



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

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**  
**Filière : Sciences et Génie de l'environnement**  
**Spécialité : Génie des procédés de l'environnement**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**ARIDJ ABDERRAHMANE**

Le : lundi 28 septembre 2020

## **Impact de la minéralogie de clinker sur la broyabilité et les performances des broyeurs ciment**

---

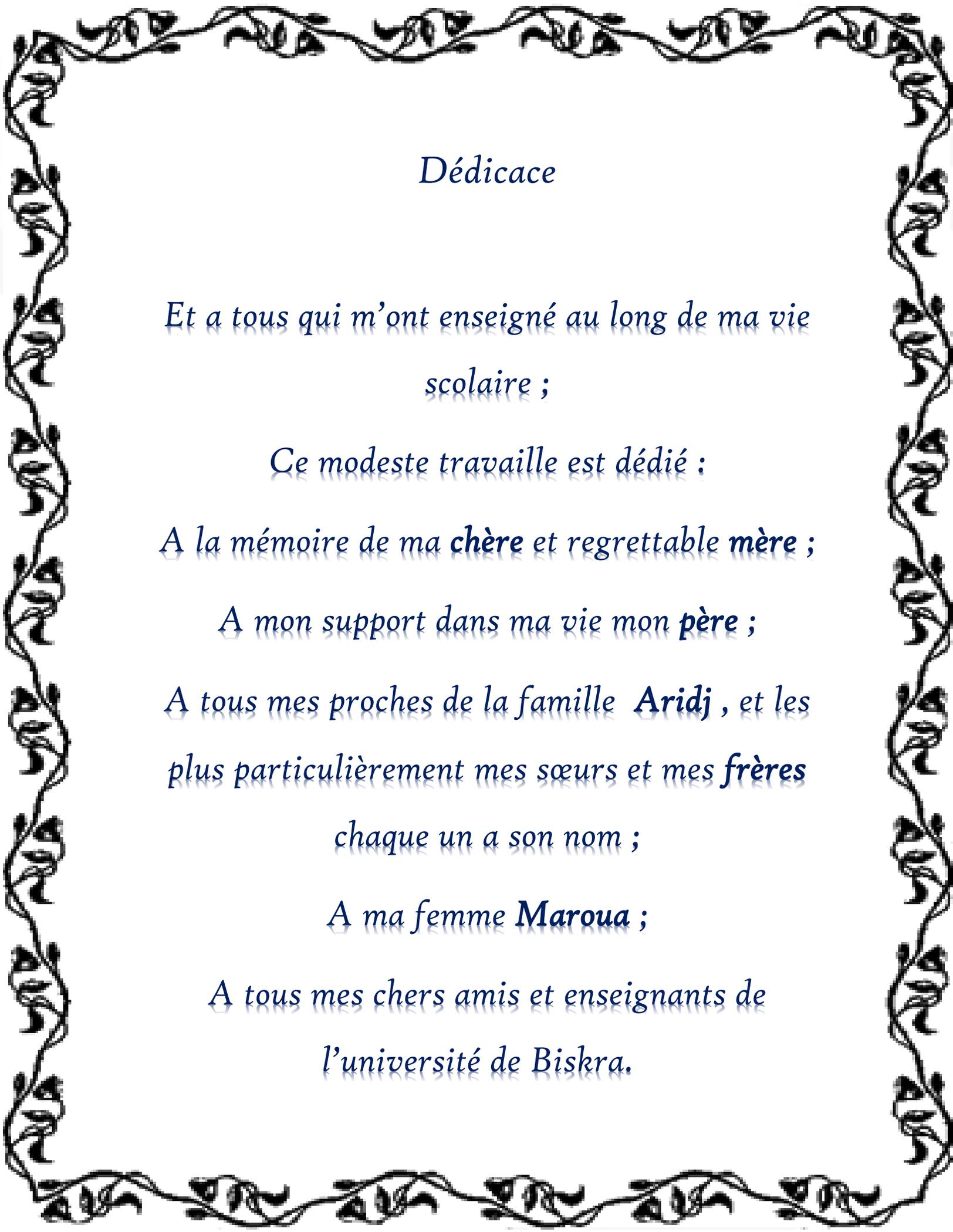
### **Jury :**

Dr.	Fadel Ammar	<b>MCA</b>	Université de Biskra	Président
Dr.	Adjal Fatima	<b>MCA</b>	Université de Biskra	Examinatrice
Dr.	Djebabra Sihem	<b>MCB</b>	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2019 - 2020

# *Remerciement*

- *Je remercie Dieu le tout Puissant qui m'a donné la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*
- *Je tiens à remercier en premier lieu **M<sup>me</sup> S.Djebabra** d'avoir accepté d'être mon encadreur durant ce travail, et pour la confiance qu'elle m'a donnée et ses précieux conseils.*
- *Mes remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté de juger mon travail **Mr A .Fadel et M<sup>me</sup> F .Adjal**.*
- *Je remercie chaleureusement les travailleurs de l'usine Biskria Cimenterie, qui m'a ouvert leurs portes et donné l'opportunité de réaliser ce projet et plus particulièrement l'ingénieur **Mr A.kherchi et Samir, Housem, Khaled**, et toute l'équipe de performance, et à tous ceux qui m'ont aidé durant mon stage pratique.*
- *Je conclurai, en remerciant vivement toute ma famille qui m'a toujours supporté moralement et financièrement pendant toutes mes longues années d'étude.*

A decorative border of black and white floral motifs, including leaves and small flowers, framing the entire page.

## *Dédicace*

*Et a tous qui m'ont enseigné au long de ma vie  
scolaire ;*

*Ce modeste travaille est dédié :*

*A la mémoire de ma **chère** et regrettable **mère** ;*

*A mon support dans ma vie mon **père** ;*

*A tous mes proches de la famille **Aridj** , et les  
plus particulièrement mes **sœurs** et mes **frères**  
chaque un a son nom ;*

*A ma femme **Maroua** ;*

*A tous mes chers amis et enseignants de  
l'université de Biskra.*

## التلخيص

الإسمنت مادة أساسية للبناء، ومستخدم رئيسي في جميع أنحاء العالم، ركزت الدراسات على تقييم الإسمنت كمية ونوعية، الجزء الأساسي في إنتاج الإسمنت هو إنتاج الكلينكر، ويتم الحصول عليه عن طريق حرق مزيج من الطين والحجر الجيري.

تم دراستنا على معرفة الخصائص المعدنية للكلينكر المحروق الذي يدخل للمطحنة وكيف يؤثر على أدائها لاستخراج إسمنت جيد.

قمنا بأخذ عينات مختلفة من الكلينكر وأجرينا عليها التحاليل الكيميائية لمعرفة خصائصها المعدنية والخلط مع الجبس الثابت، لينتج مجموعة مختلفة من الإسمنت سي ار اس، ونقوم بتحليلها فيزيائياً ونرى قوتها (مقاومتها).

## Résumé

Le ciment est un matériau de construction essentiel, Il est principalement utilisé dans le monde entier, Les études se sont concentrées sur l'évaluation de la quantité et de la qualité du ciment, La plupart de la production de ciment est la production de clinker, Il est obtenu en brûlant un mélange d'argile et de calcaire.

Nos études sont menées pour découvrir les propriétés minérales du clinker cuit qui entre dans le broyeur et comment cela affecte les performances du broyeur pour extraire le ciment fin.

Nous avons prélevé différents échantillons du clinker et analysé les propriétés chimiques du clinker et l'avons mélangé avec le gypse fixé, Pour produire un autre lot de ciment CRS, nous faisons une analyse physique et voyons sa force (résistance).

## Abstract

Cement is an essential building material, It is mainly used around the world, studies have focused on assessing the quantity and quality of cement, most of the cement production is the production of clinker, It is obtained by burning a mixture of clay and limestone.

Our studies are being conducted to find out the mineral properties of the fired clinker that enters the mill and how this affects the performance of the mill to extract fine cement.

We took different samples of the clinker and analyzed the chemical properties of the clinker and mixed it with the fixed gypsum, To produce another batch of CRS cement, we do a physical analysis and see its strength (resistance).

## SOMMAIRE

<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>III</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>

### Chapitre I

#### Généralité sur la fabrication du ciment

<b>I.1. La définition du biskria ciment.....</b>	<b>3</b>
I.1.1. Les services.....	3
I.1.2. les produits.....	4
<b>I.2. Constituants de base du ciment.....</b>	<b>5</b>
I.2.1. Matières premières.....	5
I.2.1.1. Calcaire.....	5
I.2.1.2. Argile.....	6
I.2.2. Matériaux de correction.....	7
I.2.2.1. Minerai de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).....	7
I.2.2.2. Bauxit.....	7
I.2.2.3. Sable.....	8
I.2.2.4. Le gypse.....	8
I.2.3. Les matières secondaires (Ajouts).....	9
I.2.3.1. Pouzzolane.....	9
I.2.3.2. Le laitier.....	10
I.2.3.3. Les cendres volantes (V et W).....	10
I.2.3.4. Les schistes calcinés.....	11
I.2.3.5. Fillers.....	11
I.2.4. Produit semi-fini .....	12
<b>I.3. Méthodes de fabrication du ciment.....</b>	<b>12</b>
I.3.1. Principe de fabrication.....	12
I.3.2. Fabrication du ciment par voie humide.....	13

I.3.3. Fabrication du ciment par voie sèche.....	13
I.3.3.1. Carrière.....	14
I.3.3.1.1. Extraction.....	14
I.3.3.1.2. Concassage.....	15
I.3.3.2. Le Stockage de matière première.....	15
I.3.3.3. Pré-homogénéisation.....	16
I.3.3.4. Broyage cru.....	16
I.3.3.5. Homogénéisation.....	17
I.3.3.6. Préchauffage.....	17
I.3.3.7. Four rotatif.....	18
I.3.3.8. Refroidisseur .....	19
I.3.3.9. Stockage du clinker.....	19
I.3.3.10. Broyage ciment.....	20
I.3.3.11. Stockage ciment.....	20
I.3.3.12. Expédition.....	20
I.4. Classification normalisée des ciments.....	21

## Chapitre II

### Méthodes d'analyse et Contrôle de qualité

II.1. Méthode chimique .....	23
II.1.1. Attaque par fusion alcaline .....	23
II.1.2. Attaque par acide .....	23
II.1.2.1. Dosage pour la détermination des oxydes .....	24
II.1.2.1.1. Détermination de l'oxyde de calcium (CaO).....	24
II.1.2.1.2. Détermination de l'oxyde de magnésium (MgO).....	24
II.1.2.1.3. Détermination de l'oxyde de fer (FeO <sub>3</sub> ).....	24
II.1.2.1.4. Détermination de l'oxyde de l'alumine (AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	24
II.1.2.1.5. Détermination de la silice (SiO <sub>2</sub> ).....	25
II.1.2.1.6. Détermination de la chaux libre (CaO <sub>L</sub> ).....	26
II.1.2.1.7. Détermination de la perte eu feu (PAF).....	26
II.1.2.1.8. Détermination du pourcentage de SO <sub>3</sub> .....	26

---

II.1.2.1.9. Détermination des résidus insolubles .....	26
II.1.2.1.10. Détermination de la teneur des alcaline ( $K_2O$ et $Na_2O$ ).....	27
II.2. Méthode physique .....	29
II.2.1. Mesure de la surface spécifique par la méthode Blaine .....	29
a. But.....	29
b. Principe.....	29
c. Appareillage.....	29
d. Mode opératoire.....	29
II.2.2. Mesure de la densité .....	30
a. Mode opératoire.....	30
II.2.3. Détermination du pourcentage des refus .....	31
a. But.....	31
b. Mode opératoire.....	31
II.2.4. la consistance normale .....	31
II.2.4.1. Définition .....	31
II.2.4.2. Pâte normale .....	32
II.2.4.3. préparation de la pâte .....	32
II.2.4.4. vérification de la consistance normale .....	33
II.2.5. Essais de prise .....	34
II.2.5.1. Définition .....	34
II.2.5.2. principe .....	34
II.2.5.3. Débit de prise .....	34
II.2.5.4. Fin de prise.....	34
II.2.6. Essais d'expansion.....	35
II.2.6.1. Définition .....	35
II.2.6.2. Mode opératoire .....	35
II.2.7. Essais mécanique (flexion – compression) .....	35
II.2.7.1. Définition .....	35
II.2.7.2. Préparation de mortier normale .....	36

## Chapitre III

### Méthodes d'essais et interprétation de résultats

III.1. Méthodes d'essais .....	39
III.1.1. Production farine .....	39
III.1.2. Production ciment .....	40
III.1.3. Analyse de clinker et ciment .....	41
III.1.3.1. Stabilité d'analyse chimique de clinker .....	41
III.1.3.2. Rapport chimique et minéralogique de ciment.....	42
III.1.3.3. Rapports physique de ciment .....	43
a. Refus.....	43
b. Surface Spécifique Blaine SSB .....	44
III.1.4. Résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression .....	44
III.2. Interprétation des résultats.....	45
III.2.1. Perte au feu (PAF) .....	45
III.2.2. Chaux libre (CaO <sub>L</sub> ).....	46
III.2.3. Trioxyde de soufre (SO <sub>3</sub> ).....	46
III.2.4. Poids en litre (P.L) .....	47
III.2.5. Résistance à la compression en fonction C <sub>3</sub> S.....	47
III.2.6. Refus .....	47
III.2.7. Surface Spécifique de Blaine (SSB) .....	48
III.2.8. Résistances à la compression en fonction des jours .....	49
CONCLUSION GENERALE.....	51
REFERENCES.....	53

---

---

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I

#### Généralité de fabrication du ciment

<b>Figure I.1</b> : Les différents types de ciment produit par biskria ciment.....	5
<b>Figure I.2</b> : calcaire.....	6
<b>Figure I.3</b> : Argile.....	7
<b>Figure I.4</b> : minerai de fer.....	7
<b>Figure I.5</b> : bauxit.....	8
<b>Figure I.6</b> : Sable.....	8
<b>Figure I.7</b> : gypse.....	9
<b>Figure I.8</b> : Pouzzolane.....	9
<b>Figure I.9</b> : laitier .....	10
<b>Figure I.10</b> : clinker.....	12
<b>Figure I.11</b> : schéma fabrication du ciment.....	13
<b>Figure I.12</b> : schéma fabrication par vois sèche.....	14
<b>Figure I.13</b> : carrière.....	14
<b>Figure I.14</b> : concasseur .....	15
<b>Figure I.15</b> : polaire.....	15
<b>Figure I.16</b> : Pré-homogénéisation.....	16
<b>Figure I.17</b> : broyeur de cru (VRM).....	16
<b>Figure I.18</b> : silos homo.....	17
<b>Figure I.19</b> : Préchauffage.....	18
<b>Figure I.20</b> : four rotatif.....	18
<b>Figure I.21</b> : refroidisseur.....	19
<b>Figure I.22</b> : silos clinker.....	19
<b>Figure I.23</b> : broyage de ciment (VCM).....	20
<b>Figure I.24</b> : Expédition.....	20

### Chapitre II

#### Méthodes d'analyse et Contrôle de qualité

<b>Figure II.1</b> : Pastilleuse .....	27
----------------------------------------	----

<b>Figure II.2</b> : Analyseur.....	27
<b>Figure II.3</b> : Appareil de Blaine.....	28
<b>Figure.II.4</b> : l'entonnoir.....	29
<b>Figure.II.5</b> : les tamis de 90 $\mu$ et de 45 $\mu$ .....	30
<b>Figure.II.6</b> : Appareil alpine.....	30
<b>Figure.II.7</b> : Appareil de Vicat.....	31
<b>Figure.II.8</b> : l'appareil de Vicat (auto).....	31
<b>Figure.II.9</b> : le malaxeur.....	32
<b>Figure.II.10</b> : l'aiguille de Vicat .....	33
<b>Figure.II.11</b> : Aiguille le Chatelier.....	33
<b>Figure.II.12</b> : Balance sensible.....	34
<b>Figure.II.13</b> : Malaxeur automatique.....	34
<b>Figure.II.14</b> : Sable.....	35
<b>Figure.II.15</b> : Moule cubique et prismatique.....	35
<b>Figure.II.16</b> : Appareil choc .....	35
<b>Figure.II.17</b> : Moule préparé.....	35
<b>Figure.II.18</b> : Chambre humide.....	35
<b>Figure.II.19</b> : Appareil de flexion et compression.....	35

### **Chapitre III**

#### **Méthodes d'essais et interprétation de résultats**

<b>Figure III.1</b> : Diagramme de la PAF à chaque échantillons .....	43
<b>Figure III.2</b> : Diagramme de la chaux libre à chaque échantillon.....	44
<b>Figure III.3</b> : Variation de SO <sub>3</sub> .....	44
<b>Figure III.4</b> : Variation de la densité.....	45
<b>Figure III.5</b> : Courbe de résistance à la compression en fonction C <sub>3</sub> S.....	45
<b>Figure III.6</b> : Courbe de refus.....	46
<b>Figure III.7</b> : Variation de finesse de blaine.....	46
<b>Figure III.8</b> : Courbe de résistance à la compression en fonction C <sub>3</sub> S.....	47

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I.1</b> : Composition chimique du laitier granulé.....	10
<b>Tableau I.2</b> : Composition chimique moyenne des cendres de houille.....	11
<b>Tableau III.1</b> : Analyse chimique de production farine .....	39
<b>Tableau.III.2</b> : Les modules caractéristiques de farine.....	39
<b>Tableau.III.3</b> : Exemple d'analyse chimique de production ciment.....	40
<b>Tableau.III.4</b> : Analyse chimique des échantillons du clinker.....	42
<b>Tableau.III.5</b> : Analyse chimique des échantillons du ciment.....	42
<b>Tableau.III.6</b> . Analyse de minéralogie des échantillons du ciment.....	43
<b>Tableau.III.7</b> : Refus de mes échantillons ciments.....	44
<b>Tableau.III.8</b> : surface spécifique Blaine des 7 échantillons.....	44
<b>Tableau.III.9</b> : Résistance à la flexion en MPa.....	45
<b>Tableau.III.10</b> : Résistance à la compression en MPa.....	45

# *Introduction Générale*

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'industrie du ciment occupe une place dominante dans l'économie de tous les pays du monde. C'est un matériau essentiel pour la construction dans tous les domaines. Le développement de la production de ciment progresse chaque année, notamment dans les pays en développement.

En Algérie, la production de ciment est une industrie majeure et l'état a accepté des investissements majeurs dans ce secteur. L'industrie du ciment met à disposition de l'utilisateur un grand nombre de ciments aux propriétés adaptées aux domaines de travail. Les exigences climatiques et la résistance aux facteurs agressifs tels que les sels et l'humidité sont les contrôles dans le choix de ciment le plus approprié.

Le ciment est un liant hydraulique, capable de se stabiliser lorsqu'il est mélangé avec l'eau, formant une pâte de préparation et durcissant progressivement dans le temps, du fait du mouillage de certains composants minéraux, notamment les silicates, aluminates et calcium.

L'objectif de ce travail est d'étudier le clinker minéral et son effet sur le processus de broyage et la qualité du ciment.

Outre l'introduction générale et la conclusion générale, ce travail est organisé en quatre chapitres:

➤ **Chapitre I : Généralité sur fabrication du ciment**

Dans le premier chapitre, nous avons présentés une étude complète sur la façon de fabrication, les méthodes et les matériaux utilisés pour obtenir le produit à extraire.

➤ **Chapitre II : Méthodes d'analyse et Contrôle de qualité**

Dans ce chapitre, nous avons fait des analyses physico-chimiques pour surveiller le produit selon les normes NA-442.

➤ **Chapitre III : Méthodes d'essais et interprétation des résultats**

Ce chapitre comprend les travaux appliqués en usine, les expériences approuvées, la présentation et la discussion des résultats obtenus.

# *Chapitre I*

## *Généralité sur la fabrication du ciment*

L'Algérie est un marché d'importance stratégique pour la société Biskria Ciment dans le bassin méditerranéen. Le secteur de la construction en Algérie a reconnu une croissance importante depuis l'an 2000, ce qui a déclenché la nécessité en matériaux de construction et solutions constructives.

Le but de la société Biskria Ciment est d'améliorer l'efficacité au niveau du développement socio-économique en Algérie, et conforter son avantage concurrentiel au niveau national et international ;

Notre objectif en premier lieu consiste à satisfaire le marché national d'un produit local tout en permettant un accès stable aux matériaux de construction en termes de qualité, de choix, de services à des prix abordables. Et en deuxième lieu d'ouvrir des marchés internationaux [1].

## **I.1. La définition du Biskria Ciment**

La société BISKRIA CIMENT est une entreprise de fabrication et ventes des ciments au capital social : 870.000.000,00 DA.

### **I.1.1. Les services**

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

- 1- Secteur administratif : contient de service administratif pour gérer la société.
- 2- Secteur industriel : contient les trois lignes de production d'une capacité de 4 million T/an.
- 3- Secteur commerciale : contient le service de vente et d'expédition.

### **I.1.2. 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 :

➤ **CEM II/A 42,5 NA 442**

**Composition :**

- 80% à 94% de clinker (K).
- 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.

➤ **CEM II/B 32,5 NA 442**

**Composition :**

- 65% à 79% de clinker (K).
- 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.

➤ **CEM I 42,5-ES NA 443**

**Composition :**

- Au moins 95 % de clinker (K).
- Ajouts : la proportion de constitutions secondaires est limitée à 05%.

➤ **CEM IV/A-SR 42.5 NA 443**

**Composition :**

- 65% à 79% de clinker (K).
- Complément à 100% pouzzolane (Z)
- Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

➤ **CEM III/B-SR 42.5 NA 443**

**Composition :**

- 20% à 34% de clinker (K).

- Complément à 100% laitier (S)
- Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise [1].



Figure I.1 : Les différents types de ciment produit par biskria ciment

## I.2. Constituants de base du ciment

### I.2.1. Matières premières

Les matières premières nécessaires à la fabrication du ciment sont le calcaire et l'argile à des proportions variées. Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage [2].

#### I.2.1.1. Calcaire

Le calcaire est généralement extrait de la carrière. Il peut rentrer dans des proportions allant jusqu'à 75 % de la masse totale du mélange cru.

Le calcaire est formé essentiellement de calcite qui peut contenir plus de 99,9 % de  $\text{CaCO}_3$ .

On classe les calcaires comme suit :

- **Calcaire dur**

On attribue ce nom au calcaire contenant un minimum 80 % de  $\text{CaCO}_3$  et un maximum de 5 % de  $\text{MgCO}_3$ . Les calcaires durs sont imperméables à l'eau.

- **Calcaire mou (craie)**

Le calcaire mou contient un maximum de 90 % en  $\text{CaCO}_3$ .

Les calcaires mous sont perméables à l'eau, et poreux [3].



**Figure I.2 :** Le calcaire

### I.2.1.2. L'Argile

L'argile recouvre toutes les petites particules formées par les processus d'érosion ou d'altération des roches, c'est-à-dire aussi bien du sable ( $\text{SiO}_2$ ), des oxydes (comme l'oxyde ferrique  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  qui donne la couleur rouge à certains sols), des carbonates comme la calcite, que tout autre minérale. Les argiles sont de bons catalyseurs [3].



Figure I.3 : L'Argile

### I.2.2. Matériaux de correction

Malgré la grande diversité de matériaux siliceuse et calcaire, la cimenterie doit parfois introduire d'autre composant dans le mélange cru :

- Pour combler un déficit des matériaux en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- Pour fabriquer un ciment de composition particulière tel que le ciment blanc ou à prise rapide, on a recours aux matériaux de correction [4].

#### I.2.2.1. Minerai de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Les sources sont les résidus de grillage de pyrite pour la fabrication de l'acide sulfurique, les poussières récupérées des hauts fourneaux ou des convertisseurs en métallurgies [4].



Figure I.4 : Minerai de fer

### I.2.2.2. Bauxit

Est une roche latéritique blanche, rouge ou grise, caractérisée par sa forte teneur en alumine  $Al_2O_3$  et en oxydes de fer. Cette roche constitue le principal minerai permettant la production d'aluminium. Elle se forme par altération continentale en climat chaud et humide.

De structure variée, elle contient dans des proportions variables des hydrates d'alumine, de la kaolinite, de la silice et des oxydes de fer qui lui confèrent souvent une coloration rouge [5].



**Figure I.5 :** Bauxit

### I.2.2.3. Sable

Le sable est fait de grains minéraux tous petits (pas plus de deux millimètres). C'est de la roche effritée par l'érosion [6].



**Figure I.6 :** Le Sable

### I.2.2.4. Le gypse

Est une espèce minérale composée de sulfate di hydraté de calcium de formule  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . 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 [7].



**Figure I.7 :** Le gypse

### **I.2.3. Les matières secondaires (Ajouts)**

#### **I.2.3.1. Pouzzolane**

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédants des propriétés liantes. Les normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments :

- **pouzzolane naturelle**

Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Elle peut être d'origine volcanique: verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire: terre à diatomées, diatomites.

- **Pouzzolane artificielle**

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement: argiles, schistes, latérite, bauxite et moler [6].



**Figure I.8 :** Pouzzolane

### I.2.3.2. Le laitier

Le laitier est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidie par aspersion d'eau. C'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50% et entre 12 et 30% d'alumine ainsi que de la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités. Tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le ciment portland et craint donc d'avantage la dessiccation. Par contre, il résiste mieux à l'action destructrice des sulfates, à la dissolution de la chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique.

Le tableau I.1. Donne la composition d'un laitier [8].

**Tableau 1.1 :** Composition chimique du laitier granulé [8].

Eléments	Pourcentage (%)
CaO	40- 50
SiO <sub>2</sub>	26- 32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12- 20
MgO	2- 6



**Figure I.9 :** Le laitier

### **I.2.3.3. Les cendres volantes (V et W)**

Les cendres volantes sont des produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques et peuvent être :

- Siliceuses (V) : présentent des propriétés pouzzolaniques c'est-à-dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante et faisant prise et durcissent par hydratation.

- Calciques (W) : outre leurs propriétés pouzzolaniques, peuvent présenter des propriétés hydrauliques.

Les cendres volantes siliceuses (V) sont constituées de silice réactive, entre 40 et 55%, proportion qui ne doit jamais être inférieure à 25%, et d'alumine entre 20 et 30% environ. La proportion de chaux réactive devant être inférieure à 5%.

Les cendres calciques (W), moins souvent utilisées, doivent contenir, quant à elle, une proportion de chaux réactive supérieure à 5% [8].

**Tableau 1.2 :** Composition chimique moyenne des cendres de houille [8].

<b>Elément</b>	<b>Pourcentage</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	50
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	30
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8
<b>CaO</b>	2
<b>Na<sub>2</sub>O+ K<sub>2</sub>O</b>	5

#### I.2.3.4. Les schistes calcinés

Ils sont produits dans un four à 800° C ; ils contiennent des phases de clinker, des petites quantités de chaux libres (CaO) et des sulfates de calcium, ainsi que des oxydes en quantités plus importants.

Ils possèdent de fortes propriétés hydrauliques et pouzzolaniques.

Les schistes calcinés ; finement broyés, doivent avoir une résistance à la compression d'au moins 25 Mpa à 28 jours. Leur expansion doit être inférieure à 10 mm en utilisant un mélange de 30% en masse de schistes calcinés broyés de 70% en masse de ciment de référence [8].

#### I.2.3.5. Fillers

Les fillers (F), sont des matières minérales naturelles ou artificielles, qui améliorent les propriétés physiques des ciments (ouvrabilité ou pouvoir de rétention d'eau). Ils sont inertes ou présentent des propriétés faiblement hydrauliques ou pouzzolaniques [8].

#### I.2.4. Produit semi-fini

Le ciment résulte du broyage d'un certain nombre de constituants. Le plus important étant le clinker formé de silicates et d'aluminates de chaux. Montre le clinker dans sa phase cristalline [9].

Dans la zone de clinkérisation du four, les éléments simples (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

- Silicate tricalcique, Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub> ou 3CaO.SiO<sub>2</sub> : C<sub>3</sub>S (Alite).
- Silicate bicalcique, Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> ou 2CaO.SiO<sub>2</sub> : C<sub>2</sub>S (Bélite).
- Aluminate tricalcique, Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub> ou 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : C<sub>3</sub>A.
- Aluminoferrite tetracalcique, Ca<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>10</sub>Fe<sub>2</sub> ou 4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : C<sub>4</sub>AF [9]



**Figure I.10 :** Le clinker

### I.3. Méthodes de fabrication du ciment

#### I.3.1. Principe de fabrication

Le ciment est produit à partir des roches facilement accessibles: calcaire, craie, marbre et argile. De façon générale, un mélange renfermant environ 80% de calcaire et 20% d'argile. Le mélange, finement broyé, est porté à 1450°C dans un four rotatif pour produire le clinker. Le ciment résulte d'un broyage très fin de clinker. Lors de la phase de broyage, du gypse (5%) est ajouté pour mieux maîtriser le temps de prise. A ce niveau, éventuellement d'autres constituants minéraux associés, parmi ces substances figurent la pouzzolane naturelle, le laitier de haut fourneau, le calcaire, les cendres volantes [10].

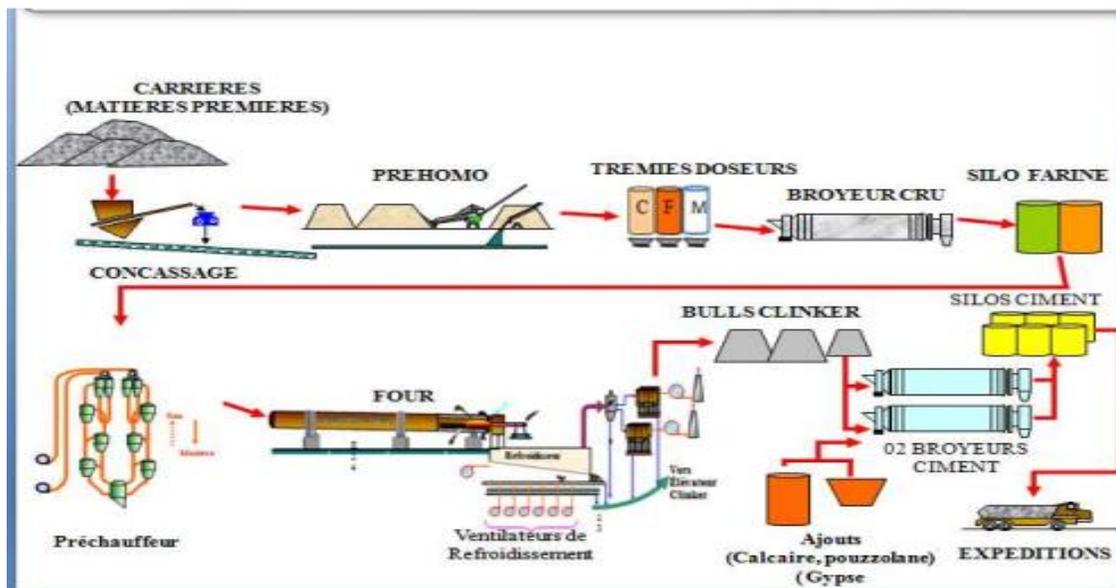


Figure I.11 : Schéma de fabrication du ciment

#### I.3.2. Fabrication du ciment par voie humide

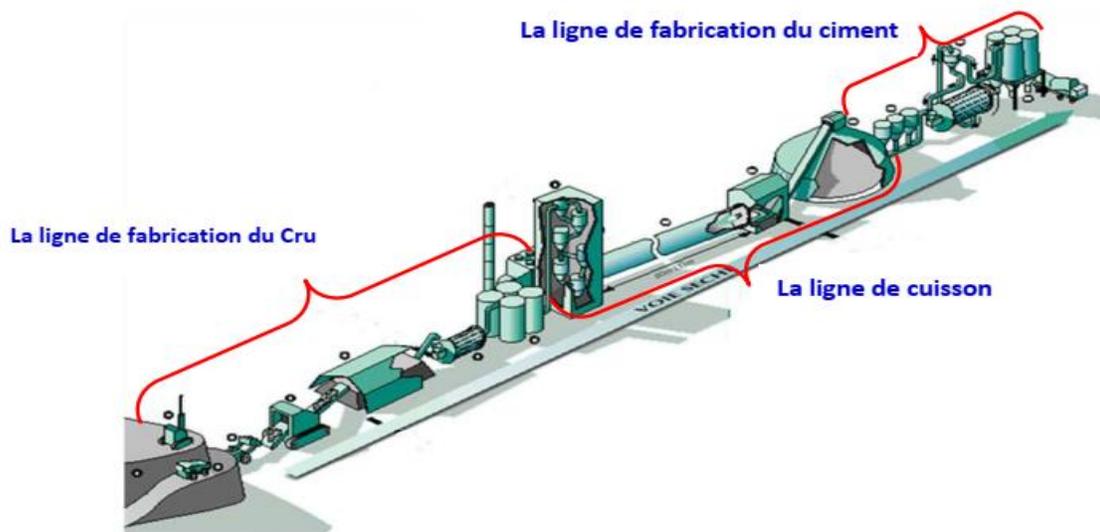
Le cru est transformé en une pâte fluide par adjonction d'eau (entre 30 et 40% d'eau) avant d'entrer dans le four, il s'agit de la technique la plus simple mais aussi de la plus consommatrice en énergie puisqu'il faut évaporer l'eau lors de la cuisson [11].

#### I.3.3. Fabrication du ciment par voie sèche

Le cru entre dans le four sous forme de poudre, cette technique est aujourd'hui utilisée quasiment tout le temps car plus économe.

Le processus de cuisson ne variant qu'assez peu selon la voie utilisée, on se concentrera sur la voie sèche qui est la plus utilisée.

Les fours utilisés pour l'obtention du clinker (en anglais : scories) sont de forme cylindrique, ils tournent lentement à 2 ou 3 tours par minute et sont longs d'environ 100 mètres (leur longueur est plus importante si la voie humide est utilisée) et de diamètre environ 5 mètres. Ils sont légèrement inclinés par rapport à l'horizontale de telle sorte que le cru entre par la partie la plus haute du four. Le brûleur est situé au fond du four et produit une flamme à environ 2000°C. Il s'établit un gradient thermique entre l'entrée du four et la sortie de celui-ci de 800°C à 1500°C environ. Avant d'entrer dans le four, le cru sous forme de poudre traverse un échangeur de chaleur dans lequel circulent en sens inverse les gaz très chauds qui s'échappent du four. Le cru est donc préchauffé à une température d'environ 800°C quand il atteint le début du four. La durée de séjour dans le four est d'environ une demi-heure [11].



**Figure I.12** : Schéma de fabrication du ciment par voie sèche

### I.3.3.1. Carrière

#### I.3.3.1.1. Extraction

Les gisements calcaires et argiles naturels (comme les roches calcaires, les marnes, la craie et l'argile) fournissent les matières premières. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine présents dans différents minerais et minéraux peuvent être ajoutés pour assurer une même qualité du mélange indépendamment de la qualité de la matière première. Les cendres de centrales thermiques, les

laitiers de hauts fourneaux et autres résidus industriels peuvent également être utilisés comme substituts partiels des matières premières naturelles.

Par abattage à l'explosif ou par ripage au bulldozer, les matières premières sont extraites des parois rocheuses de la carrière à ciel ouvert. Les blocs sont repris par dumpers ou bande transporteuse vers un atelier de concassage et réduits dans en éléments d'une dimension maximale de 50 mm [12].



**Figure I.13 : La Carrière**

#### **I.3.3.1.2. Concassage**

Les matières sont concassées en carrière (1800 m environ du site de l'usine) au début de 1200 t/h pour une granulométrie finale de 0 à 25 mm [7].

Les pierres arrivent généralement à l'usine en gros blocs et avec leur humidité de carrière, et il faut d'abord les concasser, puis les sécher, ou au contraire les délayer, avant de les passer au broyeur. Pour choisir le type et les dimensions des machines, on tiendra compte de la nature et de la grosseur de la pierre, du degré de finesse désiré, et du rendement escompté [13].



**Figure I.14 : Le Concasseur**

### I.3.3.2. Le Stockage de matière première

Après l'opération de concassage de ces trois constituants de base on obtient une granulométrie de 0 à 25 mm, les constituants sont acheminés vers le stock primaire (hall de stockage) par des tapis roulant couverts, pour la pré-homogénéisation : un hall avec un stockage circulaire pour le calcaire et un hall à stockage linéaire pour l'argile et le sable et minerai de fer [12].



Figure I.15 : polaire

### I.3.3.3. Pré-homogénéisation

Le cru est un mélange homogène de calcaire et d'argile ; la minerai de fer et de sable.

Les proportions sont déterminées selon leurs compositions chimiques et sont toujours proche de 75 % de calcaire et 15% d'argile 5 % de fer 3% de sable. Le mélange est broyé en poudre de granulométrie inférieure à 90 microns. La poudre obtenue est homogénéisée par un mélangeur pneumatique (un suppresseur pour la fluidisation et un compresseur pour l'homogénéisation. Le produit obtenu est appelé la farine cru « le CRU » [14].



Figure I.16 : Pré-homogénéisation

#### I.3.3.4. Broyage cru

Le mélange pré-homogénéisé corrigé avec différents ajouts (calcaire pur, fer, bauxite) est broyé dans un broyeur pour l'obtention d'une poudre fine, appelée cru ou farine, prête à la cuisson et stockée dans des silos d'homogénéisation [2].



**Figure I.17 :** Le broyeur de cru (VRM)

#### I.3.3.5. Homogénéisation

La farine crue est homogénéisée dans deux silos d'une capacité unitaire de 10000 T. Pour augmenter l'efficacité de l'homogénéisation les deux silos sont alimentés et soutirés simultanément.

La méthode généralement utilisée pour l'homogénéisation est envoi de l'air en bas de silos permettant de fluidifier la farine [3].



**Figure I.18 :** Le Silos homo

### I.3.3.6. Préchauffage

Les gaz réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et son eau. C'est un échangeur à contre-courant destiné à préchauffer la farine avant son entrée dans le four, en récupérant la chaleur des gaz sortant du four environ égale à 100°C, par le fait que l'argile et le calcaire ont la même densité (2,70 g/cm<sup>3</sup>), un exhausteur monté sur les cyclones aspire les gaz de combustions et le mélange carrière, faisant une tornade qui garantit que tous les grains de la crue subite la chaleur des gazes [14].

Chaque ligne de préchauffeur présente des cyclones jumelés au 1er étage, afin d'assurer une séparation efficace de la farine des gaz de sortie. La farine crue introduite contient encore 1% d'humidité et le courant gazeux dont la température est d'environ 350°C sert au séchage de la farine. Séparée des gaz à chaque traversé de cyclone, la matière est à chaque fois réinsérée à l'étage suivant (au-dessous) et reprise par des gaz de plus en plus chaud donc elle se réchauffe [12].



**Figure I.19** : Le Préchauffage

### I.3.3.7. Four rotatif

Le four rotatif permet d'effectuer la réaction de clinkérisation au cœur de la fabrication du ciment. Il s'agit d'un tube cylindrique de 50 à 90 mètres de long pour un diamètre allant de 3 à 6 mètres. La matière progresse grâce à l'inclinaison et à la rotation du four (1 à 3 tours/minute). En sortie des cyclones, la matière arrive en amont du four. Cette zone permet de porter les matières premières jusqu'à environ 800-900°C, achevant ainsi la décarbonatation du calcaire. La matière progresse alors jusqu'à la zone de clinkérisation correspondant à une température d'environ 1450°C. A cette température les réactions entre la chaux CaO et les oxydes SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> forment des silicates, aluminates et alumino-ferrites de calcium constituant le clinker [15].



**Figure I.20 :** Le Four rotatif

### I.3.3.8. 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 [7].



**Figure I.21 :** Le refroidisseur

### **I.3.3.9. Stockage du clinker**

La manutention du clinker est réalisée par des transporteurs métalliques vers les deux stocks polaires principaux de capacité unitaire de 30000 t un troisième stock de 3000 est réservé pour les incuits.

L'extraction de clinker est assurée par des extracteurs vibrants [7]



**Figure I.22 :** Silos clinker

### **I.3.3.10. Broyage ciment**

Le clinker additionné de gypse ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) comme retardateur de prise avec une proportion qui ne dépasse pas 5% et éventuellement de produit secondaires (pouzzolane, calcaire...) sont broyés dans des broyeurs ciment pour obtenir le produit fini qui est le ciment [2].



**Figure I.23 :** broyage de ciment (VCM)

### I.3.3.11. Stockage ciment

Le ciment fabriqué est ensuite stocké dans des silos et prêt à être vendu soit par sacs ou en vrac [2].

### I.3.3.12. Expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de grandes capacités 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 [13].



**Figure I.24** : Expédition

## I.4. Classification normalisée des ciments

La propriété essentielle des ciments en vue de leur emploi, est de donner un mélange avec l'eau sous forme d'une pâte qui va durcir. Ceci est obtenu grâce au phénomène très complexe de l'hydratation du ciment. L'hydratation du ciment est une somme de réactions chimiques de vitesses variables entre les différents constituants du ciment et l'eau, si bien que l'on observe au bout d'un certain temps une augmentation de la consistance de la prise de ciment, puis progressivement la pâte durcit. Le durcissement est un phénomène de longue durée. Pour essayer les ciments, on a défini conventionnellement un début de prise et une fin de prise. Mais en réalité il s'agit d'un phénomène continu. On distinguera à ce sujet des ciments à prise rapide, demi-lente, ou lente (ciments courants).

Les ciments sont classés en tenant compte de :

Leur composition : Nous avons vu que le ciment portland artificiel (CPA) résulte de la mouture du clinker avec un peu de gypse, mais on peut également ajouter en quantité variable d'autres matières soit inertes, soit plus au moins actives pour obtenir le ciment portland à ajouts (CPJ), les ajouts pouvant être : la pouzzolane, le calcaire, le laitier, le tuf [13].

## Chapitre II

# Méthodes d'analyse et Contrôle de qualité

Dans cette section, nous allons vous montrer les différentes méthodes physiques et chimiques qui sont suivies pour contrôler la qualité du ciment.

## II.1. Méthode chimique

### II.1.1. Attaque par fusion alcaline

L'attaque par fusion alcaline est utilisée uniquement pour la matière non cuite ; c'est-à-dire le cru dont le mode opératoire est le suivant :

- On prend un creuset en platine propre et sec, et on dépose 1g de matière crue puis on ajoute une mesure de carbonate double de sodium (le bicarbonate). On mélange et on couvre avec une deuxième mesure (jouant le rôle d'un fondant), et on remet le couvercle en platine pour éviter de perdre notre matière au cours de la calcination dans le four à la température de 1000 °C pendant 20 minutes.
- Ensuite, on refroidit la base du creuset avec de l'eau distillée et puis on le met dans un bécher de 600 ml et on ajoute 20 ml de l'acide chlorhydrique (HCl) pur et un peu d'eau distillée.
- Une fois la matière enlevée du creuset, le faire sortir en le rinçant. On ajoute 10 ml de HCl et 15 ml d'eau distillée. On met le bécher dans le bain de sable jusqu'à évaporation à sec (le séchage complet) ; mais dans le laboratoire de la cimenterie, ils mettent sur la plaque chauffante pour réduire le temps.
- Enfin, On prépare une fiole de 500 ml et on filtre, et lavé plusieurs fois le filtre.
- Puis on complète la fiole jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée pour le dosage des oxydes qu'ils seront détaillés dans le cas de l'attaque par acide et on recueille le filtre pour avoir la Silice [2].

### II.1.2. Attaque par acide

- On pèse 2g de matière cuite et la faire introduire dans un Becher sec de 500 ml. Ajouter ensuite 10 ml d'acide perchlorique et quelques gouttes d'eau distillée. Avec une baguette, remuer jusqu'à ce que le produit soit bien solubilisé dans l'acide. Mettre l'ensemble sur un bain de sable jusqu'à séchage complet de la solution. On le retire lorsqu' on 'observe plus les fumée blanche qui se dégagent.

- Après séchage complet, on ajoute environ 150 ml d'eau distillée tiède et 10 ml d'acide chlorhydrique pur dans le Becher et on le laisse chauffer sur une plaque chauffante.
- La solution chaude est filtrée dans une fiole jaugée de 500 ml puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge [4].

### II.1.2.1. Dosage pour la détermination des oxydes

#### II.1.2.1.1. Détermination de l'oxyde de calcium (CaO)

- Prendre 50 ml de la solution filtrée dans un bécher, et on ajoute 40 ml de NaOH à 2N pour maintenir un pH entre 12 et 13. On verse ensuite 15 ml de tri-éthanol-amine pour masquer le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . On ajoute une pincée de l'indicateur coloré ; la calcéine qui donne une couleur verte.
- On titre avec E.D.T.A (éthylène diamine tétra acétique) jusqu'au la disparition complète de la couleur verte et l'apparition d'une couleur violette ; soit le volume  $V_{\text{CaO}}$  (ml) de l'E.D.T.A versé.

Le pourcentage du CaO est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{ CaO} = V_{\text{CaO}} \times T_{\text{CaO}}$$

Tel que :

% CaO : Le pourcentage de la chaux.

$T_{\text{CaO}}$  : Titre en CaO.

$V_{\text{CaO}}$ : Le volume d'EDTA nécessaire pour doser le CaO [2].

#### II.1.2.1.2. Détermination de l'oxyde de magnésium (MgO)

- On prend 50 ml de la même solution, on lui ajoute 20 ml de tri-éthanol amine ( $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{O}_3\text{N}$ ) et quelques gouttes d'indicateur de MgO qui donne une couleur violette.
- Verser ensuite 10 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  pour avoir un pH de 10 à 11 et titrer avec l'E.D.T.A ; soit  $V_{\text{MgO}}$  le volume d'E.D.T.A versé.

Le pourcentage d'oxyde de magnésium est déterminé selon la formule suivant :

$$\% \text{ MgO} = V_{\text{MgO}} \times T_{\text{MgO}}$$

Tel que :

% MgO : Le pourcentage de l'oxyde de magnésium.

$T_{\text{MgO}}$  : Titre en MgO [2].

**II.1.2.1.3. Détermination de l'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

- On prend 50 ml de la solution filtrée et on ajoute 3 gouttes de bromophénol. Ensuite, on verse du NH<sub>4</sub>OH jusqu'à l'apparition d'une teinte bleue fugitive. Le dépassement de la teinte bleue provoque la précipitation de l'oxyde d'alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- On ajoute 20 ml de l'acide chlorhydrique HCl à N/10 pour obtenir le pH de 1,5 ; pour que le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soit le seul à être complexé, on ajoute 15 ml de solution pH 1,5, ajouter 15 à 20 gouttes d'acide salicylique qui donne une coloration violette. Chauffer la solution jusqu'à 40-50 °C pour préciser le dosage de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- On titre avec E.D.T.A jusqu'à l'apparition de la couleur jaune ; soit V<sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub> le volume d'E.D.T.A versé.

Le pourcentage de l'oxyde de fer est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = V_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \times T_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Tel que :

%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Le pourcentage de l'oxyde de fer.

T<sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub> : Titre en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

V<sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub> : Le volume d'EDTA nécessaire pour doser le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2].

**II.1.2.1.4. Détermination de l'oxyde de l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

- On prend 50 ml de la solution ayant servie pour le dosage du fer, on ajoute l'acétate d'ammonium jusqu'au virage bleu à pH 3,6. Ensuite, on ajoute 5 ml d'acide acétique dont le pH se trouve fixé à 3,6.
- On ajoute 10 gouttes de complexonate de cuivre pour complexer l'alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, puis ajouter 10 gouttes de peroxyde azotique naphthol (PAN) qui donne la couleur rose violacée.
- Laisser sur la plaque chauffante jusqu'à ébullition pour accélérer la vitesse de complexation de l'alumine.
- On titre ensuite avec l'E.D.T.A jusqu'au virage jaune persistant, la couleur violette réapparaît tant qu'il reste de l'alumine non complexée.

Le pourcentage de l'alumine est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = V_{\text{Al}_2\text{O}_3} \times T_{\text{Al}_2\text{O}_3}$$

Tel que :

% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Le pourcentage de l'alumine.

T<sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub> : Titre en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

V<sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub> : Le volume d'EDTA nécessaire pour doser l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2].

#### II.1.2.1.5. Détermination de la silice (SiO<sub>2</sub>)

- On pèse un creuset en platine propre et sec (P<sub>1</sub>). Ensuite, on met le papier filtre et son contenu dans le creuset et puis on laisse dans le four à température d'environ 1000 °C pendant 1 heure.
- Retirer le creuset et faire refroidir et on prend sa pesée (P<sub>2</sub>).

Le pourcentage de la silice est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{ SiO}_2 = (P_2 - P_1) \times 100 / P. E$$

P.E : poids d'échantillon [2].

#### II.1.2.1.6. Détermination de la chaux libre (CaO<sub>L</sub>)

- On pèse 1 g de matière (clinker ou ciment), puis mettre dans un erlen propre et bien séché. Ajouter ensuite 50 ml d'éthylène glycol et on chauffe notre solution à 90 °C, puis on filtre (filtre moyen).
- On ajoute à la solution filtrée quelques gouttes de bleu de méthylène ; qui donne la couleur bleu et on titre avec HCl jusqu'à l'apparition de la couleur jaune.

Le pourcentage de la chaux libre est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{ CaO}_L = T \times V_{\text{CaO}_L}$$

T : titre de HCl [2].

#### II.1.2.1.7. Détermination de la perte en feu (PAF)

- On prend une capsule en platine propre et sèche puis on met 2 g de matière cuite. On pèse l'ensemble ; soit P<sub>1</sub>.
- Ensuite, On met la capsule en platine dans un four à moufle pour la calcination à température de 1000 °C pendant 1 heure.
- On sortit la capsule en platine et on la pèse froide ; soit P<sub>2</sub>

La P.A.F est déterminée selon la formule suivante : [2]

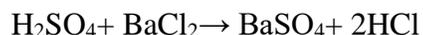
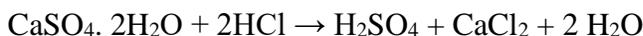
$$\text{PAF} = (P_1 - P_2) \times 100 / 2$$

**II.1.2.1.8. Détermination du pourcentage de SO<sub>3</sub>**

- On pèse 1 g de matière (clinker ou ciment). Ensuite, on ajoute 20 ml d'eau distillée et 15 ml de HCl N/2. On porte à l'ébullition. Puis, on filtre cette solution dans un bécher (filtre rapide).
- On ajoute 15 ml de BaCl<sub>2</sub> (100 g/l) ; pour former un précipité de SO<sub>3</sub>.
- Ensuite, on chauffe la solution et puis on la filtre (filtre lent). On pèse un creuset en platine propre et sec (P<sub>1</sub>).
- Mettre le filtre et son contenu dans le creuset. Ensuite, on calcine au four à 1000 °C pendant 30 minutes puis retirer le creuset et laisser refroidir. On pèse (P<sub>2</sub>). Le pourcentage de SO<sub>3</sub> est donné par la formule suivante :

$$\% \text{SO}_3 = (P_2 - P_1) \times 34,3$$

Vérification de la formule :



$$233,23 \text{ g} \rightarrow 80 \text{ g}$$

$$P_x \rightarrow m_{\text{SO}_3}$$

$$m_{\text{SO}_3} = P_x \times 80 / 233,23$$

D'où : %SO<sub>3</sub> = m<sub>SO<sub>3</sub></sub>/masse d'échantillon ; avec : la masse d'échantillon = 1 g

Alors : %SO<sub>3</sub> = P<sub>x</sub> × 100 × 80 / 233,23 = 34,3 × (P<sub>2</sub> - P<sub>1</sub>) ; Tel que : P<sub>x</sub> = P<sub>2</sub> - P<sub>1</sub>. [2]

**II.1.2.1.9. Détermination des résidus insolubles**

- Après la première filtration du SO<sub>3</sub>, et avant d'ajouter le BaCl<sub>2</sub> dans la solution (filtra), on retire le papier filtre et son contenu dans un bécher propre et on le déchire. Puis, on ajoute 5 g de bicarbonate de sodium et on verse 150 ml d'eau distillée. On laisse le bécher sur la plaque chauffante jusqu'à l'ébullition.
- Ensuite, on filtre la solution (filtre rapide) et puis on rince le papier filtre avec 25 ml de HCl et 25 ml d'eau distillée, on rince à nouveau avec de l'eau distillée pour débarrasser tous les chlorures présents sur le filtre.
- Ensuite, on pèse un creuset en platine propre et sec et on note (P<sub>1</sub>). On met le papier filtre dans le creuset en platine et on met dans le four à température de 1000° C pendant 20 minutes.

- Puis on retire le creuset et on laisse le creuset se refroidit et puis on pèse le creuset et on note ( $P_2$ ) [2].

$$\% \text{ résidus insolubles} = (P_2 - P_1)$$

#### II.1.2.1.10. Détermination de la teneur des alcaline ( $K_2O$ et $Na_2O$ )

- On utilise le photomètre à flamme. On l'étalonne avec d'eau distillée puis on prend un bécher propre qu'on remplit avec notre solution contenue dans la fiole jaugée de 500 ml. Lire la valeur affichée sur le photomètre [6].

Le pourcentage de  $K_2O$  est déterminé avec la formule suivante :

$$\% K_2O = \text{Valeur affichée} \times \text{Coefficient de } K_2O$$

Le pourcentage de  $Na_2O$  est déterminé avec la formule suivante :

$$\% Na_2O = \text{Valeur affichée} \times \text{Coefficient de } Na_2O$$

Coefficient de  $Na_2O$  et  $K_2O$  :

D'après la courbe d'étalonnage de photomètre à flamme, on détermine les coefficients suivants :

- Coefficient de  $Na_2O = 0,01578012$ .
- Coefficient de  $K_2O = 0,00237896$
- Par fluorescence des RX :

Pour faire les analyses avec les RX on utilise les pastilles.

- Préparation des pastilles :

Cette méthode ne consiste pas beaucoup de temps, puisque il suffit de broyé 10 g de l'échantillon a une granulométrie inférieur à 63 micron mètre on introduisant 1 g de sire (le fondant wax) et on le met dans une pastille, cette dernière subit une force de 150 K.N à l'aide d'une pastilleuse automatique.



Figure II.1 : Pastilleuse

En dernière étape on procède à l'analyse par fluorescence X en utilisant le programme correspond à l'échantillon à analyser soit la perle soit la pastille dans l'analyseur de fluorescence des rayons X.

Les résultats d'analyses des différents éléments sont exprimés en pourcentage [4].



Figure II.2 : Analyseur

## II.2. Méthode physique :

### II.2.1. Mesure de la surface spécifique par la méthode Blaine

#### a. But

Détermination de la finesse du ciment ou bien le degré de broyage.

#### b. Principe

La finesse du ciment est mesurée en observant le temps mis par un volume fixé d'air pour traverser un lit de ciment compact à une porosité spécifique à 0,5.

#### c. Appareillage



Figure II.3 : Appareil de Blaine

**d. Mode opératoire**

- On place la grille au fond de la cellule et on applique sur cette grille au moyen d'une tige à face intérieure pleine un disque neuf de papier filtre. Puis, on verse le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir, en donnant quelques secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant.
- Ensuite placer sur celle-ci un autre disque neuf de papier filtre, et tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule et on retire le piston lentement.
- Roder la cellule et placer sur son ajustage en appliquant un léger mouvement de rotation pour répartition de la vaseline, on veuille au cours de cette opération à ne pas altérer le tassement de la couche.
- Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que niveau lu liquide cinquième de seconde quand le niveau du liquide atteint le deuxième trait, et arrêter quand le niveau atteint le troisième trait.
- On vérifiant le niveau du liquide du manomètre qui doit effleurer au trait inférieur, on note le temps écoulait et la surface spécifique du Blain.

Selon la formule suivante :

$$S = K \times \sqrt{e} \times \sqrt{t} / \rho (t - e)\sqrt{\mu}$$

Avec :

S : Surface spécifique (cm<sup>2</sup>/ g)

K : Constante de l'appareil

e : Porosité de la couche tassée (0,5)

t : Temps de passage de l'aire.

ρ : Masse volumique des grains

μ: Viscosité de l'air à la température d'essai (en poises) [8].

**II.2.2. Mesure de la densité**

On mesure la densité du ciment pour déterminer le poids du ciment rempli dans les sacs.

- Si la densité est inférieure à 1 donc le sac doit contenir plus que son poids réel de 50kg.

- Si la densité est supérieure à 1 donc le sac doit contenir moins de 50 kg.

**a. Mode opératoire**

- Prendre le poids du pot métallique vide soit  $P_1$ .
- Avec un densimètre, remplir le pot avec du ciment non tassé. Ensuite peser  $P_2$  La densité

est donc : [4]

$P_2 - P_1$



**Figure.II.4** : l'entonnoir

**II.2.3. Détermination du pourcentage des refus**

**a. But**

La détermination du pourcentage des refus de ciment après le broyage. Les refus sont déterminés pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré du broyage.

**b. Mode opératoire**

On pèse 100 g de ciment. Ensuite, à l'aide d'un pinceau, on tamise sur un tamis de 90  $\mu$ .

Les particules au-dessus du tamis représentant le pourcentage du refus.



**Figure.II.5** : les tamis de 90 $\mu$  et de 45 $\mu$

Au niveau de laboratoire de la cimenterie de SPA on utilise l'appareil alpin qui nous donne le pourcentage de refus automatiquement [4].



**Figure.II.6 :** Appareil alpine

## II.2.4. la consistance normale

### II.2.4.1. Définition

La consistance normale caractérise la propriété rhéologique des pâtes. Elle est déterminée par la méthode décrite par la norme « NA 229 » qui consiste en la détermination de la quantité d'eau qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte ciment dite normale [4].

### II.2.4.2. Pâte normale

La pâte normale est une pâte de consistance normale ; c'est-à-dire telle qu'en opérant avec l'appareil de Vicat.



**Figure.II.7 :** Appareil de Vicat

La lecture donnant l'épaisseur de la pâte restant entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule quand celle-ci cesse de s'enfoncer sous son propre poids. Cette épaisseur doit être de  $5 \text{ mm} \pm 1$  [2].



**Figure.II.8** : l'appareil de Vicat (auto)

#### **II.2.4.3. Préparation de la pâte**

On pèse 500 g de ciment, on verse dans un récipient du malaxeur, puis on ajoute l'eau préalablement déterminée par des tâtonnements successifs de manière à réaliser la consistance normale [4].



**Figure.II.9** : le malaxeur

#### **II.2.4.4. Vérification de la consistance normale**

L'appareil de Vicat, est un plateau nu ayant été muni d'une sonde de consistance. Placer immédiatement le moule rempli de la pâte dans l'axe de la sonde, laisser descendre cette dernière perpendiculairement à la surface de pâte et l'immobiliser à son contact, marquer un temps d'arrêt puis abandonner la sonde à elle-même sans vitesse initiale.

Procéder à la lecture d'épaisseur de la pâte, quand la sonde a cessé de descendre sous son propre poids.

Conserver l'éprouvette dans l'armoire humide pour la détermination des temps de prise du ciment [4].

## II.2.5. Essais de prise

### II.2.5.1. Définition

L'essai de prise a pour but de déterminer le temps de prise, c'est-à-dire qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et respectivement le début de prise et fin de prise [4].

### II.2.5.2. Principe

On détermine le début de prise ou fin de prise à l'aide de l'aiguille de Vicat qui s'enfonce dans un moule tronconique rempli de pâte [4].

### II.2.5.3. Débit de prise

Le début de prise est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant du début de gâchage et celui où l'aiguille de Vicat ne prend plus jusqu'au fond c'est-à-dire s'arrête à une distance du fond du moule supérieure à  $4 \text{ mm} \pm 1$  [4].



Figure.II.10 : l'aiguille de Vicat

### II.2.5.4. Fin de prise

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

L'essai de prise est normalement effectué sur un mortier normale, il peut être effectué sur pâte normale, il est exécuté sur éprouvette conservée dans une armoire humide.

Cette méthode décrite précédemment n'est pas utilisée maintenant dans le laboratoire d'essais physiques de la cimenterie de SPA [4].

## II.2.6. Essais d'expansion

### II.2.6.1. Définition

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

La variation de l'écartement des ces aiguilles nous renseignera sur la valeur du gonflement [4].



Figure.II.11 : Aiguille le Chatelier

### II.2.6.2. Mode opératoire

- On met la pâte préparée sur une plaque de verre et on remplit le moule d'expansion, puis on couvre avec une deuxième plaque de verre.
- On conserve les aiguilles dans l'armoire humide pendant 24 heures.
- Ensuite, on enlève les aiguilles de l'armoire humide et on marque l'écartement entre les deux aiguilles, et les met dans un bain marie à température 100 °C pendant 3 heures.
- Ensuite, on mesure l'écart (pendant la confection du moule). La variation de l'écartement représente l'expansion à chaud [4].

## II.2.7. Essais mécanique (flexion – compression)

### II.2.7.1. Définition

Ils ont pour but de mesurer les résistances aux différentes contraintes au bout d'un certain temps.

Les essais de flexion et de compression permettent de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la compression des liants hydrauliques [4].

### II.2.7.2. Préparation de mortier normale

- On pèse 450 g de ciment, on introduit dans le récipient du malaxeur, et on ajoute 225 ml d'eau et on verse 1350 g de sable normalisé dans le malaxeur et on met le malaxeur en marche.
- Ensuite, on verse le mélange dans le moule à l'aide d'une spatule et on met le moule dans l'appareille à choc ; pour entasser les bulles d'air et on racle la surface du moule.
- Après, on met le moule dans la chambre humide pendant 24 heures.
- Ensuite on fait le démoulage et on conserve les éprouvettes dans des casiers remplis par l'eau ; pour faire la casse de 2 jours, 7 jours et 28 jours et même de 56 jours et 100 jours dans notre étude [4].



Figure.II.12 : Balance sensible



Figure.II.13: Malaxeur automatique



Figure.II.14 : Sable

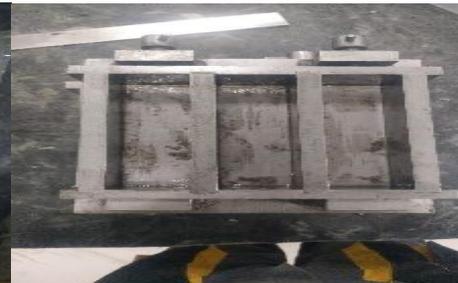


Figure.II.15 : Moule cubique et prismatique



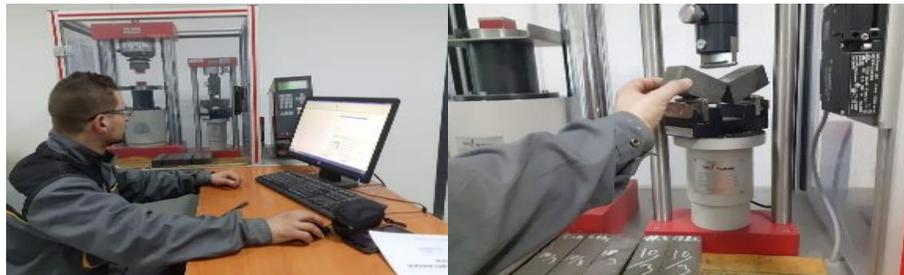
Figure.II.16 : Appareil choc



Figure.II.17 : Moule préparé



**Figure.II.18** : Chambre humide



**Figure.II.19** : Appareil de flexion et compression

## Chapitre III

# Méthodes d'essais et interprétation des résultats

Les résultats expérimentaux obtenus au cours de cette étude concernent des analyses chimiques et physiques de sept (07) clinker et de leur ciment (des usines de SPA cimenteries) apparaissent l'effet des éléments minéraux du clinker sur le processus de broyage et la qualité du ciment.

### III.1. Méthodes d'essais

#### III.1.1. La Production de la farine

La matière principale de dosage de la farine est le calcaire (75%) et l'argile (20%) (constitution aditif et correction est le minerai de fer et sable).

**Tableau III.1** : Analyse chimique de production farine

	<b>Calcaire</b>	<b>Argile</b>	<b>Farine</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	3.92	46.62	13.25
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1.36	14.78	3.26
<b>CaO</b>	48.31	10.15	41.62
<b>MgO</b>	1.60	2.82	1.91
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.25	2.17	0.43
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.05	0.95	0.12
<b>SO<sub>3</sub></b>	0.84	2.22	0.78
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.79	5.87	2.19

#### III.1.2. La Production du ciment

La constitution principale de ciment est le clinker (95%) , les produit de correction de la prise de ciment est le gypse (5%).

Tableau.III.3 : Exemple d'analyse chimique de production ciment

	Clinker	Gypse	Ciment
SiO <sub>2</sub>	20.66	5.25	19,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.65	1.32	4,58
CaO	64.54	31.73	63,72
MgO	2.84	0.54	2,85
K <sub>2</sub> O	0.67	0.19	0.58
Na <sub>2</sub> O	0.21	0.03	0.31
SO <sub>3</sub>	1.32	38.78	2.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.30	0.46	3.22
CL <sup>-</sup>	0.05	0.07	0.051

➤ **Pondération de calcul**

Méthode de calcul :

$$\text{SO}_3 = \frac{\text{SO}_3(\text{clinker}) \times 95\% + \text{SO}_3(\text{gypse}) \times 5\%}{100\%}$$

$$\text{MgO} = \frac{\text{MgO}(\text{clinker}) \times 95\% + \text{MgO}(\text{gypse}) \times 5\%}{100\%}$$

$$\text{CL}^- = \frac{\text{Cl}^-(\text{clinker}) \times 95 + \text{Cl}^-(\text{gypse}) \times 5\%}{100\%}$$

**Exemple :** (Application numérique)

$$\% \text{SO}_3 = \frac{(1.32 \times 95\%) + (38.78 \times 5\%)}{100\%}$$

$$\% \text{SO}_3 = 2.36$$

### III.1.3. Analyse de clinker et du ciment

#### III.1.3.1. Stabilité d'analyse chimique de clinker

On peut jauger sur la qualité minéralogique de clinker ; d'une façon facile comme nous basent sur la stabilité d'analyse ; mais à cause de tous analyse sera poche des résultats physique identique de la norme algérien ; le tableau suivant clarifie des résultats chimique qui exposé le clinker de la société SBC :

**Tableau.III.4** : Analyse chimique des échantillons du clinker

	1	2	3	4	5	6	7
<b>SiO<sub>3</sub></b>	20.25	20.42	19.70	20.93	21.15	21.33	20.48
<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.05	4.22	4.53	4.61	4.45	4.92	4.29
<b>CaO</b>	64.60	64.53	65.96	65.20	65.75	64.73	65.73
<b>MgO</b>	2.84	2.71	3.77	2.41	2.23	2.61	2.89
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.49	0.50	0.59	0.42	0.64	0.65	0.52
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.18	0.22	0.20	0.17	0.24	0.25	0.24
<b>SO<sub>3</sub></b>	1.60	1.25	1.05	1.20	1.41	1.26	1.08
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.13	4.17	3.22	3.40	3.16	3.30	4.32
<b>PAF</b>	1.315	0.725	0.713	0.598	0.759	1.299	0.859
<b>CaO<sub>L</sub></b>	2.08	1.11	2.61	1.95	1.62	0.71	0.52
<b>P.L</b>	1261	1282	1391.77	1269	1369	1291	1274

### III.1.3.2. Rapport chimique et minéralogique de ciment

Ces analyses sont effectuées dans un laboratoire d'essais chimiques et minéralogique.

Les résultats obtenus correspondant à chaque échantillon de ciment sont présentés dans les tableaux suivants :

**Tableau.III.5** : Analyse chimique des échantillons du ciment

	1	2	3	4	5	6	7
<b>SiO<sub>3</sub></b>	20.38	20.23	19.68	20.28	20.46	20.25	20.23
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.51	4.48	4.62	4.55	4.66	4.47	4.44
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.03	3.52	3.37	3.59	3.55	3.76	3.74
<b>CaO</b>	63.97	64.38	64.54	64.75	64.23	64.64	64.56
<b>MgO</b>	2.64	2.65	2.99	2.47	2.52	2.55	2.50
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.67	0.65	0.65	0.61	0.66	0.59	0.59
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
<b>SO<sub>3</sub></b>	3.19	3.48	3.54	3.03	3.29	3.02	3.04

Lors de l'hydratation du ciment, il y a sept (07) minéraux majeurs qui sont C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A et C<sub>4</sub>AF.

Le pourcentage de ces minéraux est calculé selon les formules de bouge suivantes :

- $C_3S = 4,0710 \text{ CaO} - 7,6024 \text{ SiO}_2 - 6,7187 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,4297 \text{ Fe}_2\text{O}_3$
- $C_2S = - 3,0710 \text{ CaO} + 8,6024 \text{ SiO}_2 + 5,0683 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1,0785 \text{ Fe}_2\text{O}_3$
- $C_3A = 2,6504 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,6920 \text{ Fe}_2\text{O}_3$
- $C_4AF = 3,0432 \text{ Fe}_2\text{O}_3$

**Tableau.III.6** : Analyse de minéralogie des échantillons du ciment

	<b>C<sub>3</sub>S</b>	<b>C<sub>2</sub>S</b>	<b>C<sub>3</sub>A</b>	<b>C<sub>4</sub>AF</b>
<b>1</b>	69.42	6.06	5.13	12.26
<b>2</b>	73.16	2.81	5.91	1071
<b>3</b>	77.26	1.05	6.54	10.25
<b>4</b>	73.71	2.54	5.98	10.92
<b>5</b>	69.25	6.20	6.34	10.80
<b>6</b>	73.72	2.62	5.48	11.44
<b>7</b>	73.84	2.29	5.43	11.38

\* L'élément minéralogique le plus important pour le développement de la résistance mécanique du ciment est le C<sub>3</sub>S (65% jusqu'à 80%).

### III.1.3.3. Rapports physique de ciment

#### a. Refus

Le tamis Alpin progression par courant d'air et sans aucun mouvement mécanique

Pour le ciment est décidé sur des tamis 45µm et 90 µm.

- Mettre le tamis sur l'Alpin
- Peser  $m_1=10g$  de matière bien homogène et videz sur le tamis
- Mettre le couvert et cliquez sur le bouton de démarrage
- Tamisez sur pendent 2 minutes à 2000 P
- Peser  $m_2$  et calculer le refus comme la formule suivant :

$$\mathbf{Refus} = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%$$

**Tableau.III.7** : Refus de mes échantillons ciments

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7
<b>Refus</b>	21.6	17.3	19.9	20	23.6	17.2	17.8

### b. Surface Spécifique Blaine SSB

Extraite par la surface spécifiée des grains de ciment, exprimée en ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ). Dans les cas courants, il varie de 3000 à 4000 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ). Plus la finesse du broyage est élevée, plus les réactions de l'eau et plus, cette résistance mécanique est élevée à un âge précoce, plus il y a de ciment délicat plus le rétrécissement est important.

Le tableau suivant donne les surfaces spécifiques Blaine des différents échantillons.

**Tableau.III.8** : Surface spécifique Blaine des 7 échantillons

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7
<b>SSB</b>	2788	3376	3811	3256	3556	3103	3237

L'insertion proportionnelle des couteaux affecte la finesse du ciment, c'est-à-dire le degré de douceur diminue avec l'augmentation de la vitesse d'incubation, car celle-ci apparaît les impuretés et les poussières qui rendent le broyage difficile.

### III.1.4. Résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression

Les éprouvettes sont d'abord destinées à l'essai de traction par flexion puis à la compression.

Les résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression simple à 2,7 et 28 jours sont donnés par les deux tableaux suivants :

**Tableau.III.9** : Résistance à la flexion en MPa

	1	2	3	4	5	6	7
2 jours	4	4.4	4.5	4.2	4.6	3.9	4.2
7 jours	5.7	6.1	6	6.3	6.2	5.5	5.5
28 jours	7.3	7.5	7	7.6	7.4	6.5	7.6

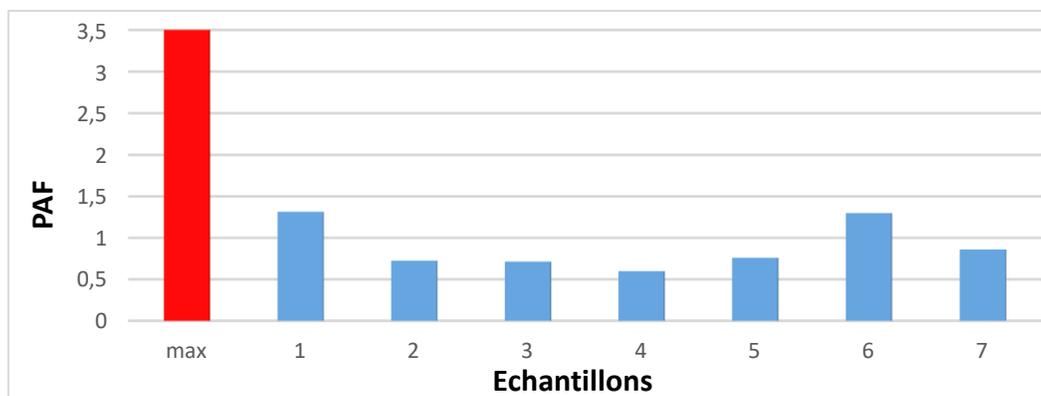
**Tableau.III.10** : Résistance à la compression en MPa

	Norme $\leq$	1	2	3	4	5	6	7
2 jours	20	19.4	24.1	24.5	22.5	23.4	20.6	20
7 jours	///	32.2	35.1	37	35.3	36.1	32.5	33.9
28 jours	42.5	44.7	45.7	47.4	44.2	45.9	46.9	44.6

## III.2. Interprétation des résultats

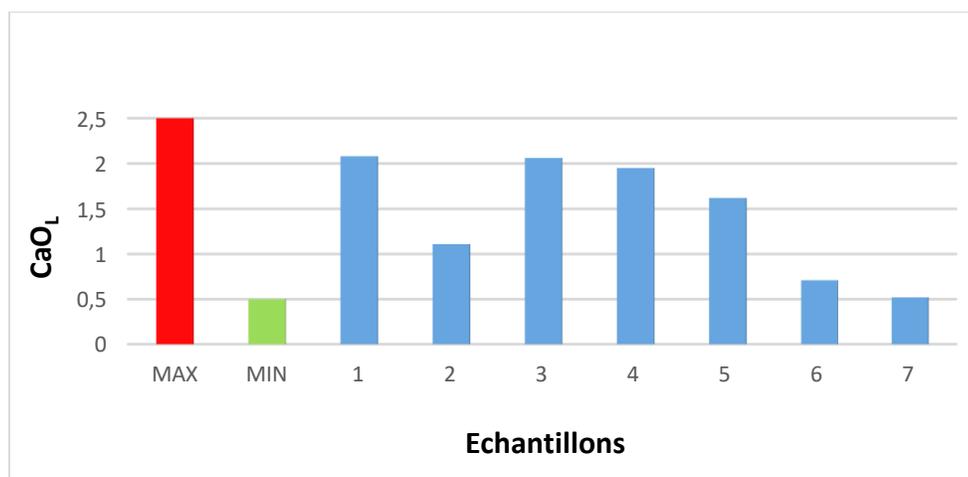
### III.2.1. Perte au feu (PAF)

La perte au feu c'est le pourcentage de décarbonatation du ciment.

**Figure III.1** : Diagramme de variation de la PAF dans les différents échantillons

Selon nos résultats, concernant ce paramètre on peut dire que tous mes échantillons sont dans l'intervalle de la norme, sachant que la valeur maximale de la PAF est de 3,5 mais la PAF de clinker est de 0,5.

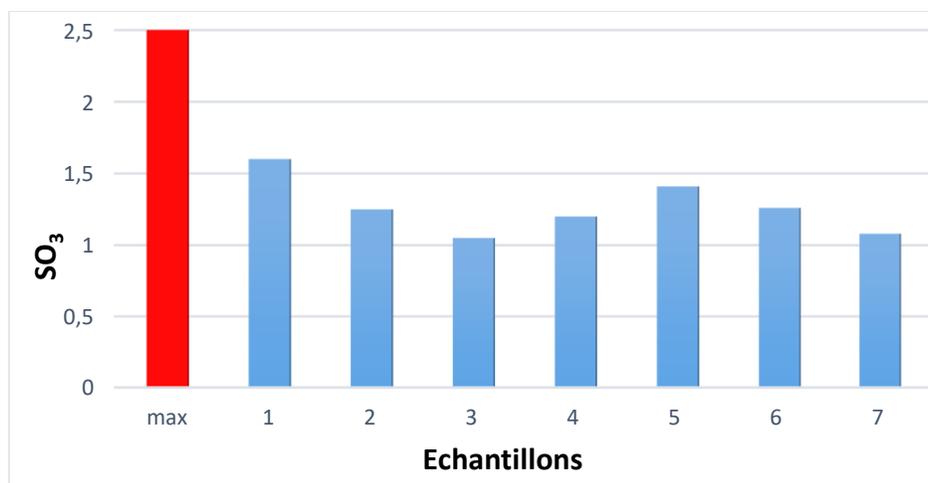
### III.2.2. Chaux libre (CaO<sub>L</sub>)



**Figure III.2 :** Diagramme de la variation de chaux libre pour les différents échantillons

Selon nos résultats pour ce paramètre on peut dire que tous mes expériences sont dans l'intervalle de la norme spécifié : 2,5 et 0,5 ; les résultats SBC sont conformes.

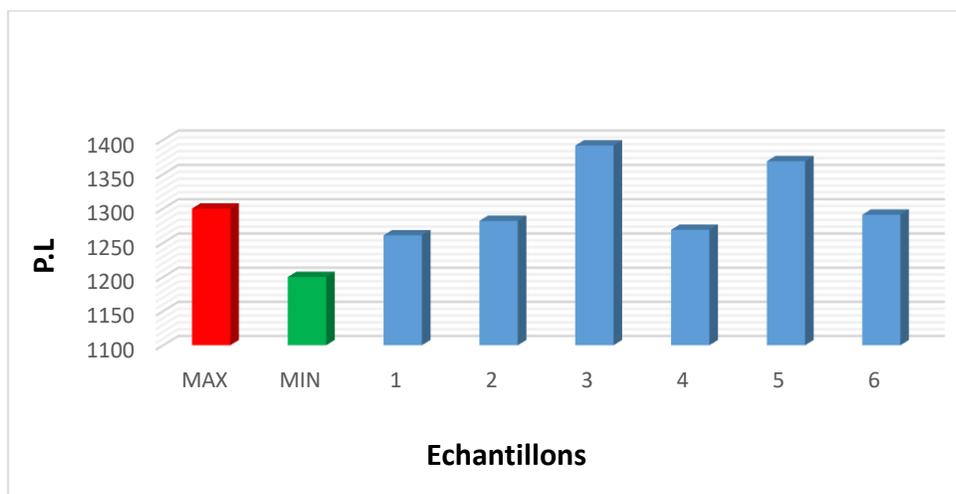
### III.2.3. Trioxyde de soufre (SO<sub>3</sub>)



**Figure III.3 :** Diagramme de la variation de SO<sub>3</sub> dans les différents échantillons

Grâce à notre expérience avec les échantillons, nous avons trouvé des résultats selon les normes que la cimenterie SBC : 0.5 et 2.5 suit ce qui est excellent.

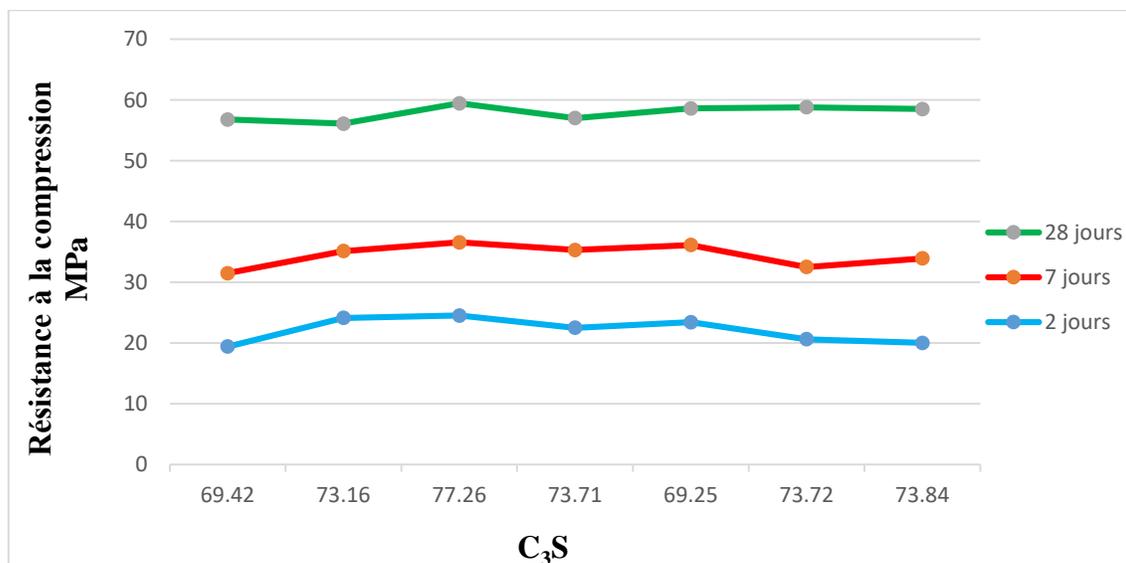
### III.2.4. Poids en litre (P.L)



**Figure III.4 :** Diagramme de variation de la densité dans les différents échantillons

Il existe une relation proportionnelle entre la densité apparente et le pourcentage d'incuits ajouté, cela explique donc la diminution de Blaine et l'augmentation du refus.

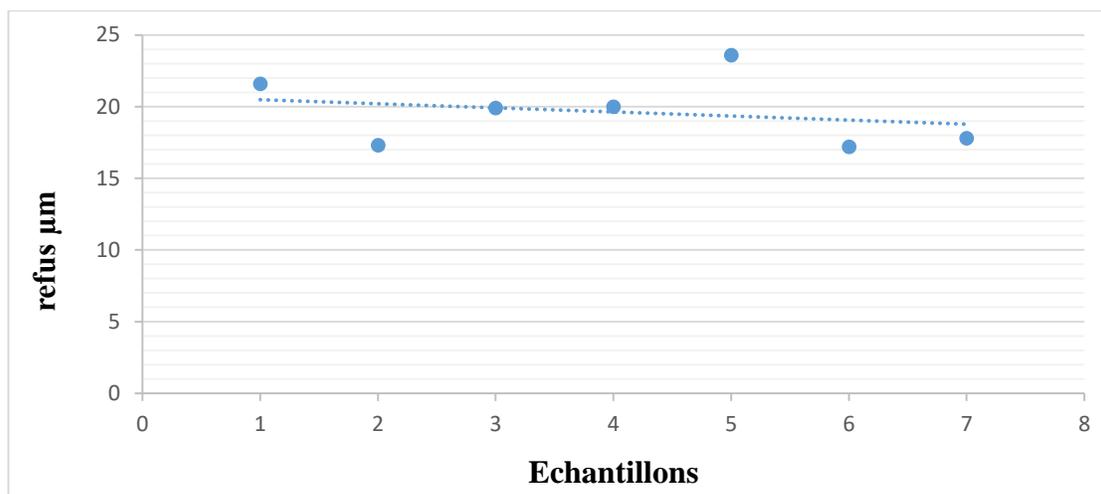
### III.2.5. Résistance à la compression en fonction C<sub>3</sub>S



**Figure III.5 :** Courbe de résistance à la compression en fonction C<sub>3</sub>S

Selon les résultats, 2 jours, 7 jours et 28 jours, tous les échantillons qui ont été testés selon les normes de la cimenterie, la courbe montre la stabilité du C<sub>3</sub>S dans le ciment, ce qui nous donne une bonne résistance.

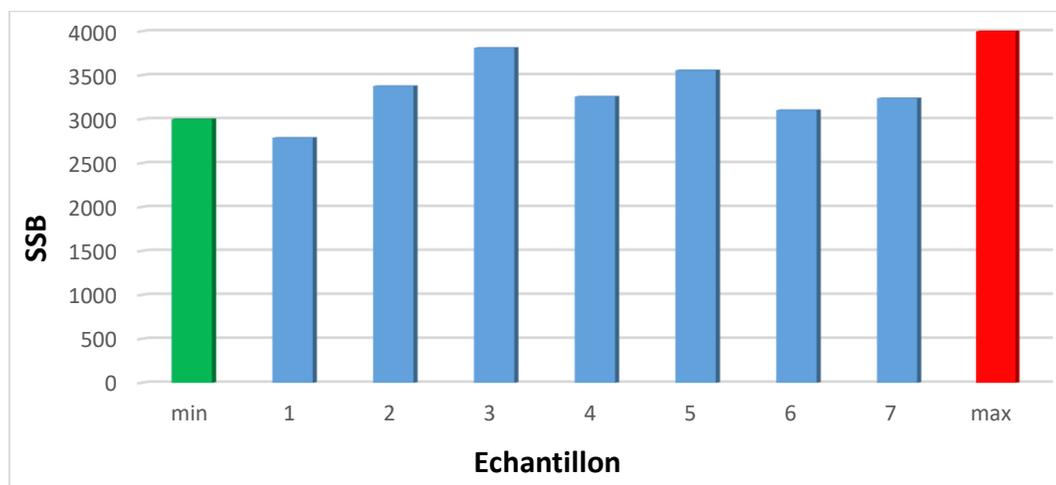
### III.2.6. Refus



**Figure III.6 :** Courbe de refus pour les différents échantillons

Comme vous pouvez le voir sur cette courbe, la stabilité de refus est très claire, cela traduit la bonne minéralogie de clinker.

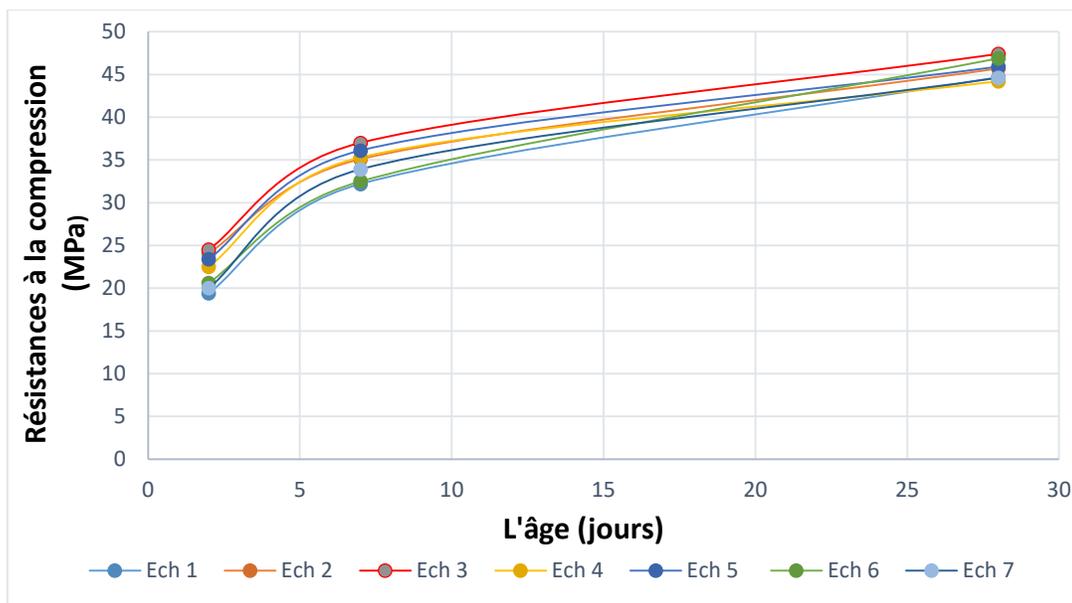
### III.2.7. Surface Spécifique de Blaine (SSB)



**Figure III.7 :** Diagramme de variation de finesse de blaine dans les différents échantillons

L'insertion proportionnelle des couteaux affecte la finesse du ciment, c'est-à-dire le degré de douceur diminue avec l'augmentation de la vitesse d'incubation, car celle-ci apparaît les impuretés et les poussières qui rendent le broyage difficile.

## III.2.8. Résistances à la compression en fonction des jours



**Figure III.8 :** Courbe de résistance à la compression en fonction de l'âge.

Selon les résultats présentés, nous pouvons dire que chaque jour nous approchons des exigences standard, mécaniques et physiques, Cela peut être vu dans les graphiques.

# *Conclusion générale*

## **CONCLUSION GENERALE**

Ce travail, qui avait pour le but d'étudier le clinker et son effet sur les performances de broyage, la finesse et la qualité du ciment, dans lequel des essais et des analyses ont été réalisés sur sept (7) échantillons des ciments d'un seul type CEM1 (CPA).

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

1. Les analyses chimiques (PAF,  $SO_3$ , P.L,  $CaO_L$ ) ont un effet indésirable sur les réactions de clinker, si les valeurs des analyses chimiques (PAF,  $SO_3$ , P.L,  $CaO_L$ ) augmentent, la qualité du ciment diminue.
2. La finesse du ciment (SSB, Refus) a un effet inverse sur la résistance du ciment et cela réduit sa qualité.
3. L'élément  $C_3S$  a un effet significatif sur la résistance du ciment et les réactions du clinker.

Finalement, les résultats obtenus relatifs aux caractéristiques des clinkers, ciments et mortiers sont conformes à la norme algérienne NA 442.

# Références

## REFERENCES

- [1] <http://biskriaciment-dz.com/QuiSommesNous.aspx>
- [2] HADDOU Houria, « Comportement des mortiers à base d'un ciment portland et ciment composé de Béni-Saf dans un milieu agressif », Mémoire du master, université de Tlemcen, 29 juin 2015.
- [3] MEBARKI Henen « Etude comparative des clinkers de l'ouest Algérien : Analyse Physico-chimique et Applications », Mémoire du master académique en chimie, université de Tlemcen, 11 Septembre 2013.
- [4] BENAÏSSA Abouseyf, HASSINOUI Yousou « Optimisation du Taux Des Incuits Dans le Ciment CEM II/A 42,5 », Mémoire du master, centre universitaire Belhadj bouchaib-Ain témochente, 2018.
- [5] BELMENAOUAR Samir, « Recherche Bibliographique Sur La Valorisation De Métakaolin Dans Les Matériaux De Construction », Mémoire du master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.
- [6] LEGMA Aqila, « Optimisation de la teneur en gypse dans Le ciment composé CEM II », Mémoire du master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.
- [7] GHERMAOUI Amina, « Effets de certains métaux sur les propriétés physico des mortiers de ciment de Béni pouzzolane », Mémoire du master, Université abou-beker belkaid- Tlemcen, 29 Juin 2015.
- [8] MEZERAI Naima, « Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la Pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif », Mémoire du master, université de Tlemcen, 12/09/2013.
- [9] BOURROUBEY Chahrazad, « Influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers», Mémoire du master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 11/ 07 / 2019.

- [10] BENKHERREDINE kherredine, DELOUM Abderahim, « Confection et Activation chimique d'un ciment Prépare à base de laitier », Mémoire du master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2019.
- [11] OUHAMI Youssef, « Le ciment », Mémoire de la licence, Université Hassan 1<sup>er</sup> -Maroc.
- [12] YAHIA Mohamed, « Contribution à la valorisation d'un déchet de cimenterie (ciment hydraté) pour l'élaboration d'un nouveau ciment », Mémoire du master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.
- [13] MADOUY yasmine, « Recyclage d'un déchet industriel (poussière de By-pass) », Mémoire du master, Université Mohamed Kheider de Biskra, 6 juillet 2019.
- [14] HADJ Sadok, A, « Le ciment Portland », cour, 2011.
- [15] CYRIL Guérandel, « Etude de la qualité du piégeage des matières organiques par la matrice cimentaire vis-à-vis de la lixiviation », Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine – Metz, 23 Novembre 2009.

