



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة  
Université Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des mines

قسم المناجم والجيوتكنولوجيا

Département des mines et de la géotechnologie



## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de

Master académique Filière : Génie minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales.

# *Étude comparative entre un ciment à composition classique et un ciment au laitier*

Présenté et soutenu par

SEDDIKI Abdelwahhab

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président:	KRIM Manbsour	MAA	Université Larbi Tebessi-Tébessa
Encadreur:	BOUZENZANA Abdellali	MCA	Université Larbi Tebessi-Tébessa
Examineur:	LARABA Mohamed	MAA	Université Larbi Tebessi-Tébessa
Examineur:	AMIRECH Abdelkrim	MCB	Université Larbi Tebessi-Tébessa

Promotion 2021-2022

## **Dédicace:**

*Je dédie ce modeste travail :  
A mes chers parents*

*Je souhaite à mon père une  
bonne santé et je demande à Dieu  
d'avoir pitié de **MA MERE**,*

*A ma femme bien-aimée et à toute ma  
famille*

*A mes professeurs respectés et à toute  
la famille de l'Institut des Mines*

*A mes amis proches : **ZOKA - RAMY -  
ROKHO - BASTA -***

*Mes collègues et camarades de classe :  
**OUSSAMA-AMINE-KARIMA TAKOUA-  
ALA***

*Mes amis de stage : **BAZI-REZAK-  
YAZID-YASSMINE-LINDA-AMMI ALI-  
ZOBIR-ANES-NASSIM-IBRAHIM-** et  
toute la famille **SCS GICA***

*Mes collègues au boulot  
Et tous ceux qui m'ont aidé de près ou  
de loin.*

**SEDDIKI  
A. WAHHAB**



## **Remerciement:**

Tout d'abord, je voudrais remercier DIEU mon Seigneur miséricordieux,  
Pour me donner la santé, la volonté et la patience d'accomplir ce travail.  
Je remercie Monsieur **Bouzenana Abdellali** de m'avoir encadré, qui a toujours  
été un modèle au sein de la Division Mines

Je remercie M. **Karim Mansour** pour ses conseils et pour son intérêt constant  
envers les étudiants des mines. Que Dieu lui accorde la santé. Je tiens à  
remercier M. **Awati Morad Salim**, M. **Larabeh Mohamad**, M. **Ben Ziat  
Hamza**, M. **Amirech AbdlKarim**, et l'ensemble du personnel de l'Institut des  
Mines, notamment le Dr **Aoulmi Zoubir**

Pour leurs conseils, leur soutien et leur gentillesse.

Je remercie les membres du jury : Monsieur le Président  
et l'examineur pour avoir accepté une évaluation pratique,  
Ainsi que tous les employés de l'Institut des mines

Je tiens à remercier tous les ingénieurs et techniciens de la Cimenterie Sigus.  
Surtout Rezzak, BAZI, Yassmin, Linda, Ammi Ali, Yazid qui m'a aidé tout au  
long de la période de Stage.

Je tiens à remercier les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la  
réalisation de cette thèse.

Un merci spécial à ma famille,  
Ce travail n'aurait pas été possible sans votre soutien.

*Merci* →

**SEDDIKI  
A. WAHHAB**

# Sommaire

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

Résumé.

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Problématique</b> .....	3
<b>CHAPITRE I: SOCIETE DES CIMENTS DE SIGUS-SCS ET FABRICATION DU CIMENT</b>	
I-Introduction .....	3
I-1-Présentation de la Société des Ciments de SIGUS-SCS .....	6
1-1-Situation Géographique .....	7
1-2-Infrastructure Environnement et accès au site .....	8
I-2-Les gisements des matières premières .....	9
2-1-Gisement du calcaire « DJEBEL FORTAS ».....	9
A-Situation géographique .....	9
B- Géologie du gisement.....	9
C- Méthode d'exploitation .....	9
D- Hauteur du gradin .....	10
C- La largeur de la plateforme du travail .....	10
D- Travaux de forage et tire .....	10
E- Chargement et transport .....	10
2-2-Gisement d'argile « KOUDIET BIROU».....	11
A-Situation géographique .....	11
B- Géologie du gisement.....	11
C- Méthode d'exploitation .....	11
2-3- Situation du Gisement de gypse des Lacs .....	12
2-4- Situation du Gisement de Sable de « B'HIR EL CHERGUI» .....	12
2-5- Situation du Gisement de Tuf « CHETAIBI-ANNABA».....	13
2-6- Situation du Gisement de Minerai de fer « EL OUENZA» .....	13
I-3- Fabrication du ciment à la SCS .....	13

3-1- Atelier de Concassage .....	13
3-2- Hall Pré-homogénéisation .....	15
3-3- Hall de Stockage des ajouts .....	15
3-4- Atelier du cru .....	16
3-5- Homogénéisation .....	17
3-6- Atelier de cuisson .....	17
3-7- Atelier du ciment .....	19
A- Broyage ciment et Dosage .....	19
3-8- Atelier expédition .....	20
A-Silos ciment.....	20
B- Expédition Sacs.....	20
C- Expédition Vrac.....	20
I-4- Types de ciments produits à la cimenterie SCS .....	21
I-5- Conclusion.....	21
<b>CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES DU CIMENT ET SES COMPOSANTS</b>	
II-Introduction .....	42
II-1- Ciments et ses composants.....	24
1-1- Le clinker.....	24
A- Le silicate tricalcique ou Alite (C3S).....	24
B- Le silicate bicalcique ou Bélite (C2S).....	24
C- L'aluminate tricalcique ou Celite (C3A).....	24
D- L'alumino-ferrique tétracalcique ou Félite (C4AF).....	25
1-2- Le sulfate de calcium (CaSO <sub>4</sub> ).....	25
1-3- Les ajouts minéraux.....	25
1-4- Ajouts naturels.....	25
A- Les fillers.....	25
B- Les calcaires.....	26
C- La pouzzolane naturelle .....	26
D- Laitier de haut fourneau .....	26
1-5- Le Ciment au laitier .....	27
A- Propriétés du ciment de laitier.....	28
II-2 Conclusion.....	29
<b>CHAPITRE III: MATERIELS ET METHODES</b>	
III - Introduction.....	30
III-1- Choix et préparation des échantillons.....	30
III-2- Essais chimiques.....	30

2-1-Détermination de la perte au feu.....	30
2-2-Détermination de la chaux libre.....	31
2-3-Détermination du pourcentage de SO <sub>3</sub> .....	32
2-4-Spectrométrie de fluorescence.....	33
A- Analyse du clinker .....	33
B- Analyse du laitier .....	35
C- Analyse du ciment.....	36
III-3- Essais Physiques .....	37
3-1- Détermination du pourcentage des refus .....	37
3-2- Mesure de la surface spécifique par la méthode BlaineI.....	37
3-3- Masse volumique apparente .....	38
3-4- Masse volumique absolue.....	39
3-5- Détermination de la consistance normale.....	39
3-6- Essais de prise.....	40
3-7- Détermination de la stabilité (expansion).....	41
III-4- Essais Mécaniques.....	42
4-1- Préparation des mortiers .....	42
4-2- Préparation des éprouvettes .....	43
A- Moulage des éprouvettes.....	43
B- Démoulage des éprouvettes.....	44
C- Conservation des éprouvettes dans l'eau .....	44
III-5-Essais des résistances mécaniques.....	45
5-1- Résistance à la flexion .....	45
5-1- Résistance à la compression .....	45
III-6-Conclusion.....	46
<b>CHAPITRE IV : RESULTATS ET INTERPRETATIONS</b>	
Introduction .....	48
IV-1- Analyse Chimique .....	48
1-1- Matières premières .....	48
1-2- Mélange cru .....	50
1-3- Clinker .....	51
1-4- Gypse.....	52
1-5- Ciment .....	53
IV-2- Essais physiques .....	53
2-1-Finesse des poudres de ciment .....	53

2-2-Masse volumique.....	54
2-3-Consistance normale.....	54
2-4-Expansion .....	54
2-5-Temps de prise.....	55
IV-3- Résultats des essais mécaniques.....	56
3-1- Résistances à la traction par flexion .....	56
3-2-Résultats des essais des résistances à la compression .....	57
IV-4- Discussion des résultats.....	57
4-1- Conclusion.....	59
Conclusion générale .....	<b>60</b>

Annexes

Bibliographie

# Liste des tableaux

## CHAPITRE I

**Tableau I-1:** Moyens mécanique d'exploitation de la carrière calcaire djebel FORTAS.....11

**Tableau I-2:** Moyens mécanique d'exploitation de la carrière calcaire djebel FORTAS.....12

## CHAPITRE III

**Tableau III-1:** Caractéristiques des ciments étudiés.....30

## CHAPITRE IV

**Tableau IV-1:** Analyse chimique des matières premières.....48

**Tableau IV-2:** Analyse chimique de laitier.....48

**Tableau IV-3:** Analyse chimique des mélanges « crus » destinés à la fabrication du clinker de ciment CEM II/A et Ciment au laitier.....50

**Tableau IV-4:** Analyse chimique des clinkers.....51

**Tableau IV-5:** Analyse chimique du gypse.....52

**Tableau IV-6:** Analyse chimique des échantillons des ciments : CEM II/I A et Ciment au laitier...53

**Tableau IV-7:** Caractéristiques de finesse des poudres de ciment d'étude.....53

**Tableau IV-8:** Résultats des essais de la masse volumique des ciments .....54

**Tableau IV-9:** Pourcentages de l'eau nécessaire pour consistance normale des ciments d'étude  
.....54

**Tableau IV-10:** Résultats de l'expansion.....54

**Tableau IV-11:** Résultats des essais du temps de prise des ciments.....55

**Tableau IV-12:** Résistances à la flexion des ciments .....56

**Tableau IV-13:** Résistances à la compression des ciments.....57

# Liste des figures

## CHAPITRE I

<b>Fig I-01:</b> Présentation de la ligne de production –SCS.....	5
<b>Fig I-02:</b> Organigramme et moyens de la Société des Ciments de SIGUS ..	5
<b>Fig I-03:</b> Situation Géographique de la Cimenterie SIGUS.....	6
<b>Fig I-04:</b> Site de la cimenterie « Photo Google-Earth » SIGUS.....	6
<b>Fig I-05:</b> Le gisement du calcaire de DJEBEL FORTAS.....	7
<b>Fig I-06:</b> Le gisement d’argiles de KOUDIET BIROU [2] (avant l’exploitation).....	11
<b>Fig I-07:</b> Le gisement de gypse des Lacs .....	14
<b>Fig I-06:</b> Le gisement de sable de B'HEIR EL CHERGUI .....	14
<b>Fig I-07:</b> Le gisement de Tuf CHETAIBI .....	11
<b>Fig I-11:</b> Le gisement de minerai de fer d’El OUANZA.....	11
<b>Fig I-11:</b> Concasseur à marteaux .....	12
<b>Fig I-14:</b> Hall Pré homogénéisation.....	13
<b>Fig I-11:</b> Hall stockage des ajouts .....	14
<b>Fig I-12:</b> Broyeur Vertical .....	14
<b>Fig I-13:</b> La ligne de cuisson .....	16
<b>Fig I-14:</b> Processus de cuisson.....	16
<b>Fig I-15:</b> Broyeur à boulets.....	17
<b>Fig I-16:</b> Stockage du ciment (silos).....	41
<b>Fig I-17:</b> Expédition Sacs (a) camion (b) wagon.....	41
<b>Fig I-41:</b> Expédition Vrac (a) camion (b) wagon .....	41
<b>Fig I-41:</b> Types de ciments produits à la cimenterie SCS.....	41

## CHAPITRE III

<b>Fig III-01:</b> Matériels pour la mesure de la PAF (a) Creuset en platine (b) Four.....	11
<b>Fig III-02:</b> Matériels pour la mesure de la chaux libre (a) Bain de sable (b) Titrette .....	32
<b>Fig III-03:</b> Etapes et matériels pour la mesure de $SO_3$ .....	32
<b>Fig III-04:</b> Analyse par spectrométrie FX .....	34
<b>Fig III-05:</b> Matériels pour la détermination du refus.....	37
<b>Fig III-06:</b> Appareil de mesure de la surface spécifique de Blaine .....	38
<b>Fig III-07:</b> Densimètre.....	38
<b>Fig III-08:</b> Voluménoètre de Chatelier.....	39
<b>Fig III-09:</b> Matériels pour la détermination consistence de la pâte.....	40

<b>Fig III-10:</b> L'aiguille de Vicat.....	41
<b>Fig III-11:</b> L'aiguille de Le Chatelier.....	41
<b>Fig III-12:</b> Bol de malaxage .....	42
<b>Fig III-13:</b> Préparation des éprouvettes .....	43
<b>Fig III-14:</b> Conservation des éprouvettes .....	45
<b>Fig III-15:</b> Appareil de mesure de la rupture à la compression et à la flexion .....	46

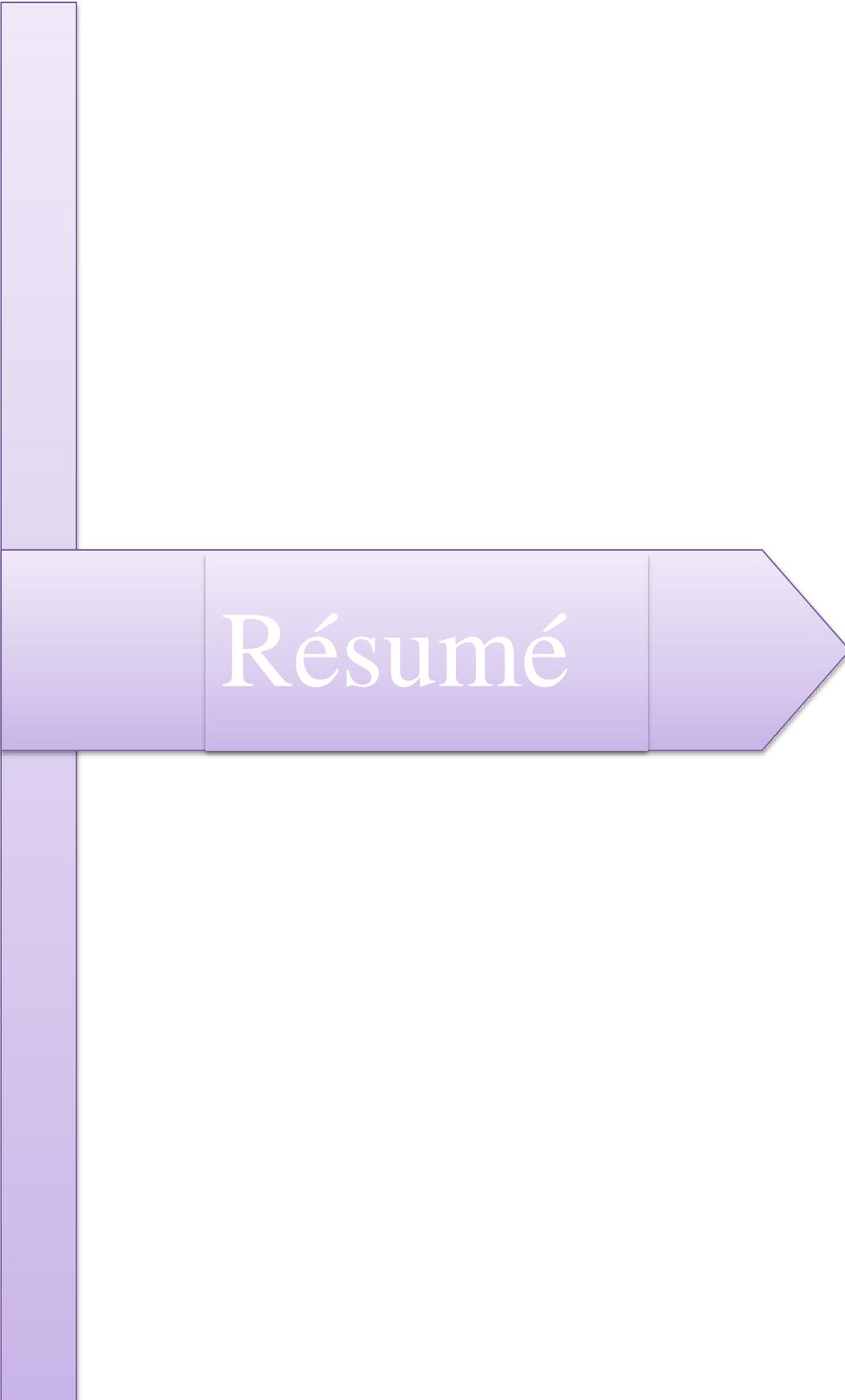
## Liste des graphes

### Chapitre IV

<b>Graphe IV-01:</b> Composition chimique de Calcaire .....	49
<b>Graphe IV -02:</b> Composition chimique de l'Argile.....	49
<b>Graphe IV -03:</b> Composition chimique de Laitier .....	50
<b>Graphe IV -04:</b> Composition chimique de la Farine Cru .....	51
<b>Graphe IV -05:</b> Composition minéralogique et chimique de Clinker .....	52
<b>Graphe IV -06:</b> Composition chimique de gypse .....	52
<b>Graphe IV -07:</b> Composition minéralogique des Ciments .....	53
<b>Graphe IV -08:</b> Expansion-Stabilité des ciments d'étude.....	55
<b>Graphe IV -09:</b> Délais de prise des ciments étudiés .....	56

## Liste des annexes

<b>Annexes A:</b> Normes suivies.....	64
<b>Annexes B:</b> Photos de stage.....	65



Résumé

## Résumé

Ce travail réalisé à la Cimenterie SIGUS-Oum El Bouaghi vise à contribuer à une étude comparative entre le ciment composite conventionnel et le ciment au laitier ; par l'étude et la comparaison des propriétés chimiques et des propriétés physico-mécaniques des deux types.

La méthodologie adoptée était basée sur une étude comparative entre deux types de ciment, CEM II/A - L 42.5 N. Que l'usine produit depuis mars 2019 et CIMENT AU LAITIER qui nous avons fabriqué au niveau laboratoire.

Les lignes de production de ciment sont surveillées et des tests de contrôle sont effectués conformément aux normes établies. Les résultats des analyses chimiques ont montré une différence de silice, et c'est ce qui a fait que le ciment de laitier la supporte peu au début, mais sa tolérance finale est bonne.

**Mots clés :** ciment, laitier, ciment résistant aux sulfates, résistance mécanique.

# Abstract

This work carried out at the SIGUS- Oum El Bouaghi cement factory aims to contribute to a comparative study between conventional composite cement and cement slag; Chemical properties and physico-mechanical properties of the two types

The methodology adopted was based on a comparative study between two types of cement, CEM II/A - L 42.5 N. That the plant has been producing since March 2019 and SLAG CEMENT which are manufactured at laboratory level

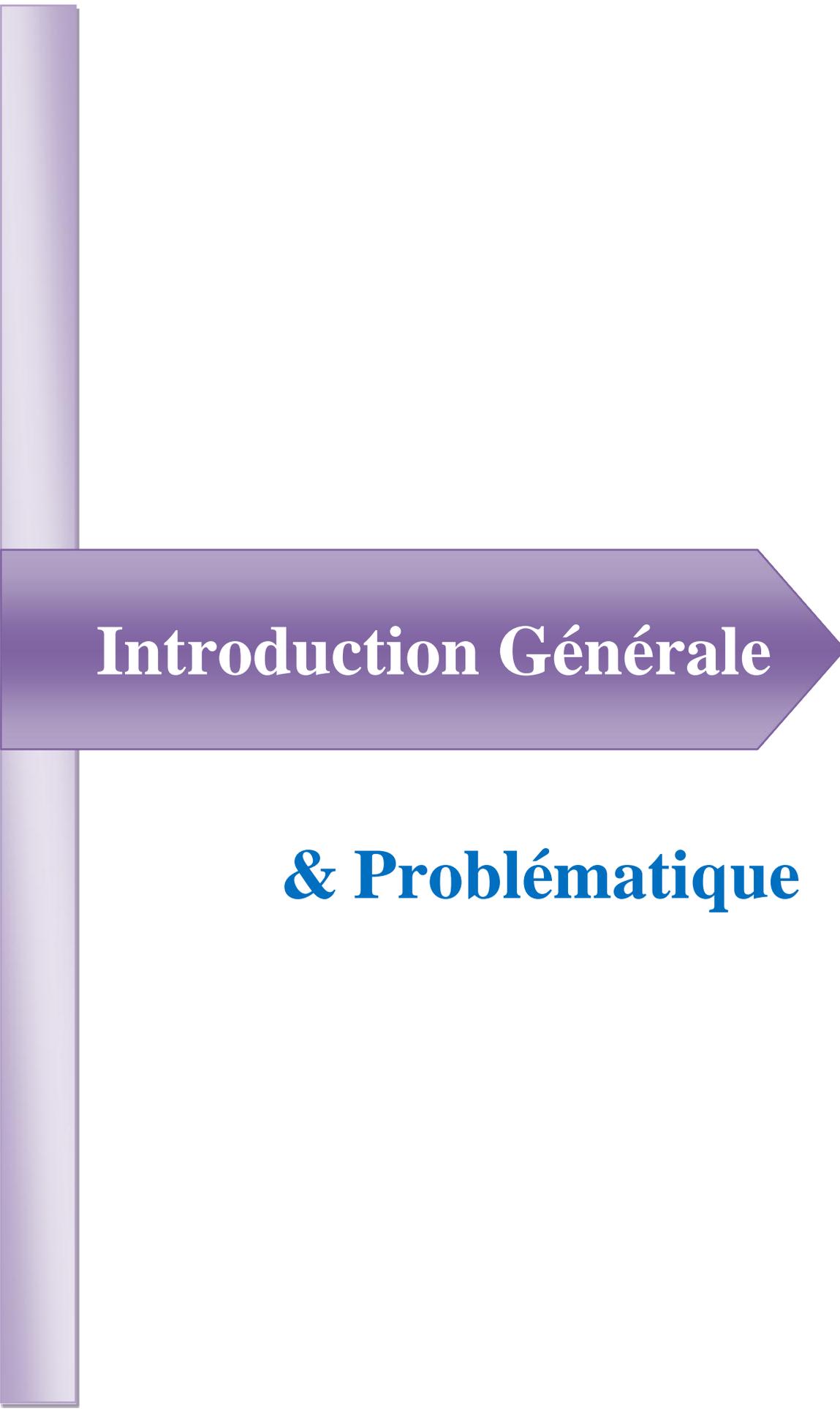
Cement production lines are monitored and control tests are carried out according to established standards. The results of the chemical analyzes showed a difference in silica, and this is what caused the slag cement to tolerate it poorly at first, but its final tolerance is good.

**Keywords :** cement, slag, sulphate-resistant cement, mechanical strength.

## ملخص

يهدف هذا العمل المنفذ في مصنع سيقوس للإسمنت بأم البواقي إلى المساهمة في دراسة مقارنة بين الإسمنت مع المركبات التقليدية وإسمنت الخبث؛ وكذا الخصائص الكيميائية و الفيزيائية لكلا النوعين. اعتمدت المنهجية المعتمدة على دراسة مقارنة بين نوعين من الإسمنت، CEM II / A - L 42.5 N و الذي ينتجه المصنع منذ مارس 2019 و CIMENT AU LAITIER ، والتي تم تصنيعها على مستوى المخبر. تتم مراقبة خطوط إنتاج الإسمنت وإجراء اختبارات التحكم وفقاً للمعايير المعمول بها. حيث أظهرت نتائج التحليلات الكيميائية اختلافاً في السيليكا و هذا ما جعل اسمنت الخبث تحمله الابتدائي قليل إلا إن تحمله النهائي جيد.

**الكلمات المفتاحية:** الإسمنت ، الخبث ، الإسمنت المقاوم للكبريتات ، المقاومة الميكانيكية



**Introduction Générale**

**& Problématique**

## Introduction Générale

La caractéristique d'un liant hydraulique tel que le ciment, est de faire prise et durcir une fois mélangé à de l'eau, l'industrie du ciment et des produits à base de ciment ne cesse de progresser, en effet le niveau d'industrialisation d'un pays est étroitement lié à l'évolution du marché et du développement de sa production.

Afin de répondre à la demande sans cesse croissante de ciment, les cimenteries ne se passent pas de diversifier et perfectionner leurs produits, dépendamment du type de ciment à produire, le dosage des constituants et la préparation de celui-ci déterminent ses performances, ces dernières sont souvent recherchées pour des applications spécifiques, différents types de ciments Portland sont ainsi définis suivant des critères normalisés tels que le ciment à prise rapide, le ciment réfractaire, le ciment au laitier, etc.

A cet égard on étudie l'influence des laitiers granules de haut fourneau sur la réaction alcali-granulat, la résistance aux sulfates et la chaleur d'hydratation, car il s'agit de paramètres importants pour la durabilité des bétons, pour cela, on montre les résultats des essais réalisés, qui indiquent le comportement de ciments ayant des teneurs connues et croissantes en laitier, ces résultats mettent en évidence les principaux avantages de l'emploi de ciment portland avec adjuvants ; résistance accrue à l'attaque par les sulfates, chaleur d'hydratation inférieure et inhibition de la réaction alcali-acide, leurs usages sont nombreux, mais ils sont particulièrement indiqués pour les revêtements routiers.

La contribution à l'étude d'un ciment résistant aux sulfates (ciment au laitier), au la comparaison avec le ciment à la composition classique faisant l'objet du présent travail a été réalisé au niveau de la cimenterie de SIGUS dans le cadre de projet de fin d'étude.

A l'issue de cette introduction, et après la formulation de la problématique, ce mémoire structuré en cinq chapitres développera les points suivants :

- Premier chapitre : Une présentation de la société des ciments de SIGUS - SCS ainsi qu'une description détaillée de la chaîne technologique de l'usine.
- Deuxième chapitre : Une revue bibliographique. portera sur la fabrication et les caractéristiques du ciment et ses composants, et aussi Un aperçu sur le laitier.
- Troisième chapitre : Est la partie spéciale de ce mémoire en termes de méthodologie de travail et les détails de tous les essais réalisés.
- Quatrième chapitre : Présentés les résultats obtenus et leurs interprétations, étude comparative entre les deux types de ciments.

## **Introduction Générale**

Une synthèse des principaux résultats et recommandations pour de futurs travaux seront énoncées dans la conclusion générale avant de terminer ce mémoire par les références bibliographiques.

# Problématique

Les matériaux cimentaires couramment utilisés dans diverses constructions sont à la base du ciment commun de type CEM II / A (ciment à composition classique).

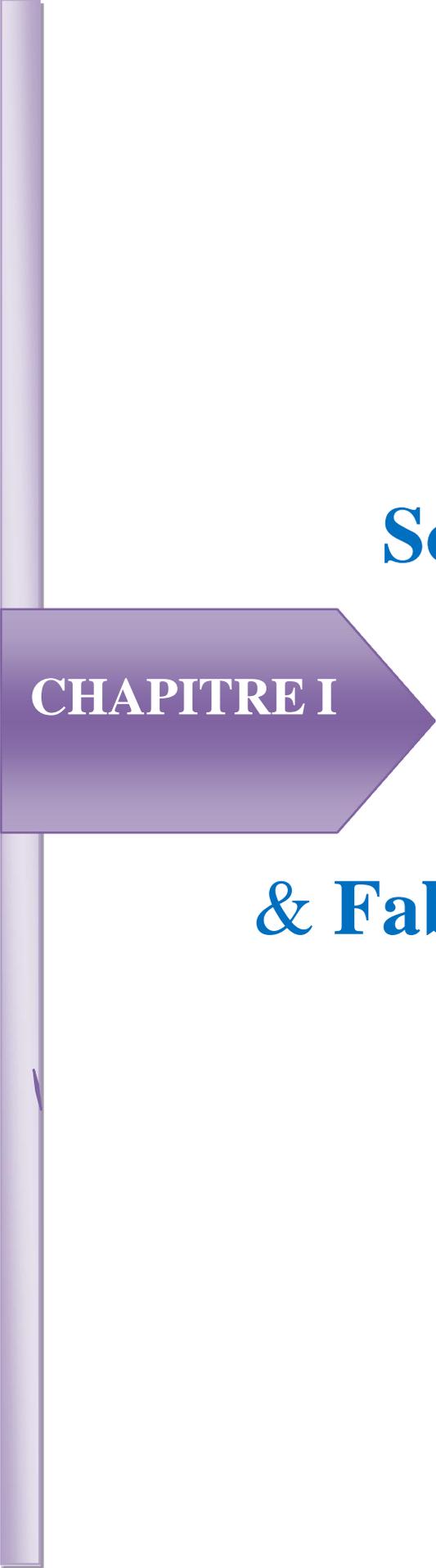
L'objectif de la formation pratique réalisée à l'usine de la cimenterie SIGUS, en plus du suivi de la fabrication du ciment, était d'étudier les propriétés requises sur la base de données expérimentales et de contrôle qualité conformément aux normes établies, le laitier a également été obtenu à partir de l'usine de fer d'Al-Hadjar afin de fabriquer du ciment au laitier.

Cette étude porte donc sur la comparaison entre un ciment à composition classique et un ciment au laitier.

La méthodologie expérimentale mise en œuvre au cours de cette étude porte sur deux types de ciments : le premier courant CEM II/A-L 42.5 N (ciment à composition classique) et le deuxième ciment au laitier. Les objectifs visés sont les suivants :

- Etude de la composition chimique des matières premières et des caractéristiques chimiques des clinkers et ciments.
- Etude comparative des caractéristiques physicomécaniques.

Les résultats obtenus au cours de cette étude pourraient servir de base à de nouveaux projets de production d'autres ciments au laitier.



**Société des Ciments**

**CHAPITRE I**

**de SIGUS-SCS**

**& Fabrication du Ciment**

# CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

## Introduction

Dans ce premier chapitre, une présentation de la société des ciments de SIGUS Oum El Bouaghi, est donnée ainsi que les gisements qui garantissent l'approvisionnement des matières premières dont les plus importants sont situés à proximité de l'usine. On présente également le mode de fabrication du ciment au niveau de l'usine SCS avec une description du fonctionnement de chaque atelier.

### I.1. Présentation de la Société des Ciments de SIGUS-SCS

La Société des Ciments de SIGUS– Oum El Bouaghi – SCS est une filiale du Groupe GICA. Le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie a été créé suite à la transformation juridique de l'ex Société de Gestion des participations « Industrie des Ciments » en date du 26 novembre 2009.

La fiche descriptive de la SCS est la suivante [1] :



The image shows a document header for the Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA) and its subsidiary, Société des Ciments de Sigus S.C.S. The header includes the GICA logo, the company name in Arabic and French, and contact information.

- ❖ Une société du groupe GICA
- ❖ Forme juridique 8 société par actions
- ❖ Actionnaire unique : le groupe GICA
- ❖ Capital social : **3 000 000 000** DA
- ❖ Activité 8 fabrication et commercialisation des ciments
- ❖ Nature des produits 8 Ciment un ciment conforme à la norme NA 224,
- ❖ D'autres produit tel que le CRS, ou autres peuvent être produit à la demande de client.
- ❖ Année prévisionnelle du début d'activité 8 **2018**
- ❖ Capacité de production 8 **4 000** tonnes de clinker par jour
- ❖ **02** million de tonnes Ciment par an.

# CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

La ligne de production de la SCS est présentée en figure suivante :

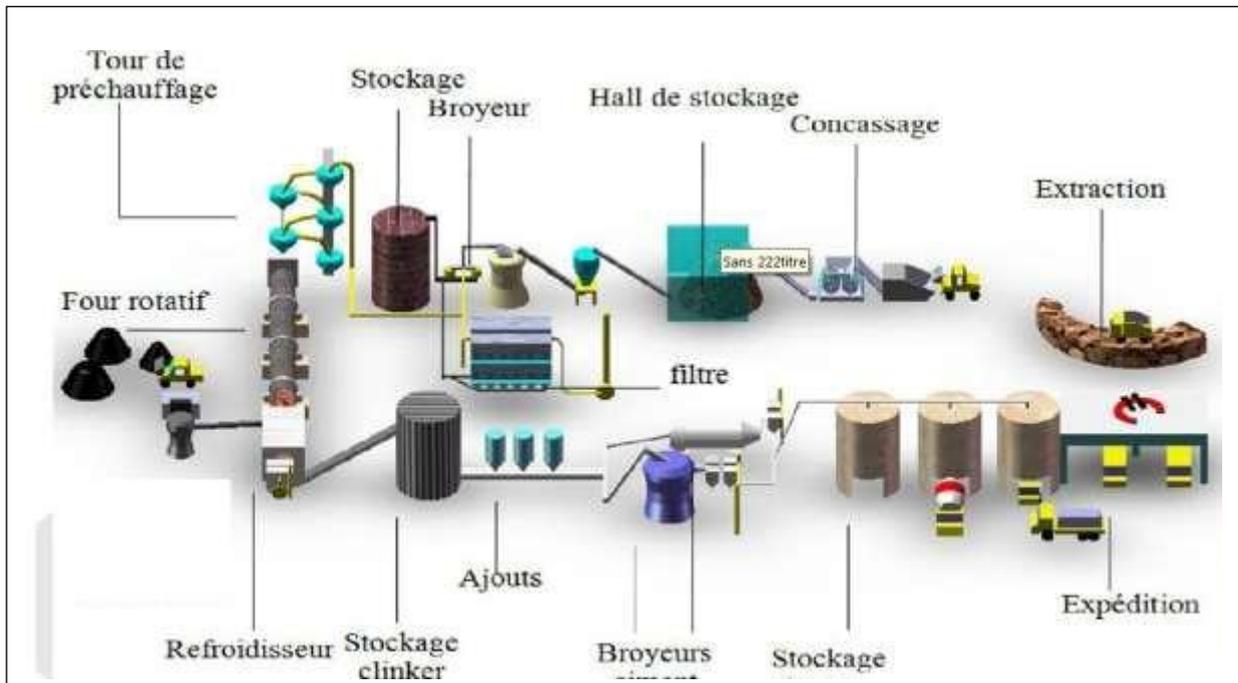


Figure I.1 : Présentation de la ligne de production –SCS [2]

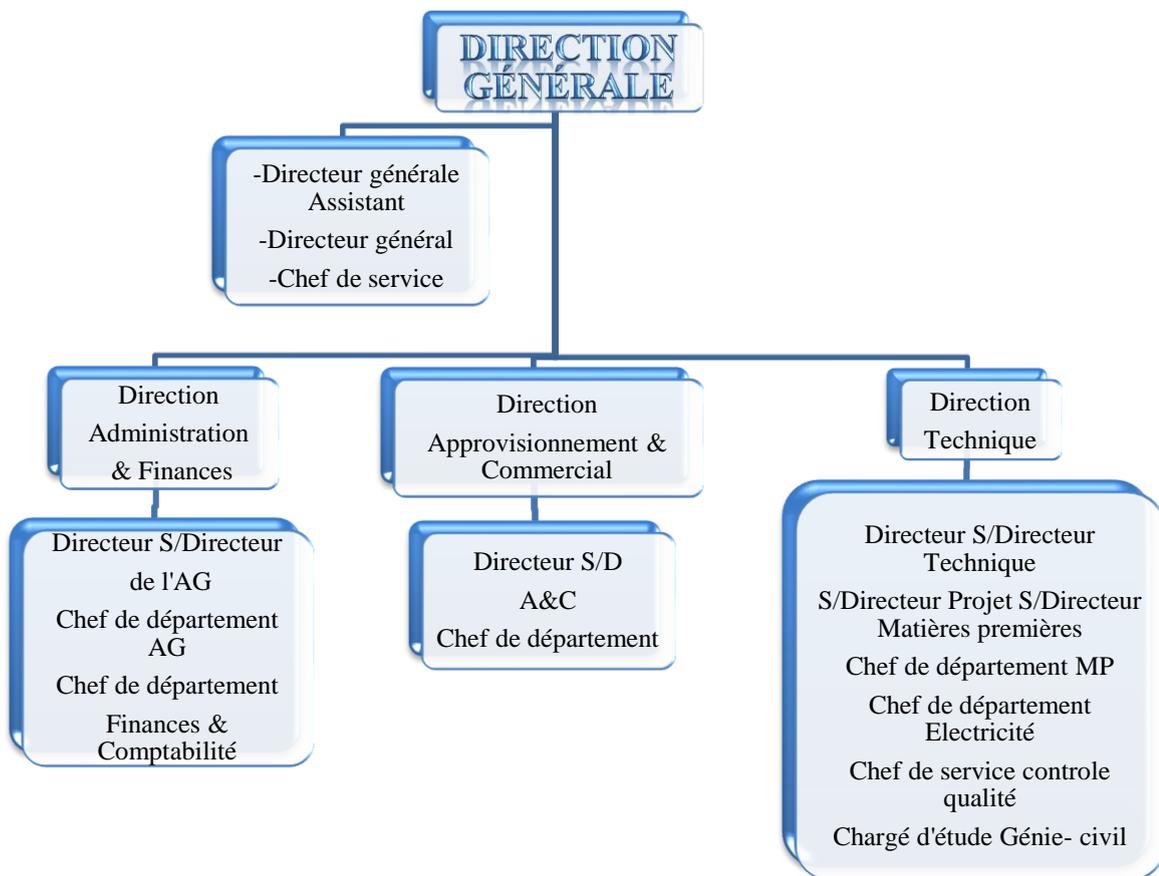


Figure I.2 : Organigramme et moyens de la Société des Ciments de SIGUS [2]

# CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

## I.1.1. Situation géographique

L'implantation de la cimenterie est à 5 km au Sud - Est de la commune de SIGUS, et à 40 Km environ au Nord-Ouest du chef-lieu de la wilaya d'Oum El Bouaghi (figure I.3).

- ✓ Site de l'usine : Superficie : 102 Hectares, Périmètre : 7 500 m.
- ✓ Site Gisement calcaire : Superficie : 164 Hectares.
- ✓ Site Gisement argile : Superficie : 186 Hectares.

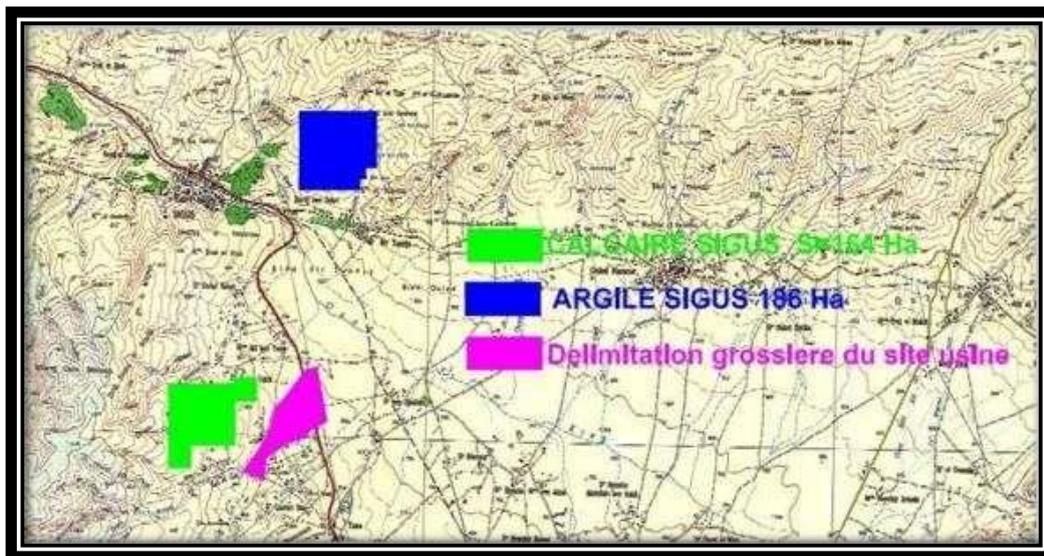


Figure I.3 : Situation Géographique de la Cimenterie SIGUS [2]

## I.1.2. Infrastructure Environnante et accès au site

Réseau routier : Accès à la Route Nationale RN 10

Aéroport : La distance entre l'aéroport international de Constantine et le site de l'usine est d'environ 40 km [1]. La photo du site est présentée en figure suivante.

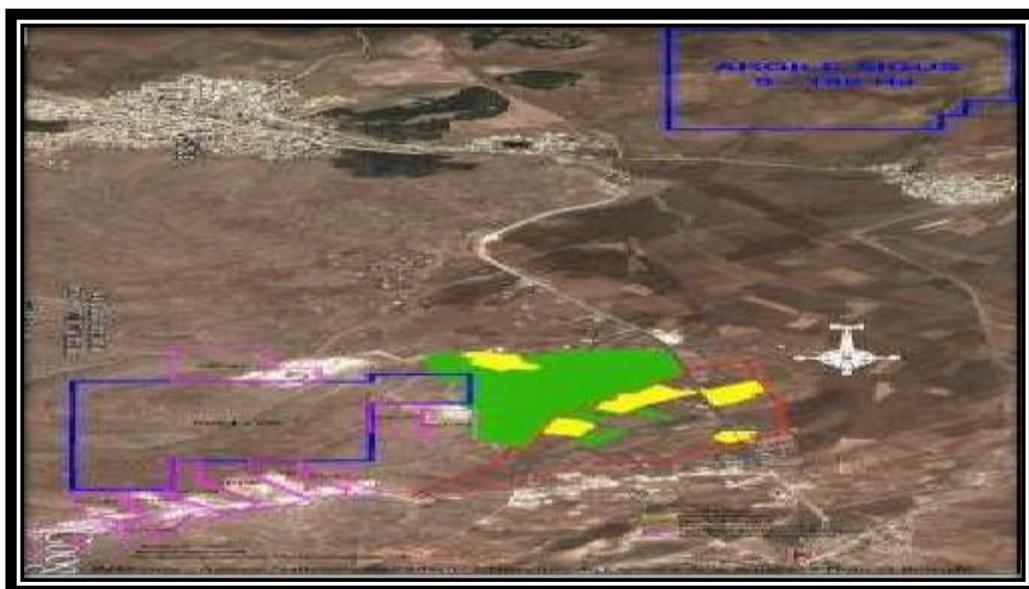


Figure I.4 : Site de la cimenterie « Photo Google-Earth » SIGUS [2]

# CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

## I.2. Les gisements des matières premières

### 2.1. Gisement du calcaire « DJEBEL FORTAS »

#### A. Situation géographique

Localisation : à 500 m environ à l'Ouest du site de l'usine, et à 13 km au Nord-Ouest de la localité d'Ain Fakroun, et à 40 Km environ au Nord –Ouest du chef-lieu de la wilaya d'Oum El Bouaghi et à 3 Km du chef-lieu de la commune de SIGUS. Il s'étend sur une superficie de 164hectares et est relié à la route nationale N°10 par une piste de 800 m [2]. Selon CETIM « Centre d'Etudes et de services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de construction »,le titre minier d'exploration a été obtenu le 09 mai 2013.



Figure I.5 : Le gisement du calcaire de DJEBEL FORTAS [2]

#### B. Géologie du gisement

Le gisement de calcaire du Djebel Fortas (figure I.5) a une structure géologique monoclinale simple et se rapporte de par ses dimensions et particularités géomorphologiques au type de gisement du premier groupe d'après la classification générale des gîtes minéraux. Cette classification recommande une maille de recherche de 200m x 200m pour la catégorie B des réserves jusqu'à 400mx400m pour la catégorie C1. Cette série monoclinale, au relief dissymétrique avec des collines aux sommets arrondis, ne laisse apparaître aucun accident apparent. Les deux collines constituant le gisement a été creusé à la faveur d'une faille [2].

#### C. Méthode d'exploitation

La méthode d'exploitation adoptée dans la carrière de Djebel El Fortas (carrière calcaire SCSigus) se fera en partant du haut vers le bas à partir du niveau +940 m jusqu'à +910 m) par des gradins de hauteur varie de 15 jusqu'à 20 m , c'est une méthode d'exploitation simple selon les travaux de forage et de tir a deux bords exploitables, la première est dans la partie Sud de la carrière et la deuxième dans la partie Nord ,le développement des travaux d'extraction orienté vers les deux sens. [3].

## **CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment**

### **D. Hauteur du gradin**

Le choix de la hauteur du gradin se fait en dépendance de la production de la carrière et la sécurité des travaux, ainsi que les moyens de la mécanisation des travaux miniers.

Dans la carrière de Djebel El Fortas la hauteur de gradin est varié entre (15 à 20m).

A partir de niveau 910 jusqu'à 925 la hauteur de gradins est de l'ordre de 15m, a partir de ce niveau jusqu'au sommet (le niveau 940S) la hauteur de gradin est de l'ordre de 20m. (Mais dans un bref délai sera 15m) [3].

### **E. La largeur de la plateforme de travail**

La largeur de la plateforme de travail est déterminée en fonction des propriétés physiques et mécaniques des roches, des dimensions des tas des roches abattues, des paramètres techniques des engins de chargement et de transport. Lors de l'abattage des roches par explosif, et transport par camion la largeur de plateforme de travail.

### **F. Travaux de forage et tirs**

1- Le maillon initial des processus technologiques lors de l'exploitation des gisements des minéraux utiles à ciel ouvert est bien la préparation des roches à l'extraction. La qualité de cette dernière prédétermine, en grande partie, le rendement des engins miniers, la sécurité du travail et d'une manière générale l'efficacité des travaux à ciel ouvert.

2-Dans la plupart des cas, la préparation des roches à l'extraction renferme la destruction du massif rocheux jusqu'à l'obtention des morceaux de dimensions nécessaires et admissibles pour la rentabilité de tous les complexes (concasseur) d'extraction et de transport.

3-Vu la dureté de la roche, à la carrière de Djebel el Fortas on applique la méthode de préparation des roches par des travaux de forage et de tir qui est la plus répandue parmi les autres méthodes connues.

4-Les engins de forage utilisés à la carrière de Djebel el Fortas sont de deux types: les sondeuses (ATLAS COPCO D55) et les chariots de forages (Furikawa), les deux ont le mode de forage, roto- percutant (marteau fond de troue).

5-la carrière de Djebel Fortas programme 04 tirs par mois (12 tonne d'explosif /tir) pour assurer les besoins d'usine en matière de calcaire.

### **G. Chargement et transport :**

Après chaque tir les moyens mécanique de la carrière tell que les chargeuses et les dumpers de carrière procède a entamé les travaux de chargement et de transport des matières abattus soit ; vers le concasseur de mélange ou bien vers les endroits de stockage (selon besoin). [3].

## CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

Tableau I.1 : Moyens mécanique d'exploitation de la carrière calcaire djebel FORTAS [3].

	dumpers	chargeuses	bulldozer	chariot de forage	Sondeuses	pelle hydraulique
nombre	10	4	2	3	3	01 +BRH
Marque	hitachi-5	CAT 990K	Cat D10T	furikawa	ATLAS COPCO D-55	Hitachi 400 LCH

### 2.2. Gisement d'argile « KOUDIET BIROU »

#### A. Situation géographique

Il est situé à 5 km environ au Nord -Est du site de l'usine, et à 15 km au Nord-Ouest de la localité d'Ain Fakroun, et à 42 Km environ au Nord –Ouest du chef-lieu de la wilaya d'Oum el Bouaghi et à 2 Km du chef-lieu de la commune de SIGUS. Il s'étend sur une superficie de 186 hectares [2]. Selon CETIM, le titre minier d'exploration a été obtenu le 26 janvier 2014.



Figure I.6 : Le gisement d'argiles de KOUDIET BIROU [2] (avant l'exploitation)

#### B. Géologie du gisement

Le gisement d'argile de « KOUDIET BIROU » (figure I.6) se rapporte aux dépôts du lutétien. Les argiles se caractérisent par une roche tendre de couleur gris-foncée. Les propriétés physiques des argiles sont les suivantes [2]: Densité apparente :  $2,06 \text{ t/m}^3$  et le Facteur de foisonnement : 1.3.

#### C. Méthode d'exploitation

L'extraction d'argile s'effectue à l'aide d'excavatrices et de camion-bennes, dans l'exploitation en gradins de 05 m selon les lois minières, chaque strate d'argile est traitée séparément et isolée dans les entrepôts de stockage pour maturation.

## CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

Tableau I.2 : Moyens mécanique d'exploitation de la carrière calcaire djebel FORTAS [3].

	chargeuses	bulldozer	camion de transport
nombre	02	2	selon besoin
Marque	CAT 990K	Cat D10T	privé sous-traitance

### 2.3. Situation du gisement de gypse des Lacs

Le gisement de gypse des Lacs de Oum-El Bouaghi (figure I.7) se trouve à 67 km au Sud- Ouest du site de l'usine [2].



Figure I.7 : Le gisement de gypse des Lacs [2]

### 2.4.Situation du gisement de sable de B'HEIR EL CHERGUI

Le gisement de sable de B'HEIR EL CHERGUI de Oum-El Bouaghi (figure I.8) se trouve à 100 km au Sud- Est de la ville de SIGUS [1].



Figure I.8 : Le gisement de sable de B'HEIR EL CHERGUI [2]

## CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

### 2.5. Situation du gisement de Tuf Chetaibi (Annaba)

Le gisement de Tuf Chetaibi (Annaba) se trouve à 170 km au Nord-Est de la ville de SIGUS.



Figure I.9 : Le gisement de Tuf CHETAIBI [2]

### 2.6. Situation du gisement de minerai de fer D'EL OUENZA

Le gisement de minerais de fer d'El Ouenza à Tébessa (figure I.10) se trouve à 150 km au Sud-Est de la ville de SIGUS [2].



Figure I.10 : Le gisement de minerai de fer d'El OUANZA [2]

## I 3. Fabrication du ciment à la SCS

### 3.1. Atelier de concassage

Les pierres avec leurs humidités de carrière arrivent généralement à l'usine en gros blocs, et nécessitent d'abord un concassage.

Les modes de fragmentation classiques consistent à soumettre le solide à fragmenter à une contrainte créée par des forces de contact. Le champ de contraintes résultant est généralement anisotrope et fonction de paramètres intrinsèques du matériau, du nombre et de la direction des forces, de la vitesse de déformation [2].

Le concassage est défini comme une action de réduire quelque chose (gros blocs) en petits morceaux ou en poudre au moyen d'un concasseur conçu à cet effet. Afin de réduire au

## CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

minimum l'usure ainsi que la consommation énergétique, il s'impose d'adapter le type de concasseur au matériau à fragmenter.

Tout d'abord le calcaire extrait de la carrière ainsi que l'argile sont acheminés, par camions, jusqu'aux trémies calcaire et argile. Les matières seront alors confondues et envoyées vers le concasseur via le tablier métallique. Les échappées des tabliers sont récupérées par un transporteur à bande sous le concasseur.

Le type du Concasseur pour le mélange calcaire- argile de la SCS est un Concasseur à marteaux présenté en figure I.11. Les Caractéristiques du concasseur sont les suivantes [2] :

- \*Atelier 1600 t/h
- \*Granulométrie entrée : Calcaire : 1100 x 1100 x 1100 mm, Argile : 0 – 600 mm
- \*Granulométrie de sortie : 95% < 80 mm
- \*Humidité du mélange : 5 %
- \*Puissance installée : 2 x 1 200 kW



Figure I.11 : Concasseur à marteaux [2]

La matière qui sort du concasseur est envoyée vers le parc polaire ou longitudinal via des transporteurs à bande. La bascule intégratrice est chargée d'évaluer la quantité de matière passant par le concasseur, chacun des transporteurs -mélange et ajout- est équipé d'une bascule intégratrice. Les transporteurs à bande sont équipés d'un dispositif de détection des métaux qui permettent d'extraire les éventuels morceaux de fer présent dans la matière.

Cet atelier comprend également un analyseur en ligne. La composition chimique du mélange cru est extrêmement hétérogène. Or, pour produire un ciment de bonne qualité, il faut que le mélange à l'alimentation du broyeur cru soit homogène et stable d'un point de vue chimique. L'analyseur en ligne (et à la sortie des parcs polaire avant les broyeurs) est installé à la sortie

## CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

du concasseur mélange, Celui-ci permet de fournir des données exactes sur la chimie en temps réel de la matière première en vrac qui transit sur le convoyeur.

Suivant l'analyse de la matière, on pourra augmenter ou diminuer la quantité de calcaire ou d'argile en modifiant la vitesse ou en diminuant la vitesse des tabliers en amont du concasseur pour être au plus proche des valeurs cibles.

### 3.2. Hall Pré homogénéisation

La pré-homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulière du mélange. Le Hall polaire de Pré homogénéisation de la SCS a une capacité de 50 000 t (voir la figure suivante).



Figure I.12 : Hall Pré homogénéisation [2]

Des échantillons du mélange des matières premières sont prélevés lors de la constitution des tas dans une station d'échantillonnage, les échantillons sont analysés au niveau du laboratoire de l'usine, les résultats de ces analyses permettent de définir les corrections nécessaires à apporter au mélange des matières premières, ce mélange est dénommé en cimenterie par le cru.

La pré-homogénéisation comprend deux phases principales : la mise en tas et la reprise.

### 3.3. Hall de stockage des ajouts

Les ajouts sont d'abord acheminés, par camions, jusqu' à la trémie « Ajout ». Les ajouts sont envoyés vers le concasseur via le tablier métallique.

Le concasseur la matière qui sera ensuite envoyée dans le Hall stockage des ajouts (figure I. 13) puis vers les broyeurs a cru ou ciment.



Figure I.13 : Hall stockage des ajouts [2]

### 3.4. Atelier du Cru

Le broyage de cru est une opération qui consiste à préparer un mélange homogène avec une bonne répartition granulométrique pour assurer les meilleures conditions de cuisson de la farine. Il consiste à introduire dans le broyeur à crue (figure I.14), le mélange dans lequel il subit des actions mécaniques pour l'obtention de la farine.

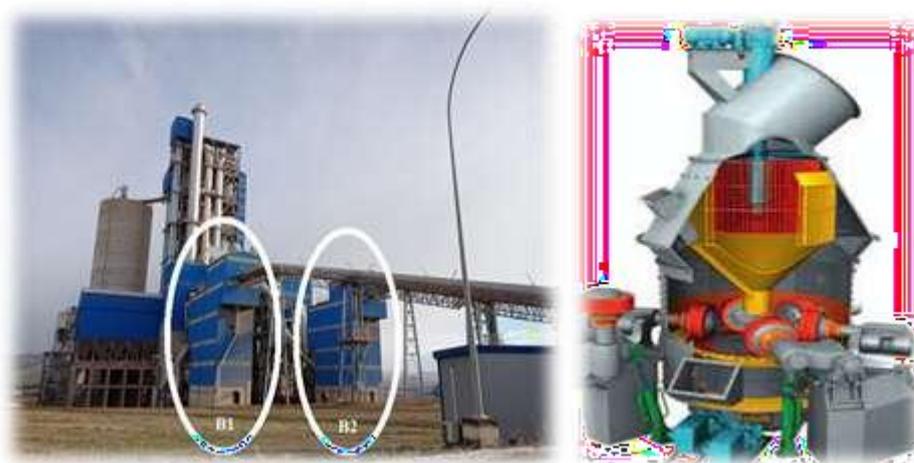


Figure I.14 : Broyeur Vertical [2]

Afin de préparer le cru pour obtenir les modules visés, chaque broyeur est équipé de 4 trémies :

- \*Trémie mélange (calcaire + argile)
- \*Trémie calcaire haut titre
- \*Trémie sable
- \*Trémie minerai de fer

Les consignes de modules sont dans le programme du Polab (AQC�).

La matière est analysés soit par :

## CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

\*02 Broyeurs Verticaux : 2 x 300 t/h

\*Stockage farine (silo) : 30 000 t

\*Analyses échantillons XRF

\*Données analyseur en ligne sur transporteur alimentation

Le programme AQCEN envoie les consignes aux doseurs en fonction des résultats d'analyse et des consignes de module. Il y a 4 trémies pour les 3 modules. Les cibles seront donc atteintes

La plage de fonctionnement des doseurs est la suivante [3] :

\*Mélange (calcaire + argile) : 34 – 340 t/h

\*Calcaire haut titre : 7 – 70 t/h

\*Sable : 3 – 30 t/h

\*Minerai de fer : 2 – 20 t/h

La farine obtenue (qui est une poudre fine) est stockée dans un silo après avoir subi une opération d'homogénéisation pour obtenir une composition chimique régulière des matières premières qui seront introduites dans le four pour cuisson.

### 3.5. Homogénéisation

Avant d'être soumises au processus de cuisson, les matières premières doivent avoir une composition aussi homogène que possible.

L'homogénéisation des matières premières est très importante et dépend de :

- Le flow-scheet de la préparation des matières premières.
- La garantie de la qualité du produit.
- La réalisation de la continuité du processus.

En général, l'installation de mélange et d'homogénéisation devraient remplir deux tâches :

- Offrir une possibilité de procéder une dernière correction de la composition chimique du cru à envoyé au four.
- Rendre ce cru suffisamment homogène que pour en assurer une bonne cuisson.

La connaissance de l'aérodynamique ont permis de réaliser en voie sèche le mélange et l'homogénéisation de leurs matières premières.

Un silo est un réservoir de stockage destiné à entreposer divers produits en vrac (pulvérulents).

### 3.6. Atelier de cuisson

La cimenterie SCS utilise le processus de fabrication du clinker par voie sèche. La figure I.15 présente les principales parties constituant la ligne de cuisson du clinker.

Dans les fours et à environ 1450 °C, les matières premières (le cru), lors de la cuisson prennent une consistance pâteuse et sont proches de la fusion. Le produit obtenu en fin de cuisson est le Clinker. Ce dernier est le composant de base du ciment.

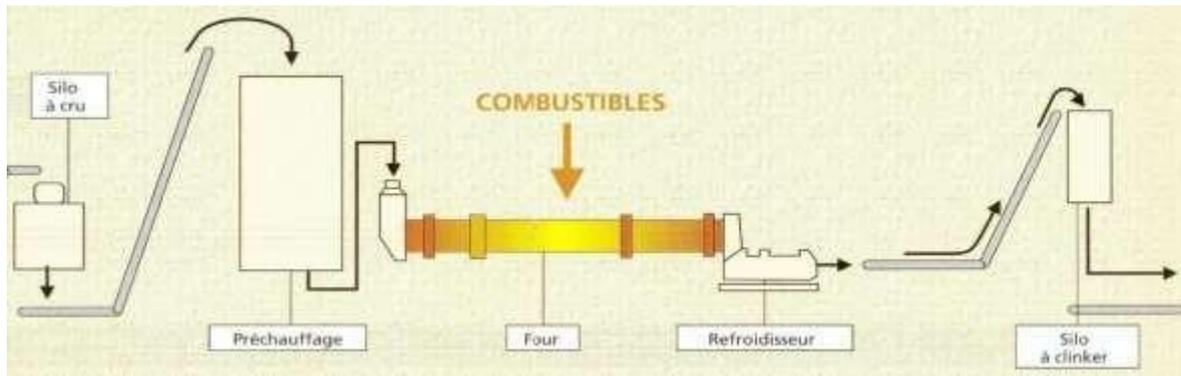


Figure I.15 : La ligne de cuisson [3]

À la sortie du four et avant le broyage, le clinker se présente sous forme de nodules durs et cristallisés, de teinte gris foncé pour les ciments habituels.

La composition minéralogique du clinker obtenu après cuisson du cru est fonction de la composition du mélange mais aussi de la température de cuisson et des conditions de refroidissement (trempe à l'air).

La ligne de cuisson comporte une tour de préchauffage (figure I.16 a). Dans les échangeurs de chaleur constitués d'une série de quatre à cinq cyclones, la poudre y est déversée à la partie supérieure et par la suite descend vers l'entrée du four rotatif. Elle se réchauffe au contact des gaz chauds circulant à contre-courant (les particules sont chauffées en suspension dans un flux de gaz chaud) et en sortant de ce four, elle se décarbonate en partie. La poudre est ainsi portée à une température comprise entre 800 °C et 1000 °C.

Une décarbonation plus complète peut être obtenue par l'ajout d'un foyer complémentaire situé dans le cyclone inférieur (pré calcination).

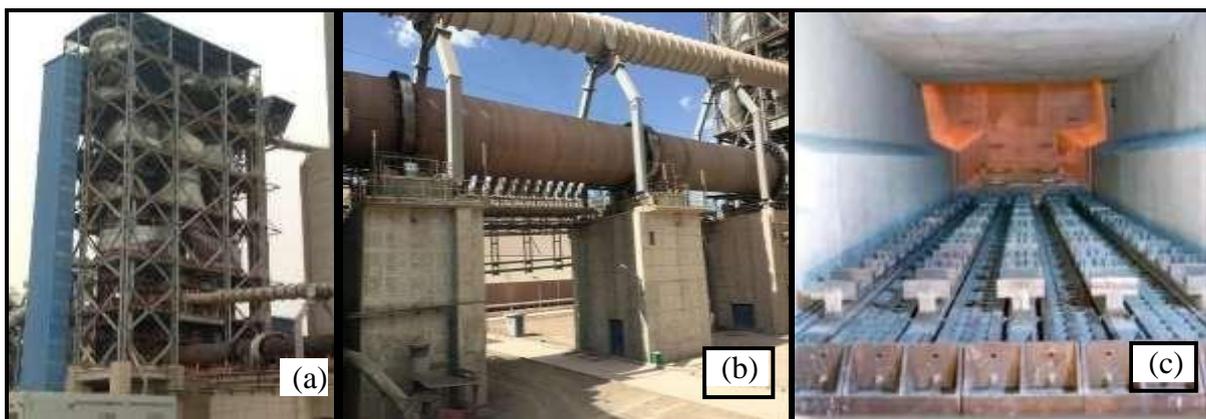


Figure I.16 : Processus de cuisson

(a) Tour de préchauffage (b) Four rotatif (c) Refroidisseur [2]

## CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

Le four rotatif (figure 1.16 b) est un cylindre en acier, animé d'une vitesse de rotation variable pouvant atteindre 4 tr/mn, ce tube appelé aussi « virole » repose par l'intermédiaire de bandages, au nombre de deux à trois, sur des galets, il est revêtu à l'intérieur de briques réfractaires et présente une inclinaison de 3,5 % par rapport à l'horizontale dans le sens de l'écoulement de la matière. Cette inclinaison combinée avec la rotation font que la matière puisse progresser de l'amont du four, par gravité, vers la zone de Clinkérisation, la longueur du four est de l'ordre de 90 mètres, son diamètre varie entre 5,4 et 5,7 mètres.

En amont, la liaison entre le four et le préchauffeur, est réalisée par le biais de la boîte à fumée qui est une gaine en chaudronnerie, revêtue intérieurement de matériaux réfractaires.

En aval, il est relié avec le refroidisseur par le capot de chauffe, réalisé aussi en chaudronnerie, il est revêtu intérieurement de matériaux réfractaires, le refroidisseur (figure I.16 c) est situé à l'aval du four, c'est un refroidisseur à grilles horizontales à commande hydraulique. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres de soufflage.

Le refroidisseur a un triple rôle :

- Refroidir le clinker qui sort du four.
- Récupérer le maximum de chaleur contenu dans le clinker.
- Assurer la trempe de clinker par un refroidissement énergétique et rapide.

### 3.7. Atelier du ciment

#### A. Broyage ciment et Dosage

La cimenterie dispose de trois (03) broyeurs à boulets : 3 x 160 t/h (figure I.17). Pour chaque atelier de broyage ciment, 5 trémies : 1 trémie clinker de 500 t, 1 trémie calcaire de 300 t, 1 trémie gypse de 200 t et 2 trémies ajout de 250 m<sup>3</sup>.

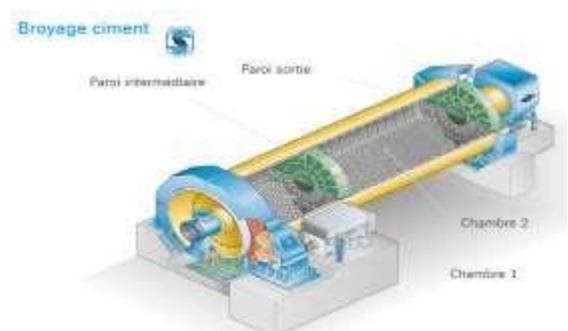


Figure I.17 : Broyeur à boulets [2]

# CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment

## 3.8. Atelier expédition

### A. Silos ciment

Stockage ciment (Silos) : Nombre de silo : 4, Diamètre: 20 m et Capacité: 20 000 t (figure I.18)



Figure I.18 : Stockage du ciment (silos) [2]

### B. Expédition Sacs

**Sacs camion** : Quatre (04) Ensacheuses avec applicateurs automatiques à 10 becs de 150 t/h chacune (3 000 sacs/h).

Six (06) en camionneuses automatiques et deux (02) en camionneuses manuelles.

**Sacs wagon** : Une (01) en wagonneuse manuelle.



Figure I.19 : Expédition Sacs (a) camion (b) wagon [2]

### C. Expédition Vrac

**Vrac camion** : Chargements Vrac sous silos ciment :

- ✓ deux (02) bouches de 300 t/h sous chaque silo une équipée et l'autre de réserve
- ✓ Un (01) pont bascule de 80 tonnes, sous chaque silo (total 04 ponts bascules).

**Vrac wagons** : Un (01) Chargement Vrac wagons sous deux silos de capacité 300 t/h, chacun avec un pont bascule de 120 tonnes.



Figure I.20 : Expédition Vrac (a) camion (b) wagon [2]

#### I.4. Types de ciments produits à la cimenterie SCS

Type de ciments à produire (Pour le dimensionnement adéquat des ateliers ciments) :

Les produits de la cimenterie de SIGUS sont le ciment CRS, CEM I –SR5, et les ciments CPJ, CEM II/ A - L 42.5 N et CEM II/ A - L 42.5 R.

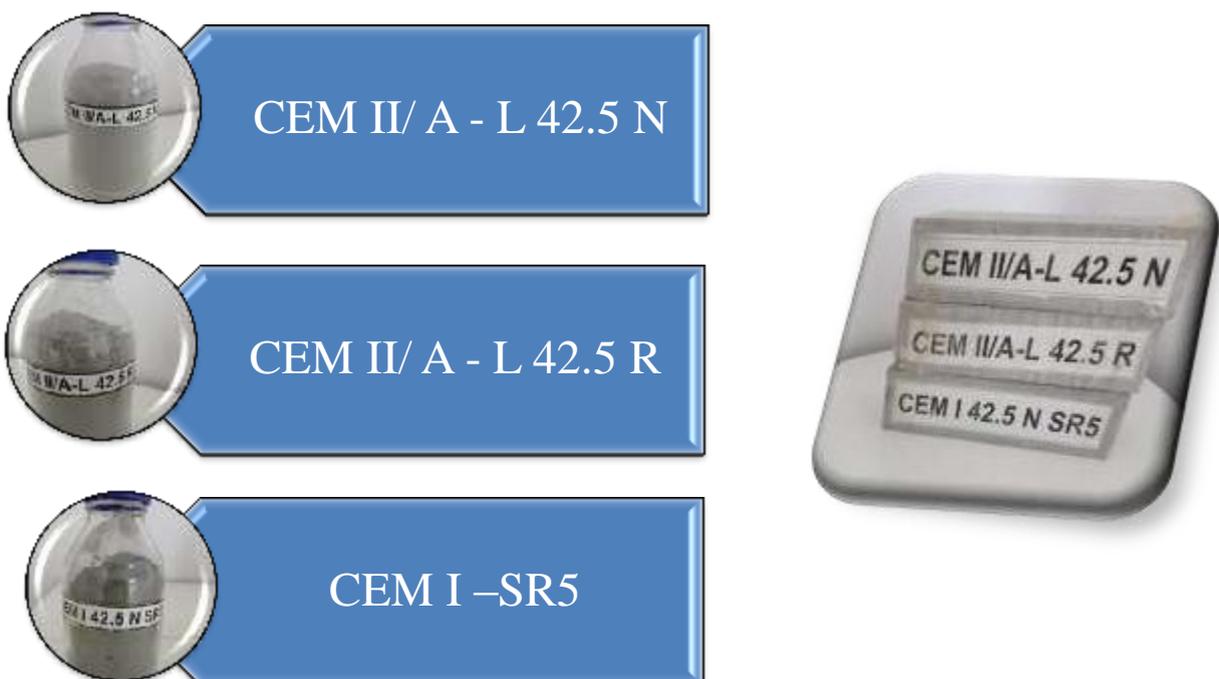


Figure I.21 : Types de ciments produits à la cimenterie SCS

## **CHAPITRE I Société des Ciments de SIGUS-SCS et Fabrication du Ciment**

### **I.5. Conclusion**

La garantie de la qualité du ciment exige un contrôle continu pour chaque étape de la production à commencer par l'exploitation des carrières pour l'extraction des matières premières, leur préparation pour l'obtention d'un mélange de cru homogène, de composition chimique régulière et l'obtention après cuisson d'un clinker de qualité. Une fois mélangé et broyé avec le gypse et d'éventuels ajouts, le ciment est prêt au conditionnement et expédition.

Ce chapitre, Montrer la description de l'usine de SIGUS, son infrastructure et son fonctionnement, En plus de tout cela, nous avons pris une vue d'ensemble pour présenter une méthode appropriée de fabrication du ciment.



**CHAPITRE II**

**Caractéristiques  
du Ciment  
& ses Composants**

**Introduction**

Dans ce deuxième chapitre, nous proposons une revue bibliographique sur les caractéristiques du ciment Portland en termes de constituants.

Une attention particulière est apportée à une présentation du ciment au laitier.

**II.1. Ciment et ses composants**

Le ciment Portland artificiel résulte du broyage du clinker, avec un pourcentage de gypse afin de régulariser la prise et éventuellement d'autres ajouts permettant la spécification des types de ciments. Le composé de base des ciments est le clinker, roche artificielle, obtenu après cuisson d'un mélange de matières premières, composé généralement d'environ 80 % de calcaire et de 20 % d'argile (aluminosilicates).

**1.1. Le clinker**

Au cours de la cuisson, la clinkerisation qui se produit à 1450 °C va permettre de former les principaux composants minéralogiques du clinker grâce à la combinaison de la chaux CaO, apportée par le calcaire, avec ceux de l'argile : la silice SiO<sub>2</sub>, l'alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et l'oxyde de fer Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Les composants minéraux du clinker (ou composants de Bogue) sont les suivants [4] :

**a) Le silicate tricalcique ou Alite (C<sub>3</sub>S)**

En forte proportion dans les ciments Portland, l'alite constitue l'élément le plus actif du ciment qui permet d'acquiescer les résistances requises à jeune âge. L'alite présente une morphologie de grains ayant l'apparence de dalles plates (cristaux hexagonaux à contours vifs).

**b) Le silicate bicalcique ou Bélite (C<sub>2</sub>S)**

La contribution de la bélite dans le développement des résistances se manifeste beaucoup plus à long terme. Appelée également l'orthosilicate, la bélite présente une morphologie sous forme de grains arrondis.

**c) L'aluminate tricalcique ou Celite (C<sub>3</sub>A)**

Le C<sub>3</sub>A constitue la phase interstitielle du clinker dont la vitesse de réaction initiale est la plus importante. En effet, les phases C<sub>3</sub>A et C<sub>4</sub>AF sont liquides à la température de formation du clinker, de ce fait, au cours du refroidissement, ils se présentent sous forme d'une phase interstitielle qui cristallise entre les cristaux de C<sub>3</sub>S et C<sub>2</sub>S. Elle confère au ciment de très bonnes résistances initiales et influe très peu sur le développement des résistances à long terme.

**d) L'aluminino-ferrique tétracalcique ou Féelite (C<sub>4</sub>AF)**

Appelée également Ferrite, Le C<sub>4</sub>AF constitue avec la céélite la phase interstitielle qui entoure les autres grains du ciment. La contribution de la ferrite dans le développement des résistances n'est pas importante. Outre les composants de Bogue, d'autres constituants secondaires sont toujours présents dans le clinker tels que la chaux libre CaO<sub>L</sub>, les alcalins (K<sub>2</sub>O - Na<sub>2</sub>O) et la magnésie sous forme cristalline (périclase).

**1.2. Le sulfate de calcium (CaSO<sub>4</sub>)**

Le clinker une fois hydraté est caractérisé par de très brefs délais de prise (moins de 5 min), ce qui le rend pratiquement inutilisable. Et pour cause le C<sub>3</sub>A qui est le composé du ciment le plus réactif avec l'eau, s'hydrate rapidement et la réaction qui en résulte est très brutale et génère une fausse prise avec formation d'aluminates de calcium hydratés qui auront un effet négatif sur la résistance du ciment [4]. Le gypse est de ce fait ajouté en guise de retardateur de prise pour éviter les réactions éclair de la céélite. En présence de gypse, les aluminates tricalciques réagissent pour former l'ettringite Cette réaction avec la formation de l'ettringite est à l'origine du début du raidissement du ciment. Les mécanismes de formation de ces composants seront développés dans la partie hydratation du ciment de ce chapitre.

**1.3. Les ajouts minéraux**

Pour des raisons d'économie d'énergie, d'écologie et dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre, les ajouts minéraux sont ajoutés comme des substituts de clinker dans le ciment. Leur influence sur certaines propriétés du béton est usuellement bénéfique.

Les ajouts sont généralement finement broyés et mélangés au clinker et gypse. Ils peuvent être des produits naturels, des déchets industriels ou des sous-produits.

Les ajouts minéraux sont classés en ajouts à caractère actif ou inerte. Les actifs participent aux réactions d'hydratation, donc chimiquement réactifs, et en réagissant avec l'hydroxyde de calcium ils forment des hydrosilicates de calcium. Les inertes ne prennent pas part aux réactions d'hydratation du ciment et donc chimiquement inertes [5].

**1.4. Ajouts naturels****a) Les fillers**

Les fillers sont obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches naturelles telles que le calcaire, la bentonite, le basalte. Ils sont inertes, cependant ils améliorent certaines propriétés du béton grâce à leur granulométrie appropriée (inférieure à 80 µm) comme l'ouvrabilité, réduction de la fissuration, etc. [5].

### **b) Les calcaires**

Le calcaire appartient aux roches carbonatées riches en chaux de type calcite, aragonite, vaterite et peut se trouver dans certaines marnes. Les calcaires sont des ajouts à caractère inerte et non hydrauliques. Ils peuvent améliorer la compacité du squelette granulaire du béton, et par leur relative inertie chimique contribuer à diminuer sensiblement la température due aux réactions exothermiques de réaction dans la masse et améliorer certaines propriétés du béton durci [6].

### **c) La pouzzolane naturelle**

La pouzzolane naturelle comme son nom l'indique est un roche naturelle issue généralement des projections volcaniques scoriacées, ou de roches sédimentaires, de couleur rouge (ou noire) selon le degré d'oxydation du fer présent sous forme d'hématite (ou magnétite).

Sa composition est basaltique dans laquelle on retrouve essentiellement de la silice réactive ( $\text{SiO}_2$ ) dans des proportions supérieures à 25%, de l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et de l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et possède des propriétés pouzzolaniques. Par propriété pouzzolanique, on entend des propriétés hydrauliques acquises grâce la fixation de la chaux libre issue des réactions d'hydratation du clinker avec formation de fines particules de C-S-H. Cette réaction est lente par rapport aux réactions d'hydratation du ciment Portland.

Une fois les propriétés hydrauliques acquises, la pouzzolane naturelle contribue à l'amélioration de la durabilité du béton. La réaction pouzzolanique conduit à une réduction de la chaux libre dans la pâte de ciment et permet donc de réduire le risque d'attaque par les sulfates [7].

### **d) Laitier de haut fourneau**

Les laitiers de haut fourneau sont des sous-produits de l'élaboration de la fonte, ils sont composés principalement d'oxydes de silicium, de calcium et d'aluminium, les laitiers granulés acquièrent une structure vitreuse suite à une trempe à l'eau à la sortie du haut fourneau. La quantité importante de silice et des autres minéraux qu'ils renferment, leur confèrent généralement des propriétés hydrauliques latentes et une activité pouzzolanique considérable. Les bétons au laitier présentent aux jeunes âges une résistance inférieure à celle des bétons ordinaires, tandis que à long terme, cette résistance augmente de façon très rapide allant jusqu'à dépasser celle du béton sans ajout. Cette augmentation de la résistance est favorisée par la grande finesse du laitier [12].

## **1.5. Le Ciment au laitier**

Les ajouts minéraux proviennent principalement de l'industrie, en tant que sous-produits.

Les cendres de combustion du charbon dans les centrales thermiques (cendres volantes).

La silice émanant de certains procédés métallurgiques (fumée de silice) et le laitier de haut fourneau sont les principaux sous-produits de l'industrie qui peuvent être utilisés comme ajouts au béton.

Ces poudres minérales ou fines complémentaires sont de granulométrie voisine de celle de ciment, voire plus fines, elles peuvent avoir un caractère hydraulique latent, soit avoir un caractère pouzzolanique, soit être inertes chimiquement. Dans tous les cas, du fait de leur finesse, ces fines vont jouer un rôle actif vis-à-vis à la compacité du squelette, c'est le rôle de remplissage, ainsi ces ajouts modifient la micro structure du béton en termes caractéristiques physiques et chimiques, conduisent à la segmentation de larges pores capillaires et offrent un grand nombre de sites de germination pour la précipitation des produits d'hydratation qui permettent de réduire les dimensions de cristaux de chaux.

Le laitier du haut fourneau est le matériau hydraulique latent, le plus utilisé dans la fabrication des ciments avec ajouts, partout dans le monde, vu ses propriétés stables, comparées à celles des autres sous-produits industriels.

Aussi, en tant qu'ajout cimentaire, il présente des caractéristiques intéressantes, notamment du point de vue de la constance de sa composition chimique parce que celle-ci doit se situer dans une zone bien définie du diagramme de phases  $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ . (Neville, 2000)

Vers 1818, L. Vicat avait déjà mentionné la possibilité d'utiliser du laitier en cimenterie. Mais il faut attendre 1862 pour que Emil Langen démontre qu'un mélange de laitier broyé et de chaux donnait naissance à un liant hydraulique. La fabrication industrielle du ciment de laitier commença en Allemagne en 1882, grâce à G. Prussing, ce n'est que beaucoup plus tard et vers 1928 que ces ciments apparaissent en France.

Cependant, bien avant cette date, les ciments portlands additionnés de laitier et les ciments de laitiers à la chaux furent employés. Comme par exemple en 1900 pour la construction du métro à Paris. (Venuat, 1984).

Actuellement, un très grand nombre de cimenteries fabriquent des liants hydrauliques contenant des teneurs variées en laitier (ciments normalisés ou des ciments spéciaux). [8].

### A. Propriétés du ciment de laitier

- - haute résistance à long terme à la compression, supérieure à celle du ciment ordinaire.
- - résistance à l'action agressive de l'eau de mer.
- - densité plus élevée par rapport au ciment ordinaire.

- - chaleur d'hydratation plus basse par rapport au ciment Portland ordinaire, ce qui évite la fissuration.
- - grande résistance à la diffusion du chlorure et aux sulfates.
- - production de béton à plus haute durabilité.

Le seul inconvénient est une résistance à court terme qui nécessite d'un activateur pour être augmentée ; en général, l'on a recours au ciment, dont le CaO agit comme d'un activateur.

### II.2.Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous pouvons conclure que la chimie de réhydratation du ciment dépend de sa composition chimique et du milieu dans lequel il est utilisé. Parmi les agressions des matériaux cimentaires, l'effet sulfate est souvent rencontré et ne peut être éliminé lorsque les ions sulfate sont naturellement présents dans le sol, l'eau ou l'atmosphère. Le ciment attaqué subit d'abord un processus d'expansion puis de fissuration, qui se propage progressivement dans tout le matériau dès son apparition. Pour pallier ce type d'attaque et éviter la détérioration du béton, le ciment de laitier possède toutes les propriétés adaptées et Imaginables pour ce type d'attaque.



**Méthodes**

**&**

**Matériels**

**CHAPITRE III**

## Introduction

Dans cette partie, les méthodes ainsi que les dispositifs que nous avons utilisés dans le processus de préparation sont présentés et l'analyse des échantillons au niveau du laboratoire de la société des ciments de de SIGUS SCS. Les essais chimiques sont réalisés sur les différentes matières premières entrant dans la fabrication des clinkers destinés aux types de ciments d'étude (CEM II et ciment au laitier avec 15% de laitier et ciment au laitier avec 25% de laitier), les essais physiques sont réalisés sur les pâtes de ciment et les essais mécaniques sur les mortiers.

### III.1. Choix et préparation des échantillons

Pour répondre à l'objet de cette étude, les essais ont été réalisés sur la base d'une comparaison cotée caractéristiques entre le ciment au laitier avec 15% de laitier et ciment au laitier avec 25% de laitier - et le ciment CEM II/A 42.5. Trois (03) échantillons représentatifs de chaque type de ciments, présenté dans le tableau suivant :

Tableau III. 1. Caractéristiques des ciments étudiés.

Caractéristique des ciments				
Type de ciment	Clinker (%)	Gypse (%)	Calcaire (%)	Laitier(%)
CEM II/A-L 42.5N	80	5	15	/
Ciment au laitier	80	5	/	15
Ciment au laitier	70	5	/	25

### III.2. Analyses chimiques

#### 2.1. Détermination de la perte au feu

- **Principe**

La perte au feu est déterminée en atmosphère oxydante (l'air ambiant), après calcination à  $(975 \pm 25)$  °C. Le gaz carbonique et l'eau sont chassés, les éléments éventuellement présents sont oxydés [14].

- **Mode opératoire**

- ✓ Peser dans un creuset préalablement calciné et taré,  $(1 \pm 0,05)$  g de ciment (M1),
- ✓ Placer le creuset couvert dans le four électrique dont la température est stabilisé  $(975 \pm 25)$  °C,

- ✓ Après 5 minutes de chauffage, retirer le couvercle et laisser dans le four pendant 30 minutes supplémentaires,
- ✓ Refroidir le creuset dans le dessiccateur à la température ambiante,
- ✓ Peser et déterminer la constance de la masse (M2).

• **Expression des résultats**

La perte au feu brute est calculée en pourcent par la formule [14] :

$$\text{Perte au feu brute} = [(M1 - M2) / M1] \times 100$$

Où :

M1 est la masse de la prise d'essai initiale, en grammes ;

M2 est la masse de la prise d'essai calcinée, en grammes.

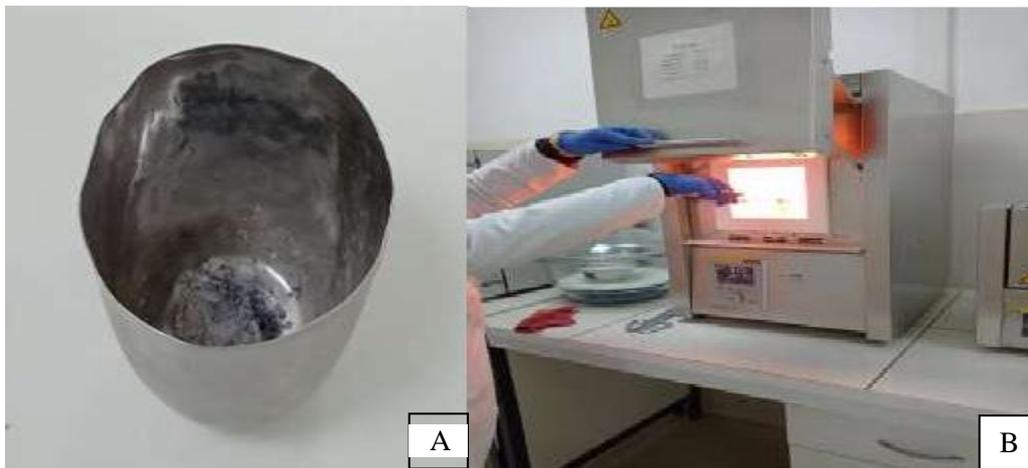


Figure III.1 : Matériels pour la mesure de la PAF (a) Creuset en platine (b) Four

**2.2. Détermination de la chaux libre**

La détermination de la teneur en chaux libre (oxyde de calcium de formule CaO) dans un ciment constitue une analyse essentielle dans le contrôle du ciment. En effet, de grandes quantités de CaO modifient ses propriétés mécaniques : elles provoquent son gonflement en passant sous forme Ca(OH)<sub>2</sub> et diminuent sa résistance [14].

Les méthodes communément utilisées pour la détermination de la chaux libre sont basées sur son extraction par un solvant organique, suivie d'un dosage par un acide ou par l'EDTA (Éthylène Diamine Tétra-Acétique).

• **Mode opératoire**

- ✓ Peser 1g de poudre de ciment dans un bécher, mètre la quantité de ciment et 30 ml glycérol
- ✓ Laisser chauffer dans un bain de sable (figure III. 2.) à une température de 65 à 70 °C pendant 20 minutes ;

## CHAPITRE III

## Méthodes et Matériels

Lorsque le changement de couleur devient violet titrer la solution avec l'acétate d'ammonium  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  jusqu'à ce que la couleur violet passe au jaune. La teneur de la chaux libre est calculée comme suit [14] :

$$CaO_L = N \cdot T \cdot 100$$

$N$  : volume l'acétate d'ammonium

$T$  : titre d'acétate d'ammonium

$$T = 0,0095$$

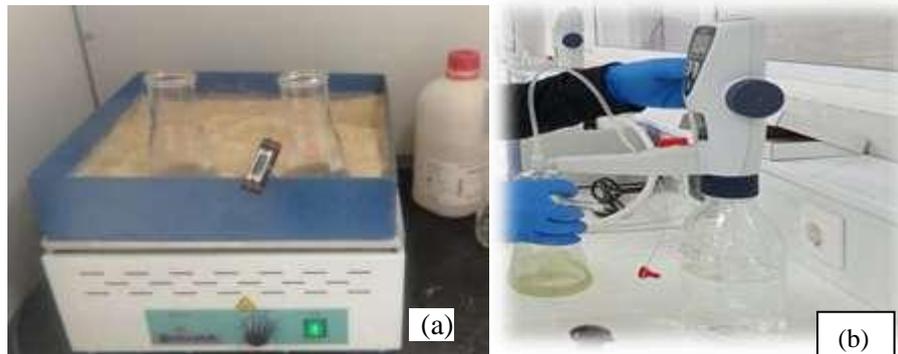


Figure III.2 : Matériels pour la mesure de la chaux libre (a) Bain de sable (b) Titrette

### 2.3. Détermination du pourcentage de $\text{SO}_3$

- ✓ Peser 0.5 g de poudre de ciment ;
- ✓ Ajouter 95 ml d'eau distillée et 5 ml de  $\text{HCl}$  N/2 ; Porter à l'ébullition sur une plaque chauffante ;
- ✓ Agiter et écraser jusqu'à le changement du couleur jaune; complète le volume jusqu'à 200 ml ;
- ✓ Ajouter le  $\text{BaCl}_2$  (100 g/l); puis agiter pendant 10 min pour former un précipité de  $\text{SO}_3$  ;
- ✓ Filtrer cette solution dans un bécher (filtre rapide) [14];

Au niveau de laboratoire de la cimenterie de SIGUS, on utilise l'appareil spectrophotomètre qui permet une mesure automatique de  $\text{SO}_3$  (figure III 3 c).

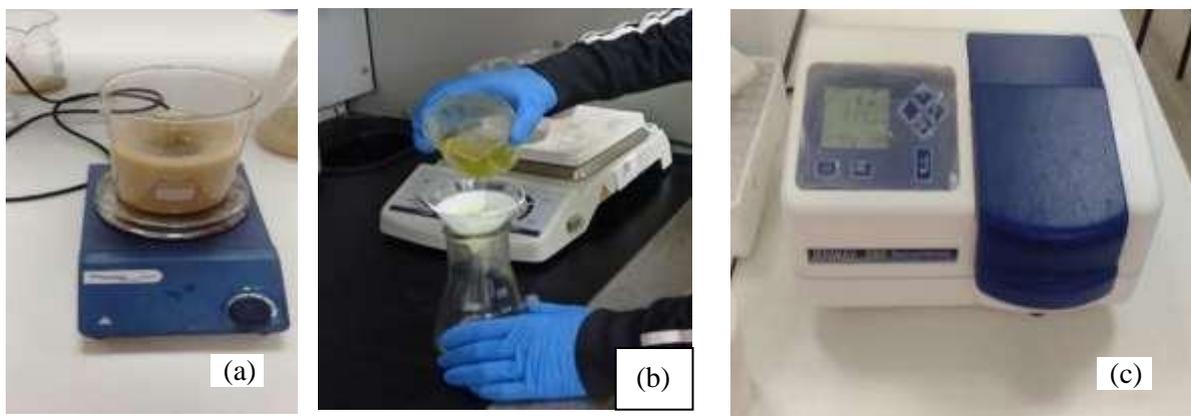


Figure III.3 : Etapes et matériels pour la mesure de  $\text{SO}_3$   
(a) Agitation de la solution (b) Filtration de la solution (c) Spectromètre

## 2.4. Spectrométrie de fluorescence X

- **Objet :**

Le présent manuel consiste en l'analyse chimique des échantillons de calcaire, argile, sable, minéral de fer, tuf, gypse et laitier à l'aide d'un spectromètre à fluorescence X.

- **Définition :**

L'analyse chimique par fluorescence X consiste à déterminer le pourcentage des différents oxydes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ) ainsi que le calcul automatique des modules, indices.

➤ **Exemple : MH :** Module hydraulique.

**A/F :** Module alumino-ferrique.

**MS :** Module silicique.

**LSF :** Facteur de saturation en chaux.

**C<sub>3</sub>S :** Silicate tricalcique.

**C<sub>2</sub>S :** Silicate bicalcique.

**C<sub>3</sub>A :** Aluminate tricalcique.

**C<sub>4</sub>AF :** Alumino-ferrite tétracalcique.

**Ph :** Phase liquide.

**AW :** Aptitude au croûtage.

La spectrométrie de Fluorescence X en anglais X Ray Fluorescence (XRF) est une technique d'analyse élémentaire qui permet de :

✓ Qualifier les éléments chimiques présents dans un échantillon c'est-à-dire connaître les éléments constituant l'échantillon (exemple : Calcium, Silicium, Aluminium, Fer, etc.)

✓ Quantifier les éléments présents c'est-à-dire connaître leur teneur (exemple : 65 % de Calcium, 18 % de silicium, etc.). [30]

- **Principe**

Le faisceau de rayons **X** vient exciter les atomes présents dans l'échantillon à analyser. Sous cette influence, les éléments du cortège électronique peuvent être arrachés du niveau d'énergie  $E_x$  sur lequel ils sont situés. La place libre est alors comblée par des électrons situés sur un niveau d'énergie supérieure.  $E_y$  ( $E_y > E_x$ ). Ces transitions s'accompagnent de l'émission de photons. Chaque transition d'un niveau d'énergie de départ vers un niveau d'énergie d'arrivée

Laissé vacant par l'électron éjecté donne lieu à une raie. La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse élémentaire c'est-à-dire qu'elle nous permet de déterminer les concentrations en éléments purs. Cependant, les éléments sont souvent présents sous la forme de composés, Il est donc souhaitable de connaître les pourcentages de ces composés plutôt que d'éléments [30]. Cette concentration en composés est calculée, en général par le logiciel d'analyse, à partir des concentrations en élément et des formules chimiques.

• **Mode opératoire**

- ✓ Peser 12 g de ciment qui seront destinés au broyage au moyen d'un broyeur automatique (appareil APM) présenté en figure III.4. Le broyage est effectué pendant six (06) minutes.

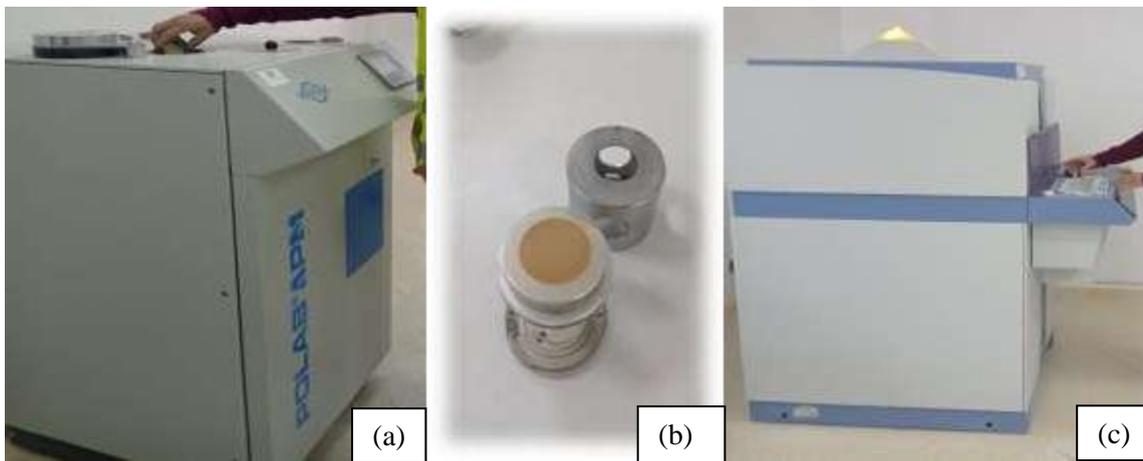


Figure III.4 : Analyse par spectrométrie FX  
 (a) Appareil APM (b) Pastilleuse (c) Spectromètre XRF

- ✓ Mettre la poudre obtenue dans une pastilleuse.
- ✓ Introduire les pastilles dans le spectromètre XRF de type ARL 9900 [30].

Le spectromètre XRF est relié à l'ordinateur grâce un logiciel qui permet une lecture directe des résultats des analyses chimiques [14].

• **Mode opératoire**

**A) Analyse du clinker**

➤ **Préparation de l'échantillon**

✓ **Première étape**

L'échantillonnage instantané et horaire pour le contrôle continu du processus de fabrication, conduit automatiquement à la préparation d'un échantillon journalier (12 prélèvements) chaque heure, une prise d'essai d'environ 20 grammes de l'échantillon prélevé pour le contrôle continu, est introduite dans la boîte échantillon jour étiquetée « KK1 » ou « KK2 ».

### ✓ Deuxième étape

L'échantillon jour est à son tour transvasé dans une autre boîte pour être ensuite homogénéisé dans un appareil appelé «TURBULA ».

#### ➤ Préparation de la pastille

De l'échantillon jour de clinker « KK1 » ou « KK2 » parfaitement homogénéisé dans l'appareil «TURBULA ».

- ✓ Peser **20 grammes** de clinker et l'introduire dans le récipient du broyeur HERZOG.
- ✓ Ajouter **huit (08) gouttes TEA**.
- ✓ Placer le récipient dans le broyeur et bien fermer le couvercle.
- ✓ à l'aide de la minuterie, régler le temps de broyage à **02 minutes** et broyer.
- ✓ Mettre une pastille neuve (propre) dans le dispositif de pastillage et remplir par le clinker finement broyé (80 % de passants au tamis 100  $\mu$ ) puis niveler.
- ✓ Passer sur presse HERZOG sous une pression de 150KN.
- ✓ Retirer la pastille obtenue, nettoyer sans toucher la surface de la pastille ni avec les doigts ni avec le pinceau.
- ✓ Mettre à l'étuve à **80 °C** pendant **20 minutes**.

### B) Analyse du laitier :

#### ➤ Préparation de l'échantillon :

- ✓ Les échantillons de laitier sont prélevés sur site du stock extérieur, des doseurs ou chaque arrivage (sur wagon ou camion) en ayant soin de procéder au quartage d'une quantité importante pour qu'elle soit représentative.
- ✓ Les échantillons de laitier prélevés doivent être obligatoirement séchés à l'étuve à 80 °C pendant deux heures pour en déduire l'humidité.

#### ➤ Préparation de la pastille :

L'échantillon de laitier bien séché à l'étuve doit subir un premier broyage à la salle d'échantillonnage du labo chimie et ce pendant une minute.

- ✓ Peser **20 grammes** de Laitier et l'introduire dans le récipient du broyeur HERZOG.
- ✓ Ajouter **six (06) gouttes TEA**.
- ✓ Placer le récipient dans le broyeur et bien fermer le couvercle.
- ✓ à l'aide de la minuterie, régler le temps de broyage à **01 minute** et broyer.
- ✓ Mettre une pastille neuve (propre) dans le dispositif de pastillage et remplir par le laitier finement broyé (80 % de passants au tamis 100  $\mu$ ) puis niveler.

- ✓ Passer sur presse HERZOG sous une pression de 150KN.
- ✓ Retirer la pastille obtenue, nettoyer sans toucher la surface de la pastille ni avec les doigts ni avec le pinceau.
- ✓ Mettre à l'étuve à **80 °C** pendant **20 minutes**.

### C) Analyse du ciment

#### ➤ Préparation de l'échantillon

✓ Première étape : L'échantillonnage instantané (ciment expédition) et horaire (ciment fabrication) pour le contrôle continu du processus de fabrication, conduit automatiquement à la préparation d'un échantillon journalier (12 prélèvements) chaque 02 heures, une prise d'essai d'environ 200 grammes De l'échantillon ciment prélevé pour le contrôle continu, est introduite dans la boîte échantillon jour étiquetée « CF1 » ou « CF2 ».

✓ Deuxième étape : L'échantillon jour est à son tour transvasé dans une autre boîte pour être ensuite homogénéisé dans un appareil appelé «TURBULA ».

#### ➤ Préparation de la pastille :

De l'échantillon jour du ciment fabrication « CF1 ou CF2 » parfaitement homogénéisé dans l'appareil «TURBULA » ou de L'échantillon instantané du ciment expédition « EXP1 ou EXP2).

- ✓ Peser **20 grammes** de ciment et l'introduire dans le récipient du broyeur HERZOG.
- ✓ Ajouter **six (08) gouttes TEA**.
- ✓ Placer le récipient dans le broyeur et bien fermer le couvercle.
- ✓ à l'aide de la minuterie, régler le temps de broyage à **01 minute** et broyer.
- ✓ Mettre une pastille neuve (propre) dans le dispositif de pastillage et remplir par le ciment finement broyé (80 % de passants au tamis 100 µ) puis niveler.
- ✓ Passer sur presse HERZOG sous une pression de 150KN.
- ✓ Retirer la pastille obtenue, nettoyer sans toucher la surface de la pastille ni avec les doigts ni avec le pinceau.
- ✓ Mettre à l'étuve à **80 °C** pendant **20 minutes**.

---

**NB** : L'homogénéisation du ciment fabrication est difficile vu que l'appareil « TURBULA » ne contenir que 1,5 Kg au maximum, alors que l'échantillon jour du ciment fabrication dans les bonnes conditions de marches des broyeurs ciment est de 2,4 Kg (200 grammes par prélèvements), généralement l'homogénéisation se fait manuellement avec une règlette.

### III.3. Essais physiques

#### 3.1. Détermination du pourcentage des refus

Les refus sont déterminés pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré du broyage.

- **Mode opératoire**

Peser 10 g de ciment. A l'aide d'un pinceau, tamiser avec un tamis de 45 µm pendant 2 minutes. Les particules au-dessus du tamis représentent le pourcentage du refus. Au niveau de laboratoire de la cimenterie de SIGUS, on utilise l'appareil alpine (figure III.5 b) qui donne directement le pourcentage de refus [15].

$$\text{Refus} = \frac{\text{Masse restante au-dessus du tamis après tamisage} * 100}{\text{masse initiale du ciment avant le tamisage}}$$



Figure III.5 : Matériels pour la détermination du refus  
(a) Tamis 45 µm (b) Appareil alpine

#### 3.2. Mesure de la surface spécifique par la méthode Blaine

- **Principe**

La finesse du ciment est mesurée en observant le temps mis un volume fixé d'air pour traverser un lit de ciment compact à une porosité spécifique à 0.5 [15].

- **Mode opératoire**

- ✓ -Peser : 2,709 g de ciment CPJ et 2,814 g de ciment CEM I–SR5
- ✓ -Placer la grille au fond de la cellule, appliquer sur cette grille au moyen d'une tige à face intérieure plein un disque neuf de papier filtre.
- ✓ -Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir.
- ✓ -Donner quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant puis placer sur celle-ci un autre disque neuf de papier filtre.
- ✓ -Tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule. Retirer le piston lentement,
- ✓ -Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur

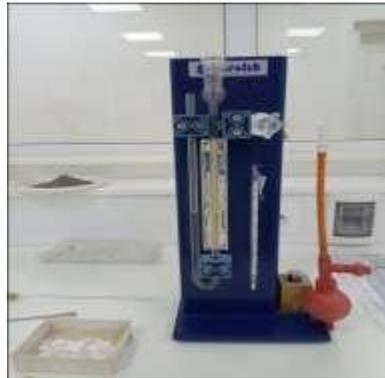


Figure III. 6 : Appareil de mesure de la surface spécifique de Blaine

L'appareil indique la valeur de la surface spécifique de Blaine en  $\text{cm}^2/\text{g}$

### 3.3. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente, souvent appelée densité apparente est une grandeur utilisée essentiellement avec les substances se présentant sous forme de granulés afin de rendre compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel.

- **Principe**

On remplit un récipient dont on connaît le volume, en prenant de grandes précautions pour éviter les phénomènes parasites provoqués par le tassement. On pèse ensuite l'échantillon en prenant soin de déduire la masse du récipient. La masse de l'échantillon est divisé par le volume du récipient pour donner la masse volumique apparente du matériau.

- **Mode opératoire**

Peser la mesure vide (un récipient) du densimètre (figure III. 7), Placer la mesure sous l'entonnoir, Verser une quantité de ciment sur le passoir et faire descendre dans l'entonnoir à l'aide d'une spatule, Araser à l'aide d'une règle et peser le contenu [15].



Figure III.7 : Densimètre

### 3.4. Masse volumique absolue

- **Principe**

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains [15].

- **Mode opératoire**

Peser 64 g de ciment, remplir le voluménomètre de Chatelier à 24 ml d'huile diesel avec les 64 g du ciment et laisser reposer pendant 24 heures.

Ensuite prendre le volume obtenu sur le voluménomètre qui est de 20,70 ml (figure III. 8).

Calculer la masse volumique comme suite :  $\rho_s = m / v$ .

Où m : la masse du ciment et v : le volume obtenu après 24 h.



Figure III.8 : Voluménomètre de Chatelier

### 3.5. Détermination de la consistance normale

Dans ces essais, les échantillons des deux types de ciment étudiés, CRS et CEM II/A sont sous forme de pâte. Le but de cet essai est de déterminer la quantité nécessaire d'eau de malaxage en utilisant l'appareil de Vicat [16].

- **Mode opératoire**

Verser soigneusement 500 gramme de ciment dans un malaxeur (figure III.9 a) avec 125 ml de l'eau (ciment CRS) et 123 ml (ciment CEM II/A) en évitant toute perte d'eau ou de ciment. Le malaxeur est programmé automatiquement pour un mélange de la pâte.

Après malaxage, la pâte est rapidement introduite dans le moule tronconique (figure III.9 b) et est posée sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs.

Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule.

Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat (figure III.9 c).

La sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse).

La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance de séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base [16].

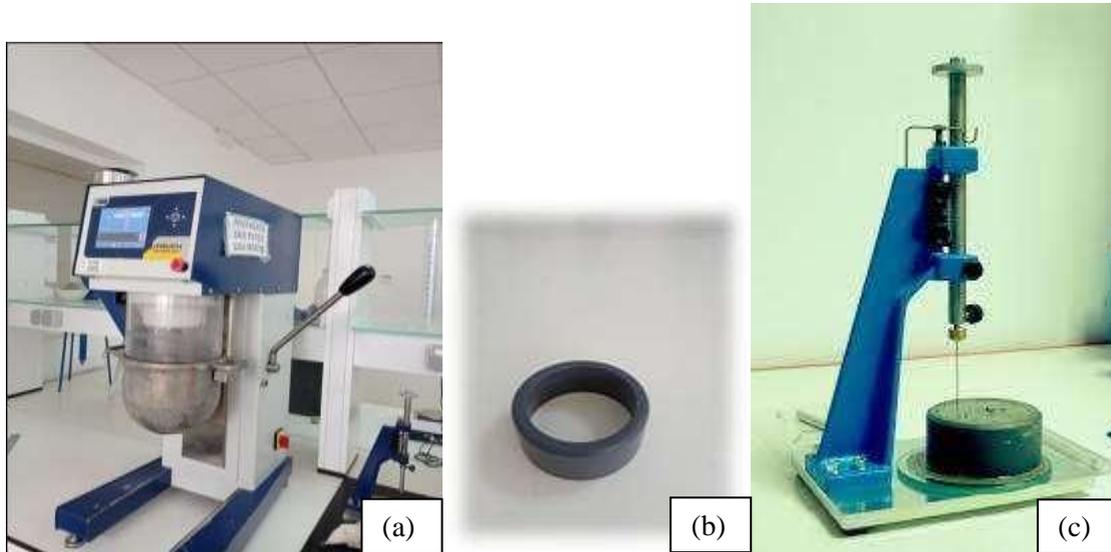


Figure III.9 : Matériels pour la détermination de la consistance de la pâte  
(a) Malaxeur (b) Moules (c) Appareil de Vicat

La consistance normale de la pâte doit répondre à  $d = 2 \div 4$  mm

### 3.6. Essais de prise

L'essai de prise a pour but de déterminer le temps de prise, c'est-à-dire qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et respectivement le début de prise et fin de prise [16].

- **Principe de l'essai**

On détermine le début de prise ou fin de prise à l'aide de l'aiguille de Vicat (figure III.10) qui s'enfonce dans un moule tronconique rempli de pâte.

- **Début de prise**

Le début de prise est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant du début de gâchage et celui où l'aiguille de Vicat s'arrête à une distance du fond du moule supérieure à  $4 \text{ mm} \pm 1$ .

- **Fin de prise**

C'est le temps qui sépare le début de gâchage de ciment jusqu'au moment où la sonde portant l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte.



Figure III.10 : L'aiguille de Vicat

### 3.7. Détermination de la stabilité (expansion)

Le moule d'expansion est de la forme cylindrique de 30 mm de diamètre et 30 mm de hauteur, constitués par une feuille de laiton (épaisseur 0,5 mm), comportant deux aiguilles longues de 15 cm, aiguilles Le Chatelier (figure III.11), soudées de chaque côté de la fente.

La variation de l'écartement des ces aiguilles nous renseignera sur la valeur du gonflement [16].

*Appareil Le Chatelier* : Le moule doit être constitué d'un métal élastique résistant à la corrosion, par exemple le laiton, et muni d'aiguilles de mesurage.



Figure III.11 : L'aiguille de Le Chatelier

Armoire humide : de dimensions appropriées, maintenue à une température de  $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$  et à une humidité relative minimale de 90 %.

Bain d'eau : avec un moyen de chauffage, capable de contenir les éprouvettes Le Chatelier immergées et de porter la température de l'eau de  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  jusqu'à l'ébullition en  $(30 \pm 5)$  min.

- **Mode opératoire**

Mettre la pâte préparée sur une plaque de verre et remplir le moule d'expansion, puis couvrir avec une deuxième plaque de verre.

Conserver les aiguilles dans l'armoire humide pendant 24 heures.

Ensuite, enlever les aiguilles de l'armoire humide et marquer l'écartement entre les deux aiguilles, et les mettre dans un bain marie à température  $100 ^\circ\text{C}$  pendant 3 heures.

Mesurer l'écart (pendant la confection du moule). La variation de l'écartement représente l'expansion à chaud [16].

### III.4. Essais mécaniques

La méthode consiste à déterminer la résistance à la compression et la résistance à la flexion d'éprouvettes de forme prismatique et de dimensions 40 mm 40 mm×160 mm [17].

#### 4.1. Préparation des mortiers

- **Composition des mortiers**

Les proportions en masse doivent être les suivantes : une partie de ciment, trois parties de sable normalisé et une demi partie d'eau (rapport eau/ciment = 0,50).

Une gâchée pour trois éprouvettes doit être constituée de  $(450 \pm 2)$  g de ciment,  $(1350 \pm 5)$  g de sable et  $(225 \pm 1)$  g d'eau [17].

- **Malaxage des mortiers**

Peser le ciment et au moyen de la balance, lorsque l'eau est mesurée en volume, elle doit être introduite avec une précision de  $\pm 1$  ml.

Malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur l'appareil de préparation des mortiers [17].

- **Le mode opératoire de malaxage**

Introduire l'eau et le ciment dans le bol (figure III.12), en prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment.

Verser le sac du sable normalisé du haut du malaxeur, placer le bol sur le malaxeur (figure III.7a § III.3) et mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lançant le chronométrage automatique des étapes du malaxage.

Après 30 s de malaxage, introduire régulièrement tout le sable Pendant les 30 s puis passer sur une plus grande vitesse et continuer le malaxage automatiquement jusqu'à l'arrêt. Après 240 s se forme le mortier.



Figure III.12 : Bol de malaxage

## 4.2. Préparation des éprouvettes

### A. Moulage des éprouvettes

Mouler les éprouvettes immédiatement après la préparation du mortier. Le moule et la hausse étant solidement fixés sur la table à chocs, introduire, à l'aide d'une cuillère appropriée, en une ou plusieurs fois, la première des deux couches de mortier dans chacun des compartiments du moule, directement à partir du bol de malaxage, étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule, tenue presque verticalement en contact avec la partie supérieure de la hausse, et muée en avant et en arrière, une fois, sur toute la longueur de chaque compartiment du moule, serrer la première couche de mortier par 60 chocs de l'appareil à chocs (figure III.13 a). Introduire la seconde couche de mortier, en veillant à assurer un surplus, niveler à l'aide de la petite spatule et serrer à nouveau par 60 chocs.

Retirer doucement le moule de la table à chocs et ôter la hausse. Enlever immédiatement l'excès de mortier à l'aide de la règle métallique, en la tenant presque verticalement ; mais inclinée dans le sens de l'arasement, déplacer la règle lentement, en la tirant dans un mouvement de scie transversal, une fois dans chaque sens. Refaire l'opération d'arasement en tenant la règle selon un angle plus aigu pour lisser la surface.

Etiqueter ou marquer le moules pour permettre leurs identification.

Les moules (figure III. 13 c) sont munis dans une armoire ou chambre humide (de  $20 \pm 1$  °C) pendant 24 heures où l'air humide doit être pouvoir atteindre tous les côtés du moule.

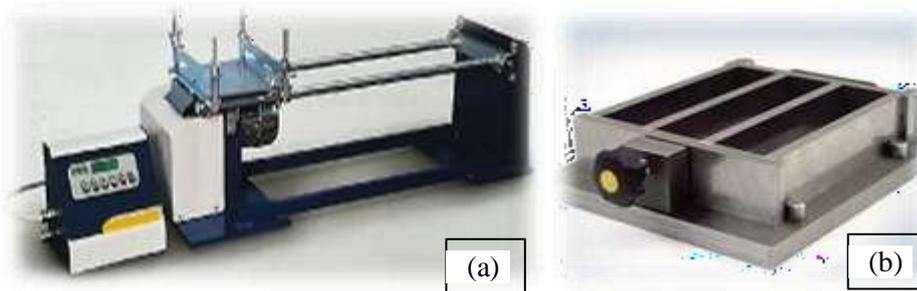


Figure III.13 : Préparation des éprouvettes  
(a) Table à chocs (b) Moule pour éprouvettes

**Note 1** : Le 'temps zéro' est le point de départ pour calculer les temps de démoulage des éprouvettes et pour déterminer la résistance.

Pendant les premières 2 minutes le malaxeur s'arrête temporairement de 30 s, retirer le bol de l'appareil et enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérant aux parois et au fond du bol et le placer au milieu du bol, Ensuite installer dans le malaxeur, Reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 90 s.

**Note 2** : Ces opérations de malaxage sont effectuées automatiquement.

**B. Démoulage des éprouvettes**

Effectuer le démoulage en prenant soin de ne pas détériorer les éprouvettes. Des marteaux en caoutchouc ou en plastique, ou d'autres instruments conçus dans ce but, peuvent être utilisés pour le démoulage.

Pour les essais à 24 h, effectuer le démoulage pas plus de 30 min avant l'essai. Pour les essais à plus de 24 h, effectuer le démoulage entre 20 h et 24 h après le moulage.

**C. Conservation des éprouvettes dans l'eau**

Immerger, sans délai, les éprouvettes marquées de manière convenable, soit horizontalement, soit verticalement dans les bacs contenant de l'eau à  $(20,0 \pm 1,0)$  °C (figure III.14).

Lorsque les éprouvettes sont stockées horizontalement, maintenir verticalement les faces verticales de moulage.

Placer les éprouvettes sur les grilles et séparer les éprouvettes les unes des autres de telle manière que l'eau puisse atteindre librement les six faces des éprouvettes. Utiliser l'eau du robinet pour le remplissage initial des bacs et pour des ajouts occasionnels destinés à maintenir un niveau d'eau raisonnablement constant. Pendant la conservation des éprouvettes, on ne doit pas renouveler plus de 50 % de l'eau en une seule fois.

Retirer de l'eau les éprouvettes destinées à être essayées à un âge particulier (autre que 24 h, ou 48 h en cas de démoulage retardé) pas plus de 30 min avant la réalisation de l'essai, Enlever tout dépôt éventuel sur les faces d'essai, Recouvrir les éprouvettes d'un linge humide jusqu'au moment de l'essai.

---

**Note 1** : Le démoulage peut être retardé de 24 h si le mortier n'a pas acquis une résistance suffisante, après 24 h, pour être manipulé sans risque de détérioration. Il convient de consigner tout retard de démoulage dans le rapport d'essai.

Après démoulage, couvrir d'un linge humide les éprouvettes choisies pour l'essai à 24 h (ou à 48 h quand un démoulage retardé est nécessaire) et les conserver ainsi jusqu'au moment des essais.

Marquer convenablement les éprouvettes choisies pour une maturation dans l'eau, dans un but d'identification ultérieure.

**Note 2** : Comme moyen de vérification des opérations de malaxage et de serrage et de la teneur en air du mortier, il est recommandé de peser les éprouvettes produites par chaque moule [17].

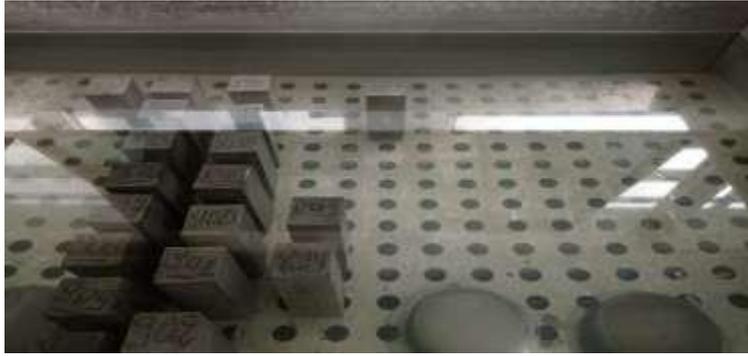


Figure III.14 : Conservation des éprouvettes dans un milieu normal

### III.5. Essais des résistances mécaniques

Effectuer les essais de résistance aux différents âges indiqués, avec les tolérances suivantes :

- 24 h  $\pm$  min ;
- 7 jours  $\pm$  2 h ;
- 28 jours  $\pm$  8 h.

#### 5.1. Résistance à la flexion

Utiliser la méthode de la mise en charge en trois points, au moyen de l'appareil (figure III. 16). Installer le prisme dans l'appareil, en plaçant une face latérale sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculairement aux appuis. Au moyen du rouleau de mise en charge, appliquer la charge verticalement sur la face latérale opposée du prisme et augmenter régulièrement la charge à la vitesse de  $(50 \pm 10)$  N/s, jusqu'à la rupture.

#### 5.2. Résistance à la compression

L'essai sur les deux moitiés du prisme rompu comme ou par d'autres moyens qui ne soumettent pas les demi-prismes à des contraintes néfastes.

Essai sur chaque demi-prisme en appliquant la charge sur les faces latérales, au moyen de l'équipement.

Centrer les demi-prismes latéralement par rapport aux plateaux de la machine, à  $\pm 0,5$  mm, et longitudinalement de façon que l'extrémité du prisme dépasse de 10 mm environ, par rapport aux plateaux ou aux plaques auxiliaires.

Augmenter la charge régulièrement à la vitesse de  $(2400 \pm 200)$  N/s pendant toute la durée d'application de la charge, jusqu'à la rupture.

Les résultats seront affichés sur l'écran de l'appareil (figure suivante).



Figure III.16 : Appareil de mesure de la rupture à la compression et à la flexion

### III-6- Conclusion

Les techniques expérimentales mises en œuvre lors de cette étude permettent une analyse détaillée des matières premières et une évaluation des performances des lignes de production de chaque type de ciment étudié (ciment 15% calcaire + ciment 15% laitier + ciment 25% laitier).



**Résultats**

**CHAPITRE IV**

**&**

**Interprétations**

**Introduction**

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus à partir des essais réalisés au niveau du laboratoire de la cimenterie de SIGUS. Tous les paramètres déterminant les caractéristiques techniques des ciments d'étude seront évalués dans la partie consacrée à l'interprétation et discussion des résultats.

**IV.1. Analyse Chimique**

**1.1. Matières premières**

Les résultats de la fluorescence X réalisée sur les matières premières sont présentés dans le tableau IV.1. Ce dernier regroupe les résultats de cette analyse réalisée sur les principales matières premières rentrant dans la préparation des ciments, à savoir le calcaire et l'argile en tant que matières premières principales ; le calcaire HT, le minerai de fer et le sable en qualité d'ajouts correctifs pour l'obtention de « crus » assurant la production de clinkers répondants aux normes relatifs aux ciments qui font l'objet de cette étude : le CEM I–SR5 et le CEM II/A.

Tableau IV.1 : Analyse chimique des matières premières

Composition Constituant	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Cl <sup>-</sup> (%)	PF (%)	Total (%)
<b>Calcaire</b>	0.74	0.35	0.15	54.88	0.39	0.11	0.05	0.08	0.003	43.20	<b>99.95</b>
<b>Argile</b>	46.48	13.80	6.07	12.01	2.46	0.08	0.84	0.08	0.003	16.94	<b>98.76</b>
<b>Calcaire HT</b>	0.82	0.32	0.16	54.76	0.37	0.15	0.02	0.16	0.005	0.45	<b>57,21</b>
<b>Minerai de fer</b>	40.65	5.51	33.96	6.41	0.25	0.22	0.68	0.01	0.003	11.01	<b>98.70</b>
<b>Sable</b>	<b>85.20</b>	<b>3.62</b>	<b>1.89</b>	<b>3.76</b>	<b>0.18</b>	<b>0.04</b>	<b>0.70</b>	<b>0.05</b>	<b>0.006</b>	<b>4.26</b>	<b>99.70</b>

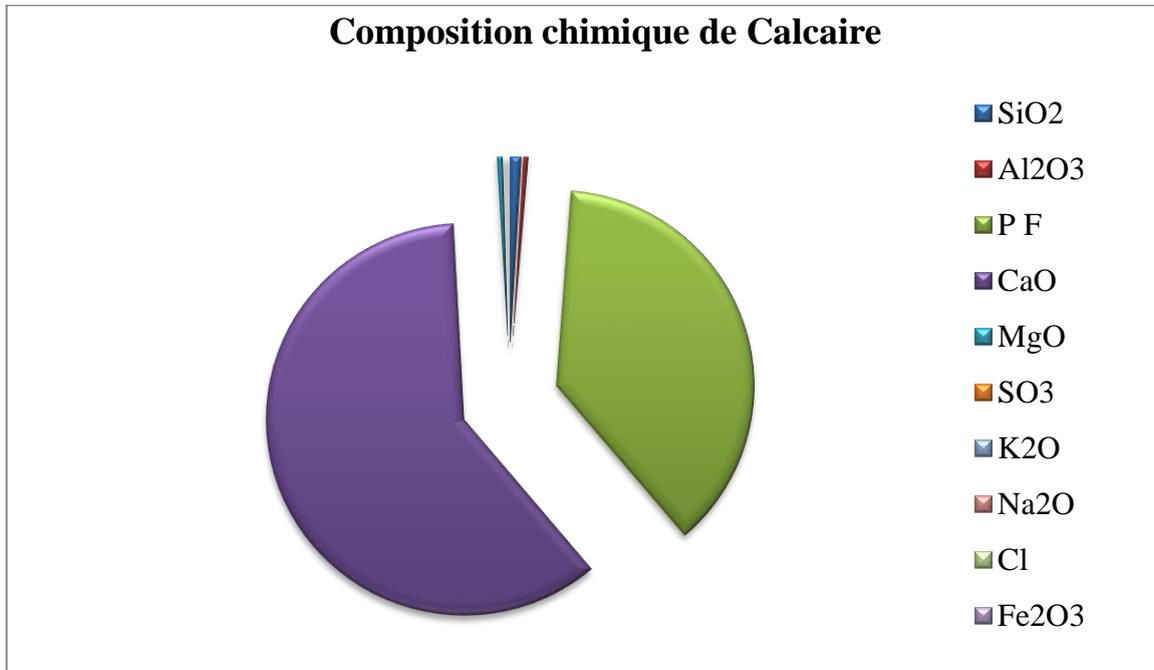
Tableau IV.2 : Analyse chimique de laitier

Composition Constituant	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Cl <sup>-</sup> (%)	PF (%)	Total (%)
<b>Laitier</b>	<b>38.49</b>	<b>7.64</b>	<b>3.65</b>	<b>42.31</b>	<b>5.41</b>	<b>0.22</b>	<b>0.93</b>	<b>0.18</b>	<b>0.002</b>	<b>0.50</b>	<b>99.33</b>

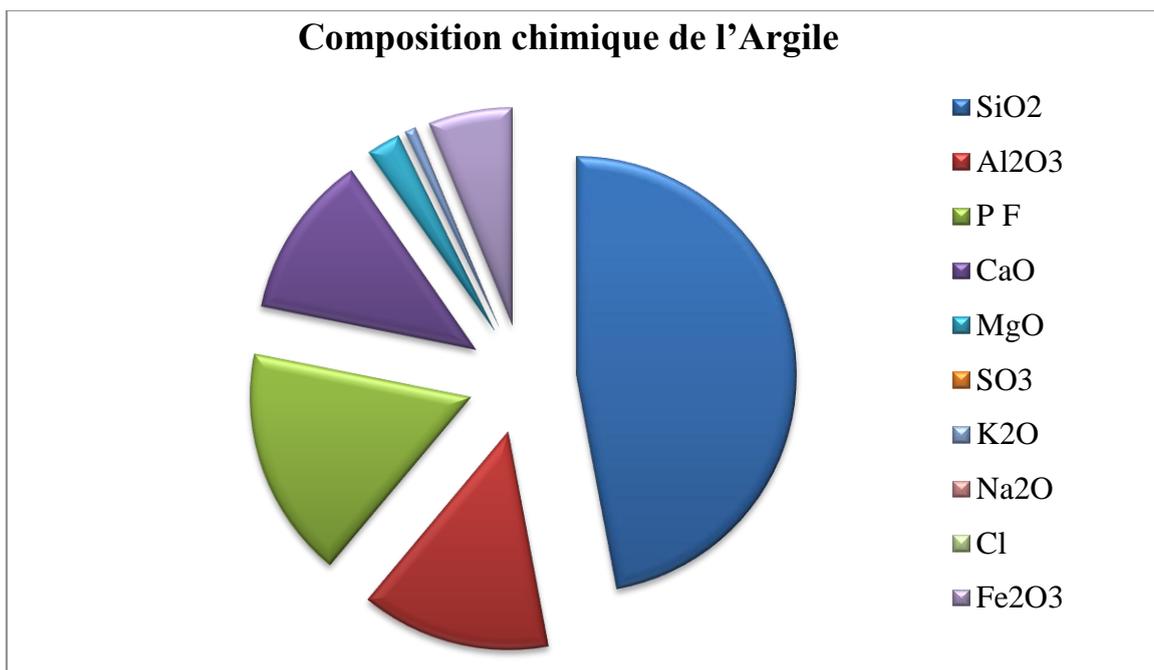
Les valeurs obtenues lors de cette analyse mettent en évidence la qualité de chaque constituant afin d'envisager les corrections de compositions requises pour la production du ciment selon les normes en vigueur [15]. Le calcaire présente une teneur en carbonates de calcium de 98.00%

Et une teneur en éléments nocifs dans les limites permises des références.

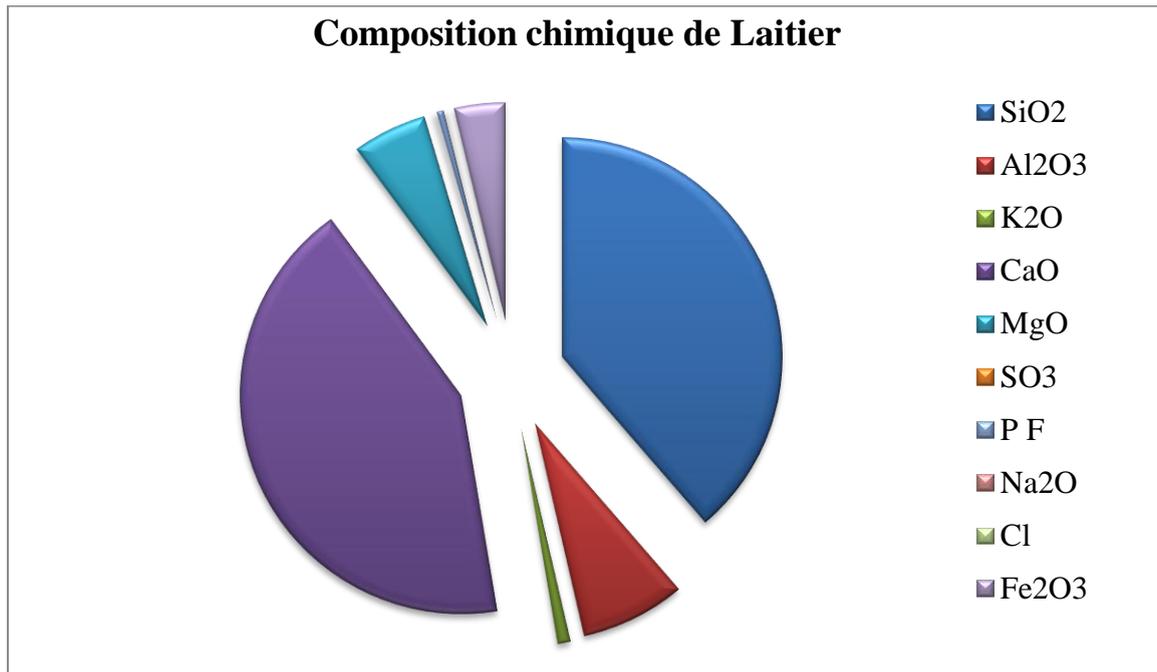
La composition de l'argile est caractéristique d'une argile-calcaire, la teneur en carbonates de calcium est de 21,44 %. Les teneurs en éléments nocifs sont dans les limites de référence.



Graphe IV 1/ : Composition chimique de Calcaire



Graphe IV 2/ : Composition chimique de l'Argile



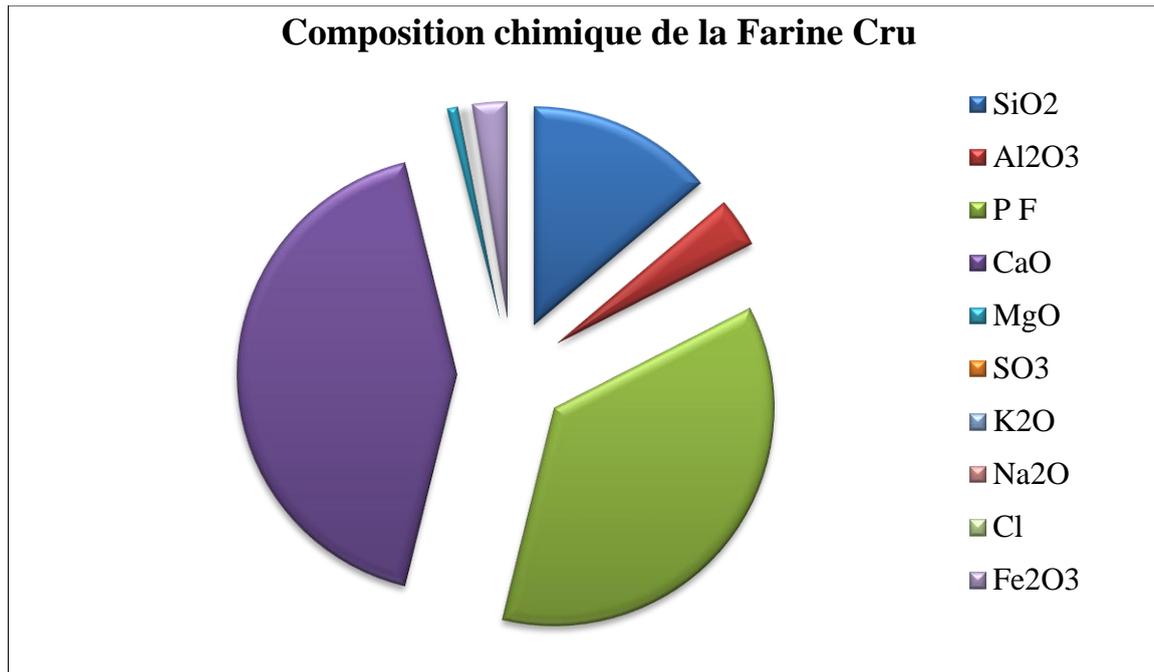
Graphique IV 3/ : Composition chimique de Laitier

1.2. Mélange cru

Le clinker est produit à partir de matières premières dans des proportions spécifiées et étroitement mélangées. Une fois broyé, le mélange homogène obtenu forme un « CRU », ce procédé a été réalisé afin de répondre aux exigences des normes en vigueur pour chaque type de ciment , le tableau IV.3 présente la composition chimique en pourcentage massique des différents constituants de la farine brute liée au type de ciment étudié CEM II/A et Ciment au laitier.

Tableau IV.3 : Analyse chimique des mélanges « crus » destinés à la fabrication du clinker de ciment CEM II/A et Ciment au laitier.

Composition chimique(%)									
Farine CRU	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl
	13.75	3.68	2.50	42.39	0.80	0.18	0.27	0.02	0.04
Composition minéralogique (%)									
Farine CRU	PAF	LSF	MS	MA	TITRE				
	36.39	95.3	2.22	1.47	75.67				



Graphe IV 4/ : Composition chimique de la Farine Cru.

**1.3. Clinker**

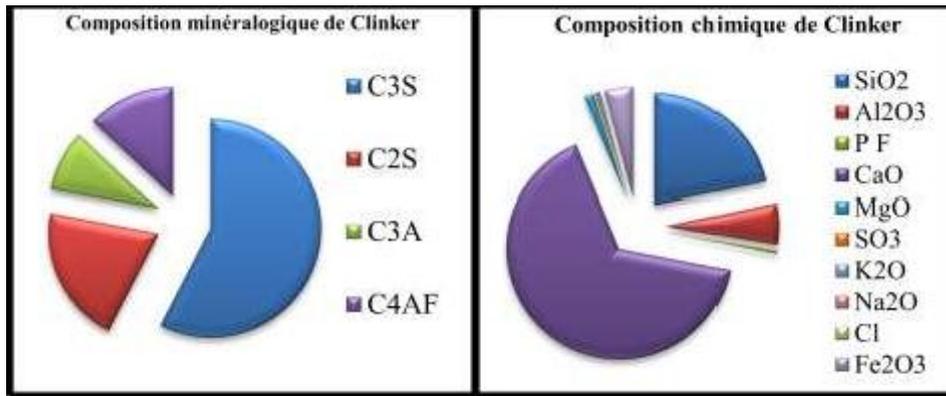
Les clinkers relatifs aux deux ciments d'études obtenus après cuisson des matières premières, présentent, selon l'analyse FX, les compositions chimiques rassemblées dans le tableau IV.4. Dans ce même tableau sont donnés les composants minéraux, principaux constituants du clinker obtenus à partir des équations de Bogue [18].

Tableau IV.4 : Analyse chimique des clinkers.

Clinker	Composition chimique(%)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	PF	CaO libre
	21.31	5.86	4.07	64.6	1.35	0.28	0.38	0.03	0.001	0.48	0.83
Clinker	Composition minéralogique(%)										
	C3S	C2S	C3A	C4AF	LSF	MS	MAF				
	55.03	19.57	8.64	12.39	93.3	2.15	1.44				

De par leurs compositions potentielles, les clinkers prélevés sont aptes à être utilisés pour la fabrication des types de ciments envisagés.

La figure suivante donne un aperçu de la répartition des différents minéraux de Bogue dans les clinkers d'étude.



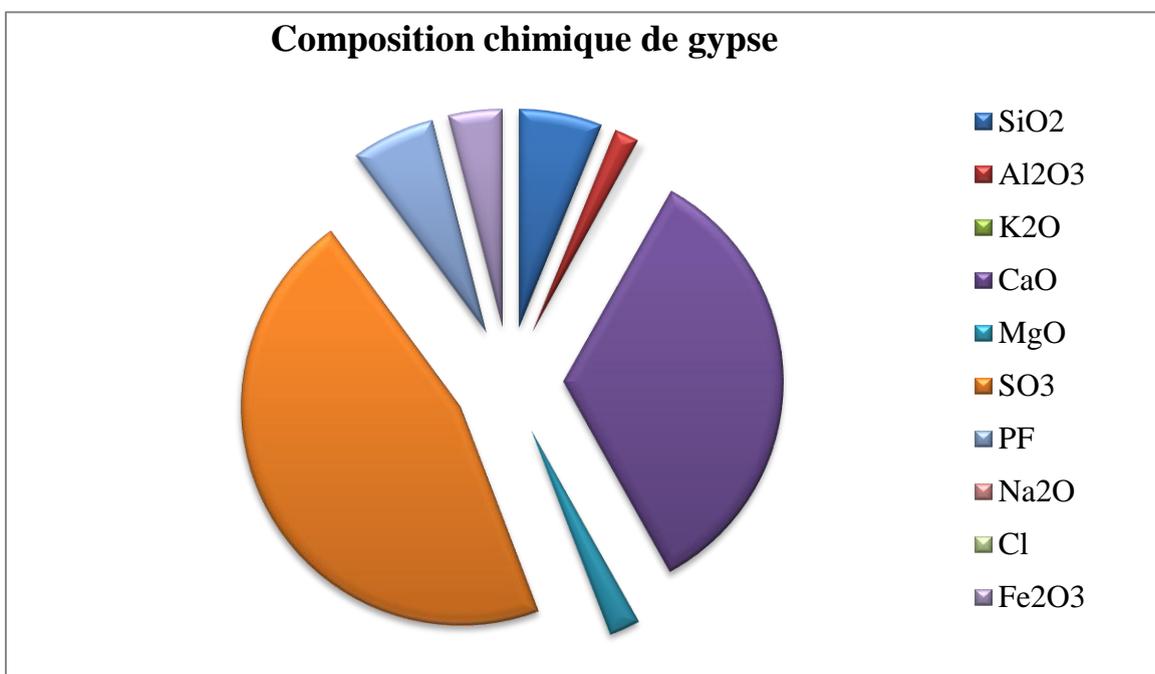
Graphes IV 5/ : Composition minéralogique et chimique de Clinker

1.4. Le gypse

Le gypse en qualité de régulateur de prise, utilisé dans la cimenterie de SIGUS, provient du gisement des Lacs (Oum El Bouaghi) qui se trouve à 67 km au Sud- Ouest du site de l’usine. Sa composition chimique est présentée dans le tableau suivant :

Tableau IV.5: Analyse chimique du gypse.

Composition (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	PF
Gypse	5.23	1.53	0.78	28.82	1.93	38.98	0.19	0.01	0.001	5.23



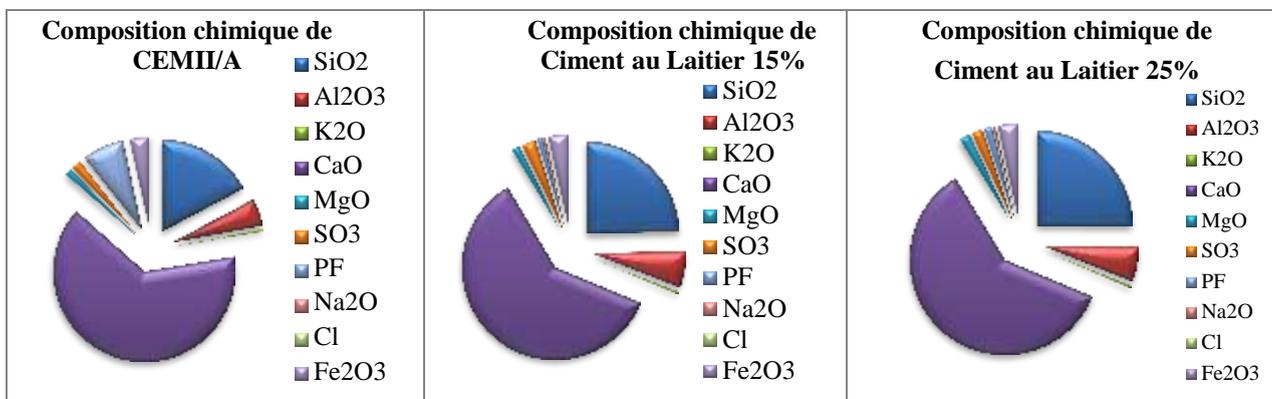
Graphes IV 6/ : Composition chimique de gypse

1.5. Ciment

Les ciments étudiés répondent aux caractéristiques et spécifications présentées dans le tableau. Les compositions chimiques des ciments produits répondants aux types CEM II/A et Ciment au laitier sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV.6: Analyse chimique des échantillons des ciments : CEM II/I A et Ciment au laitier

Ciment	Composition chimique (%)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	PAF	CaO <sub>libre</sub>
CEMII/A	17.49	4.87	3.33	65.12	1.24	1.74	0.38	0.02	0.001	7.35	0.87
Ciment au Laitier 15%	24.37	6.21	3.09	59.65	1.37	2.37	0.40	0.32	0.01	1.01	1.32
Ciment au Laitier 25%	25.41	5.92	2.98	60.75	1.38	1.84	0.40	0.34	0.01	1.43	1.78



Graphe IV.7/ : Composition minéralogique des Ciments

IV.2. Essais physiques

2.1. Finesse des poudres de ciment

Les résultats des essais du refus sur tamis 45 µm et ceux de la surface spécifique Blaine des ciments étudiés sont reportés dans le tableau suivant.

Tableau IV.7: Caractéristiques de finesse des poudres de ciment d'étude

Ciment	CEMII/A	CIMENT AU LAITIER 15%	CIMENT AU LAITIER 25%
Refus(%)	13.92	11.52	16
SSB (cm <sup>2</sup> /g)	3836	3665	3799

Ces caractéristiques sont déterminées afin de contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré du broyage, il ressort de ces résultats que la finesse du ciment CEM II/A est meilleure que celle du ciment au laitier.

**2.2.Masse volumique**

Les valeurs des masses volumiques apparente et absolue obtenues à partir des essais répondant aux normes NF EN 459-2 et NF EN196-6 [19-20] sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.8 : Résultats des essais de la masse volumique des ciments

Ciment	CEMII/A42.5	CIMENT AU LAITIER 15%	CIMENT AU LAITIER 25%
Masse volumique Apparente (g/ml)	996	990	947
Masse volumique Absolue (g/ml)	3.10	3.09	3.04

Si la masse volumique apparente est assimilée au poids que pèserait un sac de ciment c'est-à-dire que sa mesure indique le poids réel du ciment rempli dans les sacs (50 Kg), celle de la densité absolue (ou poids spécifique) représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments exclus) [20].

**2.3.Consistance normale**

Cet essai s'opère sur la pâte de ciment. L'eau est ajoutée lors du gâchage à la poudre du ciment en quantités suffisante constituant ainsi une pâte de consistance normalisée.

Les résultats des essais de la consistance normale en rapport avec la quantité d'eau utilisée sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.9 : Pourcentages de l'eau nécessaire pour consistance normale des ciments d'étude

Ciment	CEMII/A	CIMENT AU LAITIER 15%	CIMENT AU LAITIER 25%
Quantité d'eau (ml)	132	140.3	142.5
Apport en eau(%)	25	28.06	28.50
Masse du ciment	<b>500 g</b>		

**2.4.Expansion**

Les résultats des essais d'expansion des ciments CEM II/A 42.5 et CIMENT AU LAITIER 15% et CIMENT AU LAITIER 25% sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.10 : Résultats de l'expansion

Ciment	CEMII/A 42.5	CIMENT AU LAITIER 15%	CIMENT AU LAITIER 25%	Exigences
Expansion (mm)	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>&lt;10</b>

La mesure de l'expansion permet de s'assurer de la stabilité du ciment. L'expansion ne doit pas être supérieure à 10 mm sur pâte pure pour tous les ciments [20]. Ceci est vérifié pour les ciments étudiés (figure suivante).

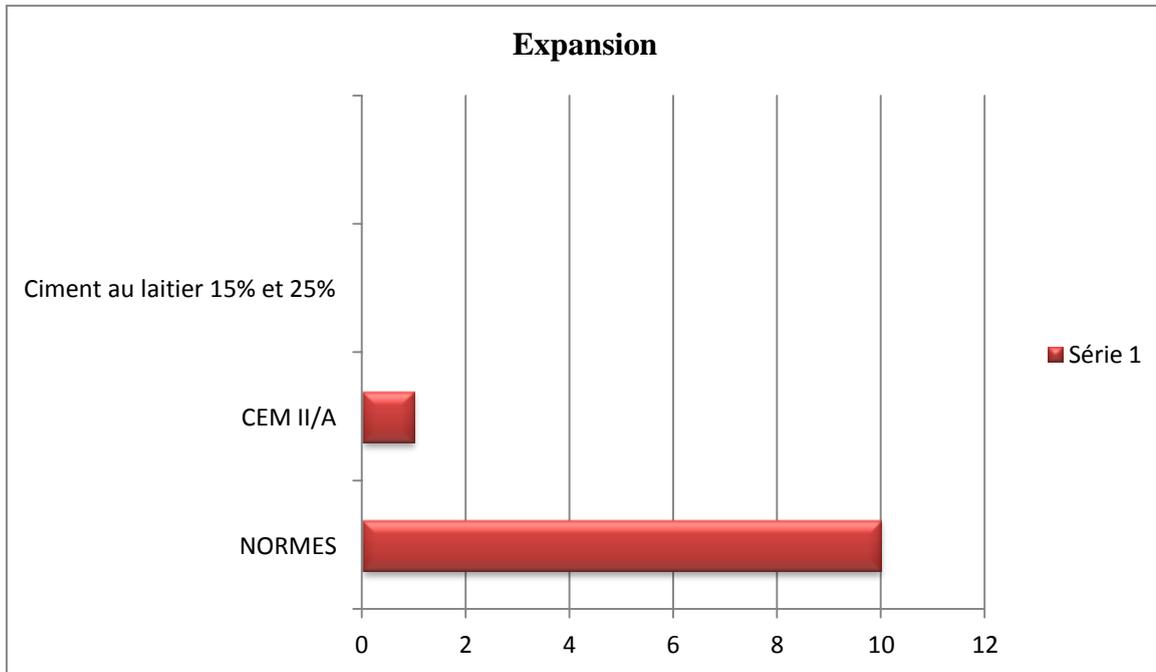


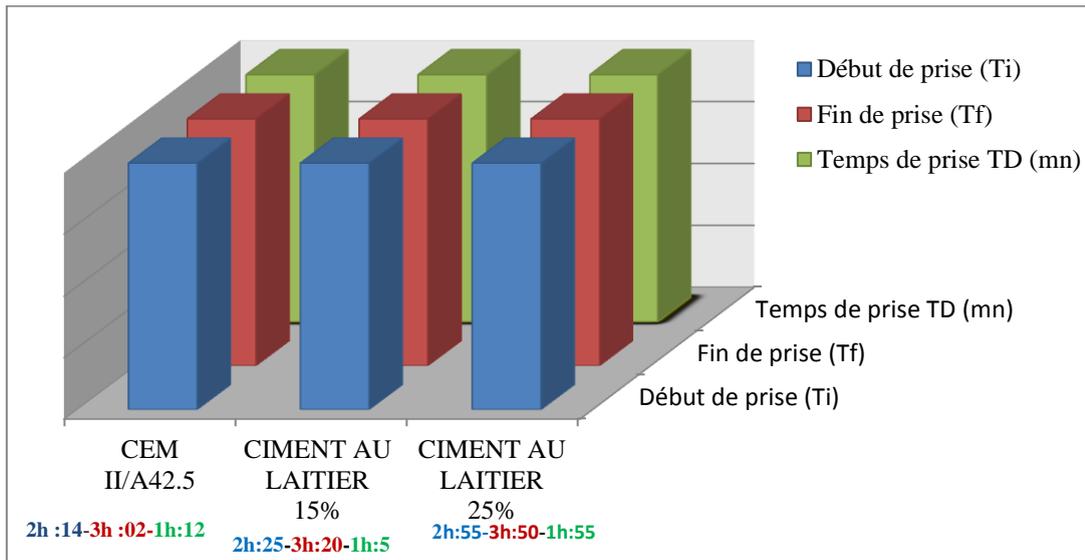
Figure IV.8 : Expansion-Stabilité des ciments d'étude

2.5. Temps de prise

La prise du ciment implique un certain nombre de réactions dues à une chimie d'hydratation. Ces réactions commencent dès le début du gâchage et se poursuivent dans le temps. Les résultats des essais de prise sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau IV.11 : Résultats des essais du temps de prise des ciments

Temps de prise (h : mn)	Ciment	CEM II/A42.5	CIMENT AU LAITIER 15%	CIMENT AU LAITIER 25%	Exigences
	Début de prise (Ti)		2 <sub>h</sub> 55 <sub>mn</sub>	2 <sub>h</sub> 25 <sub>mn</sub>	2 <sub>h</sub> 14 <sub>mn</sub>
Fin de prise (Tf)		4 <sub>h</sub> 50 <sub>mn</sub>	3 <sub>h</sub> 20 <sub>mn</sub>	3 <sub>h</sub> 02 <sub>mn</sub>	/



Graphe IV.9 Délais de prise des ciments étudiés

(Ti : début de prise, Tf : fin de prise et TD : temps de prise)

### IV.3. Résultats des essais mécaniques

Les essais de résistances ont été réalisés sur des mortiers normalisés

Ils sont de deux types : essais mécaniques de résistance à la traction par flexion et de résistance à la compression.

#### 3.1. Résistances à la flexion

Les résultats obtenus lors de ces essais sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau IV.12 : Résistances à la flexion des ciments.

Type de Ciment	Résistance (MPa)	JOURS		
		2	7	28
CEMII/A		3.6	6	6.6
CIMENT AU LAITIER 15%		3.00	4.38	7.12
CIMENT AU LAITIER 25%		3.39	5.38	8.2

On remarque que :

- ✓ Les résistances mécaniques à la flexion des trois types des ciments rentrent dans les limites des normes [18].
- ✓ Les résistances mécaniques à la flexion du ciment CEM II/A 42.5 est meilleure que celles du ciment au laitier pour les jeunes âges. et ainsi que de résistance à 28 jours.

**3.2.Résultats des essais des résistances à la compression**

Dans le tableau suivant sont regroupés les résultats des essais de résistances mécaniques des deux ciments étudiés, CEM II/A et Ciment au laitier 15% et 25% en fonction du temps (âge) : à court terme, 2 et 7 jours, et à long terme, 28 jours Dans le tableau suivant sont regroupés les résultats des essais de résistances mécaniques des deux ciments étudiés, CEM II/A et Ciment au laitier 15% et 25% en fonction du temps (âge) : à court terme, 2 et 7 jours, et à long terme, 28 jours.

Tableau IV.13 : Résistances à la compression des ciments

Type de Ciment	Résistance (MPa)	JOURS		
		2	7	28
<b>CEMII/A</b>		16.2	34.7	44.9
<b>CIMENT AU LAITIER 15%</b>		14.64	-	49.0
<b>CIMENT AU LAITIER 25%</b>		9.8	-	51.5

Il ressort de ces résultats :

- ✓ Les résistances mécaniques à la compression sont dans les limites des références [18].
- ✓ Les résistances mécaniques à la compression du ciment au laitier 15% à 28 jours sont supérieures à celles du ciment CEM II/A.

**IV.4. Discussion des résultats**

L’analyse des résultats des essais mécaniques à la compression montre que le ciment avec 15% d’ajout CALCAIRE donne des résistances à 2 jours 16.2MPa et à 28 jours 44,9MPa cela veut dire que le ciment est conforme à un ciment CEM II/A-L de classe 42.5, comme s’est stipulé par la norme NA442.

Le ciment fabriqué avec 15% de LAITIER GRANULE comme ajout, ses résistances à la compression à 2jours sont de 14,64 MPa, légèrement faible par rapport à celui avec l’ajout CALCAIRE.

Par contre, il est a remarqué que les résistances à 28 jours (49.0MPa) avec l’ajout laitier sont supérieures à celui avec l’ajout calcaire. Cela veut dire que le ciment avec ajout LAITIER développe mieux les résistances à 28 jours, malgré que le laitier avec lequel nous avons fait les essais est un laitier médiocre (D’après les analyses) c’est-à-dire son pouvoir d’hydraulicité est faible.

Avec ce clinker et un bon laitier le ciment obtenu peut développer des résistances à 28 jours à plus de 60MPa.

Nous pouvons dire aussi que ce ciment est conforme au ciment CEM II/A-S 42,5.

Il est à préciser aussi que l'essai sur ciment confectionné à partir de 25% d'ajout laitier (Médiocre) a donné des résistances à la compression a 28 jours (51.5MPa) soit supérieure à la valeur minimale tolérés par la norme NA 442 pour la classe 42.5MPa. A partir de cet essai et compte tenu de la qualité du laitier (médiocre) utilisé, nous pouvons conclure que la cimenterie de Sigus peut produire un ciment CEM II/B, 42.5. C'est-à-dire avec un taux d'ajout laitier supérieur à 20%. (CEM II /B).

Le passage de 15% (CEM II/A-L) à 25% (CEM II/B-S) d'ajout donne un gain appréciable (+10%) en matière de clinker qui permet à la cimenterie d'augmenter la production de ciment de 10%., sans pour autant affecte la qualité du ciment( en restant dans la même classe des résistances).

Le calcaire est un ajout inerte ne développe pas les résistances des ciments, donc son ajout est limité à 15%. Par contre, le laitier granulé non seulement participe au développement des résistances mécaniques mais améliore aussi la qualité du laitier en matière de stabilité, temps de prise, et confère une résistance au ciment utilisé dans les milieux agressifs.

Pour rappel, les notations A et B sont utilisés pour montrer le taux d'ajout (A de 6% à 20% et B de 21 à 35%), L pour indiquer le calcaire et S pour indiquer le Laitier. L'humidité élevée dans le laitier peut être un l'inconvénient pour le procès du broyage, ce facteur ne peut empêcher la cimenterie de Sigus d'augmenter l'ajout dans la fabrication du ciment, parce que les broyeurs ciment de Sigus sont dotés d'un générateur de chaleur qui permet d'enlever l'humidité du laitier dans le broyeur et par conséquent, réduire les problèmes de colmatage, et d'enrobage des corps broyant (boulets) générés par l'humidité du laitier.

Une étude technico commerciale est nécessaire pour déterminer les gains que peuvent ont découlé, toute en retranchant le cout du laitier.

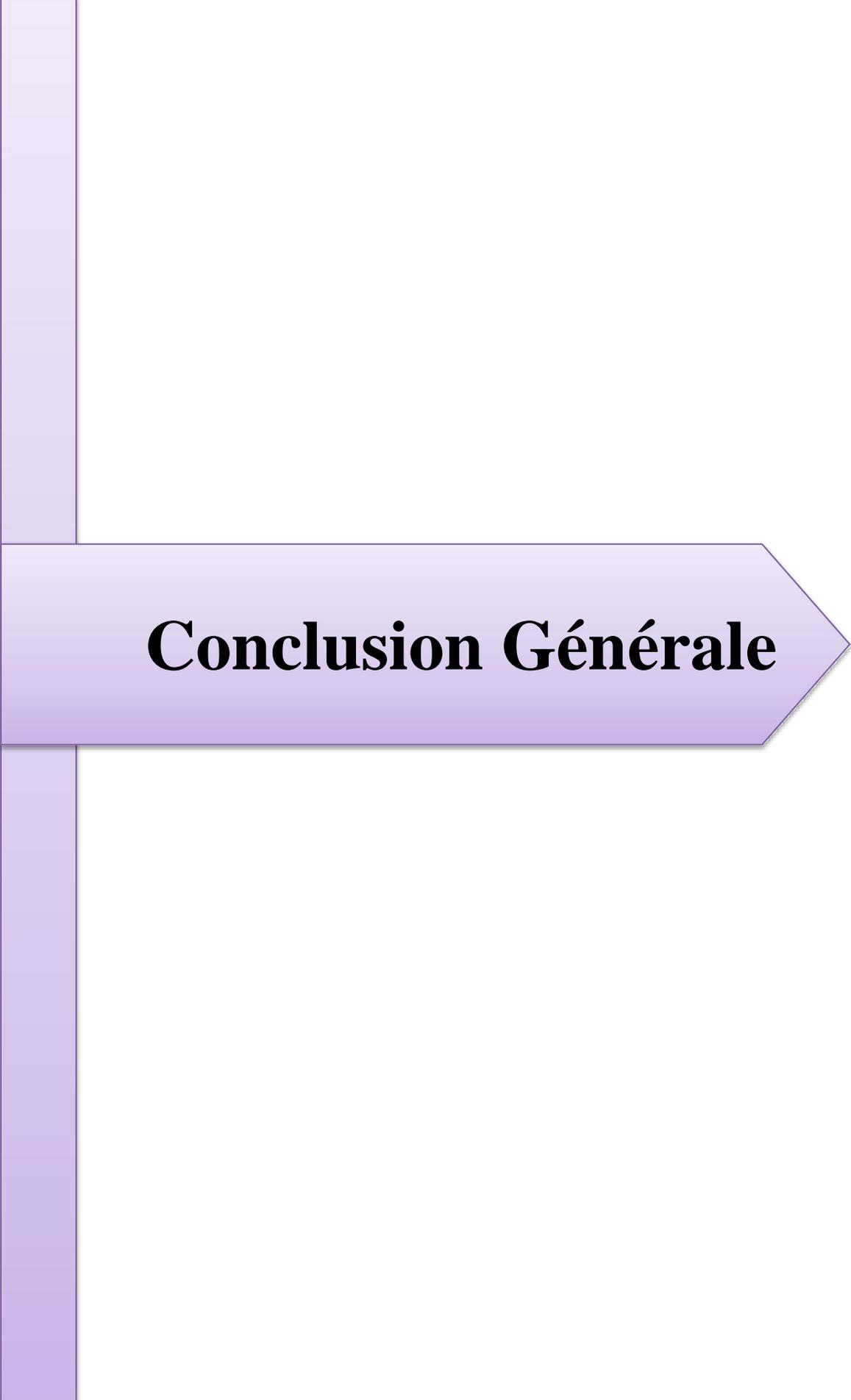
Notons que le laitier sera acheté du complexe sidérurgique d'EL HADJAR(Annaba) et transporter par camion vers Sigus, avec un bon laitier, la cimenterie de Sigus a des atouts pour produire d'autres types de ciment tel que le CEM II/A, B et C (Normes NA 442).

**Conclusion**

Les résultats ainsi obtenus montrent que l'addition de laitier dans la fabrication du ciment donne un produit compatible (conforme à la norme algérienne NA 442).

L'investissement de l'usine dans la fabrication de ce type de ciment est justifié.

Les propriétés et caractéristiques du ciment de laitier sont conformes aux exigences de qualité, il peut donc être utilisé, sans réserve comme ciment résistant aux sulfates pour les travaux envisagés.



**Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

Ce travail s'appuie sur une étude empirique visant à contribuer à l'étude du ciment de l'usine SIGUS-Oum El Bouaghi et à la comparaison entre ce type et celui du ciment de laitier. Pour ce faire et dans une première partie, il a fallu procéder à la préparation des matières premières pour le ciment CEM II/A-L 42,5 N.

Nous avons comparé cette étape avec celle utilisée pour le ciment de type laitier.

Où l'objectif de la première partie a été atteint après une caractérisation précise de la farine brute destinée à la production de clinker pour chaque type de ciment.

Un contrôle continu de chaque étape de production est nécessaire et très important afin de garantir la qualité du ciment, à partir de l'exploitation des métiers premières et leur préparation pour obtenir un cru homogène et de composition chimique homogène, après cuisson du clinker de qualité. Une fois mélangé et broyé avec du gypse et d'éventuels additifs, le ciment est prêt à être emballé et expédié.

Bien que la qualité du laitier ne soit pas bonne, les techniques expérimentales mises en œuvre lors de cette étude ont permis d'analyser en détail les matières premières pour chaque type de ciment étudié (15% ciment de chaux + 15% ciment de laitier + 25% ciment de laitier).

Les résultats ainsi obtenus montrent que l'addition de laitier dans la fabrication de ciment donne un produit compatible et de bonne qualité.

L'investissement de l'usine dans la fabrication de ce type de ciment est justifié.

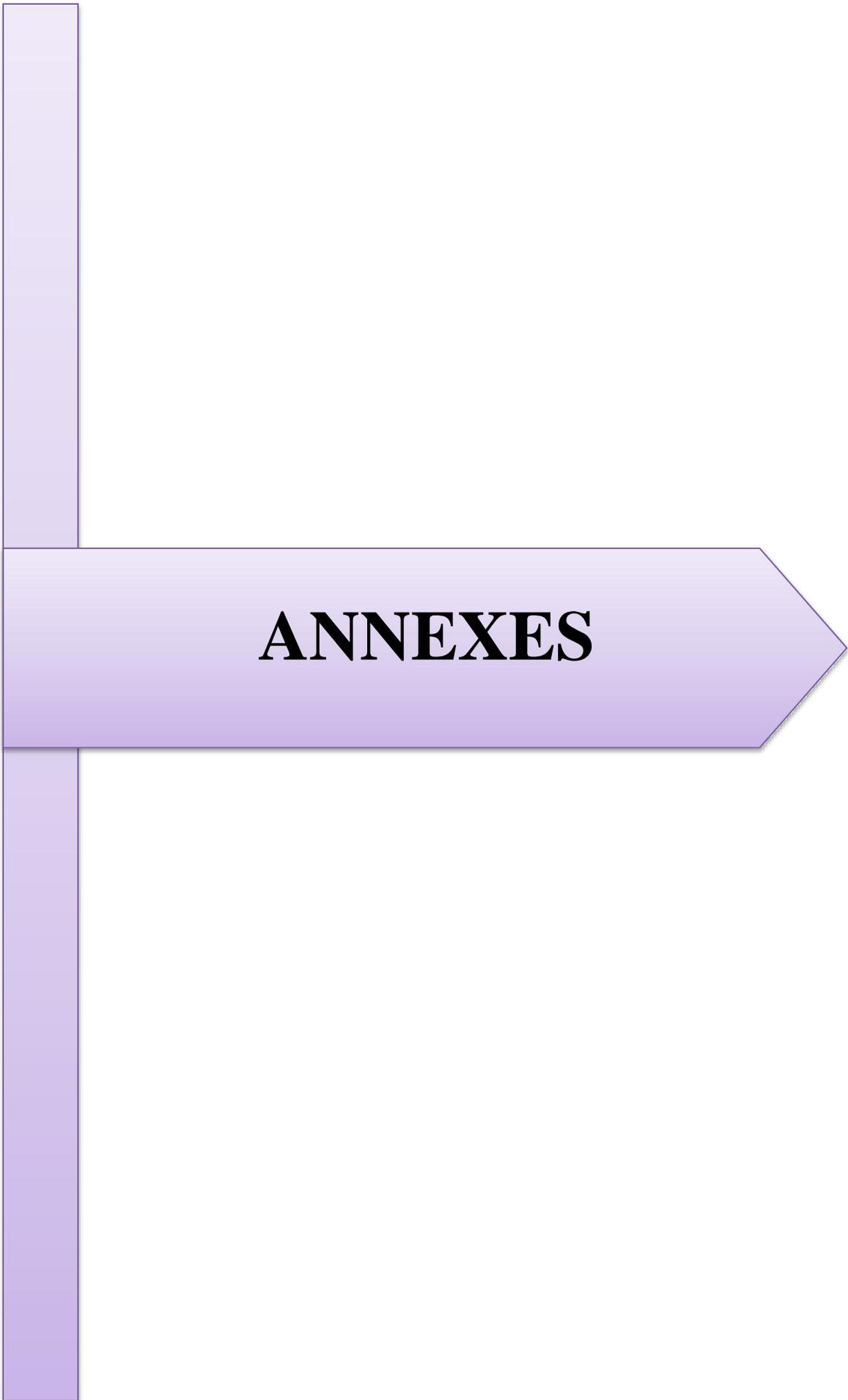
Et puisque les propriétés et les caractéristiques du ciment de laitier correspondent aux exigences de qualité, il peut donc être utilisé, sans réserve, comme ciment résistant aux sulfates pour les travaux envisagés.

### Perspectives d'études

- Réalisation d'essais pour la production de ciment de laitier avec un pourcentage de 15% et 25 %, qui est un bon type de ciment en raison des résultats d'où proviennent lors les résultats de ce travail, et par conséquent il se caractérise par une résistance élevée.
- Étant donné que le domaine de l'industrie du ciment est vaste et illimité, cela nous ouvre la voie pour expérimenter certains ratios de certains ajouts tels que le laitier, qui était la proposition du sujet de ce travail, qui a été réalisé dans la cimenterie SIGUS,

## **Conclusion Générale**

Au vu de ce qui a été mentionné dans le premier chapitre, qui parlait de la capacité de production de l'usine, la cimenterie SIGUS contribuera à améliorer la compétitivité du ciment algérien. Par conséquent, la production de ce type de ciment (laitier) contribuera davantage à l'amélioration de la compétitivité du ciment algérien en raison de ses caractéristiques.



**ANNEXES**

## **Annexes**

### **A- Normes suivies :**

Normes suivies dans l'ordre Comme mentionné dans notre travail

**[1] : NORME FRANÇAISES 450.**

**[2] : NORMES ALGERIENNES NA 442.**

**[3] : NORME ALGERIENNE NA 5042.**

**[4] : NORME ALGERIENNE NA 231.**

**[5] : NORME ALGERIENNE NA 230.**

**[6] : NORME ALGERIENNE NA 234.**

**[7] : NORME EUROPEENNE, NF EN 459-2.**

**[8] : NORME EUROPEENNE, NF EN 196-6.**

## Annexes

### B- Photos de stage :

Photos montrant toutes les étapes du STAGE.



MATIÈRES PREMIÈRE



ANALYSES CHIMIQUES

## Annexes



MASSE VOLUMIQUE



SSB

## Annexes



CONSISTANCES



REFUS

## Annexes



XRF



BROYEUR CRU

## Annexes



BROYEUR VERTICAL



ESSAIS COMPRESSION / FLEXION

## Annexes



ESSAIS EXPANSION



PREPARATION DES EPROUVETTES

## Annexes



PREPARATION LA MATIERE PREMIERE



FOUR RETATIF

# Annexes

**N** جينكا بيبتون

**CEM II/A-L 42.5 N NA 442**

**Composition:**  
Le ciment CEM II/A-L 42.5 N est composé de:  
30-34 % Clinker  
66-74 % Ciments  
0-10 % Additifs (résistant au gel)

**Caractéristiques physiques et mécaniques**

Paramètre	Unité	Valeur
Force de compression	MPa	42,5
Force de traction	MPa	3,5
Force de flexion	MPa	3,5
Force de traction	MPa	3,5
Force de flexion	MPa	3,5

**Temps de prise**

Temps de prise	Valeur
Temps de prise initial	450-520
Temps de prise final	520
Temps de prise final	520

**Domaines d'utilisation:**  
Construction non-structurale, infrastructure et applications pour éléments.  
Bétonnage, mortier.  
Profils et autres produits.

**SAC BEST-IT 47**  
Le ciment est compatible avec les additifs suivants:

**La Sicpaq, vous accompagne dans tous vos projets.**

**SAC BEST-IT 47**  
Le ciment est compatible avec les additifs suivants:

**scsigua.gica**

**N** جينكا مضار

**CEM I 42.5 N-L/SRS NA 442**

**Composition:**  
Le ciment CEM I 42.5 N-L/SRS est composé de:  
50% Clinker  
50% Type II (résistant au gel)

**Caractéristiques physiques et mécaniques**

Paramètre	Unité	Valeur
Force de compression	MPa	42,5
Force de traction	MPa	3,5
Force de flexion	MPa	3,5
Force de traction	MPa	3,5
Force de flexion	MPa	3,5

**Temps de prise**

Temps de prise	Valeur
Temps de prise initial	440-530
Temps de prise final	530
Temps de prise final	530

**Domaines d'utilisation:**  
Le ciment est compatible avec les additifs suivants:

**La Sicpaq, vous accompagne dans tous vos projets.**

**SAC BEST-IT 47**  
Le ciment est compatible avec les additifs suivants:

**scsigua.gica**

**R** جينكا بيبتون

**CEM I 42.5 R NA 442**

**Composition:**  
Le ciment CEM I 42.5 R est composé de:  
10-14 % Clinker  
86-94 % Type II (résistant au gel)

**Caractéristiques physiques et mécaniques**

Paramètre	Unité	Valeur
Force de compression	MPa	42,5
Force de traction	MPa	3,5
Force de flexion	MPa	3,5
Force de traction	MPa	3,5
Force de flexion	MPa	3,5

**Temps de prise**

Temps de prise	Valeur
Temps de prise initial	440-530
Temps de prise final	530
Temps de prise final	530

**Domaines d'utilisation:**  
Le ciment est compatible avec les additifs suivants:

**La Sicpaq, vous accompagne dans tous vos projets.**

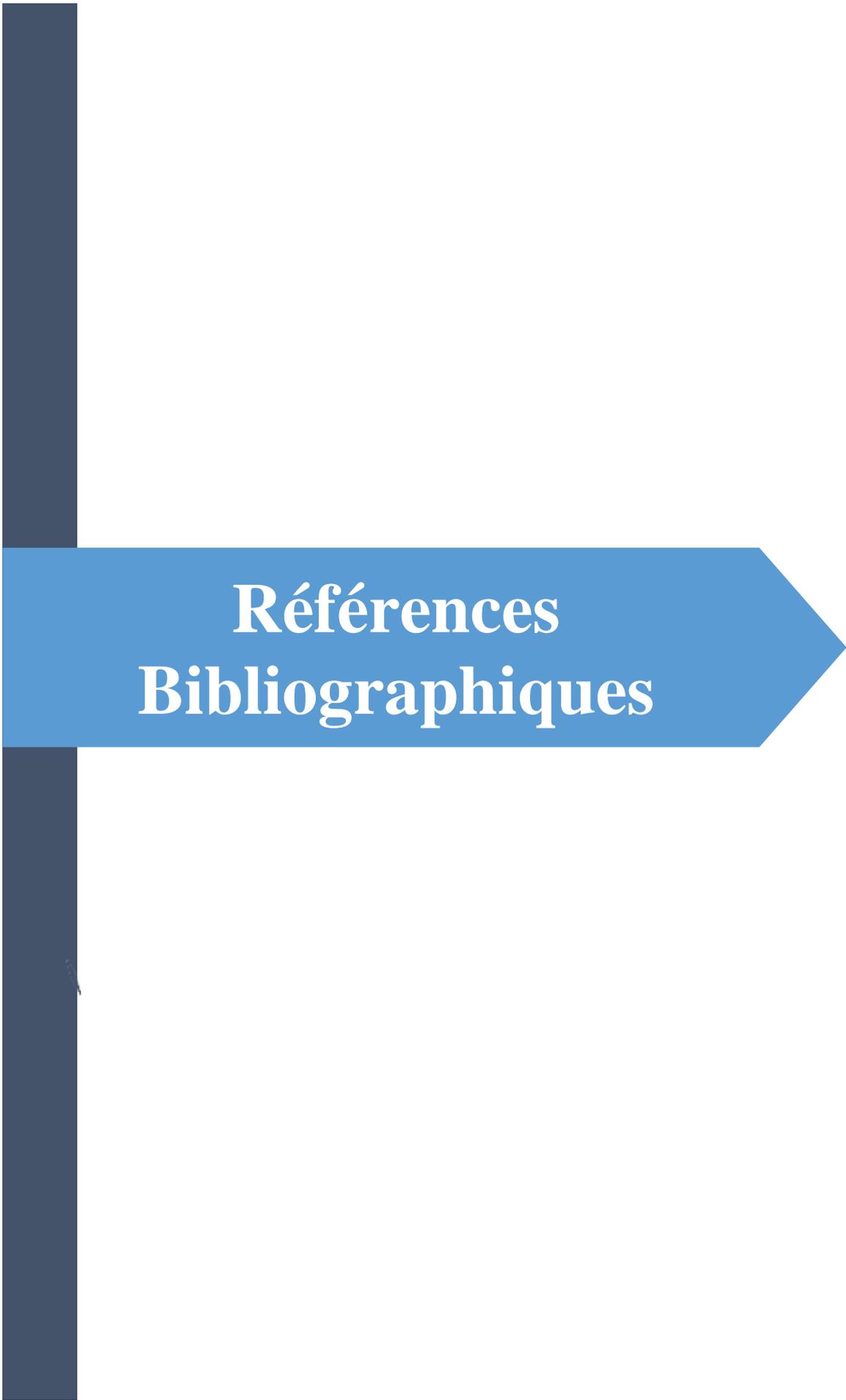
**SAC BEST-IT 47**  
Le ciment est compatible avec les additifs suivants:

**scsigua.gica**

**Société des Ciments de Sigus**



PRODUITS FINIS



# Références Bibliographiques

## Références Bibliographique

- [1] : Documentation interne «Présentation SC- Sigus, Formation phase /Présentation du projet 1520 SIGUSFA - Ateliers principaux ciment et utilités, 1520 SIGUSFA - Ateliers principaux ligne de cuisson, 1520 SIGUSFA - Ateliers principaux matières premières », de la Société des Ciments Sigus (S.C.S), 2016.
- [2] : Documentation interne « Centre de Formation de l'Industrie de Ciment-CFIC-Formation opérateurs S.C.S», 2018.
- [3] : Documentation interne «CIMENT» de la Société des Ciments Sigus (S.C.S). service d'exploitation.
- [4] : Documentation interne «CIMENT» de la Société des Ciments Sigus (S.C.S)
- [5] : R.D. HOOTON : « Influence of silice fume replacement of cement on physical properties and résistance to sulfate attack, freezing and train, and alkali silice reactivity », ACI,Material journal, Vol .90, pp.143-151, 1993.
- [6] : S. EL ALFI, H. DARWEESH et H.EL DIDAMONY : « Addition of limeston in the lowheat portland cement », ceramics-silikaty, Vol .44, N°03, 1995, pp.109-113,
- [7] : M. EL HADJ : « Performances des ciments à base de pouzzolane naturelle de Béni-SafThèse de magistère », université Saad Dahleb, 2002.
- [8] : Cite WEB <http://thesis.univ-biskra.dz/1000/4/chapitre%2002.pdf>.
- [9] : K. HERMANN : « Les ajouts : les fumées de silice. », Bulletin du ciment 63, N°7, 1995.
- [10] : C. URHAN : « Alkali silica and pozzolanic réaction in concrète », cement and concrete research, Vol .17, p141-152, 1987.
- [11] : Normes Françaises 450 : « Cendres volantes pour bétons. Définition, exigences et contrôle de qualités», AFNOR, Paris, 1996.
- [12] : ASTM C 618-94 : « Coal fly and raw or calcined naturel pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete », ASTM standard, 1994.
- [13] : NORMES ALGERIENNES NA 442, «CIMENT Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », 2013.

## Références Bibliographique

[14] : NORME ALGERIENNE NA 5042, « Méthodes d'essais des ciments – Analyse chimique des ciments – Détermination de la teneur en oxyde de calcium libre, de la perte au feu et la chaux libre. », 2013.

[15]: NORME ALGERIENNE NA 231, « Méthodes d'essais des ciments – Détermination de la finesse (temps de prise et la surface spécifique de Blaine) », 2013.

[16]: NORME ALGERIENNE NA 230, « Méthodes d'essais des ciments – Détermination du temps de prise et de la stabilité », 2013.

[17] : NORME ALGERIENNE NA 234, « Méthodes d'essais des ciments – Détermination des résistances mécaniques. », 2013.

[18]: H. MEBARKI, « Etude comparative des clinkers de l'ouest Algérien : Analyse Physico-chimique et Applications », Mémoire du master, Département de Chimie, Université de Tlemcen, 2013.

[19]: NORME EUROPEENNE, NF EN 459-2, « Chaux de construction - Partie 2 : méthodes d'essai », 2012.

[20]: NORME EUROPEENNE, NF EN 196-6, « Méthode d'essai des ciments – Partie 6 : Détermination de la finesse Blaine », 2012.