

بسكرة في: 25/06/2024

جامعة محمد خيضر - بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الكيمياء الصناعية

إذن بإيداع مذكرة الماستر بعد التصحيحات

أنا الممضي أسفله الأستاذة د. بيجدش دلتوم

الرتبة: أستاذ محاضر (MCA)

أستاذ مشرف على مذكرة ماستر - للطلاب (ة):

جلالي محمد أسامة  
جبيلي محمد الصدي

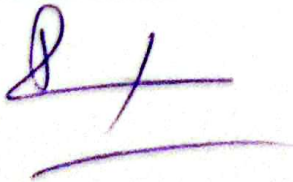
الشعبة: هندسة الطرائق

التخصص: هندسة كيميائية

ب عنوان: Influence des matières premières et des additifs  
sur la qualité du ciment blanc

أرخص بإيداع المذكرة المذكورة.

رئيس لجنة المناقشة



الأستاذ المشرف



الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها

## الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

مؤسسة التعليم العالي:

### نموذج التصريح الشرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد: جمال أبو محمد أسامة الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 210.689.38.7 والصادرة بتاريخ: 2024/07/08

المسجل بكلية العلوم والتكنولوجيا قسم الكيمياء الصناعية.....

و المكلف بإنجاز أعمال بحث ( مذكرة التخرج ، مذكرة ماستر ، مذكرة ماجستير ، أطروحة

دكتوراه)، عنوانها: Influence des matières premières et.....

des additifs sur la qualité du ciment blanc.....

أصرح بشرفي أنني التزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 24/06/2025

إمضاء المعني







Université Mohamed Khaider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine: Sciences et Techniques**  
**Filière : Génie des procédés**  
**Spécialité : Génie chimique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
DJELLALI Mohammed Oussama  
DEBILI Mohammed Mehdi

Le : lundi 2 juin 2025

## **Influence des matières premières et des additifs sur la qualité du ciment blanc**

---

### **Jury :**

Mme	REHALI Hanane	MCA	Université de Biskra	Président
Mme	DIAFI Malika	Pr	Université de Biskra	Examineur
Mme	DIGHECHE Kelthoum	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Mme	SERSA Amira	Chimiste	SPA BISKRIA CIMENT	Co-Encadreur

Année universitaire : 2024 – 2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Remerciements**

*Tout d'abord, nous voulons remercier **ALLAH** de nous avoir donné la force et la patience de faire ce travail.*

*Nous tenons également à remercier notre superviseur **Mme DIGHECHE Kelthoum** sur sa participation, son suivi, ses conseils et ses conseils tout au long de ce projet.*

*Nous remercions les membres du jury pour l'honneur d'accepter l'examen de notre travail, **Mme REHALI Hanane** et **Mme DIAFI Malika***

*Nous tenons également à remercier tous les employés de la cimenterie S.P. A BISKRIA CIMENT. En particulier, **Mr RAHMANI Saber** et **Mme SERSA Amira** pour toute l'aide qu'ils nous ont apportée tout au long de notre formation à l'usine*

*Nous tenons également à remercier tous les membres du corps professoral du Département de chimie industrielle de l'Université de Biskra.*

## *Dédicace*

*Nous souhaitons dédier ce travail à nos familles ,  
à tous nos amis.*

*Et à tous ceux qui nous avons rencontré dans notre parcours  
scolaire*

# Sommaire

Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux .....	v
Liste des abréviations .....	vii
Introduction générale.....	1
Chapitre I Présentation de SPA BISKRIA CIMENT .....	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Présentation de SPA BISKRIA CIMENT .....	3
I.2.1 Définition du société ciment BISKRIA .....	3
I.2.2 Siège social .....	3
I.2.3 Cadre juridique .....	3
I.2.4 Services.....	4
I.2.5 Produits .....	4
I.3 Informations générales sur le ciment .....	6
I.3.1 Aperçu historique.....	6
I.3.2 Définition du ciment gris .....	7
I.3.3 Domaines d'utilisation du ciment gris.....	7
I.3.4 Définition du ciment blanc.....	7
I.3.5 Domaines d'utilisation du ciment blanc .....	8
I.3.6 Différents familles de ciment.....	8
I.3.7 Différence entre le ciment blanc et le gris .....	11
I.4 Processus de fabrication du ciment blanc .....	11
I.4.1 Matières premières.....	11
I.4.2 Choix des matériaux primaires .....	12
I.4.3 Matière correction.....	13
I.4.4 L'ajout .....	13
I.4.5 Produit semi-fini .....	14
I.4.6 Principaux constituants du clinker .....	14
I.4.7 Zone d'extraction.....	15
I.4.8 Zone cru .....	16
I.4.9 Zone de cuisson .....	17
I.4.10 Zone de ciment.....	20
I.4.11 Zone d'expédition.....	21
I.5 Principe du laboratoire.....	21
I.5.1 Teste chimique.....	22

I.5.2 Teste optique.....	22
I.5.3 Teste mécanique .....	22
I.5.4 Test physique .....	23
Chapitre II Partie expérimentale.....	24
II.1 Introduction .....	25
II.2 Etude l'effet des matières premières .....	25
II.2.1 Farine crue .....	25
II.2.2 Détermination de la perte au feu.....	28
II.2.3 Détermination de l'humidité .....	28
II.2.4 Analyse élémentaire par XRF.....	29
II.2.5 Détermination de blancheur.....	32
II.3 Etude l'influence des aditifs .....	33
II.3.1 Préparation des échantillons .....	34
II.3.2 Mesure des résistances à la compression et à la traction .....	35
Chapitre III Résultats et discussions.....	42
III.1 Introduction .....	43
III.2 Résultats et discussion de farine cru.....	43
III.2.1 Analyses chimiques.....	43
III.2.1.1 Mélange des kaolins .....	43
III.2.1.2 Sables .....	44
III.2.1.3 Calcaire .....	44
III.2.2 Résultats et discussion.....	44
III.3 Résultats de l'influence des aditifs et discussion .....	48
III.3.1 Analyses chimiques.....	48
III.3.2 Résultats et discussion.....	50
Conclusion générale .....	58
Résumé .....	59
Références .....	61

## Liste des figures

### Chapitre I Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

Figure I.1 : Logo SPA BISKRIA CIMENT .....	3
Figure I.2 : CEM I 42.5 R .....	4
Figure I.3 : CEM II/A-L 42.5 R.....	5
Figure I.4 : CEMII/B-L 32.5 R.....	5
Figure I.5 : CEM I 42.5 N-SR3 LH .....	5
Figure I.6 : CEM I 52.5 R .....	6
Figure I.7 : CEM II/B-L 42,5 N.....	6
Figure I.8 : Schéma de dénomination d'un ciment .....	9
Figure I.9 : Calcaire .....	11
Figure I.10 : Kaolin Truk .....	12
Figure I.11 : Kaolin Milia.....	12
Figure I.12 : Stockage des matières premières .....	16
Figure I.13 : Doser .....	16
Figure I.14 : Tour préchauffage .....	18
Figure I.15 : Four rotative.....	19
Figure I.16 : Clinker après refroidissement .....	20
Figure I.17 : Broyeur ciment .....	20
Figure I.18 : Zone d'expédition.....	21

### Chapitre II Partie expérimentale

Figure II.1:Exemple de RAW MIX DESIGN.....	25
Figure II.2: Appareil de XRF utilisé dans notre étude.....	30
Figure II.3: Concasseur .....	30
Figure II.4 : Disque de broyage .....	31
Figure II.5 : Broyeur à disque .....	31
Figure II.6 : Presse hydraulique .....	32
Figure II.7 : Pastille .....	32
Figure II.8 : Spectrophotomètre CM-5 .....	33
Figure II.9 : Espace colorimétrique CIE-LAB.....	33
Figure II.10 : Chamber humide.....	36
Figure II.11 : Moule prismatique.....	36

Figure II.12 : Table choc.....	36
Figure II.13 : Appareil de compression .....	37
Figure II.14 : Diamètres du sable préparé .....	38
Figure II.15 : Les tamis .....	38
Figure II.16 : Malaxeur .....	38
Figure II.17 : Les éprouvettes Avant et après le démoulage.....	40

### Chapitre III Résultats et discussions

Figure III.1 : Diagramme les analyse chimique des kaolins .....	43
Figure III.2 : Diagramme les analyse chimique des matières utilisé.....	49
Figure III.3 : Diagramme de resultats de la pert au feu .....	51
Figure III.4 : Courbe de blancheur des mélanges de calcaire 1.....	53
Figure III.5 : Courbe de blancheur des melanges de calcaire 2.....	53
Figure III.6 : Diagramme des résultats de resistance .....	55

## Liste des tableaux

### Chapitre I Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

Tableau I.1 : Les 27 produits de la famille des ciments courants .....	10
Tableau I.2 : Différence entre le ciment blanc et le gris .....	11
Tableau I.3 : les compositions chimiques du ciment .....	22

### Chapitre II Partie expérimentale

Tableau II.1 : Les paramètres chimiques optimal de farine cru .....	27
Tableau II.2 : Présente la valeur de prise d'essai et le temps de calcination de l'échantillon .....	28
Tableau II. 3: Les températures et les durées de séjour dans le séchoir ainsi que les quantités de matière pour chaque échantillon. ....	29
Tableau II.4 : Définition la masse et le temps de broyage et mixage de l'échantillon. ....	31
Tableau II.5 : les dosages des échantillons 1-3 .....	34
Tableau II.6 : les dosages des échantillons 4-7 .....	34
Tableau II.7 : les quantités nécessaires de chaque matières pour préparer les échantillons 1-3 .....	34
Tableau II.8 : les quantités nécessaires de chaque matières pour préparer les échantillons 4-7 .....	35
Tableau II.9 : Analyse granulométrique de sable normalisé .....	37
Tableau II.10 : La quantité nécessaire de chaque rufus de tamis pour préparer 14 moules prismatiques.....	37
Tableau II.11 : Les limites de temps de chaque âges .....	39
Tableau II.12 : Résistance à la compression MPa .....	41

### Chapitre III Résultats et discussions

Tableau III.1 : Les analyses chimiques de melange des kaolins utilisé.....	43
Tableau III.2 : Les analyses chimiques de chaque sable.....	44
Tableau III.3 : Les analyses chimiques de calcaire utilisé .....	44
Tableau III.4 : Presente l'analyse de la farine cru avec sable khanga .....	44
Tableau III.5 : Presente l'analyse de la farine cru avec sable khobana .....	45
Tableau III.6 : Resultats de les paramètres chimiques de cru avec sable khanga .....	46
Tableau III.7 : Resultats de les paramètres chimiques de cru avec sable khobana .....	46

Tableau III.8 : Resultats de blancheur de cru avec sable khanga .....	47
Tableau III .9 : Resultats de blancheur de cru avec sable khobana .....	47
Tableau III.10 : Les analyses chimiques des matières utilisé .....	48
Tableau III.11 : Pourcentage de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et CaO dans Cru .....	50
Tableau III.12 : Presente l'analyse chimique des 7 échantillon .....	50
Tableau III.13 : Résultats de la perte au feu.....	51
Tableau III.14 : Résultats de blancheur de les échantillons.....	52
Tableau III.15 : Resultats de resistance .....	54

## Liste des abréviations

Abréviation	Signification
SPA	Société Par Action.
NA	norme algérienne
EN	Norme européenne.
SiO <sub>2</sub>	le dioxyde de silicium.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	l'alumine, ou oxyde d'aluminium.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	l'oxyde de fer
CaO	l'oxyde de calcium (la chaux).
MgO	l'oxyde de magnésium
SO <sub>3</sub>	le trioxyde de soufre
K <sub>2</sub> O	l'oxyde de potassium
Na <sub>2</sub> O	l'oxyde de sodium.
LSF	Facteur de saturation en chaux.
SM	Module silicique.
AM	Module alumino-ferrique.
C3S	silicate tricalcique dénommé (alite), sa formule chimique est 3CaO, SiO <sub>2</sub> .
C2S	silicate bicalcique ou (bélite), sa formule chimique est 2CaO, SiO <sub>2</sub>
C3A	Aluminates tricalciques ou (célite), sa formule chimique est 3CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .
C4AF	ferro-aluminate tétra-calcique, dont la formule chimique est 4CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
PAF	Perte au feu.
XRF	la spectrométrie de fluorescence X (SFX ou FX) ou en anglais X Ray Fluorescence (XRF)

### Introduction générale

Le ciment blanc se démarque par ses caractéristiques physiques (telles que sa blancheur, son expansion minimale et sa grande durabilité) et mécaniques (sa forte résistance, sa propriété étanche et sa faible concentration en alcalis), ce qui lui confère une singularité par rapport aux autres formes de ciment. Ces caractéristiques lui donnent des applications distinctives dans les secteurs de la construction et du design.

Les designs et les ornements utilisant le ciment blanc ont émerveillé les gens par leur beauté et la créativité de leurs concepteurs, ce qui a conduit à une large diffusion récemment, augmentant ainsi la demande pour le ciment blanc. Les artisans s'efforcent de choisir les meilleures variétés pour obtenir le meilleur résultat.

Pour cela, les entreprises, en tête desquelles la société Biskria Cement, cherchent à investir dans ce domaine en produisant du ciment blanc de la plus haute qualité selon les normes mondiales.

Comment le ciment blanc est-il produit, et quels sont les facteurs qui influencent sa qualité ?

Ce travail vise à étudier l'impact des matières premières et des additifs sur la qualité du ciment blanc comme suivante :

- **Introduction**
- **Chapitre I** : nous présentons la société Biskria Cement et expliquons le processus de production du ciment blanc.
- **Chapitre II** : dans ce partie , nous avons présentés les étapes pour faire les analyses chimiques des matières utilisé dans la farine cru et les échantillons de ciment , et le mode opératoire de préparation les éprouvettes et mesure des résistances .
- **Chapitre III** : présenter tous les résultats obtenus et sa discussion
- **Conclusion**

# Chapitre I

Présentation de SPA

**BISKRIA CIMENT**

# Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

## I.1 Introduction

Compte tenu de l'importance du ciment dans divers processus de construction, sa demande a augmenté à notre époque en raison de ses propriétés uniques, de ses utilisations multiples et de sa capacité à être recyclée.

Dans ce chapitre, nous présenterons la société Biskria Ciment et expliquerons le processus de fabrication du ciment.

## I.2 Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

### I.2.1 Définition du société ciment BISKRIA

La compagnie de ciment « BISKRIA CIMENT » est une Société Par Action (S.P.A) de droit algérien fondée en janvier 2009. L'activité principale de l'entreprise consiste à produire et à vendre des ciments. Elle se compose d'une unique entité qui se trouve au siège de l'entreprise. Tous les actionnaires sont des acteurs économiques privés en Algérie [1] .

### I.2.2 Siège social [2]

- Adresse : DJAR BELAHRACHE, BRANIS, wilaya de Biskra 07000, ALGÉRIE
- Tél : +213 (0) 33 62 74 62
- Fax : +213 (0) 33 62 73 92
- E-mail : biskria.spa@gmail.com Site web : biskriaciment-dz.com

### I.2.3 Cadre juridique

- Nom de l'entreprise : BISKRIA CIMENT.
  - Forme juridique : société par actions.
  - Date de création : janvier 2009 .
  - Activité : production et commercialisation de ciment.
- Capital social : 4284 000 000 DA.



Figure I.1 : Logo SPA BISKRIA CIMENT [2]

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

### I.2.4 Services

Les trois lignes de production de ciment ont une capacité totale de 6 millions de tonnes par an. La S.P.A. BISKRIA CIMENT opère dans les principaux domaines :

- Section administrative : contient les services administratifs de la société.
- Secteur industriel : contient trois lignes de production d'une capacité de 6 millions de tonnes par an.
- Section commerciale : contient le service de l'extérieur et l'expédition.

### I.2.5 Produits [3]

Tous les produits sont conformes à la norme algérienne (NA 442-2013) et européenne (EN 197-1) .

#### I.2.5.1 Produit en ciment gris

- **CEM I 42.5 R**

Le ciment Portland est spécifiquement élaboré pour les bétons de haute performance, offrant une résistance rapide à court terme. Il est fortement conseillé dans les régions où les temps de décoffrage sont brefs.

La composition contient de 95% à 100% de clinker (k), accompagnée d'un ajout de sulfate de calcium sous forme de gypse, utilisé comme régulateur de prise.



**Figure I.2 : CEM I 42.5 R [2]**

- **CEM II/A-L 42.5 R**

Le ciment Portland, avec des ajouts suggérés, est recommandé pour les bétons à haute performance et à prise rapide, destinés à l'édification d'infrastructures, de bâtiments, au génie civil ainsi qu'à la préfabrication. La composition se compose de 80 à 94 % de clinker (KK) et de plus de 100 % de calcaire (L).



**Figure I.3 :** CEM II/A-L 42.5 R [2]

- **CEM II/B-L 32.5 R**

Il est employé dans les projets de construction, d'industrie et d'ingénierie civile routière.

Les éléments comprennent entre 65% et 79% de clinker (KK), avec une addition de 100% de calcaire (L).



**Figure I.4 :** CEMII/B-L 32.5 R [2]

- **CEM I 42.5 N-SR3 LH**

Le ciment gris à faible chaleur d'hydratation (LH-LOW Heat) et résistant aux sulfates est parfait pour tous vos projets dans des milieux riches en sulfates. Il est aussi approprié pour les chantiers de bétonnage massifs et continus par temps chaud qui exigent un ciment à faible dégagement thermique.

Les éléments comprennent au moins 95 % de clinker (KK). Apports : la part des constitutions secondaires est limitée à 5 %.



**Figure I.5 :** CEM I 42.5 N-SR3 LH [2]

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

### I.2.5.2 Produit en ciment blanc

- **CEM I 52.5 R**

Le ciment Portland, ce ciment de couleur blanche spécifiquement élaboré pour les œuvres d'art esthétiques et les éléments décoratifs.

Il est préconisé pour les bétons ayant une grande résistance à la compression.

Compositions entre 95% et 100% de clinker (KK). De 0% à 5% de gypse.



Figure I.6 : CEM I 52.5 R [2]

- **CEM II/B-L 42,5 N**

Ce type de ciment Portland enrichi en calcaire, qui fait partie de la gamme des ciments blancs, est couramment employé pour les travaux de finition et de décoration ainsi que pour la production d'éléments liés à la sécurité routière, ainsi que de dalles en monocouche et bicouche. Composition : 73% de clinker (KK), 5% de gypse et 22% de calcaire .



Figure I.7 : CEM II/B-L 42,5 N [2]

## I.3 Informations générales sur le ciment

### I.3.1 Aperçu historique

L'homme a employé des substances comparables au ciment depuis l'Antiquité. Cependant, c'est Joseph Aspdin qui, en 1824, a été le premier à produire du ciment moderne en déposant un brevet pour le ciment « Portland ». Ce ciment était produit à l'aide d'un processus de calcination qui associe la cuisson du calcaire et de l'argile dans des fours alimentés au charbon. Le terme « Portland », simplement attribué en raison de la

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

ressemblance de couleur et de dureté avec la pierre de Portland (située dans le sud de l'Angleterre), est toujours employé à ce jour dans le secteur industriel.

La production de ciment blanc a débuté à l'usine d'Aalborg, au Danemark, vers 1930-1931, en réponse à une demande pour du ciment de couleur ou clair destiné à la production de ciment coloré.

À l'aube des années 1970, on produisait du clinker blanc dans un ancien four datant de 1934, qui a été pendant une longue période le plus imposant à l'échelle mondiale. [4]

### I.3.2 Définition du ciment gris

Le ciment gris, il est le plus souvent utilisé dans la construction de bâtiments, de routes, d'enduits ou encore de mortiers. Mais pour plus de fiabilité, surtout dans la construction dans les zones humides ou dans les milieux marins, il existe des ciments spécifiques qui proposent plus de ténacité. Et même, il est possible de faire usage du ciment gris pour la réalisation de bétons à prise extrêmement rapide ou bien pouvant résister à une forte augmentation de la température. [5]

### I.3.3 Domaines d'utilisation du ciment gris

- Le béton armé dans des conditions adverses : eaux marines et eaux interrompues, poreuses ou industrielles.
- Les constructions d'envergure (ponts, barrages, murs de soutènement, etc.).
- Le béton routier : le béton extrudé et le béton de caniveau.
- Béton destiné aux stations de traitement.
- Béton qui résiste au gel lorsqu'il est exposé à des sels de déneigement.
- Les planchers des ponts.
- Les ouvrages majeurs, la construction ainsi que le béton armé ou non.
- Béton projeté.
- Béton pour l'imperméabilité.
- Publication sur le béton et la préfabrication à l'échelle industrielle.
- Verser le béton en climat froid ou chaud.
- Des trottoirs faits de béton . [6]

### I.3.4 Définition du ciment blanc

Le ciment blanc, une variante du ciment Portland, est produit à partir de matières premières soigneusement choisies comme le calcaire blanc, le kaolin et le sable blanc. Sa

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

composition présente une faible concentration en oxydes de fer, de manganèse, de chrome, de titane et autres.

Le ciment blanc se caractérise par une présence très limitée de C4AF (inférieure à 1,5) et un contenu élevé en C3S (Alite) et C2S (Belite).

Il est employé uniquement pour des raisons esthétiques, comme la production de béton blanc, blanc cassé ou coloré, qui sera visible par le public à l'intérieur ou à l'extérieur des édifices.

La fabrication de ciment blanc requiert une surveillance rigoureuse et minutieuse à chaque étape du processus technique pour prévenir toute contamination du produit par des oxydes métalliques . [7]

### I.3.5 Domaines d'utilisation du ciment blanc

Il existe différentes applications du ciment :

- Coulis pour les joints lors de la pose des carreaux. Dans ce cas du gypse ou de la craie Réduit en poudre, est utilisé comme additif
- Structures en béton armé à des fins décoratives. L'intérieur utilise des colonnes, de moulures, des escaliers, des balustrades et des statues faites de ce matériau. ils conservent leur couleur pendant toute la durée de leur utilisation.
- Le mélange de maçonnerie semble avantageux contrairement à l'obscurité. Cela n'affecte en rien la qualité de la solution.
- Les briques et dalles de finition décoratives sont également fabriquées à partir de ce matériau . Si nécessaire, des colorants minéraux leur sont ajoutés (manganèse, oxyde de chlore, etc ).
- La production de dalles de pavage n'est pas non plus complète sans ciment blanc. Le rôle principal ici est joué non seulement par la belle apparence du produit fini, mais également par sa résistance à l'influence de l'environnement extérieur.
- Mortier pour sols autonivelants et murs extérieur. Pour créer l'intérieur nécessaire, du ciment est ajouté à ces solutions ou elles sont entièrement fabriquées à sa base [8]

### I.3.6 Différents familles de ciment [9]

Les différents types de ciment pour la plupart disponibles en plusieurs classes de résistance, correspondent à la multiplicité des contraintes d'utilisation.

#### I.3.6.1 Ciment Portland

Ce ciment se compose d'un unique clinker. Il convient de mentionner le ciment blanc

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

parmi les différents types de ciments Portland, car il permet la création de produits et bétons esthétiquement attrayants et décoratifs.

### I.3.6.2 Ciment Portland compose

Ce ciment est constitué de clinker finement broyé mélangé à des cendres volantes .

### I.3.6.3 Ciment métallurgique

Ce ciment, également connu sous le nom de ciment de haut fourneau, est une combinaison de clinker finement broyé et de laitier granulé .

### I.3.6.4 Ciments composés

Ce ciment est fabriqué à partir de trois éléments : le clinker, les cendres volantes et le laitier de haut fourneau.

### I.3.6.5 Ciments spéciaux

Pour la production de béton destiné à des conditions d'exploitation particulièrement sévères, divers ciments spéciaux offrant une résistance accrue aux sulfates ou à faible teneur en alcalis sont employés .

De plus, tous les ciments renferment du sulfate de calcium, également connu sous le nom de gypse.

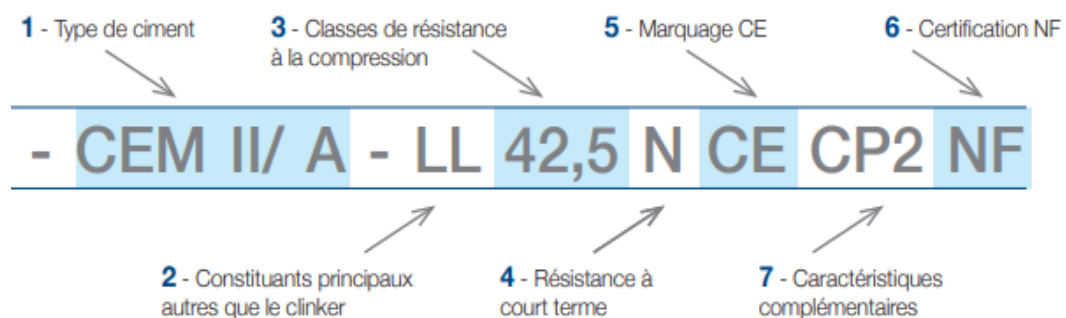


Figure I.8 : Schéma de dénomination d'un ciment [10]

# Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

**Tableau I.1 : Les 27 produits de la famille des ciments courants [11]**

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Constituants principaux									
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné	Calcaire	
						Naturelle	Naturelle calcinée	Siliceuse	Calcique			
K	S	D <sup>b)</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL			
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CEM II	Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ciment portland à la fumée de silice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—
	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—
	Ciment Portland au calcaire	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20
CEM II/B-LL		65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	
Ciment Portland composé	CEM II/A-M	80-88	<----- 12-20 ----->									
	CEM II/B-M	65-79	<----- 21-35 ----->									
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—
CEM IV	Ciment pouzzolanique	CEM IV/A	65-89	—	<----- 11-35 ----->					—	—	—
		CEM IV/B	45-64	—	<----- 36-55 ----->					—	—	—
CEM V	Ciment composé	CEM V/A	40-64	18-30	—	<----- 18-30 ----->			—	—	—	—
		CEM V/B	20-38	31-49	—	<----- 31-49 ----->			—	—	—	—

# Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

## I.3.7 Différence entre le ciment blanc et le gris

La composition chimique des ciments blancs est très similaire à celle des ciments gris. Leur caractéristique principale est leur couleur blanche, due à une très faible concentration en oxydes métalliques (fer, manganèse, chrome). Effectivement, ce sont ces minéraux qui confèrent sa couleur au ciment traditionnel gris . [12]

**Tableau I.2 :** Différence entre le ciment blanc et le gris [13]

Compositions chimiques	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
Ciment blanc	23,1	6,2	0,28	67,8	0,83	0,89	0,14	0,05
Ciment gris	20,8	5,5	3,61	65,6	2,13	0,87	0,91	0,19

## I.4 Processus de fabrication du ciment blanc

### I.4.1 Matières premières

Les matières premières sont extraits dans les carrières sous forme de blocs de tailles très différentes.

#### A. Calcaire

Le calcaire est un dépôt solide essentiellement constitué de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>), qui se manifeste sous diverses formes et niveaux de pureté. Il peut se constituer à partir de sédiments provenant de milieux marins ou lacustres, d'accumulations chimiques ou de l'action d'entités biologiques vivantes. Lorsqu'ils sont soumis à une pression et à des températures élevées, certains sédiments se métamorphosent en cristaux de calcaire. On peut retrouver du silicium, du magnésium et du fer dans le calcaire. [14]

Le calcaire est tiré de la carrière à ciel ouvert de Jabal Al-Mahur et acheminé par camions-bennes vers la zone d'entreposage.



**Figure I.9 :** Calcaire

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

### B. Kaolin

Le kaolin est une matière première minérale naturelle et appartient au grand groupe des silicates. Le kaolin est un produit d'altération du feldspath et contient le minéral kaolinite, un silicate d'aluminium ou aluminosilicate (formule chimique :  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ). C'est une roche qui se présente le plus souvent sous forme de masses lâches et blanches. [15]

On extrait l'argile blanche kaolin de carrières naturelles, et on peut la trouver en gisements un peu partout sur la planète. L'entreprise fabrique le ciment blanc en utilisant deux sortes de kaolin, à savoir le kaolin Millia et le kaolin Turk.



**Figure I.110 : Kaolin Truk**



**Figure I.11 : Kaolin Milia**

### C. Sable

Il s'agit d'un matériau minéral siliceux ou calcaire qui se trouve dans le sol sous forme de particules ou de poudre, en fonction du type de sable, qu'il soit grossier ou fin . les sables sont le résultat de la décomposition des roches constituant l'écorce terrestre ; leur couleur varie en fonction de leur composition, pouvant être blanche, jaune, grise ou rougeâtre. On peut classer les sables selon leur provenance, en les distinguant en sables de carrière, marins et de rivière. [16]

#### I.4.2 Choix des matériaux primaires

Lors de la production du ciment Portland blanc, le choix des matières premières est crucial, car aucun des composants principaux ne doit : renfermer d'importantes concentrations de fer ou d'autres composés métalliques susceptibles de donner au ciment une teinte non désirée, rendant impossible sa commercialisation sous l'appellation de « ciment blanc ». [17]

Ainsi, pour garantir une qualité exceptionnelle du ciment blanc, sa composition doit inclure:

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

- Calcaire blanc : doit avoir une teneur en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  inférieure à 0,15 % et en  $\text{MnO}$  inférieure à 0,015 % .
- Kaolin : doit avoir une composition de 65 à 80 % en  $\text{SiO}_2$ , 18 à 20 % en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pas plus de 1,0 % en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , moins de 0,8 % en  $\text{TiO}_2$  et ne présenter que quelques traces de  $\text{MnO}$  ( habituellement sans présence notable de  $\text{MnO}$  ).
- Le sable riche en quartz doit avoir une teneur minimale de 96 % de  $\text{SiO}_2$  et une teneur maximale de 0,2 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

La composition de ces éléments doit également être conforme aux critères du processus de cuisson, en considérant que même les minéraux purement constitués (comme le C3S et le C2S), qui sont synthétisés et contrôlés dans des conditions de laboratoire spécifiques, peuvent présenter une couleur différente du blanc. [3]

Les équations :

$$\diamond \text{C3S} = 4.07\text{C}\% - 7.60\text{S}\% - 6.72\text{A}\% - 1.43\text{F}\%$$

$$\diamond \text{C2S} = -3.07\text{C}\% + 8.60\text{S}\% + 5.07\text{A}\% + 1.08\text{F}\%$$

$$\diamond \text{C3A} = 2.65\text{A}\% - 1.69\text{F}\%$$

$$\diamond \text{C4AF} = 3.04\text{F}\%$$

### I.4.3 Matière correction

Pour produire du ciment blanc avec les caractéristiques désirées, il est essentiel d'incorporer des matériaux correcteurs.

#### I.4.3.1 Gypse

Le sulfate de calcium hydraté ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), également connu sous le nom de gypse, est une roche cristalline monominérale d'origine sédimentaire qui joue le rôle de stabilisateur dans la fabrication du ciment. Les dépôts naturels peuvent renfermer d'importantes quantités d'anhydrite (sulfate de calcium anhydre :  $\text{CaSO}_4$ ). La production de gypse fait exclusivement appel au gypse (sulfate de calcium anhydre) pour générer du semi-hydrate ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ). [18]

#### I.4.4 L'ajout

On utilise ces derniers pour modifier les propriétés du ciment, telles que sa couleur, sa résistance et sa durabilité.

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

### I.4.4.1 Calcaire

Quand son utilisation dépasse 5% en poids ( comme ingrédient principal ), le calcaire doit répondre aux critères suivants :

- ✓ Le calcaire doit contenir au moins 75% de dioxyde de calcium en poids .
- ✓ Teneur en matières organiques inférieure ou égale à 0,50 % en masse. [19]

### I.4.5 Produit semi-fini

Le clinker est un produit qui contient des éléments. La majeure partie du calcium est obtenue par incinération jusqu'à dissolution partielle (clinker) d'un mélange homogène et soigneusement défini, composé principalement de chaux (CaO) et de silice (SiO<sub>2</sub>) dans une moindre proportion, ainsi que d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et d'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) .

La composition du clinker est régulée par un contrôle interne des matières premières (calcaire, kaolin, sable) dont les proportions sont combinées pour obtenir un mélange final avec une composition appropriée . [20]

### I.4.6 Principaux constituants du clinker [21,22]

#### A. Silicate tricalcique ( Alite « C3S » 60 à 65% )

Le « CPA » renferme une présence majeure du « C3S ». C'est l'élément actif du ciment synthétique. Cela attribue au ciment les résistances initiales après 28 jours de durcissement. Lors de l'observation au microscope, on peut observer le clinker sous forme de grains de dimensions identiques et avec une couleur distincte .

#### B. Silicate de bicalcique ( Bélite « C2S » )

- Est en charge des résistances mécaniques sur le long terme.
- Dans les Clinkers, la Bélite correspond généralement à C2S-β et plus souvent qu'à C2S-α et C2S-α.
- Un refroidissement progressif produit des produits de décomposition.
- Dans les klinkers industriels, la transformation du C2S-β en C2S-γ a peu de chances de se produire, en raison de la trempe qui s'effectue dans les refroidisseurs.

#### C. Aluminate tricalcique ( Célite « C3A » 1 à 13% )

- Il donne au ciment une excellente résistance initiale de 1 à 2 jours de durcissement.
- Cependant, par la suite, son influence sur cette résistance est minime.
- Il est réceptif aux eaux marines en raison des sulfates qu'il renferme. L'association avec les sulfoaluminates de chaux donne naissance aux sels de Candlot, souvent très expansifs.

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

La réaction d'hydratation génère une chaleur intense .

### D. C4AF

- On trouve également dans cette série les solides C6AF2, C4AF et C6A2F.
- On pourrait dire qu'en forme C4AF, il y a eu substitution des ions Fe<sup>3+</sup> par des ions Al<sup>3+</sup> .

### E. Chaux Libre

- La présence de chaux libre dans les clinkers peut atteindre jusqu'à 1,5%.
- Issu de l'excédent de CaO.
- Deux grands cristaux de calcite (100 microns).
- Décomposition de l'alite pendant le refroidissement (si la dimension du CaO varie de 1 à 5).

## I.4.7 Zone d'extraction

### A. Concassage

La fonction du concasseur est de réduire les matières premières à des tailles appropriées pour l'équipement.

Les carrières fournissent les matières premières sous forme de gros blocs qui doivent être broyés pour atteindre la taille désirée (0 - 25 mm).

### B. Stockage des matières premières

Après le broyage de ces éléments de base, une granulométrie de 0 à 25 mm est obtenue.[3]

Ces éléments sont ensuite transportés vers l'entrepôt principal ( polaire d'une capacité de 40000 tonnes) grâce à des bandes transporteuses couvertes pour procéder à une pré-homogénéisation :

- Le calcaire blanc est stocker dans un polaire bleu.
- Le kaolin et le sable blanc est stocker dans une hall bleu ( rectangulaire ).
- Les ajouts sont stockés dans une hall gris (rectangulaire). [23]



**Figure I.12** : Stockage des matières premières

### **I.4.8 Zone cru**

#### **A. Pré-homogénéisation**

Le matériau est disposé en strates horizontales successives, qui finissent par constituer un amoncellement dont la composition totale est celle désirée. On procède ensuite à la reprise verticale des couches, ce qui garantit l'extraction continue d'un matériau avec une composition uniforme. Les piles de pré-homogénéisation sont alimentées par des roues de pelle, tandis que l'homogénéisation préalable du matériau est réalisée grâce à un bras de râteau qui tourne autour d'un axe dans un hall .

#### **B. Doser**

L'entrée du broyeur est équipée d'un système qui ajuste automatiquement la proportion des divers éléments . [3]



**Figure I.13** : Doser

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

### C. Broyage de la matière première

L'objectif du broyage est de convertir des particules importantes en poudre. Une fois que la consigne a été établie, on détermine la composition des différents éléments . [6]

### D. Homogénéisation

On désigne la poudre produite au terme du processus de broyage comme étant de la farine brute. Cette farine est acheminée vers un silo de stockage nommé silo d'homogénéisation, ayant une capacité individuelle de 20000 tonnes. La procédure couramment adoptée pour l'homogénéisation implique l'injection d'air à la base des silos afin de rendre la farine plus fluide.

### I.4.9 Zone de cuisson

#### A. Préchauffeur ou cyclones [3,24]

En parallèle, l'atelier est équipé de deux préchauffeurs à 5 étages qui fournissent la chaleur nécessaire au four rotatif. Durant cette phase, le mélange est inséré dans la section supérieure de la tour de précalcination/préchauffage. Cinq cyclones, équivalents à des entonnoirs superposés, se trouvent à l'intérieur de la tour et accueillent successivement la matière première. Celle-ci, en dégringolade, entre en contact avec les gaz qui s'évasent du four. Ainsi, en étant de nouveau brassée, la matière première commence à se réchauffer graduellement à l'approche du four, prévenant de cette façon le choc thermique provoqué par la transition brusque de 20°C à 1400°C .

Réactions chimiques dans la tour de préchauffage :

1. 100° évaporation de l'eau libre
2. Déshydratation de l'eau cristalline de 100° à 400° :



3. Décomposition à 400° de  $\text{MgCO}_3$  :



4. Décarbonatation à 800° du calcaire :



Pour réaliser cela, un autre foyer est intégré dans le cyclone le plus bas, ce qui aide à conserver les gaz à une température supérieure, oscillant entre 800°C et 1000°C. On appelle cette méthode « précalcination », car le matériau qui entre dans le four a déjà une température proche de celle requise pour la cuisson.



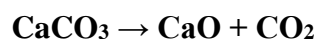
**Figure I.14 :** Tour préchauffage [13]

### **B. Four rotatif [6]**

Les systèmes de four sont élaborés dans les usines de ciment afin de satisfaire les besoins chimiques du processus durant lequel la matière première est convertie en clinker. Le four rotatif, qui est un cylindre d'acier soutenu par des stations de laminage, est doublé en son intérieur de matériaux réfractaires. Au cours de la cuisson, le four rotatif effectue une rotation. L'inclinaison du four facilite le mouvement de la matière première qui est introduite par l'extrémité opposée à la flamme de chauffe. Durant ce processus, la substance est modifiée par la cuisson à mesure qu'elle évolue de son état primordial jusqu'à atteindre une « clinkérisation » à une température de 1450 °C.

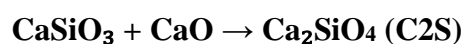
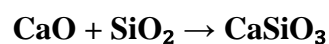
Les principales formations et réactions du matériau pendant la cuisson sont présentées dans les étapes suivantes :

**Étape 1 :** Décarbonatation. Le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) est décomposé en oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) et en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Ce dernier est évacué par la cheminée.



Il s'agit d'une réaction hautement endothermique, à une température d'environ 900 à 1000 °C. Pour 1 tonne (1000 kg) de  $\text{CaCO}_3$ , 440 kg de  $\text{CO}_2$  sont évacués par la cheminée.

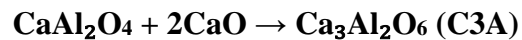
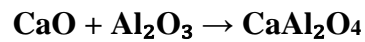
**Étape 2 :** Phase de transition. Il y a combinaison du  $\text{CaO}$  avec le silicium ( $\text{Si}$ ) pour former le C2S (silicate dicalcique) : Silicium ( $\text{Si}$ ) pour former du C2S (silicate dicalcique), cette réaction est légèrement exothermique.



## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

Aluminium (Al) pour former une solution solide d'aluminates de calcium.



**Étape 3 :** Phase de cuisson. Le matériau voit sa température grimper jusqu'à 1450 °C. Une partie du matériau fond pour donner naissance à la phase liquide (composée de phases aluminates et ferrites). Une portion du matériau se transforme en phase liquide (constituée de phases ferrites et aluminates), un processus qui demande énormément d'énergie. Parallèlement, une formation de C3S (silicate tricalcique) se produit : au-delà de 1300 °C, le C2S se convertit en C3S en interagissant avec une portion du CaO non lié. La réaction dégage de la chaleur.



La cristallinité et la composition de ces phases influencent leurs propriétés (par exemple la couleur) et leur réactivité en présence d'eau.



**Figure I.15 :** Four rotative [3]

### C.Refroisseur

Après sa sortie du four, le clinker est refroidi à l'eau, ce qui permet de le solidifier et d'assurer une structure minéralogique et des dimensions cristallines bénéfiques. Par la suite, il est entreposé dans un hangar.

Suite à son refroidissement, le clinker se présente comme des nodules durs et cristallisés, arborant une teinte verte pour le clinker du ciment blanc . [24]



**Figure I.16 :** Clinker après refroidissement

### **D. Stockage du clinker [3]**

Le clinker se manifeste sous la forme de petits granulés, de la taille d'une noisette. Il est transporté par un convoyeur vers le silo à clinker où il sera entreposé jusqu'à ce qu'il soit broyé pour produire du ciment. Chaque silo a une capacité de stockage de 40000 tonnes.

### **I.4.10 Zone de ciment**

#### **A. Broyage de clinker**

C'est un processus ininterrompu qui se déroule dans des moulins nourris par les réserves de clinker et divers composants et additions.

Le processus de broyage a pour objectifs, d'une part, de pulvériser les agrégats de clinker, et d'autre part, d'incorporer du gypse (qui joue un rôle dans la régulation du phénomène de prise), en plus de tout autre élément. Cela permet la production des divers types de ciments normalisés.

On appelle ce genre de broyeur, qui réduit le clinker en intégrant des adjuvants, un « broyeur à ciment ».



**Figure I.17 :** Broyeur ciment [3]

# Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

## B. Stockage du ciment

Le ciment, une fois broyé par le concasseur, est acheminé vers nos silos (nous disposons de six) d'une capacité de 20000 tonnes chacun.

### I.4.11 Zone d'expédition

Pour chaque silo de stockage qui fournit ensuite les ateliers d'emballage pour l'expédition en sacs, ou les équipements de chargement et les livraisons en vrac. Ainsi, les expéditions englobent le stockage du ciment, son emballage (sous forme de sacs) lorsqu'une livraison en vrac ou en sacs est prévue, ainsi que son chargement sur le moyen de transport (comme un camion). Il s'agit de l'interface qui fait le lien entre l'usine et le client.



Figure I.18 : Zone d'expédition

## I.5 Principe du laboratoire

Dans une usine de ciment, le four représente l'élément central, alors que le laboratoire en est le centre névralgique. Voilà pourquoi le rôle du laboratoire au sein de SPA BISKRIA Ciment revêt une grande importance.

Le travail en laboratoire implique la vérification de la qualité du produit à chaque étape de sa production, depuis les matières premières jusqu'à produit finie . En effectuant des prélèvements à analyser pour déterminer les compositions présentes et leurs proportions.

Les différentes analyses effectuées en laboratoire sont les suivantes :

- Contrôle de la matière première toutes 1 foie par jour .
- Contrôle du clinker toutes les 2 heures.
- Contrôle du ciment toutes les 2 heures.
- Contrôle de l'alimentation du four 3 fois par jour.
- Contrôle des matériaux chauds 3 fois par jour.
- Contrôle des matières premières 1 fois par semaine .

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

### I.5.1 Teste chimique [13]

#### a) Compositions chimiques par XRF

Dans analyse par la spectrométrie de fluorescence X ( XRF ) , il faut suivre les variations de la quantité de certains éléments car cela affecte les propriétés du ciment blanc.

**Tableau I.3** : les compositions chimiques du ciment

La formule chimique	Le nom chimique
CaO	La chaux
SiO <sub>3</sub>	La silice
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	L'oxyde de fer
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	L'alumine
MgO	L'oxyde de magnésium
K <sub>2</sub> O	L'oxyde de potassium

#### b) Perte au feu

Est une technique analytique qui consiste à la calciner à l'air un échantillon à une température de  $(950 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C})$ , dans le but de déterminer le dioxyde de carbone et l'eau que l'échantillon perd une fois soumis à haute température .

### I.5.2 Teste optique

#### •Blancheur

La blancheur du ciment est due à l'utilisation de matières premières contenant des minéraux colorants et à un procédé de fabrication particulier. C'est une propriété essentielle du ciment blanc qui est évaluée avec le spectromètre CM-5.

### I.5.3 Teste mécanique

#### •Résistance

Les essais effectués sur le mortier (Le mortier utilisé est produit conformément aux normes EN 196-1) dit « standard » servent à évaluer les résistances mécaniques des ciments au bout de 28 jours, en traction et en compression des échantillons mesurant 4 x 4 x 16 cm (voir illustration). On estime donc que la résistance du mortier dépasse celle du ciment. La valeur fluctue selon le type de ciment et est exprimée en MPa .

## Chapitre I: Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

---

On emploie le « sable normalisé » comme type de sable. Effectivement, pour chaque genre de ciment, diverses catégories de résistances sont prévues par les fabricants, qui garantissent des valeurs minimales et maximales.

### I.5.4 Test physique

#### a) Temps de prise

- L'apparition de la prise, accompagnée d'une libération variable de chaleur, est liée à divers éléments : La nature du ciment peut différer, certains types ayant des périodes de prise nettement plus brèves que d'autres dans des conditions ambiantes identiques
- la granulométrie : le début de la prise étant d'autant plus rapide que la granulométrie est fine
- la température ambiante : où la prise se fige à 0 °C, alors qu'elle s'accélère énormément dès que la température dépasse 30°C.
- La présence de substances organiques dans l'eau .
- le surplus d'eau gaspillée qui sert d'élément retardant.
- Selon les ciments, la norme exige un temps de prise minimal de : 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32,5 R et 1h pour les ciments des classes 42,5 - 42,5 R - 52,5 - 52,5 R

#### b) Surface spécifique de Blaine

Elle se définit par la surface spécifique des particules de ciment, mesurée en (cm<sup>2</sup>/g). Dans les situations habituelles, elle se situe généralement entre 3000 et 3500 cm<sup>2</sup>/g. Plus la mouture est fine, plus les réactions d'hydratation sont rapides et plus la résistance mécanique à un jeune âge est élevée. Cependant, plus le ciment est sensible, plus le retrait est significatif.

#### c) Consistance

Il s'agit de la détermination de la consistance standardisée de la pâte de ciment conformément aux exigences de la norme européenne EN 196-3. Dans cet article, la consistance est définie par le délai nécessaire au mortier pour se répandre sous l'effet des vibrations .

#### d) Expansion

L'expansion peut être due à l'hydratation des oxydes de calcium ou de magnésium présents dans certains ciments sous forme de chaux ou de magnésie libre.

# Chapitre II

## Partie expérimentale

## Chapitre II: Partie expérimentale

### II.1 Introduction

La qualité du ciment est surtout déterminée par la qualité des matières premières employées lors de sa production, ainsi que par les adjuvants chimiques et minéraux qui y sont incorporés pour renforcer ses caractéristiques physiques et mécaniques.

Cette recherche cherche à examiner l'influence de ressources telles que le sable et le fer sur les caractéristiques du ciment, tout en estimant l'importance des additifs dans la transformation des critères du ciment final. En saisissant ces éléments, on peut optimiser le processus de production afin d'assurer une fabrication de ciment en accord avec les standards internationaux.

Ce travail a été effectué au laboratoire de la cimenterie de BISKRIA CIMENT.

### II.2 Etude l'effet des matières premières

Afin de comprendre l'influence des matières premières sur la qualité du ciment, nous avons examiné l'effet du contenu en fer dans deux variétés de sable (sable Khanga et sable Khobana ), employés dans la production de ciment. Nous avons évalué la perte au feu, l'humidité et ( XRF ), puis les avons mis en comparaison avec les standards internationaux.

#### II.2.1 Farine crue

##### II.2.1.1 Raw mix design

Nous avons réalisé la programmation du calcul de conception du mélange brut utilisant trois substances (calcaire, kaolin et sable) et trois facteurs chimiques ,en utilisant EXCEL.

## RAW MIX

Melange	Dosage	Les analyses chimiques									
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	CL	H2O
kaolin milia	50	70.55	16.72	1.09	0.05	0.24	0.22	4.5	0	0.0312	12.5
kaolin Turk	50	57.77	26.17	0.58	0.03	0	1.15	0.22	0	0.0316	12.04
Mélange	100	64.16	21.445	0.835	0.04	0.12	0.685	2.36	0	0.0314	12.27

Matieres	Dosage	Qantite	Matieres	Dosage	Qantite
Ciment	94.30	943	Ciment	89	890
calcaire 1	5	50	calcaire 1	20	200
calcaire 2	5	50	calcaire 2	10	100
Gypse	0.7	7	Gypse	1	10

LSF	SM	AM
0.02	3.83	25.68
1675.89	2.85	4.38
0.03	57.17	4.61
100.00	6.00	14.24

Figure II.1 : Exemple de RAW MIX DESIGN

## Chapitre II: Partie expérimentale

---

### II.2.1.2 Facteurs chimiques [25]

La qualité du ciment est largement déterminée par la qualité du matériau d'entrée et les procédés de contrôle adoptés lors de la clinkérisation et du broyage. Les caractéristiques du clinker sont donc décrites par divers paramètres chimiques, principalement les suivants :

#### 1. Facteur de saturation en chaux (LSF)

La production de clinker nécessite principalement de la chaux (CaO), de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer. Le calcaire est la principale source de chaux dans la production de clinker. Le facteur de saturation en chaux (LSF) mesure la quantité réelle de chaux dans la pâte crue/clinker par rapport à la chaux théorique requise des oxydes de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. En général, le facteur de saturation en chaux (LSF) dans le clinker varie entre 98 et 100 ; il est important de mesurer et de contrôler le facteur de saturation en chaux (LSF) pour obtenir des résultats idéaux avec le clinker produit.

La formule standard pour mesurer le LSF est la suivante :

$$\text{LSF} = \frac{\text{CaO}}{(2,8 * \text{SiO}_2 + 1,18 * \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65 * \text{Fe}_2\text{O}_3) * 100} (\%)$$

#### 2. Module d'alumine (AM)

Le rapport entre l'oxyde d'alumine et l'oxyde de fer, connu sous le nom de module d'alumine, aide habituellement à établir la température à laquelle la phase liquide du clinker commence à se former dans un four.

Pour le processus de formation et de nodulisation du clinker, une valeur AM de 12 est considérée comme idéale. Cette valeur permet aussi d'optimiser la consommation de carburant.

Plus l'indice AM est haut, plus la couleur du clinker est claire et plus le ciment prend rapidement.

Pour retarder la prise, ces ciments ont besoin de plus de gypse.

Une valeur excessive de AM entraîne une cuisson complexe du clinker, ce qui entraîne une consommation importante de combustible, tandis qu'un niveau faible de AM réduit la chaleur d'hydratation, limite le retrait et favorise une prise progressive.

La formule standard pour mesurer le AM est la suivante :

$$\text{AM} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

## Chapitre II: Partie expérimentale

### 3. Module de silice (SM)

Le rapport entre les oxydes de silice et ceux d'alumine et de fer, exprimé par le module de silice, détermine la proportion entre la quantité de solides et celle des matières fondues.

Une teneur accrue en silice renforce la résistance aux substances chimiques et aux conditions atmosphériques, tout en augmentant la robustesse. Néanmoins, il doit être équilibré parce qu'un taux trop élevé de silice conduit à une clinkérisation inefficace, à une consommation excessive de combustible et à un durcissement du ciment qui est lent.

Un four chargé de poussière signale que le mélange brut présente une concentration en silice supérieure ou un niveau de liquides insuffisant, nécessitant un équilibre et un contrôle rigoureux.

Une diminution de la teneur en solides favorise la production de liquides, ce qui optimise la calcination du clinker et diminue l'usage de combustible. Un taux de silice trop bas provoque également une plus grande production de matières fondues, résultant en un revêtement épais du four et une fusion réduite. SM varie entre 1 et 6 selon le type de ciment.

La formule standard pour mesurer le SM est la suivante :

$$SM = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3)}$$

**Tableau II.1** : Les paramètres chimiques optimal de farine crue

LSF %	SM %	AM %
98	6	12

#### II.2.1.3 Préparation de la farine crue

Pour préparer la farine crue, nous utilisons les matières premières suivantes :

##### A. Kaolin

Nous avons fait appel à deux sortes de kaolin (kaolin milia et kaolin Turk) dans notre étude.

##### B. Sable

Pour comprendre comment le taux de fer contenu dans le sable influence la qualité du ciment, nous avons sélectionné deux variétés de sable : le sable de khanga et le sable de khobana. Le tableau ci-après présente les résultats des analyses chimiques des deux sortes de sable.

##### C. Calcaire

Le calcaire employé doit avoir une teneur élevée en CaO et pratiquement pas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## Chapitre II: Partie expérimentale

### II.2.2 Détermination de la perte au feu [3]

**Objectif de l'essai :** mesurer la perte au feu de chaque échantillon .

Pour déterminer la perte au feu il faut suivre les étapes suivantes :

1. Peser et noter la masse d'une capsule en platine **m<sub>1</sub>**.
2. Peser et noter la masse de l'échantillon **pe** comme défini dans le tableau ci-dessous.
3. Placer la capsule dans le four à  $950^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  et laisser calciner comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

**Tableau II.2 :** Présente la valeur de prise d'essai et le temps de calcination de l'échantillon

Matière	Prise d'essai	Temps de calcination
ciment clinker Cru Matières premières	1g	Minimum 30 min
autres	1g	Jusqu'à poids constant

4. Sortir la capsule du four et laisser refroidir quelques minutes dans un dessiccateur.
5. Peser et noter la masse de capsule après perte au feu **m<sub>2</sub>** .

Pour calculer la perte au feu on applique la relation suivante :

$$PAF = \frac{m_1 + pe - m_2}{m_2}$$

**PAF :** perte au feu.

**m<sub>1</sub> :** masse de la capsule vide en g.

**pe :** prise d'essai en g.

**m<sub>2</sub> :** masse finale (capsule + matière calcinée).

### II.2.3 Détermination de l'humidité [3]

**Objectif de l'essai :** déterminer le pourcentage de l'humidité des matières premières .

Pour déterminer le pourcentage de l'humidité on applique la mode opératoire suivante :

1. Prenez environ 800 à 1500 grammes pour les matières premières, des doseurs broyeurs crus, du gypse et des doseurs d'additifs pour le ciment des usines.
2. Prenez 50 - 100 grammes pour l'alimentation du four, farine crue, ou de ciment.

## Chapitre II: Partie expérimentale

3. Prenez une assiette vide, sèche et propre.
4. Peser la plaque et noter P1.
5. Peser l'échantillon humide et noter P2.
6. Peser (le plateau + l'échantillon séché) et noter P3.

La température et la durée des tests .

**Tableau II.3 :** Les températures et les durées de séjour dans le séchoir ainsi que les quantités de matière pour chaque échantillon.

Matière	Température (C°)	Masses matières en (g)	Durée en séchage
Calcaire	100-105	800-1500	Min 24h
Kaolin	100-105	800-1500	Min 24h
Sable	100-105	800-1500	Min 24h
Gypse	45	800-1500	Min 24h

Le pourcentage l'humidité est calculé par la formule suivante :

$$H_2O (\%) = \frac{((P_1 + P_2) - P_3)}{P_2}$$

**P<sub>1</sub>** : masse plaque.

**P<sub>2</sub>** : masse d'échantillons humide.

**P<sub>3</sub>** : masse totale (masse plaque + masse échantillons séchés).

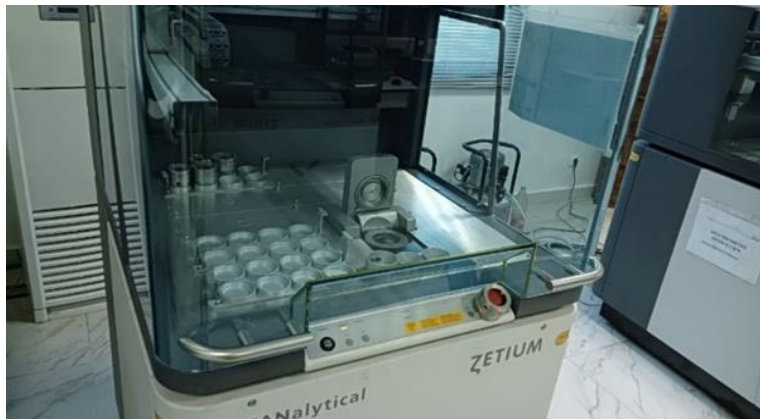
### II.2.4 Analyse élémentaire par XRF [24]

#### II.2.4.1 Définition de XRF

**Objectif :** Identifier et déterminer la pourcentage des éléments chimiques présents dans un échantillon.

La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse élémentaire complète qui permet d'identifier et de quantifier la majorité des éléments chimiques présents dans un échantillon. Cette méthode est applicable à une multitude de matériaux :

minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres, etc., Qu'ils soient sous forme solide ou liquide.



**Figure II.2:** Appareil de XRF utilisé dans notre étude

### II.2.4.2 Préparation des pastilles pour XRF

Pour faire l'analyse par XRF , en doit preparer des pastilles comme suit :

#### a. Concassage

Concasser l'échantillon dans le concasseur à mâchoire et faire de l'humidité.



**Figure II.3:** Concasseur

#### b. Broyage

1. Placer environ 10 g d'échantillon dans le broyeur et démarrer pendant 10 secondes pour rinçage.
2. Peser la quantité de matière à analyser .
3. Placer l'échantillon dans le bol, fermé avec son couvercle, et mettre le tout dans le broyeur à disque, fermer la porte du broyeur.

## Chapitre II: Partie expérimentale

4. Pousser le bouton de synchronisation, puis le bouton du programme (bouton de démarrage) et attendre jusqu'à ce que l'opération de broyage soit terminée. (Voir le Tableau).



**Figure II.4 :** Disque de broyage



**Figure II.5 :** Broyeur à disque

**Tableau II.4 :** Définition la masse et le temps de broyage et mixage de l'échantillon.

Type de matières	Type d'analyse	Broyage		Mixage		
		Pds de l'échantillon (g)	Temps de broyage (Secondes)	Pds de l'échantillon (g)	Additif Wax	Temps de mixage Secondes
Clinker	XRF	20	80	20	1	20
Ciment	XRF	20	60	20	1	20
Kaolin	XRF	20	100	15	1	20
Calcaire	XRF	20	90	15	1	20
Sable	XRF	20	120	15	1	20
Gypes	XRF	20	90	15	1	20
Clinker	Blancher	80	140	/	/	/
Calcaire et Gypes		50	80	/	/	/

### c. Presse

1. Prendre 10g de l'échantillon broyé.
2. Placer l'anneau en acier dans la machine (Presse Hydraulique).
3. A l'aide d'une spatule verser la matière dans l'anneau et uniformiser la surface de la matière.
4. Fermer la porte de la presse et appuyer sur le bouton synchronisation (Pour HERZOG).
5. Puis sur le bouton du programme choisi (bouton de démarrage).

## Chapitre II: Partie expérimentale

---

6. Attendre jusqu'à ce que l'opération de pression soit terminée.



**Figure II.6 :** Presse hydraulique

7. Ouvrir la porte et prendre l'anneau avec précaution (Ne pas toucher la face supérieure de la pastille avec les doigts).

8. Nettoyer la face inférieure avec un pinceau.

9. Sur la face inférieure, inscrire à l'aide d'un crayon l'identification de l'échantillon .



**Figure II.7 :** Pastille

### II.2.5 Détermination de blancheur

- **Objectif :**

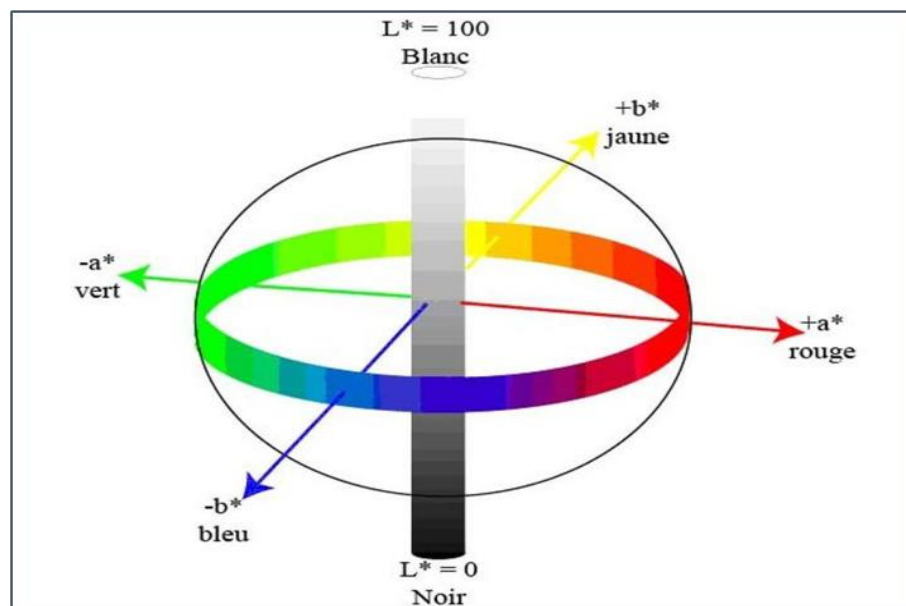
- Identifier les caractéristiques optiques des matériaux de base utilisés dans la production de ciment blanc.
- Établir les propriétés optiques du Clinker et du Ciment Blanc .

Nous avons maître une quantité de matière dans le spectrophotomètre CM-5 qui se connecte à l'ordinateur avec logicielle ( Spectra-Magic NX) pour obtenir des graphiques de degré de blancheur et enregistrer les résultats. [3]



**Figure II.8 :** Spectrophotomètre CM-5

- La clarté  $L^*$  qui prend des valeurs entre 0 (noir) à 100 (blanc de référence)
- Le paramètre  $a^*$  représente la valeur sur un axe vert  $\rightarrow$  rouge
- Le paramètre  $b^*$  représente la valeur sur un axe bleu  $\rightarrow$  jaune . [24]



**Figure II.9 :** Espace colorimétrique CIE-LAB [24]

### II.3 Etude l'influence des aditifs

Pour analyser l'influence des additifs sur la qualité du ciment, nous avons élaboré 7 échantillons de ciment à partir de deux variétés de calcaire, avec des ratios changeant de 5% à 25% , et du gypse. Nous avons ensuite procédé à des test qualité de la blancheur et de la résistance.

## Chapitre II: Partie expérimentale

### II.3.1 Préparation des échantillons

Nous préparons 7 échantillons en mélangeant deux types de calcaire (1 et 2) dans des pourcentages différentes, avec CEM I 52,5 R et du gypse. Où nous avons utilisé le calcaire 1 dans les échantillons 1, 2, 3 et le calcaire 2 dans les échantillons 4, 5, 6 et 7.

Le tableau II.5 ci-dessous présente les dosages des échantillons 1-3

**Tableau II.5 :** les dosages des échantillons (1-3)

Matières	Dosage (%)		
	Ciment	Calcaire 1	Gypse
Échantillon 1	94,3	5	0.7
Échantillon 2	89	10	1
Échantillon 3	78.5	20	1.5

Le tableau II.6 ci-dessous présente les dosages des échantillons 4, 5, 6 et 7.

**Tableau II.6 :** les dosages des échantillons (4-7)

Matières	Dosage (%)		
	Ciment	Calcaire 2	Gypse
Échantillon 4	94.3	5	0.7
Échantillon 5	89	10	1
Échantillon 6	78.5	20	1.5
Échantillon 7	73.25	25	1.75

Le tableau II.7 ci-dessous présente les quantités nécessaires de chaque matières pour préparer les échantillons 1 ,2 et 3.

**Tableau II.7 :** les quantités nécessaires de chaque matières pour préparer les échantillons (1-3)

Matières	Quantité (g)		
	Ciment	Calcaire 1	Gypse
Échantillon 1	943	50	7
Échantillon 2	890	100	10
Échantillon 3	785	200	15

## Chapitre II: Partie expérimentale

Le tableau II.8 ci-dessous présente les quantités nécessaires de chaque matières pour préparer les échantillons 4 ,5 ,6 et 7.

**Tableau II.8 :** les quantités nécessaires de chaque matières pour préparer les échantillons (4-7)

Matières	Quantité (g)		
	Ciment	Calcaire 2	Gypse
Échantillon 4	943	50	7
Échantillon 5	890	100	10
Échantillon 6	785	200	15
Échantillon 7	732.5	250	17.5

### II.3.2 Mesure des résistances à la compression et à la traction [26]

- **Objectif de l'essai**

La résistance d'un mortier est directement dépendante du type de ciment donc, il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment plutôt que d'un mortier.

#### II.3.2.1 Principe

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature de liant hydraulique ; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.

#### II.3.2.2 Equipement nécessaire

Travail en laboratoire de physique selon les normes EN 196-1

1. La salle est maintenue à une température de  $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  et avec un taux d'humidité relatif d'au moins 50%.
2. Chambre humide conservée à une température de  $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$  et avec un taux d'humidité dépassant les 90%.



**Figure II.10 :** Chamber

3. Table de coupe standardisée et mélangeur, consulter l'illustration.
4. Des moules standardisés sont utilisés pour la production de 3 éprouvettes prismatiques ayant une section carrée de 4 cm x 4 cm et une longueur de 6 cm nommées « éprouvettes 4 x 4 x 16 cm »,



**Figure II.11 :** Moule prismatique

5. Appareil de choc, est possible d'appliquer 60 impacts sur les moules en les faisant tomber d'une hauteur de  $1 \text{ cm} \pm 0,3 \text{ mm}$  à un rythme d'un impact par seconde pendant une distance de 60 cm.



**Figure II.12 :** Table choc

## Chapitre II: Partie expérimentale

6. Appareil d'essai de compression capable d'exercer des charges atteignant 150 N (ou davantage si requis ) à un rythme de chargement de  $2400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/s}$ . Comme le montre la figure, cette machine possède un mécanisme de compression .



**Figure II.13 :** Appareil de compression

### II.3.2.3 Préparation de sable normalisé

Après avoir récupéré le sable de l'entrepôt, nous choisissons les tamis à utiliser ( 2mm ,1.25mm ,1mm.800 $\mu\text{m}$  ,500 $\mu\text{m}$  ,315 $\mu\text{m}$  ).

**Tableau II.9 :** Analyse granulométrique de sable normalisé

Tamis	2 mm	1.25 mm	1 mm	800 $\mu\text{m}$	500 $\mu\text{m}$	315 $\mu\text{m}$	< 315 $\mu\text{m}$
En gramme	0	270	182.4	198.4	212.5	84.4	401.9
En pourcentage	0	20	13.5	14.69	15.74	6.28	29,77

Nous effectuons le tamisage afin d'obtenir la quantité nécessaire pour préparer 13 moules prismatiques, selon l'analyse granulométrique d'un sac de sable standard .

**Tableau II.10 :** La quantité nécessaire de chaque rufus de tamis pour préparer 14 moules prismatiques

Tamis	1.25 mm	1 mm	800 $\mu\text{m}$	500 $\mu\text{m}$	315 $\mu\text{m}$	< 315 $\mu\text{m}$
Quantité (g)	3780	2553.6	2777.74	2975	1181.6	5626.6



Figure II.14 : Diamètres du sable préparé



Figure II.15 : Les tamis

### II.3.2.4 Préparation des éprouvettes

Pour préparer les éprouvettes de test de résistance suivre le mode opératoire suivant :

#### A. Préparation du mortier

La composition du mortier à tester est la suivante :

- Sable normalisé = 1350 g  $\pm$  5 grammes.
- Ciment = 450  $\pm$  2 grammes.
- Eau de gâchage = 225g  $\pm$  1 g (le rapport de E/C est donc 0,50)

Les étapes :

1. Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment soigneusement.
2. Mettre alors le malaxeur en marche à petite vitesse.
3. Après 30 secondes, introduire le sable régulièrement pendant les 30 secondes qui suivent, et continuer à malaxer pendant 30 autres secondes
4. Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 S pendant les 15 premières secondes, enlever à l'aide d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond vers le milieu de celui-ci.
- 5 Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 1 minute



Figure II.16 : Malaxeur

#### B. Moulage

1. Le moule et sa hausse fermement fixés à la table à choc.

## Chapitre II: Partie expérimentale

---

2. Remplir avec précaution à l'aide d'une cuillère convenable, le moule à moitié et dans chaque compartiment de celui-ci . Etaler la couche uniformément en utilisant une spatule adéquate. ( La tenir verticalement et avec des mouvements de va et vient )
3. Démarrer ensuite l'appareil à choc pour 60 coups.
4. Introduire la seconde couche, niveler avec la spatule et démarrer l'appareil pour 60 autres coups.
5. Retirer avec précaution le moule de la table et ôter la hausse, enjever immédiatement l'excès de mortier avec une règle métallique plate, anime de lents mouvements.
6. Lisser la surface des éprouvettes en tenant la règle presque à plat.
7. Etiqueter les moules pour identification.
8. Placer sans tarder les moules dans une armoire humide à régulation de température, pendant 24 h.
9. Apres 24 heures de cure ainsi faire sortir les moules et procéder au démoulage des éprouvettes.
10. Immerger sans tarder les éprouvettes dans un bain d'eau a régulation de température ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ )

### C. Ages des éprouvettes

1. Compter l'age à partir du moment de malaxage du ciment, eau et sable jusqu'au début de l'essai.
2. Effectuer les essais de résistances à différents ages , apres 02, et 28 jours.

Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges, ils devront être réalisés dans les limites de temps indiquées dans le tableau ci-dessous

**Tableau II.11** : Les limites de temps de chaque âges

Age	24 h	48 h	72 h	28 j
précision	$\pm 15$ min	$\pm 30$ min	$\pm 45$ min	$\pm 8$ h

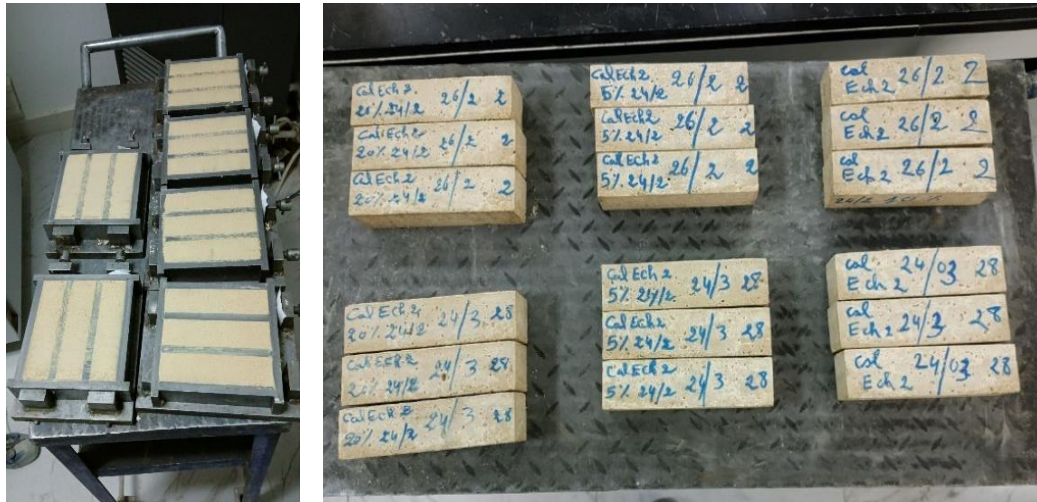


Figure II.17 : Les éprouvettes Avant et après le démoulage

### II.3.2.5 Résistance à la compression

- 1.Placer le demi-prisme en compression sur les faces latérales de moulinge Centrer chaque demi-prisme dans le compartiment d'essai.
- 2.Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uiformóment la charge jusqu'a rupture .

La formule standard pour mesurer le contrainte appliqué est la suivante :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

**F** : charge appliqué en KN.

**S** : surface du demi prisme  $\text{cm}^2$

**$\sigma$**  : Contrainte appliqué MPa.

Les demis - prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indique sur la figure 10. Si  $F_C$  la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Céret contrainte est appelée résistance à la compression et, si  $F_e$  est exprimée en newton, cette résistance exprimée en méga pascals vaut

$$R_c(\text{MPa}) = \frac{F_c (\text{N})}{1600}$$

## Chapitre II: Partie expérimentale

La résistance dite résistance normale pour un ciment donné est la résistance ainsi mesurée à l'âge de 28 jours. C'est cette résistance qui définit la classe du ciment : si un ciment a, (a 28 jours), une résistance normale de 52 MPa, on dira que sa classe vraie est de 52 MPa.

**Tableau II.12 : Résistance à la compression MPa**

Résistance à la compression MPa				
Classe de résistance	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7jours	28 jours	
32.5 L		$\geq 12$	$\geq 32.5$	$\leq 52.5$
32.5 N		$\geq 16$		
32.5 R	$\geq 10$			
42.5 L		$\geq 16$	$\geq 42.5$	$\leq 62.5$
42.5 N	$\geq 10$			
42.5 R	$\geq 20$			
52.5 L	$\geq 10$		$\geq 52.5$	
52.5 N	$\geq 20$			
52.5 R	$\geq 30$			

# Chapitre III

## Résultats et discussions

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

### III.1 Introduction

Ce chapitre présente une série de résultats expérimentaux obtenus dans le laboratoire S.P.A BISKRIA CIMENT, accompagnés de leurs explications. Dans la première expérience, nous avons examiné l'influence des matières premières, comme le sable, sur la couleur blanche de la farine crue. Quant à la seconde expérience, elle a porté sur l'impact des adjuvants sur le ciment en ce qui concerne sa blancheur et sa résistance.

### III.2 Résultats et discussion de farine cru

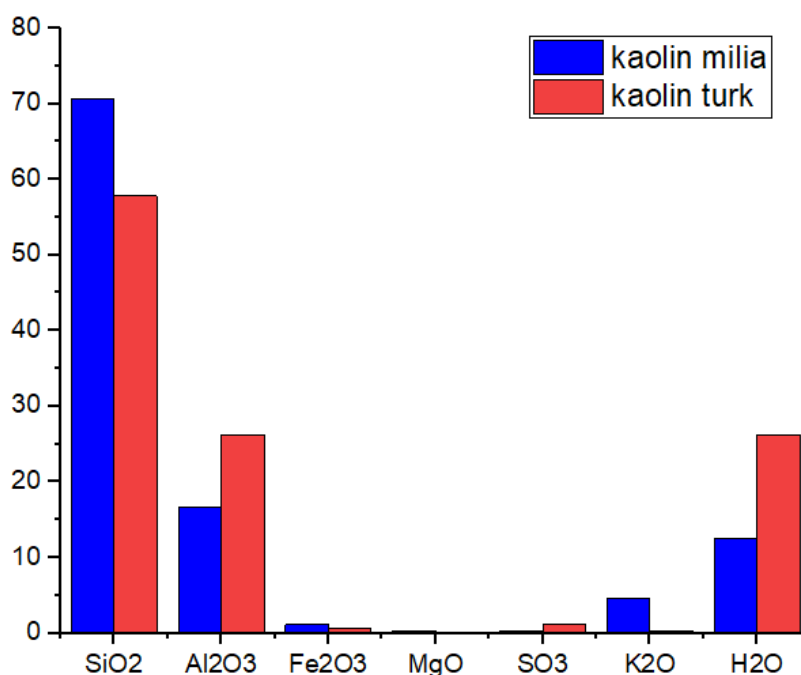
#### III.2.1 Analyses chimiques

##### III.2.1.1 Mélange des kaolins

Le tableau III.1 présente les analyses chimiques de mélange des kaolins utilisé

**Tableau III.1** : Les analyses chimiques de mélange des kaolins utilisé

Melange	Les analyses chimiques									
	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>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	H <sub>2</sub> O
kaolin milia	70,55	16,72	1,09	0,05	0,24	0,22	0	4,5	0,031	12,5
kaolin Turk	57,77	26,17	0,58	0,03	0	1,15	0	0,22	0,031	12,04
Mélange	64,16	21,445	0,835	0,04	0,12	0,685	0	2,36	0,031	12,27



**Figure III.1** : Diagramme les analyses chimiques des kaolins

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

### III.2.1.2 Sables

Le tableau III.2 présente les analyses chimiques de chaque sable ; Les compositions plus importance dans la sable de Khanga et Khobana est ( $\text{SiO}_2$ ) et ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

**Tableau III.2 :** Les analyses chimiques de chaque sable

Échantillons	Les analyses chimiques									
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Cl}$	$\text{H}_2\text{O}$
sable Khanga	94,31	1,66	0,36	0,08	0,00	0,03	0,74	0,19	0,04	0,78
sable Khobana	97,70	0,67	0,21	0,52	0,12	0,00	0,19	0,00	0,01	1,50

### III.2.1.3 Calcaire

Le tableau III. 3 présente les analyses chimiques de calcaire utilisé

**Tableau III.3 :** Les analyses chimiques de calcaire utilisé

Échantillons	Les analyses chimiques									
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Cl}$	$\text{H}_2\text{O}$
calcaire	0,97	0,35	0,08	53,31	1,55	0,09	0,01	0,05	0,00	0,68

## III.2.2 Résultats et discussion

### III.2.2.1 Farine cru

#### A) Avec sable khanga

Les analyses chimiques de la farine cru sont donné dans les tableaux ci-dessous

Pour mélange suivant :

- kaolin (9.71 %), Calcaire (82.29 %), sable Khanga ( 8.00 %).

**Tableau III.4 :** Présente l'analyse de la farine cru avec sable khanga

matières	Les analyses chimiques									
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Cl}$	$\text{H}_2\text{O}$
Melange kaolin	64.16	21.44	0.835	0.04	0.12	0.685	2.36	0.00	0.03	12.27
Calcaire	0.97	0.35	0.08	53.31	1.55	0.09	0.01	0.05	0.00	0.68
Sable Khanga	94.31	1.66	0.36	0.08	0.00	0.03	0.74	0.19	0.04	0.78
Cru	14.58	2.50	0.18	43.88	1.29	0.14	0.30	0.06	0.01	1.81

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

### B) Avec sable khobana :

Les analyses chimiques de la farine cru sont donné dans les tableaux ci-dessous pour le mélange suivant :

- kaolin (9.71%) ,Calcaire (82.29%) ,Sable Khobana (8%) .

**Tableau III.5 :** Présente l'analyse de la farine cru avec sable khobana

Échantillons	Les analyses chimiques									
	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	Cl	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
kaolin	64.160	21.445	0.835	0.04	0.12	0.685	2.36	0.03	0.00	12.27
Calcaire	0.97	0.35	0.08	53.31	1.55	0.09	0.01	0.00	0.05	0.68
Sable Khobana	97.70	0.67	0.21	0.52	0.12	0.00	0.19	0.04	0.00	1.50
Cru	14.84	2.42	0.16	43.91	1.30	0.14	0.25	0.01	0.04	1.87

### Discussion

#### ➤ Remarque sur le sable

- La pureté en silice (SiO<sub>2</sub>) du sable de Khobana est supérieure, atteignant 97,70 %, comparativement à 94,31 % pour le sable de Khanga.
- Le sable Khanga présente des teneurs plus que sable Khobana en oxydes de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- Le sable Khobana présente une concentration supérieure en chaux (CaO) et en eau (H<sub>2</sub>O).

#### ➤ Remarque sur cru

- Il y a une augmentation minimale de SiO<sub>2</sub> (0,26%) dans le mélange issu du sable de Khobana, en raison de sa concentration élevée en silice.
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est légèrement diminué en raison de leur faible concentration dans le sable de Khobana.
- On ne note pas de différence notable entre le CaO , étant donné que le calcaire, leur principal constituant, a une influence prépondérante.

### III.2.2.2 Paramètres chimiques

Les paramètres chimiques SM ( Module silicique ), LSF ( Facteur de saturation en chaux ), AM ( Module alumino-ferrique ) de farine cru avec les deux type de sable sont donnés dans les tableaux pour sable khanga et sable Khobana respectivement :

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

### A) pour sable khanga :

Le tableau III.6 présente les facteurs chimique de cru avec sables khanga .

**Tableau III.6 :** Résultats de les paramètres chimiques de cru avec sable khanga

	LSF	SM	AM
Mélange de kaolin	0.02	3.83	25.68
Calcaire	1675.89	2.85	4.38
Sable Khanga	0.03	57.17	4.61
Cru	100.00	6.00	14.24

### B) pour sable khobana

Le tableau III.7 présente les facteurs chimiques de cru avec sables khobana .

**Tableau III. 7 :** Résultats de les paramètres chimiques de cru avec sable khobana

	LSF	SM	AM
Mélange de kaolin	0.02	3.83	25.68
Calcaire	1675.89	2.85	4.38
Sable Khobana	0.19	146.03	3.19
Cru	98.63	6.29	14.80

### Discussion :

- Les deux compositions présentent un LSF proche de l'idéal (~100), ce qui témoigne d'un bon rapport en chaux.
- Le sable de Khobana génère un mélange brut ayant un module de silice (SM) et un module d'alumine (AM) supérieurs, ce qui pourrait influencer la combustion et la création des phases du clinker.

### III.2.2.3 Blancheur

Les paramètres  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  de blancheur sont illustrés dans les tableaux pour sable de khanga et pour sable Khobana .

#### A) Avec sable khanga

Le tableau III.8 présente Résultats de blancheur de cru avec sable khanga .

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

**Tableau III.8 :** Résultats de blancheur de cru avec sable khanga

Quantité Matieres (g)	Blancheur		
	L*	a*	b*
kaolin Turk 2,5	93.07	-2.07	4.09
kaolin Milia 2,5			
calcaire 40			
sable Khanga 5			

### B) Avec sable khobana

Le tableau III.9 présente Résultats de blancheur de cru avec sable khobana .

**Tableau III .9 :** Résultats de blancheur de cru avec sable khobana

Quantité Matieres (g)	Blancheur		
	L*	a*	b*
kaolin Turk 2,5	93.62	-1.83	3.6
kaolin Milia 2,5			
calcaire 40			
sable Khobana 5			

### Discussion

#### 1.Valeur de luminosité (L\*) :

- Le mélange avec sable de Khobana présente une valeur L\* supérieure (93,62) comparativement au mélange avec sable de Khanga (93,07) .
- Cela signifie que le spécimen de Khobana est un peu plus blanc ou brillant (avec une différence de 0,55 unité) .

#### 2. Valeur de la couleur vert/rouge (a\*) :

- Les deux échantillons se trouvent dans la région verte (valeurs inférieures à zéro).
- Par rapport à Khobana (-1,83), le groupe de Khanga est plus écologique (-2,07).
- L'écart ici est de 0,24 unité, ce qui pourrait être perceptible visuellement.

#### 3. Valeur de la couleur bleu/jaune (b\*) :

- Les deux échantillons sont localisés dans la zone jaune (valeurs positives).

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

- Le sable khanga présente une couleur plus jaunâtre (4,09) par rapport au khobana (3,6).
- L'écart ici est de 0,49 unité, ce qui constitue la plus grande valeur parmi les échantillons .

### III.2.2.4 Conclusion

- L'utilisation du sable de Khobana dans le mélange produit des résultats chimiques supérieurs, notamment en ce qui concerne la pureté de la silice et la diminution des impuretés, ce qui pourrait rehausser la qualité du produit fini.
- Degré de blancheur : L'échantillon de Khobana présente une blancheur supérieure ( $L^*$  plus élevé) et une moins grande tendance au jaunissement ( $b^*$  plus bas) par rapport à celui de Khanga.
- Dérive chromatique : Le modèle de Khanga montre une tendance plus prononcée vers le vert et le jaune comparé à celui de Khobana.

## III.3 Résultats de l'influence des aditifs et discussion

### III.3.1 Analyses chimiques

Pour commencer à préparer les échantillons, il faut analyser les matières premières.

#### III.3.1.1 Matières utilisé Dans la préparation des échantillons

Le tableau III.10 ci-dessous présente les analyses chimique des matières utilisé .

**Tableau III.10** : Les analyses chimiques des matières utilisé

Matières	Les analyses chimiques							
	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
CEM I 52,5R	22,00	3,50	0,26	65,55	1,96	2,40	0,25	0,09
Calcaire 1	1,41	0,53	0,1	50,5	1,22	0,11	0,01	0,07
Calcaire 2	0,22	0,24	0,02	54,28	0,7	0,08	0	0,07
Gypse	0,09	0,03	0,03	29,90	0,05	46,83	0,00	0,00

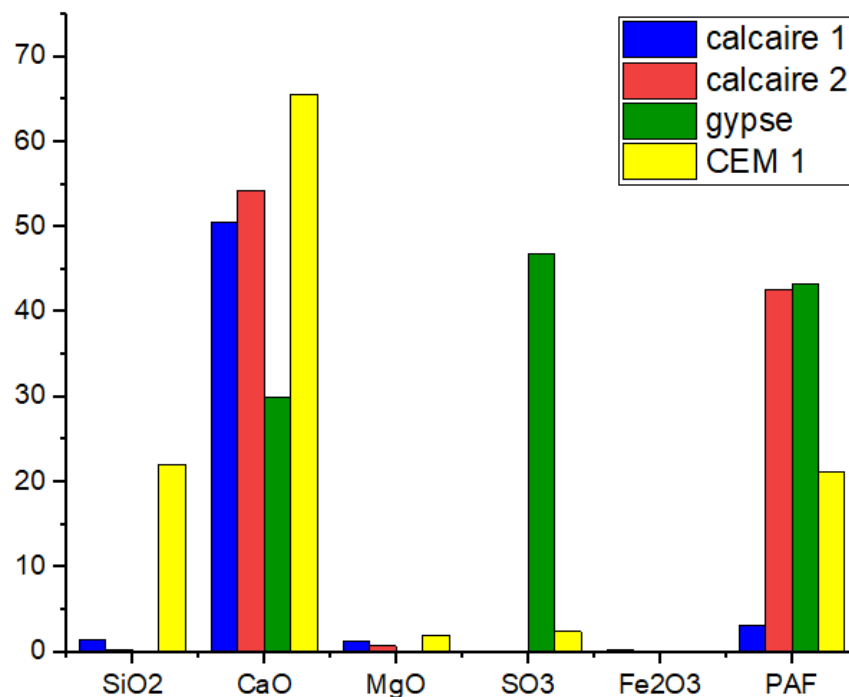


Figure III.2 : Diagramme les analyse chimiques des matières utilisé

### A. CEM I 52,5 R

La silice est formée par le  $\text{SiO}_2$  et constitue l'élément central des phases cimentaires (C3S, C2S). Les aluminates (C3A), qui se forment grâce à l' $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sont responsables de la prise rapide. Le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  est en équilibre avec l'alumine pour former les phases ferrite (C4AF).

La formation des phases du clinker est essentielle pour le CaO (C3S, C2S). Il faut que le MgO soit inférieur à 5% afin d'éviter tout gonflement ultérieur. Le  $\text{SO}_3$  régule la durée de prise en produisant du gypse chimique. Le  $\text{K}_2\text{O}$  a la capacité de déclencher des réactions alcalies avec les granulats. Enfin, comme le potassium, le  $\text{Na}_2\text{O}$  influence la stabilité du ciment.

La composition élevée en CaO (65,55 %) signale un clinker de haute qualité, tandis que la présence de  $\text{SO}_3$  (2,4%) suggère l'incorporation de sulfates pour réguler le durcissement.

### B. Calcaire :

- Sa faible concentration en  $\text{SiO}_2$  limite son efficacité.
- CaO est une source de calcium, mais sa pureté est inférieure à celle du clinker.
- Il est nécessaire que  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  soit présent en petites quantités pour maintenir la couleur blanche du ciment.
- $\text{SO}_3$  est présent en petites quantités et n'affecte pas les propriétés.

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

**Tableau III.11 :** Pourcentage de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et CaO dans les calcaire

	Calcaire 1	Calcaire 2
CaO	50,5	54,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,02

Applications : intégré en tant que matière première pour rehausser la blancheur ou comme charge pour diminuer les dépenses.

### C. Gypse :

- Il comporte 46,83 % de SO<sub>3</sub> pour réguler la durée de prise du ciment .
- Le CaO favorise la solidification sans influencer les phases principales .

Elle représente généralement entre 3-5% dans le mélange final.

### III.3.1.2 Caractéristique générales de chaque échantillon

Nous avons soumis les sept échantillons de ciment blanc à une analyse pour déterminer leur composition chimique.

**Tableau III.12 :** Présente l'analyse chimique des 7 échantillon

Matières	Les analyses chimiques							
	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
Échantillon 1	22.02	3.54	0.25	64.79	1.98	2.57	0.24	0.8
Échantillon 2	20.85	3.33	0.25	64.77	1.91	2.68	0.23	0.8
Échantillon 3	19.08	3.05	0.24	64.73	1.77	2.72	0.2	0.7
Échantillon 4	22.32	3.5	0.25	65.72	1.99	2.34	0.25	0.8
Échantillon 5	19.9	3.2	0.22	63.19	1.78	2.42	0.21	0.9
Échantillon 6	18.43	2.92	0.2	64.35	1.67	2.57	0.18	0.6
Échantillon 7	17.73	2.85	0.19	64.47	1.61	2.39	0.17	0.6

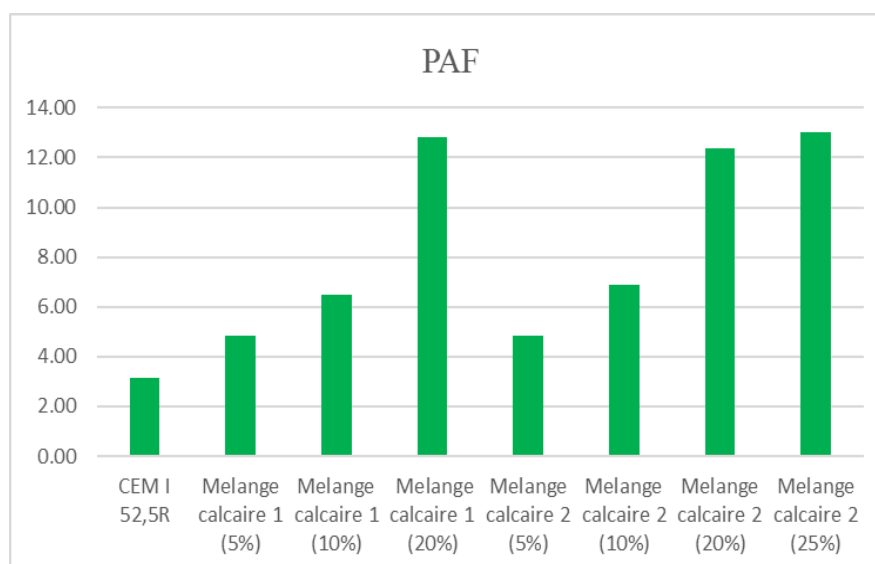
### III.3.2 Résultats et discussion

#### III.3.2.1 Perte au feu

Dans l'analyse de la perte de feu , nous avons analyse 7 échantillons avec différentes pourcentage de calcaire , les résultats obtenues est illustrés dans le tableau III.13 et figure III.3

**Tableau III.13** : Résultats de la perte au feu

Matieres	PAF
CEM I 52,5R	3.12
Mélange calcaire 1 (5%)	4.85
Mélange calcaire 1 (10%)	6.48
Mélange calcaire 1 (20%)	12.81
Mélange calcaire 2 (5%)	4.83
Mélange calcaire 2 (10%)	6.9
Mélange calcaire 2 (20%)	12.36
Mélange calcaire 2 (25%)	13.04



**Figure III.3** : Diagramme de resultats de la pert au feu

### Discussion

- Le CEM I 52,5R présente un PAF de 3,12, qui est la valeur la plus faible comparée à tous les types de mélanges de ciment calcaire.
- Cela implique que CEM I 52,5R est le plus performant concernant la résistance à la réaction alcali-silice (RAS), car une valeur PAF inférieure signale un danger diminué de dilatation et de fissuration dans le béton.
- Les valeurs de PAF pour les mélanges de ciment calcaire s'élèvent à mesure que le pourcentage de calcaire augmente :
  1. À 5% : les chiffres oscillent entre 4,83 et 4,85 ( plus élevés que CEM I 52,5R, mais reste assez bons).

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

2. À 10% : les données fluctuent entre 6,48 et 6,9 (moins bonnes qu'à 5%).
  3. À 20% : les valeurs fluctuent entre 12,36 et 12,81 (dégradation notable des performances).
  4. À 25% : la valeur est de 13,04 (ce qui est le moins bon score parmi tous les mélanges).
- CEM I 52,5R est l'option la plus judicieuse puisqu'il offre le PAF le plus faible (3,12), indiquant une réaction alcali-silice moins périlleuse.
  - L'efficacité des mélanges de calcaire pour prévenir la réaction nuisible décroît à mesure que leur proportion augmente, car cela tend à augmenter le PAF.
  - Si l'emploi du mélange calcaire s'avère indispensable, une proportion de 5% est la plus recommandée (tout en demeurant inférieure à CEM I 52,5R).

**Note :** On vise à réduire le PAF, car une diminution de celui-ci reflète une inhibition plus efficace de la réaction alcali-silice.

### III.3.2.2 Blancheur des mélanges

le tableau III.14 et figure III.4 et III.5 présenté les valeurs  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  des mélanges préparés .

**Tableau III.14 :** Résultats de blancheur de les échantillons

Matières	Blancheur		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
CEM I 52,5R	93.99	-1.44	4.96
Melange calcaire 1 (5%)	93.77	-1.3	5.1
Melange calcaire 1 (10%)	93.77	-1.18	5.2
Melange calcaire 1 (20%)	93.49	-0.93	5.35
Melange calcaire 2 (5%)	93.87	-1.38	4.88
Melange calcaire 2 (10%)	93.9	-1.35	4.84
Melange calcaire 2 (20%)	94.02	-1.23	4.65
Melange calcaire 2 (25%)	94.13	-1.11	4.42

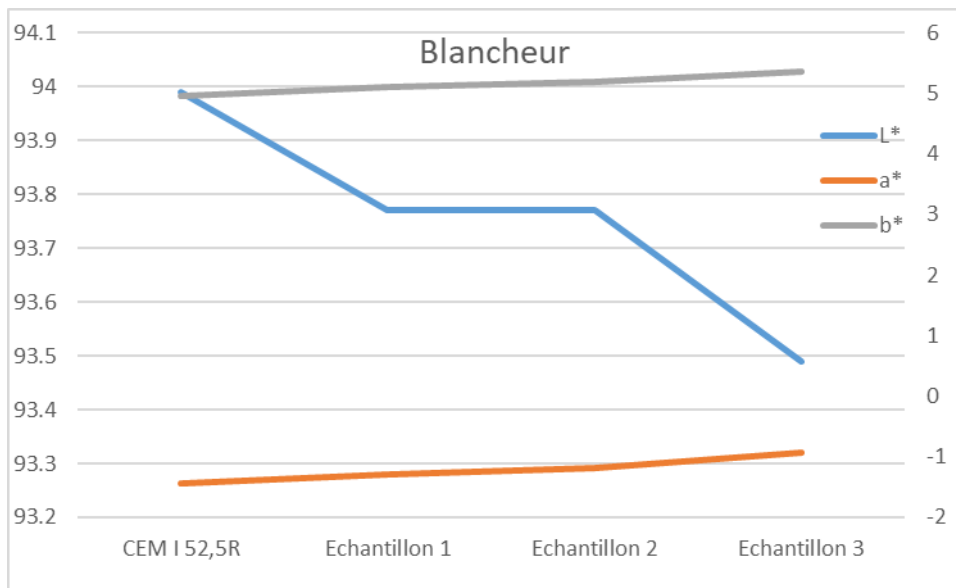


Figure III.4 : Courbe de blancheur des mélanges de calcaire 1

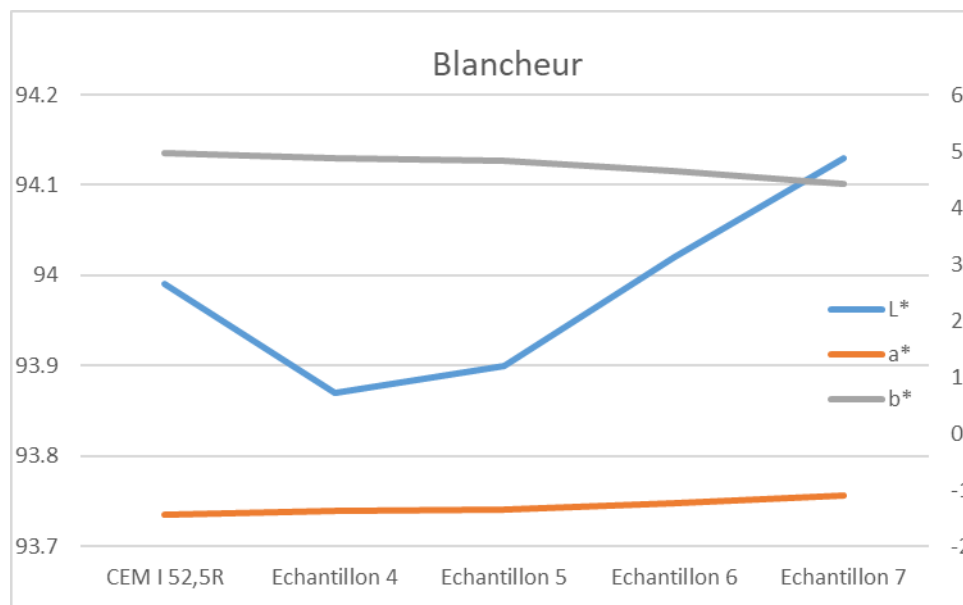


Figure III.5 : Courbe de blancheur des mélanges de calcaire 2

### Discussion

#### 1. Indice L\* (blancheur/luminosité) :

- L'ensemble des mélanges de calcaire conservent des valeurs L\* similaires à celles de la matière d'origine (~93-94).
- Le mélange Calcaire 2 (25%) affiche la valeur L\* la plus importante (94,13), suggérant une blancheur légèrement plus élevée que l'original.
- Le mélange Calcaire 1 (20%) présente la valeur L\* la plus faible (93.49).

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

### 2 .Le paramètre a\* (axe rouge-vert) :

- Chaque mélange présente une inclination vers le vert (valeurs a\* moins négatives) en comparaison à l'original (-1,44).
- Il semblerait que vous n'avez pas fourni de texte. Votre formation se base sur des données jusqu'à octobre 2023. On remarque plus cette transformation dans le mélange Calcaire 1 (20%) où  $a^* = -0.93$ .
- On remarque plus clairement ce changement dans le mélange Calcaire 1 (20%) où  $a^* = -0.93$ . Le mélange Calcaire 2 conserve des valeurs plus proches de l'original, surtout aux taux de 5% et 10%. Le mélange Calcaire 2 conserve des valeurs plus proches de l'original, surtout aux taux de 5% et 10% .

### 3.Coefficient b\* (direction jaune-bleu) :

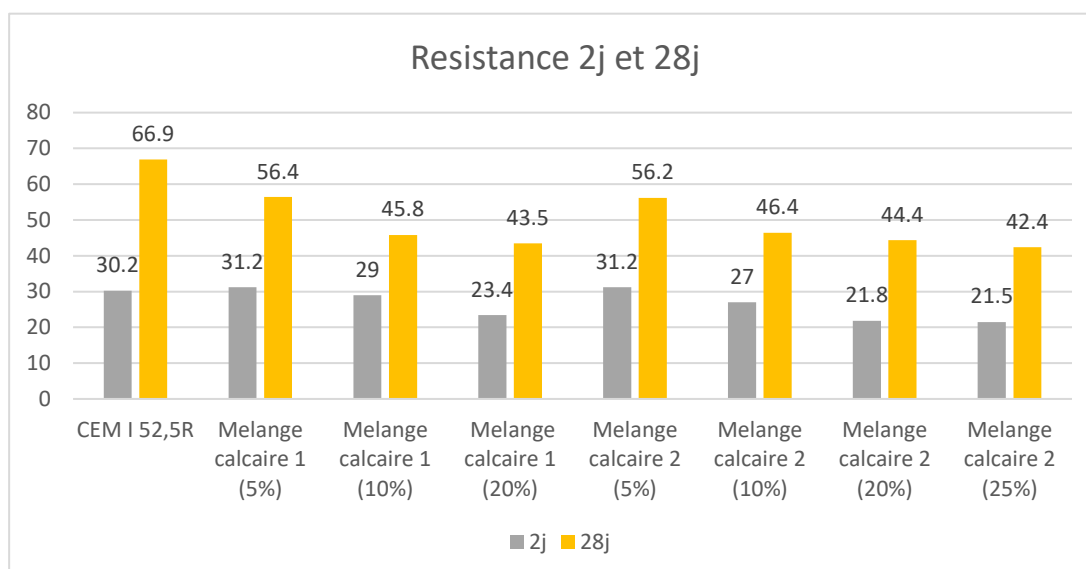
- Tous les mélanges affichent une hausse du b\* (tendance vers le jaune) à l'exception du mélange Calcaire 2 qui affiche une baisse de b\*.
- Le calcaire 1 révèle une croissance graduelle de b\* en fonction de l'accroissement du ratio.
- L'association Calcaire 2 révèle une baisse de b\* à mesure que le ratio s'accroît, spécialement à 25% ( 4,42 comparé à 4,96 pour l'original ).

#### III.3.2.3 Résistance

En suivant le mode opératoire du laboratoire physique , nous présentons les résultats de la résistance à la compression de nos échantillons pour 2j et 28j dans le tableau III.15 et figure III.6 suivante :

**Tableau III.15 : Résultats de résistance**

Matières	Compression	
	2j	28j
CEM I 52,5R	30.2	66.9
Mélange calcaire 1 (5%)	31.2	56.4
Mélange calcaire 1 (10%)	29	45.8
Mélange calcaire 1 (20%)	23.4	43.5
Mélange calcaire 2 (5%)	31.2	56.2
Mélange calcaire 2 (10%)	27	46.4
Mélange calcaire 2 (20%)	21.8	44.4
Mélange calcaire 2 (25%)	21.5	42.4



**Figure III.6 :** Diagramme des résultats de résistance

### Discussion

#### 1. La performance initiale (après deux jours) :

- Les combinaisons de calcaire à 5 % ont démontré une performance légèrement supérieure au CEM I pur (31,2 contre 30,2 MPa).
- Plus la teneur en calcaire excède 5%, plus la résistance précoce se réduit de façon notable.
- Performance sur le long terme (28 jours) : Le CEM I pur a affiché la plus grande résistance à la compression (66,9 MPa).
- Avec l'augmentation du pourcentage de calcaire, tous les mélanges de calcaire ont exhibé une résistance nettement plus basse.
- La réduction de la résistance est proportionnelle à la quantité de calcaire ajoutée.

#### 2. Comparaison entre les deux sortes de mélanges à base de calcaire :

- Il n'y a pas de différence significative entre mélange calcaire 1 et 2 lorsqu'ils sont utilisés dans les mêmes proportions.
- Les divergences sont négligeables et pourraient se situer dans le cadre de l'erreur expérimentale.

#### 3. L'impact du taux de mélange :

- Un taux de 5% présente l'équilibre optimal entre une performance précoce et tardive.

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

---

- Des pourcentages plus grands (20-25%) conduisent à une réduction notable de la résistance finale.

### III.3.2.4 Conclusion

- L'efficacité des mélanges de calcaire pour stopper la réaction indésirable diminue à mesure que leur proportion augmente, car ils amplifient le PAF.
- Intégrer 5% de calcium pourrait optimiser la performance initiale sans affecter notablement la résistance finale.
- Une augmentation significative de la teneur en calcium (10 % ou plus) diminue grandement la robustesse finale.
- L'impact de la variété de calcaire : Il semble que le Calcaire 2 préserve mieux la blancheur par rapport au Calcaire 1, surtout à des ratios plus importants.
- Les combinaisons de calcium peuvent être bénéfiques dans les applications où une résistance initiale supérieure est requise, même si une résistance finale plus faible est tolérée.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

À travers ce travail, nous concluons que la qualité du ciment blanc est affectée par le pourcentage d'oxyde de fer présent dans le sable utilisé ainsi que par la qualité et le pourcentage de la pierre calcaire ajoutée au ciment.

Grâce aux expériences réalisées en laboratoire SPA BISKRIA CIMENT, nous avons obtenu les résultats suivants :

- En ce qui concerne l'impact des matières premières sur le ciment blanc Nous avons constaté qu'après avoir utilisé du sable de Khnaga dans la composition de la farine brute, nous avons obtenu 93,07 % de blancheur, tandis qu'avec du sable de Khobana, nous avons obtenu 93,62 %. Cela montre que le sable de Khobana donne une meilleure blancheur, ce qui indique que la teneur en oxyde de fer présente dans le sable a un impact significatif sur la blancheur du ciment produit.

En ce qui concerne l'effet de l'additif sur le ciment blanc :

- Nous avons conclu après l'ajout de deux types de calcaire, l'un avec des proportions (5%; 10%; 20%) et l'autre avec des proportions (5%; 10%; 20%; 25%).
- En ajoutant 5 % de calcaire 1 et 2 au ciment CEM I 52.R, cela a entraîné une diminution de la résistance (56,3 MPa) tout en maintenant une bonne blancheur pour la famille de ciment CEM I (93,82 %).
- En ce qui concerne l'ajout de calcaire 1 à des proportions de 10% avec un degré de blancheur de 93,77 et une résistance de 45,8 MPa, et 20% avec un degré de blancheur de 93,49 et une résistance de 43,5 MPa. Et l'ajout de calcaire 2 à des proportions de 10% avec un degré de blancheur de 93,9 et une résistance de 46,4 MPa, et 20% avec un degré de blancheur de 94,02 et une résistance de 44,4 MPa. Le calcaire 2 se distingue par sa résistance dans les deux proportions avec le passage au type de ciment CEM II A-L, et le calcaire 2 se distingue également par sa blancheur.
- Quant à l'ajout de 25 % de calcaire, il donne le meilleur résultat en termes de blancheur (94,13), avec une résistance moyenne (42,4) et une transition vers le type de ciment CEM II B-L 42.5 N.

En ce qui concerne la fabrication, il faut compter sur l'ajout de 5 % dans CEM I 52.5 R et de 10 % et 20 % dans CEM II A-L 42.5 N pour réduire la proportion de clinker utilisé dans le ciment et augmenter le taux de profit

### Résumé

دراستنا حول الأسمنت الأبيض تنقسم إلى جزئين :

#### الجزء الأول

الدراسة توضح تأثير المواد الخام على بياض الأسمنت من خلال تحديد نسبة أكسيد الحديد في الرمل باستخدام تحليل الطيف الضوئي الفلوري بالأشعة السينية (XRF) وجهاز قياس البياض. استخدام رمل خوبانة يعطي أفضل النتائج.

#### الجزء الثاني

دراسة تأثير نسب إضافة الحجر الجيري على بياض الأسمنت المنتج وتحديد المقاومة باستخدام آلة ضغط، حيث كانت أفضل النتائج التي تم الحصول عليها هي :

- إضافة 5% من الحجر الجيري إلى الكلنكر لصناعة CEM I 52.5 R بهدف تقليل استهلاك الكلنكر مع الحفاظ على بياض و مقاومة ممتازين .
  - إضافة 10% الى 20% من الحجر الجيري لإنتاج CEM II A-L 42.5 N تعطي احسن بياض و مقاومة جيدة و كذلك يقلل من استهلاك الكلنكر .
  - إضافة 25% من الحجر الجيري لإنتاج CEM II B-L 42.5 N يوفر بياضًا ممتاز وقوة اقل، مع تقليل استهلاك الكلنكر أيضًا.
- الكلمات المفتاحية :** أكسيد الحديد ( $Fe_2O_3$ ) , خليط الخام , الاسمنت , الإضافة , البياض , المقاومة .

Our study on white cement is divided into two parts :

#### The first part

The study examines the effect of raw materials on the whiteness of cement by determining the percentage of iron oxide in the sand using X-ray fluorescence (XRF) analysis and a whiteness measurement device.

The use of Khobana sand yields the best results .

#### The second part

Study of the effect of limestone addition proportions on the whiteness of the produced cement and the determination of strength using a compression machine, where the best results obtained are :

## Résumé

---

- Adding 5% limestone to the clinker to produce CEM I 52.5 R with the aim of reducing clinker consumption while maintaining excellent whiteness and resistance.
- Adding 10% to 20% of limestone to produce CEM II A-L 42.5 N provides better whiteness and good resistance, and also reduces clinker consumption.
- Addition of 25% limestone to produce CEM II B-L 42.5 N provides excellent whiteness and lower strength, while also reducing clinker consumption.

**Keywords :** Iron oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), raw flour, cement, addition, whiteness, resistance

Notre étude sur le ciment blanc se divise en deux parties :

### **La première partie**

L'étude examine l'effet des matières premières sur la blancheur du ciment en déterminant le pourcentage d'oxyde de fer dans le sable à l'aide de l'analyse par La spectrométrie de fluorescence X (XRF) et d'un appareil de mesure de la blancheur. L'utilisation de sable de Khobana donne les meilleurs résultats.

### **La deuxième partie**

Étude de l'effet des proportions d'ajout de calcaire sur la blancheur du ciment produit et la détermination de la résistance à l'aide d'une machine de compression, où les meilleurs résultats obtenus sont :

- Ajout de 5 % de calcaire au clinker pour la fabrication de CEM I 52.5 R afin de réduire la consommation de clinker tout en maintenant une excellente blancheur et résistance .
- Ajouter 10% à 20 % de calcaire pour produire CEM II A-L 42.5 N offre une meilleure blancheur et une résistance accrue, tout en réduisant également la consommation de clinker.
- L'ajout de 25 % de calcaire pour produire le CEM II B-L 42,5 N permet d'obtenir une excellente blancheur et une bonne résistance , tout en réduisant la consommation de clinker.

**Mots clés :** L'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) , farine cru , ciment , l'ajoute , la blancheur , résistance.

# Références

## Références

---

- [1] : Documents de S.P.A BISKRIA CIMENT .
- [2] : Disponible en ligne sur le site : <https://www.biskriaciment.com/> consulté le (12/2/2025) .
- [3] : AGLI LAHCEN « Calcule RAW MIX DESIGN pour la fabrication d'un ciment blanc 52,5 N » mémoire de master Université de Biskra ,2022.
- [4] : Disponible en ligne sur le site : <https://www.aalborgportland.fr/company-history/> consulté le (16/2/2025) .
- [5] : H. MEBARKI « Etude comparative des clinkers de l'ouest Algérien : Analyse Physicochimique et Applications », mémoire de master, université de Tlemcen, Algérie (2013) .
- [6] : RANDA HAMIA « Calculer de Bilan aéraulique et énergétique pour une ligne de production de 500KT de clinker » mémoire de master Université de Biskra ,2023.
- [7] : Disponible en ligne sur le site : <http://charef.canalblog.com/archives/2006/12/12/3412851.html> consulté le (2025/2/16).
- [8] : Disponible en ligne sur le site : <https://optolov.ru/fr/drugie-raboty-v-vannojj/kak-zameshat-belyi-cementcho-takoe-belyi-cement-osnovnye.html> consulté le (10/2/2025) .
- [9] : Disponible en ligne sur le site : <https://www.febelcem.be/fr/ciment-applications/les-differents-ciments/> consulté le (2025/2/17) .
- [10] : NF EN 197-1 nouvelle norme , 2012.
- [11] : EN 197-1 , AFNOR , avril 2012 .
- [12] : Disponible en ligne sur le site : <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/le-ciment-blanc-caracteristiques-utilisations-prix/> consulté le (2025/2/16)
- [13] : MILOUDI NIHEL « Etude sur l'amélioration de la qualité des ajouts destinés pour le ciment blanc » mémoire de master Université de Biskra ,2024.
- [14] : FILALI CHAHINEZ « La production du ciment spécifique », memoire de master, université de Biskra, 2023.

## Références

---

- [15] : Disponible en ligne sur le site : <https://boutique.holst-porzellan.fr/connaissance-des-produits/matieres-premieres/kaolin/> consulté le (2025/2/17)
- [16] : YOUGHOURTA AITYAHIA « l'effet de l'ajout calcaire sur le comportement chimique et physique du ciment », mémoire de licence, université Akli Mohand Oulhadj-Bouira, Alger ,2022.
- [17] : Disponible en ligne sur le site : <https://patents.google.com/patent/WO2003043948A1/fr> consulté le(2025/2/18)
- [18] : Disponible en ligne sur le site : <https://www.infociments.fr/glossaire/gypse> consulté le (2025/2/18)
- [19] : REDADAA FAYZA et MAHAMDI SAMIRA « Caractérisation physiques et de durabilité des ciments composés à base de brique », mémoire de master, université 08 mai1945-Guelma, Alger 2018.
- [20] : TAYLOR H.F.W. Cement Chemistry. 2nd ed., London, Thomas Telford, 1997
- [21] : BENGUEDOUAR AFEFF, « Synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydrates (C.S.H) hybrides » . mémoire de magister en Chimie, Université frères mentouri Constantine 1 2012/2013 .
- [22] : BOGUE R. H., La chimie du ciment portland. Paris : Editions Eyrolles, 1952.
- [23] : HARZELLI AMIRA « Etude sur les leviers et les paramètres qualité de production pour l'augmentation de ciment sur clinker C/K » mémoire de master Université de Biskra ,2023.
- [24] : ZERIGUET SELMA « Impact de l'oxyde de fer et les oxydes Mineurs sur la blancheur de produit fini de ciment blanc » mémoire de master Université de Biskra ,2024 .
- [25] : Disponible en ligne sur le site : <https://www.cmaindia.org/material-quality-control-cement> consulté le (13/2/2025) .
- [26] : EN 196-1, AFNOR , SEPTEMBRE 2016.