dans deux systèmes de laitier doux et salé de densité 1.9 g/cm³, pour chaque système on a effectué quatre tests en augmentant la quantité du produit à chaque fois.

Avant d'entamer notre étude nous avons effectué un contrôle de qualité du ciment (CAT) class G destiné à notre étude selon les normes API, ce contrôle comporte quatre tests ; mesure de la densité du laitier de ciment à l'aide d'un pycnomètre à hélium, test d'eau libre, test de temps de prise à 52 °C réalisé à l'aide d'un Consistomètre pressurisé (HTHP) et en dernier un test de résistance à la compression à 60°C par la méthode UCA. Ces tests étaient concluants le ciment correspond aux normes API, donc il pouvait être utilisé pour des opérations de cimentation ainsi que pour notre étude.

Par rapport à la procédure de contrôle de l'efficacité des deux additifs les tests effectués étaient significatifs et concluants, les deux additifs peuvent être utilisés sans risque d'inefficacité et incompatibilité dans les deux milieux d'eaux douce et salée à 18% pour formuler des laitiers de ciment, il est important de mentionner que le NaCl qui s'avère être compatible avec les deux additifs a un effet défavorable sur l'efficacité du réducteur de filtrat du fait qu'il diminue son efficacité.

Conclusion générale

Recommandations :

- Faire des tests à plusieurs températures comprises dans la plage d'utilisation écrite sur la fiche technique.
- Vérifier leur compatibilité avec d'autres additifs susceptibles d'influer sur leur efficacité.
- Tester les additifs sur différent design pour déduire leur usage favorable.
- Faire les tests à l'arrivé des produits et aussi à l'approche de la date de péremption.
- Cette procédure pourrait être étendu par l'étude de la qualité d'eau utilisé et de voir comment on pourrait changer les caractéristiques d'eau notamment (le ph et la dureté) afin d'optimiser la concentration des additifs utilisés en cimentation, cela pourrait être un outil d'aide à la décision.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] ENSPM ,Module laitier et ciments ,Cours formation industrie, IFP 2008
- [2] BENSALAH RANDA., « l'effet des eaux chlorurés calciques prevannat des Lias Id2 sur la qualité de la cimentation, mémoire de magister.2007/2008.Université Kasdi Merbah Ouargla. PP. 40-52.
- [3] Jean-Paul NGUYEN, « Techniques d'exploitation pétrolière le forage », ouvrage , 1993,Paris.
- [4] A. SLIMANI et M. DADDOU, « Module M1 FORMATION JDF », DIVISION FORAGE Département Formation, Mars 2004.PP 48-49
- [5] Messenger, J. Lost Circulation, “A Practical Approach to Preventing, Assessing, and Solving Lost Circulation Problems”. Penn-Well Publishing Co., Tulsa, OK.(1981).
- [6] BOUZIANI TAYEB , « Caractérisation physico-mécanique des ciments allèges a base de matériaux locaux, en vue de leur utilisation dans la cimentation des puits de pétrole dans les zones salifères »,Mémoire de Magister ..2001-2002. Université M'hamed Bougara- Boumerdes .PP 18-19
- [7] Norme American Petroleum Institute.(API) specification 10 twenty-third edition April 2002.
- [8] SOUMIA BECHAR, « Formulation d'un laitier de ciment pour un puits HPHT » ,Memoire fin d'etude Master Université Kasdi Merbah Ouargla 2011/2012.PP 16
- [9] M.CHAIBI , contribution au développement d'un nouveau laitier allégé aux microsphères dans le cas d'une cimentation d'un tubage intermédiaire.IUT DE Marseille France 2011.
- [10] BERNARD PIOT, cimentation des puits évolution de la technologie., Schlumberger, Avril 2002 AFTP/SPE.
- [11] BJ Services Company , Fiche technique de ciment CAT. Cementing Engineering Support manual 2011,n__.
- [12] BJ Services Company .Fiche technique de NaCl (A-5) , Cementing Engineering , Support manual 2011.

