



République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Akli Mohand Oulhadj

Institut de technologie

BOUIRA

**Rapport de soutenance**

En vue de l'obtention du

diplôme de Licence

Professionalisant en

**Génie de la formulation**



## **Thème:**

**L'influence de la surface spécifique du Blaine sur  
le ciment**

### **Réalisé par**

- M<sup>elle</sup> DAHOU Fatma Zohra

### **Encadré par :**

- Dr A.BENHOURLA

Docteur /Enseignante

### **Tuteur de l'entreprise :**

*Mme N.KAROUZI*

### **L'entreprise**

L'Entreprise des Ciments et Dérivés  
d'ECH-CHLEF (ECDE)

### **Soutenu devant :**

Mr NOUREDDINE MOHAMMED

Mme N.DAIRI

Année universitaire : 2017 /2018

## ***Remerciements***

*Je tiens tout d'abord à remercier Dr A.BENHOURIA, Directrice du rapport de stage pour son encadrement rigoureux, la disponibilité dont elle a fait preuve et pour sa culture scientifique qu'elle m'a fait acquérir pendant l'élaboration de ce travail.*

*Je suis très reconnaissante à Mme KAROUZI, chef du laboratoire de contrôle de qualité d'avoir mis à ma disposition les moyens et le matériels nécessaires pour accomplir mon projet de fin d'étude, ainsi que de son temps de m'avoir aidé de près, ainsi que tous les membres du laboratoire de contrôle de qualité ECDE, les ingénieurs et les techniciens avec qui j'ai eu le plaisir de travailler.*

*Je remercie également tous les membres de jury qui ont accepté d'examiner mon travail.*

## *Dédicace*

*A toi mon père, à toi ma mère, à tous membres de ma famille, à vous mes sœurs : Imane, Nihale, Rahafe, à vous mes adorables frères : Adem,*

*Ishak.*

*A vous mes meilleures amis : Amel, Hinène, Sabrina, Dyhia, Asma : pour m'avoir supporté durant les années d'études.*

*A vous tous qui m'avez aidé et encourager par vos conseils et vous m'avez offert un espoir vers la réussite.*

## Résumé

Tout un produit industriel est défini par sa qualité dans le marché et la qualité du ciment dépend de la composition initiale (des matières premières) qui entrent dans la fabrication de clinker. Le clinker est un produit semi-fini qui résulte de la cuisson d'un mélange contenant une quantité de calcaire en grande partie et une faible quantité d'argile, de sable et de minerais de fer. Le rassemblement de tous ces composés à l'entrée du four est dit « cru ». La cuisson du cru dans le four rotatif à une température de 1400°C à 1500°C aboutit à la formation du clinker qui est le produit de base du ciment. Pour cette raison, le clinker doit subir un contrôle strict et rigoureux. Il subit à un refroidissement qui provoque une texture et une granulométrie différentes. Notre étude a donc pour objectif d'opérer une analyse granulométrique et chimique du clinker, en vue de chercher la meilleure taille des grains autrement dit la meilleure surface spécifique du Blaine « granulométrie optimale » du clinker au quel doit se référer le laboratoire afin de minimiser le temps, le coût et diminuer la marge d'erreur.

**Mots clés :** ciment, surface spécifique du Blaine, clinker.

## ملخص

يتم تعريف المنتج الصناعي بأكمله بجودته في السوق ونوعية الأسمنت تعتمد على التركيب الأولي (المواد الخام) التي تدخل في تصنيع خبث المعادن. خبث المعان هو منتج شبه نهائي ينتج عن طهي خليط يحتوي على كمية كبيرة من الحجر الجيري وكمية صغيرة من الطين والرمل وخام الحديد. جمع كل هذه المركبات إلى الفرن يسمى "الخام"، ويؤدي طبخ المواد الخام في الفرن الدوار عند درجة حرارة 1400 درجة مئوية إلى 1500 درجة مئوية إلى تكوين خبث المعادن الذي يعتبر المنتج الأساسي للأسمنت. ولهذا السبب، يجب أن يخضع خبث المعان لسيطرة صارمة. إنها تخضع لعملية التبريد التي تنتج حبوب ذات أحجام مختلفة. لذلك تهدف دراستنا إلى إجراء تحليل حبيبي وكيميائي لخبث المعادن، من أجل البحث عن أفضل حجم للحبيبات الأخرى، أو مع تعبير أفضل سطح محدد من "حجم الجسيمات المثلى" من خبث المعان الذي يجب أن يحلله المختبر من أجل تقليل الوقت والتكلفة وتقليل الخطأ.

**الكلمات المفتاحية:** الاسمنت، سطح معين من بلين، خبث المعادن.

# Sommaire

# Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction ..... 1

## **Chapitre I : Partie théorique..... 2**

I.1. Présentation de l'entreprise [3] ..... 2

I.2. Généralités sur le ciment..... 3

I.2.1. Définition d'un ciment..... 3

I.2.2. Historique du ciment ..... 3

I.2.3. Phases du ciment [8]..... 3

I.2.4. Classification du ciment ..... 4

I.2.4.1. Selon leur composition ..... 5

I.2.4.2. Selon leur résistance normale ..... 5

I.2.5. La nomenclature du ciment [3]..... 5

I.2.6. Définition du clinker..... 5

I.2.7. Définition de la surface spécifique du Blaine..... 6

I.2.8. Les constituons de base ..... 6

I.2.8.1. Les matières premières du ciment ..... 6

a. L'argile ..... 6

b. Le calcaire ..... 7

I.2.8.2. Matériaux de correction..... 7

a. Minerai de fer ( $Fe_2O_3$ )..... 7

b. Bauxite ..... 7

c. Le calcaire sableux ..... 7

d. Sable..... 7

e. Le gypse ..... 7

I.2.8.3. Les matières utilisées comme ajouts ..... 7

a. La pouzzolane ..... 7

b. Le laitier ..... 7

c. Les cendres volantes..... 8

d. Les schistes calcinés..... 8

e. Fumées de silice .....	8
f. Piliers.....	8
I.2.9. Les différentes voies de fabrication [19] .....	8
I.2.9.1. La voie humide .....	8
I.2.9.2. La voie semi humide.....	8
I.2.9.3. La voie semi sèche .....	8
I.2.7.4. La voie sèche.....	9
I.3. Procédé de fabrication du ciment.....	9
I.3.1. L'extraction des matières premières .....	10
I.3.2. Concassage .....	11
I.3.3. Préparation de cru .....	11
I.3.4. Pré-homogénéisation .....	12
I.3.5. Broyage de cru.....	12
I.3.6. Séparation .....	12
I.3.7. Homogénéisation .....	13
I.3.8. Filtration .....	13
I.3.9. Préchauffage .....	13
I.3.10. Cuisson .....	13
I.3.11. Refroidissement .....	15
I.3.12. Stockage du clinker .....	15
I.3.13. Broyage du ciment.....	15
I.3.14. Stockage du ciment.....	15

## **Chapitre II : Matériels et méthodes ..... 17**

II.1. Expériences .....	17
II.1.1. La granulométrie du clinker .....	17
II.1.2. Le broyage de clinker .....	17
II.1.3. La préparation du notre ciment.....	18
II.2. Contrôle de qualité.....	18
Les différents contrôles effectués sont : .....	18
II.2.1. Les analyses chimiques du ciment.....	19
II.2.1.1. La détermination de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) .....	20
II.2.1.2. La détermination de la chaux ( $\text{CaO}$ ) .....	20

II.2.1.3.	Détermination de la magnésie (MgO) .....	20
II.2.1.4.	Détermination de l'oxyde de fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	21
II.2.1.5.	Détermination de l'oxyde de l'aluminium (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	21
II.2.1.6.	La perte au feu (PAF) .....	22
II.2.1.7.	Détermination de la chaux libre (CaO <sub>l</sub> ) .....	22
II.2.2.	Les analyses physiques du ciment .....	22
II.2.2.1.	La détermination du refus .....	22
II.2.2.2.	Détermination de la surface spécifique du Blaine (SSB) .....	23
II.2.2.3.	Mesure de la densité .....	24
II.2.2.4.	Détermination de la consistance normale .....	24
1.	Mode opératoire .....	25
2.	Vérification de la consistance normale (N229) .....	25
II.2.2.5.	Teste de l'expansion .....	26
II.2.2.6.	Essai mécanique (flexion et compression) .....	27
a.	Définition .....	27
b.	Préparation de mortier normal .....	27
<b>Chapitre III : Résultats et discussions .....</b>		<b>28</b>
Chapitre III : Résultats et discussions .....		28
III.1.	Identification des échantillons .....	28
III.2.	Les analyses chimiques .....	29
III.2.1.	Détermination des oxydants .....	29
III.1.2.	Analyses complémentaires physico-chimiques du ciment .....	30
III.2.	Analyses physiques .....	30
III.2.1.	Caractérisation physique du ciment .....	30
III.2.2.	Caractérisation mécaniques du ciment .....	31
Conclusion .....		32



# Liste des tableaux

## **Liste des tableaux**

Tableau I. 1: Principales phases du ciment portland.....	4
Tableau I. 2: Teneur des oxydants. ....	4
Tableau I. 3: Caractéristiques du four rotatif [3]. ....	14
Tableau III. 1: Identification des échantillons .....	28
Tableau III. 2: L'analyse chimique des constituants du ciment pour les trois échantillons .....	29
Tableau III. 3: Analyses complémentaires.....	30
Tableau III. 4: Analyses physico-chimiques du ciment.....	31
Tableau III. 5 : Résultats de l'expansion. ....	31

# Liste des figures

## Liste des figures

Figure I. 1:Micrographie de clinker montrant les quatre phases cristallines principales.....	4
Figure I. 2: Clinker de Chlef de taille environ 5 mm.....	6
Figure I. 3: Processus de fabrication du ciment.....	10
Figure I. 4: Carrière de Chlef.....	10
Figure I. 5: Bandes transporteuses.....	11
Figure I. 6: Hall de préhomogénéisation.....	12
Figure I. 7: Four rotatif.....	14
Figure I. 9: Ciment prêt à vendre.....	16
Figure II. 1: Clinker.....	17
Figure II. 2: Broyeur à disque.....	18
Figure II. 3: Creuset.....	19
Figure II. 4 : Protocole de filtration.....	19
Figure II. 5: Creuset remplis de la silice sur la plaque chauffante.....	20
Figure II. 6: Titrage pour déterminer l'oxyde de fer.....	21
Figure II. 7 :Appareil apline.....	23
Figure II. 8 : Perméabilimètre de Blaine.....	24
Figure II. 9 : Aguille de Vicat.....	24
Figure II. 10: Prismètre automatique.....	26
Figure II. 11 : Châteliers.....	26
Figure II. 12: Briquettes.....	27
Figure III. 1: Histogramme de la variation des constituants chimiques du ciment des trois échantillons.....	29
Figure III.3 : Evolution de la résistance en fonction du temps.....	31

# Introduction

## Introduction

Le ciment devient vraiment un produit nécessaire dans la vie quotidienne car ces dernières années, notre pays est devenu un grand chantier ouvert. De nombreux projets de construction économiques et sociaux ont été construits, d'autres sont en cours de réalisation, ce qui justifie la forte demande sur le ciment. Pour répondre à cette demande qui est en perpétuelle augmentation, la maîtrise du processus de fabrication du ciment est indispensable. Ce processus intègre des technologies diverses dans un environnement en perpétuelle concurrence.

Le ciment à ajout calcaire est connu partout dans le monde. Son utilisation présente des avantages économiques évidents (moins d'énergie) et préserve l'environnement (moins de CO<sub>2</sub>). En Algérie la demande énergétique augmente considérablement d'une année à l'autre et depuis 2000, elle dépasse l'énergie disponible [1].

La qualité du ciment dépend surtout de la composition chimique des matières premières qui entrent dans la synthétisation du clinker. L'étape de fabrication de ce produit intermédiaire représente la partie la plus coûteuse dans le procédé entier de fabrication ce qui demande une utilisation du clinker dans la fabrication à des proportions bien économiques. Certes plus la proportion du clinker dans le ciment est importante plus la qualité est parfaite, plus le coût de fabrication est élevé. Sur ces liens entre la qualité du ciment, la quantité du clinker et le coût de fabrication, le clinker doit subir un contrôle strict et rigoureux [2].

Notre étude a donc pour objectif d'opérer une analyse granulométrique et chimique du clinker en vue de chercher la meilleure taille des grains « tranche optimale » du clinker au quel doit se référer le laboratoire afin de minimiser le temps et diminuer la marge d'erreur. La réalisation de ces objectifs constitue la base de notre étude réalisée dans le cadre d'un projet de fin d'études.

Alors dans le premier chapitre on va entamer sur des généralités et des définitions sur le ciment et le procédé de fabrication de ce produit, dans le deuxième chapitre on va essayer de faire des expériences concernant le thème étudié, et dans le troisième chapitre on va noter les résultats trouvés et en fin on termine par une conclusion.

# Chapitre I

## Partie théorique

## Chapitre I : Partie théorique

### I.1. Présentation de l'entreprise [3]

L'entreprise des ciments et dérivés d'ECH-CHLEF (ECDE) est située dans la zone industrielle d'Oued Sly environ 9km au sud-ouest de la ville de CHLEF, elle est construite entre 1957 et 1978 par une firme japonaise (KAWASAKI HEAVY INDUSTRY) en collaboration d'une société Belge (ACEC) pour l'installation des équipements électriques et la société Algérienne (Nord-African) pour le génie civil. L'entreprise des ciments et dérivés d'ECH (ECDE) est une société mono-unité créée par le décret N°82/325 du 25 octobre 1982. Elle est devenue une entreprise publique économique le 09/10/1989. Les activités de cette entreprise sont la fabrication et la commercialisation du ciment portland artificiel (CPA) et ciment portland aux ajouts (CPJ CEM II/A 42.5) d'où 42.5 est la résistance à la compression pendant 28 jours en MPa et ciment résistant au sulfate (CRS).

L'unité de production couvre une superficie de 40 hectares environ, et elle est dotée de deux lignes de fabrication EAL et EALL.

Le procédé utilisé est la voie sèche pour les deux lignes EAL et EALL de production d'une capacité nominale unitaire de 3000 tonnes/jours de clinker chacune avec :

- Un concassage calcaire-Argile commun aux deux lignes.
- Un parc de pré-homogénéisation de 100000 tonnes.
- Deux ateliers de broyages cru de 290t/h chacun.
- Deux lignes de cuisson, et un atelier de stockage de clinker comportant un all couvert de 4000 tonnes et de 8 silos d'une capacité de 48000 tonnes.
- Trois broyeurs à boulets d'une capacité globale de 350 t/h pour le broyeur du ciment.



## **I.2. Généralités sur le ciment**

### **I.2.1. Définition d'un ciment**

Un ciment est un liant hydraulique élaboré communément utilisé en construction mais aussi pour la réalisation des grands ouvrages de conception souvent audacieuse [4].

Le ciment est un mélange finement broyé et homogénéisé qui est préparé à partir d'un constituant de base (le clinker) et d'ajout tels que le gypse [5].

Il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau, cette hydratation transforme la pâte liante qui a une consistance de départ plus au moins fluide en un solide insoluble dans l'eau, l'hydratation est due principalement de certains composants chimiques minéraux, sont des silicates [6].

### **I.2.2. Historique du ciment**

Le ciment est un liant hydraulique et le constituant de base des bétons et matières à la manière d'une « colle », il permet d'agglomérer entre les grains de sable et les granulats. Etymologiquement, le mot ciment vient du latin caementum, originellement « pierre naturelle, non taillée ». Le ciment est un produit très connu dans la civilisation contemporaine, mais il est mal connu du grand public. Sa fabrication est une prouesse technologie. Le mélange de calcaire, d'argile, de sable et d'eau dans les constructions est ancien : les Egyptien l'utilisaient déjà.

En 1817, le jeune ingénieur **Louis Vicat** mène des travaux autour des phénomènes d'hydraulicité du mélange « chaux - cendres volcaniques ».

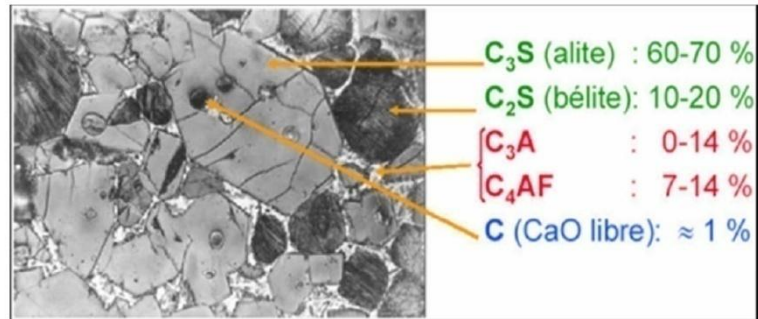
**Louis Vicat** est le premier à déterminer de manière précise , artificielle et contrôlée les proportions de calcaires et de silices nécessaires à l'obtention du mélange qui après cuisson à une température donnée et après broyage donne naissance à un liant hydraulique industrialisable (le ciment). Mais il publie le résultat de ses recherches sans déposer de brevet.

L'Ecossois **Joseph Asdin** affine la composition du ciment mis au point par Louis Vicat et dépose en 1824 le brevet d'un ciment en prise lente il le baptise « Portland » en raison de sa ressemblance avec une roche de la région de Portland dans le sud de l'Angleterre [7].

### **I.2.3. Phases du ciment [8]**

Pour désigner les phases cimentières, on utilise en général une notation abrégée dite « notation

shorthand » ou « notation cimentière » utilisant l'initiale des oxydes à la place des symboles chimiques classiques : C pour CaO (Chaux), S pour SiO<sub>2</sub> (silice), A pour Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alumine), M pour MgO (Oxyde de magnésium ou périclase) et F pour Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hématite).



**Figure I. 1:**Micrographie de clinker montrant les quatre phases cristallines principales.

**Tableau I. 1:** Principales phases du ciment portland.

Composés	Composition	Abréviation
Silicate tricalcique	3CaO SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicate bicalcique	2CaO SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminate tricalcique	3CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Aluminoferrite tétracalcique	4CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Ainsi les oxydants trouvés dans le ciment

**Tableau I. 2:** Teneur des oxydants.

Les oxydants	Teneur limite	Source
CaO	60 à 69	Calcaire
MgO	18 à 49	
CaO <sub>1</sub>	4 à 8	Argile
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 à 8	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0 à 5	Calcaire et argile
SiO <sub>2</sub>	0 à 2	
SO <sub>3</sub>	0 à 3	

#### I.2.4. Classification du ciment

Les ciments peuvent être classés en deux classes soit : en fonction de leur résistance normale à 28 jours soit en fonction de leur composition [9].

#### **I.2.4.1. Selon leur composition**

Selon la norme NF P15-301 les ciments constitués de clinker et des composants secondaires sont classés en cinq types d'où ils sont numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans la notation européenne, la notation française est indiquée entre parenthèses.

1. CEMI: Ciment portland artificiel « sans ajouts » (CPA).
2. CEM II: Ciment portland composé (CPJ).
3. CEM III: Ciment de haut fourneau (CHF).
4. CEM IV: Ciment pouzzolanique (CPZ).
5. CEM V: Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

#### **I.2.4.2. Selon leur résistance normale**

Il y a trois classes de la résistance normale à 28 jours des sous classes sont associées à ces trois classes afin de désigner des ciments dont les résistances à jeune âge sont élevées, ces classes sont notées classe « 32,5 », classe « 42,5 », classe « 52,5 ».

#### **I.2.5. La nomenclature du ciment [3]**

Une nomenclature régit le nom des produits industriels (ciments), afin de donner des indications sur sa composition, simplement à partir de son nom.

- Exemple du ciment de Chlef : CPJ - CEM II / A 42,5 R
- Le premier chiffre romain **II** indique le type de ciment (composition).
- La lettre majuscule **A** veut dire Algérienne.
- Les chiffres **42,5** indiquent la classe de résistance.
- Enfin, la dernière lettre indique la résistance (soit **R** au jeune âge ou soit **N** normale).

#### **I.2.6. Définition du clinker**

Le clinker est fabriqué à partir d'une matière première naturelle crue qui contient des proportions définies du calcaire qui apporte le carbonate du calcium (CaO), de l'argile qui apporte la silice (SiO<sub>2</sub>), l'alumine (AlO<sub>2</sub>) et l'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [10].



**Figure I. 2:** Clinker de Chlef de taille environ 5 mm.

### **I.2.7. Définition de la surface spécifique du Blaine**

La finesse de la farine de ciment est l'une des conditions essentielles de la qualité de ce produit, elle est due essentiellement au broyage du ciment.

Cette méthode : la surface spécifique du Blaine est déterminée par mesure de la résistance à travers un milieu poreux, ou à travers un lit poudre constitué de particules non microporeuses. Les méthodes de Blaine ainsi que celle de Lea et Nurse sont les plus utilisées. La méthode de Blaine est applicable à des particules de taille supérieure à  $1\mu\text{m}$  et mesure de la surface d'un lit de particules sphériques à travers duquel un écoulement d'air subirait la même perte de charge que dans le lit de particules examinées [11].

### **I.2.8. Les constituons de base**

#### **I.2.8.1. Les matières premières du ciment**

Les matières premières utilisées dans la fabrication du ciment sont extraites d'une carrière exploitée à ciel ouvert en amont l'argile et le calcaire, le ciment est fabriqué à partir de chaux  $\text{CaCO}_3$ , de silice  $\text{SiO}_2$ , d'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et d'oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [12].

##### **a. L'argile**

L'argile est une roche sédimentaire, composée par une large part de minéraux spécifiques, silicates en générale, d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée. Cette matière constitue essentiellement de silice, d'alumine et de fer elle peut être sous forme des argiles résiduelles provenant de la décomposition sur place de roches existantes, du fait d'agents physico-chimiques ou des argiles transportées et déposées sous l'effet des mers, des cours d'eau des glaciers et du vent [7].

**b. Le calcaire**

Le calcaire peut être de pureté et de dureté variable, il provient des dépôts de  $\text{CaCO}_3$  contenu dans les eaux de mer ou de lacs, des dépôts provoqués par précipitation chimique ou réalisé par l'intermédiaire d'organisme vivant. Certains dépôts sont soumis à une pression et température suffisante alors ils donnent des calcaires cristallins, parmi les impuretés qui ont rencontré dans les calcaires sont : la silice, la magnésie, le fer, les alcalis. La réaction chimique de base de la fabrication du ciment commence avec la décomposition du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) en chaux (oxyde de calcium,  $\text{CaO}$ ) accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) [8].

**I.2.8.2. Matériaux de correction**

**a. Minerai de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )**

Le minerai de fer provient d'une carrière. Il intervient pour compenser le manque de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [13].

**b. Bauxite**

La bauxite, minerai naturel utilisé pour produire l'aluminium, elle est extraite et transformée par affinage en alumine, qui est ensuite transformée en aluminium par électrolyse [14].

**c. Le calcaire sableux**

Les calcaires sableux sont d'origine détritique. Ils contiennent principalement la silice [13].

**d. Sable**

Le sable est fait de grains minéraux tous petits ( $\leq$  millimètres). C'est de la roche effritée par l'érosion [15].

**e. Le gypse**

Le gypse est un minéral composé de sulfate hydraté de calcium de formule  $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$  ainsi qu'une roche évaporitique [16].

**I.2.8.3. Les matières utilisées comme ajouts**

**a. La pouzzolane**

La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche. Elle est généralement rouge ou noire, constituée principalement par la silice, de l'alumine et d'oxyde de fer [17].

**b. Le laitier**

Les laitiers des hauts fourneaux sont des sous-produits formés lors de l'élaboration de fonte, à partir de minerai de fer ils contiennent la silice ( $\text{SiO}_2$ ), chaux ( $\text{CaO}$ ), alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et l'oxyde de magnésium ( $\text{MgO}$ ) [13].

**c. Les cendres volantes**

Elles contiennent principalement de la chaux et de silice réactive, sont des produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques [13].

**d. Les schistes calcinés**

Ce sont des schistes que l'on porte à une température d'environ 800°C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques [13].

**e. Fumées de silice**

Les fumées de silice sont des sous-produits de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1  $\mu\text{m}$ ). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent être présentées pour au moins 85 % (en masse). Elles ont des propriétés pouzzolaniques [13].

**f. Piliers**

Ce sont des constituants secondaires des ciments, donc ils ne peuvent jamais excéder 5 % en masse dans la composition du ciment. Ce sont des matières minérales, naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau) [13].

**I.2.9. Les différentes voies de fabrication [5]**

Il existe quatre principaux procédés de fabrication du ciment qui diffèrent entre eux selon la nature du traitement thermique utilisé :

**I.2.9.1. La voie humide**

La matière première, après concassage est délavée dans l'eau, puis broyée en humide. La pâte obtenue est homogénéisée, puis alimente le four. Cette méthode est abandonnée pour des raisons d'économie d'énergie.

**I.2.9.2. La voie semi humide**

La matière première est préparée en voie humide, puis séchée avant le four.

**I.2.9.3. La voie semi sèche**

La farine crue sèche passe d'abord dans un granulateur où elle est humidifiée.

#### **I.2.7.4. La voie sèche**

C'est la plus utilisée et la plus économique. La matière première une fois concassée, broyée à sec, homogénéisée, et avant l'entrée au four elle est chauffée à travers des cyclones. A l'entrée du four rotatif, la farine est à une température de 900 à 1000°C. Cette voie est utilisée au niveau d'ECDE.

### **I.3. Procédé de fabrication du ciment**

La fabrication du ciment est un processus très complexe, dans lequel les matières premières subissent des transformations physico-chimiques successives jusqu'à l'obtention du produit fini [8].

Ce procédé comprend deux phases essentielles :

La première phase du procédé comprend la fabrication du clinker suite à la cuisson d'un mélange cru (ou farine). Cette farine est composée en grande proportion de calcaire 80%, d'argile 15%, 4 % de sable et 1% de minerai de fer. Le clinker constitue en quelque sorte le ciment dans son état pur.

La deuxième phase est le broyage du clinker mélangé à des matières de corrections (ajouts) [7].

Pour fabriquer un ciment théoriquement, il faut que les matières premières contiennent des matériaux quelconques renfermant chaux, silice, alumine et fer. Mais à la pratique les possibilités sont limitées parce qu'on est obligés de choisir des matières premières faciles à extraire, traiter et combiner surtout. Il est possible aussi d'utiliser des ajouts pour renforcer certaines propriétés [18].

A l'entreprise ECDE de Chlef les matières premières essentielles dans la production du ciment sont ; l'argile à 20% de  $\text{CaCO}_3$  et le calcaire à 80% de  $\text{CaCO}_3$ .

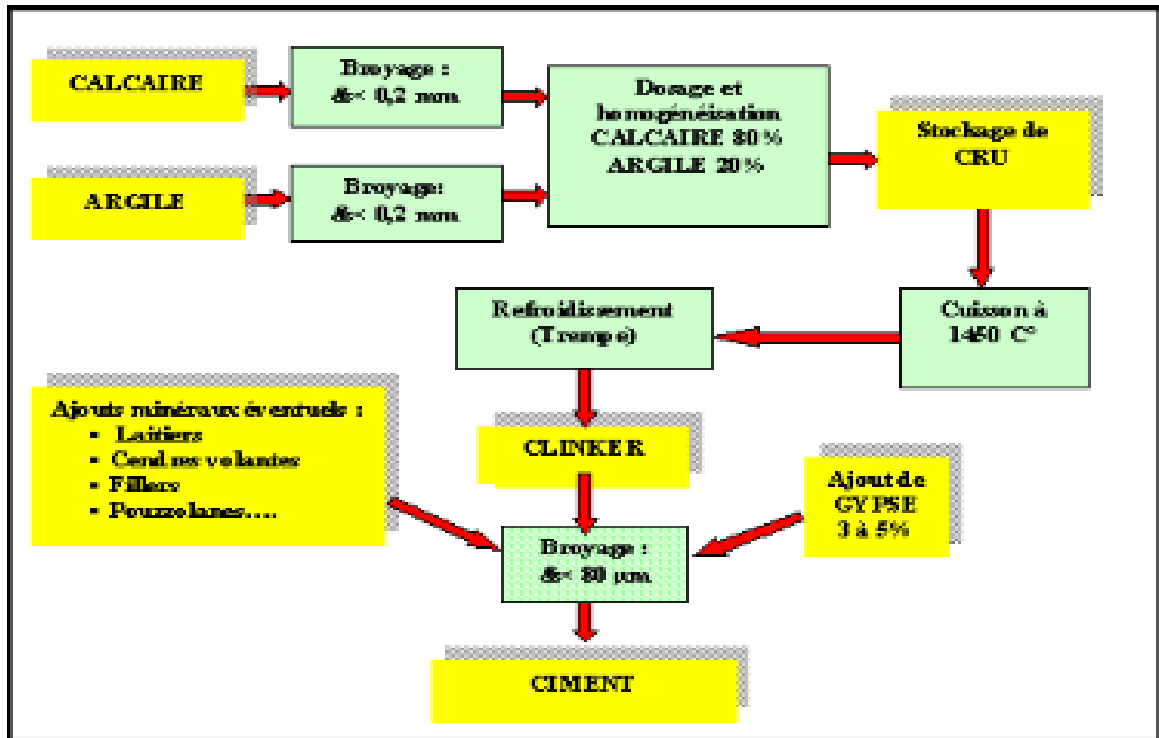


Figure I. 3: Processus de fabrication du ciment.

### I.3.1. L'extraction des matières premières

L'extraction des matières premières consiste à extraire l'argile et le calcaire partir de carrière naturelle à ciel ouvert, ces matières sont acheminées par des bandes transporteuses vers un atelier de concassage [8].



Figure I. 4: Carrière de Chlef.





**Figure I. 5:** Bandes transporteuses.

### **I.3.2. Concassage**

Les matières arrivent à l'usine en gros blocs avec une humidité élevée et une dureté importante, alors il est obligatoire de les concasser puis les sécher, ainsi de choisir le matériel utilisé selon la grosseur des roches et la finesse désirée et du rendement escompté pour réduire la taille des blocs, le concassage consiste à soumettre les matières premières à des efforts d'impact, d'attraction, de cisaillement ou de compression .

Les concasseurs utilisés sont différents dépendent du procédé de concassage adopté et de la dureté des pierres, on trouve :

- Le concasseur à mâchoires : il est utilisé pour les matériaux abrasifs non collants
- Le concasseur giratoire
- Le concasseur à cylindre dentée : il est utilisé pour les matériaux humides très collants
- Le concasseur à marteau : il est utilisé pour les matériaux faibles à mi-dures non abrasifs [19].

### **I.3.3. Préparation de cru**

Après le concassage du mélange (calcaire et l'argile) on obtient des granulats de 1 à 25mm, ces derniers sont acheminés par des bandes transporteuses couverts, puis le mélange sera stocké dans un hall de pré homogénéisation.

Le stockeur forme deux tas l'un en constitution et l'autre en reprise.

Il s'agit aussi une correction juste avant le broyage cru, le but de cette correction est d'ajouter le calcaire, le sable, le minerai de fer. Ensuite le mélange est transporté vers un concasseur sécheur qui réduira la granulométrie de 1 à 7 mm par une bande [20].

### **I.3.4. Pré-homogénéisation**

Dans un hall, la matière première est étendue en couche horizontales successives formant un tas par un des roues pelles, les couches sont ensuite reprise verticalement ce qui permet de prélever un mélange de composition identique, d'où la pré-homogénéisation se fait à l'aide d'un bras râteau [21].



**Figure I. 6:** Hall de préhomogénéisation

### **I.3.5. Broyage de cru**

Pour que les matières pré-homogénéisées du mélange cru soit plus réactives au cours de leur cuisson dans le four, il faut qu'elles soient finement broyées. Les meilleurs clinkers sont les plus fins parce que les réactions chimiques et les échanges thermiques sont plus intenses que les surfaces des particules sont plus grandes. Dans l'entreprise ECDE de Chlef le broyage est effectué au même temps avec le séchage de cru. Ce broyeur fonctionne avec un séparateur à air et un broyeur sécheur. Ce dispositif est très efficace car les gaz chauds enveloppent complètement les particules fines et leur transmettent leur chaleur. Les facteurs responsables à déterminer la quantité de gaz chaud qu'il faut fournir à l'installation pour éliminer l'eau de cru sont : le degré d'humidité de la matière et la température du gaz. La vapeur d'eau produite est évacuée du groupe broyeur par élimination d'une quantité du mélange air-vapeur, elle doit être abondante pour éviter la condensation [20].

### **I.3.6. Séparation**

Le but de cette étape est d'envoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées de récupérer les particules fines contenues dans le gaz.

### I.3.7. Homogénéisation

La farine crue (le mélange cru) est homogénéisée dans deux silos d'une capacité unitaire 10000T. Le principe est d'envoyer l'air en bas de silos permettant de fluidifier la farine. Les deux silos sont alimentés et soutirés simultanément pour que l'homogénéisation être efficace.

### I.3.8. Filtration

Les filtres utilisés sont des filtres à manches de feutre aiguillète qui retiennent les particules entraînées par les gaz sortants du moulin [22].

### I.3.9. Préchauffage

Le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique.

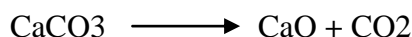
Dans le cas des ciments gris, le clinker est refroidi dans la plupart des cimenteries actuelles par un refroidisseur à grilles, le clinker va progresser à l'intérieur du refroidisseur grâce aux à-coups répétés des grilles sur lesquelles il repose à travers des grilles de puissants ventilateurs vont souffler sous le clinker afin de le refroidir à l'entrée ou à la sortie du refroidisseur selon le modèle utilisé un concasseur à un ou plusieurs rouleaux va le broyer de manière grossière [23].

### I.3.10. Cuisson

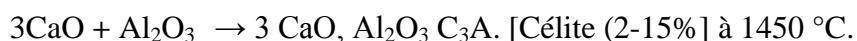
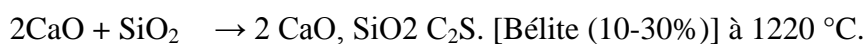
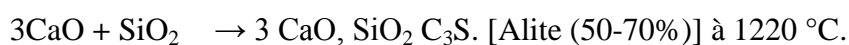
Cette étape consiste à sécher, déshydrater et décarbonater partiellement la matière crue. Le capot de chauffe à la sortie du four est équipé d'un brûleur spécial qui atteint une température maximale d'environ 1450°C pendant 1 heure. La flamme résultante de la combustion du coke de pétrole se trouve à l'extrémité la plus basse du four. La matière est introduite à l'autre extrémité et avance lentement sous l'effet de la rotation et de l'inclinaison du four, la matière complète sa décarbonatation et se transforme par cuisson jusqu'à ce qu'il devient « clinkérisé », sous forme de grains gris foncés arrondis dont les dimensions sont irrégulières.

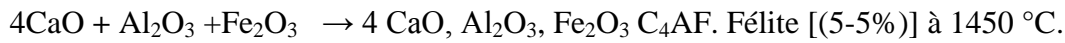
Dans le four on distingue trois phases :

- Phase de décarbonatation ou fin décarbonatation : comprise entre 820 et 900°C :



- Phase transitoire ou phase liquide Caractérisée par la formation des combinaisons provisoires :





Le clinker contient encore en faible quantité des alcalins ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), de la magnésie ( $\text{MgO}$ ) et divers traces de métaux.

La teneur en alcalin et magnésie doit rester faible car ces matières peuvent influencer défavorablement sur le durcissement du ciment.

- Phase de clinkérisation : (1420 à 1450)°C transformation de  $\text{C}_2\text{S}$  en  $\text{C}_3\text{S}$  [7].

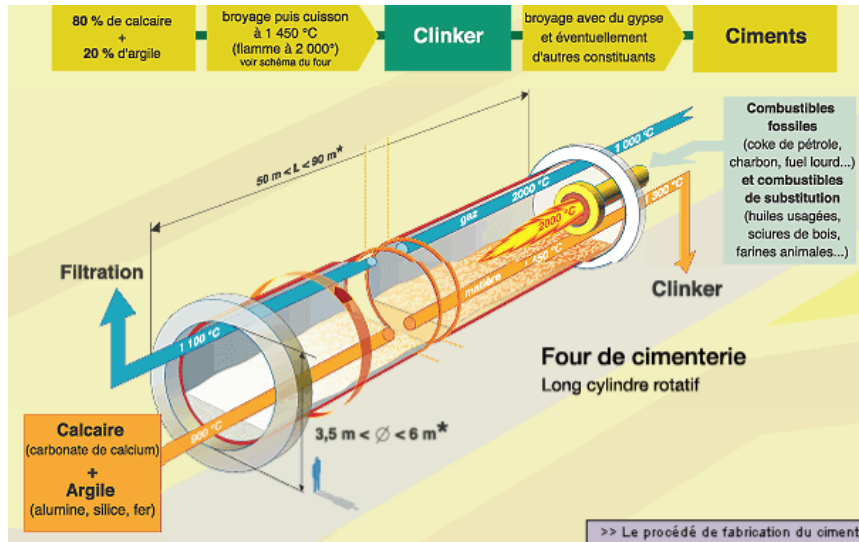


Figure I. 7: Four rotatif

Tableau I. 3: Caractéristiques du four rotatif [3].

<b>Production nominale du clinker</b>	<b>3000T/j</b>
Consommation calorifique garantie à production nominale	840Kcal
Longueur totale de la virole	90000mm
Diamètre intérieur de la virole	5700/5400mm
Diamètre utile de conique d'entrée	4000mm
Epaisseur de briquetage	225mm
Diamètre utile	5250/4950mm
Vitesse de rotation	0.82-1.97tr/min
Moteur principale	500Kw

### **I.3.11. Refroidissement**

A l'aval du four le clinker sort avec une température dépassant  $1400^{\circ}\text{C}$  et chute vers  $100^{\circ}\text{C}$  dans le refroidisseur, pour subir une trompe rapide afin de figer les  $\text{C}_3\text{S}$  et les empêcher de redevenir des  $\text{C}_2\text{S}$  chose qui influe sur la qualité du clinker en matière de sa composition et qui influe par la suite sur l'atelier de broyage cuit parce que les  $\text{C}_2\text{S}$  sont difficile à broyer. Les refroidisseurs permettent aussi de baisser la température du clinker pour faciliter la manutention et le stockage.

### **I.3.12. Stockage du clinker**

Le clinker se présente sous la forme des granulats de différents diamètres de la grosseur d'une noisette. Après le refroidissement le clinker est évacué par un tapis vers un hall/silo où il sera stocké en attendant d'être broyé pour obtenir un ciment à la fin. La capacité du stockage peut atteindre plusieurs dizaines de milliers de tonnes (30000 Tonnes dans chaque silo).

### **I.3.13. Broyage du ciment**

Le clinker et les ajouts sont des matériaux grossiers par rapport à la granulométrie du ciment, ils sont introduits au niveau du broyeur dans des proportions prédéfinies pour subir des efforts mécaniques du broyage et produire ainsi le ciment qui est d'une finesse inférieure à 40 microns.

L'atelier de broyage comprend le broyeur, le séparateur (qui sélectionne les particules selon leur grosseur), le dépoussiéreur du broyeur. Les ajouts (gypse, calcaire, cendre volante, pouzzolane) avec des pourcentages différents selon la qualité souhaitée du ciment au niveau de l'entreprise ECDE les ajouts principales sont le gypse qui joue le rôle d'un retardateur de prise et le calcaire pour minimiser les coûts de fabrication ainsi d'obtenir des quantités en plus.



**Figure I.16:** Broyeur.

### **I.3.14. Stockage du ciment**

Après le broyage du clinker avec les ajouts, on peut dire que le ciment est prêt à être vendu. Alors il sera stocké aussi dans des silos ou il passe pour le conditionnement.



**Figure I. 8:** Ciment prêt à vendre.

# Chapitre II

## Matériels et méthodes

## Chapitre II : Matériels et méthodes

Dans cette partie on va étudier l'influence de la surface spécifique du Blaine sur la composition chimique et sur le comportement mécanique du ciment. Pour cela on a préparé trois échantillons du clinker de différentes dimensions (des granulats de différents diamètres), le paramètre qui sera varié est le temps de broyage. Puis on va effectuer des analyses sur ces granulats après les rendre un ciment portland avec ajouts au sein du laboratoire, concernant la composition chimique et physique ainsi le comportement mécanique.

### II.1. Expériences

#### II.1.1. Granulométrie du clinker

1. Sortir du four une quantité de clinker.
2. Laisser le clinker refroidie environ une heure.
3. Deviser la quantité du clinker en trois.
4. Mettre une quantité de 1kg du clinker pour chaque échantillon dans le broyeur, déclencher le chronomètre.



**Figure II. 1:** Clinker.

#### II.1.2. Le broyage de clinker

Passer les grains qu'on a obtenu dans broyeur pour les rendre sous forme d'une poudre, pour cette étape, il faut un broyeur à disque sans oublier de changer le temps de broyage pour chaque échantillon.





**Figure II. 2:** Broyeur à disque.

### **II.1.3. Préparation du notre ciment**

Préparer un ciment CPJ qui est un ciment avec ajout où il faut préparer un clinker constitué de 80% du calcaire et 20 d'argile, 4 % du gypse et 16 % du calcaire pur.

## **II.2. Contrôle de qualité**

Le contrôle de la qualité se définit comme une activité de processus de management, l'assurance de la qualité dans la fabrication implique non seulement la vérification de la qualité du produit lui-même, mais encore la vérification de tous les composants de la production.

Au sein du ECDE, le laboratoire assure le contrôle de matière depuis la carrière jusqu'à l'expédition et intervient si nécessaire à chaque étape de fabrication. De ce fait, le contrôle du qualité a non seulement pour objectif d'améliorer le produit, mais aussi de réduire les risques de mise en marche des produits défectueux, ce qui pourrait nuire à la réputation de l'entreprise. De la salle de contrôle, 24h/24 et 7j/7j, les techniciens supervisent l'ensemble des phases de la production de la carrière jusqu'à l'ensachage. C'est pourquoi ECDE a depuis longtemps mis en place des procédures de contrôle rigoureuses qui lui permettent de garantir la qualité du produit.

Les différents contrôles effectués sont :

- Un contrôle des matières premières chaque mois.
- Un contrôle de sortie broyeur a cru chaque 2heure.
- Un contrôle de clinker chaque 2heure.
- Un contrôle de ciment chaque 4 heures.

### II.2.1. Les analyses chimiques du ciment

Ce test consiste à faire une filtration à l'aide d'un papier filtre moyen pour déterminer la composition chimique du ciment, dans le but de déterminer le pourcentage des oxydants qui se trouvent dans la solution restante dans la fiole et de déterminer la masse de la silice.

Pour cette analyse il faut :

- Préparer un plat bien nettoyé.
- Mettre une masse de 0.5g ciment dans le plat.
- Ajouter 0.5g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- Ajouter 5mL d'HCl concentré.
- Ajouter 5mL d'HCl (1+1) (1+1 veut dire un volume d'eau bien déterminé plus un volume d'HCl).
- Poser le mélange dans le bain sable jusqu'à avoir un mélange demi sec.



**Figure II. 3:** Creuset.

- Passer le mélange pour la filtration, mettre le mélange dans un entonnoir et bien rincer avec l'eau distillée chaude jusqu'à 500 mL.



**Figure II. 4 :** Protocole de filtration.

**II.2.1.1. La détermination de la silice (SiO<sub>2</sub>)**

- Préparer une creuset vide propre d'une masse connue  $m_1$ .
- Ramener le papier filtre avec la masse cristalline la mettre dans creuset vide, puis dans le bain sable jusqu'à ce que le papier filtre soit brûlé et le mélange aura une couleur crémeuse, puis dans un four de 1000°C pendant une heure et enfin sortir le creuset et peser la masse de la silice soit  $m_2$  à l'aide d'une balance analytique.



**Figure II. 5:** Creuset remplis de la silice sur la plaque chauffante.

**Remarque :** Le pourcentage de la silice est calculé comme suit :

$$\%SiO_2 = \frac{(m_2 - m_1)}{m} \times 100 \quad (1)$$

- Pour la détermination des oxydants, préparer trois béchers de 600 mL, prendre la solution qui reste dans la fiole et pipeter 50mL dans chaque bécher.

**II.2.1.2. La détermination de la chaux (CaO)**

- Prendre un des trois béchers et diluer la solution avec de l'eau distillée à 200 mL.
- Ajouter : 10 mL de la solution de KOH (2N à pH = 13), 20 mL de la solution TEA (tréithanolamine) et une pincée d'une poudre mauve juste pour la coloration.
- Titrer avec la solution de l'EDTA 0.03M (éthylène diamine tétra acétique) jusqu'au virage bleu, noter le volume et soit  $V_1$ .

**Remarque :** Le pourcentage de la chaux est calculé comme suit :

$$\%CaO = 3.3211 * V \quad (2)$$

**II.2.1.3. Détermination de la magnésie (MgO)**

- Prendre un autre bécher des trois premiers.
- Lui ajouter : 20mL de TEA, 1 mL d'une solution tampon à pH = 10 et une pincée de la phtaléine.

- Titrer avec la solution de l'EDTA 0.03M jusqu'au virage rose pâle, noter le volume et soit  $V_2$ .

**Remarque :** le pourcentage de la magnésie est calculé comme suit :

$$\% \text{MgO} = 3.3872 (V_2 - V_1) \quad (3)$$

#### II.2.1.4. Détermination de l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

- Prendre le dernier bécher.
- Ajouter : quelques gouttes de promo phénol (2 à 3 mL), neutraliser goutte à goutte avec  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1 ; 10), 25mL d' $\text{HCl}$  0.1N, 25mL de solution tampon pH = 1.4 (jaune claire) et une pincée d'acide salicylique (coloration violette).
- Titrer avec la solution de l'EDTA 0.03M jusqu'au virage jaune pâle, noter le volume et soit  $V_3$ .



**Figure II. 6:** Titrage pour déterminer l'oxyde de fer.

**Remarque :** Le pourcentage de l'oxyde de fer est calculé par la relation suivante :

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 4.7286 * V_3 \quad (4)$$

#### II.2.1.5. Détermination de l'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

- Prendre un bécher, le chauffer à  $50^\circ\text{C}$  sur une plaque chauffante.
- Laisser le bécher refroidir pendant 15 min.
- Lui ajouter : goutte à goutte de la solution de l'acétate d'ammonium  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (coloration bleu), 5ml d'acide acétique (vert claire), 20 à 25 gouttes de l'indicateur PAN jusqu'à la coloration rouge pomme, 3à4 goutte de la solution de complexesonate de cuivre  $\text{CuCl}_2$ .
- Chauffer jusqu'à l'ébullition (coloration violette).
- Titrer avec la solution de l'EDTA 0.03M jusqu'au virage jaune pâle, noter le volume et soit  $V_{\text{EDTA}}$ .

**Remarque :** Le pourcentage de l'alumine est calculé par la relation suivante :

$$\% \text{ Al}_2\text{O}_3 = 3.3648 * V_{\text{EDTA}} \quad (5)$$

#### II.2.1.6. La perte au feu (PAF)

Cette expérience nous permet de déterminer la teneur présent dans la farine traitée, qui ont été évacués pendant un traitement thermique dans un four à moufle pendant 20 min. pour cela il faut :

- Prendre une capsule en platine propre et sèche puis mettre 2 g de matière cuite (clinker).
- Peser l'ensemble, soit  $P_1$ .
- Ensuite, mettre la capsule en platine dans un four à moufle pour la calcination à température de 1000 °C pendant 1 heure.
- Sortir la capsule en platine et on la pèse froide, soit  $P_2$ .

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

$$\text{PAF} = \frac{(P_1 - P_2) \times 100}{2} \quad (6)$$

#### II.2.1.7. Détermination de la chaux libre ( $\text{CaO}_l$ )

- Peser 1g de clinker et le mettre dans un erlenmeyer.
- Ajouter 40mL de glycérol prélevé à l'aide d'une éprouvette de 40 mL.
- Poser l'erlenmeyer sur le bain sable.
- Lorsqu'il semble que la couleur de la solution est rose, titrer avec la solution de l'acétate d'ammonium (ajouter 0.5 mL de l'acétate d'ammonium lorsque la couleur est rose claire mais si elle est rose foncée ajouter 1 mL de la solution).

**Remarque :** Le pourcentage de la chaux libre est calculé comme suit :

$$\% = V_{\text{acétate}} * F \quad (7)$$

F : facteur de l'acétate d'ammonium et c'est le facteur de la chaux libre.

### II.2.2. Analyses physiques du ciment

#### II.2.2.1. Détermination du refus

C'est une étude granulométrique qui consiste à déterminer le pourcentage des grains selon leurs dimensions on passants l'échantillon à travers un tamis à porosité déterminée par un courant d'air. Les grains dont les dimensions supérieures aux mailles du tamis constituent donc le refus.



**Figure II. 7 :**Appareil apline

### II.2.2.2. Détermination de la surface spécifique du Blaine (SSB)

Elle est nommée aussi le degré de broyage, représente un facteur très important pour la qualité du ciment, le principe de ce test est de savoir est ce que le ciment est bien broyé ou non, l'idée c'est que plus que les grains ont des petites dimensions (des petits diamètres) plus que le vide entre les grains est négligeables parce que l'air ne passe pas rapidement, elle est donné en  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

1. Placer la grille au fond de la cellule et appliquer sur cette grille au moyen d'une tige à face intérieure pleine un disque neuf de papier filtre.
2. Peser 2.93g du ciment et la verser dans la cellule l'aide d'un entonnoir puis appliquer quelques secousses sur la cellule pour niveler la couche supérieure du liant.
3. 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 retirer le piston.
4. Roder la cellule et placer sur son ajustage en appliquant un léger mouvement de rotation pour répartition de la vaseline, veuillez au cours de cette opération à ne pas alerter le tassement de la couche.
5. Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que le niveau du liquide cinquième de seconde quand le niveau du liquide atteint le deuxième trait, et arrêter quand le niveau atteint le troisième trait.
6. Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit effleurer au trait inférieur on note le temps écoulé et la surface spécifique du Blaine selon la formule suivante :

$$S = K. \sqrt{t} \quad (8)$$

k constant de l'appareil



**Figure II. 8 :** Perméabilimètre de Blaine.

### II.2.2.3. Mesure de la densité

On mesure la densité dans le but de déterminer le poids réel du clinker, pour cela prendre un pot métallique, le remplir à l'aide d'un entonnoir avec du clinker (des granulats de 5 à 10 mm).

$$Dd = \frac{\rho_{\text{clinker}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

### II.2.2.4. Détermination de la consistance normale

La consistance normale caractérise la propriété rhéologique des pâtes, cet essai a pour but de déterminer le temps de prise d'une pâte de ciment, c'est à dire la durée ou l'instant où le liant (ciment) est mis en contact avec l'eau de gâchage et le début de prise ainsi la fin de prise.

Elle se fait à l'aide de l'aiguille de Vicat. En enfonçant cette aiguille dans un moule tronconique rempli de pâte pure, on mesure ce temps et on le compare aux temps normalisés.



**Figure II. 9 :** Aiguille de Vicat.

### 1. Mode opératoire

- Préparer une pâte normale (500 g du ciment ajouté à 130 mL d'eau de 20°C).
- Malaxer bien le mélange à l'aide d'un malaxeur automatique.
- Mettre le mélange dans trois moules.
- Placer les moules dans le prisomètre automatique.

La consistance normale se fait en deux méthodes différentes l'une classique et l'autre moderne la méthode classique.

### 2. Vérification de la consistance normale (N229)

#### a. La méthode classique

La méthode classique se fait à l'aide de l'appareil de Vicat, ce dernier est un plateau nu ayant une sonde de consistance, placer immédiatement le moule remplis de la pâte dans l'axe de la sonde, laisser descendre cette dernière perpendiculairement à la surface de pâte et immobiliser à son contact, marquer un temps en (min) d'arrêt puis abandonner la sonde à elle-même sans vitesse initiale, procéder la lecture d'épaisseur de la pâte, quand la sonde a cessé de descendre sous son propre poids.

#### – Début de la prise :

Après une ou deux heures pour la plupart des ciments, on observe une augmentation brusque de la viscosité. C'est le début de prise, qui est accompagné d'un dégagement de chaleur, l'épaisseur du moule est 40mm l'épaisseur correspond au début de prise est 4mm (1heure).

#### – Fin de la prise :

La fin de prise correspond au moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide. Le temps de fin de prise est déterminé à l'instant où l'aiguille de Vicat, ne s'enfonce plus jusqu'au fond d'une pastille de pâte pure de ciment.

#### b. La méthode moderne

La méthode moderne se fait à l'aide d'un prisomètre automatique multiple où le temps de prise est déterminé par la pénétration d'une aiguille dans une pâte de consistance normalisé. Le prisomètre automatique CONTRELAP-PERIER permet d'effectuer cet essai sur 6 moules simultanément, géré indépendamment par un micro ordinateur compatible fourni avec l'appareil, grâce au logiciel installé sur cet ordinateur « application prosimètre», l'utilisateur peut rentrer les données de l'essai, lancer un essai de début et fin de prise, suivre son déroulement à l'écran sur une courbe. Les résultats de pénétration sont automatiquement stockés dans un fichier à chaque



pénétration. Quand les pénétrations d'un poste sont terminées l'impression d'un rapport d'essai est proposée.



**Figure II. 10:** Prisomètre automatique.

#### **II.2.2.5. Test de l'expansion**

Le test de l'expansion n'est pas un indicateur important dans notre étude que l'on peut négliger, pour faire ce teste il faut :

- Mettre le reste du mélange du test de la consistance normale dans des châteliers, puis dans la chambre humide dans l'eau pendant 24 heures.
- Mesurer le diamètre de la châtelier ne doit pas dépasser.
- Mettre les châteliers dans un bain main de 100°C pendant 3 heures.
- Mesurer de nouveau le diamètre de la châtelier.



**Figure II. 11 :** Châteliers.

### II.2.2.6. Essai mécanique (flexion et compression)

#### a. Définition

Ce test est très important car il est considéré comme un indicateur mondiale de qualité du ciment, son but est de mesurer les résistances au différentes contraintes au bout d'un certain temps. L'essai de flexion et de compression permettant de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la compression des liants hydrauliques

#### b. Préparation de mortier normal

1. Préparer un mortier (mélange de 450g de ciment, lui rajouter 225mL d'eau et 1350g de sable normalisé), le malaxer à l'aide d'un malaxeur pour le bien mélangé.
2. A l'aide d'une spatule, verser le mélange dans un moule de briquelette contient 3 parties de (16x16x4) cm, et le mettre sur la table à choque pour entasser les bulles d'air et racler la surface.
3. Mettre le moule dans la chambre humide pendant 24 heures dans l'air.
4. Les démouler et conserver dans des casiers remplis d'eau et faire la casse à 2 jrs, 7jrs et 28jrs.



**Figure II. 12:** Briquettes.

# Chapitre III

## Résultats et discussion

## Chapitre III : Résultats et discussions

Ce chapitre porte des résultats les différentes analyses (chimiques et physiques) pour montrer l'influence de la surface spécifique du Blaine sur le ciment d'où ces analyses sont effectuées sur les trois échantillons du ciment.

### III.1. Identification des échantillons

Le ciment qu'on a obtenu, on le sépare en trois échantillons selon la granulométrie autrement dit, la surface spécifique du Blaine qui a une relation avec le temps de broyage.

Ech : échantillon.

SSB : surfaces spécifique du Blaine.

**Tableau III. 1:** Identification des échantillons

<b>Ech</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Les normes [3]</b>
Le temps de broyage (min)	5	10	15	
La SSB (m <sup>2</sup> /g)	1940	2828	3325	≥2000
Le refus (%)	46,8	19,8	19,8	≤ 45

Le tableau III.1 nous présente l'influence de temps de broyage sur la SSB et le refus. La surface spécifique du Blaine (SSB) augmente avec l'augmentation du temps de broyage, ainsi que la quantité de refus sur le tamis est importante plus que le temps de broyage est négligé.

L'SSB du ciment varie en fonction du temps de broyage parce qu'il influe sur la finesse du clinker et de refus, elle est très élevée dans le troisième cas parce que le ciment est finement broyé autrement dit, le vide entre les grains est presque nul, c'est pourquoi le passage de l'aire est difficile et prend beaucoup de temps.

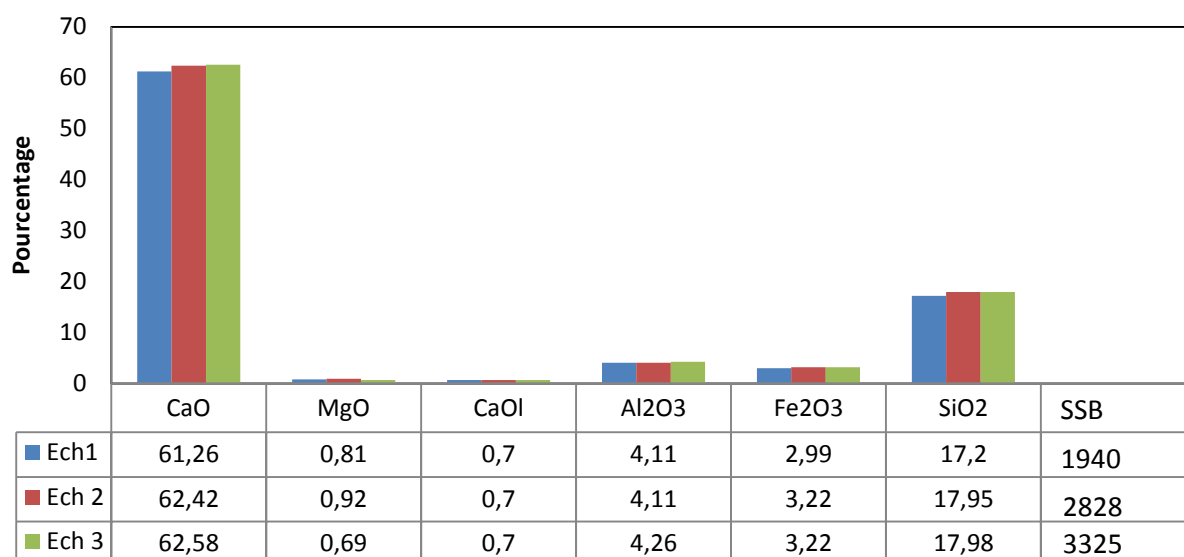
## III.2. Analyses chimiques

### III.2.1. Détermination des oxydants

Les résultats de l'analyse chimique granulométriques sont rapportés dans le tableau suivant :

**Tableau III. 2:** Analyse chimique des constituants du ciment pour les trois échantillons

Constituants (%)	Ech 1	Ech 2	Ech 3	La norme [3]
CaO	61,26	62,42	62,58	61 – 64,5
MgO	0,81	0,92	0,69	0,5 - 1
CaO <sub>1</sub>	0,7	0,7	0,7	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,11	4,11	4,26	2,5- 5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,99	3,22	3,22	2 – 3,5
SiO <sub>2</sub>	17,2	17,95	17,98	17 23
SBB	1940	2828	3325	



**Figure III. 1:** Histogramme de la variation des constituants chimiques du ciment des trois échantillons

La figure III.1 indique que le pourcentage de tous les constituants des 3 échantillons augmente avec l'augmentation de la SBB sauf le CaO<sub>1</sub>, on remarque que le pourcentage de la chaux est le plus élevé par rapport aux autres constituants ( $\approx 60\%$ ) et nous observons aussi que la silice a un pourcentage élevé ( $\approx 17\%$ ). Il est à noter que tous les pourcentages sont dans les normes.

La granulométrie du clinker où la surface spécifique du Blaine n'influe plus sur les constituants du ciment (les oxydants) parce que le clinker obtenu est broyé et devient des grains de

différentes tailles (dimensions) pour obtenir un produit fini (un ciment), alors la composition chimique du clinker et du ciment est la même pour les trois types.

### III.1.2. Analyses complémentaires physico-chimiques du ciment

**Tableau III. 3:** Analyses complémentaires

Analyses complémentaires	Ech 1	Ech 2	Ech 3	La norme [3]
PAF (%)	7,001	7,1	7,02	$\geq 5$
Densité	1,13	1,13	1,13	1,8

D'après le tableau III.5, on observe que les valeurs de la densité et de la perte au feu sont stables pour les trois essais et sont dans les normes exigées.

Ces valeurs respectent les normes et se correspondent aux densités et aux PAF trouvés par l'entreprise vue qu'on a analysé un échantillon ayant les mêmes caractéristiques que celui utilisé et essayé par l'entreprise.

## III.2. Analyses physiques

### III.2.1. Caractérisation physique du ciment

**Tableau III. 4:** Analyses physico-chimiques du ciment

Analyses physiques	Ech 1	Ech 2	Ech 3	La norme [3]
Début de prise (min) à( 4mm)	103	75	68	Environ 60
Fin de prise (min) à 4cm	224	201	190	

Le tableau ci-dessus représente l'analyse du temps de sécheresse sur deux intervalles (début et fin de prise) effectué pour les trois échantillons déjà préparés.

Les résultats du tableau III.6 montrent que le temps de début et de fin de prise diminue de l'échantillon1 à l'échantillon2 et de même à l'échantillon3. Le meilleur temps de début de prise est celui du troisième échantillon (68 min) par rapport à la norme.

Le temps de début et de fin de prise a une relation avec le temps de broyage autrement dit avec la SSB. D'ici on déduit que la pate des grains de grande taille prend beaucoup de temps pour le séchage.

**Tableau III. 5 : Résultats de l'expansion.**

Echantillons	1	2	3	La norme [3]
Expansion (mm)	10	6	3	<10

L'expansion désigne la déformation (gonflage) du ciment ou le développement du volume de la surface étalée.

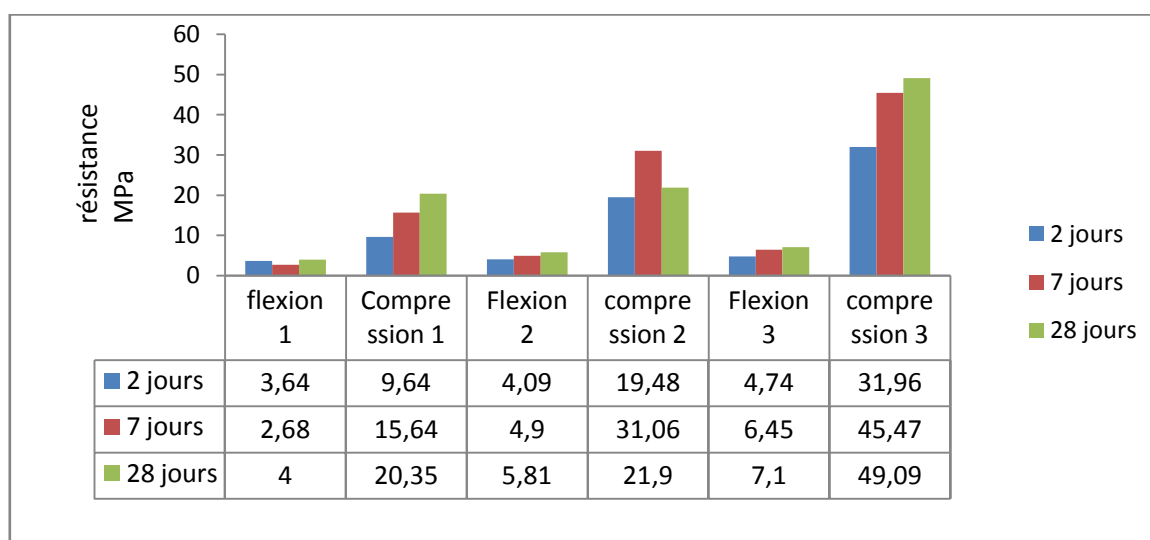
Le tableau III.5 nous indique les résultats du test de l'expansion du ciment. On constate que l'expansion diminue avec l'élévation de la SSB, où elle diminue de l'échantillon 1 à l'échantillon 2 et à l'échantillon 3. Les deux derniers échantillons sont conformes suivant la norme.

L'expansion a une relation opposite avec la SSB, parce que la pâte n'est pas compatible pour les petits grains.

### III.2.2. Caractérisation mécaniques du ciment

**Tableau III. 5:** Evolution de la résistance normale à la compression et la flexion des 3 types

Les échantillons	2 jours			7 jours			28 jours		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Flexion(MPa)	3,64	4,09	4,74	2,68	4,9	6,45	4	5,81	7,1
Compression1(MPa)	9,21	19,43	32,25	15,43	29,68	45,79	20,44	23,68	48,12
Compression2(MPa)	9,71	19,53	31,67	15,85	32,44	44,97	20,27	24,13	50,07
Compression moyenne (MPa)	9,64	19,48	31,96	15,64	31,06	45,47	20,35	21,9	49,09
La norme [3]		≥10			/			≤62,5	

**Figure III. 2:** Evolution de la résistance en fonction du temps.

Le tableau III.7 et la figure III.3 de l'histogramme nous indiquent la variation de la résistance normale pour les trois échantillons à des intervalles de temps différents (2 jours, 7 jours et 28 jours). On remarque qu'il y a une évolution régulière de la résistance en fonction du temps et en fonction de l'SSB, d'où la résistance augmente avec l'augmentation de l'SSB. Le meilleur échantillon est le troisième, parce qu'il a la plus forte résistance.

La résistance normale du troisième échantillon est très élevée parce que son type de clinker est bien broyé et a un bon temps du début de prise et une bonne résistance normale.

Alors la surface spécifique du Blaine a une influence sur la résistance normale d'où ; plus qu'elle est élevée plus que la résistance est optimale. Ainsi que le broyage est le facteur principale dans cette essai car plus que le temps de broyage est suffisant plus que la surface spécifique du Blaine est bonne (élevée).

On conclue en ce qui concerne le côté chimique que la granulométrie du clinker n'influe pas sur les propriétés chimiques du ciment, par contre elle a une influence sur le côté physique : la finesse du clinker a une relation directe avec le comportement mécanique du ciment, alors plus que cette finesse est bonne plus que le temps du début de prise et la résistance normale du ciment sont dans les normes.



# Conclusion

## Conclusion

Le ciment est une matière très importante dans notre vie quotidienne vue son utilisation dans divers domaines. Pour cela j'ai opté pour l'étude de l'influence d'un facteur physique qui est la surface spécifique du Blaine sur ce dernier (ciment).

D'après ce travail, toutes les analyses chimiques et physiques ont démontrées que les dimensions des grains de clinker (petites, moyennes ou bien grandes), ont une influence sur la surface spécifique du ciment préparé. Pour cette raison on dit que la résistance des granulats du ciment est variable.

Parmi les échantillons des ciments analysés, on distingue que le plus résistant et celui qui représente une meilleure conformité avec les normes mondiales est le ciment du troisième échantillon préparé avec une grande surface spécifique du Blaine ayant une bonne finesse et un temps de broyage plus long.

Durant ce stage j'ai appris à travailler en groupe et à être patiente. J'ai acquis des connaissances sur le ciment et surtout sur la formulation de ce dernier et sur les méthodes d'analyse du produit fini pour obtenir une meilleure qualité. J'ai eu aussi la chance de suivre et de comprendre le travail au laboratoire grâce au bon accueil, au bon encadrement et à l'aide des ingénieures du laboratoire d'ECDE.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

[1] Mémoire préparé par A. Marzouki en vue de l'obtention du diplôme du magister, sur l'effet de la finesse de mouture.

[2] A. Ayadi, chimie du clinker et ciment.

[3] Des documents de l'entreprise.

[4] Louis Pierre François Adolphe Chesnel de la Charbouclais, Dictionnaire de technologie étymologie et définitions des termes

[5] François Andibert, les huiles usagées ré raffinage et valorisation énergétique, page 229, édition : TECHNIP Amazone France.

[6] François de larrard, construction en béton, page 55 ,56 ,édition 2002.

[7] Professeur Camille Defossé, chimie du ciment valorisation des déchets en cimenterie (Université Libre de Bruxelles Faculté des Sciences Appliquées Laboratoire de Chimie industrielle), édition 2004.

[8] Jacqueline André Hertig, étude d'impacte sur l'environnement, page 173, 174 ,176, édition 2006.

[9] Mémoire préparé par Mr. BOUALI Khaled en vu de l'obtention du diplôme de magister en filière génie de matériaux.

[10] I ;Older, hydratation, setting and harding of portland cement, Lea's Chimestry of cement and carcret 1998.

[11] Hagues Hormain, grandeur associé à la durabilité des bétons, page 174 , édition 2007.

[12] Carroline Gallez, Auror moroncini, le manager et l'environnement, page 217, édition 2003.

[13] Mohammed Aminé Benhadda, en vu de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en chimie industrielle sur La durabilité du mortier à base de ciment de Béni-Saf vis-à-vis de milieux basiques NaOH et H<sub>4</sub>OH, en Génie des procédés, Université Abou-BakrBelkaïd, page 2-13, 2011/2012,.

- [14] Rio Tinto Alcan «Navire d'déchargeant de l'aluminium». Colombie-Britannique.
- [15] Pablo Picasso. Dossiers rallye, N°5, France, 11 novembre 2004.
- [16] Abdelkader Ameer, en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en chimie et génie des procédés sur l'Influence de l'ajout pouzzolane sur la résistance du ciment de la cimenterie de Saïda, département de chimie, université Abou-BakrBelkaïd, 13/11/2006, page 13.
- [17] Amina Sidi Aïssa, Leïla Sidi Yakoub en vue de l'obtention du Diplôme DEUA en chimie industrielle sur l'Optimisation du taux des incuits pour la fabrication de ciment CPJ CEM I A/42,5, ,Département de chimie, Université Abou-BakrBelkaïd, 2007/2008, P.4.
- [18] Abd El Kader Ameer, en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en chimie et génie des procédés sur l'influence de l'ajout pouzzolane sur la résistance du ciment de la cimenterie de Saida, , Département de chimie, Université Abou-Belkaid, 2006, page 13.
- [19] J.P Olivier, Durabilité des bétons, édition : presss de l'école nationale des ponts et chaussées, en 2008.
- [20] Yousef Slimani, en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en chimie et génie des procédés sur La durabilité d'un mortier à base de ciment de Béni-Saf en solution basique, acide et neutre, Département de chimie, Université Abou-Bakr Belkaid, 2010, page 31-40.
- [21] mémoire de fin d'étude préparé par Melle KHERROUBI Djamila pour l'obtention du diplôme de MAGISTER PROFESSIONNEL domaine science et technologie- ST filière : génie des procédés, sur l'Elaboration d'un éco-matériau par activation de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf par la chaux.
- [22] Alexander Pish, lafarge centre de recherche, cours matériau cimentaire, Italie 2009.
- [23] Laurent Camera, Synthèse de la formation géologique du parc national du Mercantour, page 7 – 15 ,édition 2000.