



Département de Technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Génie chimique

Thème :

**L'effet de l'ajout calcaire sur le comportement chimique et
physique du ciment**

Réalisé par :

AITYAHIA Youghourta

Encadré par :

- Mr BELKACMI Samir

MAA / Institut de technologie

Examiner par :

_ M^{me} HAMIDOUCHE

MCB / Institut de technologie

_ M^{me} IGGUI

MCA / Institut de technologie

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

En premier lieu, je remercie notre Allah qui m'a donné la force d'accomplir ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été grâce au de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais adresser toute ma reconnaissance à Mr BELKACMI Samir, pour sa patience et sa disponibilité et surtout ses conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je tiens à remercier aussi toutes l'équipe de l'ECDE pour son accueil.

Je désire aussi remercier les enseignants de l'institut de technologie qui ont fournis les outils nécessaires lors de mon parcours universitaire.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, deux personnes exceptionnelles qui grâce à leur amour, leur patience et leur soutien inconditionnel, m'ont permis d'arriver là où je suis.

A mes frères : Idir et Mouslim.

A mes sœurs : Celia et Kenza.

Résumé

Le ciment est une source majeure de l'impact environnemental en utilisant des matériaux en béton. Pour optimiser ce dernier d'un point de vue environnemental, il est nécessaire de réduire la dose de ciment. L'augmentation de l'utilisation des ajouts à base de ciment s'est avérée être un moyen éprouvé de lutter contre le changement climatique et d'améliorer la qualité de l'air. Le filler calcaire est incorporé au clinker pour produire du ciment composite Portland.

Mots clés : le ciment, synthèse du ciment, les ajouts cimentaires, calcaire, les composants chimiques, finesse, résistance mécanique.

Abstract

Cement is a major source of environmental impact from the use of concrete materials. To optimize the latter from an environmental point of view, it is necessary to reduce the dose of cement. Increasing the use of cementations additives has proven to be a proven way to combat climate change and improve air quality. Limestone filler is incorporated into clinker to produce Portland composite cement.

Keywords: cement, cement synthesis, cement additives, limestone, the chemical components, fineness, mechanical resistance.

ملخص

الإسمنت هو مصدر رئيسي للتأثير البيئي من استخدام المواد الخرسانية. لتحسين هذا الأخير من وجهة نظر بيئية، من الضروري تقليل جرعة الإسمنت. أثبتت زيادة استخدام المضافات الإسمنتية أنها طريقة مجربة لمكافحة تغير المناخ وتحسين جودة الهواء. تم دمج حشو الحجر الجيري في الكلنكر لإنتاج الإسمنت البورتلاندي المركب.

الكلمات المفتاحية: الإسمنت، تصنيع الإسمنت، إضافات الإسمنت، الحجر الجيري، المكونات الكيميائية، النعومة، القوة الميكانيكية.

Sommaire

Liste des abréviations.....	ii
Liste des tableaux.....	iii
Liste des figures.....	iii
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1. Présentation de l'entreprise.....	2
I.1.1. Activité.....	2
I.1.2. Historique.....	2
I.1.3. Capacité de production.....	3

Chapitre II : Généralité sur le ciment

II.1. Introduction.....	4
II.2. Historique.....	4
II.3. Le ciment Portland.....	5
II. 4. Les constituants du ciment.....	5
II.4.1. Le cru.....	5
II.4.2. Le clinker.....	6
II.4.3. Le gypse.....	7
II.5. Les matières premières.....	8
II.5.1. Les minerais de fer.....	8
II.5.2. Le sable.....	9
II.5.3. Calcaire.....	10
II.5.4. Argile.....	11
II.6. Les ajouts cimentaires.....	12
II.6.1. Classification des ajouts cimentaires.....	12
II.6.1.1. Les cendres volantes.....	13
II.6.1.2. Les laitiers de haut fourneau.....	13
II.6.1.3. La fumée de silice.....	13
II.6.1.4. La pouzzolane naturelle.....	13
II.6.1.5. Les fillers calcaires.....	14
II.7. Les étapes de fabrication du ciment.....	14
II.7.1. Introduction.....	14
II.7.2. Préparation de matières premières.....	14

II.7.2.1. Extraction.....	14
II.7.2.2. Concassage	16
II.7.3. Préparation du cru	16
II.7.3.1. Homogénéisation	16
II.7.3.2. Séchage et broyage	16
II.7.4. La fabrication du clinker.....	17
II.7.4.1. Préchauffage et la Cuisson	17
II.7.4.1. Refroidissement	18
II.7.5. La fabrication du ciment	19
II.7.5.1. Broyage.....	19
II.7.5.1. Stockage.....	19
II.8. Catégories des ciments	20
II.8.1. Classification des ciments.....	20
II.8.2. Types des ciments les plus courants	20
II.8.2.1. Ciments Portland composés (CEM II - Norme NF EN 197-1)	20
II.8.2.2. Ciments au laitier (Norme NF EN 197-1)	20
II.8.2.3. Ciments à maçonner (CM- Norme NF P 15-307)	20
II.8.2.4. Ciment prompt naturel (CNP - Norme NF P 15-314)	21
II.8.2.5. Ciment alumineux fondu (CA - Norme NF P 15-315).....	21
II.8.2.6. Ciments blancs.....	22

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Contrôle de qualité	23
III.1.1. Les analyses chimiques	23
III.1.1.1. Dosage pour la détermination teneur en oxydes	23
III.1.1.2. Détermination la teneur en silice (SiO ₂)	25
III.1.1.3. Détermination le taux de la chaux libre	26
III.1.1.4. Détermination du pourcentage de SO ₃	26
III.1.2. Les analyses physico-mécaniques	27
III.1.2.1. Mesure de la surface spécifique de Blaine	27
III.1.2.2. Détermination du refus.....	28
III.1.2.3. Essai de prise.....	29
III.1.2.4. Essais mécaniques (compression et flexion).....	30

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Synthèse du ciment	33
IV.2. Préparation des constituants du ciment.....	33
IV.3. Préparation du ciment	34
IV.4. Analyse chimique.....	35
IV.4.1. La composition chimique du ciment préparé	35
IV.5. Analyse physique	38
IV.5.1. Résistance mécanique.....	38
IV.5.2. Surface spécifique	41
Conclusion générale	42
Références bibliographiques	43

Liste des abréviations

Al₂O₃ : Alumine.

BMC : Bâtiment et matériaux de construction.

C₂S : Silicate bicalcique.

C₃S : Silicate tricalcique.

CaO : Chaux.

CHF : Ciment de haut fourneau.

CLC : Ciment au laitier et aux cendres.

CLK : Ciment de laitier au clinker.

CPA : Ciment portland artificiel (sans ajouts).

CPJ : Ciment portland composé, (CEM II).

CPZ : Ciment pouzzolanique.

ECDE : L'entreprise des ciments et dérivés d'Ech-Cheliff.

EDTA : Ethylène diamine tétra acétique.

Fe₂O₃ : Oxyde ferrique.

GICA : Groupe Industriel des Ciments d'Algérie.

K₂O, Na₂O: Alcalis.

MgO : Oxyde magnésium.

RMC : Réalisation et matériaux de construction.

SiO₂ : Silice.

SSB : Surface spécifique de Blaine.

Liste des tableaux

Chapitre II : Généralités sur le ciment

Tableau II. 1: La composition chimique de ciment	5
Tableau II. 2 : La composition chimique de cru.....	6
Tableau II. 3: La composition chimique de clinker.....	7
Tableau II. 4: La composition chimique de gypse.....	8
Tableau II. 5: La composition chimique de minerai de fer	9
Tableau II. 6: La composition chimique de sable.....	10
Tableau II. 7: La composition chimique de filler de calcaire	11
Tableau II. 8: La composition chimique de l'argile	12

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau IV. 1: Les différents ciments préparés au sien laboratoire	35
Tableau IV. 2: La composition chimique de CEM 2.....	35
Tableau IV. 3: La composition chimique de CEM 3.....	36
Tableau IV. 4: La composition chimique de CEM 4.....	37
Tableau IV. 5: Le min et max des composants chimique de ciment.....	37
Tableau IV. 6: Résistance de compression des échantillons préparés.....	38
Tableau IV. 7: Résistance de flexion des échantillons préparés.....	39
Tableau IV. 8: La surface spécifique (SSB) des échantillons préparés.....	41

Liste des figures

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

Figure I. 1. Société des ciments ECDE CHLEF.....	3
--	---

Chapitre II : Généralité sur le ciment

Figure II. 1. Le ciment.....	5
Figure II. 2. La farine de cru.....	6
Figure II. 3. Le clinker.....	7
Figure II. 4. Le gypse.....	8
Figure II. 5. Le minerai de fer.....	9
Figure II. 6. Le sable.....	10
Figure II. 7. Fillers calcaires.....	11
Figure II. 8. Argile.....	12
Figure II. 9. Le pelletage mécanique.....	15
Figure II. 10. Transport par tapis.....	15
Figure II. 11. Transport par camions bennes.....	15
Figure II. 12. Hall d'homogénéisation.....	16
Figure II. 13. Broyeur.....	17
Figure II. 14. Préchauffeur.....	17
Figure II. 15. Four rotatif.....	18
Figure II. 16. Refroidisseur.....	18
Figure II. 17. Broyeur cuit.....	19

Chapitre III : Matériels et méthodes

Figure III. 1. Creuset	25
Figure III. 2. La chaux libre.....	26
Figure III. 3. Perméabilité de Blaine	27
Figure III. 4. Appareil alpine MOSOKAWA	28
Figure III. 5. Prismètre automatique.....	29
Figure III. 6. Malaxeur	30
Figure III. 7. Appareil de compression et flexion.....	31
Figure III. 8. Moules pour moulage des éprouvettes de mortier	31
Figure III. 9. Chambre humide	32

Chapitre IV : Résultats et discussion

Figure IV. 1. Chambre de séchage	33
Figure IV. 2. Mini-concasseur CR 600	34
Figure IV. 3. Mini-broyeur FARTHEST.....	34
Figure IV. 4. Représentation graphique de la composition chimique de CEM 2.....	36
Figure IV. 5. Représentation graphique de la composition chimique de CEM 3.....	36
Figure IV. 6. Représentation graphique de la composition chimique de CEM 4.....	37
Figure IV. 7. Evolution de la résistance de compression en fonction du temps.....	39
Figure IV. 8. Evolution de la résistance de flexion en fonction du temps.....	40
Figure IV. 9. Variation de la surface spécifique de ciment en fonction de taux d'ajout.....	41

Introduction générale

Introduction générale

Le ciment est un composant essentiel des matériaux cimentaires tels que le béton et le mortier. Il assure une fonction mécanique, car il lie le squelette granulaire, mais il est aussi en grande partie responsable de la tenue à long terme du matériau cimentaire [1].

La cimenterie est considérée actuellement parmi les industries les plus polluantes, qui représentent environ 8% de la quantité globale de CO₂ dégagé [2].

Le ciment à ajout calcaire est connu partout dans le monde. Son utilisation présente des avantages soit du côté économique moins d'énergie ou côté de l'environnement moins de CO₂ [3].

Et tant que la consommation en clinker baisse en fonction du taux d'ajout utilisé, La contribution des additions minérales à l'activité liante du ciment résulte essentiellement de deux effets : physique et chimique.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'ajout du calcaire sur les caractérisations physico-chimiques des ciments préparés au laboratoire avec différent pourcentage de calcaire de 10%, 15% et 20%.

Notre mémoire est structuré en une introduction générale, trois chapitres et une conclusion générale.

Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur le ciment portland. Dans ce chapitre, nous parcourons les connaissances sur le processus de la fabrication du ciment afin de connaître les constituants du ciment et les matières premières.

Le deuxième chapitre présente le contrôle de qualité au sein de laboratoire chimique et physique et donne toutes les méthodes d'essais que nous avons réalisés sur les ciments et les mortiers préparés sont présentées en détail.

Le troisième chapitre contient les différents résultats obtenus, ou nous avons donné des explications relatives à nos connaissances acquises pendant notre travail

Partie théorique

CHAPITRE I

Présentation de l'entreprise

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1. Présentation de l'entreprise

L'Entreprise des Ciments et Dérivés d'Ech-Cheliff est une SPA créée par Décret n°82/325 dû suite à la restructuration de la Société Nationale des Matériaux de Construction (SNMC).

I.1.1. Activité

Sa principale activité est la fabrication et la commercialisation du Ciment.

I.1.2. Historique

Elle est devenue une entreprise publique économique autonome par acte notarié du 9 octobre 1989. Elle a été dotée d'un capital social initial de 80 millions de DA détenu à :

- 40% par le Fonds de participation Chimie- Pétrochimie-Pharmacie.
- 30% par le Fonds de participation Mines-Hydrocarbures-Hydraulique.
- 30% par le Fonds de participation Construction.

Après la dissolution des fonds de participation, le Holding Public « BATIMENT ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION » est devenu le propriétaire de l'entreprise à 100%. Le capital social de l'entreprise est porté à 2.000.000.000 DA.

La restructuration opérée en 1999 transforme le holding Public « BMC » en holding public « Réalisations et matériaux de construction » qui devient à son tour le propriétaire de l'entreprise à 100%.

En 2000, le holding public « RMC » est dissous et est remplacé par la société de gestion des participations « Groupement Industrie du Ciment d'Algérie » SGP GICA qui devient le propriétaire exclusif de l'entreprise.

En 2003, le capital social de l'entreprise est porté à 3.000.000.000 DA, à 5 000 000 000 DA en 2005, et à 6 241 000 000 DA en 2007.

En 2009, la société de gestion des participations « Groupement Industrie du Ciment d'Algérie » SGP GICA a été restructurée et transformée en Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA). L'ECDE est devenue filiale du groupe GICA.

Le siège social de l'ECDE est sis à : Cité HAMMADIA, route d'Oran Chlef.

1.1.3. Capacité de production

Ces capacités se répartissent sur deux lignes de production identiques et de capacité unitaire de 1 000 000 T/An. La 3ème ligne de production avec 2 000 000 T/an.

Clinker : 1 880 000 T/an.

Ciment : 2 000 000 T/an.



Figure I. 1. Société des ciments ECDE CHLEF

CHAPITRE II

Généralités sur le ciment

Chapitre II : Généralité sur le ciment

II.1. Introduction

Le ciment est un matériau dont les propriétés de liaison et de cohésion permettent de lier en un ensemble compact des fragments de matériaux. C'est un liant hydraulique à la base de calcaire et d'argile, qui se présente sous forme d'une poudre minérale fine, mélangé en présence d'eau. Le ciment forme progressivement des agglomérats dans le mélange, aboutissant à un matériau rigide et dur à hautes performances mécaniques qui répond aux besoins recherchés du matériau de construction. Cette poudre magique de ciment permet le développement d'une grande variété de produits. Dans ce cadre, avec les liants hydrauliques utilisés pour construire les infrastructures de transport (routes, trottoirs, terrassements, plateformes industrielles ou aéroportuaires), ainsi que le béton, c'est le matériau de construction le plus utilisé au monde.

À ce stade, deux questions viennent naturellement à l'esprit du lecteur. « Comment l'homme a-t-il découvert le ciment ? » et « De quoi est fait le ciment ? ».

II.2. Historique

L'utilisation et la production de ciment remontent à l'Antiquité. En effet, les Romains et les Grecs savaient faire du ciment. Ils ont utilisé de la chaux (CaCO_3) mélangée au sable et matériaux d'origine volcanique : c'est la réaction pouzzolanique. Nous appelons les pouzzolanes, minéraux qui participent à cette réaction et sont constitués d'une grande partie de silice et d'alumine. Joseph Aspdin est considéré comme l'inventeur du ciment que nous utilisons aujourd'hui, il a fait breveter le nom en 1824. Cependant, on peut noter que Smeaton, rapporte en 1793, la synthèse d'un matériau proche du ciment à partir d'un calcaire argileux et cendres volcaniques siliceuses. Il avait obtenu un mortier si dur et même aspect que le rocher de la péninsule de Portland, au sud de l'Angleterre. Nom de Ciment Portland a été conservé jusqu'à nos jours. L'idée que le béton est un matériau moderne et que la chaux et le liant chaux-pouzzolane est une invention grecque et romaine est peut nécessiter quelques modifications. En effet, la découverte sur un site néolithique, au sud de la Galilée, dalles de béton contenant de grandes quantités de chaux et maintenir une excellente qualité dans le temps, suggère que les origines du béton remontent en fait à la période néolithique et l'utilisation de la chaux peut remonter à une période encore plus ancienne [4].

II.3. Le ciment Portland

Le ciment Portland est obtenu après traitement thermique à 1450°C d’un mélange d’argile et de calcaire. Le produit obtenu après calcination et broyage est le Clinker qui est le principal constituant d’un ciment auquel on rajoute une faible quantité de gypse pour retarder la prise lors de l’hydratation assurant ainsi une meilleure maniabilité [4].

Les composants chimiques sont indiqués dans le tableau ci-dessous [5].

Tableau II. 1: La composition chimique de ciment

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Le min%	17	2,5	02	61	0,5	0,3	0 ,05	01	0,005	Selon l’ajout
Le max %	23	05	3,5	64,5	01	02	0,5	02	0,1	



Figure II. 1. Le ciment

II. 4. Les constituants du ciment

II.4.1. Le cru

La farine crue contient une certaine quantité d’eau. Le chauffage progressif est entre 100°C à 250°C, entraîne de l’eau absorbée par les minéraux argileux. Les ion hydroxyde (eau liée chimiquement), que contiennent les minéraux argileux et hydroxydes de fer et aluminium

quittent le réseau cristallin. La déshydratation des minéraux argileux se produit dans un large domaine de température allant de 250°C jusqu' à 1000°C et dépend du type de minéral, de la teneur en ajout, des dimensions des grains, de la densité de tassement, de la conductivité thermique, de l'atmosphère gazeuse, ...etc. la cinétique de déshydratation ne joue aucun rôle dans la cuisson du ciment [6].

Les composants chimiques sont indiqués dans le tableau ci-dessous [5].

Tableau II. 2 : La composition chimique de cru

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Le min%	12	02	1,5	41	0,5	0,6	0,05	0,05	0,002	34
Le max %	16	3,5	03	43 ,5	1,5	01	0,3	0,08	0,006	36



Figure II. 2. La farine de cru

II.4.2. Le clinker

Après son refroidissement, le clinker se présente sous forme de nodules d'une dizaine de millimètre de diamètre, ces nodules sont composés de quatre phases cristallines qui sont synthétisées lors de la calcination : deux silicates de calcium et deux aluminates de calcium. Chaque phase a 12 propriétés hydrauliques uniques. Le silicate se présente sous la forme d'un cristal entouré d'une phase interstitielle moins cristallisée contenant deux aluminates [7].

La composition chimique est indiquée dans le tableau ci-dessous [5].

Tableau II. 3: La composition chimique de clinker

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Le min%	19	3,5	03	64	0,5	0,6	0,06	0,08	0,002	0
Le max%	25	0,6	05	67	1,5	01	0,5	0,5	0,006	01

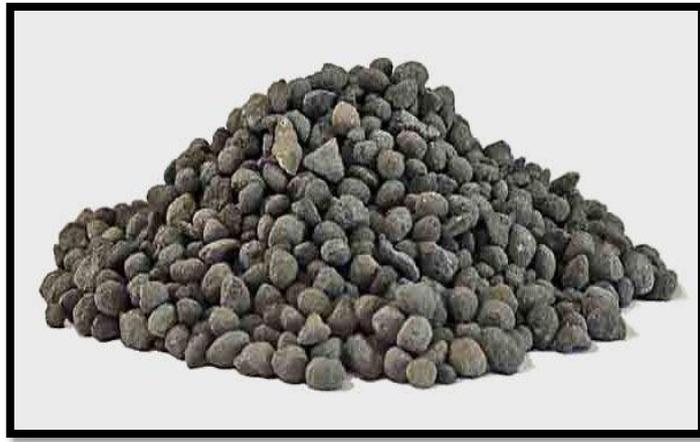


Figure II. 3. Le clinker

II.4.3. Le gypse

Le gypse est une roche salée commune dans les bassins sédimentaires qui est affectée par l'affaissement. Il est principalement composé de gypse minéral, minéral salin très courant dans la série sédimentaire et de sulfate de calcium doublement hydraté. Ces dernières sont à la fois des espèces chimiques et minérales et sont représentées par la formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Le gypse est une roche qui permet de produire industriellement du plâtre [8].

Les composants chimiques sont indiqués dans le tableau ci-dessous [5].

Tableau II. 4: La composition chimique de gypse

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
%	1,79	0,48	0,16	33,59	0,01	0,13	0,79	42,08	0,004	20,93



Figure II. 4. Le gypse

II.5. Les matières premières

II.5.1. Les minerais de fer

Le minerai de fer est une matière minérale composée de roches et de minéraux, dont le fer métallique (Fe) peut être avantageusement extrait en présence d'un agent réducteur tel que le coke. Il se présente généralement sous forme de magnétite, d'hématite ou de ferrite associée au nickel et au cobalt.

Le terme « minerai de fer » est utilisé lorsque la roche est suffisamment riche en fer pour être exploitée de manière rentable [9].

Le tableau suivant présente la composition chimique du minerai de fer [5].

Tableau II. 5: La composition chimique de minerai de fer

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Le min%	10	1,5	35	05	0,15	0,15	0,02	0,002	0,002	08
Le max%	25	03	50	15	2,5	1,5	0,1	0,01	0,01	13



Figure II. 5. Le minerai de fer

II.5.2. Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, En outre, l'assèchement rapide du sol [10].

Le tableau ci-dessous présente la composition chimique de sable [5].

Tableau II. 6: La composition chimique de sable

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Le min%	87	01	01	01	0,2	0,02	0,02	0,02	0,002	01
Le max%	93,5	3,5	03	04	1,5	0,05	0,06	0,2	0,01	4,5



Figure II. 6. Le sable

II.5.3. Calcaire

Le calcaire est un produit obtenu par broyage fin de roches naturelles (basalte, bentonite, etc.) ayant une teneur en carbonate de calcium CaCO₃ de 75 % ou plus [11].

Le calcaire se différencie l'un des autres par :

- Leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qui' ils contiennent ;
- Leur finesse, la forme des grains, leur état de surface ;
- Leur dureté, leur porosité.

La composition chimique de filler de calcaire est indiquée dans le tableau ci-dessous [5].

Tableau II. 7: La composition chimique de filler de calcaire

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Le min%	10	1,5	35	05	0,15	0,15	0,02	0,002	0,002	8
Le max%	25	3	50	15	2,5	1,5	0,1	0,01	0,01	13

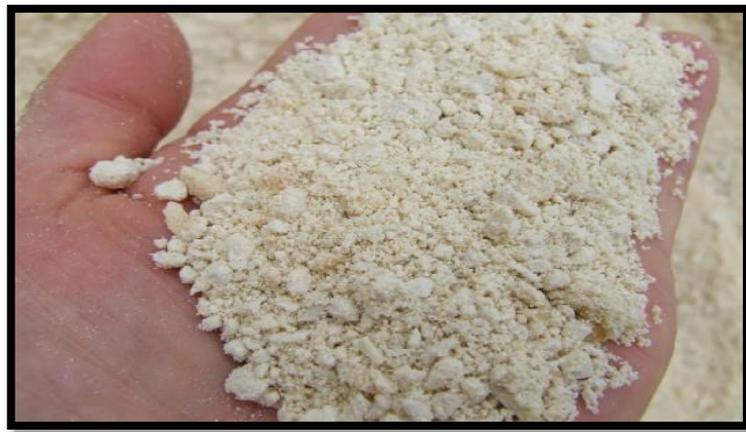


Figure II. 7. Fillers calcaires

II.5.4. Argile

Les argiles sont constituées essentiellement de silice. Les argiles utilisées en cimenterie sont des argiles communes qui peuvent être constituées par des mélanges des groupe enumeres, de plus les argiles résiduelles contiennent souvent des fragments des roches qui leur ont donné naissance et qui risquent de les rendre impropres à la fabrication du ciment (quartz, sous forme de nodules, de sable... etc.) [12].

La composition chimique de l'argile est indiquée dans le tableau ci-dessous [5].

Tableau II. 8: La composition chimique de l'argile

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Le min%	55	16	06	02	0,5	1,5	0,5	0,2	0,002	05
Le max%	62	27	8,5	04	02	3,5	1,5	01	0,004	10



Figure II. 8. Argile

II.6. Les ajouts cimentaires

Les ajouts cimentaires sont des matériaux qui, combinés au ciment, contribuent aux propriétés du béton durci par action hydraulique ou pouzzolanique ou les deux à la fois.

II.6.1. Classification des ajouts cimentaires

Généralement, on utilise dans les ciments et les bétons les ajouts minéraux suivants :

- Les cendres volantes ;
- Les laitiers de haut fourneau ;
- Les fumées de silice ;
- Les pouzzolanes naturelles ;
- Les fillers calcaires.

II.6.1.1. Les cendres volantes

Les cendres volantes constituent un produit minéral pulvérulent résultant du dépoussiérage des fumées rejetées par les centrales thermiques qui utilisent du charbon broyé comme combustible. Elles possèdent la propriété d'être pouzzolaniques (cendres volantes silico-alumineuses) provoque, en présence de la chaux, la formation de composés ayant des propriétés liantes comparables à celles d'un liant hydraulique [13].

Les cendres volantes sont sous forme de particules sphériques vitreuses, pleines ou creuses. La granulométrie s'échelonne de 1 à 200 μm et, en général, 50% des particules ont un diamètre inférieur à 30 μm . Leur surface spécifique Blaine varie entre 250 et 400 m^2/kg (domaine analogue à celui des ciments).

II.6.1.2. Les laitiers de haut fourneau

Les laitiers de haut-fourneau ou laitiers broyés ce sont des sous-produits de fonte qui sont refroidis soudainement par injection l'eau. Ils sont formés de constituants non ferreux, de fondants et de cendres de coke. Ils peuvent être utilisés comme granulats dans le béton. Leur composition en oxydes et leur structure vitreuse obtenue par trempe à l'eau leur confèrent des propriétés hydrauliques latentes, ce qui permet d'envisager leur utilisation en tant qu'addition cimentaires [14].

II.6.1.3. La fumée de silice

La fumée de silice est constituée de particules très fines (taille moyenne des particules d'environ 1 μm) à très haute teneur en silice amorphe. Ils proviennent de la réduction quartz de haute pureté alimenté au charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour produire de silicium et d'alliage de Ferro-silicium [15].

II.6.1.4. La pouzzolane naturelle

Les pouzzolanes naturelles, substances finement broyées ont une finesse à peu près identique à celles du ciment, son généralement d'origine volcanique. Elles n'ont pas des propriétés hydrauliques intrinsèques, mais en présence d'eau avec de l'hydroxyde de chaux libère par le clinker aux cours de son hydratation, ils forment également des hydrates stables peu élastiques dans l'eau [15].

II.6.1.5. Les fillers calcaires

Filler calcaire est une fine minérale obtenue par broyage d'une roche calcaire de manière à répondre aux critères de conformité de la norme sur les additions minérales calcaires. L'appellation de filler calcaire vient du fait que cette addition, si elle est broyée assez finement, s'insère dans le squelette granulaire du ciment et permet donc de combler les vides entre les autres particules de dimensions plus importantes du béton (ciment, granulats). L'effet, appelé effet filler, se traduit par une compacité plus importante du squelette granulaire et va donc avoir des effets sur les propriétés aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci [16].

II.7. Les étapes de fabrication du ciment***II.7.1. Introduction***

Le clinker est le résultat de la trempe d'un mélange de calcaire (80%) et d'argile (20%) après cuisson à haute température (1450°C). Le ciment Portland est fabriqué en broyant finement du clinker Portland et du gypse naturel à moins de 5 %. Liants hydrauliques durcissables à l'air et à l'eau. Le clinker Portland est ajouté au gypse naturel pour réguler le temps de prise du ciment. Il s'agit d'un "régulateur de condensation » [6].

II.7.2. Préparation de matières premières**II.7.2.1. Extraction**

Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou par pelletage mécanique. Les roches sont transportées vers l'atelier de concassage par des camions bennes ou des tapis roulants. Après concassage, ils sont acheminés vers l'usine par un tapis roulant pour stockage et homogénéisation [17].



Figure II. 9. Le pelletage mécanique



Figure II. 10. Transport par tapis



Figure II. 11. Transport par camions bennes

II.7.2.2. Concassage

Les matériaux sont broyés par un concasseur à une taille allant jusqu'à 80 mm [17].

II.7.3. Préparation du cru

Le laboratoire détermine le rapport de chaque matériau, en fonction de l'analyse chimique complète et du calcul du mélange. Utilisez généralement autour de [17] :

- Calcaire : 80%
- Argile : 17%
- Sable : 2%
- Minerai de fer : 1%

II.7.3.1. Homogénéisation

L'étape d'homogénéisation consiste à créer un mélange homogène. Cette opération peut être effectuée dans un hall où un mélange homogène est obtenu en plaçant le matériau dans une couche horizontale puis en le soulevant verticalement dans un silo de pelle sur roues, ou dans un silo vertical en brassant avec de l'air comprimé [17].



Figure II. 12. Hall d'homogénéisation

II.7.3.2. Séchage et broyage

Les matières premières sont ensuite séchées et broyées très finement permet d'obtenir une farine crue. On obtient la farine. Celle-ci sera plus tard introduite dans le four sous forme pulvérulent ou préalablement transformée en granules [17].



Figure II. 13. Broyeur

II.7.4. La fabrication du clinker

II.7.4.1. Préchauffage et la Cuisson

Avant d'entrer dans le four, la farine est chauffée à environ 800°C dans un préchauffeur à cyclone. La cuisson se fait dans un four rotatif, où la température de la flamme est d'environ 1450° C. A la sortie du four, le matériau appelé clinker traverse un refroidisseur [17].



Figure II. 14. Préchauffeur



Figure II. 15. Four rotatif

II.7.4.1. Refroidissement

Pour le ciment gris, dans la plupart des cimenteries actuelles, le clinker est refroidi par un refroidisseur à grille. Le clinker se déplace vers le refroidisseur en frappant à plusieurs reprises la grille sur laquelle il est placé. Un puissant ventilateur souffle le clinker sur la grille pour la refroidir. A l'entrée ou à la sortie du refroidisseur, il est broyé grossièrement par un broyeur à un ou plusieurs rouleaux selon le modèle utilisé [17].



Figure II. 16. Refroidisseur

II.7.5. La fabrication du ciment

II.7.5.1. Broyage

Le clinker est ensuite finement broyé pour conférer au ciment des propriétés hydrauliques actives. Cette fraiseuse est réalisée avec un broyeur à boulets, un appareil cylindrique qui tourne avec une bille en acier.

A ce stade, du gypse (3-5%) est ajouté au clinker. Ceci est essentiel pour ajuster le durcissement du ciment. et on obtient du ciment portland. Le ciment additionnel est obtenu en ajoutant des éléments minéraux supplémentaires lors du broyage, qui sont présents dans des matériaux tels que :

- Le laitier de hauts fourneaux.
- Les cendres volantes de centrales électriques.
- Les fillers calcaires (granulats).
- Les pouzzolanes naturelles ou artificielles [17].

II.7.5.1. Stockage

Le ciment stocké dans des silos est transporté en vrac ou en sacs jusqu'au point de consommation [17].



Figure II. 17. Broyeur cuit

II.8. Catégories des ciments

II.8.1. Classification des ciments

La classification des ciments se fait selon trois critères :

- Selon leur composition : CPA/CPI/CPZ/CHF/CLK/CLC ou CEMI, II, III.
- Selon leur résistance : 32,5, 42,5, 52,5 N/mm².
- Selon la vitesse de prise : N pour une prise normale et R, pour une prise plus rapide [10].

II.8.2. Types des ciments les plus courants

II.8.2.1. Ciments Portland composés (CEM II - Norme NF EN 197-1)

Le ciment Portland composée est un mélange de clinker d'une teneur d'au moins 65 % et d'autres ingrédients tels que laitiers, cendres volantes, pouzzolanes, fumée de silice, dont le total ne dépasse pas 35 %. Ces ciments sont bien adaptés pour les travaux lourds nécessitant une élévation de température modérée, les routes et le béton préfabriqué [10].

II.8.2.2. Ciments au laitier (Norme NF EN 197-1)

Selon le taux du laitier, il existe trois types dont la notation :

- ✓ CEM III/A 35-64 36-65
- ✓ CEM III/B 20-34 66-80
- ✓ CEM III/C 5-19 81-95

Ces types de ciment conviennent très bien aux travaux suivants :

- Travaux hydrauliques, souterrains, fondations, injections.
- Travaux en eaux agressives : eaux de mer, eaux séléniteuses, eaux industrielles, eaux pures.
- Ouvrages massifs : fondations, piles d'ouvrages d'art, murs de soutènement, barrages. Les bétons de ciment au laitier sont sensibles à la dessiccation, il faut les maintenir humides pendant le durcissement [10].

II.8.2.3. Ciments à maçonner (CM- Norme NF P 15-307)

Il s'agit d'un liant hydraulique en poudre fabriqué en usine et le développement de la traînée est essentiellement dû à la présence de clinker portland. Selon la résistance minimale à

28 jours, il existe trois types de résistances (MC 5, MC 12.5 et MC 22.5). Le délai d'apparition ne doit pas être inférieur à 60 minutes. Ces ciments, on peut utiliser dans :

- La construction (bâtiment, revêtement, dégrossissage, ... etc.).
- Produire ou reconstituer de la pierre artificielle.

Ces ciments ne conviennent pas au béton à haute contrainte ou armé. Ils ne doivent pas être utilisés dans des environnements agressifs [10].

II.8.2.4. Ciment prompt naturel (CNP - Norme NF P 15-314)

Le ciment prompt naturel est obtenu par cuisson, à température modérée entre 1000 et 1200°C d'un calcaire argileux d'une grande régularité. La mouture est plus fine que celle des ciments portland. Le début de prise commence à environ 2 min, s'achève pratiquement à 4 min, mais il est plus réglable de 3 à 15 min en utilisant l'adjuvant Tempo (livré avec sac de 25kg) qui ne modifie pas l'évolution du durcissement. Le ciment prompt naturel est utilisé en mortier avec un dosage de ciment double du volume de sable, et éventuellement en béton. Dans les cas d'urgences nécessitant une prise immédiate (aveuglements de voies d'eau), il est possible de l'employer en pâte pure. Parmi les nombreux emplois, on peut citer :

- ✓ Travaux spéciaux et travaux de réparation.
- ✓ Enduits de façade (en mélange aux chaux naturelles).
- ✓ Bétons projetés, moulages.
- ✓ Revêtements et enduits résistants aux eaux agressives et à bon nombre d'attaques chimiques, en particulier à l'acide lactique et aux déjections (bâtiments pour l'élevage, silos).
- ✓ Colmatage et travaux à la mer.
- ✓ Projection, travaux souterrains [10].

II.8.2.5. Ciment alumineux fondu (CA - Norme NF P 15-315)

Le ciment léger fondu est le résultat d'une cuisson jusqu'à la formation d'un mélange de calcaire et de bauxite, puis d'un broyage sans gypse jusqu'à une finesse équivalente au ciment portland son début de prise est dans minimum 1h30. Il développe des résistances élevées à court terme grâce à un durcissement rapide. Il est très résistant aux milieux acides et agressifs (jusqu'au pH du quaternaire). Il est normalisé pour le travail en mer (PM) et dans les eaux à forte teneur en sulfate (ES). La haute température d'hydratation, associée à son durcissement rapide, permet de réaliser le ciment fondu par temps froid (jusqu'à 10°C). C'est aussi un ciment réfractaire (fonctionne bien jusqu'à 1300°C) [10].

II.8.2.6. Ciments blancs

La couleur blanche est obtenue à partir de matières premières très pures (calcaire et kaolin) débarrassées de toute trace d'oxyde de fer. Les propriétés sont similaires à celles du ciment Portland gris (norme NF EN 197-1). Grâce à sa blancheur, le ciment blanc rehausse la couleur des granulats du béton apparent. La pâte elle-même peut être colorée à l'aide de pigments minéraux, qui confèrent au béton une variété de couleurs pour les bétons structuraux et architecturaux et les revêtements décoratifs. La composition du béton doit être soigneusement étudiée en fonction des nuances et des effets recherchés [10].

Partie pratique

CHAPITRE III

Matériels et méthodes

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Contrôle de qualité

Le contrôle qualité est une opération qui maintenir la qualité dans la fabrication d'un produit. Au sein du ECDE, le laboratoire assure la perfection de la production, de sorte qu'il est basé sur la production en carrière à l'ensachage 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 depuis la salle de contrôle, et cela grâce aux techniciens. Pour cette raison, ECDE a établi depuis longtemps des procédures de contrôle strictes pour garantir la qualité des produits et la réputation de l'entreprise [3].

III.1.1. Les analyses chimiques

III.1.1.1. Dosage pour la détermination teneur en oxydes

III.1.1.1.1. Détermination la teneur de l'oxyde de Calcium (CaO)

- Prendre une pipette pour recueillir 50 ml de filtrat de silice ;
- Verser dans trois béchers de 500 ml et remplir avec de l'eau distillée jusqu'à environ 200 ml ;

On ajoute :

- 20 ml de solution de TEA ;
- 10 ml de solution KOH avec pH = 13 ;
- Une pincée de l'indicateur pour la colorisation ;
- Titrer avec 0,03 mol de solution (éthylène diamine tétra acétique) jusqu'à coloration bleue.

Le pourcentage CaO est calculé comme suit :

$$\%CaO = \frac{0.03 * 56.08 * 500 * T(EDTA) * V * 100}{1000 * 50 * 0.5} = 3.3648 * V(EDTA) \quad [III. 1]$$

V_{EDTA} : le volume d'EDTA nécessaire pour doser le CaO.

III.1.1.1.2. Détermination la teneur de l'oxyde de magnésium (MgO)

Prendre un bécher et pipeter 50 ml, et diluer avec l'eau distillé jusqu'à 200 ml.

On ajoute :

- 20 ml de la solution TEA ;

- 10 ml de la solution tampon à ph = 10 ;
- Quelques gouttes de l'indicateur phtaléine ;
- Titre avec la solution de l'EDTA 0.03 molaire jusqu'au virage rose pale, noter le volume, soit V.

Le pourcentage MgO est calculé comme suit :

$$\% \text{MgO} = \frac{0.03 * 40.311 * 500 * T(\text{EDTA}) * V * 100}{1000 * 50 * 0.5} = 2.4186 * V(\text{EDTA}) \quad [\text{III. 2}]$$

V_{EDTA} : le volume d'EDTA nécessaire pour doser le MgO.

III.1.1.1.3. Détermination la teneur de l'oxyde de fer (Fe_2O_3)

Dans un bécher de 600 ml, Pipeter 50 ml de la solution et diluer avec l'eau distillé jusqu'à 200 ml.

On ajouter :

- Quelques gouttes de promo phénol [2 à 3 ml] ;
- Neutraliser goutte à goutte avec NH_4OH jusqu'à la coloration bleue ;
- 25 ml d'HCl (0.1 N) ;
- 25 ml de la solution tampon ph=1.4 (jaune claire) ;
- Une goutte d'acide salicylique (coloration violette) ;
- Chauffer à environ 50°C ;
- Titrer avec la solution d'EDTA 0.03 molaire jusqu'au virage au jaune pâle et noter le volume de l'EDTA V.

Le pourcentage de Fe_2O_3 est calculé comme suit :

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{0.03 * 159.692 * 500 * T(\text{EDTA}) * V * 100}{1000 * 50 * 0.5 * 2} = 4.7907 * V(\text{EDTA}) \quad [\text{III. 3}]$$

V_{EDTA} : le volume d'EDTA nécessaire pour doser le Fe_2O_3 .

III.1.1.1.4. Détermination la teneur de l'oxyde de l'alumine (Al_2O_3)

Laisser refroidir la solution ayant servi au dosage de Fe_2O_3 pendant 15 min.

On ajoute :

- Goute à goutte, une solution d'acétate d'ammonium $\text{C}_2 \text{H}_7 \text{NO}_2$ jusqu'au virage bleu clair ;
- 5 ml d'acide acétique (virage de la solution au vert clair) ;

- 20 à 25 gouttes d'indicateur P.A.N jusqu'à coloration rouge pomme ;
- 03 à 04 gouttes d'une solution de complexonate de cuivre CuCl_2 ;
- Chauffer jusqu'à l'ébullition (coloration violette) ;
- Titrer avec la solution l'EDTA 0.03 M jusqu'au virage du jaune au jaune paille ;
- Noter le volume d'EDTA versé, $V(\text{EDTA})$.

Le pourcentage de Al_2O_3 se calcule comme suit :

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{0.03 * 101.961 * 500 * V(\text{EDTA}) * T(\text{EDTA}) * 100}{1000 * 2 * 50} = 2.4186 * V(\text{EDTA}) \quad [\text{III. 4}]$$

V_{EDTA} : le volume d'EDTA nécessaire pour doser le Al_2O_3 .

III.1.1.2. Détermination la teneur en silice (SiO_2)

- Mettre le filtre et son contenu dans un creuset vide et le peser (m_1) ;
- Bruler complètement le filtre puis en plaçant le creuset dans un four 1000°C pendant une heure de temps ;
- Sortir le creuset et le laisser refroidir ;
- Peser la masse de la silice (m_2).

Le pourcentage de SiO_2 est calculé comme suit :

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{m_2 - m_1}{M} * 100 \quad [\text{III. 5}]$$

m_1 : poids de creuset vide.

m_2 : poids creuset plus la silice.



Figure III. 1. Creuset

III.1.1.3. Détermination le taux de la chaux libre

- Peser 1g de la matière (clinker, ciment) et le transférer dans un erlenmeyer propre ;
- Ajouter 40ml de la solution glycérine ;
- Fermer avec un bouchon muni d'un tube de refus total en verre et le poser sur un bain de sable ;
- Verser goutte à goutte la solution d'acétate d'ammonium de titre connu jusqu'à de la coloration rose ;
- Répéter l'opération jusqu' la décoloration rose et noter le volume d'acétate versé (V).

Le taux de la chaux libre se calcule comme suit :

$$\% \text{ CaO libre} = V * F(\text{Acétate}) \quad [\text{III. 6}]$$

Avec : F(Acétate) : le facteur de la chaux libre.



Figure III. 2. La chaux libre

III.1.1.4. Détermination du pourcentage de SO₃

- Peser 1g de ciment ;
- Ajouter 20 ml d'eau distillée et 15 ml d'HCl N/2, et Porter à ébullition ;
- Filtrer la solution dans un bécher avec un filtre rapide ;
- Ajouter 15 ml de BaCl₂ (100 g/l) ;
- Filtrer avec un filtre lent ;
- Peser un creuset P₁ et Mettre le filtre et son contenu dedans ;
- Bruler dans un four de 1000°C environ 20 min de temps, retirer le creuset et laisser refroidir puis peser P₂.

La formule est la suivante :

$$\% \text{ SO}_3 = (P_2 - P_1) \times 34.3 \quad [\text{III. 7}]$$

P_1 : poids de creuset vide

P_2 : poids de creuset plus SO_3

III.1.2. Les analyses physico-mécaniques

III.1.2.1. Mesure de la surface spécifique de Blaine

C'est la surface occupée par un gramme de ciment, qui permet de déterminer la finesse du ciment ou le degré de broyage.

❖ Principe

La finesse du ciment est mesurée en observant le temps nécessaire à un volume d'air fixe pour traverser la couche de ciment comprimé à une porosité spécifique de 0,5.



Figure III. 3. Perméabilité de Blaine

❖ Mode opératoire

Placer la grille au fond de la cellule, appliquer un nouveau disque de papier filtre sur cette grille à l'aide d'une tige à face intérieure pleine. Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir. Faites quelques légères vibrations pour aplatir la couche du liant, puis placer sur celle-ci un autre disque neuf de papier filtre. Remplacer le soigneusement à l'aide

du piston en évitant que la poudre ne dépasse pas au-dessus du papier filtre. Tire lentement le piston. Vérifiez que le niveau de liquide dans le manomètre doit être égal à la ligne inférieure. Enduire la vaseline de partie.

Combiner la cellule et la placer sur son extrémité en lui donnant un léger mouvement de rotation pour répartir la Vaseline. Veuillez ne pas modifier la compression du calque pendant ce processus. Utilisez la poire d'air pour aspirer lentement l'air du tube jusqu'à ce que le niveau de liquide atteigne le repère supérieur. Fermez la vanne en allumant le minuteur sensible (cinquième de seconde) lorsque le niveau de liquide atteint la deuxième marque. Il s'arrête lorsque le niveau atteint la troisième ligne. Marquer le temps écoulé.

III.1.2.2. Détermination du refus

❖ Principe

Son but est de déterminer le taux d'enlèvement de ciment après broyage. Le refus est défini pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré de broyage.



Figure III. 4. Appareil alpine MOSOKAWA

❖ Mode opératoire

L'appareil Alpine donne automatiquement le pourcentage des refus.

III.1.2.3. Essai de prise

Le test de prise est un essai en laboratoire qui détermine le temps de prise, c'est-à-dire le temps qui s'écoulera entre le moment où l'adhésif est mis en contact avec l'eau de gâchage, et la prise et la fin de prise.

❖ Principe

À l'aide de l'aiguille de Vicat qui on détermine le début de prise ou fin de prise.

Dans le laboratoire d'essais physiques de la cimenterie de CHLEF, il dispose d'un équipement plus développé appelé Prisomètre automatique.



Figure III. 5. Prisomètre automatique

❖ Le but

Le temps de prise d'un ciment ou d'un mortier est déterminé par l'observation de la pénétration d'une aiguille dans une pâte de consistance normalisée. Le prisomètre automatique CONTROLAB-PERIER permet d'effectuer cet essai de pénétration simultanément sur 6 moules indépendamment les uns des autres. Durant l'essai, le prisomètre est piloté automatiquement par un micro-ordinateur PC compatible fourni avec l'appareil. Grâce au logiciel installé sur cet ordinateur « application prisomètre », l'opérateur peut rentrer les données, lancer un essai de début de prise ou de fin de prise et suivre son déroulement à l'écran sur une courbe. Les résultats de pénétration (temps de début de prise, temps de fin de prise, courbe de profondeur de pénétration en fonction du temps) sont

automatiquement enregistrés dans un fichier à chaque pénétration (le fichier pourra être consulté ultérieurement).

III.1.2.4. Essais mécaniques (compression et flexion)

Leur but est de mesurer les résistances aux différentes contraintes après un certain temps.

❖ Mode opératoire

- Verser 225 ml d'eau dans le récipient de malaxeur et ajoutez du ciment.
- Mettre le malaxeur en marche à une vitesse lente pendant une minute puis introduire 1350 g de sable normalisé sec.
- Mélanger et verser dans un moule à l'aide d'une spatule, et peut être bien tassé, après un doublet de choc en utilisant l'appareil à choc. Le mortier est mit dans la chambre humide à température $(20 + 1) ^\circ\text{C}$ et 90% d'humidité.
- Après 24 heures, on fait le démoulage et on conserve les éprouvettes dans le bain d'eau. Par leurs périodes 2 jours, 7jours et 28 jours.



Figure III. 6. Malaxeur



Figure III. 7. Appareil de compression et flexion



Figure III. 8. Moules pour moulage des éprouvettes de mortier



Figure III. 9. Chambre humide

Chapitre IV

Résultats et discussions

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Synthèse du ciment

Notre travail est la préparation du ciment à l'intérieur de la cimenterie ECDE à Chlef, dans ce but nous avons commencés de préparer des ingrédients pour la fabrication du ciment.

IV.2. Préparation des constituants du ciment

Pour obtenir le ciment, on a préparé les matières premières comme le clinker, le calcaire et le gypse passant par séchage, concassage et finalement le broyage.

↳ Séchage

Il a été effectué dans une chambre de séchage à la température variant entre [80°C _ 110 °C] pendant 3 heures de temps, pour déterminer le taux d'humidité et de sécher les ajouts.



Figure IV. 1. Chambre de séchage

↳ Concassage

On a utilisé un mini concasseur pour minimiser la taille et faciliter le broyage de matières comme le clinker, calcaire et le gypse.

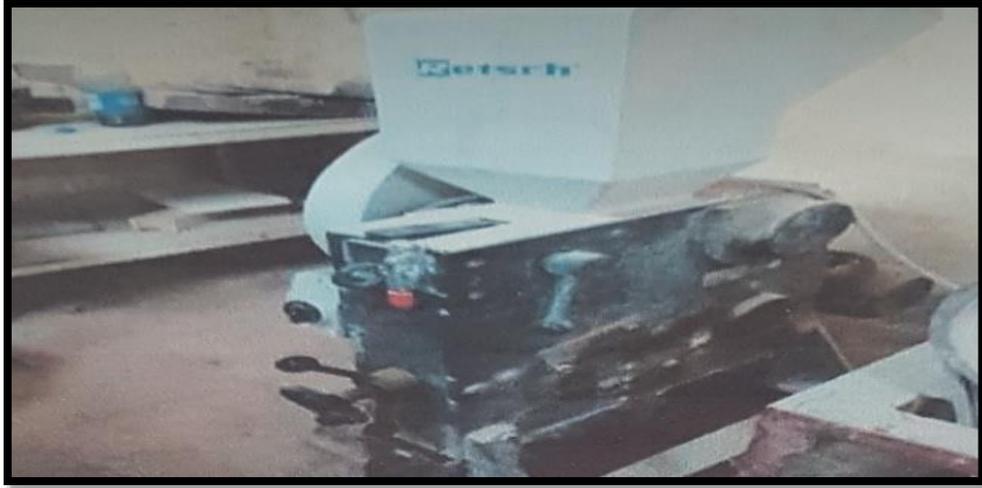


Figure IV. 2. Mini-concasseur CR 600

↪ Broyage

Il a été réalisé au laboratoire dans un mini-broyeur pour avoir des poudres fines.



Figure IV. 3. Mini-broyeur FARTHEST

IV.3. Préparation du ciment

Après avoir terminé la première partie de la préparation des composants du ciment, nous commençons à préparer trois types de ciment variant dans la proportion de calcaire (0%, 10%, 15%, 20%) et de 4% de gypse.

La composition du ciment préparé est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 1: Les différents ciments préparés au sien laboratoire

Les ciments préparés	Clinker	Calcaire	Gypse
	(g)		
CEM 1	576	0	24
CEM 2	516	60	24
CEM 3	486	90	24
CEM4	456	120	24

IV.4. Analyse chimique

IV.4.1. La composition chimique du ciment préparé

Les résultats expérimentaux concernant les composants chimiques des trois échantillons du ciment sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau IV. 2: La composition chimique de CEM 2

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃
%	16,81	4,47	2,66	69,50	0,82	0,63	0,22

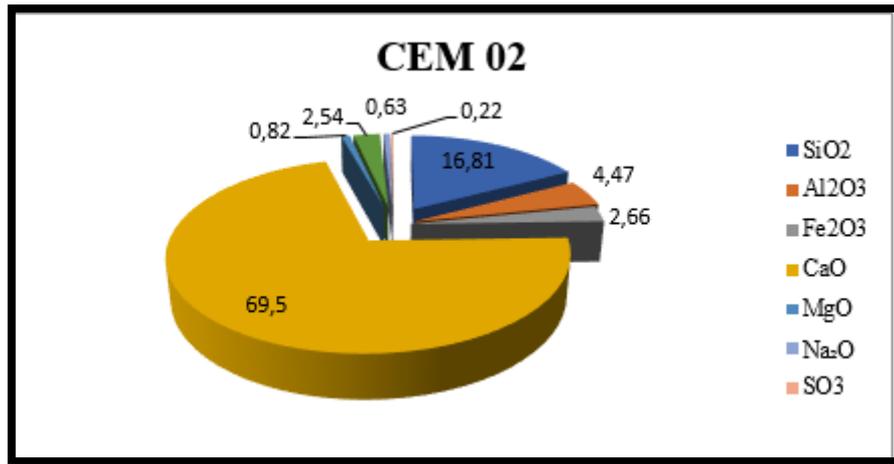


Figure IV. 4. Représentation graphique de la composition chimique de CEM 2

Tableau IV. 3: La composition chimique de CEM 3

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃
%	16,01	4,21	2,54	68,73	1,83	1,53	1,22

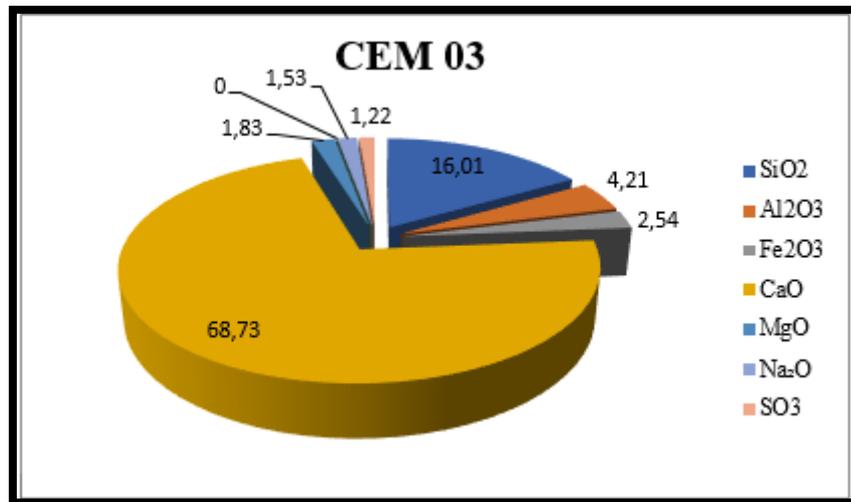


Figure IV. 5. Représentation graphique de la composition chimique de CEM 3

Tableau IV. 4: La composition chimique de CEM 4

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃
%	15,63	3,51	2,16	65,41	1,81	1,45	1,20

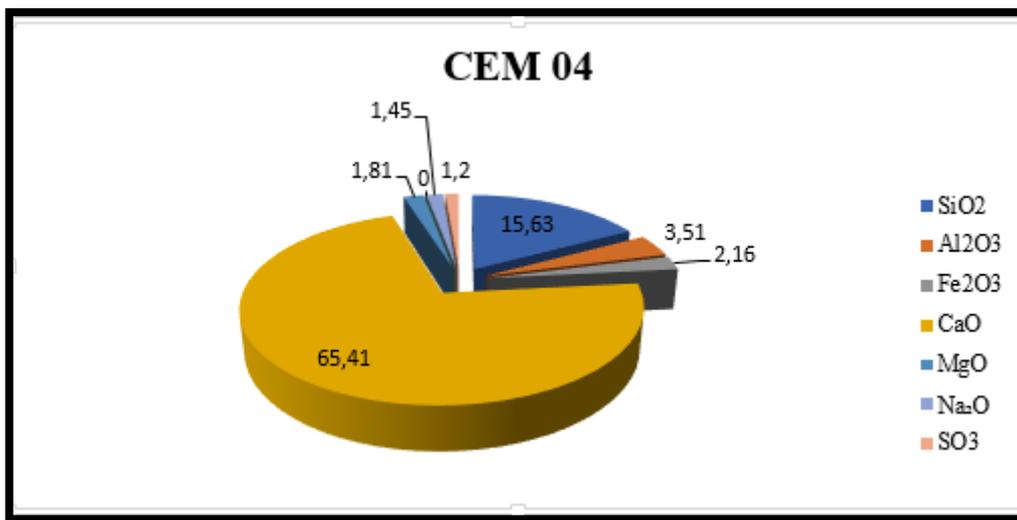


Figure IV. 6. Représentation graphique de la composition chimique de CEM 4

Tableau IV. 5: Le min et max des composants chimique de ciment

Les composants chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	Cl
Le min%	17	2,5	02	61	0,5	0 ,05	01	0,005
Le max %	23	05	3,5	64,5	01	0,5	02	0 ,1

➤ **Interprétation des résultats**

On remarque d'après les tableaux (Tableau IV. 2, Tableau IV. 3, Tableau IV. 4) il y a un changement dans le pourcentage des composants chimiques à cause de la variation de dosage de calcaire dans chaque échantillon. Et par rapport au (tableau IV. 5), il y a un écart notable entre les pourcentages existants.

Le taux d'oxyde de silice (SiO_2) et la chaux (CaO), diminue à chaque augmentation de pourcentage du calcaire.

Donc le calcaire affecte directement sur les composants chimiques du ciment.

IV.5. Analyse physique

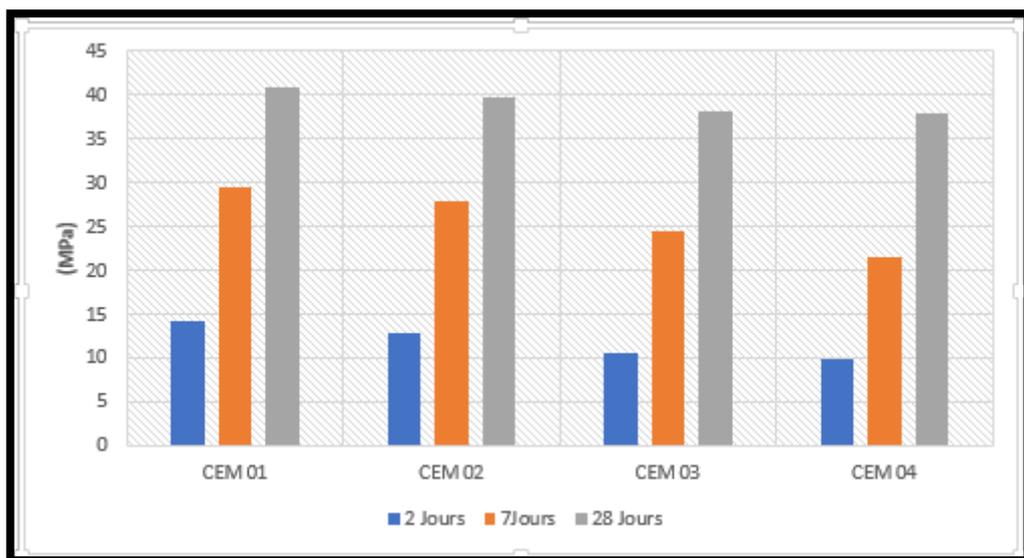
IV.5.1. Résistance mécanique

Tableau IV. 6: Résistance de compression des échantillons préparés

Période	2jours	7 jours	28 jours
Résistance de compression (MPa)			
CEM 01	14,25	29,50	40,83
CEM 02	12,86	27,96	39,68
CEM 03	10,54	24,45	38,17
CEM 04	9,76	21,53	37,86

Tableau IV. 7: Résistance de flexion des échantillons préparés

Période	2jours	7 jours	28 jours
Résistance de flexion (MPa)			
CEM 01	3,17	6,03	7,58
CEM 02	3,97	4,87	5,23
CEM 03	3,74	4,76	5,19
CEM 04	3,081	4,76	5,06

**Figure IV. 7.** Evolution de la résistance de compression en fonction du temps

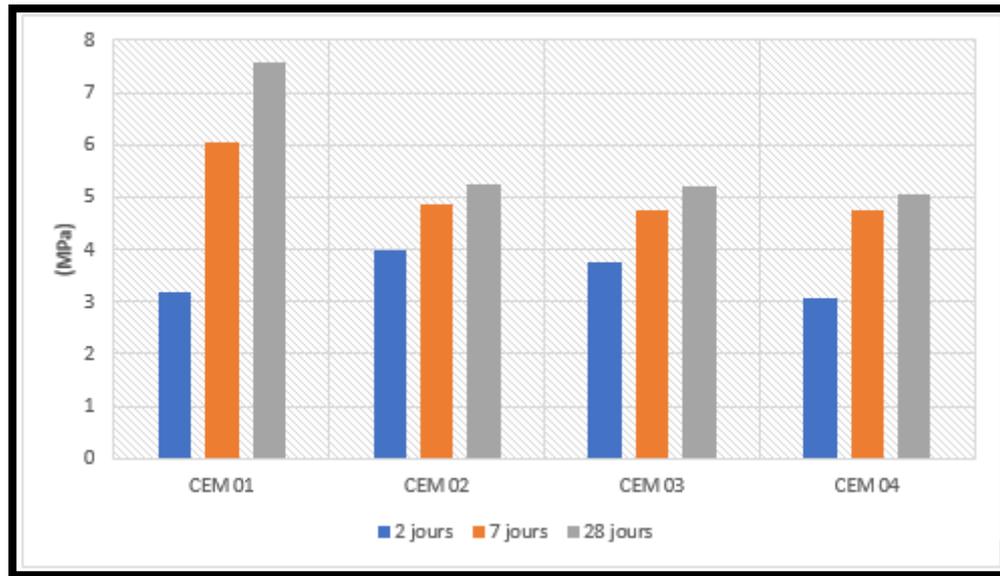


Figure IV. 8. Evolution de la résistance de flexion en fonction du temps

➤ **Interprétation des résultats**

D'après les figures (**Figure IV.7** et **Figure IV.8**) nous constatons que la valeur de la résistance à la compression du mortier témoin est élevée par rapport aux celles des échantillons qui contiennent de calcaire, et cela pendant toute les durées (02 j, 07j, 28j).

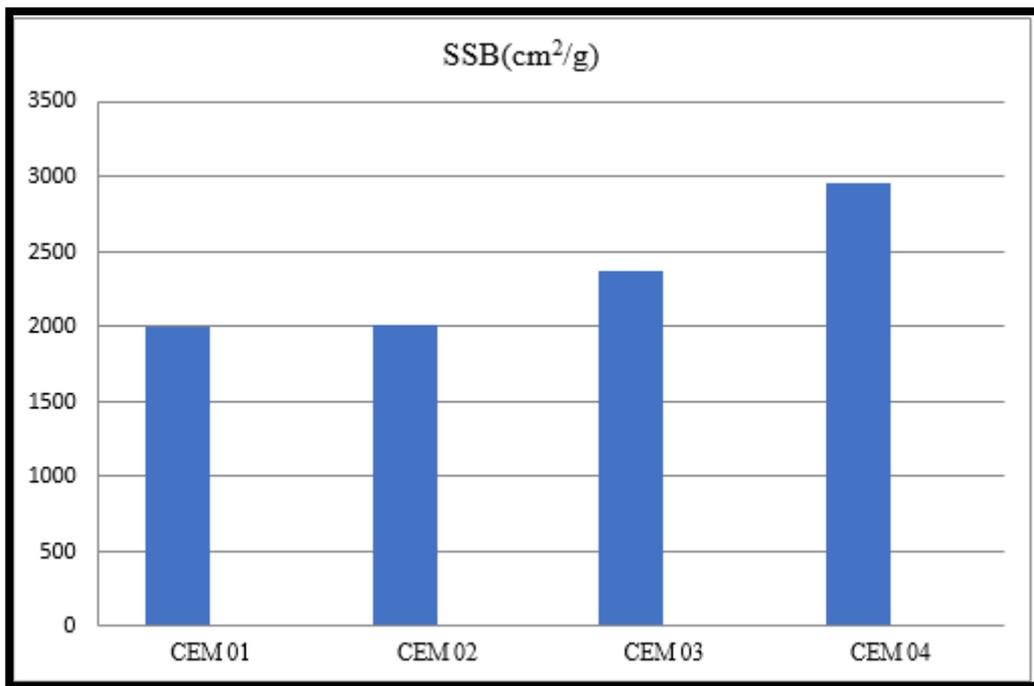
Les modifications des proportions de calcaire entraînent des modifications des proportions des principaux composés chimiques de ciment :

- ✓ L'augmentation du CaO augmente C_3S .
- ✓ L'augmentation du SiO_2 augmente C_2S .

Les composés (C_3S) et (C_2S) sont les composés de ciment les plus stables, et ils déterminent la résistance finale du ciment. Avec l'augmentation de l'addition de calcaire, la quantité du clinker sera réduite et la concentration de C_3S va diminuer, ce dernier est responsable de la diminution de la résistance.

*IV.5.2. Surface spécifique***Tableau IV. 8:** La surface spécifique (SSB) des échantillons préparés

Echantillon	00	01	02	03
SSB (cm ² /g)	1994	2011	2367	2961

**Figure IV. 9.** Variation de la surface spécifique de ciment en fonction de taux d'ajout**➤ Interprétation des résultats**

D'après (**Tableau IV.8**) et les résultats obtenus, nous avons remarqué que l'augmentation de la quantité calcaire influence dans sur la surface spécifique de Blaine du ciment.

Les ciments avec ajouts minéraux doivent être leurs SSB entre [4000-5000] cm²/g pour garantir une bonne résistance mécanique.

Conclusion

Conclusion générale

L'utilisation des ajouts est la solution idéale à suivre pour assurer la continuité de la fabrication de ciment, soit du côté écologique ou économique, car l'industrie cimentière consomme beaucoup d'énergie et elle a coté dans la pollution d'air en raison de l'émission de CO₂.

Le but de l'expérience que nous avons vécue est de connaître l'importance des ajouts, et l'effet de calcaire sur les composés chimiques et sur la surface spécifique de Blaine des ciments et sur la résistance mécanique du mortier.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

↳ L'augmentation de pourcentage d'ajouts influe sensiblement sur la surface spécifique de Blaine.

↳ L'influence de Les modifications des proportions de calcaire sur des modifications des proportions des principaux compose comme la silice et la chaux.

↳ 20% de l'ajout de calcaire n'a aucun effet sur la fabrication du ciment d'une classe de résistance inférieur ou égale à 32.5MPa.

Nos analyses montrent que les propriétés du ciment sont convenables jusqu'à (20% calcaire) et ça selon les normes internationales.

Références bibliographiques

- [1] BEN AOUIRA Hafsa, BOUHALI Nour elhouda, étude de l'influence des ajouts pouzzolaniques sur l'évolution de la propriété d'une matrice cimentaire : mémoire master, 2017, université M'sila.
- [2] MEROUANE Abdellah, Synthèse et caractérisation d'un ciment belitique riche en α_L -C₂S et de haute réactivité hydraulique, mémoire de magister, 2009, Université Oran.
- [3] DAHOU Fatma Zouhra, l'influence de la surface spécifique du Blaine sur le ciment, thèse License Professional, 2018, université Bouira.
- [4] Ahmed Gmira, Etude structurale et thermodynamique d'hydrates modèle du ciment. Matériaux, 2003, Université d'Orléans.
- [5] La fiche des analyses chimiques des composants pour les matières premières, cru, clinker et ciment, ECDE Chlef, 2021.
- [6] MOHAMED LYES KAMEL KHOUADJIA, étude des propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des bétons à base des sables de carrières : expérimentation et modélisation, thèse doctorat, 2016. Université Mohamed Khider-Biskra.
- [7] ELODIE Romilliat, Etude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker. Génie des procédés, 2006, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- [8] BENCHEIKH Amel, Contribution à la caractérisation d'un ciment à base du laitier +5 % de calcaire, thèse master.2016, Université Mohamed Boudiaf - M'sila.
- [9] CHAABIA Raouf, Caractérisation physico-chimique et enrichissement des minerais de fer du gisement d'Anini, Sétif-Algérie, thèse doctorat, 2016, université Badji.
- [10] BOUALI Khaled, Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires, thèse magister, 2014, université Boumerdes.
- [11] CHIKOUCHE Mohamed Aziz, Optimisation des ajouts à base d'argiles vaseuses et leurs effets sur les propriétés des matériaux cimentaires, thèse doctorat, 2016, université M'sila.

Références bibliographiques

- [12] BENGUEDOUAR Afeff, synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydrates (C.S.H) hybrides, mémoire magister en chimie, 2013, université Yaounde 1.
- [13] LALEM Fatima, Effet de l'ajout de la cendre issue de la combustion de déchets de palmiers dattiers à différentes températures sur les propriétés mécaniques du mortier de ciment, thèse master, 2019, université Ouargla.
- [14] GHERMAOUI Amina, Effets de certains métaux sur les propriétés physico chimique des mortiers de ciment de Béni-saf sans ou avec ajout de pouzzolane, thèse master, 2015, université Tlemcen.
- [15] GUIMER Tarek, contribution de l'addition minérale sur les caractéristiques physico-mécaniques des liants et mortiers, thèse magister, 2007, université Biskra.
- [16] NAOUM Mohamed amine, SAYAH BEN AISSA Khaled, effets du filler calcaire sur la durabilité de mortier auto-palpant expose aux attaques chimiques, thèse master, 2021, université Ghardaïa.
- [17] Des documents de la cimenterie d'oued sly Chlef (ECDE).