



Université Mohamed Khider 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. :

Présenté et soutenu par :

AGLI Lahcen

Le : lundi 27 juin 2022

Calcule RAW MIX DESIGN pour la fabrication d'un ciment blanc 52,5 N

Jury :

M.	LAIADHI Djemoui	MCB	Université de Biskra	Président
M.	MERZOUGUI Abdelkrim	Pr	Université de Biskra	Encadreur
Mme.	REHALI Hanane	MCA	Université de Biskra	Examineur
M.	BAITECHE Ahmed		SPA BISKRIA CIMENT	Invité

Remerciements

Tout d'abord je remercie ALLAH tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens à fin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

*Je tiens à remercier, mon directeur de mémoire **MERZOUGUI Abdelkrim**, professeur de génie chimique à l'université de Biskra, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je remercie ensuite l'ensemble des membres du jury, qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir étudier avec attention mon travail : **Mme REHALI Hanane** pour avoir accepté d'examiner cette thèse et **Mr LAIADHI Djemoui** pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.*

*Mes remerciements s'adressent également aux membres de l'usine de BISKRIA CIMENT qui m'ont beaucoup aidé et qui m'ont hébergé pendant mon stage chez eux et spécialement **Mr BAITECHE Ahmed** pour leur aide précieuse.*

A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation et au bon déroulement de ce travail.

Dédicace

À ma chère maman

qui n'a jamais cessé de formuler des prières à mon égard, qui m'a soutenue, épaulée et encouragée durant ces années d'études, qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon père, mes sœurs et mes nièces et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments lors de la réalisation de ce travail à ceux qui m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

À ma famille à mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité

À tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès

À tous ceux que j'aime.

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude du calcul de conception du mélange brut pour la fabrication d'un ciment blanc à haute résistance, avec des matières premières locales et importées.

À partir des résultats expérimentaux, on peut conclure qu'il est nécessaire d'utiliser des matières premières brutes de haute pureté pour obtenir un bon produit, il est nécessaire de réduire le pourcentage d'éléments chromophores et d'éviter leur oxydation pour obtenir la meilleure couleur blanche de ciment.

Grâce aux succès des expériences, la fiabilité des données expérimentales obtenues a été vérifiée avec succès par l'application de calcul RAW MIX DESIGN.

Mots clés : Ciment, ciment portland, ciment blanc, farine crue, conception de mélange cru, RAW MIX DESIGN, kaolin.

Abstract

The objective of this work is the study of the calculation RAW MIX DESIGN for the manufacture of a high-strength white cement, with local and imported raw materials.

From the experimental results it can be concluded that it is necessary to use raw materials of high purity to obtain a good product, it is necessary to reduce the percentage of chromophores elements and to avoid their oxidation to obtain the best white cement color.

Thanks to the success of the experiments, the reliability of the experimental data obtained was successfully verified by the RAW MIX DESIGN calculation application.

Keywords: Cement, Portland cement, white cement, raw meal, RAW MIX DESIGN, kaolin.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة حساب تصميم المزيغ الخام لإنتاج إسمنت أبيض عالي المقاومة، بواسطة مواد أولية محلية وأخرى مستوردة.

من خلال النتائج التجريبية، يمكن استنتاج أنه وجوب استعمال مواد أولية عالية النقاوة للحصول على منتج جيد، ومن الضروري نقص نسبة كمية العناصر الكروموفور (الحاملة للألوان) وتجنب أكسدتها للحصول على بياض أحسن للأسمنت.

بفضل نجاح التجارب تم التحقق من موثوقية البيانات التجريبية التي تم الحصول عليها من خلال تطبيق حساب تصميم المزيغ الخام.

الكلمات المفتاحية: الاسمنت، الاسمنت الأبيض، المزيغ الخام، تصميم حساب المزيغ الخام، صلصال أبيض.

Sommaire

Résumé	I
Sommaire.....	III
Liste d'abréviation	VII
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux.....	XI
Chapitre I : Présentation de SPA BISKRIA CIMENT	
I.1 Introduction	4
I.2 Présentation de SPA Biskria Ciment	4
I.2.1 La définition du Biskria Ciment.....	4
I.2.2 Siège social	4
I.2.3 Cadre juridique	4
I.2.4 Les services	5
I.2.5 Les produits	5
I.3 Processus de fabrication de ciment	6
I.3.1 Zone d'extraction	7
a. Extraction matière premier	7
b. Concassage	7
c. Stockage de matière première.....	8
I.3.2 Zone cru	8
a. Pré-homogénéisation.....	8
b. Doseur	8
c. Broyage du cru.....	8
d. Homogénéisation	9
I.3.3 Zone de cuisson	10
a. Préchauffeur ou cyclones	10
b. Four rotatif.....	11
c. Refroidisseur.....	12
d. Stockage du clinker	13
I.3.4 Zone de ciment	13
a. Broyage du clinker	13

b. Stockage	14
I.3.5 Zone d'expédition.....	14
I.4 Principe de laboratoire	15
I.4.1 Méthodes physico-mécaniques	15
I.4.1.1 Détermination du pourcentage des refus	15
I.4.1.2 Taux de calcaire	16
I.4.1.3 Mesure de la surface spécifique par la méthode Blaine (SSB).....	16
I.4.1.4 Essais d'expansion	17
I.4.1.5 Essais mécaniques (flexion - compression).....	17
I.4.2 Méthodes chimique	18
I.4.2.1 Analyse par fluorescence X.....	18
I.4.2.2 La perte au feu	18
I.4.2.3 Détermination de l'humidité.....	19
I.4.2.4 Détermination de la chaux libre (CaO _L).....	19
Chapitre II : Généralité sur le ciment	
II.1.1 Aperçu historique	21
II.1.2 Définition du ciment.....	21
II.1.3 Les différents ciments	22
a. Le ciment Portland.....	22
b. Le ciment Portland composé	22
c. Le ciment métallurgique.....	22
d. Les ciments composés.....	22
e. Les ciments spéciaux	22
II.1.4 Exemple de dénomination d'un ciment.....	24
II.2 Principaux constituants de ciment	24
II.2.1 Matières premières et ajouts correctifs.....	24
II.2.2 Matériaux de correction.....	25
II.2.3 Matières secondaires	26
II.2.4 Produit semi-fini.....	27
II.3 Principaux Constituants du Clinker	28
Chapitre III : Aspect physico-chimique et projet de la ligne productive du ciment blanc	
III.1 Définition du ciment blanc	31
III.2 Fabrication du ciment blanc.....	31

III.3 Choix des matières premières	32
III.4 Préparation et traitement du mélange cru	33
III.5 Cuisson et clinkerisation.....	33
III.6 Blanchiment et refroidissement.....	34
III.7 Broyage ou mouture	34
III.8 Maitrise de la couleur	35
III.9 Performances et caractéristiques normalisées.....	36
a. Types, classes et domaines d'application	36
b. Propriétés physiques et mécaniques	36
1. Temps de prise en min	37
2. Teinte blanche.....	37
c. Propriétés chimiques	38
III.10 Projet la ligne de production ciment blanc	38
III.10.1 Zone d'extraction	39
a. Extraction matière	39
b. Concassage	39
c. Criblage	39
d. Stockage de matière première.....	39
III.10.2 Zone cru.....	40
a. Pré-homogénéisation.....	40
b. Broyage de sable	40
c. Doseur	40
d. Broyage cru et le séchage.....	40
e. Homogénéisation	41
III.10.3 Zone de cuisson	41
a. Préchauffage	41
b. Four rotatif.....	41
c. Le refroidissement	41
d. Silo stockage de clinker.....	42
III.10.4 Zone de ciment.....	42
a. Broyage ciment	42
b. Silo ciment.....	42
III.10.5 Zone d'expédition	42

Chapitre IV : Partie expérimentale

IV.1 Méthode d'analyse	44
IV.1.1 Détermination de la perte au feu (loss on ignition)	44
IV.1.2 Détermination de chlorure.....	45
IV.1.3 Détermination de l'humidité	47
IV.1.4 Préparation des pastilles pour XRF	48
IV.1.5 Détermination de blancheur	51
IV.2 Résultat.....	52
IV.2.1 Résultat des analyses de calcaire	52
IV.2.2 Résultat des analyses de sable	53
IV.2.3 Résultat des analyses de kaolin	55
IV.2.4 Résultat d'expérience 1	57
IV.2.5 Résultat d'expérience 2	61
IV.2.6 Résultat d'expérience 3	64
IV.2.7 Résultat d'expérience 4	66
IV.2.8 Résultat d'expérience 5	70
IV.3 Discussion.....	74
Conclusion générale	75
Références Bibliographiques	76

Liste d'abréviation

SPA : Société Par Action.

NA : Norme Algérien.

EN : Norme Européen.

NF : Norme France.

NBN : Norme Belge.

KK : Clinker.

SiO₂ : Le dioxyde de silicium.

Al₂O₃ : L'alumine, ou oxyde d'aluminium.

Fe₂O₃ : L'oxyde de fer.

CaO : L'oxyde de calcium (la chaux).

CaO_L : La chaux libre.

MgO : L'oxyde de magnésium.

SO₃ : Le trioxyde de soufre.

K₂O : L'oxyde de potassium.

Na₂O : L'oxyde de sodium.

Cl : Le chlore.

HUD : Humidité.

LSF : Facteur de saturation en chaux.

SM : Module silicique.

AM : Module alumino-ferrique.

C3S : Silicate tricalcique dénommé (alite), sa formule chimique est 3CaO, SiO₂.

C2S : Silicate bi-calcique ou (bélite), sa formule chimique est 2CaO, SiO₂.

C3A : Aluminates tricalciques ou (célite), sa formule chimique est 3CaO, Al₂O₃.

C4AF : Ferro-aluminates tétra-calcique, de formule chimique est 4CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃.

PAF : Perte au feu.

SSB : Surface spécifique Blaine.

XRF : La spectrométrie de Fluorescence X (SFX ou FX) ou en anglais X Ray
Fluorescence (XRF).

D65 : Daylight65.

Liste des figures

Figure 1 : Logo SPA BISKRIA CIMENT.....	4
Figure 2 : Carrière de calcaire.....	7
Figure 3 : Les polars de stockage.....	8
Figure 4 : Broyeur cru.	9
Figure 5 : Silo homogène de farine crue.	10
Figure 6 : Tour préchauffage.	11
Figure 7 : Four rotatif de ciment.	11
Figure 8 : Refroidisseur.	13
Figure 9 : Silo clinker.....	13
Figure 10 : Broyeur ciment.....	14
Figure 11 : Expédition.	15
Figure 12 : Principe de fonctionnement de Blaine.....	16
Figure 13 : Moule cubique et prismatique.....	18
Figure 14 : Appareil de flexion et compression.	18
Figure 15 : Exemple du développement de la résistance des composés purs [3].	29
Figure 16 : Capsule en platine sur une balance.....	44
Figure 17 : Four à moufle.	44
Figure 18 : Titrateur potentiomètre.	46
Figure 19 : Broyeur à disque	48
Figure 20 : Disque de broyage.....	48
Figure 21 : Presse hydraulique.....	50
Figure 22 : Spectrophotomètre CM-5.	51
Figure 23 : Diagramme à bande résultat d'analyse chimique des calcaires proposé.....	53
Figure 24 : Diagramme à bande résultat d'analyse chimique de sable.	54
Figure 25 : Diagramme à bande résultat analyse chimique des kaolins proposé.....	56
Figure 26 : Calcaire.	57

Figure 27 : Sable.	57
Figure 28 : Kaolin	57
.....	57
Figure 29 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 1.....	57
Figure 30 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la première expérience.	58
Figure 31 : Une matière dans un creuse de platine	58
Figure 32 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la première expérience.	59
Figure 33 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 2.....	61
Figure 34 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la deuxième expérience.	62
Figure 35 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la deuxième expérience.	63
Figure 36 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 3.....	64
Figure 37 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la troisième expérience.	65
Figure 38 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la troisième expérience	66
Figure 39 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 4.....	67
Figure 40 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la quatrième expérience.....	68
Figure 41 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la quatrième expérience.	69
Figure 42 : RAW MIX DESIGN DEVLOPED expérience 5.....	70
Figure 43 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la cinquième expérience.	71
Figure 44 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la cinquième expérience.	72

Figure 45 : Diagramme à bande de comparaison des résultats d'analyse chimique de l'oxyde de fer pour les expériences. 73

Figure 46 : Diagramme à bande de comparaison des résultats d'analyse chimique constituants de clinker pour les expériences..... 73

Figure 47 : Diagramme à bande de comparaison des résultats d'analyse de blancheur pour les expériences. 74

Liste des tableaux

Tableau 1 : Types de ciment produit par BISKRIA CIMENT.....	5
Tableau 2 : Caractéristiques des 27 produits de la famille des ciments courants.....	23
Tableau 3 : Composition chimique élémentaire de calcaire de SPA BISKRIA CIMENT. ...	24
Tableau 4 : Composition chimique élémentaire d'argile de SPA BISKRIA CIMENT.....	25
Tableau 5 : Composition chimique élémentaire de minerai de fer de SPA BISKRIA CIMENT.....	26
Tableau 6 : Composition chimique élémentaire de sable de SPA BISKRIA CIMENT.	26
Tableau 7 : Composition chimique élémentaire de gypse de SPA BISKRIA CIMENT.	26
Tableau 8 : Composition minéralogique du clinker [6].	27
Tableau 9 : Composition chimique élémentaire de Clinker de SPA BISKRIA CIMENT. ...	29
Tableau 10 : Constituants du clinker de SPA BISKRIA CIMENT.....	29
Tableau 11 : Composition Chimique du Clinker Blanc et Gris.....	31
Tableau 12 : Types, classes et domaines d'application de ciment blanc	36
Tableau 13 : Résistances à la compression en MPa [26].	37
Tableau 14 : Temps de pris en min	37
Tableau 15 : Teinte Blanche de ciment blanc.....	37
Tableau 16 : Propriétés chimiques du ciment portland blanc.....	38
Tableau 17 : Définition la masse et le temps de calcination de l'échantillon.	45
Tableau 18 : Les températures et les durées de séjour dans le séchoir ainsi que les quantités de matière pour chaque échantillon.	47
Tableau 19 : Définition la masse et le temps de broyage et mixage de l'échantillon.	49
Tableau 20 : Les conditions opératoires sur les presses hydrauliques pour la préparation des pastilles.....	50
Tableau 21 : Résultat des analyses de calcaire.	52
Tableau 22 : Résultat des analyses de sable.	53
Tableau 23 : Résultat des analyses de kaolin.	55

Tableau 24 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la première expérience.	57
Tableau 25 : Résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la première expérience.	59
Tableau 26 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.	60
Tableau 27 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la deuxième expérience.	61
Tableau 28 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la deuxième expérience.	62
Tableau 29 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.	63
Tableau 30 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la troisième expérience.	64
Tableau 31 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la troisième expérience.	65
Tableau 32 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.	66
Tableau 33 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la quatrième expérience.	67
Tableau 34 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la quatrième expérience.	68
Tableau 35 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.	69
Tableau 36 : Diagramme à bande : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la cinquième expérience.	70
Tableau 37 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la cinquième expérience.	71
Tableau 38 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.	72

Introduction générale

Presque tous les adultes savent qu'aucun processus de construction ne peut se passer de l'utilisation de ciment. Lorsqu'on parle de ce matériau, tout le monde imagine une substance poudreuse grise à partir de laquelle le mélange de béton est fabriqué. Néanmoins, un nouveau produit est apparu sur le marché c'est le ciment blanc, qui présente de nombreuses caractéristiques et avantages destinatifs [1].

Le ciment blanc ne présente que 2% de la gamme totale des matériaux proposés par les fabricants, cependant il peut être utilisé pour créer des chefs-d'œuvre architecturaux incroyablement beaux. Il a d'excellentes performances et qualités esthétiques et il est utilisé pour la production d'éléments décoratifs tels que la pierre, la brique, les éléments en stuc. De plus, c'est l'un des principaux composants des mélanges adhésifs et des bétons colorés [1].

Nous avons choisi l'étude du ciment blanc parce que d'un côté il n'y a pas assez d'entreprise qui le fabrique en Algérie, d'un autre côté ce sujet était une proposition de recherche par l'usine de BISKRIA CIMENT.

Pour la production de ciment blanc on a trouvé un problème dans la méthode de préparation de la farine crue qu'on l'obtient à partir d'un mélange des matières premières pour cela on est besoin de calcule RAW MIX DESIGN.

Notre étude sera donc répartie en quatre chapitres :

Le premier chapitre contient une présentation de l'entreprise de cimenterie « SPA BISKRIA CIMENT », les types de ciments fabriqués dans l'usine, leurs chaînes de fabrication et les principales analyses dans son laboratoire.

Le deuxième chapitre présente une généralité sur le ciment (composition et classification) et une présentation détaillée sur le clinker qui est un composant principal dans les matériaux cimentaire.

Le troisième chapitre dévoile une recherche bibliographique sur l'aspect physico-chimique de ciment blanc qui recense le maximum de connaissances pour établir un aperçu sur le ciment et présente le projet de la ligne productive de « BISKRIA CIMENT ».

Le quatrième chapitre sera consacré sur l'étude expérimentale, où les essais expérimentaux réalisés au cours de notre travail de recherche sont présentés avec leurs

modes opératoires et trouve une solution de programmation pour calculer le calcul RAW MIX DESIGN et obtenir un ciment blanc.

Enfin, une conclusion générale qui résume l'ensemble des résultats obtenus.

Chapitre I
Présentation de SPA
BISKRIA CIMENT

I.1 Introduction

Le ciment est le plus important matériau de construction de notre temps. C'est un matériau de construction durable, versatile et totalement recyclable. Dans ce chapitre on va présenter La société BISKRIA CIMENT, également décrire et expliquent les processus de fabrication de ciment [2].

I.2 Présentation de SPA BISKRIA CIMENT

I.2.1 Définition du BISKRIA CIMENT

La société des ciments "BISKRIA CIMENT" est une Société Par Action (S.P.A), privée de droit Algérien qui a été créé en Janvier 2009. La vocation principale de la société est la production et la commercialisation des ciments. Elle est composée d'une seule entité située au siège de la société. Ses actionnaires sont tous des opérateurs économiques privés Algériens [3].

I.2.2 Siège social

Adresse : DJAR BELAHRACHE, BRANIS, Wilaya de Biskra 07000, ALGERIE

Tél : +213 (0) 33 62 74 62

Fax : +312 (0) 33 62 73 92

E-mail : biskria.spa@gmail.com Site web : biskriaciment-dz.com

I.2.3 Le cadre juridique

Raison sociale : BISKRIA CIMENT.

Forme juridique : société par actions.

Date de création : Janvier 2009.

Activité : production et commercialisation du ciment.

Capital social : 4284.000.000 DA.



Figure 1 : Logo SPA BISKRIA CIMENT

[3].

I.2.4 Les services


La S.P.A BISKRIA CIMENT procède trois secteurs :

- Secteur administratif : contient de services administratifs pour gérer la société.
- Secteur industriel : contient les trois lignes de production d'une capacité de 05 million T/an.
- Secteur commerciale : contient le service de vente et d'expédition.

I.2.5 Les produits

La S.P.A BISKRIA CIMENT produit des ciments de qualité qui sont systématiquement contrôlés par le laboratoire de la cimenterie et périodiquement par le centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction CETIM (selon le référentiel ISO 17025). Ces produits sont :

Tableau 1 : Types de ciment produit par BISKRIA CIMENT [3].

Type de ciment	La photo de produit
<p>Ciment portland CEM I 42.5 R</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013). • Composition : 95% à 100% de clinker (KK). • Complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, tel que pouzzolane (Z), calcaire (L), etc. Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise. 	

<p>Ciment résistant aux sulfates (CRS) CEM I 42, 5 N SR3 L-H</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013). • Composition : Au moins 95% de clinker (KK). <p>Ajouts : la proportion de constitutions secondaires est limitée à 5%.</p>	
<p>Ciment Portland compose CEM II/A-L 42, 5 R</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013). • Composition 80% à 94% de clinker (KK). • Complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, tel que pouzzolane (Z), calcaire (L), etc. 	
<p>Ciment portland compose CEM II/B- L 32, 5 R</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013). • Composition 65% à 79% de clinker (KK). • Complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, tel que pouzzolane (Z), calcaire (L), etc 	

I.3 Processus de fabrication de ciment

Le cru est réalisé à partir d'un mélange calcaire – argile sous-titré et corrigé par du sable et du minerai de fer [4].

La fabrication du ciment se distingue en cinq zones principales :

- Zone d'Extraction.

- Zone Cru.
- Zone Cuisson.
- Zone Ciment.
- Zone d'Expédition.

I.3.1 Zone d'extraction

a. Extraction matière premier

Les matières premières sont extraites au niveau de carrière sous forme des blocs des dimensions très variées. L'extraction consiste à extraite du calcaire à partir de carrière djebel M'hor à ciel ouvert situé et l'argile à partir de djebel Etaref, situé à 15 Km.

Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosive ou à la pelle mécanique, ou par ripage au bulldozer [5].

Le calcaire et l'argile sont repris par des dumpers vers un espace de stockage.

L'argile et minerai de fer sont achetés et transportés par des camions vers un espace de stockage.



Figure 2 : Carrière de calcaire.

b. Concassage

Le concasseur a pour un rôle de ramener les matières premières à des dimensions admissibles pour le broyeur.

Les matières premières sont fournies par les carrières en gros morceaux et doivent être concassés à la granulométrie désirée (0 – 25 mm) [5].

c. Stockage de matière première

Après l'opération de concassage de ces constituants de base on obtient une granulométrie de 0 à 25 mm, les constituant sont acheminés vers le stock primaire (hall de stockage) par des tapis roulant couvert, pour pré-homogénéisation : un hall avec un stockage circulaire pour le calcaire (deux polars blanc et rouge de capacité 40 000t chacun) et l'argile (polar vert de capacité 40 000t).



Figure 3 : Les polars de stockage.

1.3.2 Zone cru

a. Pré-homogénéisation

La matière première est étendue en couches horizontales successives, qui finissent par former un tas, dont la composition globale est celle désirée. Les couches sont ensuite reprises verticalement, ce qui permet de prélever en permanence une matière de composition identique.

La matière est reprise dans les tas de pré-homogénéisation par des roues pelles, la pré-homogénéisation de la matière première se fait à l'aide d'un bras râteau, tournant autour d'un axe dans un hall [5].

b. Doseur

Le dosage des différentes composantes est systématisé de manière automatique à l'entrée du broyeur.

c. Broyage du cru

Le broyage et le séchage du cru sont réalisés à un débit de 500t/h dans un broyeur à meules verticaux à sortie centrale, avec un compartiment de séchage et deux compartiments de broyage.

Le séchage est assuré par les gaz de four à 320 – 330 °C en période normale pour une humidité de 5,5.

Pour favoriser les réactions chimiques ultérieures, les matières premières doivent être séchées et broyées très finement 90µm dans des broyeurs à meules verticaux. Ce dernier, plus récents, est plus économes en énergie et permettent un séchage plus efficace [5].



Figure 4 : Broyeur cru.

d. Homogénéisation

La poudre obtenue à la sortie du broyeur est appelée farine. Cette farine est envoyée dans un silo de stockage appelé silo d'homogénéisation, d'une capacité unitaire de 20 000 t.

La méthode généralement utilisée pour l'homogénéisation est envoi de l'air en bas de silos permettant de fluidifier la farine [6].



Figure 5 : Silo homogène de farine crue.

1.3.3 Zone de cuisson

a. Préchauffeur ou cyclones

L'atelier comporte, en parallèle, deux préchauffeurs à 5 étages qui alimentent le four rotatif. Lors de cette étape, le mélange est introduit dans la partie supérieure de la tour de préchauffage/pré calcination. A l'intérieur de la tour, cinq cyclones, sorte d'entonnoirs empilés les uns dans les autres, reçoivent tour à tour le cru, qui, en tombant en cascade, rencontre les gaz échappés du four. Le cru encore une fois brassé, commence donc à chauffer progressivement au fur et à mesure qu'il s'approche du four, évitant ainsi le choc thermique du passage de 20°C à 1400°C, le cru entame une procédure de décarbonatation. Pour cela, on ajoute un foyer supplémentaire dans le cyclone le plus inférieur, qui maintient les gaz à une température plus élevée, entre 800°C et 1000°C [7,8,9].

Cette technique est appelée "pré calcination", car le matériau arrive à l'entrée du four avec une température proche de celle de cuisson.



Figure 6 : Tour préchauffage.

b. Four rotatif

Il s'agit de la pièce maitresse de la cimenterie. Le four constitué par une virole cylindrique de 74m de longueur et de 5.2m de diamètre protégé par la brique réfractaire, incliné de trois pourcents par rapport à l'horizontale. La flamme, élément principale du four, est environ 2000°C, elle est issue de la combustion de gaz naturelle.

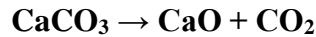
La matière arrive en amont du four. Cette zone permet de porter les matières premières jusqu'à environ 800-900 °C, achevant ainsi la décarbonations du calcaire. La matière progresse alors jusqu'à la zone de clinkérisation correspondant à une température d'environ 1450 °C à cette température les réactions entre la chaux et les oxydes SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 forment des silicates, aluminates et alumino-ferrites de calcium constituant le clinker.



Figure 7 : Four rotatif de ciment.

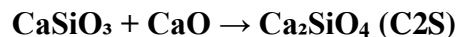
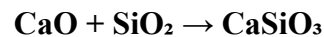
Les principales formations et réactions de la matière au cours de cuisson sont présentées par ces étapes suivantes:

Étape 1: Décarbonatation Le calcaire (CaCO_3) est décomposé en oxyde de calcium (CaO) plus gaz carbonique (CO_2). Ce dernier est évacué par la cheminée.

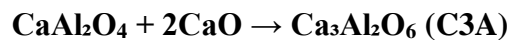
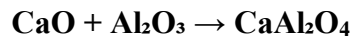


C'est une réaction fortement endothermique, à température environ 900 à 1000 °C. Pour 1 tonne (1000 kg) de CaCO_3 , on évacue par la cheminée 440 kg de CO_2 .

Étape 2 : Phase de transition Il y a la combinaison de CaO avec : Le silicium (Si) pour former du C2S (silicate bi calcique), cette réaction est légèrement exothermique.



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



Étape 3 : Phase de cuisson La température de la matière monte jusqu'à 1450 °C. Une partie de la matière fond pour donner naissance à la phase liquide (constituée de phase aluminates et ferrite), cette étape demande beaucoup d'énergie. En parallèle, il y a formation de C3S (silicate tricalcique) : à partir de 1300 °C, le C2S se transforme en C3S en réagissant avec une partie du CaO non combiné. La réaction est exothermique.



La cristallinité et la composition de ces phases influent sur leurs propriétés (couleur par exemple) et leur réactivité en présence d'eau [6].

c. Refroidisseur

Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température du clinker tombant du four à une température d'environ 1135°C jusqu'à 80-100°C. Il est équipé d'une batterie de ventilateurs fournissant l'air de refroidissement [6].



Figure 8 : Refroidisseur.

d. Stockage du clinker

Le clinker se présente sous la forme de granules de la grosseur d'une noisette. Il est évacué par tapis vers le silo à clinker où il sera stocké en attendant d'être broyé pour faire de ciment. La capacité de stockage pour chaque silo est 40 000 t [5].



Figure 9 : Silo clinker.

I.3.4 Zone de ciment

a. Broyage du clinker

Il est réalisé en continu dans des broyeurs alimentés à partir des stocks de clinker et des différents constituants et ajouts.

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granulats de clinker en poudre, d'autre part, de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler le phénomène de prise), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (pouzzolane, calcaire ...), ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés [9,10].

Ce type de Broyeur qui permet le broyage du clinker en ajoutant des ajouts s'appelle : « Broyeur ciment » [6].



Figure 10 : Broyeur ciment.

b. Stockage

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos (on a six silos) de capacité 20000t pour chaque un.

I.3.5 Zone d'expédition

Pour chaque silo de stockage qui alimentent par la suite les ateliers d'ensachage pour les l'expédition en sacs, ou les dispositifs de chargement et livraisons en VRAC. Donc les expéditions comprennent le stockage du ciment, son conditionnement (ensachage) en cas de livraison par sacs ou via un vrac et son chargement sur l'outil de transport (camion). C'est l'interface de l'usine avec le client [3].



Figure 11 : Expédition.

I.4 Principe de laboratoire

Dans une société cimentière, le four est le corps de l'usine, tandis que le laboratoire est le cerveau de l'usine, c'est pour cela que la mission du laboratoire au sein de SPA BISKRIA Ciment est très importante.

Le travail dans le laboratoire, consiste à contrôler la qualité de produit tout au long du processus de la fabrication depuis les matières premières jusqu'à le produit final. En emportant des échantillons à analyser pour connaître les compositions existantes et leurs pourcentages.

Les différentes analyses effectuées en laboratoire sont les suivantes :

- Contrôle de la matière crue chaque 2 heures.
- Contrôle de clinker chaque 2 heures.
- Contrôle de ciment chaque 2 heures.
- Contrôle d'alimentation de four 3 fois / jour.
- Contrôle de matière chaud 3 fois / jour.
- Contrôle de matières premières 1 fois / semaine.

I.4.1 Méthodes physico-mécaniques

Les appareils dans ces essais conformes aux normes algérienne et européenne.

I.4.1.1 Détermination du pourcentage des refus

La détermination du pourcentage des refus de matière se fait après le broyage, les refus déterminent et contrôlent l'état de fonctionnement du broyeur et le degré du broyage. On pèse

10 g de l'échantillon puis verser dans un tamis de 45 μm ou 90 μm pendant 2 minutes. Les particules restantes au-dessus du tamis représentent le pourcentage de refus [11].

Pour calculer le refus par la formule suivant :

$$\text{Refus} = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

m_1 : masse de matière.

m_2 : masse de matière après le tamisée.

I.4.1.2 Taux de calcaire

C'est un paramètre obtenir après calculer le refus de ciment.

I.4.1.3 Mesure de la surface spécifique par la méthode Blaine (SSB)

L'appareil utilisé pour déterminer la finesse de mouture de ciment est appelé « Perméable mètre de Blaine ». Cet appareil est schématisé sur (Figure 12). Il se compose pour l'essentiel d'une cellule dans laquelle est placé le ciment à tester et d'un manomètre constitué d'un tube en verre en forme de U rempli, jusqu'à son repère inférieur (N° 4) d'une huile légère. La cellule est équipée d'une grille en sa partie inférieure. Un piston sert à tasser le ciment dans la cellule sous un volume défini [12].

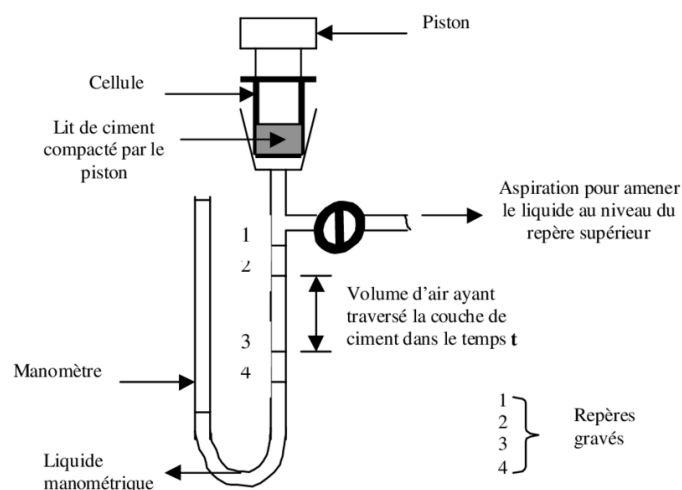


Figure 12 : Principe de fonctionnement de Blaine.

I.4.1.4 Essais d'expansion

Le ciment étudié est gâché à la consistance normale déterminée selon la norme EN196-3, puis introduit à l'intérieur de petits moules cylindrique (en métal élastique résistance la corrosion) et maintenu entre deux plaques de verre.

Ces moules fondus selon on génératrice son munis verticalement de deux aiguilles de 15 cm qui amplifient 10 fois la mesure de déformation ils sont immédiatement places en armoire ayant une humidité relative $\geq 90\%$ et une température 20 ± 1 pendant 24 ± 0.5 heures on mesure alors écartements initial.

L'essai expositions peut être effectué à froid au suivant la méthode normalisée, à chaud l'écartement final est alors mesuré après 3 heures d'ébullition [13].

I.4.1.5 Essais mécaniques (flexion - compression)

L'essai de rupture par flexion permet de déterminer la contrainte de traction par flexion. La rupture est effectuée à l'aide d'un appareil appelé presse, muni d'un dispositif qui casse les moules en détectant la force qu'ils ont supportés en Méga Pascal (MPa).

Pour les deux cas il faut d'abord préparer des moules de béton. Ces moules vont subir des périodes différentes (2 jours, 7 jrs et 28 jrs) dans une humidité constante de 95%.

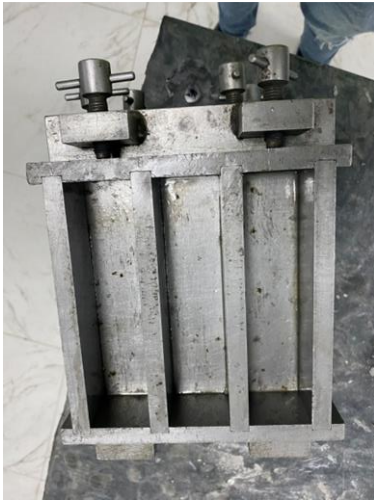


Figure 13 : Moule cubique et prismatique.



Figure 14 : Appareil de flexion et compression.

I.4.2 Méthodes chimique

Les méthodes analyse chimique utilisées au niveau de la cimenterie de BISKRIA CIMENT, sont effectués selon les normes algérienne et européenne :

I.4.2.1 Analyse par fluorescence X

La spectrométrie de fluorescence X (FX ou XRF pour X -ray fluorescence) est une technique d'analyse élémentaire qui permet de :

Qualifier les éléments chimiques présents dans un échantillon. Après cette étape nous connaissons les éléments constituant l'échantillon (ex. : Carbone, Fer, Chrome, Nickel,...).

Quantifier les éléments présents (ex. : Carbone 0.02 %, Fer 72,98 %, Chrome 18 % et Nickel 9 %).

Le principe de l'analyse est le suivant : nous excitions l'échantillon avec un rayonnement standard (sollicitation avec un tube à rayon X) et nous analysons le rayonnement propre réémis par l'échantillon.

I.4.2.2 La perte au feu

Cette méthode est utilisée pour la détermination de la perte au feu à 950°C. Elle peut être appliquée sur toutes les matières solides.

I.4.2.3 Détermination de l'humidité

La portée de cette instruction consiste en la détermination de l'humidité dans tous les matériaux et cristallisation de l'eau en gypse.

I.4.2.4 Détermination de la chaux libre (CaO_L)

Les matériaux utilisés dans cette analyse sont le ciment et clinker.

Chapitre II

Généralité sur le ciment

II.1.1 Aperçu historique

Pendant la préhistoire et au début de l'Antiquité, on utilisait l'argile comme liant pour maçonner les pierres. Lors de la construction des pyramides, les Égyptiens utilisèrent un plâtre obtenu par cuisson d'un gypse. Plus tard, les Grecs, puis les Romains, se servirent de la chaux produite par la cuisson du calcaire, dans leurs constructions. À partir du 1^{er} siècle av. J.-C., ils améliorèrent le liant en y ajoutant des pouzzolanes, particules très fines d'origine naturelle, comme les cendres volcaniques, ou artificielles, comme la poussière de briques broyées. Ils obtinrent ainsi le ciment romain. Ce liant fut utilisé sans grandes modifications jusqu'en 1756, date à laquelle l'Anglais Smeaton, lors de la construction du phare d'Eddystone, mélangea des chaux hydrauliques et des pouzzolanes. Il obtint ainsi le premier liant artificiel, avec lequel il prépara un mortier aussi dur que la pierre de Portland [14].

En 1817, l'ingénieur français Louis Vicat, suivi, au début des années 1820, par Treussart, ainsi que par Pavin de Lafarge, découvrit et définit les formules des ciments actuels, préparés alors dans des fours verticaux. Les fours rotatifs firent leur apparition vers 1880 et sont toujours utilisés. À l'heure actuelle, les cimentiers, qui sont généralement équipés de laboratoires de recherche, cherchent à mettre au point des ciments de plus en plus performants [14].

II.1.2 Définition du ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le ciment gâché et mélangé avec des granulats et de l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve une ouvrabilité pendant un temps suffisamment long et doit, après des périodes déterminées, atteindre des niveaux de résistance donnés et aussi présenter une stabilité de volume à longue échéance.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation de silicates de calcium, mais d'autres composés chimiques peuvent également intervenir dans le processus de durcissement, tels que, par exemple, les aluminates. La somme des proportions d'oxyde de calcium (CaO) et de dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse, dans les ciments.

Les ciments sont constitués de petits grains individuels de différentes matières, mais ils doivent être statistiquement homogènes en composition. Un haut degré de régularité dans toutes les propriétés du ciment est obtenu par un procédé continu de production en masse et, en particulier, par des procédés convenables de broyage et d'homogénéisation [15].

II.1.3 Les différents ciments

Les différents types de ciment - pour la plupart disponibles en plusieurs classes de résistance - correspondent à la multiplicité des contraintes d'utilisation [16].

a. Le ciment Portland

Ce ciment est composé d'un seul clinker. Parmi les ciments Portland, il faut signaler le ciment blanc qui permet de réaliser des produits et bétons esthétiques et décoratifs [16].

b. Le ciment Portland composé

Ce ciment est composé de clinker broyé avec des cendres volantes [16].

c. Le ciment métallurgique

Mélange de clinker broyé avec du laitier granulé, ce ciment est aussi appelé ciment de haut fourneau [16].

d. Les ciments composés

Ce type de ciment est composé de trois constituants, le clinker, les cendres volantes et le laitier de haut fourneau [16].

e. Les ciments spéciaux

Plusieurs types de ciments spéciaux offrant une meilleure résistance aux sulfates ou à teneur limitée en alcalis sont utilisés pour la fabrication de béton soumis à des conditions d'exploitation particulièrement dures.

Tous les ciments contiennent en outre du sulfate de calcium (gypse) [16].

Tableau 2 : Caractéristiques des 27 produits de la famille des ciments courants [17].

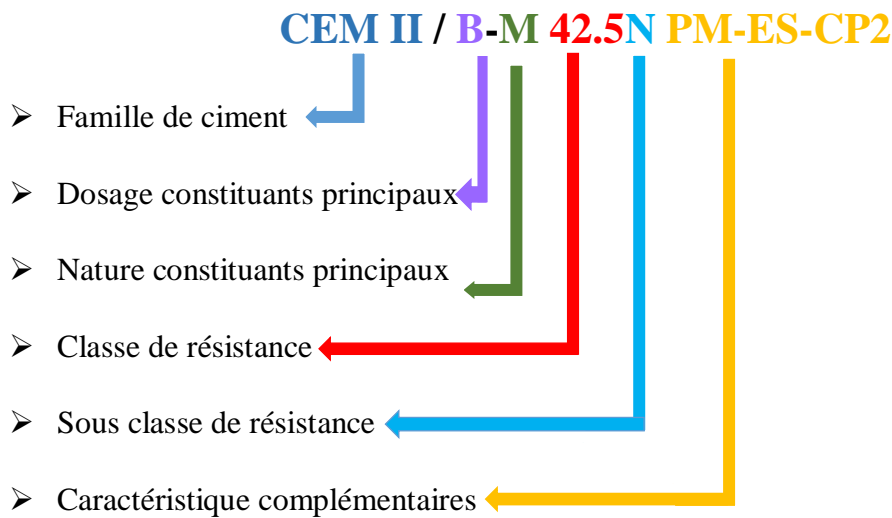
Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse) ^{a)}										Constituants secondaires	
			Constituants principaux											
			Clinker K	Laitier de haut fourneau S	Fumée de silice D ^{b)}	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné T	Calcaire			
Naturelle P	Naturelle calcinée Q	Siliceuse V				Calciqne W	L	LL						
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au calcaire	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5
	Ciment Portland composé ^{c)}	CEM II/A-M	80-94	← 6-20 →									0-5	
CEM II/B-M		65-79	← 21-35 →									0-5		
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Ciment pouzzolanique ^{c)}	CEM IV/A	65-89	—	← 11-35 →						—	—	—	0-5
		CEM IV/B	45-64	—	← 36-55 →						—	—	—	0-5
CEM V	Ciment composé ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	—	← 18-30 →			—	—	—	—	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	—	← 31-50 →			—	—	—	—	0-5	

a) Les valeurs indiquées se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

b) La proportion de fumées de silice est limitée à 10 %.

c) Dans le cas des ciments Portland composés CEM II/A-M et CEM II/B-M, des ciments pouzzolaniques CEM IV/A et CEM IV/B et des ciments composés CEM V/A et CEM V/B, les constituants principaux, autres que le clinker, doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir un exemple à l'Annexe A1)

II.1.4 Exemple de dénomination d'un ciment



II.2 Principaux constituants de ciment

II.2.1 Matières premières et ajouts correctifs

Les matières premières nécessaires à la fabrication du ciment sont le calcaire et l'argile à des proportions variées.

Calcaires : Les calcaires peuvent être de pureté et de duretés variables, ils proviennent du dépôt de CaCO_3 contenu dans les eaux de mer ou des lacs, dépôts provoqués par précipitation chimique ou réalisés par l'intermédiaire d'organismes vivants (mollusques, algues), il est aussi utilisé comme matière.

Certains de ces dépôts soumis à une pression et à une température suffisante, ont donné des calcaires cristallins [18].

Tableau 3 : Composition chimique élémentaire de calcaire de SPA BISKRIA CIMENT.

Composant	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	H_2O	Cl	PAF
Pourcentage	1.93	0.51	0.24	53.45	1.15	0.21	0.06	0.70	0.282	0.02	42.63

Argiles : Les argiles sont constituées essentiellement de silice, d'alumine et de fer et constituent par là même le complément indispensable du calcaire. Elles peuvent être classées de plusieurs manières. On distingue ainsi :

- les argiles résiduelles provenant de la décomposition sur place de roches existantes, du fait d'agents physico-chimiques.
- les argiles transportées et déposées sous l'effet des mers, des cours d'eau, des glaciers, du vent. Les argiles utilisées en cimenterie sont des argiles communes qui peuvent être constituées par des mélanges des groupes énumérés. De plus les argiles résiduelles contiennent souvent des fragments des roches qui leur ont donné naissance et qui risquent de les rendre impropres à la fabrication du ciment (silex, quartz, sous forme de nodules, de sable,....etc.).

Là encore les impuretés telles que magnésie, soufre, soude, potasse, doivent être en quantité très limitée.

D'une manière générale, le coût de la préparation des matières premières croît avec le nombre de constituants à mélange [18].

Tableau 4 : Composition chimique élémentaire d'argile de SPA BISKRIA CIMENT.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	Cl	PAF	AE
Pourcentage	45.63	15.08	5.46	8.75	2.78	2.9	1.9	0.43	12.02	0.337	13.26	1.68

II.2.2 Matériaux de correction

Minerai de fer (Fe₂O₃) : Le minerai de fer est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes, comme la bauxite. Les minerais de fer ont une teneur en fer variable selon le minéral ferrifère, sachant également que l'isomorphisme, presque toujours présent dans les minéraux naturels, réduit la teneur théorique [18].

Tableau 5 : Composition chimique élémentaire de minerai de fer de SPA BISKRIA CIMENT.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	Cl	PAF
Pourcentage	24.34	3.33	41.12	2.53	1.08	4.11	0.35	0.04	6.29	0.04	17.83

Sable : Le sable est fait de grains minéraux tous petits (pas plus de deux millimètres). C'est de la roche effritée par l'érosion [5].

Tableau 6 : Composition chimique élémentaire de sable de SPA BISKRIA CIMENT.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O	Fe ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	Cl	PAF
Pourcentage	94.09	1.87	1.44	0.01	0.002	0.04	0.77	0.2	0.43	0.036	0.82

II.2.3 Matières secondaires

Le gypse : Est une espèce minérale composée de sulfate dihydraté de calcium de formule CaSO₄·2H₂O. Le mot gypse désigne ainsi à la fois une espèce chimique et une roche. Le gypse est le minerai qui permet de fabriquer le plâtre. Il entre aussi dans la composition des ciments [18].

La composition chimique de gypse après broyage est montrée dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Composition chimique élémentaire de gypse de SPA BISKRIA CIMENT.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PAF
Pourcentage	4.92	1.04	0.43	34.24	0.45	40.38	0.16	0.03	14.39

La pouzzolane naturelle : La pouzzolane naturelle utilisée est d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamidi situé au sud de Béni-Saf. Le gisement est représenté par une montagne de forme conique appelée ElKalcoul situé à la côte absolue de 236 m. Cette

pouzzolane est essentiellement formée de scories et de pierres ponce bien stratifiées, de couleur variant du rouge au noir [18].

Laitiers de hauts fourneaux : Ce sont des sous-produits de fabrication de la fonte. Ils sont formés de constituants non ferreux, de fondants et de cendres de coke. Ils peuvent être utilisés comme granulats dans le béton. Leur composition en oxydes et leur structure vitreuse obtenue par trempe à l'eau leur confèrent des propriétés hydrauliques latentes, ce qui permet d'envisager leur utilisation en tant qu'addition cimentaires [18].

II.2.4 Produit semi-fini

Le Clinker est un produit renfermant. En majeure partie des calciums obtenus par cuisson jusqu'à fusion partielle, (Clinkerisation) d'un mélange dosé et homogénéisé de matières constituées principalement de chaux (CaO), et de silice (SiO₂) en proportion moindre, d'alumine (Al₂O₃) et d'oxyde de fer (Fe₂O₃).

La régularisation de la composition du Clinker est obtenue par le contrôle contenu des matières premières (calcaire, argile, bauxite, pyrite) dont on combine les proportions de matière à obtenir un mélange final composition convenable [19].

Les principaux constituants du Clinker portland se trouvent dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Composition minéralogique du clinker [6].

Formule complète	Formule abrégée	Appellation courante
3CaO.SiO ₂	C3S	Silicate tricalcique (Alite)
2CaO.SiO ₂	C2S	Silicate bicalcique (Bélite)
3CaO.AL ₂ O ₃	C3A	Aluminate tricalcique (Celite)
4CaO.AL ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF	Alumino-ferrite-tetracalcique (Felite)

Les proportions de ces quatre constituants sont déterminées à partir de la composition chimique de Clinker, aussi à partir de la vue microscopique au laboratoire [19].

II.3 Principaux Constituants du Clinker

a. **Silicate tricalcique** : Alite « C3S » : 60 à 65%.

- Le « C3S » se trouve en très grande proportion dans le « CPA ». C'est l'élément actif du ciment artificiel. Il confère au ciment les résistances initiales à 28 jours de durcissement. Au microscope, il apparaît dans le clinker sous forme de grains de mêmes dimensions, à couleur bien marquée [6,20].

b. **Silicate Bicalcique** : Bélite « C2S »

- Est responsable des résistances mécaniques à longue échéance.
- La Bélite dans les Clinkers, correspond en général à C2S- β et plus rarement à C2S- α et C2S- $\acute{\alpha}$.
- Un refroidissement lent donne des produits de décomposition.
- Dans les Clinkers industriels et en raison de trempe qui se produit dans les refroidisseurs, la transformation de C2S- β en C2S- γ a très peu de chance d'avoir lieu [6,20].

c. **Aluminate tricalcique** : Cérite : « C3A » : 1 à 13% :

- Il confère au ciment une très bonne résistance initiale à 1 ou 2 jours de durcissement. Mais par la suite, il influe très peu sur cette dernière.
- Il est sensible aux eaux de mer à cause des sulfates qu'il contient. Il forme avec les sulfoaluminates de chaux, les sels de Candlot, souvent très expansifs. La réaction d'hydratation est fortement exothermique [6,20].

d. **C4AF** :

- C4AF est une solution solide, dont les éléments extrêmes sont ses combinaisons C2F et C2A.
- Dans cette même série existe les solutions solides C6AF2, C4AF et C6A2F.
- On peut considérer que dans la forme C4AF, il y a eu remplacement des ions Fe^{3+} par des ions Al^{3+} [6,20].

e. Chaux Libre :

- Chaux libre, présente dans les Clinkers jusqu'à 1.5%.
- Provient de l'excédent de CaO.
- Les deux gros cristaux de calcite (100 microns).
- Décomposition de l'alite au cours de refroidissement (si la taille de CaO est 1 à 5 μ) [5,6].

f. MgO > 5%, apparait le péri clase [6,20].

Tableau 9 : Composition chimique élémentaire de Clinker de SPA BISKRIA CIMENT.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Pourcentage	20.23	5.22	3.8	64.37	3.49	1.12	0.73	0.24

Tableau 10 : Constituants du clinker de SPA BISKRIA CIMENT.

Constituants du Clinker	C3S	C2S	C3A	C4AF
Pourcentage	63.28	12.58	7.19	10.43

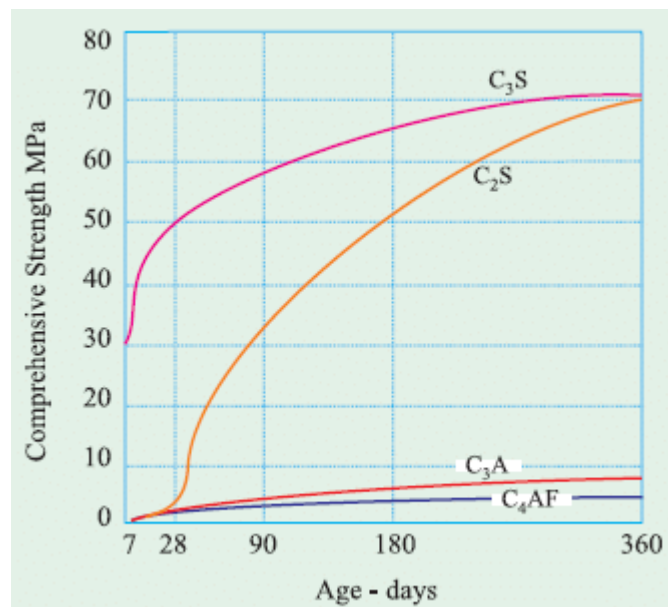


Figure 15 : Exemple du développement de la résistance des composés purs [3].

Chapitre III

Aspects physico-chimique et projet de la ligne productive du ciment blanc

III.1 Définition du ciment blanc

Les ciments Blancs (Ciments Portland) sont des liants hydrauliques composés principalement de silicates de calcium hydrauliques qui font prise et durcissent en vertu d'une réaction chimique à l'eau appelée hydratation [21].

Lorsqu'on ajoute la pâte (ciment, air et eau) aux granulats (sable et gravier, pierre concassée ou autre matériau granulaire), elle agit comme une colle et lie ensemble les granulats pour former une masse semblable à de la pierre, le béton, le matériau artificiel le plus polyvalent et le plus répandu qui existe [21].

III.2 Fabrication du ciment blanc

Le ciment blanc est un ciment Portland, il est fabriqué à partir des matières premières brutes particulièrement choisies qui sont généralement la craie pure et l'argile blanche (kaolin) contenant de très petites quantités d'oxydes de fer et d'oxydes de manganèse. Le ciment blanc est fréquemment choisi par les architectes pour son utilisation dans la fabrication du béton blanc, blanc cassé ou coloré, qui sera exposé, à l'intérieur ou à l'extérieur des édifices, au regard du public [22].

Il est bien connu que la fabrication du ciment blanc exige un contrôle rigoureux et précis durant l'ensemble des étapes du processus technologique afin d'empêcher la contamination du produit avec du fer, le manganèse, et le titane. Le ciment blanc se caractérise par une teneur extrêmement basse de C4AF (moins de 1,5%) et une teneur élevée de C3S et de C2S [22].

Tableau 11 : Composition Chimique du Clinker Blanc et Gris [23].

Clinker ciment portland	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	F	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	L.O.I
Gris	20.8	5.5	3.61	65.6	2.13	-	0.91	0.19	0.87	0.24
Blanc (Normal)	23.1	6.2	0.28	67.8	0.83	0.24	0.14	0.05	0.89	0.50
Blanc(Minéralisé)	23.8	2.3	0.27	68.0	0.48	0.85	0.12	0.04	0.65	0.90

Le processus de fabrication du ciment blanc est tout à fait semblable à celui du ciment portland gris. Le processus inclut le choix des matières premières, la préparation du mélange cru, la cuisson du clinker, le blanchiment et le refroidissement et le broyage. La production se

fait selon des conditions précises, qui sont contrôlées à toutes les étapes, afin d'éviter les contaminations possibles et les changements peu désirés. Cependant, la principale différence technologique réside dans la combinaison du refroidissement et du blanchiment, nécessaires pour améliorer la blancheur du ciment et garantir l'homogénéité de la couleur.

Le ciment Portland blanc a donc essentiellement les mêmes propriétés que le ciment gris, excepté la couleur. La blancheur du ciment blanc est une des caractéristiques les plus importantes. Les spécifications de la blancheur font ressortir les grades suivants [24]:

1er Grade : blancheur > 80%.

2ème Grade : blancheur de 75 à 80%.

3ème Grade : blancheur de 68 à 75%.

III.3 Choix des matières premières

Puisque la composition chimique du ciment blanc exige l'absence de C4AF, la pureté des sources d'approvisionnement de Si -, Ca - et d'Al est une exigence essentielle pour fabriquer du ciment blanc de haute qualité. Pour le grade élevé du ciment blanc, le calcaire doit contenir moins de 0,15% de Fe₂O₃ et moins de 0,015% de MnO; l'argile (kaolin) doit contenir 65-80% de SiO₂, pas plus de 1,0% Fe₂O₃, moins de 0,8% de TiO₂ et seulement des traces de MnO.

Généralement, le kaolin approprié contient 70-73% de SiO₂, 18-20% de l'Al₂O₃, 0,4-1% de Fe₂O₃ et 0-0,8% de TiO₂ et sans aucune trace de MnO. Le sable de quartz doit contenir au moins 96% de SiO₂, et au plus 0,2% de Fe₂O₃. La proportion de chacun de ces composants doit également répondre aux exigences du processus de cuisson, en tenant compte du fait que même les minéraux purs (tels que C3S et C2S), synthétisés et contrôlés dans des conditions précises du laboratoire, pourraient avoir une couleur différente du blanc [23].

Les equations:

$$C3S = 4.07 (CaO) - 7.6 (SiO_2) - 6.72 (Al_2O_3) - 1.43 (Fe_2O_3)$$

$$C2S = 2.87 (SiO_2) - 0.75 (C3S)$$

$$C3A = 2.65 (Al_2O_3) - 1.69 (Fe_2O_3)$$

$$C4AF = 3.04 (Fe_2O_3)$$

La composition du mélange du cru visée fait ressortir (en poids) 20% de SiO_2 , jusqu'à 5% de Al_2O_3 et 75 - 85% de CaCO_3 . D'une façon générale, la composition du mélange cru est conçue pour fournir un coefficient de saturation de **0,85- 0,88** et un module silicique de **3,2- 4,0** [23].

Module silicique SM [25]:

$$MS = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Coefficient de saturation en chaux LSF [25]:

$$LSF = \frac{\text{CaO}}{2,8 \cdot \text{SiO}_2 + 1,18 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Module aluminoferrique AM [25]:

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

III.4 Préparation et traitement du mélange cru

Dans le processus de broyage du mélange cru, une attention particulière doit être consentie au choix des équipements de concassage et de broyage (l'acier Cr-Ni est recommandé), afin d'éviter la contamination du mélange cru avec du fer. L'utilisation des équipements traditionnels de broyage ajoute environ 0,1% de fer au mélange cru, ce qui conduit à une augmentation de 0,2% de la teneur de fer après cuisson. Aussi bien que l'emploi des aciers spéciaux dans la fabrication des parties essentielles des équipements, les solutions possibles pour améliorer la blancheur incluent le contrôle de l'humidité du mélange cru et la réduction du temps de broyage en utilisant des agents de mouture (la facilité de broyage dépend de la qualité effective des produits commercialisés). Dans certains cas, l'installation des équipements de granulation est recommandée dans la préparation du mélange de cru et plus particulièrement lorsque le four à lit fluidisé est utilisé pour la cuisson [26].

III.5 Cuisson et clinkerisation

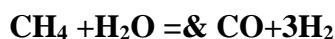
Pour offrir les meilleures conditions pour la formation de clinker, la température de cuisson du mélange cru préalablement préparé doit être précise et maintenue entre 1600 et

1700°C selon la composition du mélange cru. L'utilisation de minéralisateurs permet la réduction de la température à 1280°C. À ce stade le choix de carburants sans cendres et de réfractaires à base de talc-magnésite (ou autre magnésite -base) avec un liant spinelle est indispensable pour éviter la contamination de clinker. L'injection du carburant additionnel au préchauffeur ou avant la décharge semble être efficace pour entretenir les conditions nécessaires à la clinkérisation dans un four rotatif. L'installation d'équipement spécial tel que celle d'un four à lit fluidisé est vivement recommandé pour l'obtention d'un clinker de haute qualité permettant la production du ciment blanc [27].

III.6 Blanchiment et refroidissement

La majorité des documents bibliographique traitant du ciment blanc soulignent l'importance du refroidissement pour l'obtention d'un niveau satisfaisant de blancheur du clinker. Une atmosphère non oxydante (absence d'oxygène) dans la première étape du blanchiment et le refroidissement rapide par jet d'eau ont été utilisés pour l'amélioration de la qualité de clinker. Un mélange gazeux destiné pour blanchir doit contenir moins de **0,2% d'O₂** et plus de **5% de CO**. Le processus de blanchiment est conduit à une température de 1100-1200K permettant la réduction de FeO₃ jusqu'en FeO et la réduction de MnO. Une température inférieure à 200°C doit être maintenue dans la sortie de l'appareil de refroidissement [27].

Une autre possibilité consiste au refroidissement préliminaire du clinker en utilisant un gaz de convertisseur (pendant 1-2 minutes à 1000-1400°C et davantage de refroidissement dans un bassin d'eau. Le gaz de convertisseur peut être produit par une combinaison de gaz naturel et de vapeur d'eau à 900-1000°C selon la réaction suivante:



Le CO et le H₂ résultants sont très actifs dans la conversion des oxydes de Fe et de manganèse. Le refroidissement rapide (extinction) du clinker dans l'eau (contenant un peu de HCl, de H₂SO₄ ou d'autres acides) fournit une amélioration significative de la blancheur [27].

III.7 Broyage ou mouture

Le broyage final est une des étapes les plus essentielles dans le processus de fabrication du ciment blanc. Le choix approprié de gypse ayant une grande pureté est également important à ce stade. Les précautions traditionnelles concernant les moyens de broyages doivent être

observées. L'utilisation d'un agent de mouture approprié (jusqu'à 0,1%) peut être recommandée pour augmenter la finesse et pour diminuer le temps de broyage; ce qui entraînerait une augmentation 5-7% de la blancheur. Puisque la blancheur représente seulement les caractéristiques optiques de la poudre de ciment, et il n'y a aucune mesure de la couleur à l'état durci, une possibilité additionnelle pour améliorer les paramètres optiques à l'étape du broyage peut être réalisée [27].

Par exemple, les micro-fillers finement broyés comme le marbre blanc ou le quartz, le gel de silice pur, le mica ou le talc, le kaolin (ou le méta-kaolin), les poudres avec des traces de TiO_2 , peuvent être utilisés dans des proportions relativement faibles (jusqu'à 5 - 10 % ou spécification exigée par norme). Si les paramètres optiques désirés sont fournis par des particules superfines, une certaine quantité (autour 10% et jusqu'à 30%) de composant superfine (composé micronisé existant) pourrait être recommandé. Le composant superfine peut être fabriqué séparément, en utilisant un agent de mouture de haute qualité et un système micronisation. L'approche permettant l'obtention de performances élevées de ciment. Est la manière à suivre pour améliorer la blancheur et d'autres propriétés du ciment blanc [27].

III.8 Maitrise de la couleur

La couleur des minéraux naturels dépend de la présence des éléments chromophores colorants. Le Fe, Co, Ni, Mn, Cr, Ti et le Cu sont des chromophores bien connus et responsables de la couleur minérale. Parmi eux le Fe^{3+} est le chromophore le plus puissant: il fournit une forte intensité de coloration caractérisant les nuances de rouge, de pourpre, et jaune. Le Fe^{2+} fournit des nuances de vert et de bleu et le Cr^{3+} offre des nuances de rouge au vert [23].

L'utilisation des chromophores dans une proportion relativement faible (0,05-1%) pour colorer le clinker est une alternative aux colorants inorganiques, qui sont traditionnellement employés dans la fabrication de la couleur des ciments et du béton dans des proportions relativement élevées (2-12%). Il a été constaté que le clinker contenant de C2S élevé peut être affecté facilement par des chromophores comme le Mn, le Cr, Ni ; Le C3S du clinker pourrait être coloré par l'addition de Co. La poudre de la brique réfractaire de magnésite de chrome a été employée comme composant chromophore qui vise l'obtention de 1,19% Cr_2O_3 et de 0,75 % FeO_3 dans le clinker [23].

La vraie couleur d'un ciment n'apparaît seulement qu'après durcissement. Les états du processus d'hydratation affectent de manière significative la couleur et particulièrement l'aspect du produit fini surtout lorsque le traitement à l'autoclave est utilisé. Les ciments blancs produisent des couleurs nettes et éclatantes, notamment pour les pastels légers [23].

III.9 Performances et caractéristiques normalisées

Le ciment blanc est généralement conditionné en sacs mais il peut être livré en vrac. La blancheur du ciment blanc est due aux éléments naturels qui le composent. La pureté des matières premières doit être préservée tout au long du processus de fabrication du ciment blanc. Les caractéristiques du ciment blanc sont les mêmes que celles du ciment gris à l'exception de la teinte, mais les spécifications normatives diffèrent d'un pays à l'autre et tiennent compte des technologies existantes. Nous donnons ci-après à titre d'illustration, les types, classes et certaines caractéristiques du ciment blanc pour montrer l'intérêt de la normalisation et du contrôle qui sont seuls capables d'offrir un ciment blanc de qualité et une régularité de sa production [26].

a. Types, classes et domaines d'application

Tableau 12 : Types, classes et domaines d'application de ciment blanc [26].

Types	Classes	Domaines d'application
Ciment Portland blanc au calcaire	CEM II/ A-LL 42,5 N	Constitué de clinker Portland et de calcaire blancs, le CEM II/A-LL 42,5 N couvre tous les usages courants.
Ciment Portland blanc	CEM I 42,5 N LA	Le ciment Portland blanc peut être obtenu en diverses classes de résistance, permettant de couvrir tous les cas particuliers d'application.
	CEM I 52,5 N LA	
	CEM I 52,5 R LA	

b. Propriétés physiques et mécaniques

Les ciments blancs doivent répondre à toutes les performances physiques et mécaniques exigées par la norme EN 197 "Ciments". Au lieu de reproduire les spécifications de cette

norme, nous donnons ci-après, les caractéristiques moyennes de classes de ciment blanc fabriquées par une usine certifiée en Europe [28].

Tableau 13 : Résistances à la compression en MPa [26].

Type de ciment	à 2 jours	à 7 jours	à 28 jours
CEM II/ A-LL 42,5 N	28	41	52
CEM I 42,5 N LA	25	42	57
CEM I 52,5 N LA	32	50	64
CEM I 52,5 R LA	40	-	66

1. Temps de prise en min

Tableau 14 : Temps de pris en min [26].

Type de ciment	Début de prise	Fin de prise
CEM II/ A-LL 42,5 N	150	200
CEM I 42,5 N LA	180	220
CEM I 52,5 N LA	160	200
CEM I 52,5 R LA	150	180

2. Teinte blanche

Tableau 15 : Teinte Blanche de ciment blanc [29].

Type de ciment	Luminosité moyenne (en %)	Norme Égyptienne (1031-6/2000)
CEM II/ A-LL 42,5 N	85	82 +/- 5%
CEM I 42,5 N LA	82	
CEM I 52,5 N LA	84	
CEM I 52,5 R LA	86	
A titre indicatif, la luminosité moyenne d'un ciment gris CEM I 42,5 R est inférieure à 35%.		

La caractéristique essentielle du ciment blanc, sa teinte blanche et régulière, doit être rigoureusement contrôlée en laboratoire au moyen d'un spectrophotomètre. Par ce procédé, la clarté du ciment mesurée avec la source lumineuse D65 est comparée à l'étalon de blancheur sulfate de baryum [23].

c. Propriétés chimiques

Une autre conséquence de la pureté de leurs matières premières est que les ciments blancs présentent une teneur particulièrement faible en alcalis. Cette propriété permet de les utiliser en combinaison avec tous les granulats traditionnels, sans risque de réaction entre les alcalis du ciment et des granulats. La particule “LA” témoigne de la teneur limitée en alcalis des ciments Portland blancs, selon la norme NBN B 12-109. Bien que cette même norme ne prévoie pas les ciments Portland au calcaire dans la liste des ciments LA, la teneur en alcalis du CEM II/ A-LL 42,5 N blanc est bien inférieure à la limite 0,6% [30].

Tableau 16 : Propriétés chimiques du ciment portland blanc [29] [31].

Composants	Norme égyptienne Es.1031-6/2000	En197-1:2000 CEM1 52-5
MgO	3.5% maximum.	4.5% maximum.
Cl		0,10% Maximum
Résidus Insolubles	1,5% Maximum.	5% maximum.
Perte au Feu	4% maximum	5% maximum.
Facteur de Saturation de Chaux	0,66-1,02	

Une teneur élevée en C3S et une finesse appréciable (4000-4500 cm²/g) fournissent d’importantes résistances mécaniques du ciment blanc à tous les âges. En raison de la teneur relativement élevée de C3A (jusqu’à 15%), les mortiers et le béton au ciment blanc sont très susceptibles aux déformations de retrait. L’utilisation des agrégats de haute qualité et la formulation des mélanges de mortier et de béton à faible rapport E/C et à faible dosage en ciment est recommandé pour surmonter ce problème [30].

La carbonatation de la solution de Ca(OH)₂ qui migre à travers les pores et les capillaires de la pâte durcie du ciment vers la surface des éléments et les parements s’est avérée une des raisons principales de la formation des efflorescences. Afin d’éviter les efflorescences, il a été proposé l’addition de diatomite à haute teneur en SiO₂ ou de la fumée de silice blanche. Comme alternative, l’utilisation d’adjuvant hydrophobe lors du broyage de ciment s’est avérée très efficace dans l’élimination des efflorescences [30].

III.10 Projet la ligne de production ciment blanc

Le projet est distingué en cinq zones principales :

- Zone d'Extraction.
- Zone Cru.
- Zone Cuisson.
- Zone Ciment.
- Zone d'Expédition.

III.10.1 Zone d'extraction

a. Extraction matière

Les matières premières sont extraites au niveau de carrière sous forme des blocs des dimensions très variées. L'extraction consiste à extraire du calcaire à partir de carrière djebel M'hor à ciel ouvert situé à environ 5km.

Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosive ou à la pelle mécanique, ou par ripage au bulldozer [5].

b. Concassage

Le concasseur a pour un rôle de ramener les matières premières à des dimensions admissibles pour le broyeur.

Les matières premières sont fournies par les carrières en gros morceaux et doivent être concassés à la granulométrie désirée (0 – 25 mm) [5].

c. Criblage

Après l'opération de concassage de ce constituant est acheminée vers un crible par des tapis roulant pour éliminer la poussière pour assurer que le calcaire est exempt d'impuretés.

d. Stockage de matière première

Après l'opération de criblage de ces constituants de base on obtient une granulométrie de 0 à 25 mm, les constituant sont acheminés vers le stock primaire (hall de stockage) par des tapis roulant couvert, pour le pré homogénéisation : un hall avec un stockage circulaire pour le calcaire (polar bleu de capacité 35 000t).

III.10.2 Zone cru

a. Pré-homogénéisation

La matière première est étendue en couches horizontales successives, qui finissent par former un tas, dont la composition globale est celle désirée. Les couches sont ensuite reprises verticalement, ce qui permet de prélever en permanence une matière de composition identique.

La matière crue est reprise dans les tas de pré-homogénéisation par des roues pelles. La pré-homogénéisation de la matière première se fait à l'aide d'un bras râteau, tournant autour d'un axe dans un hall [5].

b. Broyage de sable

Le sable doit être broyé très finement dans deux broyeurs à boulets (boulets de céramique ou pierre) avec un débit de 8t/h pour chacun et transporté à partir des trémies par l'eau. Cette opération est effectuée pour éviter l'usure des boulets lors de broyage, qui influe sur la blancheur de ciment.

c. Doseur

Le dosage à partir des trémies différentes composantes est systématisé de manière automatique à l'entrée du broyeur.

d. Broyage cru et le séchage

Les deux broyages et séchages du cru sont réalisés à un débit de 100t/h pour chacun dans des broyeurs à boulets à sortie centrale, avec un compartiment de séchage et broyage.

Le séchage de la matière crue à l'intérieur du broyeur est assuré par les gaz chauds du four.

Ces gaz sont ensuite dépoussiérés dans un filtre à manches puis évacués dans l'atmosphère.

Le séchage permet de réduire l'humidité de la farine à moins de 1%.

A la sortie du broyeur cru, le mélange des matières broyées, appelé farine crue est stocké dans un ou plusieurs silos de stockage et d'homogénéisation.

e. Homogénéisation

La poudre obtenue à la sortie du broyeur est appelée farine. Cette farine est envoyée dans un silo de stockage appelés silo d'homogénéisation, d'une capacité unitaire de 20 000 t.

Pour accroître l'efficacité de l'homogénéisation, le silo est alimenté et soutirés simultanément.

La farine crue est homogénéisée par soufflage d'air sur-pressé. Cette opération permet d'améliorer la régularité des caractéristiques de la farine crue afin d'obtenir ensuite un clinker de qualité régulière [6].

III.10.3 Zone de cuisson

a. Préchauffage

Le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique. Cette préparation consiste à sécher la matière crue. Dans la tour de préchauffage (cinq cyclons et précalcinateur), la farine crue avance du haut vers le bas et se mélange avec les gaz chauds du four circulant dans le sens inverse. Ce procédé permet de préchauffer la farine crue jusqu'à une température de près 900°C.

b. Four rotatif

Les systèmes des fours sont conçus en cimenterie pour répondre aux exigences chimiques du procédé durant lequel la matière crue est transformée en clinker. Le four rotatif est un cylindre en acier reposant sur des stations de roulement, il est garni intérieurement par des produits réfractaires. Durant la cuisson, le four rotatif est animé d'un mouvement de rotation, la disposition en pente du four permet le mouvement de la matière première qui est injectée de l'autre extrémité par rapport à la flamme de chauffe. Durant ce déplacement, la matière se transforme par cuisson tout en avançant de son état initial jusqu'à ce qu'elle devienne à la température de 1550 °C.

c. Le refroidissement

Le ciment blanc plus fragile que le gris car il doit rester immaculé, un refroidisseur rotatif est inséré entre le four rotatif et le refroidisseur à grilles. Il s'agit d'un cylindre légèrement incliné qui tourne sur lui-même et à l'intérieur duquel de l'eau est pulvérisée à l'aide de multiples buses. Bien que sa composition chimique soit légèrement différente, c'est grâce au refroidisseur

rotatif que le ciment peut rester blanc : en effet, son rôle est de refroidir très rapidement le clinker à sa sortie du four, avant qu'il ne soit oxydé au contact de l'air.

d. Silo stockage de clinker

Le clinker issu du four est stocké dans des silos qui d'une part, confèrent à l'atelier de broyage ciment (étape suivante) une autonomie de marche en cas d'arrêt intempestif du four et d'autre part, prémunissent le clinker d'une dégradation physico-chimique que causerait un stockage prolongé à l'air libre.

III.10.4 Zone de ciment

a. Broyage ciment

Le clinker et les ajouts, qui sont des matériaux grossiers par rapport à la granulométrie du ciment, sont introduits au niveau du broyeur dans des proportions prédéfinies pour subir des efforts mécaniques du broyage et produire ainsi le ciment qui est d'une finesse inférieure à 45 microns. Le dosage du clinker, du gypse et des ajouts se fait à l'entrée du broyeur par un système de dosage automatique chargé d'effectuer des tests dans le laboratoire tout au long du processus de production. L'atelier de broyage comprend le broyeur, le séparateur (qui sélectionne les particules selon leur grosseur), le dépoussiéreur du broyeur et accessoirement la presse à rouleaux.

b. Silo ciment

Après le broyage clinker, le ciment se déplace par élévateur à godets vers les silos de stockage.

III.10.5 Zone d'expédition

Les expéditions comprennent le stockage du ciment, son conditionnement (ensachage) en cas de livraison par sacs ou via un vrac et son chargement sur l'outil de transport (camion). C'est l'interface de l'usine avec le client [3].

Chapitre IV

Partie expérimentale

IV.1 Méthode d'analyse

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

IV.1.1 Détermination de la perte au feu (loss on ignition)

Peser et noter la masse d'une capsule en platine m_1 .



Figure 16 : Capsule en platine sur une balance.

Peser et noter la masse de l'échantillon p_e comme défini dans le tableau ci-dessous.

Placer la capsule dans le four à $950^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ et laisser calciner comme indique dans le tableau ci-dessous.



Figure 17 : Four à moufle.

Sortir la capsule du four et laisser refroidir quelques minutes dans un dessiccateur.

Peser et noter la masse de capsule après perte au feu m_2 .

Tableau 17 : Définition la masse et le temps de calcination de l'échantillon.

Matière	Prise d'essai	Temps de calcination
Cru	1g	Minimum 30min
Matières premières		

Pour calculer la PAF par la formule suivant :

$$PAF = \frac{m_1 + pe - m_2}{pe} \times 100$$

PAF : perte au feu.

m_1 : masse de la capsule vide en g.

pe : prise d'essai en g.

m_2 : masse finale (capsule + matière calcinée).

IV.1.2 Détermination de chlorure

Méthode de Titron plus 848.

Pesez exactement 2.5g de l'échantillon dans un Becher de 250 ml.

Ajouter 30ml d'eau distillée.

Placez le bicher sur un Agitateur magnétique.

Ajouter avec précaution 6ml d'acide Nitrique concentré. Mettre en agitation pendant 1 à 2min.

Filtrer la solution dans un bécher de 100ml à travers un papier filtre rapide.

Rincez le papier filtre rapide avec l'eau distillée jusqu'à atteindre 100ml.

Pipetez 50ml de la solution d'échantillon dans un bécher de titrage.

Ajoutez 20ml d'acide acétique glacial et 0.5g d'acétate de sodium.

Titrer avec une solution de nitrate d'argent de concentration.

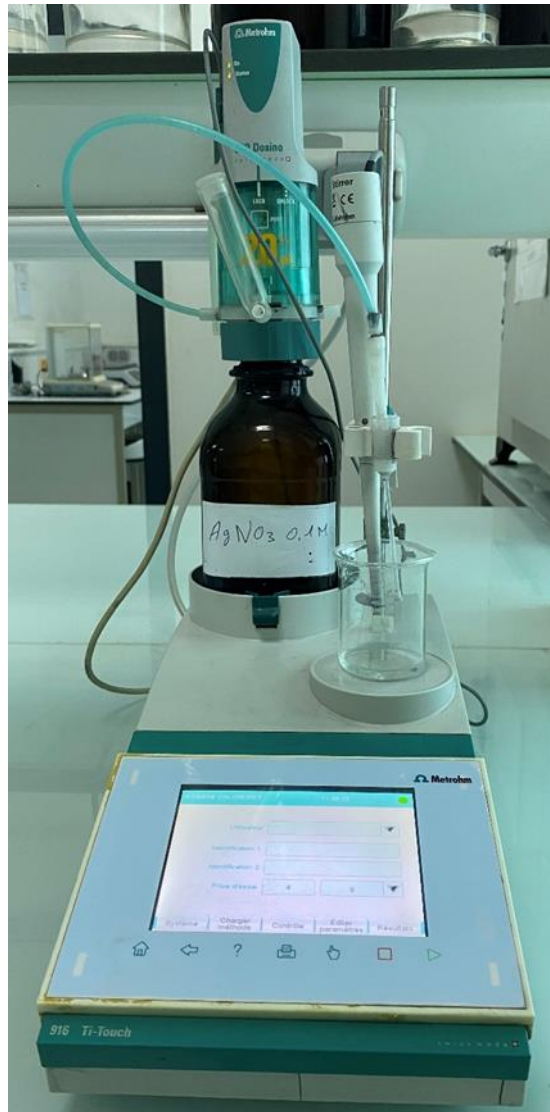


Figure 18 : Titracteur potentiomètre.

Pour calculer Le pourcentage de chlorure par la formule suivant :

$$\%Cl^- = \frac{EP1 * MCl * C * 0.1}{C'}$$

C=0.01 en utilisant le mode MET du titreur.

FP1= Consommation du titrant en ml.

C' = Masse de l'échantillon 2.5g.

MCI= masse molaire de Cl (35.5g/mol).

C= concentration de nitrate d'argent.

Facteur de standardisation de la solution de nitrate d'argent=0.1.

IV.1.3 Détermination de l'humidité

Mode opératoire :

1. Prenez environ 800 à 1500 grammes pour les matières premières, des doseurs broyeur crus, de gypse et de doseurs d'additifs pour le ciment des usines.
2. Prenez 50 - 100 grammes pour l'alimentation du four farine crue, ou de ciment.
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 18 : 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
Argile (Kaolin)	100-105	800-1500	Min 24h
Sable	100-105	800-1500	Min 24h

Pour calculer l'humidité par la formule suivant :

$$H_2O (\%) = \frac{((P_1 + P_2) - P_3)}{P_2} * 100$$

P₁ : masse plaque.

P₂ : masse échantillons humide.

P_3 : masse total (masse plaque + masse échantillons séché).

IV.1.4 Préparation des pastilles pour XRF

Mode opératoire

a. Concassage

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

b. Broyage

Placer environ 10 g d'échantillon dans le broyeur et démarrer pendant 10 secondes pour rinçage.

Peser la quantité de matière à analyser (voir le Tableau 19).

Placer l'échantillon dans le bol et fermé avec son couvercle et mètre le tout dans le broyeur à disque et fermer la porte du broyeur.

Pousser le bouton de synchronisation puis le bouton du programme (bouton de démarrage) et attendre jusqu'à ce que le l'opération de broyage soit terminée. (Voir le Tableau 19).



Figure 19 : Broyeur à disque.



Figure 20 : Disque de broyage.

Tableau 19 : Définition la masse et le temps de broyage et mixage de l'échantillon.

Type de matière	Broyage		Mixage				Remarque
	Pds de l'échantillon (g)	Temps de broyage (s)	Pds de l'échantillon (g)	Additif	N° du programme	Temps de mixage (s)	
				Wax(g)			
Calcaire	20	90	20	0.5	1	20	Préconcassé
Kaolin	20	90	20	0.5	1	20	préconcassé
Sable	20	130	20	1	1	20	En l'état

c. Presse

- Prendre 10g de l'échantillon broyé.
- Placer l'anneau en acier dans la machine (Presse Hydraulique).
- A l'aide d'une spatule verser la matière dans l'anneau et uniformiser la surface de la matière.
- Fermer la porte de la presse et appuyer sur le bouton synchronisation (Pour HERZOG)
- Puis sur le bouton du programme choisi (bouton de démarrage).
- (Voir Tableau II). Attendre jusqu'à ce que l'opération de pression soit terminée.
- Ouvrir la porte et prendre l'anneau avec précaution (Ne pas toucher la face supérieure de la pastille avec les doigts). Nettoyer la face inférieure avec un pinceau.
- Sur la face inférieure, inscrire à l'aide d'un crayon l'identification de l'échantillon.

Tableau 20 : Les conditions opératoires sur les presses hydrauliques pour la préparation des pastilles.

Type de matière	N° du programme	Pression
		Herzog HTP40 (KN)
Clinker	02	300
Calcaire	01	200
Argile (Kaolin)	01	200
Sable	02	300



Figure 21 : Presse hydraulique.

IV.1.5 Détermination de blancheur

Nous avons maitre une quantité de matière dans le spectrophotomètre CM-5 et on à lire les résultats sur un PC avec logicielle (SpectraMagic NX).



Figure 22 : Spectrophotomètre CM-5.

IV.2 Résultat

IV.2.1 Résultat des analyses de calcaire

Tableau 21 : Résultat des analyses de calcaire.

Echantillon	Calcaire I	Calcaire II	Calcaire III	Calcaire IV	Calcaire V
CaO	55.427	55.2	55.338	53.93	54.03
SiO₂	0	0.02	0	0.61	0.07
Al₂O₃	0.142	0.16	0.184	0.25	0.19
Fe₂O₃	0.014	0.03	0.043	0.07	0.05
MgO	0.463	0.6	0.453	0.98	0.5
SO₃	0.069	0.07	0.66	0.1	0.06
K₂O	0	0.004	0	0.01	0.003
Na₂O	0.067	0.05	0.058	0.05	0.06
PAF	43.48	43.96	43.81	42.2	43.93
Cl	0.01	0.031	0.012	0.028	0.036
HUM	0.89	0.87	0.88	0.9	0.85

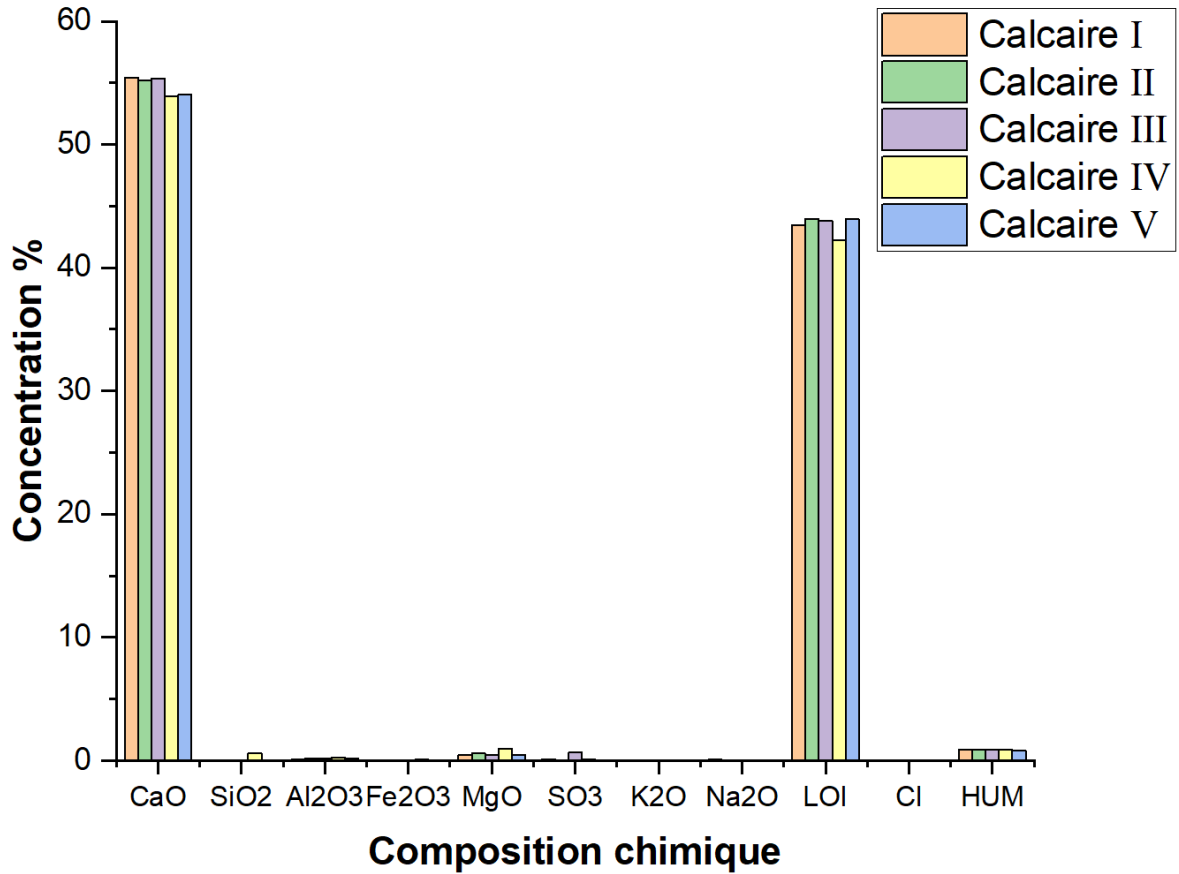


Figure 23 : Diagramme à bande résultat d'analyse chimique des calcaires proposé.

IV.2.2 Résultat des analyses de sable

Tableau 22 : Résultat des analyses de sable.

Echantillon	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PAF	P ₂ O ₅	Cl	HUM
Sable	1.245	94.826	1.561	1.171	0.118	0.335	0.568	0.159	0.96	0.018	0.03	1.4

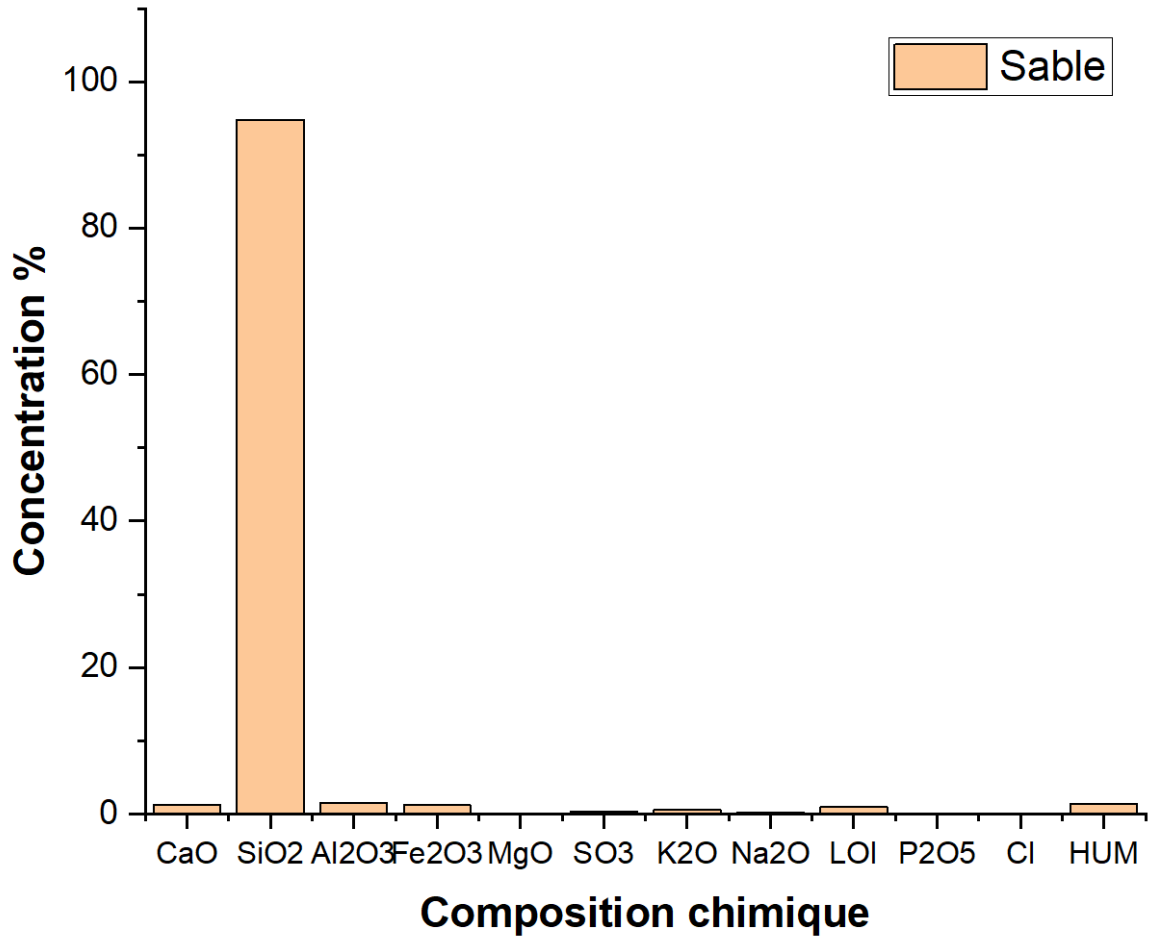


Figure 24 : Diagramme à bande résultat d'analyse chimique de sable.

IV.2.3 Résultat des analyses de kaolin

Tableau 23 : Résultat des analyses de kaolin.

Source	MILLIA	MILLIA	TURC
Echantillon	Kaolin 1	Kaolin 2	Kaolin 3
CaO	0.58	0.28	0.83
SiO ₂	69.3	68.97	57.5
Al ₂ O ₃	17.24	18.31	28.83
Fe ₂ O ₃	1.54	1.5	0.54
MgO	0.21	0.15	0
SO ₃	0.3	0.08	2.69
K ₂ O	4.13	4.15	0.95
Na ₂ O	0.3	0.32	0.25
PAF	0.029	6.68	12.39
Cl	0.05	0.05	0.03
HUD	5.02	5.55	11.74

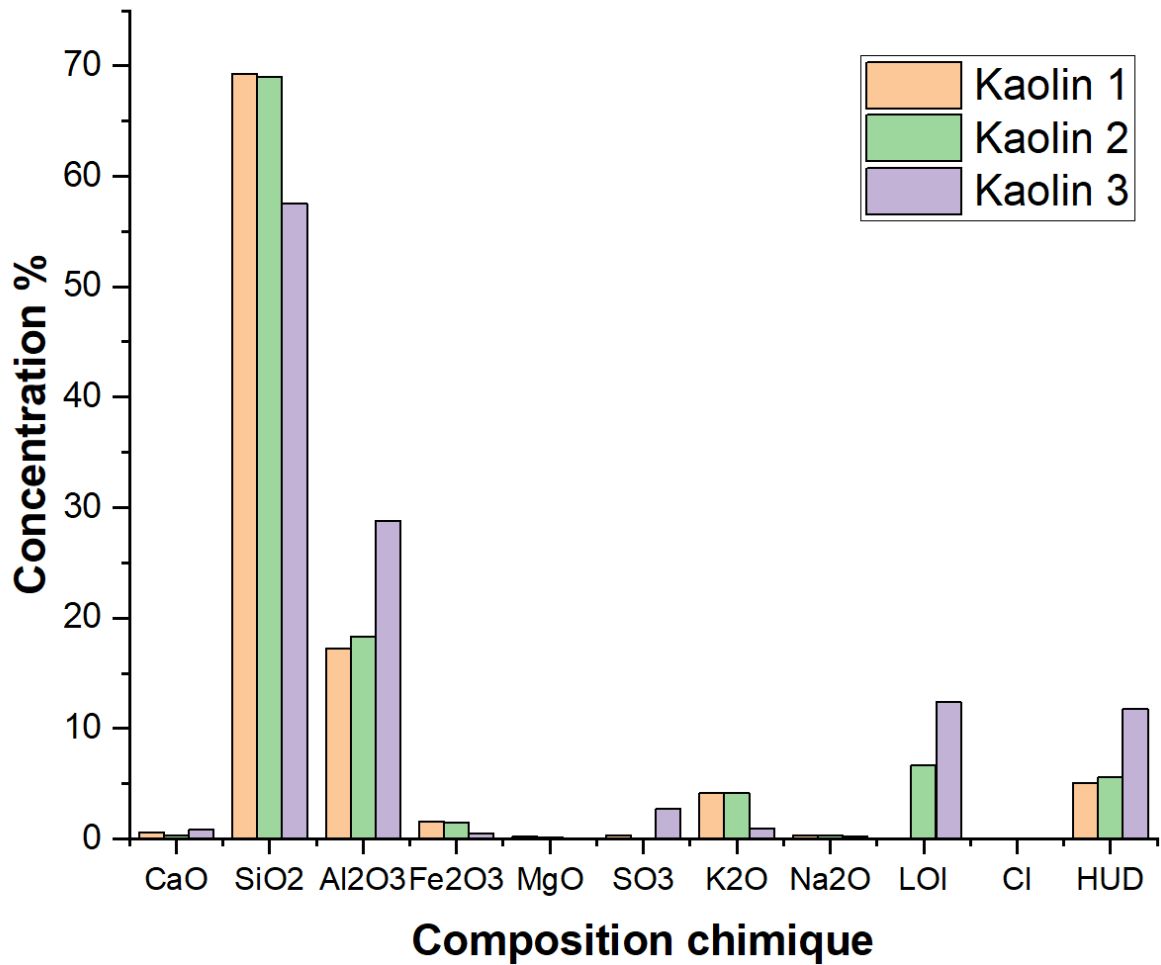


Figure 25 : Diagramme à bande résultat analyse chimique des kaolins proposés.

Nous avons programmé avec l'EXCEL le calcul RAW MIX DESIGN et avec trois matières premières (calcaire, kaolin et sable) et deux conditions (LSF et SM).

On a préféré de choisir les trois calcaires 1, 2 et 3 car ils sont riches en chaux (CaO) et moins en oxyde de fer (Fe₂O₃).

Et pour le kaolin local on a choisi le numéro 2 parce qu'il est plus faible en oxyde de fer (Fe₂O₃).

IV.2.4 Résultat d'expérience 1

Pour la première expérience on a choisi le calcaire I et kaolin 2 avec le sable, on a ciblé LSF=97 et SM=6 les résultats sont ci-dessous :



Figure 26 : Calcaire.



Figure 27 : Sable.



Figure 28 : Kaolin

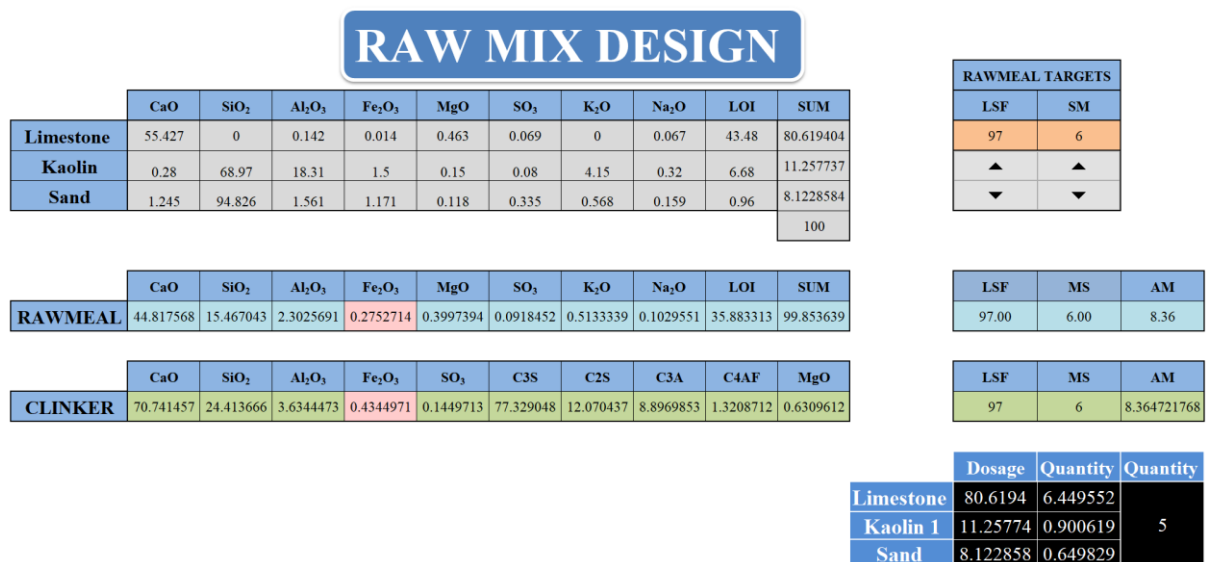


Figure 29 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 1.

Tableau 24 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la première expérience.

I	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PAF	LSF	SM	AM
Mélange théorique	44.818	15.467	2.3026	0.2753	0.3997	0.0919	0.5133	0.103	35.883	97	6	8.3647
Mélange mesuré	45.756	15.474	2.299	0.241	0.224	0.039	0.521	0	35.405	99.046	6.0921	9.5394

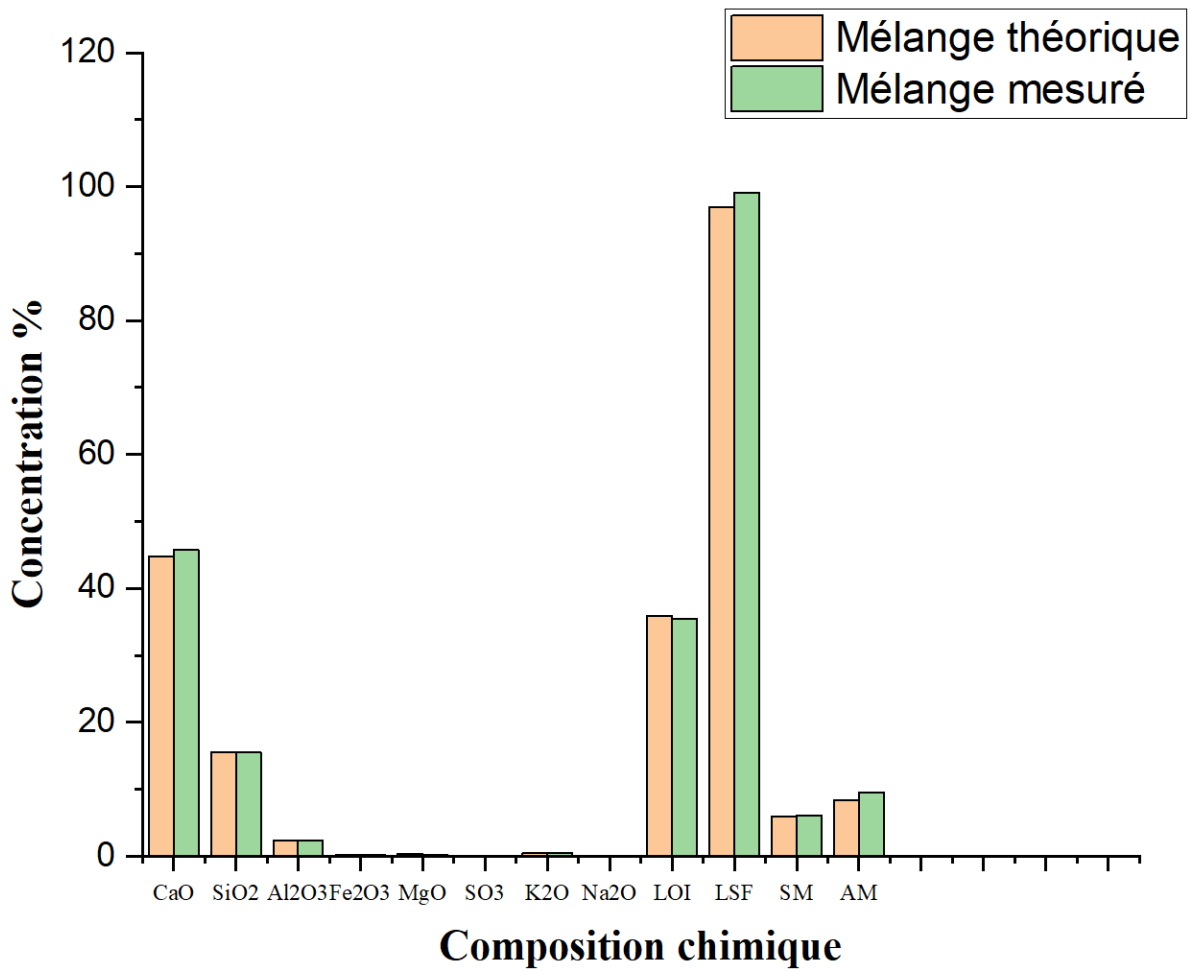


Figure 30 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la première expérience.

Après la préparation du mélange on va le mettre dans un creuse de platine est en suite au four à température de 950°C durant 3h :



Figure 31 : Une matière dans un creuse de platine

Tableau 25: Résultat d'analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la première expérience.

I	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Mélange cuit théorique	70.7415	24.4137	3.63445	0.4345	0.63096	0.14497	0.81026	0.16251
Mélange cuit mesuré	70.234	22.446	4.834	0.472	0.844	0.771	0.574	0
	PAF	LSF	SM	AM	C3S	C2S	C3A	C4AF
Mélange cuit théorique	0	97	6	8.36472	76.9159	12.3803	8.89699	1.32087
Mélange cuit mesuré	0.00996	101.996	4.23031	10.2415	79.906	4.49053	12.0124	1.43488

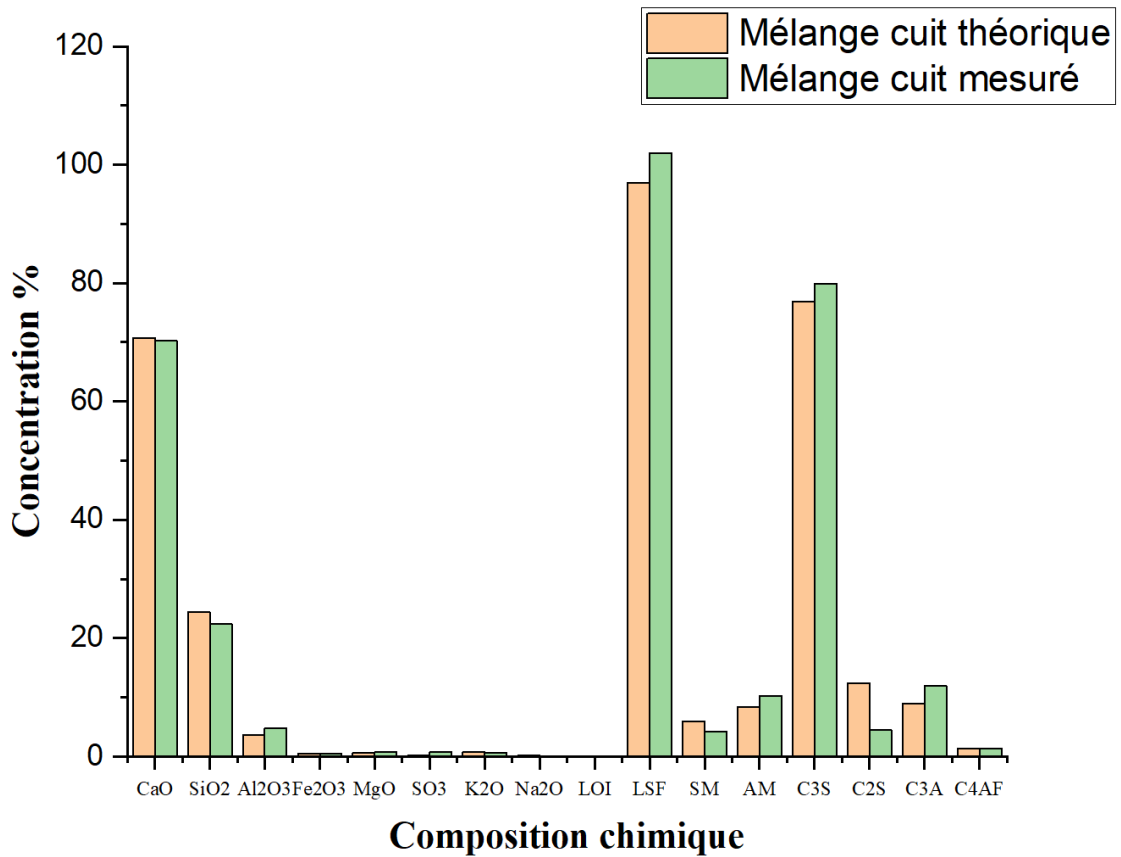


Figure 32 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la première expérience.

Tableau 26: Résultat d'analyse de la densité de blancheur.

Couleur à 950 °C			
	L*	a*	b*
Expérience 1	85.07	0.13	7.84

Pour cette expérience nous avons obtenu des bons résultats au niveau de C3S et C3A c'est ce qui nous a donné une bonne résistance initiale de 1 ou 2 jusqu'à 28 jours. Un faible pourcentage de C2S cela nous a donné une faible résistance par rapport au besoin, et un bon résultat pour son blanchiment.

IV.2.5 Résultat d'expérience 2

Pour la deuxième expérience on a choisi le calcaire II et kaolin 2 avec le sable, on cible LSF=97 et SM=6 les résultats sont ci-dessous :

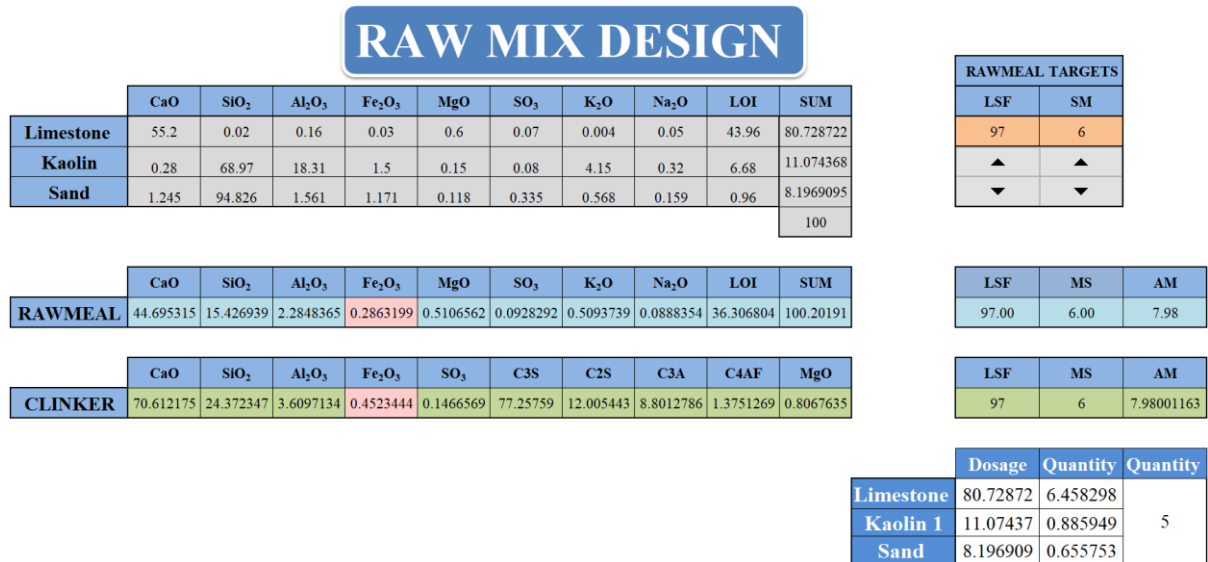


Figure 33 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 2.

Tableau 27 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la deuxième expérience.

II	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PAF	LSF	SM	AM
Mélange théorique	44.695	15.427	2.2848	0.2863	0.5107	0.0928	0.5094	0.0888	36.307	97	6	7.98
Mélange mesuré	45.898	15.452	2.282	0.283	0.278	0.035	0.451	0	35.312	99.471	6.0242	8.0636

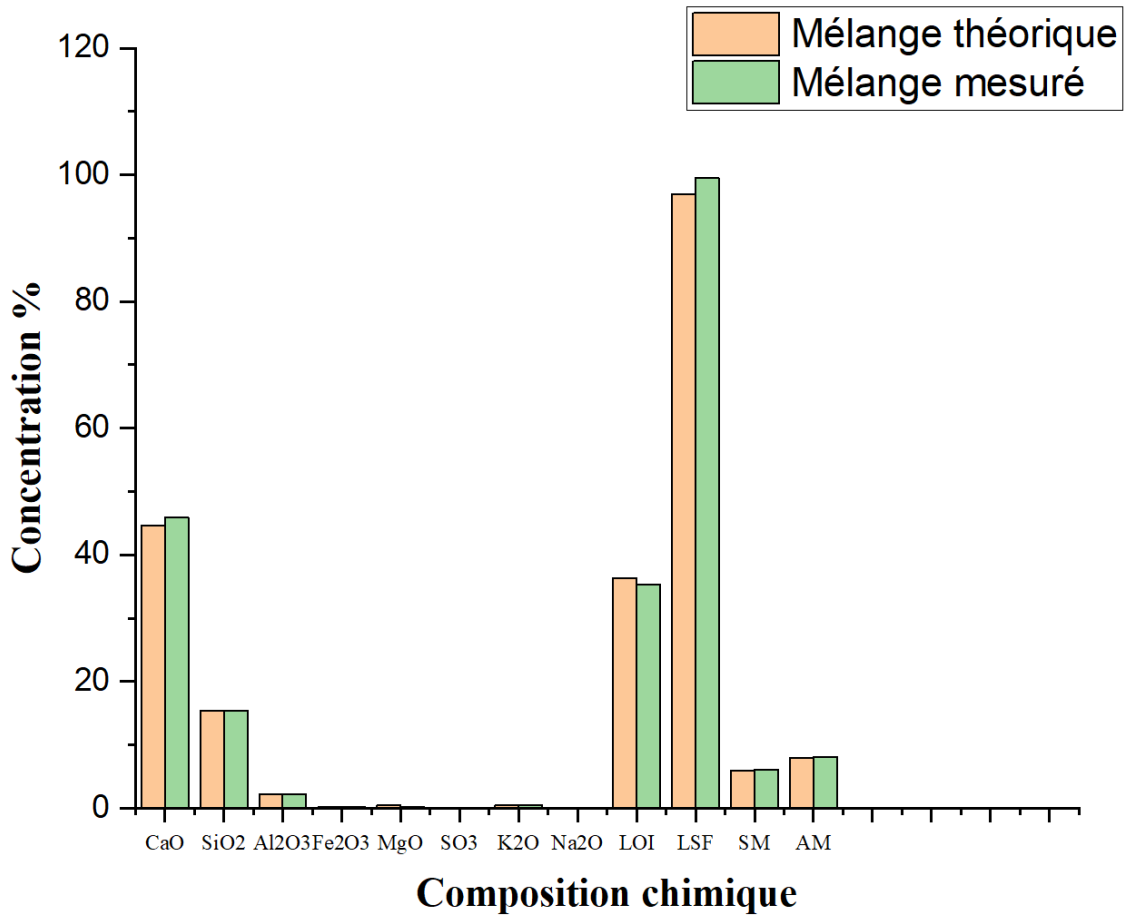


Figure 34 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la deuxième expérience.

Tableau 28 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la deuxième expérience.

II	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Mélange cuit théorique	70.6122	24.3723	3.60971	0.45234	0.80676	0.14666	0.80474	0.14035
Mélange cuit mesuré	70.2451	22.0034	4.86582	0.47588	1.09379	0.73035	0.5026	0
	PAF	LSF	SM	AM	C3S	C2S	C3A	C4AF
Mélange cuit théorique	0	97	6	7.98001	76.8396	12.3189	8.80128	1.37513
Mélange cuit mesuré	0.01088	103.82	4.11918	10.2249	83.2114	0.74122	12.0902	1.44667

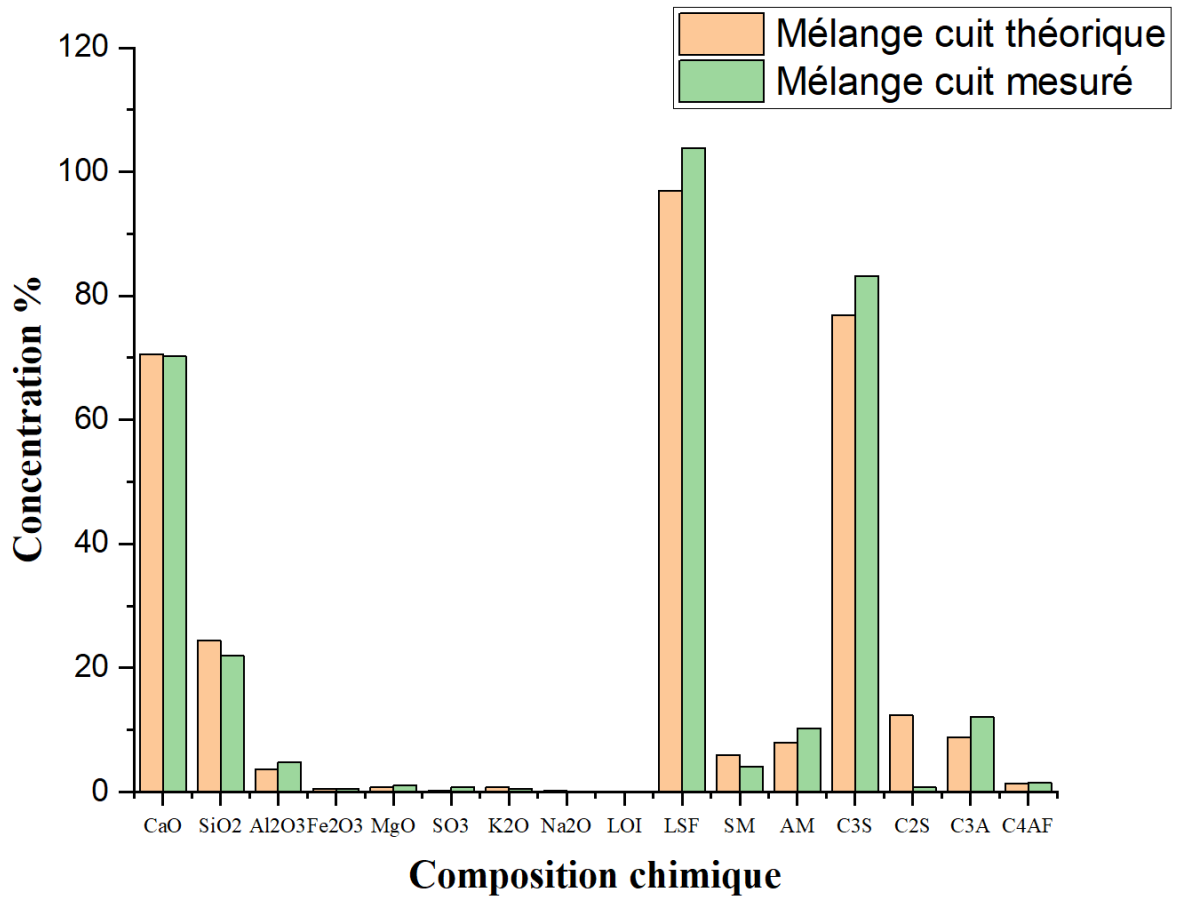


Figure 35 : Diagramme à bande résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la deuxième expérience.

Tableau 29 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.

	Couleur à 950 °C		
	L*	a*	b*
Expérience 2	84.35	0.93	8.41

Pour cette expérience nous avons obtenu des bons résultats au niveau de C3S et C3A c’est ce qui nous donne une bonne résistance initiale de 1 ou 2 jusqu’à 28 jours. Un faible pourcentage de C2S cela nous donne une faible résistance pour la résistance à longue échéance, et un bon résultat pour son blanchiment.

IV.2.6 Résultat d'expérience 3

Pour la troisième expérience on a choisi le calcaire III et kaolin 2 avec le sable, ont ciblé LSF=97 et SM=6 les résultats sont ci-dessous :

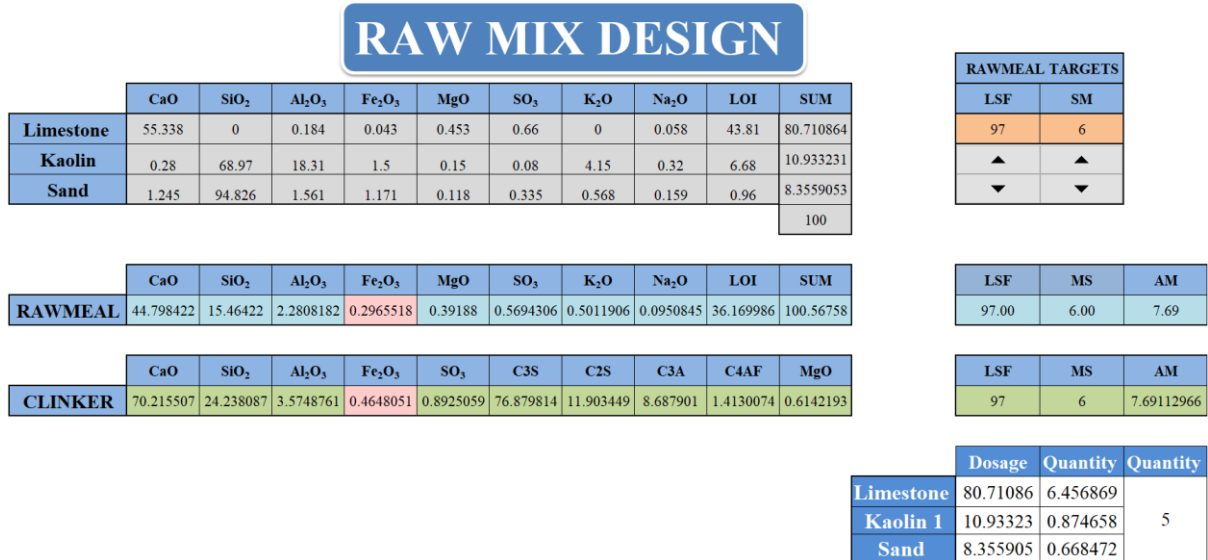


Figure 36 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 3.

Tableau 30 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la troisième expérience.

III	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PAF	LSF	SM	AM
Mélange théorique	44.798	15.464	2.2808	0.2966	0.3919	0.5694	0.5012	0.0951	36.17	97	6	7.6911
Mélange mesuré	45.747	15.542	2.245	0.266	0.222	0.036	0.496	0	35.378	98.721	6.1896	8.4398

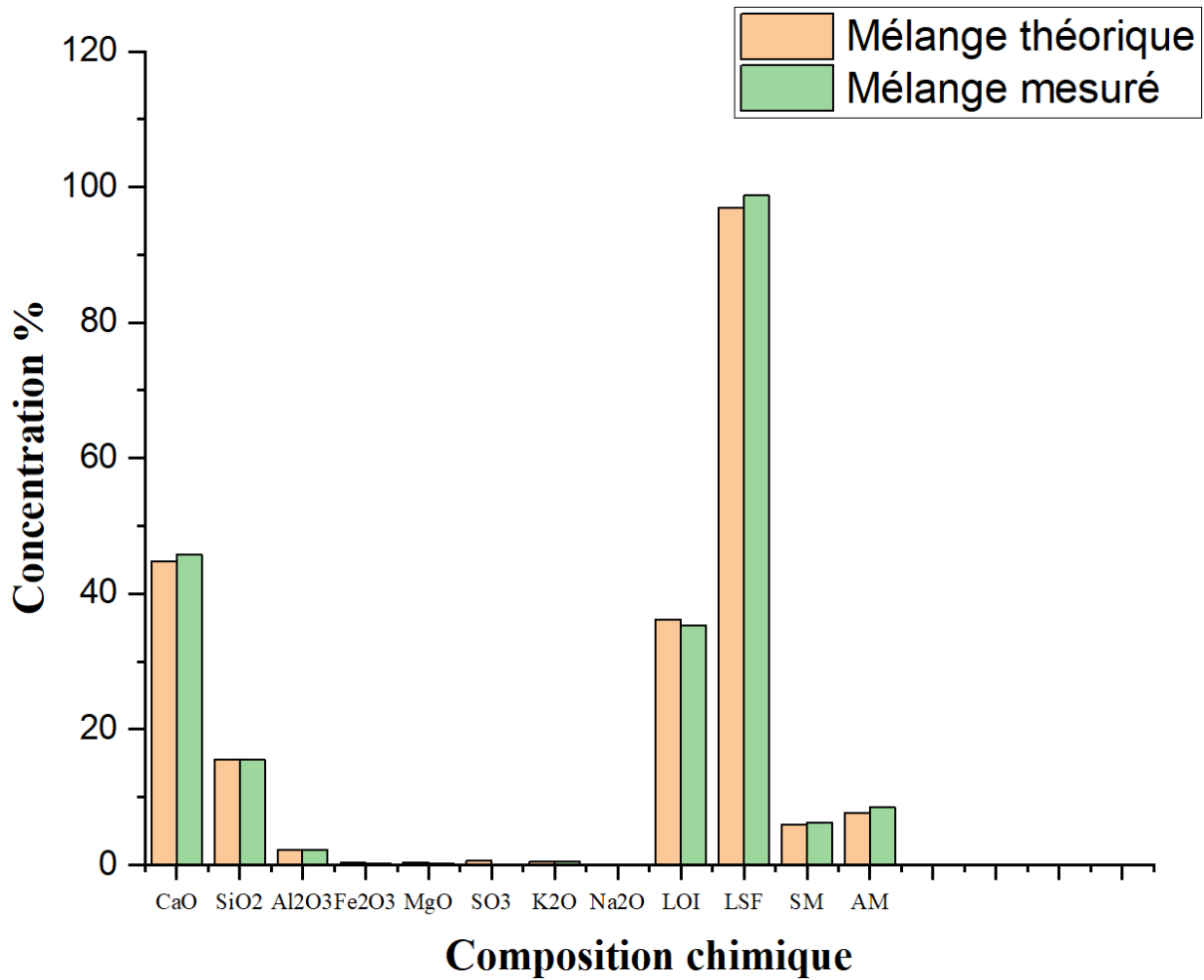


Figure 37 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la troisième expérience.

Tableau 31 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la troisième expérience.

III	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Mélange cuit théorique	70.21551	24.23809	3.574876	0.464805	0.614219	0.892506	0.785549	0.149032
Mélange cuit mesuré	69.365	22.06393	4.70769	0.499925	0.813471	4.699614	0.550983	0
	PAF	LSF	SM	AM	C3S	C2S	C3A	C4AF
Mélange cuit théorique	0	97	6	7.69113	74.33617	13.81118	8.687901	1.413007
Mélange cuit mesuré	0.348363	102.5214	4.236859	9.416799	68.88519	11.6596	11.63051	1.519771

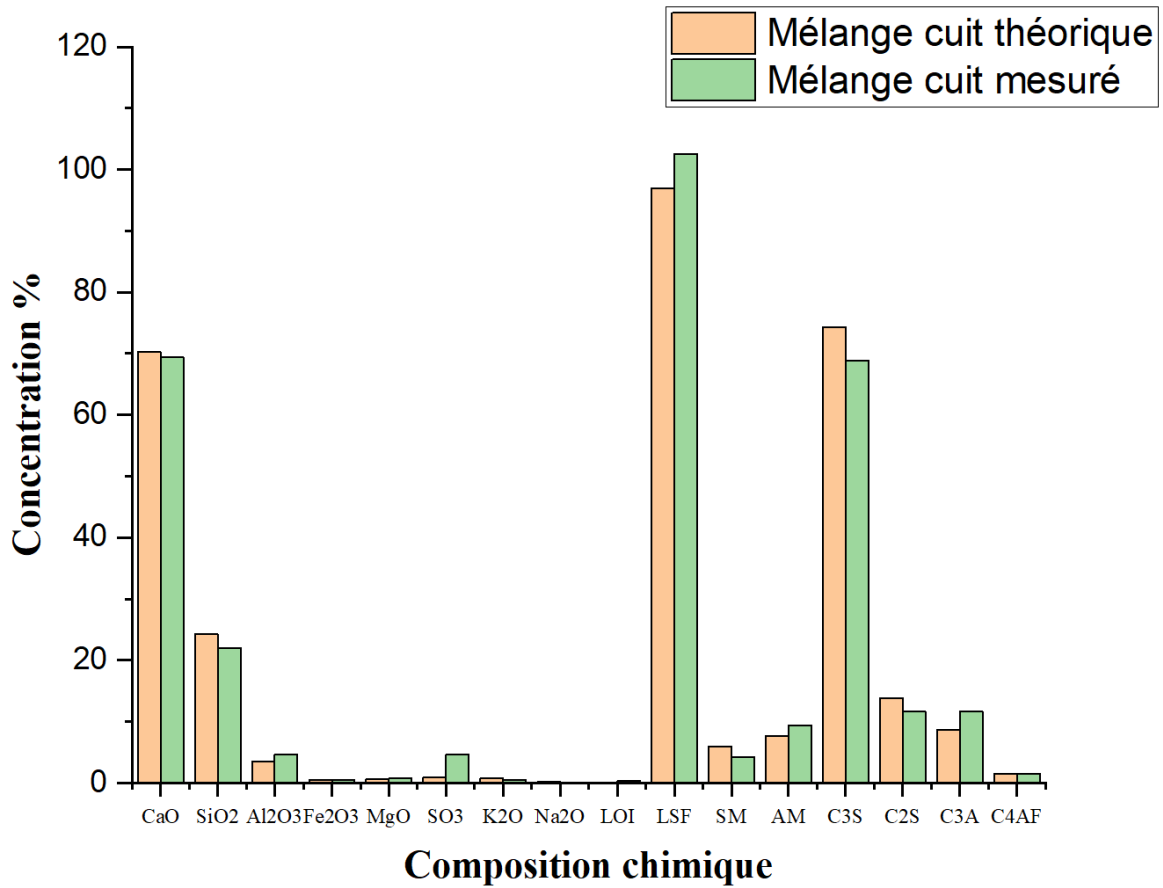


Figure 38 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la troisième expérience.

Tableau 32 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.

Couleur à 950 °C			
	L*	a*	b*
Expérience 3	82.71	1.07	9.36

Pour cette expérience nous avons obtenu des bons résultats au niveau de C3S, C2S et C3A c’est ce qui nous a donné une bonne résistance initiale jusqu’à longue échéance. Un résultat acceptable pour son blanchiment.

IV.2.7 Résultat d'expérience 4

Pour la quatrième expérience on a choisi le calcaire I et kaolin 3 (kaolin de turc) avec le sable, ont ciblé LSF=97 et SM=6 les résultats sont ci-dessous :

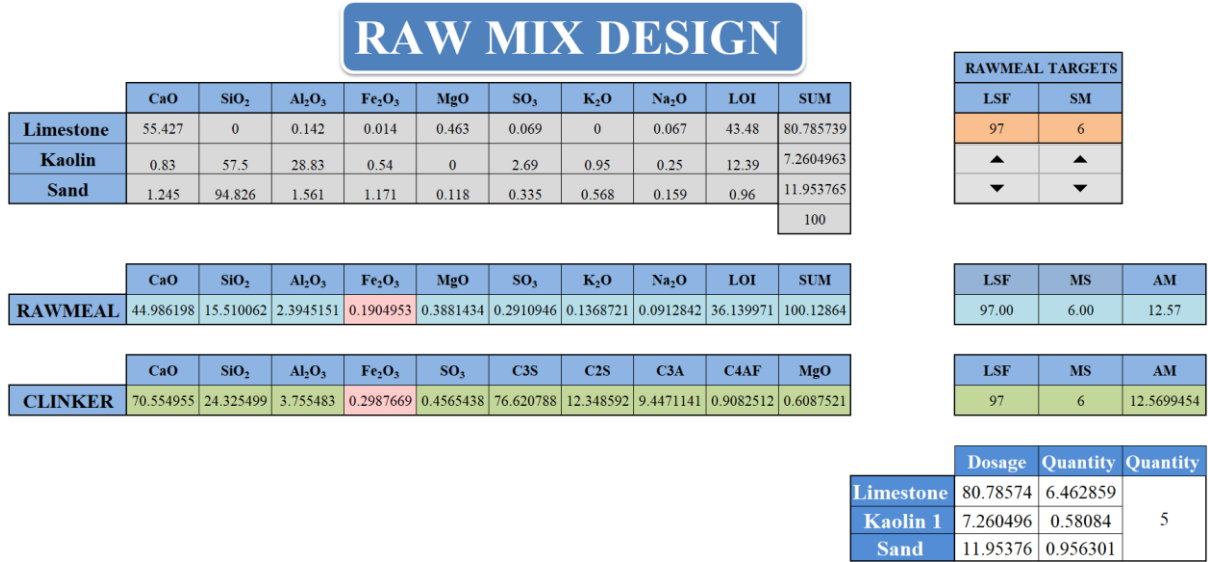


Figure 39 : Image de RAW MIX DESIGN expérience 4.

Tableau 33 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la quatrième expérience.

IV	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PAF	LSF	SM	AM
Mélange théorique	44.986	15.51	2.3945	0.1905	0.3881	0.2911	0.1369	0.0913	36.14	97	6	12.57
Mélange mesuré	46.199	15.373	2.003	0.181	0.172	0.183	0.086	0	35.755	101.48	7.0389	11.066

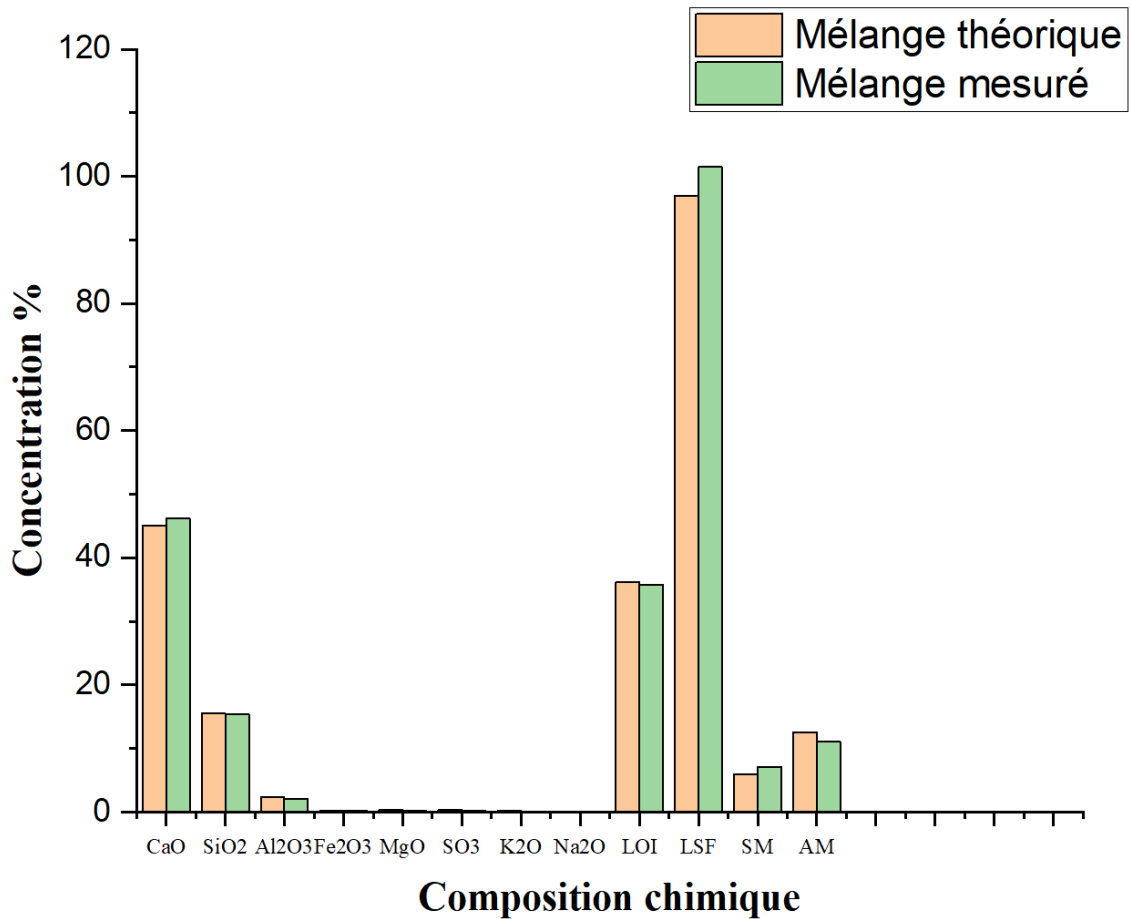
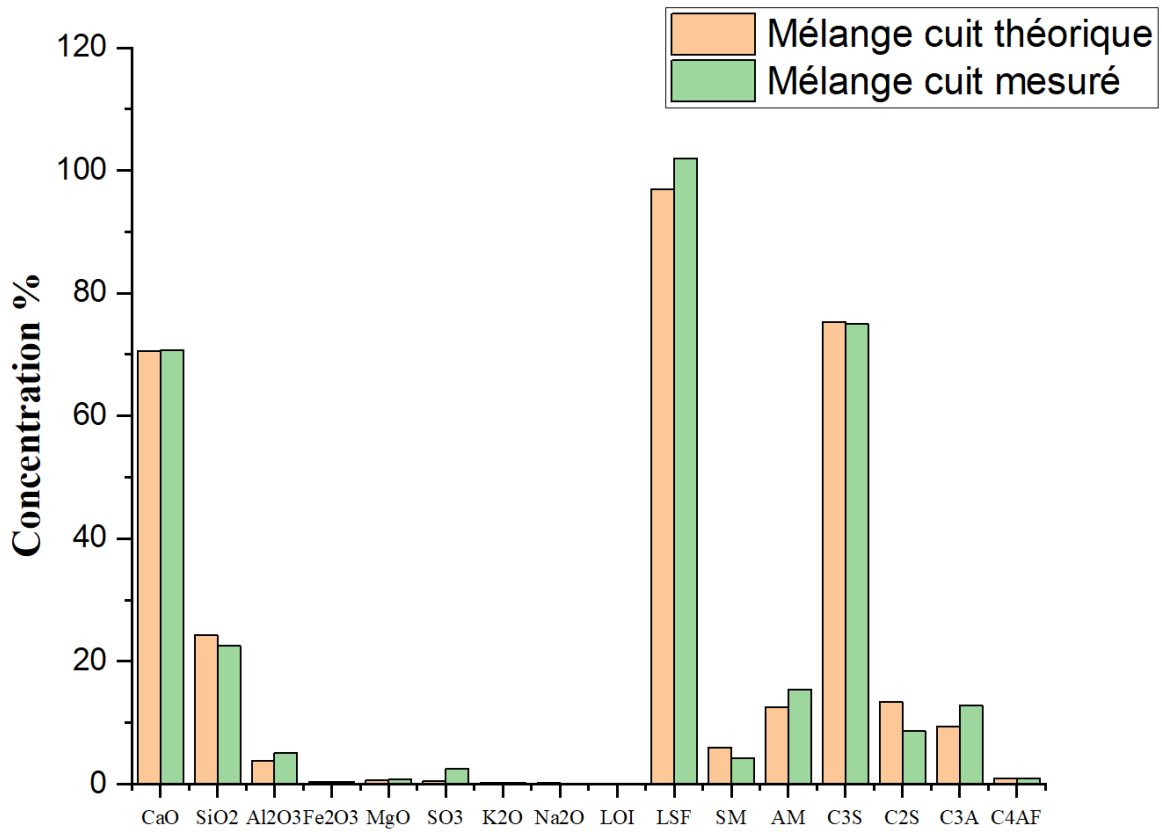


Figure 40 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la quatrième expérience.

Tableau 34 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la quatrième expérience.

IV	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Mélange cuit théorique	70.55495	24.3255	3.755483	0.298767	0.608752	0.456544	0.214666	0.143167
Mélange cuit mesuré	70.7564	22.59085	5.045438	0.327833	0.822517	2.45256	0.153608	0
	PAF	LSF	SM	AM	C3S	C2S	C3A	C4AF
Mélange cuit théorique	0	97	6	12.56995	75.31964	13.32445	9.447114	0.908251
Mélange cuit mesuré	0.004895	101.9235	4.204301	15.39028	74.92417	8.642608	12.81637	0.996612



Composition chimique

Figure 41 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la quatrième expérience.

Tableau 35 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.

Couleur à 950 °C			
	L*	a*	b*
Expérience 4	84	0.34	8.1

Nous avons obtenu des bons résultats au niveau de tous les côtés.

IV.2.8 Résultat d'expérience 5

Pour la dernière expérience nous avons développé le calcul RAW MIX DESIGN qui mélange trois composants (calcaire, kaolin et sable) à un autre qui mélange deux type de kaolin en même temps avec les composants principaux (calcaire et sable), et avec des cibles LSF=98 et SM=6.

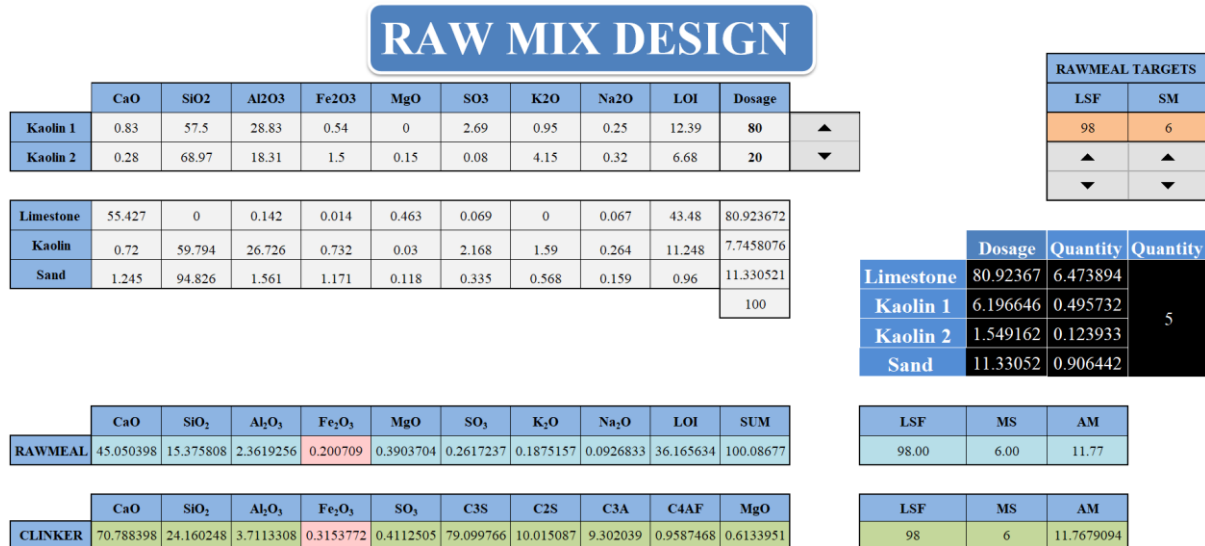


Figure 42 : RAW MIX DESIGN DEVELOPED expérience 5.

Tableau 36 : Diagramme à bande : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la cinquième expérience.

V	CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	SO3	K2O	Na2O	PAF	LSF	SM	AM
Mélange théorique	45.05	15.376	2.3619	0.2007	0.3904	0.2617	0.1875	0.0927	36.166	98	6	11.768
Mélange mesuré	46.498	15.271	1.975	0.176	0.194	0.157	0.172	0	35.51	102.86	7.0995	11.222

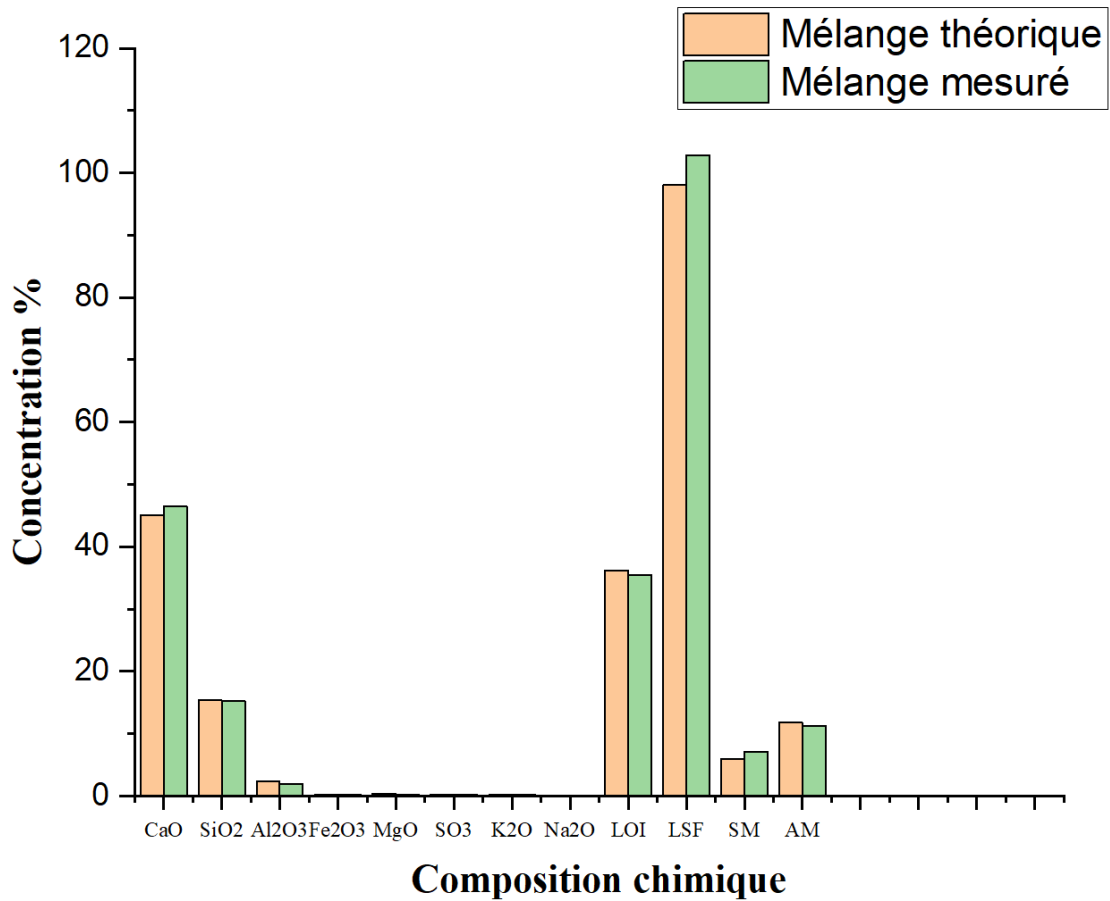


Figure 43 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré pour la cinquième expérience.

Tableau 37 : Résultat analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la cinquième expérience.

V	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Mélange cuit théorique	70.7884	24.16025	3.711331	0.315377	0.613395	0.411251	0.294646	0.145635
Mélange cuit mesuré	69.93095	22.10249	4.9117	0.340894	0.816421	2.17627	0.207693	0
	PAF	LSF	SM	AM	C3S	C2S	C3A	C4AF
Mélange cuit théorique	0	98	6	11.76791	77.9277	10.89414	9.302039	0.958747
Mélange cuit mesuré	0.26983	102.9845	4.207919	14.40829	76.94354	5.726503	12.4399	1.036318

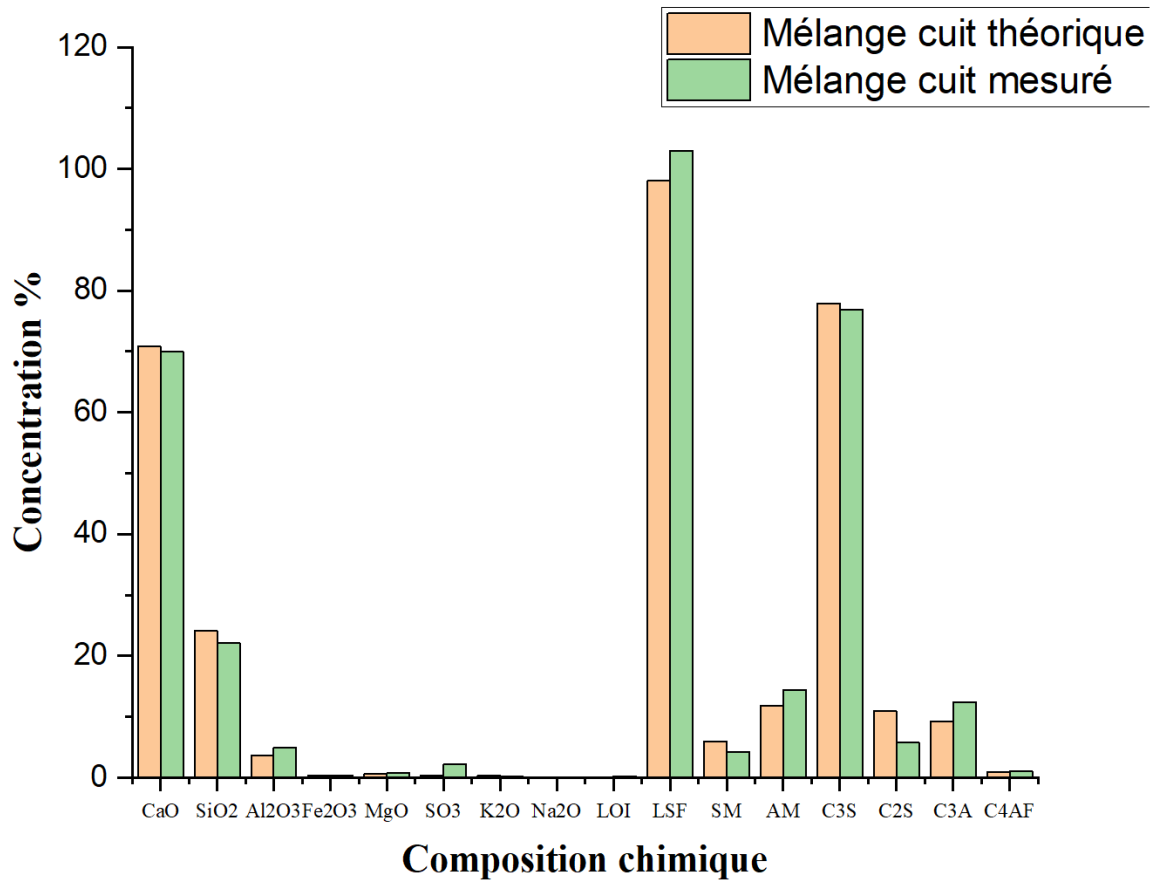


Figure 44 : Diagramme à bande résultat d’analyse chimique de mélange théorique et mesuré après la cuisson pour la cinquième expérience.

Tableau 38 : Résultat d’analyse de la densité de blancheur.

Couleur à 950 °C			
	L*	a*	b*
Expérience 5	84.39	0.23	8.29

Pour cette expérience nous avons obtenu des bons résultats au niveau de C3S et C3A c’est ce qui nous a donné une bonne résistance initiale de 1 ou 2 jusqu’à 28 jours. Un résultat acceptable de C2S cela nous a donné une résistance à longue échéance, et un bon résultat pour son blanchiment.

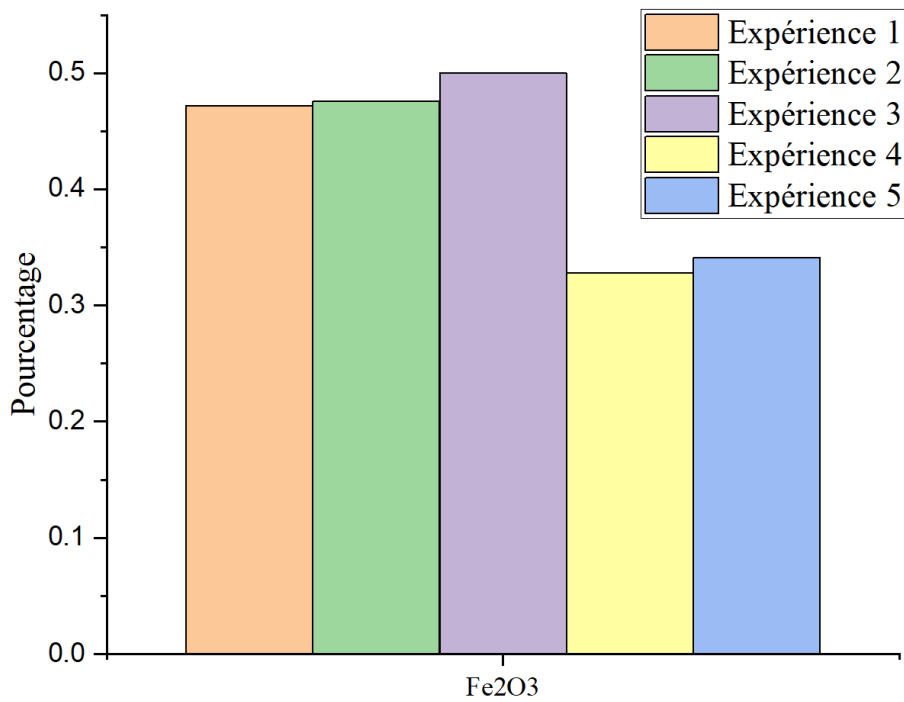


Figure 45 : Diagramme à bande de comparaison des résultats d'analyse chimique de l'oxyde de fer pour les expériences.

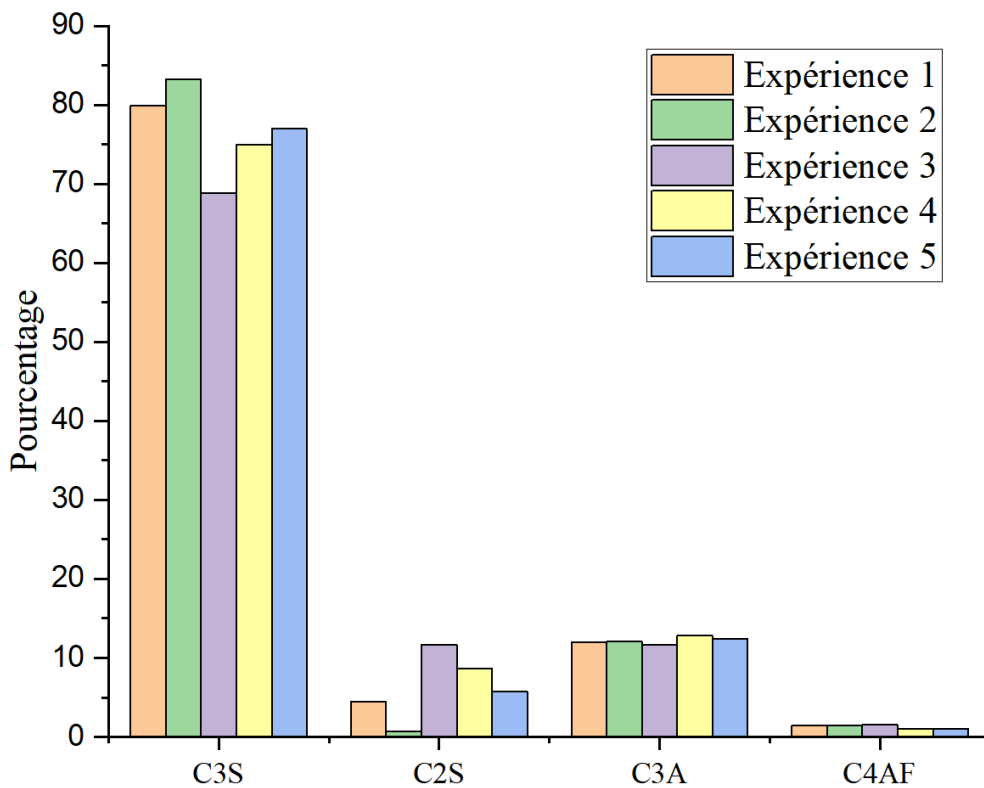


Figure 46 : Diagramme à bande de comparaison des résultats d'analyse chimique constituants de clinker pour les expériences.

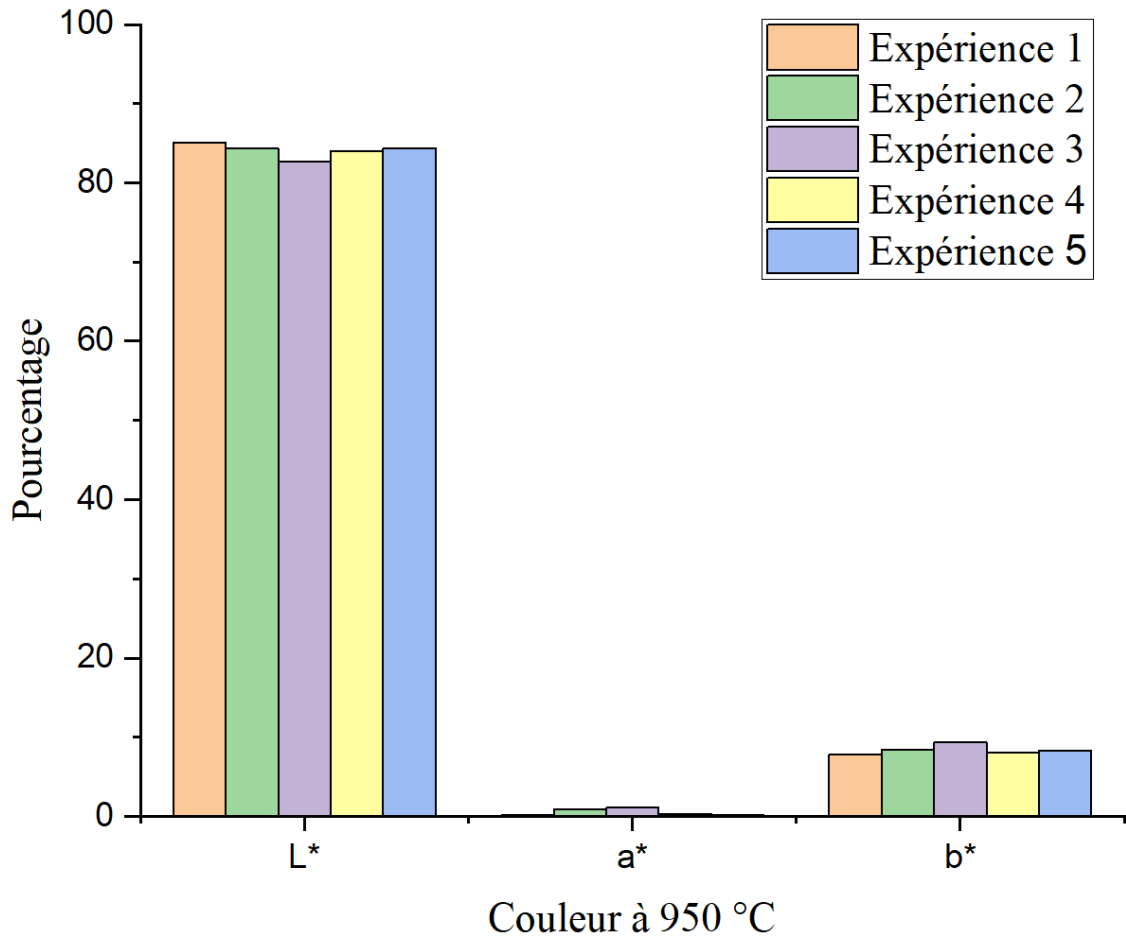


Figure 47 : Diagramme à bande de comparaison des résultats d'analyse de blancheur pour les expériences.

IV.3 Discussion

Avec les matières locaux que nous avons utilisés on a trou que:

La première expérience nous a donné le meilleur résultat par rapport aux expériences (2 et 3) sachant que c'est trois expériences ont des résultats rapprochés

Pour l'expérience 4 où utiliser le kaolin importé on a obtenu le meilleur résultat.

L'expérience 5 (mélangé entre le kaolin local et importé) son résultat est acceptable et le plus rapproché à l'expérience 4.

Conclusion générale

Grace aux études des éléments et des méthodes de préparation de ciment blanc qu'on a fait et les informations collecter on a arrivé à faire le calcule RAW MIX DESIGN, ce dernier est la clé de base pour étudier et préparer la farine crue pour obtenir le ciment blanc.

Les résultats obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- L'efficacité du calcule RAW MIX DESIGN dans le domaine pratique et presque identique aux résultats théoriques.
- Le très faible pourcentage d'oxydes métalliques (fer, manganèse et chrome) aide à obtenir la couleur blanche du ciment.
- Un pourcentage élevé de C3S aide à la résistance initiale à 28 jours.
- Un pourcentage élevé de C3A confère au ciment une très bonne résistance initiale de 1 ou 2 jour de durcissement.
- On peut travailler avec le kaolin local seul, et en cas où on trouve un manque de sa pureté on peut améliorer la qualité de la farine crue avec le kaolin importé.
- Il est possible dès le début de mélanger le kaolin importé et locale pour réduire les coûts et maintenir la qualité du produit.
- On souhaite d'obtenir des meilleurs résultats sur la ligne de fabrication par ce que le terrain a des conditions plus favorable par rapport ou laboratoire.

Références Bibliographiques

- [1] <https://optolov.ru/fr/dizajjn-vannojj/chem-otlichaetsya-belyi-cement-serogo-belyi-cement-osnovnye-proizvoditeli-i.html> 00:06 04/07/2022.
- [2] Bounif Abderrahmane, « Valorisation des déchets générés par l'usine en recyclage interne (BISKRIA Cimenterie) », Mémoire de master en Génie des procédés de l'environnement, Université Mohamed Khider de Biskra, faculté des sciences et de la technologie, département de chimie industrielle, 2019/2020.
- [3] Documentations de l'usine SPA Biskria cimenterie.
- [4] Manuel de conduite cimenterie de Beni Saf (Creusot-Loire entreprise 1978)
- [5] MEBARKI Henen, « Étude comparative des clinkers de l'ouest Algérien : Analyse physicochimique et Applications ». Mémoire de master en Chimie, Université Abdo Bekr Belkaid Tlemcen 2012/2013.
- [6] 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.
- [7] Bounabe Ayache B., « Automatisation du stackeur et le moteur four ». Rapport de stage à ERCE et SCHB, Université de Paul Cézanne Aix Marseille 3.
- [8] Elodie Romilliat, « Étude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker. Génie de procédés », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Université Jean Monnet de Saint-Etienne. N° d'ordre : 396 GP, France, 20 janvier 2006.
- [9] ANNABA Khadija, « Impact du chlore sur le processus de la cuisson », Master Sciences et Techniques GMP, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques- Fès, 2015/2016.
- [10] Dreux G., Festa J., Nouveau guide du béton et de ses constituants. 8e éd., Eyrolles, 1998.
- [11] : MOURAH Mohamed El Amine, « L'effet de pouzzolane sur les comportements mécaniques de mortier », Mémoire de Licence, Université AKLI MOHAND OULHADJ, Algérie, 2018.

- [12] BITAR Zeyneb, « Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux (calcaire) sur le comportement mécanique du mortier », Mémoire de Master, Université MOHAMED BOUDIAF, Algérie, 2016.
- [13] Document de laboratoire physique de BISKRIA CIMENT.
- [14] ADELLI Kamal, « Influence des laitiers sur la microstructure des bretons à l'état frais et durci », Thèse de Magister, Université Science Technologie Houari Boumediene, Algérie, 2010.
- [15] ZENNOUCHE Abdenour, BENMAHFOUD Chouaib, « Compatibilité ciment au laitier-super plastifiants. Application à l'étude du comportement rhéologique et physicomécanique des BAP », Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara, Algérie, 2016.
- [16] <https://www.febelcem.be/fr/ciment-applications/les-differents-ciments/> 23:52
18/03/2022
- [17] Nicolas HYVERT, « Application de l'approche probabiliste à la durabilité des produits préfabriqués en béton », Thèse de doctorat en génie civil, Université Paul Sabatier – Toulouse III 2009.
- [18] GHERMAOUI Amina, « Effets de certains métaux sur les propriétés physico-chimiques des mortiers de ciment de Béni-Saf sans ou avec ajout de pouzzolane ». Mémoire de master en Chimie, Université Abdo Bekr Belkaid Tlemcen 2014/2015.
- [19] Taylor H.F.W., Cement Chemistry. 2nd ed., London, Thomas Telford, 1997.
- [20] BOGUE R. H., La chimie du ciment portland. Paris : Editions Eyrolles, 1952.
- [21] <http://www.cbm.co.ma/definition-du-ciment-blanc/> 11:24 29/03/2022
- [22] <http://www.cbm.co.ma/fabrication-de-ciments-blancs/> 11:44 29/03/2022
- [23] <http://charef.canalblog.com/archives/2006/12/12/3412851.html> 13:25 29/03/2022
- [24] KHANOUS. A : «Optimisation du taux de calcaire pour la production d'un nouveau ciment blanc 42,5n». Mémoire pour l'obtention du diplôme de master professionnel département de génie des matériaux. Université des sciences et de la technologie d'oran 2013/2014.
- [25] CHOUIKH Fethi, « étude physicochimique du ciment », Université De Jijel Algérie, ingénieur d'état en génie des matériaux 2006/2007.

- [26] BLIZAK Ahmed Khalil, « Influence de sable mixte sur les propriétés du micro béton au ciment blanc », Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Département de génie civil 2016.
- [27] <https://fr.scribd.com/document/492427380/ciment-blanc> 16:12 03/06/2022
- [28] La norme européenne NF EN 197-1.
- [29] La norme égyptienne Es.1031-6/2000.
- [30] BELKHIR Zakaria et DEFAF Noureddine, « Micro béton adjuvanté au ciment blanc avec polystyrène », Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, Département de génie civil 2017.
- [31] La norme belge NBN B 12-109:2020.