



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. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**Saidi Dounia**

Le : mardi 28 juin 2022

## Elaboration d'un ciment à faible teneur en sulfure pour les bétons précontraints

---

### Jury :

Dr.	Fadel Ammr	<b>MCA</b>	Université de Biskra	Président
Dr.	Guettaf.T.Elhachami	<b>MCB</b>	Université de Biskra	Examineur
Dr.	Djebabra Sihem	<b>MCB</b>	Université de Biskra	Encadrant
Mr.	Saber Rahmani	<b>Ingénieur</b>	Usine BISKRIA CIMENT	co-encadrant

Année universitaire : **2021 - 2022**

# Remerciements

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre créateur {Allah} pour nous avoir donné la force à accomplir ce travail.*

*Spécialement nos chers parents pour qui ont toujours là pour nous.*

*Notre encadreur : **Dr. DJEBABRA Sihem** pour son aide et ces conseils.*

*Tous les membres du jury : **Dr.FADEL Ammar** et **Dr.Guettaf Temam Elhachami**, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur bienveillante attention.*

*Nous adressons nos remerciements à tous nos professeurs honorés depuis plus de 5 ans.*

*L'équipe du laboratoire de l'usine.*

*Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous nos proches et amis.*

*Qui nous ont toujours soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail.*

- *A mes très chers parents **Ahmed** et **Nedjma** pour leurs sacrifices pour mon bien être et à la mémoire de mes chers grands-mères et grand-père.*
- *A mes chers frères, **chamess eldine**, **mohamed abed raouf**.*
- *A mes sœurs, **Bouchra**, **Ines**, **Aya**, et **Acil**.*
- *A mes cousins et mes cousines.*
- *A toute la grande famille **SAIDI** et la famille **BENNDARADJI**.*
- *A ma meilleure amie, chère **LOUBNA**.*
- *A tous mes amis (es).*
- *A tous ceux qui me sont chers.*

*Dounia*

## الملخص

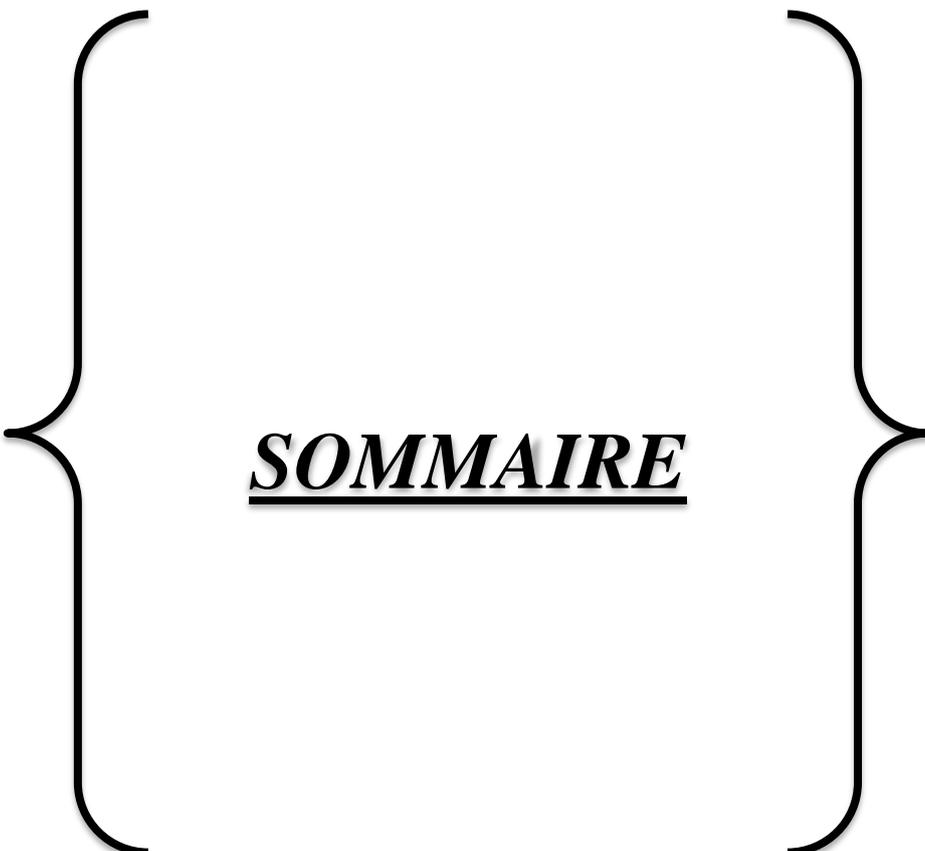
يعتبر الأسمنت مادة مهمة في البناء لأنه يسمح بتكوين الخرسانة. يكون اتحاد الركام الحجري والرمل الأسمنت، لأنه يسمح باتحادهم في خليط واحد متماسك. تم تنفيذ هذا العمل التطبيقي في الشركة الوطنية لصناعة الأسمنت (بسكرة سيمينتري) بولاية بسكرة على نوع جديد من الأسمنت بمحتوى منخفض من الكبريتيد للخرسانة سابقة الإجهاد. يتم إجراء دراساتنا لاكتشاف الخواص الكيميائية للطين الذي يتكون منه هذا النوع من الأسمنت قمنا بإعداد عينات مختلفة من الأسمنت وتحليل الخواص الكيميائية للكبريتيدات في المختبر.

## Résumé

Le ciment est un matériau important dans la construction car il permet la formation de béton. L'union des débris de pierre et de sable donnent le ciment, car elle leur permet de s'unir en un mélange cohérent. Ce travail d'application a été réalisé à la Société nationale de l'industrie du ciment (BISKRIA CIMENT) dans la wilaya de Biskra sur un nouveau type de ciment à faible teneur en sulfures pour le béton précontraint. Nos études sont menées pour découvrir les propriétés chimiques de l'argile qui compose ce type de ciment. Nous avons préparé divers échantillons de ciment et analysé les propriétés chimiques des sulfures en laboratoire.

## Abstract

Cement is an important material in construction because it allows concrete to form. The union of stone aggregate and sand is cement, since it allows their union into one cohesive mixture. This applied work was carried out at the National Company for the Cement Industry (BISKRIA Cement) in the Wilaya of Biskra on a new type of cement with low sulfide content for prestressed concrete. Our studies are conducted to discover the chemical properties of the clay that this type of cement is made of. We prepared various cement samples and analyzed the chemical properties of sulfides in the laboratory.



**SOMMAIRE**

# SOMMAIRE

---

<b>Liste des figures.....</b>	<b>I</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>II</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>.III</b>

## Chapitre I

### Généralité sur la fabrication du ciment

I. Présentation de l'organisme d'accueil .....	2
I.1 Introduction.....	2
I.1.2 La définition de BISKRIA CIMENT .....	2
I.1.3 Siege sociale.....	2
I.1.4 Les services .....	2
I.1.5 Les produits .....	3
I.2 le ciment.....	4
I.3 les constituons de ciment .....	5
I.3.1. Les Matières premières .....	5
I.3.1.1 Le calcaire .....	5
I.3.1.1.1 Carrière de calcaire .....	6
I.3.1.1.2 Transport de calcaire .....	6
I.3.1.2 L'argile.....	6
I.3.2 Matières de correction.....	7
I.3.2.1 Le sable .....	7
I.3.2.2 Le fer .....	8
I.3.2.2.1 Transport l'argile et le sable et le fer .....	8
I.3.2.2.2 Stockage et prés homogénéisation (sable et le fer).....	9
I.3.2.3. Gypse .....	9
I.4 le clinker (produit semi-fini) .....	10
I.4.1. Compositions chimiques du clinker .....	11
I.4.1.1. Les compositions chimiques majeures.....	11
I.4.1.2. Les compositions chimiques mineures .....	12

## SOMMAIRE

---

I.4.2. Composition minéralogique du clinker.....	12
I.4.3. Phases de formation des constituants du clinker.....	13
I.5. Procédure de fabrication du ciment.....	14
I.5.1. Extraction .....	14
I.5.2. Concassage .....	14
I.5.3 Stockage et homogénéisation de matière première (polaire) .....	15
I.5.4 Dosage de cru .....	15
I.5.5 Broyage du cru (VRM) .....	16
I.5.6 Stockage et Homogénéisation .....	17
I.5.7 Préchauffage .....	17
I.5.8 Four rotatif.....	18
I.5.9 Refroidissement .....	19
I.5.10 Stockage de clinker.....	19
I.5.11 Dosage de gypse et les ajouts .....	20
I.5.12 Broyage de clinker .....	20
I.5.13 Stockage et expédition de ciment .....	21

## Chapitre II

### **Étude bibliographique sur les différents types de ciment, les méthodes d'analyses dans l'usine de BISKRIA CIMENT**

II .1 Différents types de ciments aux mondes .....	23
II .1.1 Ciments courants.....	23
II .1.1.1 Constituants des ciments courants.....	23
II .1 .1.1.1 Constituants principaux.....	23
II .1 .1.1.2 Constituants secondaires.....	24
II .1 .1.1.3 Additifs.....	25
II .1 .1.1.4 Sulfate de calcium.....	25
II .1 .1.2 Exigence mécaniques.....	25

## SOMMAIRE

---

II .1 .1.3 Exigences physiques.....	26
II .1 .1.4 Exigences chimiques.....	27
II .1 .1.5 Exigences durabilité.....	27
II .1 .1.6 Types de ciments courants.....	28
II .1 .1.7 Liste des 27 ciments courants.....	29
II .1 .1.8 Exemple de désignation d'un ciment courant.....	30
II .1 .2 Ciments pour travaux à la mer PM.....	30
II .1 .3 Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates ES.....	31
II .1 .3 Ciment alumineux fondu.....	31
II .1 .4 Ciments de haut-fourneau à faible résistance à court terme.....	32
II .1 .5 Ciment sur sulfate.....	32
II .1 .6 Ciment prompt naturel .....	33
II .1 .7 Ciment à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint CP.....	33
II.2 Types de ciment au niveau d'usine .....	33
II.3 Méthode d'analyses et contrôle de qualité.....	34
II.3.1 Méthode chimiques.....	34
II.3.1.1 Analyse par fluorescence RX.....	34
II.3.1.2 Dosage chlorures .....	36
II.3.1.3 Dosage de sulfures .....	37
II.3.2 Méthodes physico-mécaniques.....	38
II.3.2.1 Détermination de la perte au feu (PAF).....	38
II.3.2.2 Détermination du pourcentage des refus.....	39

## Chapitre III

### Méthodes d'essais et interprétation des résultats

III.1 La synthèse .....	41
III.2 Méthodes d'essais.....	41
III.2.1 Préparation des matières premières.....	41
III.2.2 Analyses des matières premières .....	42
III.2.3 Préparation de crus.....	44
III.2.3.1 La recette de la farine .....	44
III.2.3.2 Les analyses chimiques complètes de la farine.....	44
III.2.4 Cuisson de cru.....	45
III.1.4.1 Les analyses chimiques de cuis.....	45
III.2.5 Dosage de sulfure.....	47
III.3 Interprétation des résultats.....	48
Conclusion générale.....	52
Références .....	52



**LISTE DES FIGURES**

# LISTE DES FIGURES

---

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I

Figure I.1 : Les différents types de ciment produit par BISKRIA CIMENT.....	4
Figure I.2: Calcaire .....	6
Figure I.3 : Gisement de calcaire.....	6
Figure I.4 : Argile.....	7
Figure I.5 : Sable.....	8
Figure I.6: Minerai de fer.....	8
Figure I.7 : Gypse.....	9
Figure I.8 : Les éléments qui entrent dans la constitution de ciment.....	10
Figure I.9 : Nodules de clinker de BISKRIA.....	10
Figure I.10 : Concasseur de calcaire.....	15
Figure I.11: Polaire.....	15
Figure I.12: Doseurs.....	16
Figure I.13 : Broyeur cru VRM.....	16
Figure I.14: Filtra manches.....	16
Figure I.15: Silo homo de cru.....	17
Figure I.16: La tour de préchauffage .....	18
Figure I.17: Four rotatif.....	18
Figure I.18: Clinker après refroidissement.....	19
Figure I.19 : Refroidisseur.....	19
Figure I.20 : Silo de clinker.....	20
Figure I.21: Dosseur les Ajouts.....	20
Figure I.22: Broyeur de ciment VCM.....	21
Figure I.23: L'emballage.....	21
Figure I.24: Expédition.....	21
Figure I.25: Fabrication de ciment.....	22

### Chapitre II

Figure II.1 : Désignation d'un ciment courant.....	30
Figure II.2 : Analyseur XRF(ZETIUM).....	35
Figure II.3 : Broyeur à disque.....	35

## **LISTE DES FIGURES**

---

Figure II.4 : Deviseur.....	35
Figure II.5 : Agitation .....	36
Figure II.6 : Filtration.....	36
FigureII.7 : Titrateur automatique Titriions plus 848.....	37
Figure II.8 : Dosage sulfures.....	38
Figure II.9 : Four a moufle.....	38
Figure II.10 : Capsule céramique.....	38
Figure II.11 : Tamiseuse Alpine.....	40

### **Chapitre III**

Figure III.1 : Pastilleuse .....	41
Figure III.2 : Pastille.....	41
Figure III.3 : Appareil de XRF.....	44
Figure III.4 : Pastille de farine après la calcination.....	46
Figure III.5 : Farine après la cuisson (cuis).....	47
Figure III.6: Les courbes de variation de sulfure et sulfates dans les échantillons.....	48
Figure III.7 : Diagramme de variation des sulfures avec les argiles de chaque échantillon	49



**LISTE DES TABLEAUX**

# LISTE DES TABLEAUX

---

## Chapitre I

Tableau I.1 : Composition minéralogique du clinker (en % pondéral).....	13
---	----

## Chapitre II

Tableau II. 1 : Classes de résistance des ciments courants.....	25
Tableau II. 2 : Temps de début de prise et stabilité des ciments.....	26
Tableau II. 3 : Les ciments coutants résistants aux sulfates.....	27
Tableau II. 4 : Composition des ciments coutants.....	28
Tableau II. 5 : Valeurs de a, b, c en fonction du type de ciment.....	29
Tableau II.6 : Tamisage.....	40

## Chapitre III

Tableau III.1: Les compositions chimiques pour l'échantillon des calcaires.....	42
Tableau III.2: Les compositions chimiques pour l'échantillon des sables.....	42
Tableau III.3: Les compositions chimiques pour l'échantillon des minerais de fer.....	43
Tableau III.4: Les compositions chimiques pour l'échantillon des argiles.....	43
Tableau III.5: Les compositions chimiques pour les farines crus.....	45
Tableau III.6: Les compositions chimiques pour les farines après calcination.....	46
Tableau.III.7 : Les analyses chimiques des sulfures.....	47
Tableau.III.8 : Comparaison entre les sulfates et les sulfures.....	48
Tableau.III.9 : Les sulfures de BISKRIA CIMENT .....	49



**Introduction générale**

# INTRODUCCION GENERAL

---

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 élaboration d'un ciment à faible teneur en sulfure pour les bétons prés- contraints.

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

➤ **Chapitre I : Généralité et description de l'usine BISKRIA 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 : Etude bibliographique et les techniques d'analyses dans l'usine de BISKRIA Cimenterie**

Dans ce chapitre, nous avons fait des recherches sur les ciments selon les normes européennes et les analyses physico-chimiques dans l'usine.

➤ **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 obtenu



**Chapitre I**  
***Généralité et description de l'usine***  
***BISKRIA CIMENT***

**I. Présentation de l'organisme d'accueil****I.1 Introduction**

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 connu une croissance importante depuis l'an 2000, ce qui a déclenché la nécessité en matériaux de construction et solutions constructives.

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 expliquer les processus de fabrication de ciment.

**I.1.2 La définition de BISKRIA CIMENT**

La société des ciments "BISKRIA CIMENT" est une Société Par Action (S.P.A), privée de droit Algérien qui a été créée 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. Couvrant une superficie de 100 hectares. Elle tire ses principales matières premières à partir du gisement de djebel M'hor pour le calcaire, situé à environ 02 Km et Etaref pour l'argile, situé à 15 Km. Elle vente des ciments au capital social : 4.284.000.000 DA

**I.1.3 Siege sociale**

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.1.4 Les services**

La cimenterie contient 3 lignes de productions avec une capacité totale de 4 million T/an.

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

1. Secteur administratif : contient de services administratifs 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.1.5 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 :

#### **Ciment portland CEMI 42,5R**

Composition Au moins 90 % de clinker (KK).

Gypse à 05% (Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise).

Complément à 100% composé d'un calcaire (L) 01% à 06%.

#### **Ciment Résistant aux Sulfates (CRS) CEMI 42,5 N-SR3 LH**

Composition : Au moins 95 % de clinker (KK).

Gypse à 05% (Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise).

#### **Ciment Portland Composite CEM II/A-I 42,5R**

Composition : 75% à 89% de clinker (KK).

Gypse à 05% (Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise).

Complément à 100% composé d'un calcaire (L), etc. 06% à 20%.

Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

#### **Ciment Portland Composite CEM II/B-I 32,5R**

Composition : 60% à 74% de clinker (KK).

Gypse à 05% (Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise).

Complément à 100% composé d'un calcaire (L), etc. 21% à 35%.



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

## I.2 le ciment

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

Il est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage de différentes matières premières. Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) environ de 80% et d'argile ( $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ ) environ de 20%.

Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre, mélangée à de l'eau, pour agréger du sable fin, pour produire du mortier, ou des graviers (granulats), pour produire du béton. Le mot « ciment » peut désigner différents matériaux comme [1] :

- Le plâtre
- La chaux commune
- La pouzzolane naturelle

- Le ciment prompt
- Le ciment Portland ou ciment artificiel

### I.3 les constituons de ciment

#### I.3.1. Les Matières premières

Le ciment portland est fabriqué à partir de produits naturels qui sont extraits de carrières puis concassés, homogénéisés, cuits à très haute température (1450 °C) dans un four rotatif pour former un clinker dans la phase finale de cuisson qui est finement broyé et associé à une faible proportion de gypse pour obtenir le ciment.

Ces matières premières sont composées essentiellement de calcaire, d'argile, de sable et de minerai de fer, la chaux est apportée généralement par le carbonate de calcium qui représente (75 à 80%) du cru d'alimentation par la chaux CaO, le reste 20 % par les composant suivant :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  apportés par les autres composants [2].

##### I.3.1.1 Le calcaire

Une roche renferme au moins 50% de carbonate de chaux ( $\text{CaCO}_3$ ), généralement représenté par la calcite, plus rarement par de l'aragonite ; les minéraux les plus fréquemment associés au carbonate de chaux dans les roches calcaires sont la dolomite,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , et les minéraux argileux [3].



Figure I.2 : calcaire

**I.3.1.1.1 Carrière de calcaire**

Le calcaire est extraire au niveau de carrière sous forme des blocs dimensions très variées.



**Figure I.3** : gisement de calcaire

**I.3.1.1.2 Transport de calcaire**

Le calcaire extraire à partir le carrier transporté par des dumpers vers un atelier de concassage.

**I.3.1.2 L'argile**

L'argile est le produit de l'altération (correction chimique) de roche préexistante. L'argile est une roche terreuse tendre qui imprégnée d'eau, cause des problèmes d'humidité dans l'argile, est la carrière de SBC dans la région de djamora (tarref), nous suivons l'analyse chaque arrivage.



**Figure I.4** : l'argile

### I.3.2 Matières de correction

Les matières de correction sont en général : le sable et les minerais de fer, elles sont ajoutées à la matière crue, leur coût est élevé car elles sont fournies par des fournisseurs étrangers.

#### I.3.2.1 Le sable

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement de roches).

Nous avons fait tous nécessaire sur la qualité de sable acheté selon le contrat.



Figure I.5 : sable

#### I.3.2.2 Le fer

Le minerai de fer est une roche extraies de la même manière de calcaire généralement sous la forme des oxydes. En tant que minerai correspond à oxydes de fer  $FeO_2$  ou  $Fe_2O_3$ .

Nous avons fait tous nécessaire sur la qualité de minerai de fer acheté selon le contrat [4].



**Figure I.6:** minerai de fer

#### **I.3.2.2.1 Transport l'argile et le sable et le fer**

Les matières sont livrées par des fournisseurs, ils sont amenés à l'usine par les camions et placés dans les zones de stockage.

#### **I.3.2.2.2 Stockage et prés homogénéisation (sable et le fer)**

Les trois matières sont acheminées vers le stock primaire (hall de stockage) par des tapis roulant, pour la pré-homogénéisation : un hall avec un stockage linéaire pour les constituants.

Et l'argile avec stockage primaire (polaire de stockage) par des tapis roulant, pour la pré-homogénéisation : un polaire avec un stockage circulaire d'argile [5].

#### **I.3.2.3. Gypse**

Est une espèce minérale composée de sulfate di hydraté de calcium de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . 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 [6].



**Figure I.7 :** gypse

Le gypse est actuellement reconnu comme un composant important et essentiel du ciment portland parce que :

- Règle la prise.
- Augmente la résistance.
- Améliore la stabilité de volume.
- Facilite la mouture.

Deux formes pour la fabrication du ciment :

- La forme hydratée (gypse)  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
- La forme anhydre (anhydride)  $\text{CaSO}_4$ , naturelle ou obtenue par déshydratation complète du gypse dans un four rotatif [7].



Figure I.8 : Les éléments qui entrent dans la constitution de ciment

#### I.4 le clinker (produit semi-fini)

Le clinker est un mélange de calcaire  $\text{CaCO}_3$  (~80 %) et d'argile (~20 %) ayant subi une cuisson à 1450 °C au sein d'un long four métallique isolé par des briques réfractaires [8].

Le clinker obtenu à la sortie du four à la suite de la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire, d'argile et de matières de correction, est un matériau hydraulique se présentant sous la forme de petits nodules très durs [9].



**Figure I.9 :** Nodules de clinker de BISKRIA

#### **I.4.1. Compositions chimiques du clinker**

De la composition chimique des matières premières et de leurs proportions dans le mélange, on déduit la nature des éléments chimiques présents dans le ciment portland et leurs concentrations.

Le clinker portland comprend les oxydes suivants :  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$  [10].

##### **I.4.1.1. Les compositions chimiques majeures**

- **Chaux ( $\text{CaO}$ ) :**

Il est lié avec  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , à l'état libre, il provoque une inégalité de changement de volume du ciment lors de l'hydratation (expansion).

La résistance du ciment augmente en cas d'augmentation du pourcentage de  $\text{CaO}$  lié, cependant, la stabilité chimique diminue en milieu agressif. La teneur de  $\text{CaO}$  est de 63% à 67% dans le clinker.

- **Silice ( $\text{SiO}_2$ ) :**

Il réagit avec  $\text{CaO}$  en donnant les silicates de calcium ; un pourcentage élevé donne beaucoup de  $\text{C}_2\text{S}$  parce qu'il réagit avec tout le  $\text{CaO}$ , dans ce cas le ciment durci lentement, sa résistance augmente à long terme.

L'augmentation de  $\text{C}_2\text{S}$  donne une grande durabilité au ciment et surtout au milieu agressif, sa teneur est de 21% à 24%.

- **Alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) :**

Il contribue à la prise et au durcissement rapide du ciment, cependant, une haute teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  donne un ciment très sensible à la corrosion sulfatée, sa teneur est de 4 à 7%.

- **Ferrite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) :**

Il joue le rôle de fondant, il diminue considérablement la température de cuisson du clinker, il contribue à l'augmentation de la stabilité chimique dans les eaux sulfatées, sa teneur est de 2.5% à 4%.

#### **I.4.1.2. Les compositions chimiques mineures**

- **Magnésie  $\text{MgO}$  :**

Une quantité élevée en  $\text{MgO}$  à l'état libre se trouve sous forme de périclase, provoque l'augmentation de volume lors de l'hydratation, sa teneur est inférieure à 5% [11].

- **Soufre  $\text{SO}_3$  :**

Le soufre du clinker provient essentiellement du combustible tel que le coke ou le charbon et des matières premières comme l'argile et le schiste où il se manifeste sous forme de pyrite, de sulfate ou de composé organique. La présence de soufre réduit la volatilité des alcalis pendant le clinkerisation.

- **Alcalis  $\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$  :**

Une partie des alcalis se volatilise lors de la cuisson, sa composition est de 0.5 à 1%. Les alcalis provoquent la diminution de la résistance du ciment, parce qu'ils ralentissent l'hydratation des principaux minéraux.

La silice, l'alumine et le fer donnent à la cuisson un caractère acide, contrairement à la chaux qui est plutôt basique.

Ces proportions permettent de prévoir les qualités ultérieures du ciment.

Les oxydes dans le clinker doivent être liés en composés définis appelés minéraux [11].

#### **I.4.2. Composition minéralogique du clinker**

- **Silicate tricalcique: Alite  $\text{C}_3\text{S}$ :**

Le « C<sub>3</sub>S » 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.

- **Silicate bicalcique : Bélite C<sub>2</sub>S :**

Il confère au ciment des résistances moins élevées que le « C<sub>3</sub>S » ; mais développe les résistances à long terme. Son aptitude au broyage est moins bonne que celle de « C<sub>3</sub>S », car sa dureté est plus grande. Au microscope, il apparaît sous forme de grains arrondis.

- **Aluminate tricalcique : Cérite C<sub>3</sub>A :**

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 Sulfo-aluminates de chaux, les sels de Candlot, souvent très expansifs. La réaction d'hydratation est fortement exothermique.

- **Aluminoferrite tétracalcique: C<sub>4</sub>AF:**

C'est une solution solide d'aluminoferrite tétracalcique, de structure cristalline orthorhombique ; les ions de fer et d'aluminium se répartissent dans le site octaédrique des solutions solides.

Ce composé ne contribue pas aux résistances, il existe dans la phase interstitielle du clinker. Le clinker se compose essentiellement des solutions solides (alite et bélite), qui lui confèrent les résistances mécaniques, et des solutions solides de C<sub>3</sub>A et C<sub>4</sub>AF qui occupent la phase interstitielle [12].

#### I.4.3. Phases de formation des constituants du clinker

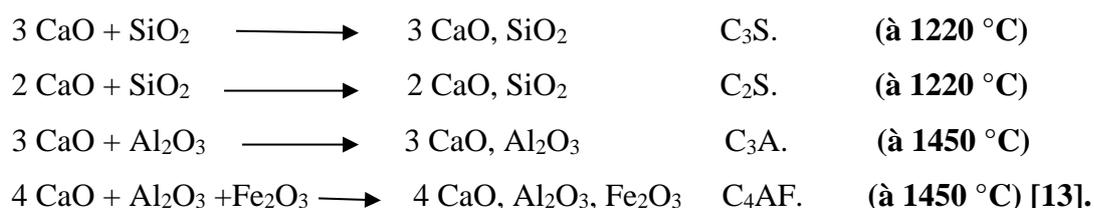


Tableau I.1 : Composition minéralogique du clinker (en % pondéral) [14].

Composants	Teneurs limites	Teneurs moyennes
$C_3S$	40 - 70	60
$C_2S$	0 - 30	15
$C_3A$	2 - 15	08
$C_4AF$	0- 15	08

## I.5. Procédure de fabrication du ciment

La fabrication de ciment à BISKRIA CIMENT, utilise **le procédé par la voie sèche** car il est plus économique en énergie. Ce procédé se réduit schématiquement aux 13 opérations suivantes :

### I.5.1. Extraction

Les matières premières qui entrent dans la fabrication du ciment sont extraites de carrière (à ciel ouvert) à partir de roche calcaire, de craie, de schiste ou d'argile. Ces minéraux naturels sont prélevés des parois rocheuses à la pelle mécanique, par ripage au bulldozer ou par abattage à l'explosif. Elles sont ensuite acheminées par dumper vers le hall de concassage à l'entrée de la cimenterie qui est construite à proximité. Dès cette première étape, la roche est échantillonnée en continu à chacune des étapes de transformation de la matière pour déterminer la quantité des divers ajouts nécessaires (Oxyde de fer, alumine, silice, etc.)[15].

### I.5.2. Concassage

Les matériaux sont réduits par le concasseur à une taille maximum de 80 mm ; La roche est ensuite échantillonnée en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires.

Dans l'usine il y a trois concasseurs pour la matière première : concasseur pour matière de calcaire  $CaCO_3$ .

- concasseur pour l'argile.
- concasseur pour la silice et le fer.

Les camions déchargent directement dans la trémie de concasseur (la capacité de trémie = 120t) [16].



**Figure I.10** : concasseur de calcaire

### **I.5.3 Stockage et homogénéisation de matière première (polaire)**

Après l'opération de concassage du calcaire obtient une granulométrie de 0 à 25 mm, le calcaire sont acheminés vers le stock primaire (polaire de stockage) par des tapis roulant, pour le pré homogénéisation : un polaire avec un stockage circulaire [4].

Les trois matières sont acheminées vers le stock primaire (hall de stockage) par des tapis roulant, pour la pré-homogénéisation : un hall avec un stockage linéaire pour les constituants.

Et l'argile avec stockage primaire (polaire de stockage) par des tapis roulant, pour la pré-homogénéisation : un polaire avec un stockage circulaire d'argile [6].



**Figure I.11:** polaire

### I.5.4 Dosage de cru

Un mélange homogène constitue d'argile et calcaire et le minerai de fer et le sable dans les doseurs, 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 [7].



**Figure I.12:** doseurs

### I.5.5 Broyage du cru (VRM)

Pour favoriser les réactions chimiques ultérieures, les matières premières doivent être séchées et broyées très finement dans des broyeurs à boulets ou dans des broyeurs à meules verticaux. Ces derniers plus récents, sont plus économes en énergie et permettent un séchage plus efficace, Le produit obtenu est appelé « la farine CRU » [8].



**Figure I.13 :** broyeur cru VRM

Avant le stockage passant par cinq cyclones pour séparer la matière crue du gaz et

Poussière.



Figure I.14: filtra manches

### I.5.6 Stockage et Homogénéisation

La farine crue est homogénéisée dans des silos d'une capacité unitaire de 20000 T pour chaque ligne de production. 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 [17].

De cette stabilité dépend la régularité des propriétés du clinker et la marche du four sans perturbations.



Figure I.15: silo homo de cru

### I.5.7 Préchauffage

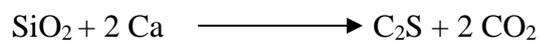
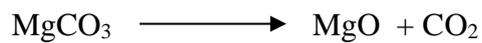
Le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique. Cette préparation consiste à sécher, déshydrater et décarbonater partiellement la matière crue en réutilisant une partie de l'énergie calorifique évacuée par les gaz du four. Quelque soient les technologies utilisées (préchauffeurs à cyclones, grilles Lepol ...), les préchauffeurs améliorent donc le rendement thermique global de l'installation de cuisson.

La température dans le sommet de la tour peut atteindre 300°C, et au niveau de la chambre de mélange la température est d'une moyenne de 1000°C [18].



**Figure I.16:** la tour de préchauffage

### Décarbonatation à 600-900 °C



### **I.5.8 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. La matière arrive en amont du four. Cette zone permet de porter les matières premières jusqu'à environ 800-900°C, achevant ainsi la décarbonation du calcaire. La matière progresse alors jusqu'à la zone de clinkérisation correspondant à une température d'environ 1450 °C [10].



**Figure I.17:** four rotatif

**Entre 1000 et 1450°c****I.5.9 Refroidissement**

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 I.18:** clinker après refroidissement



**Figure I.19:** refroidisseur

**I.5.10 Stockage de clinker**

Une fois refroidit, le clinker est alors stocké dans des silos, confèrent à l'atelier de broyage ciment [19].



**Figure I.120 :** silo de clinker

### I.5.11 Dosage de gypse et les ajouts

Selon la qualité de ciment souhaitée et en conformité avec les normes, on peut ajouter dans des proportions bien définies des matières d'addition telles que le gypse qui est un régulateur de prise, le calcaire, la pouzzolane, et les cendres volantes [16].



**Figure I.21:** Dosser les Ajouts

### I.5.12 Broyage de 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 (sulfate de calcium hydraté  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (laitier, cendres...), ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés,

Ce type de Broyeur qui permet le broyage du clinker en ajoutant des ajouts s'appelle : « Broyeur ciment » [20].



**Figure I.22:** broyeur de ciment VCM

### I.5.13 Stockage et expédition de ciment

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de grandes capacités qui alimentent par la suite des 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 [4].



**Figure I.23:** l'emballage



**Figure I.24:** expédition

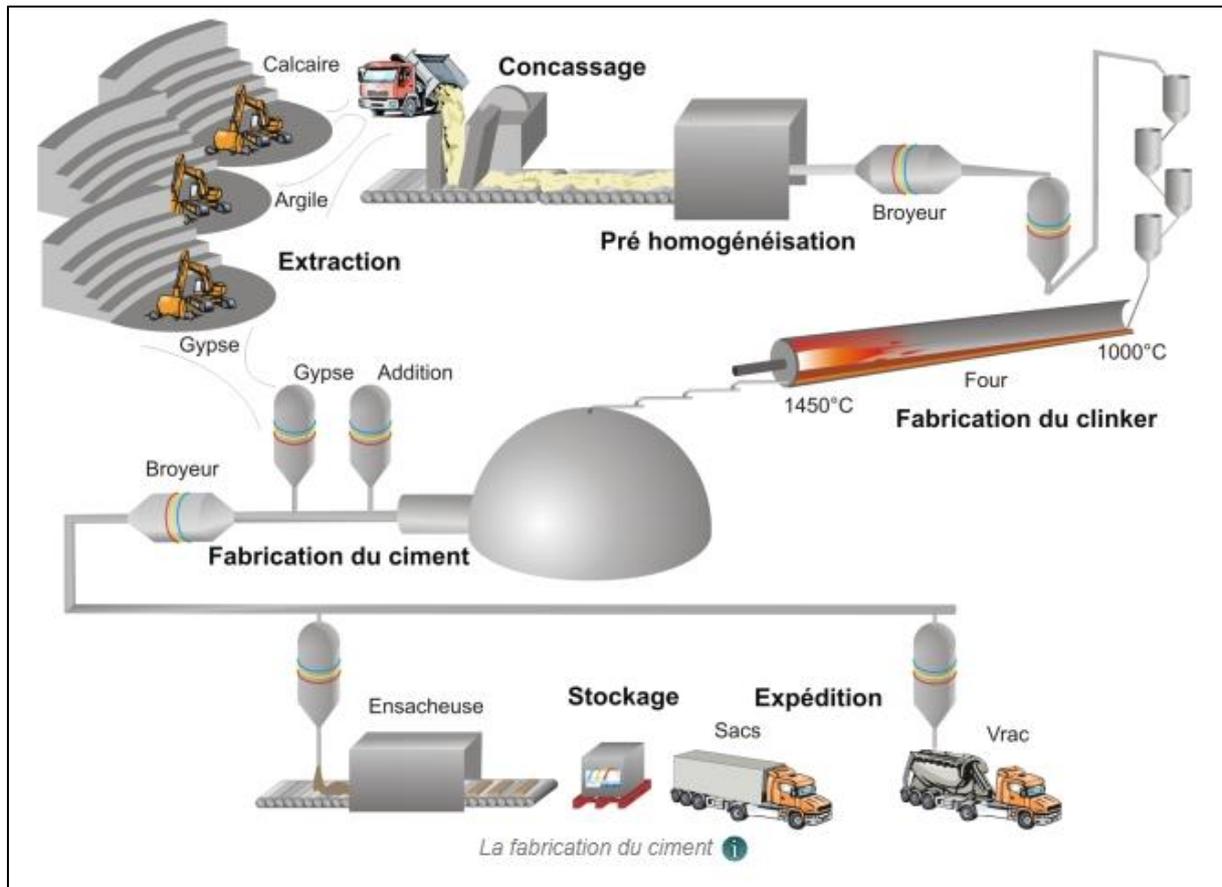


Figure I.25: fabrication de ciment



**Chapitre II**  
***Etude bibliographique les  
techniques d'analyses  
dans l'usine de  
BISKRIA CIMENTREI***

## **II .1 Différents types de ciments aux mondes**

### **II .1.1 Ciments courants**

Les ciments courants font l'objet de la norme NF EN 197-1 "Ciment - partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants". Cette norme définit les constituants des ciments et les différents types de ciments courants. Elle fixe les classes de résistance, les spécifications mécaniques et physico-chimiques et précise les critères de conformité et les fréquences d'essais. Pour certains types d'ouvrages, des propriétés complémentaires des ciments peuvent être requises ; elles font l'objet de normes spécifiques [21].

#### **II .1.1.1 Constituants des ciments courants**

On distingue les constituants principaux (matériau minéral représentant une proportion supérieure à 5 % en masse de la somme de tous les constituants principaux et secondaires) et les constituants secondaires (matériau minéral représentant une proportion inférieure ou égale à 5 % en masse de la somme de tous les constituants principaux et secondaires) [21].

##### **II .1 .1.1.1 Constituants principaux**

- **Clinker Portland (K) :**

Le clinker Portland est obtenu par cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile déterminé avec précision et contenant des proportions visées de chaux (CaO), de silice (SiO<sub>2</sub>), d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et d'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Le clinker entre dans la composition de tous les ciments courants.

- **Laitier granulé de haut-fourneau (S) :**

Le laitier granulé de haut-fourneau est obtenu par refroidissement rapide de la scorie fondue provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut –fourneau, Il est composé principalement d'oxydes de calcium, de silice et d'alumine [21].

- **Pouzzolanes naturelles (P) ou naturelles calcinées (Q) :**

Les pouzzolanes naturelles sont des produits essentiellement composés de silice, d'alumine et d'oxyde de fer présentant, soit naturellement (lorsqu'elles sont d'origine

volcanique), soit après activation thermique, des propriétés pouzzolaniques, Il est composé principalement d'oxydes de calcium, de silice et d'alumine.

- **Cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W) :**

Les cendres volantes sont des particules pulvérulentes obtenues par dépoussiérage électrostatique ou mécanique des gaz de chaudières alimentées au charbon pulvérisé. Elles peuvent être de nature siliceuse (V - propriétés pouzzolaniques) ou calcique (W- propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques).

- **Fumées de silice (D) :**

Les fumées de silice sont des particules très fines (environ  $1\mu\text{m}$ ) qui présentent une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliages de ferrosilicium. Ce sont des particules environ 100 fois plus petites que les grains de ciment.

- **Schistes calcinés (T) :**

Les schistes acquièrent des propriétés hydrauliques et pouzzolaniques lorsqu'ils sont activés thermiquement. C'est en particulier le cas des schistes houillers brûlés dans les chaudières. Ils ont des propriétés hydrauliques et pouzzolaniques.

- **Calcaires (L, LL) :**

Les calcaires sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles présentant une teneur en carbonate de calcium -  $\text{CaCO}_3$  - supérieure à 75 %. Les calcaires L et LL ont une teneur en carbone organique (TOC maximale) respectivement de 0,5 % et 0,2 % en masse [21].

### II .1 .1.1.2 Constituants secondaires

Les constituants secondaires sont des matériaux minéraux naturels ou des matériaux dérivés du processus de fabrication du clinker ou des constituants définis comme constituants principaux (sauf s'ils sont déjà inclus en tant que constituants principaux du ciment). Ils ne peuvent excéder 5 % du poids total du ciment [21].

**II .1 .1.1.3 Additifs**

Les additifs sont ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment. La quantité totale des additifs doit être inférieure ou égale à 1 % de la masse de ciment. La proportion des additifs organiques, sous forme d'extrait sec, doit être inférieure ou égale à 0,5 % de la masse de ciment. L'additif le plus courant est l'agent de mouture qui permet d'augmenter le débit des broyeurs [21].

**II .1 .1.1.4 sulfate de calcium**

Il est ajouté aux autres constituants du ciment pour réguler la prise (de 3 à 5% du poids du ciment). C'est en général du gypse (sulfate de calcium hydrate  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), de l'anhydrite (sulfate de calcium anhydre  $\text{CaSO}_4$ ) ou de l'hémihydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) [21].

**II .1 .1.2 Exigence mécaniques**

Les ciments sont répartis en trois classes de résistance 32,5 - 42,5 - 52,5 définies par la valeur de la résistance du ciment. Cette résistance correspond à la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours sur éprouvettes de mortier conformément à la norme NF EN 196-1 et exprimée en MPa.

**Tableau II. 1 : classes de résistance des ciments courants.**

Classes de résistance	Résistance à la compression en MPa			
	Résistance à court terme		résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
<b>32,5 N</b>	-	$\geq 16$	$\geq 32,5$	$\leq 52,2$
<b>32,5 R</b>	$\geq 10$	-		
<b>42 ,5 N</b>	$\geq 10$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
<b>42,5 R</b>	$\geq 20$	-		
<b>52,5N</b>	$\geq 20$	-	$\geq 52,5$	-
<b>52,5 R</b>	$\geq 30$	-		

Pour chaque classe de résistance courante, deux classes de résistance à court terme sont définies, une classe avec résistance à court terme ordinaire (indiquée par la lettre N) et une classe avec résistance à court terme élevée (indiquée par la lettre R). Pour les ciments de classe de résistance 32,5 et 42,5 une valeur maximale de la résistance à 28 jours est fixée [21].

### II .1 .1.3 Exigences physiques

Les ciments doivent satisfaire à diverses exigences physiques telles que :

- le temps de début de prise
- la stabilité ou expansion
- Chaleur d'hydratation
- Refus
- SSB

Dont les valeurs à respecter sont fonction des classes de résistance.

- ✚ Suivant les types de ciment, le temps de début de prise doit être supérieur à 45, 60 ou 75 minutes.
- ✚ L'expansion se mesure suivant un essai normalisé (norme NF EN 196-3) avec les aiguilles de Le Chatelier. Il permet de s'assurer de la stabilité du ciment. L'expansion ne doit pas être supérieure à 10 mm sur pâte pure pour tous les ciments.
- ✚ La chaleur d'hydratation des ciments courant à faible chaleur d'hydratation (L H) ne doit pas dépasser la valeur caractéristique de 270 j/g [21].

**Tableau II. 2 : temps de début de prise et stabilité des ciments**

Classe de résistance	Temps de début de prise (min)	Stabilité (expansion) (mm)
32,5 N	$\geq 75$	$\leq 10$
32,5 R		
42,5 N	$\geq 60$	
42,5 R		
52,5 N	$\geq 45$	
52,5 R		

### II .1 .1.4 Exigences chimiques

Les exigences chimiques sur les ciments sont définies en termes de valeurs caractéristiques. Elles concernent en particulier :

- la perte au feu : < 5 %
- le résidu insoluble : < 5 %
- la teneur en ions sulfate ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) :  $\leq 3.5 \%$  (32,5 N ; 32,5 R ; 42,5 N ou 4 % (42,5 R ; 52,5 N ; 52,5 R) selon la classe de résistance.
- la teneur en ions chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) :  $\leq 0,10 \%$  [21].

### II .1 .1.5 Exigences durabilité

Un ciment courant résistant aux sulfates doit satisfaire aux exigences chimiques supplémentaires spécifiées, les ciments courants résistants aux sulfates doivent être identifiés par la notation SR [21].

**Tableau II. 3** : les ciments courants résistants aux sulfates

Propriété	Type de ciment	Classe de résistance	Exigences
<b>Teneur en sulfate (SO<sub>3</sub>)</b>	CEM I- SR 0	32 ,5 N	$\leq 3,0 \%$
	CEM I- SR 3	32,5 R	
	CEM I – SR 5 <sup>b)</sup>	42,5 N	
	CEM IV/A- SR	42,5 R	$\leq 3,5 \%$
	CEM IV /B- SR	52,5 N 52,5 R	
<b>C<sub>3</sub>A</b>	CEM I- SR 0	Toutes classes	= 0
	CEM I- SR 3		3 %
	CEM I – SR 5		5 %
	CEM IV/A- SR CEM IV /B- SR		9 %
<b>Pouzzolanicité</b>	CEM IV/A- SR CEM IV /B- SR	Toutes classes	Doit être positif dans 8 jours

**II .1 .1.6 Types de ciments courants**

La norme NF EN 197-1 définit 27 ciments courants regroupés en cinq types selon leur composition

- **CEM I** : Ciment Portland
- **CEM II**: Ciment pouzzolanique
- **CEM III** : Ciment Portland composé
- **CEM IV** : Ciment composé
- **CEM V** : Ciment de haut-fourneau

**Tableau II. 4** : composition des ciments coutants

Type de ciment	Nombre de ciments de ce type	Clinker K %	Autres constituants principaux %	Constituants secondaire %
<b>CEM I</b>	1	95 à 100	0	0 à 5
<b>CEM II</b>	19	65 à 94	S/D/P/Q/V/W/T/L/LL: 6 à 35	0 à 5
<b>CEM III</b>	3	5 à 64	S : 36 à 95	0 à 5
<b>CEM IV</b>	2	45 à 89	D/P/Q/V/W : 11 à 55	0 à 5
<b>CEM V</b>	2	20 à 64	S/P/Q/V/W :  36 à 80	0 à 5

Avec :

**K** : Clinker

**S** : Laitier de haut-fourneau

**D** : Fumée de silice

**P** : Pouzzolanes naturelles

**Q** : Pouzzolanes naturelles calcinées

## Chapitre II : Etude bibliographique et les techniques d'analyses dans l'usine de BISKRIA CIMENTREI

---

V : Cendres volantes siliceuses

W : Cendres volantes calciques

T : Schiste calcine

L et LL : Calcaire

### II .1 .1.7 Liste des 27 ciments courants

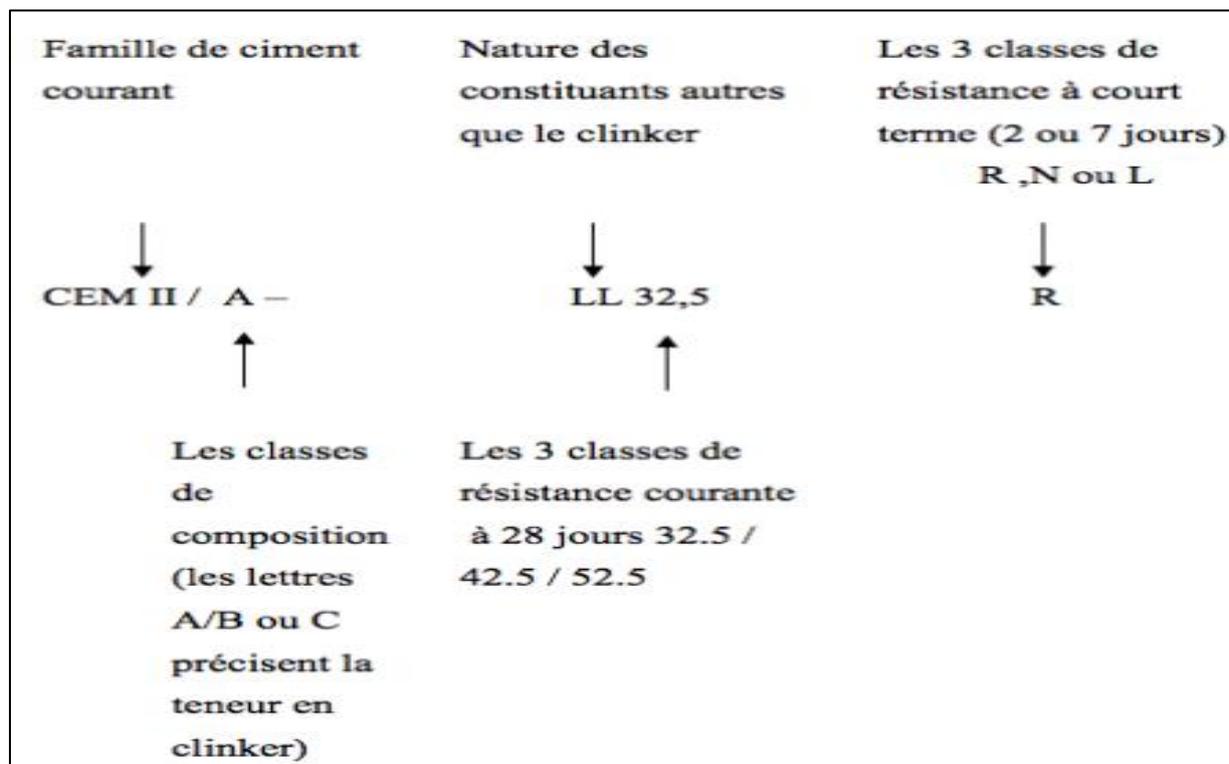
- Ciment Portland : CEM I
- Ciment Portland au laitier : CEM II / A – S ; CEM II / B – S
- Ciment Portland a la fumée de silice : CEM II / A – D
- Ciment Portland a la pouzzolane : CEM II / A – P ; CEM II / B – P
- : CEM II / A – Q ; CEM II / B – Q
- Ciment Portland aux cendres volantes : CEM II / A – V ; CEM II / B – V
- : CEM II/ A – W ; CEM II/ B – W
- Ciment Portland aux schistes calcines : CEM II / A – T ; CEM II / B – T
- Ciment Portland au calcaire : CEM II / A – L ; CEM II / B – L
- : CEM II / A – LL ; CEM II / B – LL
- Ciment Portland compose : CEM II / A – M ; CEM II / B - M
- Ciment de laitier de haut-fourneau : CEM III/A ; CEM III/B ;  
CEMIII / C
- Ciment pouzzolanique : CEM IV/A ; CEM IV/B
- Ciment composé : CEM V/A ; CEM V /B [16].

**Tableau II. 5** : valeurs de a, b, c en fonction du type de ciment

	CEM II	CEM III	CEM IV	CEM V
A	80 à 94%	35 à 64%	65 à 89%	40 à 64%
B	65 à 79%	20 à 34%	45 à 64%	20 à 38%
C	/	5 à 19%	/	/

Les lettres A, B et C précisent la teneur en clinker.

**II .1 .1.8 Exemple de désignation d'un ciment courant**



**Figure II.1 : désignation d'un ciment courant [21].**

**II .1 .2 Ciments pour travaux à la mer PM**

Ces ciments font l'objet de la norme NF P 15-317 "ciments pour travaux à la mer", qui définit des prescriptions de composition et de caractéristiques physiques et chimiques, complémentaires à la norme NF EN 197-1. Ces ciments présentent des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C<sub>3</sub>A) qui leur permettent de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence d'ions chlorure, au cours de la prise et ultérieurement.

Les ciments pour travaux à la mer sont :

- Des CEM I et des CEM II qui possèdent des caractéristiques physiques adaptées et doivent respecter des spécificités chimiques complémentaires ;
- Des CEM III/A (si la teneur en laitier est supérieure à 60%), B ou C et des CEM V/A ou B qui sont naturellement qualifiés pour cet usage ;
- Des ciments prompts naturels (CNP) définis par la norme NF P 15-314 et des ciments alumineux fondus (CA) définis par la norme NF EN 146.

Ces ciments comportent la mention PM (Prise Mer) sur l'emballage ou le bon de livraison [21].

### **II .1 .3 Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates ES**

La norme NF P 15-319 définit les ciments pour les travaux en eaux à haute teneur en sulfates. Elle spécifie des limites de composition ainsi que des caractéristiques physiques et chimiques complémentaires de la norme NF EN 197-1.

Les spécificités de ces ciments portent en particulier sur une limitation de la nature et de la proportion des constituants secondaires et des additifs, ainsi que sur la composition chimique du clinker. Ces ciments présentent des teneurs limitées en aluminat tricalcique ( $C_3A$ ) qui leur permettent de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des ions sulfates au cours de la prise et ultérieurement.

Ces ciments sont :

- Des ciments CEM I et des CEM II/A et B qui présentent des caractéristiques

Complémentaires ;

- Des CEM III/A, B ou C et des CEM V/A et B naturellement qualifiés pour cet usage ;
- Des ciments alumineux fondus (CA).

Ces ciments comportent la mention ES (Eaux Sulfatées) sur l'emballage et le bon de livraison [21].

### **II .1 .3 Ciment alumineux fondu**

Ce ciment fait l'objet de la norme NF EN 14647 "Ciment d'aluminates de calcium - Composition, spécifications et critères de conformité". Il résulte de la mouture après cuisson jusqu'à la fusion d'un mélange composé principalement d'alumine, de chaux, d'oxydes de fer et de silice. Du fait de sa chimie et de sa minéralogie particulière, expliquant entre autre l'absence de portlandite, le ciment d'aluminates de calcium est employé pour la réalisation d'ouvrages exposés à la corrosion chimique.

Le dosage généralement recommande est de 400 kg/m<sup>3</sup> (avec un E/C  $\leq$  0,40), à moduler en fonction des performances visées. La formulation doit être établie en fonction des exigences de résistance mécanique et de durabilité, en tenant compte du phénomène de conversion des hydrates [21].

#### **II .1 .4 Ciments de haut-fourneau à faible résistance à court terme**

Les ciments de haut-fourneau à faible résistance à court terme sont des liants hydrauliques dont les réactions et le processus d'hydratation sont identiques à ceux des ciments courants. Mais le processus d'hydratation est ralenti à court terme du fait de la composition, la finesse ou la réactivité des constituants. Ces ciments sont conformes à la norme NF EN 197-4 qui fournit les compositions, les spécifications et les critères de conformité, ainsi que les exigences physiques, mécaniques et chimiques de trois ciments et de leurs constituants : CEM III/A, CEM III/B, CEM III/C. Ces ciments sont désignés par la lettre L. On distingue trois classes de résistance 32,5 L, 42,5 L et 52,5 L.

Les 3 types de ciments de haut-fourneau à faible résistance à court terme sont :

- CEM III/A : avec 35 à 64 % de clinker et 36 à 65% de laitier de haut fourneau
- CEM III/B : avec 20 à 34% de clinker et 66 à 80% de laitier de haut fourneau
- CEM III/C : avec 5 à 19% v de clinker et 81 à 95% de laitier de haut fourneau

Ces ciments contiennent de 0 à 5 % de constituants secondaires [21].

#### **II .1 .5 Ciment sur sulfate**

Le ciment sur sulfate (CSS) est un ciment ternaire au laitier, constitué de laitier de haut-fourneau ( $\geq 80\%$ ), de sulfate de calcium ( $\leq 20\%$ ) et d'un système d'activation. Le processus d'hydratation de ce ciment permet la stabilisation de l'étrangéité et la consommation totale de portlandien. Le ciment sur sulfate présente ainsi une très bonne résistance vis-à-vis des attaques chimiques. L'ensemble des performances du ciment sur sulfate offre une plus grande durabilité des ouvrages pour lesquels les critères, tels que la résistance aux sulfates et aux acides, la résistance à la pénétration des chlorures, sont des facteurs essentiels (le coefficient de diffusion des ions chlorures est particulièrement faible). Ce ciment génère une chaleur d'hydratation extrêmement faible, surtout non négligeable pour la réalisation de bétons de masse. La norme de référence est la NF P 15-313 "ciment sur sulfate". Le ciment sur sulfate répond aussi aux spécifications des normes NF P 15-317 "ciments pour travaux à la mer" (PM) et NF P 15-319 "ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates" (ES) [21].

### **II .1 .6 Ciment prompt naturel**

Ce ciment fait l'objet de la norme NF P 15-314. Il résulte de la cuisson à température modérée d'un calcaire argileux de composition régulière extrait de bancs homogènes, suivie d'un broyage très fin. Ses constituants lui confèrent des propriétés particulières de prise et de Durcissement rapides, de quelques minutes a une demi-heure et de résistances aux acides, aux sulfates et à l'eau de mer. Le ciment prompt naturel répond aux spécifications de la norme NF P 15-317 (PM). Les résistances en compression sont faibles à court terme (minimum garanti de 19 MPa 28 jours) mais progressent pendant plusieurs années, assurant une excellente durabilité [21].

### **II .1 .7 Ciment à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint CP**

Ces ciments font l'objet de la norme NF P 15-318. Ce sont des CEM I, CEM II/A et B, CEM III/A et B, CEM IV/ A et B et CEM V/A et B dont la teneur en sulfures est inférieure a une valeur donnée. Ils présentent une hydratation peu exothermique (faible chaleur d'hydratation). La norme prévoit deux classes notées CP1 et CP2 avec des teneurs limites supérieures en ions sulfure.

- Classe CP1 : ions sulfures  $S^{-2} < 0.7 \%$
- Classe CP2 : ions sulfures  $S^{-2} < 0.2 \%$

Ils sont destinés aux ouvrages réalisés en béton précontraint. Ils comportent la mention CP sur l'emballage ou le bon de livraison.

Les ciments de type CP1 sont destinés à la précontrainte par post-tension, les CP2 à la précontrainte par pré-tension. Ils sont aussi utilisés pour des ouvrages pour lesquels des résistances mécaniques mais aussi une limitation des réactions exothermiques sont souhaitées [21].

## **II.2 Types de ciment au niveau d'usine :**

Dans cette section, nous allons vous montrer les différents types de ciments des productions de BISKRIA CEMENTS qui sont :

### **II.2.1 CEM I 42,5 R**

Le ciment CEM I 42,5 R est un ciment Portland de type I sans ajouts de la classe de résistance 42,5 dans 28 jours et résistance rapide à jeune âge R suivant EN 197-1.

### **II.2.2 CEM II /A-L42, 5 R**

Le ciment CEM II 42,5 R est un ciment portland de type II avec ajouts de la classe de résistance 42,5 dans 28 jours et résistance rapide à jeune âge R EN 197-1.

### **II.2.3 CEM II /B-L 32, 5 R**

Le ciment CEM II 32,5 R est un ciment portland de type II avec ajouts de la classe de résistance 32,5 dans 28 jours et résistance rapide à jeune âge R EN 197-1.

### **II.2.4 CEM I 42.5 N L H/ SR3**

Le ciment CEM I 42,5 N L H / SR3 est un ciment résistant aux sulfates de type I avec ajouts de la classe de résistance 42,5 dans 28 jours et résistance normal à jeune âge N et faible chaleur d'hydratation EN 197-1 [16].

## **II.3 Méthode d'analyses et contrôle de qualité**

### **II.3.1 Méthode chimiques**

Les méthodes analyse chimique utilisées au niveau de la cimenterie de BISKRIA CIMENT, sont effectués selon la norme européenne «196-2 ».

#### **II.3.1.1 Analyse par fluorescence RX**

##### **a. Description**

La fluorescence X est une propriété spectrale des atomes, exploitée couramment en analyse pour obtenir des renseignements qualitatifs et/ou quantitatifs sur la composition élémentaire de toutes sortes de mélanges [16].

##### **b. Principe**

La spectrométrie de fluorescence X (SFX ou XRF en anglais) est une méthode d'analyse élémentaire utilisant une propriété physique de la matière : « La Fluorescence de rayons X ». En effet, lorsqu'un échantillon est bombardé par un rayonnement primaire émis par une source d'excitation énergétique, un ou plusieurs électrons peuvent être éjectés de leurs orbitales atomiques (ou couches électroniques). Ainsi, un électron d'une couche électronique supérieure vient remplacer l'électron éjecté et libère à son tour de l'énergie sous forme de rayons X. Ce rayonnement secondaire constitue le phénomène de « Fluorescence ».

## Chapitre II : Etude bibliographique et les techniques d'analyses dans l'usine de BISKRIA CIMENTREI

Chaque élément chimique est caractérisé par un spectre de fluorescence X spécifique. L'analyse de ce spectre permet d'identifier les éléments présents dans un échantillon et de déterminer leurs concentrations [16].



Figure II.2 : Analyseur XRF(ZETIUM).

### c. Mode opératoire :

- ⊖ On met le mélange dans le deviseur pour assurer un échantillon représentatif.
- ⊖ On broyer 20 g de mélange (90 s) avec 0,5 de sire (le fondant wax) (20s).
- ⊖ Ensuite, nous prenons un échantillon de 10 g et on le met dans une pastille, cette dernière subit une force de 150 K.N à l'aide d'une pastilleuse automatique.
- ⊖ En dernière étape l'analyse faite par fluorescence X à l'aide d'un programme correspond à ce l'échantillon qu'on veut analyser.
- ⊖ Les résultats d'analyses des différents éléments sont exprimés en pourcentage.



**Figure II.3 : Broyeur à disque**

**Figure II.4 : deviseur**

### **II.3.1.2 Dosage chlorures**

#### **a. Domaine d'application**

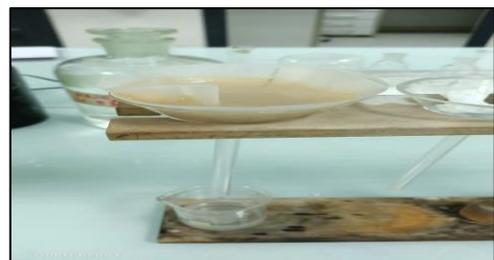
Détermination des chlorures dans les matières première et le produit fini [16].

#### **b. Appareillage**

- Balance au 1/10 de mg de précision
- Agitateur magnétique
- Eau déminéralisée
- Titrateur automatique Titrinon plus 848
- Electrode Ag titrode 6.0420.100
- Pipete graduée
- Becher 250 ml
- Papier filtre qualitative 102
- Réactif : acide nitrique

#### **c. Mode opératoire**

- Peser 8 g pour le ciment et clinker ou 4 g pour les matières premières dans un bécher de 250 ml
- Ajouter 100 ml d'eau déminéralisé et placer le bécher dans agitateur magnétique pendant 10 min
- Filtrer la solution à travers un papier filtre rapide et pipeter 80 ml d'échantillon dans un bécher de titrage
- Ajouter 5 ml d'acide nitrique HNO<sub>3</sub>
- Titrer dans potentiomètre (METROHM) avec solution de nitrate d'argent de concentration 0.1 M



**Figure II.5:** Agitation

**Figure II.6 :** Filtration



**Figure II.7 :** Titracteur automatique Titrimon plus 848

### **II.3.1.3 Dosage de sulfures**

#### **a. Domaine d'application**

Détermination des sulfures dans le produit fini [16].

#### **b. Appareillage**

- Balance au 1/10 de mg de précision
- Agitateur magnétique
- Eau déminéralisée
- Titracteur automatique Titrimon plus 848
- Pipete graduée
- Becher 250 ml
- Réactif : acide nitrique et nitrate d'argent

#### **c. Mode opératoire**

- peser 0.7 g de ciment dans un bécher de 250 ml et ajouter 60 ml d'eau déminéralisé
- agiter la solution pendant 5 à 10 min par agitateur magnétique
- ajouter 4 ml de nitrate d'argent de 0.1 M et agiter pendant 2 min
- ajouter 5 ml d'acide nitrique
- Titrer dans potentiomètre (METROHM) avec solution de chlorure d'hydrogène de concentration 0.05 M

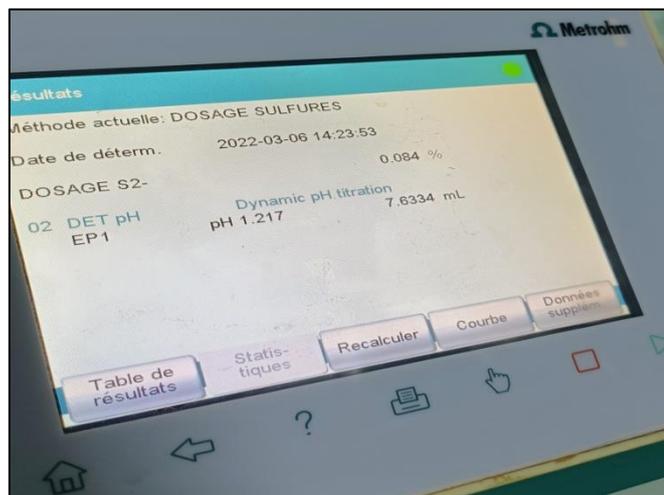


Figure II.8 : Dosage sulfures

### II.3.2 Méthodes physico-mécaniques

#### II.3.2.1 Détermination de la perte au feu (PAF)

##### a. Définitions

La perte au feu est le pourcentage de matière éliminée au cours de la calcination à l'air d'un échantillon [16].

##### b. Domaine d'application

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

##### c. Appareillage

- Capsule en Platine Pt-Au 95% et céramique.
- Balance de précision à 0.1 mg près.
- Four à moufle 950°C + 25 °C avec extraction.
- Dessiccateur.



Figure II.9: four a moufle



Figure II.10 : capsule céramique

**d. Mode opératoire**

- On Pesé et noter la masse d'une capsule en platine, *m1*.
- On Pesé et noter la masse de l'échantillon *pe* comme défini dans le tableau ci-dessous.
- On Placé la capsule dans le four à  $950^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  et laisser calciner comme indiqué dans le tableau ci- dessous.
- On Sortit la capsule du four et laisser refroidir quelques minutes dans un dessiccateur.
- On Pesé et noter la masse de la capsule après perte au feu *m3*.
- La PAF est déterminée selon la formule suivante :

$$\%PAF = \frac{m1+pe-m3}{pe} \times 100$$

*%PAF* : Perte au feu ml : masse de la capsule vide en g.

*m1* : masse de la capsule vide en g.

*Pe* : prise d'essai en g.

*m3* : masse finale (capsule + matière calcinée) [16].

**II.3.2.2 Détermination du pourcentage des refus**

**a. Description**

Le tamis à air ALPINE fonctionne sans aucun mouvement mécanique du tamis ou des autres parties en contact avec la matière, mais simplement par courant d'air.

Il consiste dans l'utilisation contrôlée du courant d'air, pour disperser la matière, entraîner le fin (les fines) à travers les mailles du tamis, nettoyer le tamis [16].

**b. But**

Elle a pour but de déterminer le pourcentage des refus le ciment après le broyage. Les refus sont déterminés pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré du broyage.

**c. Appareillage**

- Tamiseuse Alpine.
- Balance précise à 0.01g.
- Spatule.
- Assiette en inox ou aluminium



**Figure II.11 : Tamiseuse Alpine**

**d. Mode opératoire**

- on fixe le tamis sur la tamiseuse suit le tableau suivant :

**Tableau II.6 : Tamisage**

<b>Matière</b>	<b>Tamis</b>
Farine cru	90µm
Ciment	45µm

- On Pèse 10 g du produit à tamiser dans une assiette définie ( $m_0$ )
- On Place l'échantillon quantitativement (sans pertes) sur le tamis monté sur l'appareil de tamisage.
- On Click démarrage pour lancer Alpine.
- Pour éviter des difficultés de tamisage causées par une charge électrostatique de la poudre on utilise marteau en plastique.
- Pendant 2 minutes. Les particules restantes au-dessus du tamis représentent le pourcentage de refus.
- Après avoir arrêté l'appareil, on pèse la masse restée sur le tamis ( $m_1$ ).
- Le refus sur chaque échantillon est calculé par la formule :

$$\text{Refus} = \frac{m_1}{m_0} \times 100\%$$

$m_0$  : masse de la prise d'essai utilisée, en grammes

$m_1$  : masse du refus, en grammes [16].

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

L'objectif de ce travail est élaborer un ciment à faible teneur en sulfure pour les bétons prés contraint, par conséquent de trouver des sources de sulfure dans le ciment. Pour cette raison on a établi les étapes suivantes :

- Préparation des matières premières de faible pourcentage de sulfate.
- Analyses des matières premières.
- Préparation de crus.
- Cuisson de cru.
- Dosage de sulfure.

### III.1 Les hypothèses

- ✚ La première hypothèse est basée sur l'argile, qui est contrôlée par les changements de taux de sulfure car elle est riche en sulfures et contient une phase de pyrite (sulfure de fer  $\text{FeS}$ ).
- ✚ La deuxième hypothèse basée sur la décomposition chimique des sulfates, nous avons donc choisi des matières premières avec la plus faible teneur en sulfate.

### III.2 Méthodes d'essais

#### III.2.1 Préparation des matières premières

On a préparé des différents échantillons de calcaire, de sable, de minerai de fer et d'argile, de but de trouver des échantillons à faible pourcentage de sulfates par la préparation des pastilles de chaque échantillon.



**Figure III.1 : pastilleuse**



**Figure III.2 : pastille**

### III.2.2 Analyses des matières premières

Les résultats des analyses chimiques de ciments par XRF, Titration de chlorure, Humidité par l'étuve et la PAF par le four à moufle sont présentés dans les tableaux suivants :

**Tableau III.1:** Les compositions chimiques pour l'échantillon des calcaires.

	<b>Calcaire tir</b>	<b>Calcaire 1</b>	<b>Calcaire 2</b>	<b>Calcaire 3</b>
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	0,055	0,008	0,422	0,048
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	0,183	0,185	0,26	0,175
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	0,056	0,057	0,103	0,044
<b>CaO %</b>	54,624	55,26	54,707	55,316
<b>MgO %</b>	0,485	0,474	0,598	0,449
<b>SO<sub>3</sub> %</b>	<b>0,061</b>	<b>0,072</b>	<b>0,125</b>	<b>0,088</b>
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	0	0,005	0,012	0,005
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	0,053	0,07	0,072	0,066
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	0,052	0,042	0,045	0,046
<b>Cl %</b>	0,018	/	/	/
<b>Humidité %</b>	0,3119	/	/	/
<b>Paf %</b>	43,972	/	/	/

**Tableau III.2:** Les compositions chimiques pour l'échantillon des sables.

	<b>Sable oued Dhab</b>	<b>Sable Vrm 1</b>
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	94,826	94,464
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	1,561	1,548
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	1,171	1,321
<b>CaO %</b>	1,245	1,522
<b>MgO %</b>	0,118	0,118
<b>SO<sub>3</sub> %</b>	<b>0,335</b>	<b>0,283</b>
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	0,568	0,572
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	0,159	0,174

<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	0,018	0,018
<b>Cl %</b>	0,03	0,028
<b>Humidité %</b>	0,89	1,3
<b>Paf %</b>	0,96	2,1202

**Tableau III.3:** Les compositions chimiques pour l'échantillon des minerais de fer.

	<b>Fer Chelia 1</b>	<b>Fer Chelia 2</b>
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	23,243	18,329
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	5,574	4,458
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	52,682	58,237
<b>CaO %</b>	1,452	1,8
<b>MgO %</b>	0,86	0,56
<b>SO<sub>3</sub> %</b>	<b>0,346</b>	<b>0,398</b>
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	0,595	0,441
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	0,075	0,067
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	1,186	1,464
<b>Cl %</b>	0,023	0,019
<b>Humidité %</b>	5,85	5,47
<b>Paf %</b>	13,1437	13,0495

**Tableau III.4:** Les compositions chimiques pour l'échantillon des argiles.

	<b>Argile KYMEI</b>	<b>Argile Me-chounech</b>	<b>Argile TA-REF</b>	<b>Argile ZRI-BET-OUED</b>	<b>Argile Sidi-okba</b>
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	34,767	51,968	47,673	36,479	38,646
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	11,111	9,48	16,113	10,897	10,417
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	5,001	4,769	5,907	4,284	3,956
<b>CaO %</b>	24,18	11,144	9,446	21,76	21,512
<b>MgO %</b>	0,554	0,957	2,928	1,473	2,53
<b>SO<sub>3</sub> %</b>	<b>0,013</b>	<b>0,024</b>	<b>2,81</b>	<b>0,769</b>	<b>0,104</b>
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	0,82	1,322	1,921	1,221	1,446

<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	0,267	0,261	0,402	0,275	0,269
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	0,296	0,274	0,239	0,212	0,211
<b>Cl %</b>	0,015	0,024	0,185	0,054	0,026
<b>Humidité %</b>	5,3473	10,63	17,59	5,9755	3,685
<b>Paf %</b>	29,0838	15,06	8,764	23,8114	22,1901

✚ A partir de ces résultats, on constate que toutes les teneurs des ciments dans les matières premières en oxydes de silice (SiO<sub>2</sub>), d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), chaux (CaO), oxyde de magnésium (MgO), oxyde de phosphore SO<sub>3</sub>, alcalins (K<sub>2</sub>O et Na<sub>2</sub>O), et le chlorure sont conformes à la norme [197-1].

### III.2.3 Préparation de crus

Nous avons obtenu du calcaire, du sable et du minerai de fer avec le plus faible pourcentage de sulfates, et dans chaque farine nous avons changé les types d'argile, cinq échantillons ont été préparés.

#### III.2.3.1 La recette de la farine

- 80 g de calcaire
- 15 g d'argile
- 2,5 g de sable
- 2,5 g de minerai de fer

#### III.2.3.2 Les analyses chimiques complètes de la farine

Après la préparation des farines crues, nous avons fait des analyses chimiques par XRF, Pour connaître la composition chimique de chaque farine, les résultats d'analyse chimique est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau III.5:** Les compositions chimiques pour les farines crues.

	<b>Cru (argile kymel)</b>	<b>Cru (argile Ta-ref)</b>	<b>Cru (argile Zribet loued)</b>	<b>Cru (argile Sidi-okba)</b>	<b>Cru (argile Me-chouneche)</b>
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	4,232	8,741	4,921	4,993	7,588
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	1,668	2,825	1,833	1,384	1,493

<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	1,885	2,189	1,701	1,801	2,206
<b>CaO %</b>	43,799	43,472	43,476	43,509	43,576
<b>MgO %</b>	0,072	0,563	0,21	0,204	0,114
<b>SO<sub>3</sub> %</b>	<b>0,12</b>	<b>0,468</b>	<b>0,203</b>	<b>0,125</b>	<b>0,119</b>
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	0,071	0,269	0,045	0,075	0,075
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	0,02	0,125	0,02	0,014	0,015
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	0,097	0,096	0,09	0,082	0,096
<b>Cl %</b>	0,017	0,046	0,032	0,01	0,01
<b>Humidité %</b>	1,374	0,085	0,8019	0,8365	1,33
<b>Paf %</b>	38,9779	38,125	38,4295	33,9658	33,9658



**Figure III.3 :** appareil de XRF

- ✚ Selon nos résultats, on peut dire que les farines préparées sont conformes avec la farine cru de l'usine de BISKRIA CIMENT, le pourcentage de la chaux (CAO) est élevé, le MgO est inférieure à 5% (si la teneur de MgO est élevée elle fait gonfler le ciment) [fich technique].

### III.2.4 Cuisson de cru

Nous versons 50 g de chaque farine dans une capsule da platine et la mettons dans le four à moufle pendant 2 heures et 30 minutes sous une température de 900 °C, tous les quarts d'heure nous sortons la farine pour mélanger et la recuire.

### III.2.4.1 Les analyses chimiques de cuis

#### ➤ La préparation de pastille

- On broyer 20 g de mélange (90 s) avec 0,5 de sire (le fondant wax) (20s).
- Ensuite, nous prenons un échantillon de 10 g et on le met dans une pastille, cette dernière subit une force de 150 K.N à l'aide d'une pastilleuse automatique.
- En dernière étape l'analyse faite par fluorescence X à l'aide d'un programme correspond à ce l'échantillon qu'on veut analyser.
- Les résultats d'analyses des différents éléments sont exprimés en pourcentage.



Figure III.4 : pastille de farine après la calcination

Tableau III.6: Les compositions chimiques pour les farines après calcination.

	Cuis (argile kymel)	Cuis (argile Taref)	Cuis (argile Zribet el oued)	Cuis (argile sidi-okba)	Cuis (argile Me- chouneche)
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	13,134	15,86	14,58	13,69	15,09
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	3,28	4,61	3,65	2,87	3,008
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	1,136	3,442	3,114	3,115	3,323
<b>CaO %</b>	71,713	70,681	73,061	70,585	69,833
<b>MgO %</b>	0,814	1,395	1,097	1,026	0,861
<b>SO<sub>3</sub> %</b>	<b>0,507</b>	<b>0,776</b>	<b>0,59</b>	<b>0,51</b>	<b>0,497</b>
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	0,071	0,313	0,175	0,175	0,168

<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	0,055	0,135	0,058	0,052	0,05
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	0,171	0,174	0,174	0,16	0,146
<b>Cl %</b>	0,005	0,016	0,006	0,007	0,006
<b>Paf %</b>	0,062	0,607	0,4456	0,0052	0,049



**Figure III.5 :** farine après la cuisson (cuis)

- Sur la base de nos résultats, nous pouvons dire que les pertes des masses au feu % PAF sont presque nulle (les valeurs sont très faibles), donc la cuisson des matériaux est terminée.

### III.2.5 Dosage de sulfure

Ces analyses sont effectuées dans un laboratoire d'essais chimiques après la calcination, Les résultats obtenus correspondant à chaque échantillon de ciment sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau.III.7 :** Les analyses chimiques des sulfures

<b>Les matières</b>	<b>sulfure (S<sup>-2</sup>) %</b>
Cuis (argile kymel)	<b>0,084</b>
Cuis (argile Taref)	0,102
Cuis (argile Zribet el oued)	0,12
Cuis (argile Sidi-okba)	0,2
Cuis (argile Mechouneche)	0,193

- Les valeurs des sulfures sont faibles, et par comparaison on peut dire que l'argile de KYMEL donne un très bon résultat.

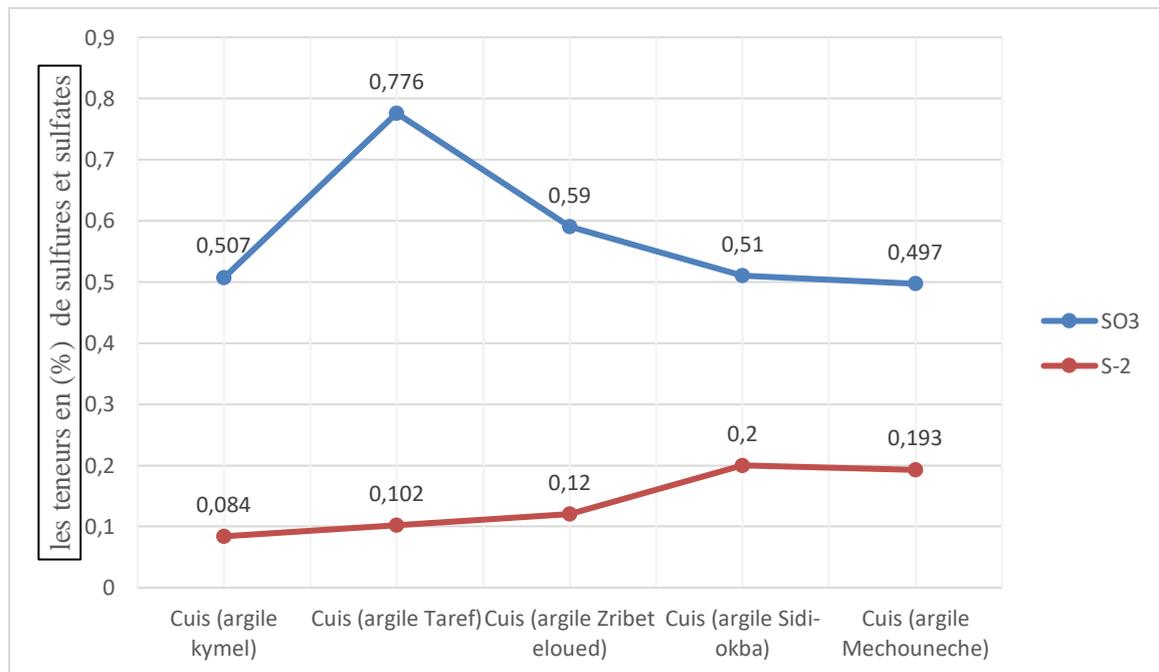
### III.3 Interprétation des résultats

Le tableau ci-dessous mentionne les teneurs des sulfures et des sulfates dans les différents types d'argile et la relation entre les deux.

**Tableau.III.8 :** Comparaison entre les teneurs des sulfates et des sulfures

N°	Les matières	SO <sub>3</sub> %	Sulfure (S <sup>-2</sup> ) %
1	Cuis (argile kymel)	0,507	0,084
2	Cuis (argile Taref)	0,776	0,102
3	Cuis (argile Zribet el oued)	0,59	0,12
4	Cuis (argile Sidi-okba)	0,51	0,2
5	Cuis (argile Mechouneche)	0,497	0,193

- D'après les résultats obtenus par le tableau III.8, nous constatons que la condition de type **cp2 (% de sulfure <0,2)** est respectable pour les quatre types d'argile : kymel, Taref, Zeribet loued et Méchouneche, et donc on peut l'utiliser pour la fabrication de ce type de ciment au niveau de l'usine de BISKRIA.



**Figure III.6:** les courbes de variation des teneurs des sulfures et des sulfates dans cinq types d'argile.

- ✚ A partir de la figure III.6, on n'a trouvé aucune corrélation entre le sulfure et le sulfate dans les cinq échantillons.
- ✚ Les sulfures ne sont pas contrôlés par les sulfates, on peut donc dire qu'il existe une autre source de sulfures dans la composition de ciment.

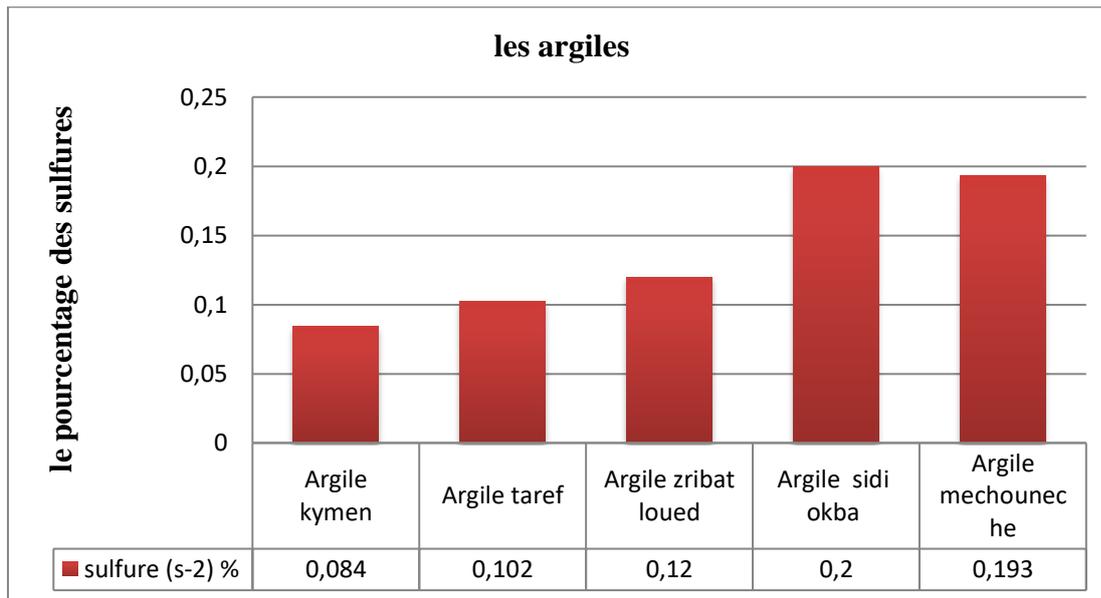
Le tableau suivant résume les teneurs en sulfures trouvés par l'analyse des ciments de l'usine BISKRIA CIMENT :

**Tableau.III.9 :** les résultats d'analyse en teneurs de sulfures de BISKRIA CIMENT

Type de ciment	Sulfure %
CEM I 42,5 R	1,013
CEM I 42,5 R	0,962
CEM LH 42,5 R SR3	<b>0,695</b>
CEM LH 42,5 R SR3	0,700
CEM LH 42,5 R SR3	0,830
CEMI 42,5 R	0,840

- ✚ Selon la comparaison entre les types de ciments de BISKRIA CIMENT présentés dans le tableau ci-dessus, il est remarquable que le type **cp1 (% de sulfure < 0,7)** n'a été atteint qu'une seule fois par le CEM LH 42,5 R SR3.

Dans le diagramme de la figure suivante : on représente la gradation des taux de sulfure suivant chaque type d'argile :



**Figure III.7 :** Diagramme de variation des sulfures dans les argiles de chaque échantillon.

La figure III.7 montre que :

- ✚ L'argile de kymel est la meilleure comme matière première pour élaborer ce type de ciment car il respecte largement le type **cp2** (% de sulfure <0,2).
- ✚ La variation est due à la composition minéralogie de chaque argile et aussi selon la région.

**Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

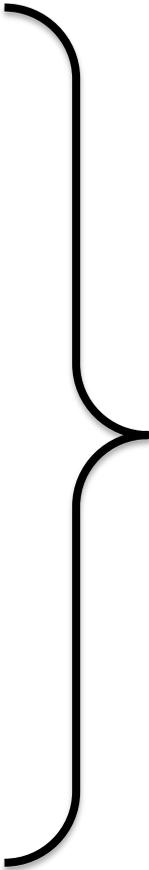
L'Unité de BISKRIA Ciment, produite quatre (4) types de ciments et elle souhaite d'élaborer un nouveau type de ciment de faible teneur en sulfure pour les bétons précontraints pour la première fois en Algérie.

L'étude expérimentale a été menée dans un laboratoire chimique et les cinq (5) échantillons ont été préparés à partir d'argile provenant de différentes régions de la wilaya de BISKRA.

Nos résultats assurent que les types d'argiles ou bien les compositions minéralogiques de chaque argile sont responsables du contrôle de la teneur en sulfure, et par conséquent le sulfate n'est pas la source des sulfures.

Parmi ces argiles, l'argile de KYMEL donne une très faible teneur en sulfure, il est classé dans le **Cp 2** ( $S^{2-} < 0,2 \%$ ) qui est destiné à la précontrainte par pré-tension par la norme NF P 15-318.

A partir de cette étude, l'usine de BISKRIA CIMENT a la capacité de produire ce type de ciment à l'échelle industrielle par les gisements d'argiles disponibles qui leur permettent pour plusieurs années.



**Liste des Références**

## Liste des Références

---

- [1]. A. Ghermaoui, « 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, université de Tlemcen, Algérie, 2015.
- [2]. K. Salhi, « Etude de l'influence de l'ajout du sable de dune et le laitier granulé finement broyés au ciment sur la stabilité de béton. », Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie, 2007.
- [3]. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/calcaires/4-utilisation-des-roches-calcaires/>
- [4]. M. Yahia, « Contribution à la valorisation d'un déchet de cimenterie (ciment hydraté) pour l'élaboration d'un nouveau ciment. », Mémoire de master, université de M'sila, 2016.
- [5]. S. Moumene, G. Athamnia, « Ciment Et Cimenteries En Algérie : Production Et Normalisation », mémoire de master, université de Guelma, 2013.
- [6]. G. Amina, « Effets de certains métaux sur les propriétés physico des mortiers de ciment de Béni pouzzolane », Mémoire du master, Université abou-beker belkaid- Tlemcen, 2015.
- [7]. I. Selloum, « Contribution à la caractérisation d'un ciment à base du laitier », Mémoire d'ingénieur, école nationale supérieure des mines et de la métallurgie amar laskri- annaba, Algérie, 2019.
- [8]. C. Guérandel « Étude de la qualité du piégeage des matières organiques par la matrice cimentaire vis-à-vis de la lixiviation », Chimie analytique : Université Paul Verlaine –METZ, 2009.
- [9]. A. Ameer « Influence de l'ajout pouzzolane sur la résistance du ciment de la cimenterie de Saïda », Diplôme d'ingénieur d'état en chimie et génie des procédés, département de chimie, Université Abou-Bakr Belkaïd, P.13, 2006.
- [10]. N. Bur, « Etude des caractéristique physico-chimique de nouveaux bétons éco respectueux pour leur résistance à l'environnement dans le cadre du développement Durable », Thèse du doctorat, Université de Strasbourg, France, 2012.
- [11]. A. Benguedouar, « Synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydrates (C.S.H) hybrides », Mémoire Magister, Université de yaounde I, Cameroun, 2013.

## Liste des Références

---

- [12]. S.Sabri, «Elaboration et détermination des propriétés d'un nouveau ciment composé à base de pouzzolanes artificielles», Mémoire de Magister, Université science technologie d'Oran, Algérie, 2010).
- [13]. I. Hanafi, Ait-Amrane Djohra, «étude de l'influence des ajouts cimentaires sur l'activité pouzzolanique des mortiers», Mémoire de master, Université A.Mira de Bejaïa, Algérie, 2012.
- [14]. L .Pliskin, « La fabrication du ciment », Edition Eyrolles, 1993.
- [15]. Y. 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.
- [16]. Document de BISKRIA CIMENT.
- [17]. H. MEBARKI, Etude comparative des clinkers de l'ouest Algérien : Analyse Physico-chimique et Applications, mémoire de master en Chimie Physique et Analytique, 2013.
- [18]. M. Chkouni, «Optimisation de la formation d'un Cru stable à travers les fluctuations des matières premières », projet de fin d'études, Université Sidi Mohamed Benabdellah, Fès, Maroc, 2015.
- [19]. Y. Madoui, « Recyclage d'un déchet industriel (poussière de By-pass) », mémoire de master, université de Biskra, 2019.
- [20]. Le ciment portland, documentation de « La cimenterie de Hamma Bouziane », [En ligne]. <http://www.schb.dz/produit/>
- [21]. [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)