



République algérienne démocratique et populaire

Université Akli Mohand Oulhadj

BOUIRA



Institut de Technologie

Rapport de soutenance

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

Génie chimique

THÈME :

**L'effet de pouzzolane sur les
comportements mécaniques de mortier**

Réalisé par

- MOURAH Mohamed El Amine

Encadré par

- Dr HAMIDOUCHE Sabiha

Année : 2017 / 2018

REMERCIEMENTS

Je remercie mon créateur Allah, Grand et Miséricordieux, Le tout Puissant pour le courage qu'il m'a donné pour mener ce travail à terme.

Je tiens à remercier madame HAMIDOUCHE SABIHA de m'avoir proposé ce sujet, ces conseils et son suivi durant la période de réalisation de ce travail avec toute la patience.

Mes remerciements sont adressés également aux membres du Jury qui ont pris sur leur temps et ont bien voulu accepté de juger ce modeste travail.

Sans oublier l'ensemble des membres du laboratoire de la cimenterie de CHLEF.

Je remercie mes chers parents sur qui j'ai pu compter et me ressourcer d'affection et de bénédiction durant toute ma vie.

Je remercie toute ma famille pour le courage qui m'a donné, je veux adresser mes sincères remerciements à tous mes collègues.

ملخص

الإسمنت مادة أساسية للبناء تستخدم في كل أرجاء العالم. يتطلب تصنيعها دقة كبيرة في عملية الإنتاج ويجب أن تستوفي المعايير الوطنية والدولية الصارمة. قد ركزت العديد من الدراسات على تقسيم إنتاج الإسمنت من حيث الكمية والجودة: مثلاً إضافة البزولان لزيادة متانة الملاط. البزولان هو صخرة طبيعية ناتجة عن الحمم البركانية البازلتية. لقد وجدنا أن النسبة المئوية من إضافة البزولان التي تصل إلى 20% لا تزال تعطي مقاومة تبلغ 45.16 ميجا باسكال في 28 يوم وهي أعلى بكثير من تلك التي تحددها المواصفات القياسية. تسمح هذه العملية من جهة لزيادة إنتاج الإسمنت ومن ناحية أخرى لإعداد ملاط وخرسانة ومقومات. ركزت التجربة على التحكم بالملاط بدون إضافة البزولان (0% من البزولان) وكذلك إضافة نسبة أخرى من البزولان للملاط (5%- 10% - 15% - 20%). وأكدت المقاومة للضغط الإنشاء في 2 و7 و 28 و 56 يوماً دور البزولان على تحسين مقاومة الإسمنت.

RESUME

Le ciment est un matériau de base pour la construction, majoritairement utilisé dans le monde. Sa fabrication exige une grande rigueur dans le processus de production et doit satisfaire à des normes nationales et internationales strictes. Plusieurs études se sont intéressées à évaluer la production du ciment en qualité et en quantité ; comme celle qui traite l'addition de la pouzzolane en vue d'augmenter la durabilité des mortiers.

La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories volcaniques basaltique on de composition proche .nous avons trouvé que le pourcentage d'ajout pouzzolane atteignant même 20 % donne encore des résistances de 45,16 MPa à 28 jours qui sont bien supérieurs à celle fixées par la norme .

Cette opération permet, d'une part, augmenter la production du ciment et, d'autre part d'élaborer des mortiers et bétons et des résistances (comportement mécanique) .

L'expérimentation a porté sur le mortier témoin sans ajout donc (0% de pouzzolane) et autre mortiers avec différents pourcentages de pouzzolane 5%, 10%, 15%, 20%. Les résistances à la compression et à la flexion à 2, 7, 28 et 56 jours ont confirmé le rôle de la pouzzolane sur la résistance de ciment.

Sommaire

I.	Introduction	1
Partie théorique		
1	Chapitré 01: Présentation de l'entreprise E.C.....	2
1.1	Historique.....	2
1.2	Identification d'ECDE.....	3
1.3	Installation.....	3
1.4	Atelier de production.....	3
1.5	Production.....	4
1.6	Situation géographique de l'entreprise.....	4
1.7	L'organigramme.....	6
2	Chapitré 02: Généralité sur le ciment.....	8
2.1	Constituants de la base du ciment.....	8
2.1.1	Matière première.....	8
2.2	Matériaux de correction.....	8
2.3	Méthodes de fabrication du ciment.....	9
2.3.1	Principe de fabrication de ciment.....	9
2.3.2	Processus de fabrication de ciment.....	9
3	Chapitré 03: Méthodes d'analyse et contrôle de qualité.....	15
3.1	Méthodes physiques.....	15
3.1.1	Mesure de la densité de ciment « NA229 ».....	15
3.1.2	Essai de prise « NA230 ».....	15
3.1.3	Détermination du pourcentage des refus « NA 229 ».....	16
3.1.4	Essai d'expansion.....	17
3.1.5	Mesure de la surface spécifique par la méthode de Blaine.....	17
3.1.6	Essai mécanique (flexion – compression) « NA 234 ».....	18
3.2	Méthodes chimiques.....	19
3.2.1	Attaque par fusion alcaline « NA442 ».....	19
3.2.2	Attaque par acide « NA442 ».....	20
Partie pratique		
4	Chapitré 04: Matériels et Méthodes.....	24
4.1	Préparation des échantillons de ciment.....	24

Sommaire

4.2	Analyse chimique de la pouzzolane.....	24
4.3	Préparation de mortier.....	25
4.4	Analyse granulométrique par tamisage à sec du sable.....	26
5	Chapitre 05: Résultats et discussions.....	27
5.1	La résistance à la flexion et à la compression.....	27
5.2	Analyse granulométrique de sable.....	29
5.3	Analyse chimique des échantillons.....	31
	Conclusion.....	32
	Références.....	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1:caractéristiques de broyeur à ciment	13
Tableau 4.1: analyse chimique de la pouzzolane.....	25
Tableau 5.1:Resistance à la flexion en MPa.....	27
Tableau 5.2:Resistance à la compression en MPa	28
Tableau 5.3 :Résultats d'analyse granulométrique du sable normalisé.....	29
Tableau 5.4 :Résultats des analyse chimique des échantillons	31

LISTE DES FIGURES

Figure1.1: symbole de groupe GICA.....	3
Figure1.2 :Plan da la zone industrielle de Chelef.....	5
Figure 1.3 l’organigramme de l’entreprise.....	7
Figure2.1:gisemend’argile.....	10
Figure2.2:Gisemende calcaire.....	10
Figure2.3: concassage des matières première.....	10
Figure2.4 : transport par tapis.....	10
Figure2.5 :transport par dumper.....	10
Figure2.6 :la préhomogénéisation roue pelles.....	11
Figure2.7 :broyeur de cru.....	12
Figure2.8 :Silos homogénéisation.....	12
Figure2.9 :préchauffeur.....	13
Figure2.9: four rotatif	13
Figure2.11:Le clinker.....	13
Figure2.12 :stockage de clinker.....	13
Figure2.13 :Broyage de clinker.....	14
Figure2.13 :silos de stockage de ciment.....	14
Figure3.1 :présomètre automatique.....	16
Figure3.2 :un tamis.....	16
Figure3.3 :appariel de appline.....	16
Figure3.4 :Aiguille le chatelier.....	17
Figure3.5 :le preméablimetre de blaine.....	18
Figure3.6 :chambre humide.....	18
Figure3.7 :malaxeur automatique.....	18
Figure3.8 : appariel a choc.....	19
Figure3.9 :moule cubique et prismatique.....	19
Figure3.10 :appariel de flexion.....	19
Figure3.11 : appariel de compression.....	19
Figure4.1 :la pouzzolane.....	24
Figure5.1:Variation de la résistance de flexion en fonctiondu%de pouzzolane	27
Figure5.2: Variation de la résistancede compression en fonction du%de pouzzolane.....	28
Figure5.3: La courbe granulométrique de sable.....	30

Abréviation

- ECDE** : L'entreprise des ciments et dérivés de CHLEF.
- CPJ** : Ciment portland avec ajout.
- SNMC** : La société nationale des Matériaux de construction.
- SPG** : la société de gestion des participations.
- GICA** : Groupement industrie du ciment d'Algérie.
- ERCC** : L'entreprise Régionale de ciment du Centre.
- ERCO** : L'entreprise Régionale de ciment du L'ouest.
- ERCE** : L'entreprise Régionale de ciment du l'est.
- T** : Température.
- NA** : Normes Algériennes.
- SSB** : Surface Spécifique de Blaine.
- EDTA** : Ethylène diamine tétra acétique.
- PAF** : Perte de feu.
- E/C** : Le rapport (eau /ciment).
- PZ** : pouzzolane.
- MPa** : unité de résistance.
- CPA** : ciment portland sans ajouts.
- Mc** : Masse des refus cumulés.
- Ri** : pourcentages des refus cumulés.
- Ti** : pourcentages des tamisât cumulés.
- mi** : masse des refus cumulés (g).
- Di** : Ouverture des tamis (mm).
- C3S** : Silicate tricalcique dénommé (alite), Sa formule chimique est $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$.
- C2S** : Silicate bi-calcique ou (bélite), Sa formule chimique est $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$.
- NF**: Normes Françaises.

Introduction

Le ciment est un matériau de base, qui se trouve dans de nombreuses applications dans le domaine de génie civil. Son utilisation est généralisée dans le monde entier [1].

Le ciment est un liant hydraulique; une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction, au cours du processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base de béton [2].

Un ajout est tout ingrédient autre que l'eau ou le ciment qui est ajouté à ces deux composés pendant le malaxage pour améliorer leur caractéristique hydraulique et rhéologique (stabilité et fluidité), pour augmenter ou diminuer leur temps de prise ou pour assurer des critères de performance obtenus à long terme de la pâte de ciment (résistance, chaleur dégagée, etc.).

L'utilisation d'ajout dans le ciment remonte à l'ère des chinois et des romains les premiers ont utilisé les œufs comme ajouts lors de la construction de la muraille de chine et les seconds ont utilisé du sang ou du lait dans leur béton [3]. Pour ce faire, les pouzzolanes sont utilisées comme ajouts et le ciment produit doit répondre à des normes strictes [4].

Les pouzzolanes sont des matériaux possédant la propriété de réagir à température ordinaire avec la chaux hydratée pour former des composés à caractère hydraulique. Elles sont constituées principalement par de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer [5].

Par ailleurs, plusieurs chercheurs s'intéressent à l'étude de la participation des pouzzolanes à des résistances du béton [6].

L'objectif de notre travail est d'étudier l'effet de la composition en est pouzzolanes dans un mortier sur les résistances présentes par des méthodes de caractérisations physique; un essai mécanique de compression et de flexion a été effectués ainsi que l'essai chimique; une analyse pour savoir les compositions chimiques d'ajouts (pouzzolanes).

Le travail expérimental a été réalisé sur des éprouvettes de mortiers confectionnés $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$, ont été soumises aux essais des résistances à la compression et à la flexion aux âges 2, 7, 28 et 56 jours après leurs séjours de conservation dans l'eau de robinet.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

E.C.D.E

1.1 Histories

Les conséquences du programme de relance économique et des grands travaux initiés (Autoroute Est-Ouest, voie ferrée rapide, nouveaux ports, barrages, réalisation d'un million de logements avec structures d'accompagnement), font que les besoins en ciment augmentent de plus en plus en Algérie, et sa production s'est imposée comme industrie de base. Pour répondre à ces besoins l'Etat a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière de production du ciment. Cette industrie est aussi une activité d'intégration économique et de valorisation de la matière algérienne, en effet l'ensemble des matières essentielles (calcaire, argile, électricité et gaz) est extrait ou produit localement..

Compte tenu de l'importance des gisements de matière première localement disponibles, il a été lancé le programme de construction de la cimenterie de CHLEF. Sa réalisation a été confiée à la firme japonaise (KAWASAKI) en collaboration avec la société belge (ACEC). La mise en chantier a démarré en 1975, et l'entrée en phase de production, avec une seule ligne, a eu lieu en 1978 (d'une capacité de production de 1.000.000 de tonnes/an) c'est à cette date que la deuxième ligne de même capacité a démarré et ce n'est qu'en 1980 que cette dernière est entrée en phase de production.

En 2004 dans le cadre d'un programme de modernisation, la cimenterie de CHLEF s'est doté d'une salle de contrôle à la pointe de la technologie avec des scanners de surveillance, des analyseurs de gaz, elle a également modernisé le laboratoire en le dotant d'équipements nouveaux plus performants et pour chaque ligne de cuisson elle a procédé à la rénovation de la tour de préchauffe en changeant les cyclones existants par des cyclones de capacité plus importante ainsi qu'à l'installation d'un calcinateur.

Et en 2009, pour augmenter les capacités de broyage du ciment pour avoisiner jusqu'à 2.400.000 tonnes et faire enfin face aux fortes demandes de ciment, l'E.C.D.E a mis en exploitation un nouveau broyeur à ciment d'une capacité de broyage de 100 tonnes/heure. La cimenterie de CHLEF, de par sa gestion de la production est une référence pour les autres cimenteries installées sur le territoire national.

Dans le but de cerner les caractéristiques et les perspectives de l'industrie cimentière Algérienne nous avons mené une étude in situ sur la fabrication du ciment au niveau de l'entreprise des ciments et dérivés de CHLEF (E.C.D.E.). L'objectif est de suivre le processus de fabrication de la cimenterie de l'E.C.D.E et les autres processus utilisés dans

le monde. Cette comparaison portera essentiellement sur le procédé de fabrication du ciment, le respect de la qualité du produit, ainsi que les mesures prises dans le cadre du respect de l'environnement et étude de la résistance de la pouzzolane sur les mortiers [7].

1.2 Identification de l'E.C.D.E

C'est une mono unité dotée d'une capacité productive de 2.000.000 de tonnes par an. Son activité principale est la production et la commercialisation du ciment composé CPJ CEM II/A 42.5 [7].

1.3 Installation

L'entreprise des ciments et dérivés de CHLEF (E.C.D.E) est une entreprise publique créée par décret N°82/325 du 30/10/ 1982 à la suite de la restructuration de la Société Nationale des Matériaux de construction (S.N.M.C) .Elle est devenu une entreprise publique économique (E.P.E) par acte notarié du 09/10/1989, elle est la propriété exclusive de la société de gestion des participations « Groupement industrie du ciment d'Algérie »SGP GICA ,une société mère qui compte trois autres entreprises ; l'entreprise régionale de ciment du centre E.R.C.C , celle de l'ouest E.R.C.O et de l'est E.R.C.E .



Figure 1.1: symbole de groupe GICA.

1.4 Atelier de production

L'unité de production se compose de deux lignes de production d'une capacité nominale unitaire de 1.000.000 de tonnes de ciment par an et dont les principaux ateliers sont :

- Le parc de pré homogénéisation de 1.000.000 tonne.
- Deux ateliers de broyages du cru de 320t/h chacun.
- Deux ateliers de cuisson de 3600t/j de clinker chacun.
- Un stockage de clinker composé d'un hall couvert de 40.000t.
- Huit silos de clinker d'une capacité totale de 48.000 t.

Le broyage du ciment est réalisé par trois broyeurs de ciment à boulet d'une capacité globale de 350t /h et un broyeur BK 4d'une capacité de 100t/h. Enfin, un stockage du produit fini de 60 .000 tonne réparties en 10silos [7].

1.5 Production

Selon les prévisions de l'entreprise la cimenterie doit produire annuellement : clinker 2.104.589 tonnes et ciment 2.440.509 tonnes. D'après le rapport argile/calcaire correspondant à 13% (déterminé par le laboratoire) il faut 1,494 tonne de mélange pour fabriquer une tonne de clinker soit 1,32tonne de calcaire et 0,17 d'argile donc la carrière doit fournir annuellement environ 2.800.000 de tonnes de calcaire et 360.000 tonnes d'argile pour satisfaire les besoins en matière premiers pour la fabrication du ciment .

➤ **Gisement de matière première**

Pour sa production de matières premières l'usine de ciment exploite les gisements suivants :

- Le gisement de calcaire pur est situé à 3 km de l'usine, avec des réserves estimées à 173.000.000 tonnes correspondant à 70 ans d'exploitation à pleine capacité. Des possibilités d'extension son possible pour une autonomie pouvant dépasser 100ans.
- Le gisement d'argile situé à 6 km de l'usine, présente une capacité de 32.000 .000 tonnes pouvant assurer ainsi à l'entreprise une exploitation durant 90ans environ.
- Le gisement de sable situé à une dizaine de kilomètre de l'usine .Il offre une capacité de 500.000 tonnes soit une durée d'exploitation de 5ans. Toutefois l'entreprise a procédé à une acquisition d'une extension de carrière d'une superficie de plus de 7 hectares assurant une exploitation sur 8ans.
- Le gisement de gypse est situé à 35km de l'usine et offre des réserves estimées à 6.000.000 tonnes soit plus de 80 ans d'exploitation [7].

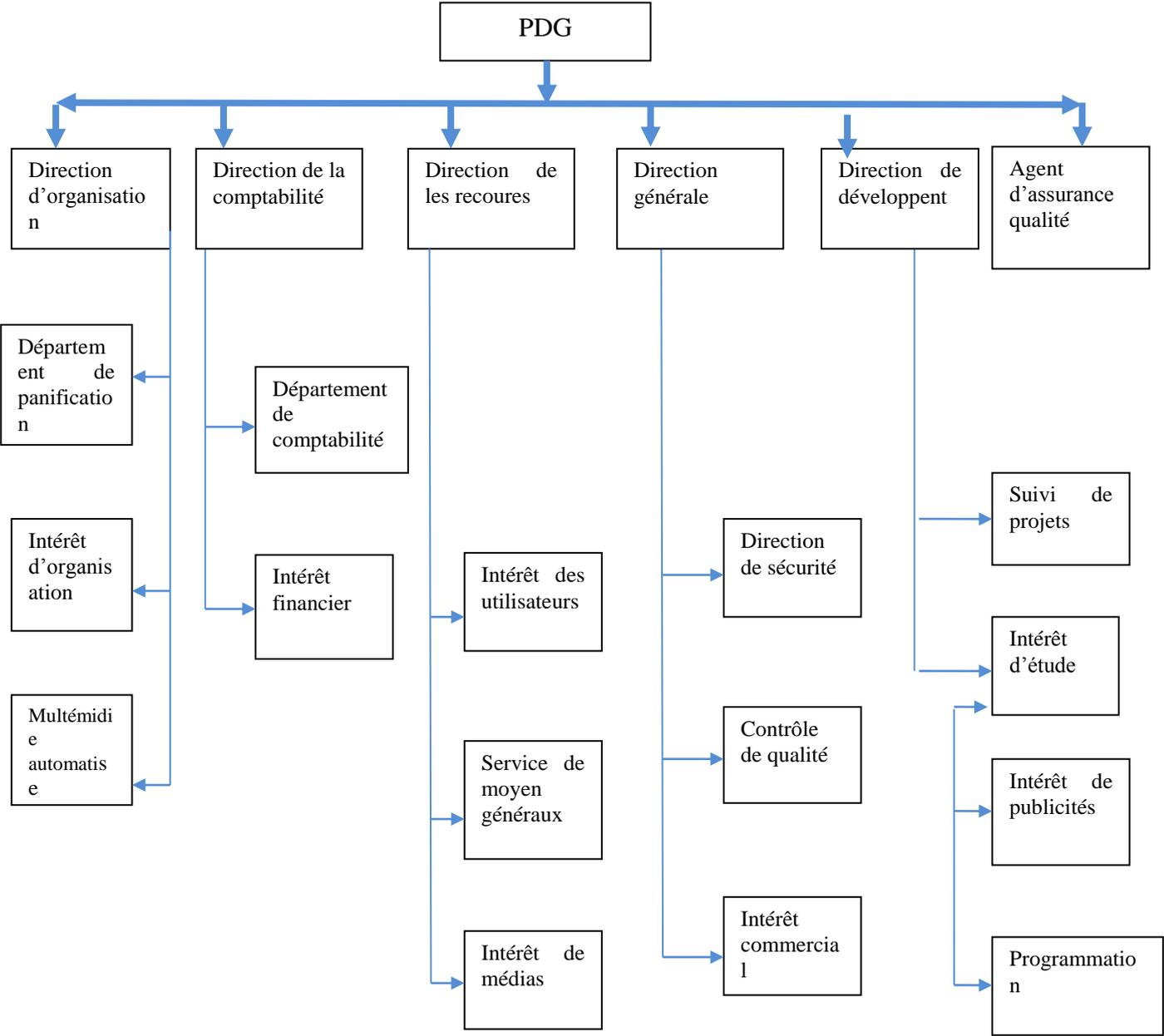
1.6 Situation géographique de l'entreprise

Implantée sur une superficie de 40 hectares, la cimenterie de L4ECDE est située dans la zone industrielle d'OUED – SLY à 8 km à l'ouest de la ville de CHLEF, à 40 km du port de Ténès, à 10 km de l'aéroport de CHLEF et elle est mitoyenne de la RN 4 et de l'autoroute Est- Ouest [7].



Figure 1.2: plan de la zone industrielle de CHLEF.

1.7 Organigramme de l'entreprise



Présentation de l'entreprise

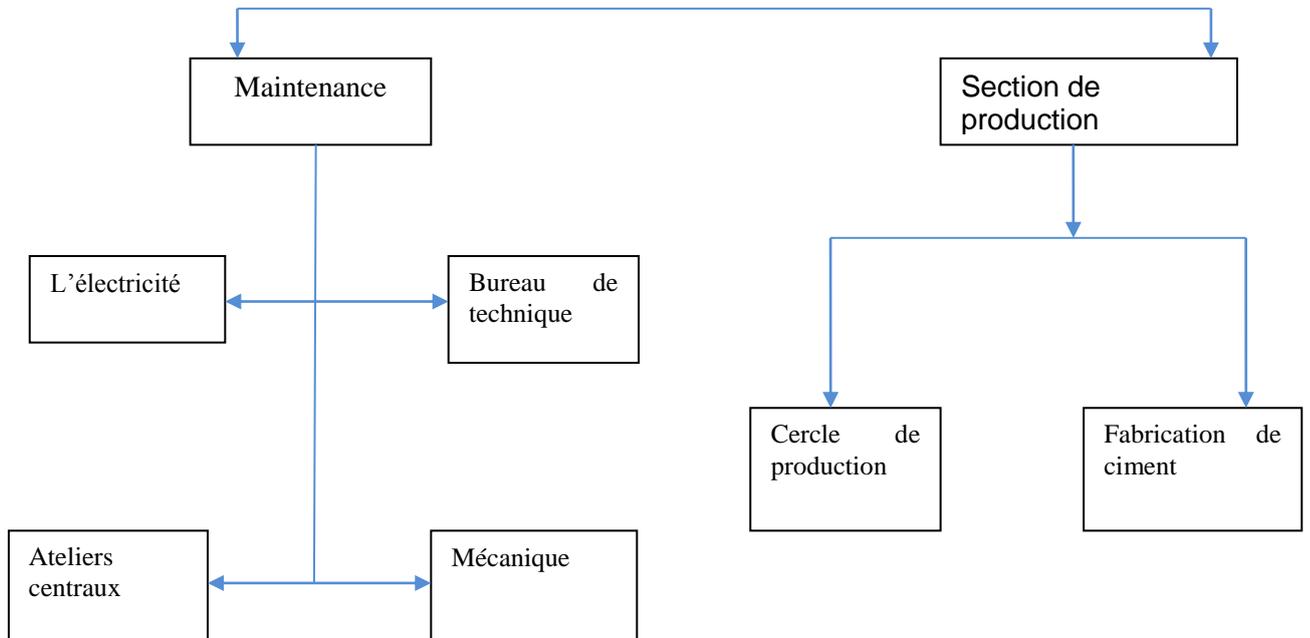


Figure 1.3 Organigramme de l'entreprise.

CHAPITRE 2

GENERALITES SUR LE CIMENT

2.1 Constituants de la base du ciment

2.1.1 Matière première

Les matières premières nécessaires à la fabrication du ciment sont le calcaire et l'argile à des proportions variées. Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière, la roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage

2.1.2 Calcaire

Le calcaire est généralement extrait de la carrière. Il peut rentrer dans des proportions allant jusqu'à 80% de la masse total du mélange [8].

2.1.3 L'argile

L'argile recouvre toutes les petites particules formées par les processus d'érosion ou d'altération des roches, c'est dire aussi bien du sable (SiO_2), des oxydes (comme l'oxyde ferrique Fe_2O_3 qui donne la couleur rouge à certains sols), des carbonates comme la calcite, que tout autre minérale. Les argiles sont de bons catalyseurs [9]. La composition de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultats de la combinaison de la chaux (CaO) avec de la silice (SiO_2), de l'alumine (Al_2O_3), et de l'oxyde de fer (Fe_2O_3). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires. L'alumine, la silice et l'oxyde de fer des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaires, d'argiles ou marnes et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autre oxyde [10].

2.2. Matériaux de correction

Des correcteurs, minerai de fer qui apporte Fe_2O_3 , bauxite pour Al_2O_3 , calcaire pour CaO , sable pour SiO_2 sont ajoutés pour atteindre la composition souhaitée du cru et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) qui est un retardateur de prise est broyé avec le clinker.

2.2.1 Minerai de fer

Les sources industrielles peuvent être les résidus de grillage de pyrite pour la fabrication de l'acide sulfurique, les poussières récupérés des hauts fourneaux ou des convertisseurs en métallurgie [11].

2.2.2 Calcaire sableux

Les calcaires sableux sont d'origine détritique. Leur composition est forte variable en fonction des roches dont elles sont issues. Ils contiennent beaucoup de silice [11].

2.2.3 Sable

Le sable est fait de grains minéraux tous petites (par plus de deux millimètres). c'est de la roche effritée par l'érosion [12].

2.2.4 Le gypse

Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate di hydraté de calcium de formule ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$). Le mot gypse désigne ainsi à la fois une espèce chimique et une roche. Le gypse est le minerai qui permet de fabriquer le plâtre [13,14].

2.3 Méthodes de fabrication du ciment

2.3.1 Principe de fabrication de ciment

La fabrication de ciment se réduit schématiquement aux trois opérations suivantes:

- Préparation de cru.
- Cuisson.
- Broyage et conditionnement [15].

2.3.2 Processus de fabrication de ciment

2.3.2.1 Carrière

Les matières premières qui apportent les oxydes nécessaires pour synthétiser le clinker sont extraites de carrière [16].

2.3.2.2 Extraction

Les matières premières sont extraites au niveau de carrière sous forme de bloc de dimensions très variées. L'extraction consiste à extraire le calcaire et l'argile à partir de carrière à ciel ouvert. Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à explosive ou à la pelle mécanique [11]. Les matières premières sont reprises par des dumpers vers un atelier de concassage [17].



Figure 2.1: gisement calcaire.



Figure 2.2: Gisement d'argile.

2.3.2.3 Concassage

Le concassage a pour un rôle de ramener les matières premières à des dimensions admissibles pour le broyeur [11].

Les matières premières sont fournies par les carrières gros morceaux avec leur humidité naturelle et doivent être séchées puis concassée à la granulométrie désirée (0-25mm). Le concasseur traité, 1200T/H d'un mélange cru qui contient environ 80% de calcaire et 20% d'argile dans la cimenterie [11].



Figure 2.3: concassage des matières premières.

Les matières concassées sont ensuite acheminées vers la cimenterie pour entamer la succession de phases qui le transfert en ciment. Ce transport se fait de diverses manières selon l'éloignement de la cimenterie [8].



Figure 2.4: transport par tapis.



Figure 2.5: Transport par dumper.

2.3.2.4 Pré homogénéisation

La matière première est étendue en couches horizontales successives, qui finissent par forme un tas, dont la composition global est celle désirée. Les couches sont ensuite reprises verticalement, Ce qui permet de prélever en permanence une matière de composition identique [8].



Figure 2.6: La préhomogénéisation roue pelles.

La matière crue est reprise dans un tas de pré homogénéisation par des roues palles [18]. Le pré homogénéisation de la matière se fait à l'aide d'un bras râteau, tournant autour d'un axe dans un hall [17].

2.3.2.5 Broyage de cru

La matière cru est séchée et broyée .des ajouts peuvent être nécessaire pour ajouter la composition du cru.

Le broyage séchage du cru est réalisé à un débit de 270T/H dans un broyeur à sortie central de diamètre 5 m et de longueur 13.9 m.

Le séchage est assuré par des gaz de four à 320°C jusqu' à 333°C en période normale pour une humidité environ de 5.5%. Pour une humidité supérieure à5.5% un rapport de foyer auxiliaire devient nécessaire.

Cette poudre obtenue à la sortie de broyeur est appelé farine .Cette farine est envoyer dans des silos de stockage appelée silos d'homogénéisation [11,16].

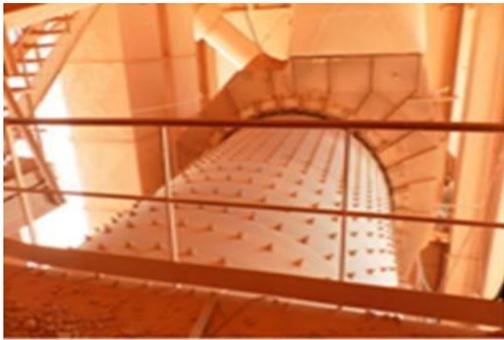


Figure 2.7: broyeur de cru.



Figure 2.8: silos d'homogénéisation.

2.3.2.6 Homogénéisation

La farine crue est homogénéisée dans des silos d'une capacité de 10000T. Pour augmenter l'efficacité de l'homogénéisation les silos sont alimentés et soutirés simultanément [11]. La méthode généralement utilisée pour l'homogénéisation est envoi de l'air en bas de silos permettant de fluidifier la farine [17].

2.3.2.7 Cuisson

La farine avant d'atteindre le four, passe dans une tour appelée préchauffeur. Tout au long de son parcours jusqu' au four, la farine passe de cyclones obligeant la matière à circuler dans le sens opposé aux gaz chauds issus de four permettant une bonne homogénéisation des constituants et surtout une décarbonatation.

Les différentes phases de la cuisson sont les suivants:

- Fabrication de l'eau à $T = 100^{\circ}\text{C}$
- départ de l'eau combinée des argiles à $T = 450^{\circ}\text{C}$
- Dissociation de CaCO_3 (décarbonatation complète) à pression atmosphérique à $T = 894^{\circ}\text{C}$



- Combinaison de la chaux obtenue (CaO) avec les éléments argileux qui se sont dissociés (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) $T = 1450^{\circ}\text{C}$ pour obtenir le clinker [19].



Figure 2.9: Préchauffeur.



Figure 2.10: four rotatif.

2.3.2.8 Refroidisseur

Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température du clinker tombant du four à une température d'environ 1450°C jusqu'à 80-100°C. Il est équipé d'une batterie de ventilateur fournissant l'air de refroidissement [20].

2.3.2.9 Stockage de clinker



Figure 2.11: Le clinker.



Figure 2.12: stockage du clinker.

Le clinker se présente sous forme de granules de la grosseur d'une noisette. Il est évacué par tapis vers les silos à clinker ou il sera stocké en attendant d'être broyé pour faire le ciment [8].

2.3.2.10 Broyage de clinker

Le clinker additionnée de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) comme retardateur de prise avec une proportion ne dépasse pas 5% Et éventuellement de produits secondaire le calcaire sont broyer dans des broyeur ciment pour obtenir le produit fini est le ciment [21].

Tableau 2.1: caractéristiques de broyeur à ciment.

Production nominal garantie CPJ 42 .5	90T/H
Diamètre intérieur	4000mm
Longueur utile 1 ère chambre	4250mm
Longueur utile 2 eme chambre	9750mm
1 ère chambre	67T
2 eme chambre	155 T
Puissance	3500

2.3.2.11 Stockage de ciment

Après le broyeur du clinker et d'ajout additif, le ciment est prêt à être vendu. Il est stocké dans d'immenses silos [17].



Figure 2.13: Broyage de clinker.



Figure 2.14: Silos de stockage de ciment.

CHAPITRE 3

METHODES D'ANALYSE ET CONTROLE DE QUALITE

3.1 Méthodes physiques

3.1.1 Mesure de densité de ciment « NA229 »

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

- Si la densité est supérieure à 1 donc, le sac doit contenir plus que le poids réel de 50kg.
- Si la densité est inférieure à 1 donc, le sac doit contenir moins de 50 kg [22].

3.1.1.1 Mode opératoire

On prend un pot métallique vide (P1). Avec un entonnoir, on remplit le pot avec un ciment non tassé, et on pèse (P2). La densité est donc

$$D = (P2) - (P1).....(3,1)$$

3.1.2 Essai de prise « NA230 »

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

3.1.2.1 Principe de l'essai

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

3.1.2.2 Principe de fonctionnement

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 CONTRABAL-PARIER permet d'effectuer cet essai de pénétration simultanément sur des moules indépendamment les uns des autres. Durant l'essai, le prisomètre est piloté automatiquement par un micro-ordinateur PC.

3.1.2.3 l'appareil

Grace au logiciel installé sur cet ordinateur «application prisomètre », l'opération peut rentrer les données, lancer un essai de début de prise ou fin de prise et suivre son déroulement à l'écran sur une courbe. Les résultats de pénétration (temps de début de prise, le 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) [22].



Figure 3.1: prisomètre automatique.

3.1.3 Détermination du pourcentage des refus « NA 229 »

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

3.1.3.1 Mode opératoire

On pèse 100 g de ciment. Ensuite, à l'aide d'un pinceau, on tamise sur un tamis 90 μ , les particules au-dessus du tamis représentant le pourcentage de refus. Au niveau de laboratoire de la cimenterie, on utilise l'appareil Appline qui nous donne le pourcentage de refus automatiquement [23].



Figure 3.2: Un tamis.



Figure 3.3: appareil Appline.

3.1.4 Essai d'expansion

3.1.4.1 Définition

Le moule d'expansion est de la forme cylindrique de 30mm de diamètre et 30mm de hauteur, constitués par une feuille de laiton (épaisseur 0.5mm), comportant deux aiguille longues de 15 cm (aiguille lechatelier) soudées de chaque côté de la fente.

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



Figure 3.4: Aiguille Lechatelier.

3.1.4.2 Mode opératoire

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

3.1.5 Mesure la surface spécifique par la méthode de Blaine

C'est la surface occupé par un gramme de ciment, elle permet la détermination de la finesse du ciment ou bien le degré de broyage [23].

3.1.4.3 Principe

La finesse du ciment est mesurée en observant le temps nis par un volume fixé d'air pour traverser un lit de ciment compact à une porosité spécifique de 0.5 [23].



Figure 3.5: le perméabilimetre de Blaine.

3.1.6 Essai mécanique (flexion – compression) « NA 234 »

3.1.5.1 Définition

Ils ont pour but de mesurer les résistances aux différentes contraintes au bout d'un certain temps. L'essai de flexion et de compression permettent de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la compression des liants hydrauliques [23].



Figure 3.6: chambre humide



Figure 3.7: malaxeur automatique



Figure 3.8: appareil à choc.



Figure 3.9: moule cubique et prismatique



Figure 3.10: appareil de flexion



Figure 3.11: appareil compression

3.2 Méthodes chimiques

Les méthodes classiques d'analyse chimique utilisées au niveau de la cimenterie de CHLEF selon la norme « NA 442 » sont de deux types:

- Attaque par alcalin.
- Attaque par acide.

3.2.1 Attaque par fusion alcaline « NA442 » [22].

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

- Mettre une mesure d'hydrogène carbonate de sodium, puis mélanger.
- Couvrir avec une deuxième mesure d'hydrogène.
- Couvrir avec creuset avec un couvercle en platine.
- 20 min au four à 1000°C.

Méthodes d'analyse et contrôle de qualité

- Préparer un bécher de 600ml et 20ml d'HCL pur.
- Laisser le creuset se refroidir un peu (ou peut le refroidir avec l'eau distillé), puis l'introduire dans le bécher.
- Attaque avec 20 ml d'HCl + de l'eau distillée.
- Une fois la matière enlevée du creuset, faire le sortir et le rincer.
- Mettre le bécher sur une plaque chauffante jusqu'à évaporation.
- Ajouter 10ml de HCl et 15 ml H₂O distillée, laisser s'évaporer à sec.
- Préparer une fiole de 500 ml.
- Filtrer, laver plusieurs fois le filtre.
- Compléter la fiole jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée pour le dosage de CaO, MgO, Fe₂O₃ et Al₂O₃ qui ils seront détaillés dans le cas de l'attaque perchlorique.
- Recueillir le filtre pour avoir la SiO₂ [24].

3.2.2 Attaque par acide « NA442 »

L'attaque par acide est utilisée pour la matière cuite; à savoir le clinker et le ciment dont le mode opératoire est la suivante:

- La méthode consiste à peser 2 g de matière cuite et la farine. Introduire dans un bécher sec de 500 ml. Ajouter ensuite quelque goutte d'eau distillée et 10 ml d'acide perchlorique. Avec une baguette remuer jusqu'à ce que le produit soit bien solubilisé dans l'acide. Mettre l'ensemble sur un bain de sable.
- Séchage: Le bécher est mis sur un bain jusqu'à séchage complet de la solution (plus de fumées blanches qui se dégagent).
- Dissolution par acide chlorhydrique: Après le séchage complet on ajoute environ 150ml d'eau distillé et 10 ml d'acide chlorhydrique pur dans le bécher et en le met sur une plaque chauffante.
- Filtration: La solution chaude est filtré dans une fiole de 500 ml et ajustée jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée.
- Recueillir le filtre: pour avoir la silice [23].

3.2.3 Dosage pour la détermination des oxydes « NA442 »

3.2.3.1 Détermination de l'oxyde de calcium (CaO)

On Prendre 50 ml de la solution filtré dans la fiole, puis, on ajoute à 200 ml avec l'eau distillée. On Ajoute 40 ml de NaOH à 2 N pour maintenir un PH entre 12 et 13. On Verse ensuite 15 ml de triéthanolamine pour masquer le Fe₂O₃ et Al₂O₃ puis on ajoute une pincée de calcéine comme indicateur colorée qui donne une couleur verte. On Titre avec E.D.T.A jusqu'au virage (V ml). Le pourcentage du CaO est déterminé selon la formule

suivante:

$$\%CaO = [(V(ml)EDTA)] \times [(coef\ de\ CaO)] \dots\dots\dots(3,2)$$

3.2.3.2 Détermination de l'oxyde de magnésium (MgO)

On prend 50 ml de la même solution, on lui ajoute 20ml de tri-éthanol-amine et quelques gouttes d'indicateur de MgO qui donne une couleur violette. On verse ensuite 10ml de NH₄OH pour avoir un pH de et on titre avec l'E.D.T.A soit V_{MgO} de volume d'E.D.T.A versé. Le pourcentage d'oxyde de magnésium est déterminé selon la formule suivante:

$$\% MgO = [(V_{Mgo} - V_{CaO})] \times [(coef\ de\ MgO)] \dots\dots\dots(3,3)$$

3.2.3.3 Détermination de l'oxyde de fer (Fe₂O₃)

On prend toujours 50 ml de la solution et on ajoute 3 gouttes de bromophénol. Ensuite, on verse du NH₄OH jusqu'à l'apparition d'une teinte bleu fugitive (le dépassement de la teinte bleu provoque la précipitation d'Al₂O₃).

On ajoute 20 ml d'HCl à N/10 pour obtenir un pH de 1,5 (pour que le Fe₂O₃ soit le seul à être complexé), on ajoute 15 ml de solution à pH 1,5. On Ajouter 15 à 20 gouttes d'acide salicylique qui donne une coloration violette.

On Chauffer ensuite de 40 à 50°C pour préciser le dosage de Fe₂O₃ .On titre avec l'E.D.T.A jusqu'à décoloration de la teinte violette. Le pourcentage d'oxyde de fer est déterminé selon la formule suivante:

$$\% Fe_2O_3 = V(ml)EDTA \times (Coef\ de\ Fe_2O_3) \dots\dots\dots(3,4)$$

3.2.3.4 Détermination de l'oxyde d'alumine (Al₂O₃)

On prend 50 ml de solution ayant servie pour le dosage du fer, on ajoute l'acétate d'ammonium jusqu'au virage bleu à pH 3.6. Ensuite, on ajoute 5 ml d'acide acétique dont le pH se trouve fixe à 3,6.

On ajoute 10 gouttes de comlexonate de cuivre pour complexer l'alumine Al₂O₃, puis ajouter 10 gouttes de peroxyde azotique naphthol (PAN) qui donne la couleur rose violacée.

On Laisse sur la plaque chauffante jusqu'à l'ébullition pour accélérer la vitesse de complexation de l'alumine.

On titre ensuite avec L'E.D.T.A jusqu'au virage jaune persistant la couleur violette réapparaît tant qu'il reste de l'alumine non complexée.

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

$$\% Al_2O_3 = V(ml)EDTA \times (Coef\ de\ Al_2O_3) \dots\dots\dots(3,5)$$

3.2.3.5 Détermination de la silice (SiO₂)

On pèse un creuset en platine propre et sec (P₁). Ensuite, on met le papier filtre et son contenu dans le creuset et puis on laisse dans le four à température d'environ T= 1000°C pendant 1 heure.

Homogénéiser le creuset et faire refroidie et on prend sa pesée (P₂). Le pourcentage de la silice est déterminé Solon la formule suivante :

$$\%SiO_2 = [P_2 - P_1] \times [100] \dots\dots\dots(3,6)$$

3.2.3.6 Détermination de la perte du feu

On pèse 2g matière sèche dans un creuset en platine propre et sec; soit P₁ sa masse. Puis l'introduire dans un four à moufle pour la calcination à température d'environ T=1000° C pendant une heure. Puis le retirer et laisse refroidir et le peser, soit P₂ elle est déterminer selon la formule suivante:

$$PAF = [P_2 - P_1] \times [100/2] \dots\dots\dots(3,7)$$

3.2.3.7 Détermination de la chaux libre(CaO_L)

On pèse 1g de matière (clinker on ciment), puis mettre dans un erlen propre et bien séché. Ajoute 50 ml d'éthylènes glycol et on chauffe notre solution à 90°C, puis on filtre (filtre moyen).

On ajoute à la solution filtré quelque gouttes de bleu de méthylène ; qui donne la couleur bleu et on titre avec HCl jusqu'à l'aparaition de la couleur jaune. Le pourcentage de la chaux libre est déterminé selon la formule suivante:

$$\%CaOL = [(titre)] \times [(V)] \dots\dots\dots(3,8)$$

3.2.3.8 Determination du pourcentage de SO₃

➤ On pèse 1g de matière (clinker ou ciment). Ensuite, on ajoute 20 ml d'eau distillée et 15ml de HCL N/2. On la porte à l'ébullition. Puis, on filtre cette solution dans un bécher (filtre rapide).

➤ On ajoute 15mL BaCl₂ (100g/L); pour former un précipité de SO₃.

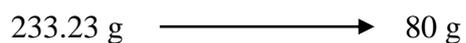
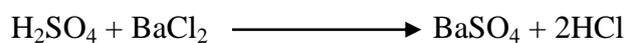
Méthodes d'analyse et contrôle de qualité

- Ensuite, on chauffe la solution et puis on le filtre (filtre lent).on pèse un creuset en platine propre et sec (P1).
- Mettre le filtre et son contenu dans le creuset. Ensuite, on le calcine au four à

T=1000°C pendant 30 minutes puis retirer le creuset et refroidir. On pèse (P2).
Le pourcentage du SO₃ est donné par la formule suivante:

$$\%SiO_3 = [P_2 - P_1] \times [34,3] \dots\dots\dots(3,9)$$

Vérification de la formule:



CHAPITRE 4 MATERIEL ET METHODES

4.1 Préparation des échantillons de ciment

On prépare notre échantillon à partir d'un type de ciment sans ajouts de la cimenterie de CHLEF composition clinker : 95 à 100% gypses 0 à 5% et ajouts 0% de pouzzolane qui utilise comme un échantillon témoin, puis selon un calcul bien déterminé, on prépare les ciments de différents pourcentages (5, 10, 15, 20%) en pouzzolane utilisée comme ajout.

Exemple:

$$\begin{array}{rcl}
 1000\text{g} & \longrightarrow & 100\% \\
 x & \longrightarrow & 5\% \text{ Pz} \\
 \\
 x = (1000 \times 5) / 100 & \longrightarrow & x = 50 \text{ g}
 \end{array}$$

Donc, pour préparer 1000 g de ciment à 5 % de pouzzolane nous devons prélever 950 g de CPA et mélanger avec 50g de pouzzolane puis à l'aide de un broyeur, on mélange l'ensemble pour avoir un échantillon représentatif.

4.2 Analyse chimique de la pouzzolane

La pouzzolane qu'on a utilisée comme ajout avec notre ciment est représentée sur la figure suivante.



Figure 4.1: pouzzolane.

Les analyses chimiques sont réalisées dans le laboratoire, en utilisant la méthode d'attaque par fusion alcalin « NA 442 » et les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 4.1: Analyse chimique de la pouzzolane

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	PAF
42,70%	15,48%	9,12%	14,67%	3,99%	0,80%	4,55%	0,70%	9,85%

4.3 Préparation de mortier

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme EN 196-1.

Le sable utilisé est un sable appelé "sable normalisé EN 196-1", lui-même étant défini par rapport à un "sable de référence CEN". Ce sable est commercialisé en sac plastique de 1350 g (± 5 g).

La composition du mortier à tester est la suivante :

- Sable normalisé = 1350 g (± 5 g).
- ciment = 450 g.
- eau de gâchage = 225 ml (le rapport de E/C est donc 0,50).

Avant d'être utilisé pour les différents essais de maniabilité, de prise, de résistance ou de retrait, on mélange la composition d'un mortier pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme EN 196-1 qui est la suivante :

L'eau est introduite en premier dans la cuve du malaxeur ; le ciment est versé par la suite et le malaxeur est mis en marche à vitesse lente.

Après 30 s de malaxage, le sable est introduit de façon régulière pendant 30 s. Le malaxage se poursuit à la vitesse rapide pendant 30s supplémentaires.

Le malaxeur est arrêté pendant 1 min 30s. Pendant les 15 premières secondes le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient est enlevé au moyen d'une raclette en caoutchouc, en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

Le malaxage est repris de nouveau à grande vitesse pendant 60 s

4.3.1 Equipement nécessaire:

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1 et énuméré ci-dessous :

- Une salle maintenue à une température de 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %.
- Une chambre ou une armoire humide maintenue à une température de 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) et à une humidité relative supérieure à 90 %.

- Un malaxeur normalisé.
- Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm, ces éprouvettes sont appelées “éprouvettes 4×4×16”.
- Un appareil à chocs permettant d’appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d’une hauteur de 15mm ($\pm 0,3$ mm) à la fréquence d’une chute par seconde pendant 60 s (v).
- Une machine d’essais de résistance à la flexion : la machine doit comporter deux rouleaux d’appui en acier de 10.0 mm \pm 0.5mm de diamètre, distant l’un de l’autre de 100.0 mm \pm 0.5 mm et un troisième rouleau, de chargement en acier, de même diamètre, équidistant des deux premiers. La longueur «a» de ces rouleaux doit être comprise entre 45 et 50 mm. La disposition des charges est montrée sur l’appareil de flexion.
- Une machine d’essais de résistance à la compression permettant d’appliquer des charges jusqu’à 150 KN (ou plus si les essais l’exigent) avec une vitesse de mise en charge de 2400 N/s (± 200 N/s). Cette machine est équipée d’un dispositif de compression tel que celui schématisé sur l’appareil de compression.

4.4 Analyse granulométrique par tamisage à sec du sable

Les mortiers sont composés de ciment (450 g), de sable normalisé (1350 g), et de l’eau (225 g) les éprouvettes de ces mortiers (4×4×16) cm³ sont immergées dans l’eau de robinet la durée de conservation dans ce l’eau est fixée 2, 7,28 et 56 jours.

Au terme de chaque séjour des essais à la flexion et à la compression ont été effectués au préalable, nous avons effectué l’analyse granulométrique sur le sable utilisée pour la préparation de ces mortiers.

CHAPITRE 5 RESULTATS ET DISCUSSION

5.1 La résistance à la flexion et à la compression:

Les résultats obtenus pour la résistance à flexion sont regroupés dans le tableau 5.1

Tableau 5.1: résistance à la flexion en MPa

	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
2 Jours	4,71	4,28	4,18	4,11	3,98
7 Jours	6,95	6,56	6,50	6,42	5,99
28 Jours	8,24	7,95	7,47	7,30	7,04
56 Jours	9,00	8,13	7,91	7,79	7,64

J'ai fait le tracé de la résistance à flexion en fonction du % de pouzzolane, j'ai obtenu la figure 5.1 suivante.

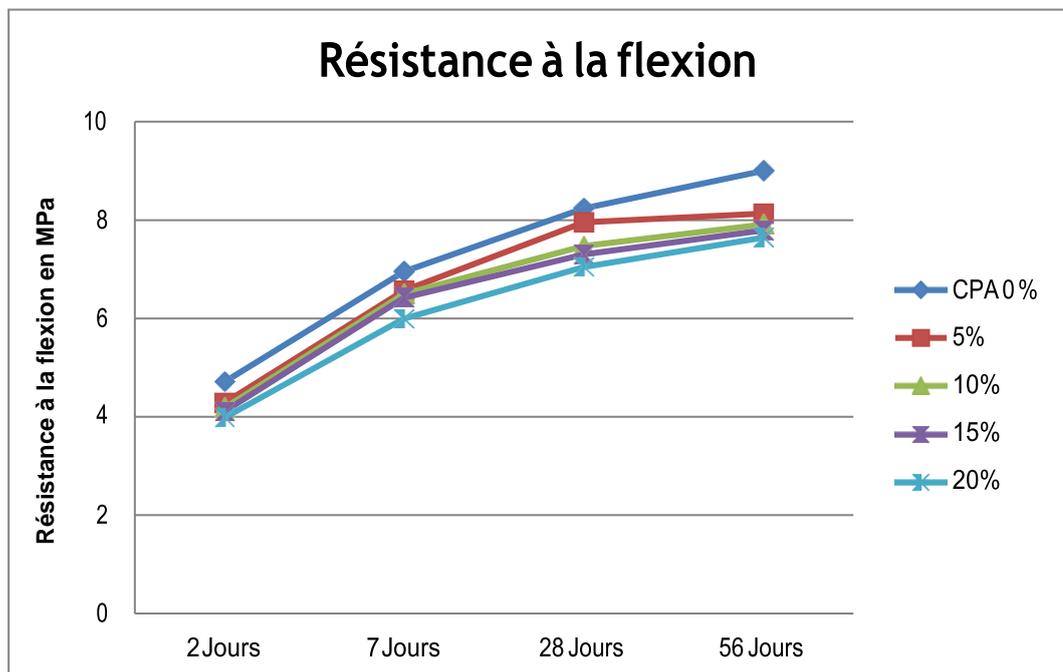


Figure 5.1: Variation de la résistance à la flexion
En fonction du % de pouzzolane.

Pour les résultats de la résistance à la compression sont dans le tableau suivant :

Tableau 5.2: résistance à la compression

	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
2 Jours	24,37	21,87	19,37	16,87	16,25
7 Jours	40,62	40,0	34,37	33,95	30,0
28 Jours	52,86	50,61	46,61	46,71	45,16
56 Jours	56,87	56,25	52,5	48,43	47,05

La courbe qui représente la variation de la résistance à la compression en fonction du % en pouzzolane est présentée sur la figure 5.2

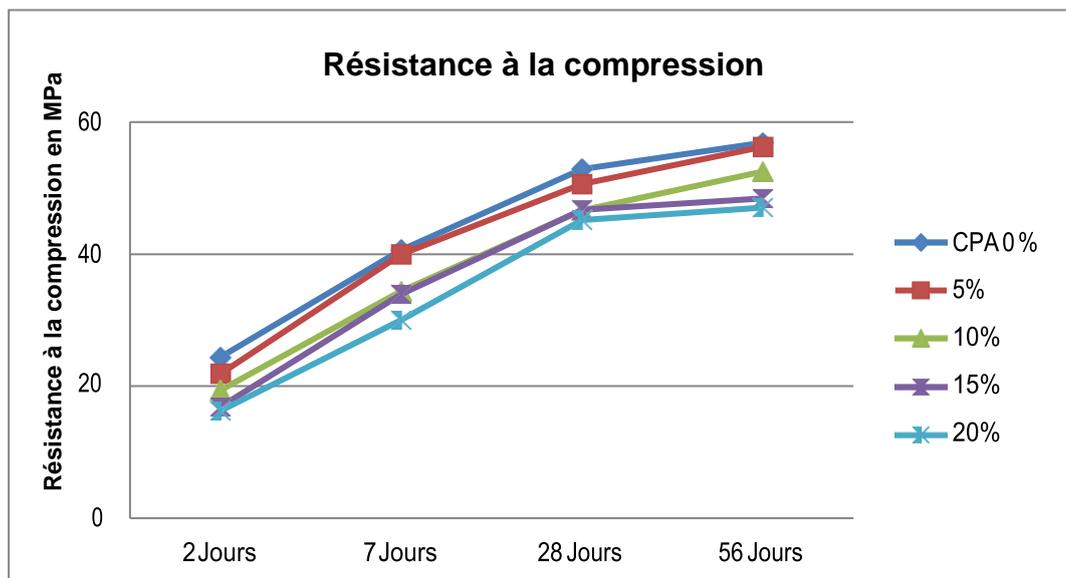


Figure 5.2: Variation de la résistance à la compression
En fonction du % de pouzzolane

L'examen de ces courbes montrent que, les résistances mécaniques augmentent avec l'âge; ce qui est confirmé par l'étude de BOUALLA Nabila en 2012 (l'influence de l'ajout pouzzolanique sur les caractéristiques physico-chimique des ciments au jeune âge) [25].

Les résistances mécaniques à la (compression et flexion) augmentent en fonction de l'âge de durcissement. Cela peut être dû à la variation de la cinétique d'hydratation du minérale C_3S (silicate tricalcique) et C_2S (silicate bicalcique), car ces derniers sont les deux

principaux minéraux qui assurent le développement des résistances mécaniques à court et

moyen terme [25].

5.2 Analyse granulométrique du sable

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable obtenus sont présentés dans le tableau 5.3 suivant :

Tableau 5.3: Résultats d'analyse granulométrique du sable normalisé

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus (g)	Masse des refus cumulés Mc	Pourcentage des refus cumulés	Pourcentage des tamisages cumulés
3,15	0	0	0	100
2,5	0	0	0	100
2	0,40	0,4	0,029	99,97
1,6	69,2	69,6	5,15	94,85
1,25	208,2	277,8	20,57	79,43
1	174,4	452,2	33,49	66,51
0,8	111,2	563,4	41,73	58,27
0,63	179,6	743	55,03	44,97
0,50	163	906	67,11	32,89
0,135	105	1011	74,88	25,12
0,25	40,6	1051,6	77,89	22,11
0,2	93,2	1144,8	84,8	15,2
0,16	31	1175,8	87,09	12,91
0,125	141,6	1317,4	97,58	2,42
0,1	21	1338,4	99,14	0,86
0,08	8,8	1347,2	99,79	0,21
0,063	0,6	1347,8	99,83	0,17

La courbe de l'analyse granulométrique obtenue est présentée dans la figure 5.3:

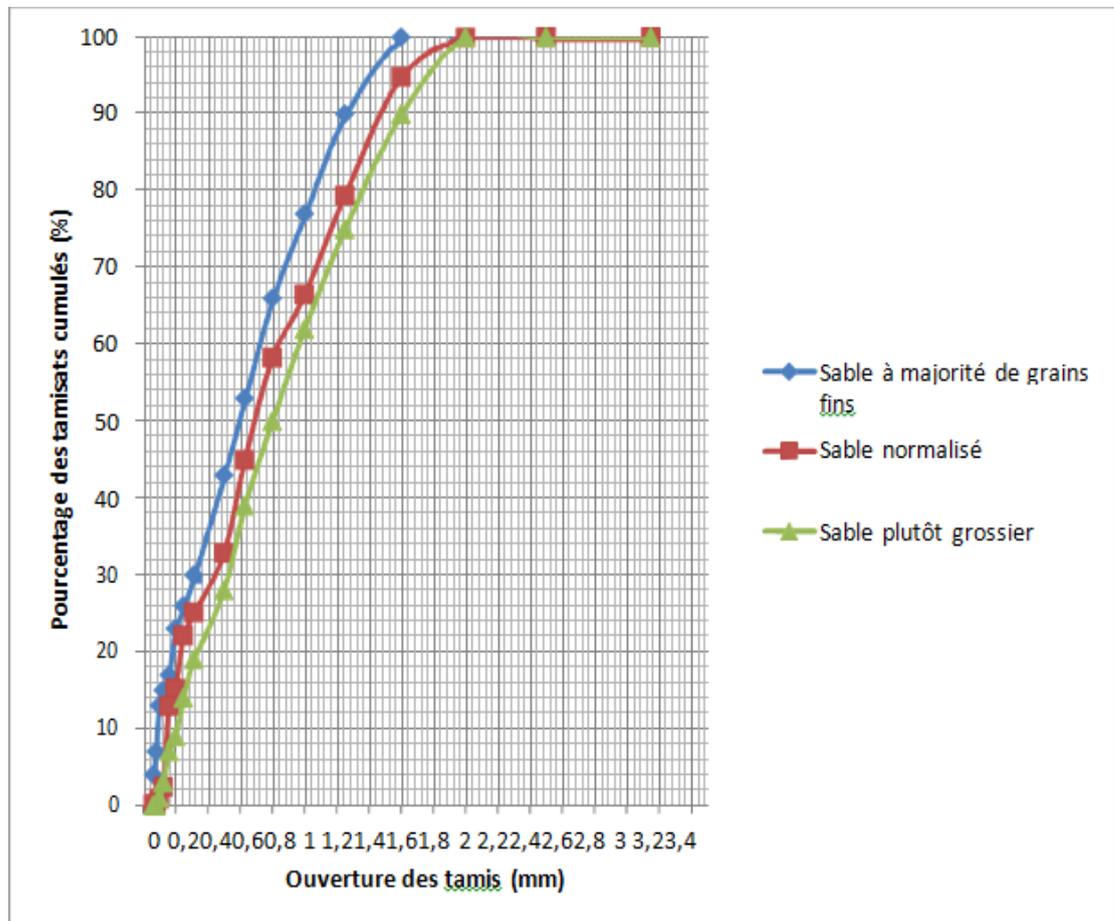


Figure 5.3: La courbe granulométrique de sable

La courbe granulométrique montre que le sable utilisé se trouve dans le fuseau et donc la composition granulométrique déterminée par tamisage est conforme aux exigences de la norme NF EN 196-1 ISO: 2009 [25].

5.3 Analyse chimique des échantillons

Tableau 5.4: Résultats des analyses chimiques

	CPA 0%	5%	10%	15%	20%
SiO ₂	19,75	4,76	26,11	28,01	40,50
Al ₂ O ₃	6,03	2,90	5,98	5,98	6,05
Fe ₂ O ₃	2,00	89,88	3,15	2,97	2,70
CaO	64,10	0,91	57,31	57,08	51,98
MgO	0,75	0,20	0,85	0,98	1,00
K ₂ O	0,30	0,43	0,76	0,70	0,30
Na ₂ O	0,33	2,65	0,22	0,35	0,90
SO ₃	2,40	2,23	2,75	3,85	1,98
PAF	2,66	2,65	3,12	2,90	4,09
CaOL	0,88	0,80	0,95	1,70	1,15

Dans cette étude, nous avons fait varier le pourcentage de l'ajout pouzzolanique (0%, 5%, 10%, 15% et 20%) dans le ciment par la méthode de substitution (remplacement partiel du clinker par la pouzzolane) afin d'étudier son effet sur les propriétés physico-chimiques du ciment confectionné avec l'addition minérale et le comportement mécanique du mortier.

L'incorporation des additions pouzzolaniques augmente le pourcentage des oxydes (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O et Na₂O) et diminue le taux d'oxyde de chaux (CaO).

La composition chimique est un facteur déterminant de la résistance des ciments aux agents agressifs. On voit que le pourcentage en teneur d'anhydride sulfurique (SO₃) est inférieur à 4%. Ceci est conforme à la norme NF EN 197-1 [25].

Conclusion

Il en ressort de cette étude que les ajouts cimentaires tels que pouzzolane font actuellement partie des développements les plus récents dans la production du ciment, car leur utilisation apporte une amélioration aux propriétés mécaniques et chimiques des mortiers et bétons, d'une part, et, d'autre part, elle réduit la consommation du clinker en contribuant de manière simple et économique à la réduction de la consommation énergétique d'où un bas prix de revient de la tonne de ciment.

Sur le plan écologique et environnemental, leur utilisation a aussi des bénéfices, se traduisant par la diminution des émissions des gaz, à effet de serre tel que le gaz carbonique CO₂ et la valorisation des ressources naturelles.

En plus de ce qui a été signalé précédemment, nous avons constaté que :

- Un mortier confectionné à partir d'un ciment composé de 20 % en pouzzolane peut atteindre des résistances à la compression satisfaisant les normes ; on a trouvé une résistance de 45,16 MPa qui est bien supérieure à celle (42,5 MPa) de la norme.
- L'activité pouzzolanique (en présence d'eau, à température ambiante, la pouzzolane se comporte comme un liant hydraulique) et l'augmentation de la surface spécifique Blaine sont les facteurs principaux de la durabilité des mortiers et bétons.

Références

- [1] David Planel « Les effets couplés de la précipitations d'espèces secondaires sur le comportement mécanique et la dégradation chimique des bétons », Thèse de doctorat soutenue le 4 juin 2002, Université de marne la Vallée.
- [2] Boucif Belhachemi, Nasr Eddine Hassaine « Etude d'un milieu agressif acide sur un mortier à base de ciment composé », Communication Science et Technologie (COST) N°10 janvier 2012, P37.
- [3] PAILLÈRE, A.M. (1982) Les adjuvants. Chapitre 4 de l'ouvrage « Le béton hydraulique » (Baron, Sauterey) presse de l'ENPPC P 99.
- [4] Application type « Fabrication de ciment » Une qualité optimal de la production et la conformité aux normes avec COOX : Collaboration opération et exécution D'ORDINAL software.
- [5] Jacques Franchbourg « Conurbation à l'étude de quelques pouzzolanes naturelles et artificielles en vue de la fabrication des ciments de pouzzolanes » ; Thèse de doctorat en Science et Technique, Université de Lansame, 6 Octobre 1965.
- [6] Waller Vincent, Delarrard Francois , Ecole nationale des pants et chaussées, Paris, France (Université de soutenance), 1999.
- [7] Zauoi Khadidja ; « Etude du mode de fabrication du ciment et effet des matiere premier impact de utilisation du ciment sur l'environnement ».
- [8] Chaistophe Charron « L'industrie du ciment ; Donnés générale ; Ecole thématique « matériaux cimentaire », 21 au 24 septembre 2008, Holcin p 17-69.
- [9] claudine Noguera « Les argiles », CNRS-UPMC Institut des Nanosciences de Paris, UMR 7588, 140 rue de lourmel, 75015 paris, France, des nonomatatériaux modernes, au passé millénaire, N°2, 2010, P98. Claudine.noguera@insp.jussier.fr.
- [10] Cours en ligne, www.la.refer.org/ matériaux/ chapitre deux.
- [11] Mohamed Amine Benhadda « La durabilité du mortier à base de ciment de béni saf vis-à-vis de milieux basique NaOH et NH₄OH », Diplôme ingénieur d'état en chimie industrielle, Génie des procédé, Université Abou-Baki Belkaid, 2004, 2012, p2.13.
- [12] Pablo Picasso.Dossierrs rallye, N°5, France, 11 novembre 2004.
- [13] Le centre d'information sur l'eau, Paris France, <http://www.cieau.com/tout-pib/sommaire/texte/4/contenu/423.htm>,2009.

- [14] J,Beau Champ ; Mécanique des roches et des sols ; Cours en ligne, Université de picardie jules verne ; http://www.4.picardie.fr/~beau_cham/eadaa/mecasol.htm ; Septembre 2003.
- [15] Documentation de la cimenterie de Hamma Bouziane ; Le ciment portland.
- [16] Elodie Rommilliat « Etude de mode d'action d'agents de monture sur le broyage du clinker », Génie des procédés, Ecole national supérieure des Mines de Saint- Etienne, Université jean Monnet de saint- Etienne. N d'ordre : 396 Gp, France, 20 janvier 2006, p-3.
- [17] Youcef Slimani « La durabilité d'un mortier a base de ciment de béni saf en solution basiques, acide et neutre », Diplôme d'ingénieur d'état en chimie et génie des procédés, département de chimie, Université Abou Baker Belkaid. 13/04/2010, p 39-31-40.
- [18] Alexandre pisch, Lafarge centre de recherche (LCR), Cours matériaux cimentaire, Italie, 2009.
- [19] Holcin, Guide pratique ; « Cocervoin et metrrre en ouvre des bétons durables » ; Une publication ou de Holcin Belgique, S.A.
- [20] B. Bounabe Ayache ; Université de paul cézanne Aix Marseille 3 ; <http://www.bh-automation.fr/download/automaticiens/automatisation-stackeur-four-imenterie-DG.pdf,2006.2007>.
- [21] Cyril Cuérandel « Etude de la qualité du piégeage des matières organiques par la matrice cimentaire vis-à-vis de la lixiviation » Chimie analytique : Université paul verlaine- METZ, 23 novembre 2009.
- [22] B. Kedir « Recueil de la cimenterie de Beni Saf » ; 13/03/2003 ; Cimenterie de Beni Saf.
- [23] S.CI.BS. Système management qualité, Analyse chimique et physique p19.
- [24] R.Dupain, R.Lanchon ,J.C.Saint .Arroman , « Granulats ,Sols ,Ciment et Bétons » ,Caractéristique des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire édition pais Casteille ,2000.
- [25] Boualla Nabila, Kerrouzi ismail et Soufari abdelwahed ; « Etude l'influence de l'ajout pouzzolane sur les caractéristique physique-chimique des ciments au jeune âge », Science lib Ediction Mersenne : Volume 4° N 121003 ISSN 2111- 4706 ; 18.10.2012.

