

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et technologies
Département des chimies industrielles



MÉMOIRE DE MASTER

Département : Chimie Industrielles
Filière : Génie des procédés
Spécialités : Génie chimique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
MERZOUGUI ISHAK

Le :mercredi 30 septembre 2020

Thème :

**Improve clinker reactivity - impact on
cement performance**

Jury:

M.	Djemoui LAIADI	MCB	Université de Biskra	Président
M.	Abdelkrim MERZOUGUI	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
M.	Elhachemi GHETTAF TEMAM	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire: 2019- 2020

Remerciements

*J'adresse en premier lieu ma reconnaissance à notre **DIEU** tout puissant, de m'avoir permis d'en arriver là, car sans lui rien n'est possible.*

➤ *Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur **MERZOUGUI ABDELKARIM** professeur au département de chimie industrielle faculté des sciences et de technologies université de Biskra.*

Je le remercie vivement pour l'aide scientifique précieuse et tous les conseils qu'il a pu me fournir pendant la durée de ce mémoire. Son enthousiasme, son dynamisme, sa générosité et sa grande patience m'ont chaque fois permis de rebondir dans les moments difficiles.

➤ *Je tiens à remercier tous les professeurs, qui depuis mon des études au Département de la chimie industrielle.*

➤ *Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au niveau de laboratoire de la cimenterie de CILAS.*

*C'est avec un grand et profond respect que je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé et qui ont collaboré à la réalisation de ce mémoire de Master et plus particulièrement L'ingénieur **MOHAMMED CHELWAY** qui a apporté son soutien, son aide et ses conseils au cours de ce travail et aussi pour les compléments de réflexion qu'il a proposé à la lecture de cet écrit.*

*Nous exprimons nos profonds remerciements à **Mr AZZAZ YACINE**, responsable de laboratoire Contrôle et Qualité d'usine CILAS.*

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

➤ *ma très chère mère :*

Affable, honorable. Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi, J'aime beaucoup

➤ *mon très cher Père :*

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

➤ *A mes sœurs **ABIR** et **HADILE** et **ARIDJ**, qui donne l'aide et le courage à moi. J'espère te voir réussir dans ta vie.*

➤ *A mes amis par leur nom : **DJILANI**, **AMARA**, **NADJIB**, **AKRAM** et **YOUNES**.*

Sommaire

RESUME.....	13
INTRODUCTION GENERALE.....	15
CHAPITRE I : Etude bibliographique	17
1. Description de la cimenterie CILAS	17
1.1. Présentation générale de l'Entreprise CILAS	17
1.2. A propos d'usine CILAS	17
1.3. La fiche technique de l'Entreprise	18
1.4. L'équipement d'usine CILAS	18
2. Constituants de base du ciment.....	19
2.1. Définition du ciment	19
2.2. Matières premières.....	19
2.2.1. Calcaire.....	19
2.2.1.1. Calcaire dur.....	19
2.2.1.2. Calcaire mou (craie).....	20
2.2.2. Argile.....	20
2.3. Matériaux de correction.....	20
2.3.1. Minerai de fer	20
2.3.2. Bauxite.....	20
2.3.3. Le calcaire sableux	20
2.3.4. Sable.....	21
2.3.5. Le gypse.....	21
2.4. Les matières secondaires : Ajouts.....	21
2.4.1. Pouzzolane.....	21
2.4.2. Le laitier.....	21
2.4.3. Les cendres volantes.....	22
2.4.4. Les schistes calcinés.....	22

2.4.5. Fumées de silice.....	22
2.4.6. Fillers.....	22
2.5. Produit semi-fini.....	22
2.5.1. Composition chimique	22
2.5.2. Composition minéralogiques	23
3. Méthodes de fabrication du ciment.....	23
3.1. Principe de fabrication.....	23
3.2. Fabrication du ciment par voie humide.....	24
3.3. Fabrication du ciment par voie semi-humide.....	25
3.4. Fabrication du ciment par voie semi-sèche.....	25
3.5. Fabrication du ciment par voie sèche.....	25
3.5.1. Carrière.....	26
3.5.2. Extraction.....	27
3.5.3. Concassage.....	27
3.5.4. Pré-homogénéisation.....	28
3.5.5. Broyage cru.....	29
3.5.6. Séparation	30
3.5.7. Homogénéisation	31
3.5.8. Filtration	31
3.5.9. Zone de cuisson.....	31
3.5.9.1. Tour à cyclones	31
3.5.9.2. Four rotatif	32
3.5.10. Refroidisseur.....	34
3.5.11. Stockage du clinker.....	35
3.5.12. Broyage du clinker	35
3.5.13. Stockage, Ensachage et Expédition	36
4. Classification du ciment	36

Chapitre II. Matériels et Méthode38

1. Préparation d'échantillon	39
1.1. Analyse clinker	39
1.1.1. Analyse par Fluorescence X	39
1.1.1.1. Les équipements	39
1.1.1.2. Mode opératoire	39
1.1.2. Mesure la chaux libre	40
1.1.2.1. Mode opératoire	40
1.1.3. Mesure les phases minéralogiques du clinker	41
1.1.3.1. Les formules de Bogue	41
1.1.4. Détermination du Test modules	41
1.1.4.1. Détermination du LSF module	41
1.1.4.2. Détermination du SM module	41
1.1.4.3. Détermination du MAF module	41
1.2. Analyse Gypse	42
1.2.1. Analyse XRRF	42
1.2.2. Mesure l'humidité	42
1.2.3. Mesure la Perte au Feu	42
2. Analyse Ciment	43
2.1. Analyse chimique	43
2.1.1. Analyse XRF	43
2.1.2. Mesure la chaux libre	43
2.1.3. Mesure la perte au feu	44
2.2. Analyse physique	45
2.2.1. Mesure la finesse du ciment	45
2.2.1.1. Mesure la Surface Spécifique Blaine	45
2.2.1.1.1. Mode opératoire	45
2.2.1.2. Mesure le pourcentage du Refus	46
2.2.1.2.1. Définition	46
2.2.1.2.2. Mode opératoire	46
2.2.2. Mesure la consistance E/C	47
2.2.3. L'essai de Prise	47
2.2.3.1. Principe de l'essai	47
2.2.3.2. Début de prise	47
2.2.3.3. Fin de prise	47
2.2.4. Mesure l'expansion du ciment	48
2.2.4.1. Définition	48
2.2.4.2. Mode opératoire	49
2.2.5. Essai mécanique (Flexion et compression)	49
2.2.5.1. Définition	49
2.2.5.2. Composition du mortier	50
2.2.5.3. Les équipements nécessaires	50

2.2.5.4. Préparation du mortier	51
CHAPITRE III. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	52
1. Interprétation d'analyse chimique	53
1.1. L'effet du C3S sur le ciment	54
2. Interprétation d'analyse physique	54
2.1. L'effet de la chaux libre	54
2.1.1. Sur le pourcentage de refus	54
2.1.2. Sur le temps de prise de ciment	55
2.1.3. Sur l'expansion du ciment	56
2.1.4. Sur la résistance du ciment	56
2.2. L'effet de la % de refus	57
2.2.1. Sur la résistance du ciment	57
CONCLUSION	60
BIBLIOGRAPHIE	62

Liste des Tableaux :

Tableau 1.1 : La fiche technique d'usine cilas.

Tableau 1.2 : Composition chimique du clinker.

Tableau 1.3 : Compositions minéralogiques du clinker.

Tableau 1.4 : Classification du ciment.

Tableau 2.1 : Analyse XRF du clinker.

Tableau 2.2 : Analyse de la chaux libre du clinker.

Tableau 2.3 : Les tests module et les phases minéralogiques du clinker.

Tableau 2.4 : Analyse XRF du Gypse.

Tableau 2.5 : L'analyse du PAF et d'humidité du gypse.

Tableau 2.6 : Les analyses chimiques du ciment.

Tableau 2.7 : Analyse du chaux libre du ciment.

Tableau 2.8 : La perte au feu du ciment.

Tableau 2.9 : Les pourcentages du refus du ciment.

Tableau 2.10 : Les pourcentages d'eau du ciment.

Tableau 2.11 : L'essai de prise.

Tableau 2.12 : L'essai d'expansion du ciment.

Tableau 2.13 : Les analyses mécaniques de flexion et de compression.

Liste des Figures :

Figure 1.1 : ciments lafarge souakri.

Figure 1.2 : Les méthodes de fabrication du ciment.

Figure 1.3 : Méthode de fabrication du ciment par voie sèche.

Figure 1.4 : Les Principales activités en carrières.

Figure 1.5 : Exemple concasseur à marteau.

Figure 1.6 : Hall de pré-homogénéisation.

Figure 1.7 : Broyeur vertical de cru.

Figure 1.8 : Broyeur à boulets.

Figure 1.9 : Broyeur vertical.

Figure 1.10 : Tour à cyclones.

Figure 1.11 : Schéma d'un Four.

Figure 1.12 : Les phases minéralogiques du clinker dans le four.

Figure 1.13 : Le Refroidisseur.

Figure 1.14: silo stockage du clinker.

Figure 1.15 : l'ensachage et expédition.

Figure 2.1 : concasseur.

Figure 2.2 : Broyeur à disque.

Figure 2.3 : Appareil pastille (L'APM).

Figure 2.4 : Appareil XRF.

Figure 2.5 : Four à 950°C.

Figure 2.6 : Appareil Blaine semi-automatique.

Figure 2.7 : Appareil Alpin du Refus.

Figure 2.8 : Appareil Vicat manuel.

Figure 2.9 : Aiguille de châtelier.

Figure 2.10 : Malaxeur automatique.

Figure 2.11 : Sable normalisé.

Figure 2.12 : Table à choc.

Figure 2.13 : Les éprouvettes 4x4x16 cm.

Figure 2.14 : La chambre humide.

Figure 2.15 : Appareil de Flexion et de compression.

Liste des ABREVIATIONS

CPA-CEMI : Ciment portland sans ajout.

CPJ-CEM II : Ciment portland avec ajout.

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 $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$.

C3A : Aluminates tricalciques ou (célite), sa formule chimique est $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$.

C4AF : Ferro-aluminates tétra-calcique, de formule chimique est $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$.

E.D.T.A : Ethylène diamine tétra acétique.

NA : Norme Algérienne.

NE : Norme Européenne.

PAF : Perte au feu.

SSB : Surface spécifique Blaine.

XRF : La spectrométrie de Fluorescence X (SFX ou FX) ou en anglais X Ray Fluorescence (XRF).

E/C : Le rapport (eau/ ciment).

Rc : Résistance à la compression.

Rf : Résistance à la flexion.

RESUMÉ

Resumé

La qualité de ciment dépend de la matière première (composition initiale) qui entrent dans la fabrication du clinker. Le clinker est un produit semi-finial qui obtient de la cuisson d'un mélange contenant une quantité de calcaire en grande partie (80%) et une faible quantité d'argile (20%), le sable et minerai de fer comme ajout. Le mélange total dit « cru » à entrer dans le four à une température 1450°C, pour obtenir le produit semi-fini le clinker.

Pour fabriquer un ciment conforme de qualité il faut préparer un clinker sur les normes. Les compositions minéralogiques du clinker (C_3S , C_2S , C_4AF , C_3A , CaO libre) qui peut être déterminée à partir la formule de bogue et l'analyse chimique du clinker. A la sortie du four, seul le CaO est présent dans le clinker. la chaux libre CaO_1 ou chaux non combinée est l'élément mineur dans le ciment qui s'effectue directement sur la réactivité (qualité) du clinker qu'il impacte sur la résistance du ciment.

Les caractéristiques physico-chimiques (la perte au feu, surface spécifique Blaine, pourcentage des refus, temps de prise, expansion et détermination des compositions minéralogiques) ainsi que les mesures de la chaux libre CaO_1 et l'essai mécanique de flexion et de compression ce fait au niveau du laboratoire de la cimenterie CILAS.

Mots clés : ciment portland, clinker, chaux libre, Mortier, résistances, flexion, compression, fluorescence X.

Introduction

Introduction

Le ciment le matériau du 20e siècle, il n'a guère plus de quelques centaines d'années. L'écossais Joseph Aspdin prit un brevet d'invention en 1824, sur la fabrication d'un liant à partir d'un mélange de chaux et d'argile qu'il appela ciment de portland à cause de l'aspect présenté par ce liant durci qui rappelait celui de la pierre calcaire de la presqu'île de Portland.

L'évolution est plus manifeste à l'issue de la deuxième guerre mondiale lorsque le secteur du bâtiment produit essentiellement des logements neufs bâtis à partir d'éléments préfabriqués et, n'utilisant plus les chaux. C'est l'époque charnière où la chaux est en passe d'abandon, où son ancienneté est une marque d'archaïsme alors que les ciments améliorent les performances des liants, accélèrent leurs mises en œuvre, tracent la voie d'une modernité que chaque maçon devra inévitablement emprunter. Le ciment est une poudre minérale, dont la propriété est de durcir sous l'eau d'où il est appelé liant hydraulique. On présentera brièvement dans ce qui suit quelque notion générale sur la composition et, les propriétés de ciment ainsi que les paramètres de durabilité [1].

Chapitre I :
ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Description du fonctionnement du cimenterie CILAS de Biskra :

I.1.1 Présentation générale de l'entreprise

L'usine Ciments CILAS a été en mise en exploitation en 2016 dans la commune de djemorah, cette cimenterie recourt aux technologies les plus avancées de la filière et exploite un broyeur géant de clinker. Cette unité de production d'une capacité de 2.7 millions de tonnes de ciment par an.



Fig 1.1 : ciments lafarge souakri

I.1.2. A propos d'usine :

CILAS est un partenariat privé privé entre le Groupe Souakri 51% et lafarge Holcim 49%. D'une capacité de 2,7 millions de tonnes par an, la cimenterie de Biskra répond aux besoins du marché du ciment du sud algérien. Il s'agit de l'usine la plus récente construite par Lafarge Holcim. Le coût d'investissement s'élève à 35 milliards de dinars algériens.

Construite en 21 mois, avec plus de 5 millions d'heures travaillées sans accident, Cilas compte plus de 600 collaborateurs et permet de réduire significativement les importations de ciment du pays.

CILAS est une usine construite dans l'état de l'art, de ce qui se fait de mieux dans l'industrie cimentière dans le monde, compacte, dotée d'équipement de dernière génération, tel que le plus grand broyeur vertical de ciment au monde, avec comme priorités : la Santé et la Sécurité des collaborateurs et sous-traitants, l'excellence opérationnelle, la diminution de l'empreinte environnementale et la réduction de la consommation d'énergie comparative de plus de 35% [2].

I.1.3. la fiche technique d'usine CILAS :

Nom	Cilas cimenteries
Date de creation	En 2016
Adress	Djemourah
Activité	Cimenterie
Capacité de la production	2.7 mt/an
Téléphone	+213 770 874 052
Produit fabriqué	CEMIIB32.5 / CEMIIB42.5 /CEM I 52.5

Tableau 1.1: La fiche technique d'usine CILAS.**I.1.4 les équipements de l'usine :**

L'usine contient :

- 1 ligne de cuisson en voie sèche avec conduite entièrement automatisée pilotée par un système expert.
- 1 broyeur verticale de matière première.
- 1 broyeur verticale de ciments d'une capacité totale annuelle 450 tonnes/heures.
- Laboratoire d'analyse permettant d'assurer une logique de contrôle qualité aux différentes étapes de la fabrication.
- Stockage ciment : 5 silos d'une capacité 5000 tonnes pour un seul silo.
- Atelier d'expédition sac et vrac.
- Atelier d'expédition en train aussi.

2. Constituants de base du ciment :

2.1. Définition du ciment :

Le ciment est un liant hydraulique durcissant à l'air et dans l'eau qui, après hydratation, présente un degré de solubilité très faible. Ce ciment, se présentant sous forme d'une très fine poudre, possède la propriété d'agglomérer des matériaux solides inertes après mélange à l'eau en leur assurant une cohésion et adhésion très fortes.

D'après la norme "AFNOR", le ciment est défini comme étant une matière finement broyée composée d'un pourcentage de clinker portland et d'ajouts (gypse, pouzzolane,...).

Le clinker est le produit de cuisson, à une température de 1450 à 1500°C, d'un mélange de calcaire (≈80% de la masse) et d'argile (≈20% de la masse) et parfois d'autres additifs en très faibles pourcentages pour ajuster la composition chimique de départ.

Le ciment, ainsi défini, forme en présence d'eau une pâte liante plus au moins fluide susceptible de faire prise et de durcir tant dans l'eau qu'à l'air en formant des composés stables et agglomérant des substances adéquates [3].

2.2. Matières premières du ciment :

Les matières premières qui rentrent à la production d'un clinker portland sont essentiellement le calcaire et l'argile (proportions variées) ou toutes matières renfermant essentiellement de la chaux (CAO), de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃), et de l'oxyde ferrique (Fe₂O₃).

En général pour faire du ciment, on peut utiliser toute matière qui, à la cuisson, donne la composition chimique convenable, contenant les oxydes essentiels : CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃. Néanmoins, pour des raisons économiques, le nombre de ces matières est en fait strictement limité, les matières calcaires utilisables sont : le calcaire, la pierre à ciment, la marne et les coquillages marins [4].

2.2.1. Calcaire :[5]

Les calcaires peuvent être de pureté et de duretés variables, ils proviennent du dépôt de CaCO₃ contenu dans les eaux de mer ou des lacs, dépôts provoqués par précipitation chimique ou réalisés par l'intermédiaire d'organismes vivants (mollusques, algues). Il existe deux types :

2.2.1.1. Calcaire dur :

On attribue ce nom au calcaire contenant un minimum 80 % de CaCO₃ et un maximum de 5 % de MgCO₃. Les calcaires durs sont imperméables à l'eau.

2.2.1.2. Calcaire mou (craie) :

Le calcaire mou contient un maximum de 90 % en CaCO_3 . Les calcaires mous sont perméables à l'eau, et poreux [6].

2.2.2. L'Argile :

Les argiles sont constituées essentiellement de silice, d'alumine et de fer et constituent par là même le complément indispensable du calcaire. Elles peuvent être classées de plusieurs manières.

Les argiles utilisées en cimenterie sont des argiles communes qui peuvent être constituées par des mélanges des groupes énumérés. 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 (silex, quartz, sous forme de nodules, de sable,....etc.) [5].

2.3. Matériaux de correction : [6]

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 ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) qui est un retardateur de prise est broyé avec le clinker.

2.3.1. Minerai de fer (Fe_2O_3) :

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

2.3.2. Bauxite :

La bauxite, minerai naturel utilisé pour produire l'aluminium, est l'un des éléments métalliques les plus abondants de la croûte terrestre. La bauxite extraite est transformée par affinage en alumine, qui est ensuite transformée en aluminium par électrolyse. Il faut environ quatre tonnes de bauxite pour produire deux tonnes d'alumine, qui permettent à leur tour de produire une tonne d'aluminium.

2.3.3. Le 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 silices.

2.3.4. Sable :

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

2.3.5. Le gypse :

Le gypse est un minerai que l'on trouve dans la nature, c'est une substance blanche Utilisée en cimenterie comme retardateur de prise du ciment.

2.4. Les matières secondaires (Les Ajouts minéraux) : [7]

2.4.1. Pouzzolane :

La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche. Elle est généralement rouge ou noire, avec toutes les teintes intermédiaires, exceptionnellement grise.

La pouzzolane est constituée principalement par la silice, de l'alumine et d'oxyde de fer La pouzzolane est deux types :

2.4.1.1. Pouzzolane naturelle:

Produit d'origine volcanique essentiellement composé de silices, d'alumine et d'oxyde de fer et ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques :
En présence d'eau et d'hydroxyde de calcium dissous ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), les pouzzolanes forment des silicates et des aluminates de calcium qui permettent le développement de résistances mécaniques.

2.4.1.2. Pouzzolane artificielle

Les pouzzolanes artificielles peuvent être obtenues à partir des argiles ayant subi un traitement thermique approprié pour lui assurer les propriétés pouzzolaniques.

2.4.2. Le laitier :

Les laitiers des hauts fourneaux sont des sous-produits formés lors de l'élaboration de la fonte à partir de minerai de fer. On distingue trois sortes de laitiers :

- Le laitier issu de minerai de fer, riche en phosphore, (laitiers, « T »).
- Le laitier issu de minerai de fer, pauvre en phosphore, (laitiers, « H »).
- Le laitier issu d'autres minerais de fer (laitiers « A »).
- Le laitier se compose principalement de silice (SiO_2), chaux (CaO), alumine (Al_2O_3) et d'oxyde de magnésium (MgO).

2.4.3. Les cendres volantes :

Elles contiennent principalement de la chaux réactive (CaO), de la silice réactive (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃).

Elles sont les produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques. On distingue :

- Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques.
- Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

2.4.4. Les schistes calcinés :

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

2.4.5. Fumées de silice :

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

2.4.6. Fillers :

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

2.5. Produit semi-fini (Le clinker) :

Le clinker est le principal constituant des ciments courants. C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkérisation) vers 1450 °C d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire (80 % environ) et d'argile (20 % environ) [8].

2.5.1. Composition chimique :

Le clinker est principalement composé d'oxydes métalliques, les quatre principaux : L'oxyde de calcium (CaO), de silicium (SiO₂), d'aluminium (Al₂O₃) et de fer (Fe₂O₃), représentant environ 95 % en masse.

Composants du clinker	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Notation cimentière	C	S	A	F	M	S	K	N
Teneurs limites (%)	62-70	20-25	2-9	1-5	0-5	0-3	0-0.6	0-0.7

Tableau 1.2 : Les compositions chimiques du clinker [9].

2.5.2. Composition minéralogique (les phases):

Le clinker contient 4 principaux constituants sont :

- le silicate tricalcique (Alite) : 3CaO SiO_2 ou par abréviation C3S.
- le silicate bi-calcique (Bélite): 2CaO, SiO_2 ou par abréviation C2S.
- L'aluminate tricalcique (Célite): $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ ou par abréviation C₃A.
- L'alumino-férite tétra-calcique (Férite) : $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ ou par abréviation C₄AF.

Composition Minéralogiques	Alite (C3S)	Bélite(C2S)	Célite(C3A)	Férite(C4AF)
Teneur en (%)	50 à 70 %	10 à 30 %	2 à 15 %	5 à 15 %

Tableau 1.3 : Compositions minéralogiques moyenne du clinker [10].

3. Méthodes de fabrication du ciment :

Nous allons décrire en détail le procédé de fabrication du ciment par voie sèche de la cimenterie de CILAS (djemourah).

3.1. Principe de fabrication :

Il existe quatre méthodes de fabrication du ciment qui dépendent essentiellement du matériau :

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide.
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche.
- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).

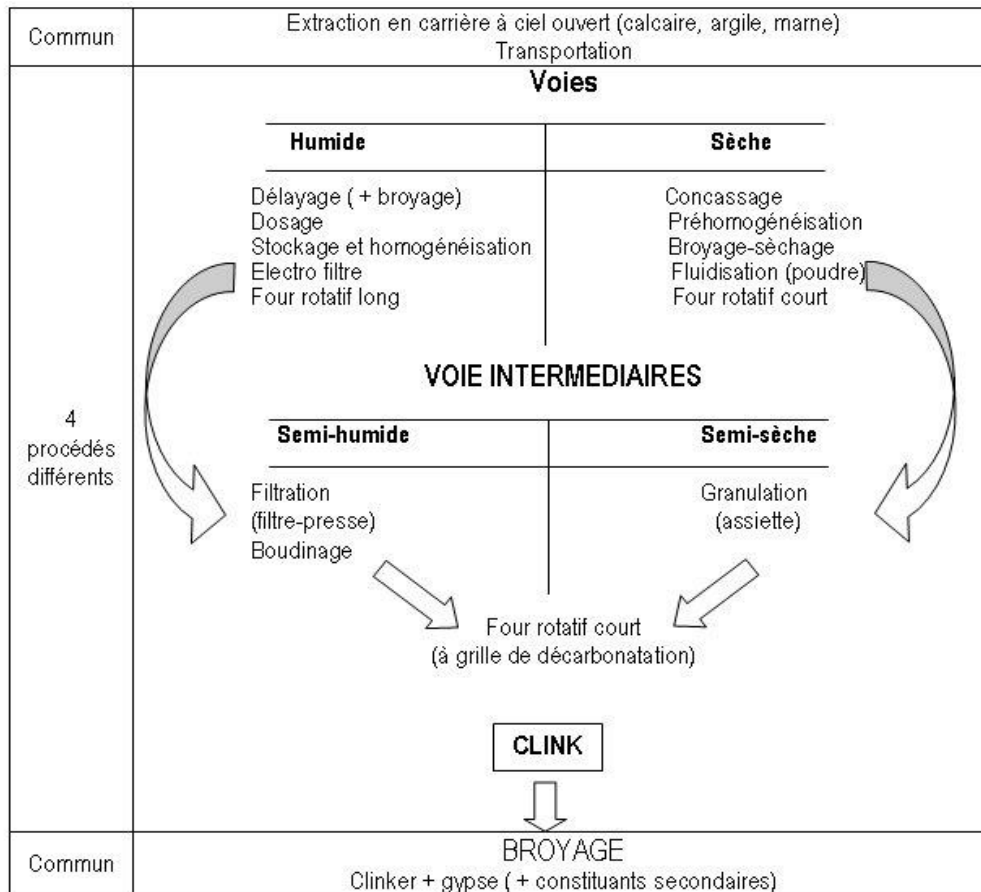


Figure 1.2 : Les méthodes de fabrication du ciment.

3.2. Fabrication du ciment par voie humide [11] :

Cette voie est utilisée depuis longtemps. C’est le procédé le plus ancien, le plus simple mais qui demande le plus d’énergie. Dans ce procédé, le calcaire et l’argile sont mélangés et broyés finement avec l’eau de façon, à constituer une pâte assez liquide (28 à 42% d’eau). On brasse énergiquement cette pâte dans de grands bassins de 8 à 10 m de diamètre, dans lesquels tourne un manège de herses. La pâte est ensuite stockée dans de grands bassins de plusieurs milliers de mètres cubes, où elle est continuellement malaxée et donc homogénéisée. Ce mélange est appelé le cru. . La pâte est ensuite envoyée à l’entrée d’un four tournant, chauffé à son extrémité par une flamme intérieure. Un four rotatif légèrement incliné est constitué d’un cylindre d’acier dont la longueur peut atteindre 200 mètres. On distingue à l’intérieure du four plusieurs zones, dont les 3 zones principales sont:

- ✓ Zone de séchage.
- ✓ Zone de décarbonatation.
- ✓ Zone de Clinker station.

3.3. Fabrication du ciment par voie semi-humide :

Dans le processus semi-humide, on retrouve les mêmes étapes de préparation des matières premières, sauf que la pâte va être filtrée au travers d'un filtre presse pour arriver entre 17 et 21%d'eau puis son introduction dans un préchauffeur, puis dans un four rotatif plus court que celui présent dans le processus de voie humide [12].

3.4. Fabrication du ciment par voie semi-sèche : [12]

Dans cette voie, on ne fabrique plus la pâte. Les matières premières sont broyées et homogénéisées. Cette farine obtenue est agglomérée sous forme de boulettes avant la cuisson.

3.5. Fabrication du ciment par voie sèche :

Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire (CaCO_3) environ de 80% et d'argile ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$) environ de 20%. Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

Après avoir finement broyé, la poudre est transportée depuis le silo homogénéisateur jusqu'au four, soit par pompe, soit par aéroglisseur.

Les fours sont constitués de deux parties:

- Un four vertical fixe, préchauffeur (cyclones échangeurs de chaleur).
- Un four rotatif.

Les gaz réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO_2) et son eau. La poudre pénètre ensuite dans un four rotatif analogue à celui utilisé dans la voie humide, mais beaucoup plus court [11].

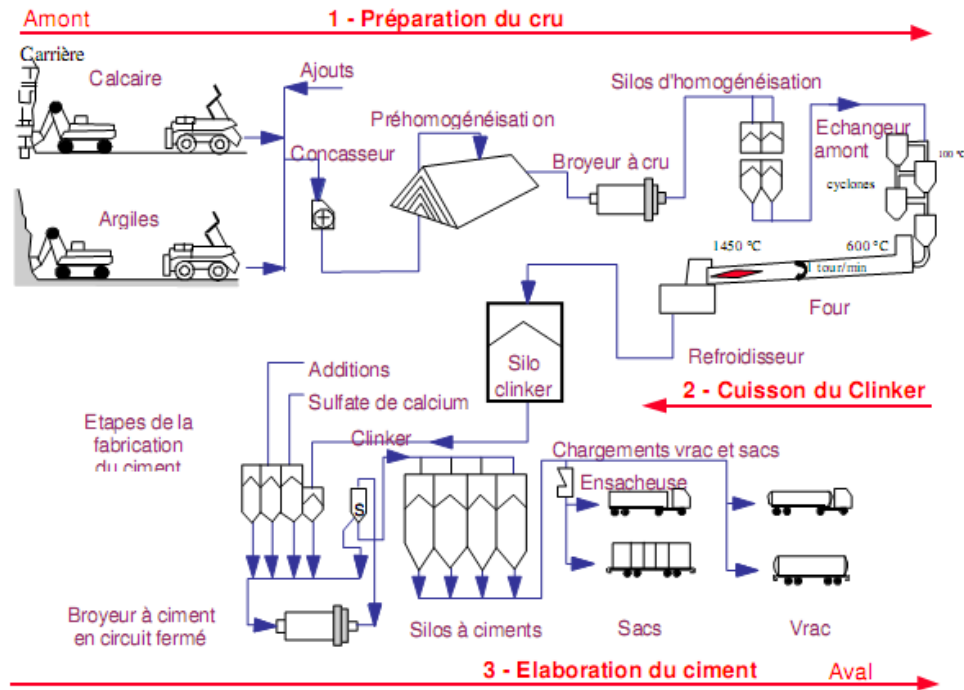


Fig1.3 : Méthode fabrication du ciment par voie sèche[13].

➤ Nous allons décrire en détail le procédé de fabrication du ciment par voie sèche de la cimenterie de CILAS (djemourah).

3.5.1. Carrière :

Elle permet de fournir deux essentielles matières premières le calcaire et l'argile, elles sont extraites comme des roches et cela par méthode de l'abattage à l'explosif, le calcaire est transporté par des dumpers vers un atelier de concassage.

On générale Les opérations nécessaires comportent dans la carrière : le forage dans la roche, l'abattage à l'explosif, l'excavation, le transport et le concassage [4].



Figure1.4 : Les Principales activités en carrières

3.5.2. Extraction :

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage aux bulldozers. La roche est reprise par dumpers vers un atelier de concassage [14].

3.5.3. Concassage :

Le concasseur a pour un rôle de ramener les matières premières à des dimensions admissibles pour le broyeur.

Les matières premières sont fournies par les carrières en gros morceaux avec leur humidité naturelle et doivent être séchées puis concassés à la granulométrie désirée (0–25mm).

Le concasseur traite d'un mélange cru qui contient environ 80 % de calcaire et de 20% d'argile dans la cimenterie [7].

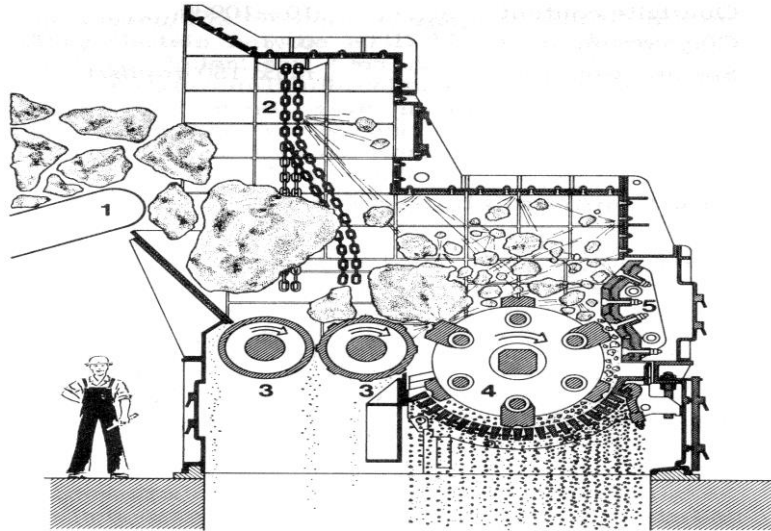


Fig1.5 : Exemple concasseur à marteau [16].

3.5.4. Pré-homogénéisation :

Dans un hall, la matière première est étendue en couche horizontales successives formant un tas par un des roues pelles, les couches sont ensuite reprise verticalement ce qui permet de prélever un mélange de composition identique, d'où la pré-homogénéisation se fait à l'aide d'un bras râteau[15].

La pré-homogénéisation de la matière première se fait à l'aide d'un bras râteau, tournant autour d'un axe dans un hall.



Fig 1.6 : Hall de pré-homogénéisation

3.5.5. Broyage de cru :

Pour que les matières pré-homogénéisées du mélange cru soit plus réactives au cours de leur cuisson dans le four, il faut qu'elles soient finement broyées. Les meilleurs clinkers sont les plus fins parce que les réactions chimiques et les échanges thermiques sont plus intenses que les surfaces des particules sont plus grandes. A l'usine cilas le broyage est effectué au même temps avec le séchage de cru. Ce broyeur fonctionne avec un séparateur à air et un broyeur sécheur.

Ce dispositif est très efficace car les gaz chauds enveloppent complètement les particules fines et leur transmettent leur chaleur. Les facteurs responsables à déterminer la quantité de gaz chaud qu'il faut fournir à l'installation pour éliminer l'eau de cru sont : le degré d'humidité de la matière et la température du gaz. La vapeur d'eau produite est évacuée du groupe broyeur par élimination d'une quantité du mélange air-vapeur, elle doit être abondante pour éviter la condensation [15].



Fig 1.7: Broyeur Vertical de cru

Il existe deux types de broyeurs :

- Les broyeurs à boulets :

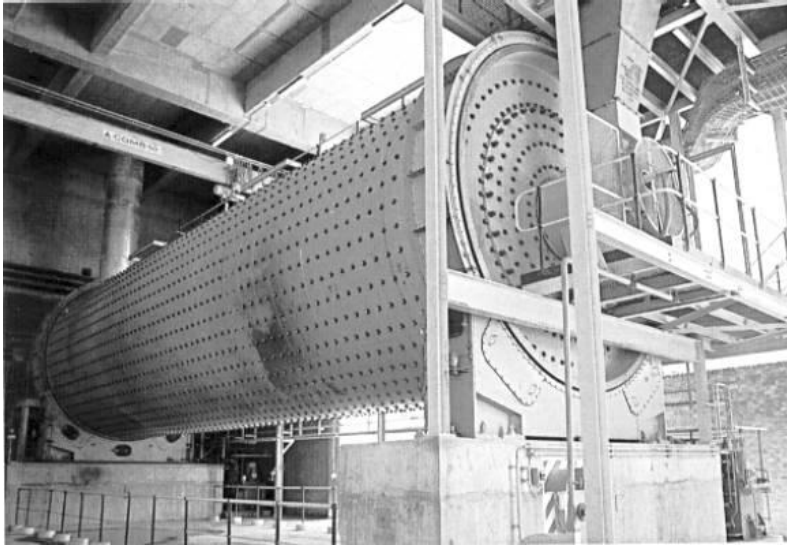


Fig1.8 : Broyeur à boulets [16].

- Le broyeur vertical à meule :

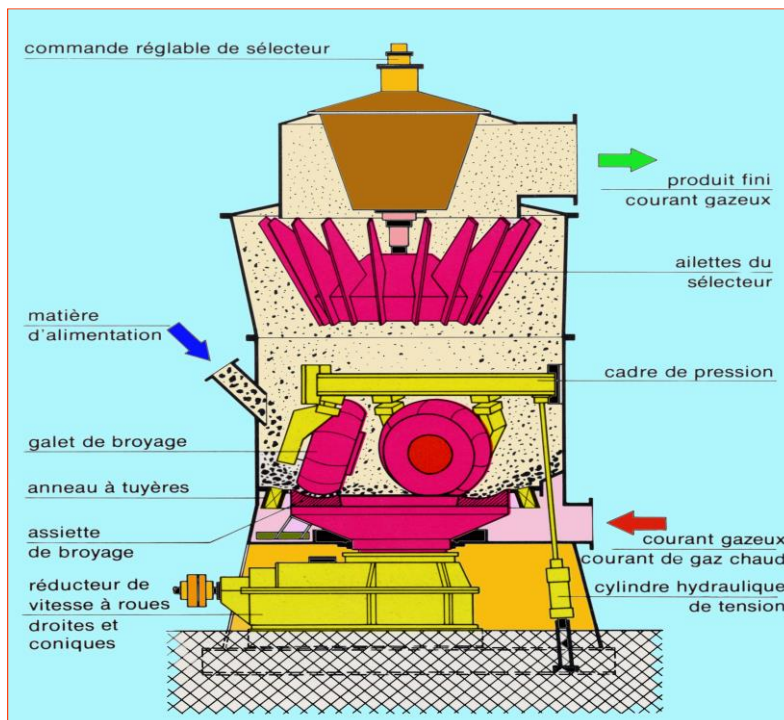


Fig 1.9 : Broyeur vertical [16].

3.5.6. Séparation :

Le but de cette étape est d'envoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées de récupérer les particules fines contenues dans le gaz [14].

3.5.7. L'homogénéisation:

A la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « Farine ».

Cette farine doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos d'une capacité unitaire de 10000 t dans lesquelles elles sont homogénéisées.

L'opération d'homogénéisation complète le processus de pré-homogénéisation préalable, elle permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes qui permettent la fabrication d'un clinker de qualité constante. La préparation de la matière première est maintenant achevée. Le principe est d'envoyer l'air en bas de silos permettant de fluidifier la farine [11].

3.5.8. Filtration :

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

Les gaz chauds sortant du four dans le broyeur, où ils sèchent la matière première, ce qui constitue une utilisation très judicieuse de la chaleur ainsi disponible [15].

3.5.9. Zone de cuisson:

La ligne de cuisson est constituée par :

- Un préchauffage
- Un four rotatif

3.5.9.1. Préchauffage aux cyclones :

Une tour de préchauffage, constituée de différents étages de cyclones, est installée en amont du four. La farine est introduite sous forme de poudre dans une tour de préchauffage où la farine est préalablement chauffée (50°C jusqu'à 900°C) par les gaz produits dans le four rotatif (phase de pré calcination). Elle subit au cours de cette cuisson des réactions chimiques complexes : tout d'abord, le calcaire se décarbonate sous l'action de la chaleur à une température avoisinant les 900°C et se transforme en chaux, tandis que les argiles se décomposent en silicates et aluminates [11].



Fig 1.10: Tour à cyclones

3.5.9.2. Le four Rotatif :

Cette étape consiste à sécher, déshydrater et décarbonater partiellement la matière crue. Le capot de chauffe à la sortie du four est équipé d'un brûleur spécial qui atteint une température maximale d'environ 1450°C pendant 1 heure. La flamme résultante de la combustion du coke de pétrole se trouve à l'extrémité la plus basse du four. La matière est introduite à l'autre extrémité et avance lentement sous l'effet de la rotation et de l'inclinaison du four, la matière complète sa décarbonation et se transforme par cuisson jusqu'à ce qu'il devienne « clinkérisé », sous forme de grains gris foncés arrondis dont les dimensions sont irrégulières[15].

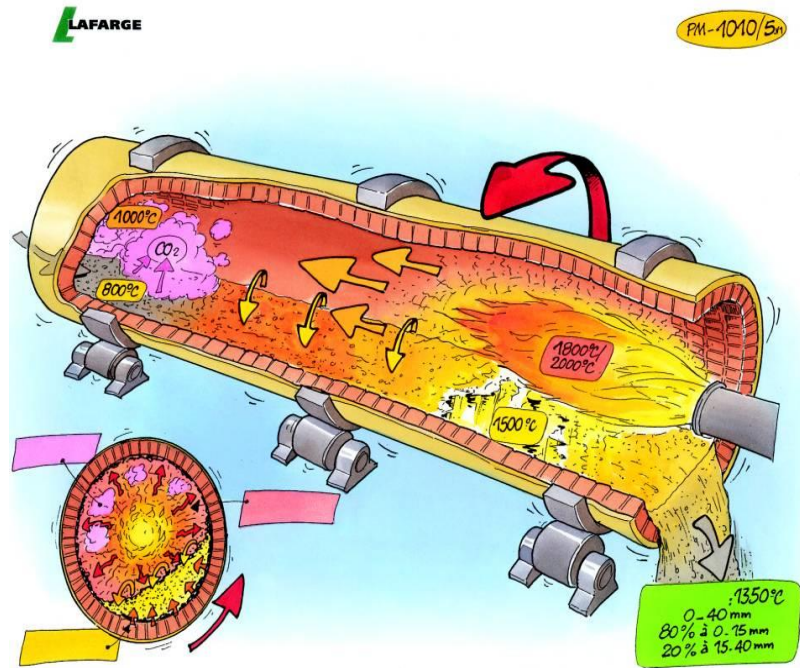


Fig 1.11 : Schéma d'un four [16].

Les principales formations et réactions de la matière au cours de cuisson sont :

- A 100°C : évaporation de l'humidité (déshydratation).
- A 250-450°C : Départ de l'eau combinée des argiles.
- A 350 – 650°C : Décomposition de l'argile (la formation des silicates SiO_2 et l'aluminate Al_2O_3).

- A 450-620°C : la décarbonatation de magnésium

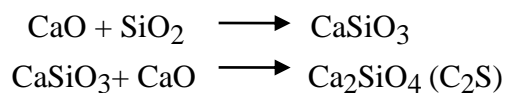


- A 720-950°C : la décarbonatation du calcaire

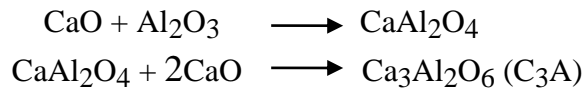


- Après 850-1450°C : Combinaison de la chaux obtenue (CaO) avec les éléments argileux qui se sont dissociés (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3)

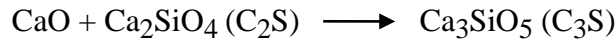
➤ la formation du Bélite (C_2S) :



- la formation du Célite (C_3A):



- la formation du alite (C_3S):



- la formation de l'Alumino-ferrite (C_4AF):

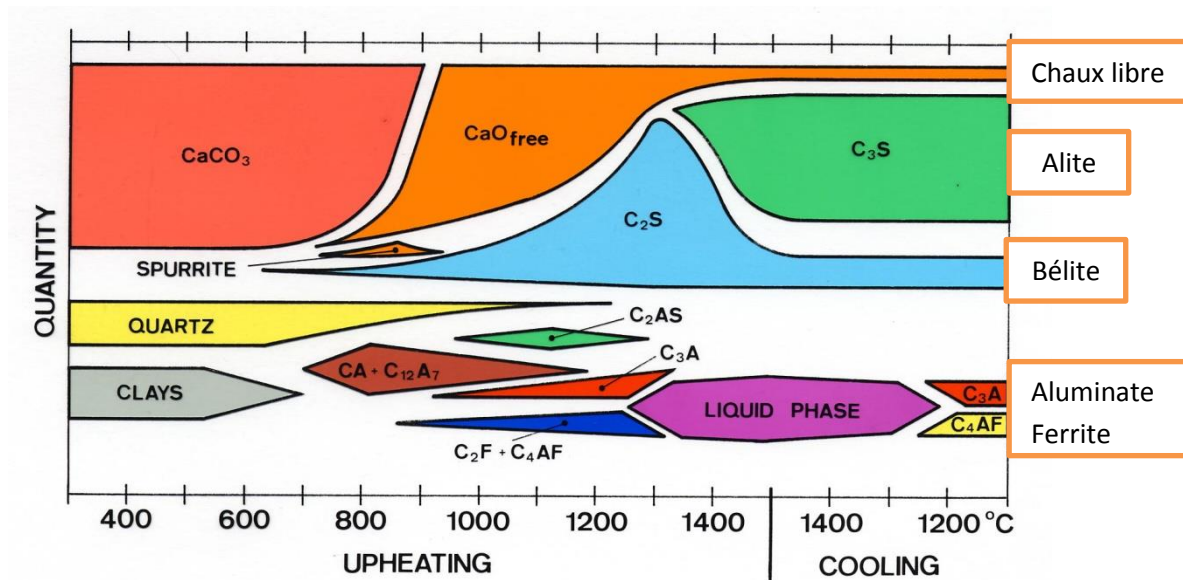
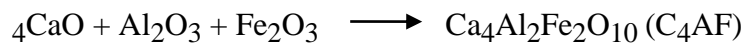


Fig1.12: Les phases minéralogiques du clinker dans le four[16].

3.5.10. Refroidissement :

A l'aval du four le clinker sort avec une température dépassant 1400°C et chute vers 100°C dans le refroidisseur, pour subir une trompe rapide afin de figer les C_3S et les empêcher de redevenir des C_2S chose qui influe sur la qualité du clinker en matière de sa composition et qui influe par la suite sur l'atelier de broyage cuit parce que les C_2S sont difficile à broyer. Les refroidisseurs permettent aussi de baisser la température du clinker pour faciliter la manutention et le stockage[15].



Fig1.13 :Le refroidisseur

3.5.11. Stockage du clinker :

La manutention du clinker est réalisée par des transporteurs métalliques vers un silo de stockage d'une capacité unitaire 30000 t et un hall de stockage pour les clinker incuits



Fig1.14: silo stockage du clinker

3.5.12. Broyage du clinker :

Il est réalisé en continu dans des broyeurs alimentés à partir des stocks de clinker et des différents constituants et ajouts.

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granulats de clinker en poudre, d'autre part, de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler le phénomène de prise), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (pouzzolane, calcaire de correction) ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés [5].

3.5.13. Stockage, ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage. Un silo pour les ciments chamil, un silo pour les ciments matine et un silo pour les ciments sarie .pour être soit ensaché soit expédié en vrac.



Fig1.15 : l'ensachage et expédition

4. Classification des ciments courants :

On obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197-1. Le tableau ci-dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

Désignations	Types de Ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un de constituants suivants :laitier-pouzzolanes-cendres-calcaires schistes-fumées de silice	Teneur en constituant secondaires (filler)
CPA- CEM I	Ciment Portland	95à100%		0 à 5%
CPJ-CEM II/A	Ciment portland Composé	80à 94%	--de 6à20% de l'un quel conque des constituants, sauf dans les cas où les constituant est des	0 à 5%
CPJ-CEMII/B		65 à79%	fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21à35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5%
CHF-CEMIII/A	Ciment de haut-fourneau	35à64%	-35à65% de laitier de haute fourneau	0 à 5%
CHF-CEMIII/B		20à34%	-66à80% de laitier de haut fourneau	0 à 5%
CHF-CEMIII/C		5à19%	-81 à95% de laitier de haut Fourneau	0 à 5%
CPZ-CEMIV/A	ciment pouzzolanique	65 à90%	-10à35% d pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%.	0 à 5%
CPZ-CEMIV/B		45à64%	-36à55% comme ci-dessus	0 à 5%
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40à64%	-18à30% de laitier de haut fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.	0 à 5%
CLC-CEM V/B		20à39%	-31 à50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5%

Tableau 1.4 : Classification du ciment[17].

Chapitre 2

Matériels et Méthodes

1. Préparation des échantillons :

On prépare nos échantillons à partir un 5 différent clinker (différent de chaux libre)

1.1. Analyse clinker :

1.1.1. Analyse XRF :

La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse chimique utilisant une propriété physique de la matière. Pour déterminer les oxydes mineurs et majeurs, et autres composant chimique.

1.1.1.1. Les équipements :



Fig2.1 : exemple a concasseur



Fig2.2 : broyeur à disque



Fig2.3 :Appareil pastille (l'APM)



Fig2.4 : Appareil XRF

1.1.1.2. Mode opératoire :

- Concasser l'échantillon clinker dans le concasseur
- Puis broyer dans le broyeur à disque

- Mettre 10g de l'échantillon broyé dans l'APM (appareil pastille)
- Mettre la pastille dans l'appareil XRF
- Lire les résultats sur l'ordinateur

Echantillon Compositions	Clinker 01	Clinker 02	Clinker 03	Clinker 04	Clinker 05
SiO ₃	21.45	21.05	21.45	21.34	21.5
Al ₂ O ₃	5.2	5.27	5.21	5.18	5.38
Fe ₂ O ₃	3.23	3.29	3.37	3.31	3.29
CaO	65.78	65.86	65.83	66.28	65.83
MgO	1.57	1.51	1.88	1.89	1.77
SO ₃	0.76	1.11	0.77	0.78	0.87
K ₂ O	0.65	0.67	0.65	0.67	0.7
Na ₂ O	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Cl	0.037	0.036	0.03	0.02	0.05

Tableau 2.1 : Analyse XRF du clinker

1.1.2. Détermination du CaO₁ :

1.1.2.1. Mode Opérateur :

- On pèse 1 g de matière (clinker ou ciment), puis mettre dans un erlenmeyer propre et bien séché.
- Ajouter ensuite 40 ml d'éthylène glycol et on chauffe notre solution à 90 °C, puis on filtre (filtre moyen).
- On ajoute à la solution filtrée quelques gouttes de bleu de méthylène qui donne la couleur bleue
- Titrer avec une solution de HCl 0,1 N jusqu'à l'apparition de la couleur jaune.

$$\% \text{ CaO libre} = \text{Fact} \cdot V_{\text{HCL}}$$

Fact = Facteur de solution HCL 0,1 N

V = Volume de solution HCL dosé

Echantillon	Clinker 01	Clinker 02	Clinker 03	Clinker 04	Clinker 05
CaO ₁	1.23	1.61	2.85	3.09	5.31

Tableau 2.2 : Analyse du Chaux libre du clinker.

1.1.3. Mesure les phases minéralogiques du clinker :

C₃S : Responsable de la résistance à court terme (28jours)

C₂S : Responsable de la résistance à long terme

C₃A : Responsable de la prise du ciment

C₄AF : comme fondant, responsable de la couleur du ciment

1.1.3.1.les formules de bogue :[16]

- $\%C_3S = 4.071(\%C) - 7.6(\%S) - 6.718(\%A) - 1.43(\%F)$

- $\%C_2S = 2.867(\%S) - 0.7544(\%C_3S)$
 $= 8.60 S + F 1.08 + 5.07 A - 3.07 C$

- $\%C_3A = 2.650(\%A) - 1.692(\%F)$

- $\%C_4AF = 3.043(\%F)$

1.1.4. Détermination du test module :[16]

1.1.4.1.Détermination du facteur de saturation en chaux (LSF) :

$$LSF = \frac{\text{chauxreele}}{\text{chauxthéorique}} * 100 = \frac{\% CaO}{2.8(\%S) + 1.18(\%A) + 0.65(\%F)} * 100$$

1.1.4.2.Détermination du module silicique (SM) :

$$SM = \frac{\% SiO_2}{\% Al_2O_3 + \% Fe_2O_3}$$

La valeur du MS varie en moyenne de 2,5 à 3,2.

1.1.4.3.Détermination du module alumino-ferrique (AM) :

$$MAF = \frac{\% Al_2O_3}{\% Fe_2O_3}$$

On obtient les résultats suivants :

Analyse	les test modules			les phases minéralogiques			
	LSF	SM	AM	C3S	C2S	C3A	C4AF
clinker01	96.32	2,54	1,61	60.14	16.15	8.32	9.81
clinker02	97.98	2,57	1,60	60.70	14,94	8,06	9.6
clinker03	96,25	2,50	1,54	55.39	19.41	8,11	10,24
clinker04	97,43	2,51	1,56	53.48	21.18	8.15	10,06
clinker05	95.84	2,47	1,63	42.05	29.93	8,69	10,00

Tableau 2.3 : Les tests modules et les phases minéralogiques du clinker

1.2. Analyse gypse :**1.2.1. Analyse par XRF :**

Constituant	Gypse
SiO ₂	6.49
Al ₂ O ₃	0.93
Fe ₂ O ₃	0.81
CaO	32.59
MgO	0.41
SO ₃	41.72
K ₂ O	0.03
Na ₂ O	0.01
Cl	0.01

Tableau 2.4 : Analyse XRF du Gypse**1.2.2. Mesure l'humidité :**

- Mesure le poids du plat vide soit P0
- Mesure l'échantillon du gypse soit P1
- Mettre la dans le sécheur à 45°C
- Mesure le poids du gypse après séchage soit P2=(P0 + P1)

$$\% \text{ H}_2\text{O} = \frac{(P0 + P1) - P2}{P1} * 100$$

1.2.3. Mesure la PAF(la perte au feu) :

- Mettre 2±0.005g d'échantillon dans un creuset en platine, soit (P0+P1)
- Puis mettre le creuset dans un four à moufle pour la calcination à une température de 950°C pendant 1 heure
- Sortir la creuset et on la pèse froid, soit P2

$$\% \text{ PAF} = \frac{(P0 + P1) - P2}{P1} * 100$$

P0 = poids du creuset platine vide

P1 = poids du matière (gypse) = 2±0.005g

P2 = (P0 + P1) poids du matière après séchage

Echantillon	Gypse
Humidité %	1.96
PAF %	21.62

Tableau 2.5 : l'analyse du PAF et d'humidité du gypse

2. Analyse ciment :

Pour obtenir le produit finale (ciment), on a concassé et broyer chaque échantillon de clinker avec le gypse. Finalement on trouve cinq différents ciments qui ci fait l'analyse sur la.

2.1. Analyse chimique :

2.1.1. Analyse par fluorescence X

➤ Mode opératoire :

- Mette 10g de ciment dans l'appareil pastille
- put la pastille dans l'appareil XRF
- après 3minutes lire les résultats à l'ordinateur

	Analyse XRF								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl
Ciment01	21.19	5.55	3.44	65.52	1.64	2.52	0.61	0.17	0.041
Ciment02	20,59	5.61	3.44	65.63	1.57	2.57	0.62	0.19	0.033
Ciment03	20,72	5,55	3,48	65,74	1,89	2,46	0,62	0,17	0,047
Ciment04	21,07	5,44	3,41	65,46	1,88	2,49	0,65	0,16	0,026
Ciment03	20,11	5,60	3,38	65,23	1,80	2,73	0,64	0,18	0,049

Tableau 2.6 : les analyses chimiques du ciment

2.1.2. Mesure la CaOlibre :

➤ Mode Opératoire :

- On pèse 1 g de matière (clinker ou ciment), puis mettre dans un erlenmeyer propre et bien séché.

- Ajouter ensuite 40 ml d'éthylène glycol et on chauffe notre solution à 90 °C, puis on filtre (filtre moyen).

- On ajoute à la solution filtré quelques gouttes de bleu de méthylène qui donne la Couleur bleu

- Titrer avec une solution de HCl 0,1 N jusqu'au l'apparition de la couleur jaune.

$$\% \text{ CaO libre} = \text{Fact} * V_{\text{HCL}}$$

Fact= Facteur de solution HCL 0,1 N

V= Volume de solution HCL dosé

Code	FCaO %
Ciment 01	0,96
Ciment 02	1.50
Ciment 03	2,52
Ciment 04	3,12
Ciment 05	3,50

Tableau 2.7 : Analyse chaux libre du ciment.

2.1.2. Mesure la perte au feu (PAF) :

➤ Mode Opérateur :

- Mesure le creuset vide, soit P1
- Mesure une quantité de ciment égale $2 \pm 0.005\text{g}$, soit P2
- Placer le creuset dans le four à moufle (950°C) pendant 1hour
- Sortir le creuset et mettre la dans le dessiccateur pendant 10 min soit, P2



Fig2.5: Four à 950°C

$$\% \text{ PAF} = \frac{(P0 + P1) - P2}{P1} * 100$$

Echantillon	PAF 950 C°	PAF 550 C°
Ciment01	8,16	3,74
Ciment02	6,42	3,11
Ciment03	4,72	2,33
Ciment04	8,25	3,33
Ciment05	8,04	3,10

Tableau 2.8 : la perte au feu du ciment

2.2. Analyse physique:

2.2.1. Mesure la finesse du ciment :

2.2.1.1. Mesure la surface spécifique Blaine :

On a fixé la SSB à 4200 car le ciment est ciment portland artificiel (CEM I)

➤ Mode Opérateur :

On place la grille au fond de la cellule et on applique sur cette grille au moyen d'une tige à face inférieure plane un disque neuf de papier filtre. On verse dans la cellule la quantité de ciment préalablement pesée en utilisant un entonnoir. On donne quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du ciment, puis on place sur celle-ci un autre disque neuf de papier filtre. On tasse avec précaution, au moyen d'un piston, en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre, puis on retire le piston lentement



Fig2.6 : Appareil Blaine semi-automatique

2.2.1.2. Mesure le pourcentage du refus :

2.2.1.2.1. Définition :

Les pourcentages des refus sont déterminés pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré du broyage.

2.2.1.2.2. Mode Opérateur :

- Placer le tamis à utiliser sur le bâti.
- Peser 10g de matière et vider sur le tamis.
- Mettre en place le couvercle en plexiglas.
- Brancher l'appareil en tournant vers la droite le bouton de la minuterie jusqu'à la butée fixée d'avance sur 2 min avec le bouton moleté.
- Mettre en route l'aspiration.
- Lorsque les 2 minutes sont écoulées, l'appareil s'arrête automatiquement.
- Peser la matière qui restant sur le tamis, Soit **P** (grammes).

$$\text{Refus} = P \times 10 (\%)$$



Fig 2.7 : L'appareil Alpin du refus

Code	SSB	Tamis 45 μ	Tamis90 μ
Ciment01	4200,00	9.83	1,08
Ciment02	4200,00	9,17	0.65
Ciment03	4200,00	10.13	0.75
Ciment04	4200,00	12.98	1.19
Ciment05	4200,00	16.18	1.16

Tableau2.9 : les pourcentages du refus du ciment

2.2.2. Mesure la consistance normale :

La consistance a pour La détermination de la quantité d'eau qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesé pour obtenir une pâte ciment dite normale.

$$\% E/C = \frac{\text{massed'eau}}{\text{masseciment}} * 100$$

Code	%H2O
Ciment 01	26,00
Ciment 02	26,30
Ciment 03	27,00
Ciment 04	25,20
Ciment 05	25,00

Tableau 2.10 : les pourcentages d'eau

2.2.3. Essai de prise :

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

2.2.3.1.Principe d'essai :

➤ Début de prise :

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

➤ Fin de prise :

Le temps de fin de prise correspond à la lecture de 0,5 millimètres de l'aiguille de la surface du moule, noté à partir du temps zéro.

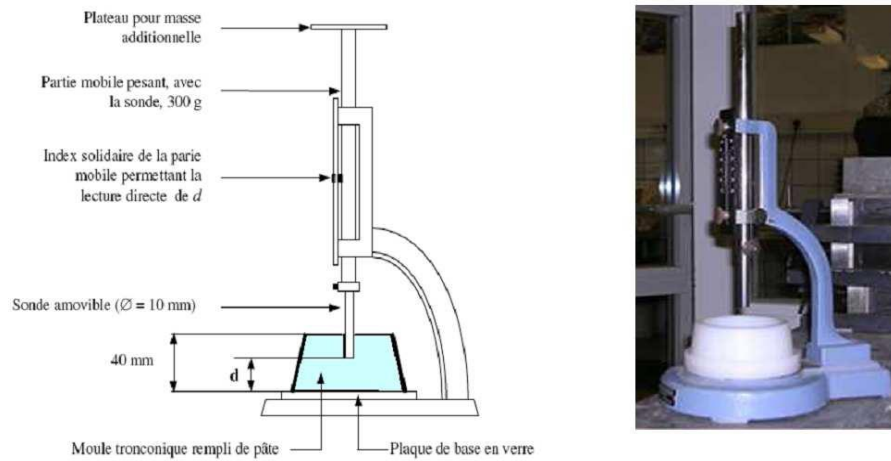


Fig 2.8 : Appareil Vicat manuel

Code	DP (min)	FP (min)
Ciment01	160,00	250,00
Ciment02	155,00	221,00
Ciment03	133,00	198,00
Ciment04	100,00	168,00
Ciment05	82,00	142,00

Tableau2.11 : l’essai de prise (min)

2.2.4. Mesure l’expansion :

2.2.4.1.Définition :

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

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

L’essai de déformation à chaud décele la présence de chaux vive libre CaO_L surcuit et de magnésie expansives (MgO).



Fig 2.9 : Aiguille de lechâtelier.

2.2.4.2.Mode Opérateur :

- Mettre l'échantillon de ciment dans des châteliers, puis dans la chambre humide dans l'eau pendant 24 heures.
- Mesurer le diamètre de la Chatelier ne doit pas dépasser.
- Mettre leschâteliers dans un bain main de 100°C pendant 3 heures.
- Mesurer de nouveau le diamètre de la châtelier.

Code	F Cao(%)	Exp (mm)
Ciment01	0,96	0,50
Ciment02	1,50	1,00
Ciment03	2,52	1,50
Ciment04	3,12	2,00
Ciment05	3,50	2,50

Tableau 2.12 : l'essai d'expansion du ciment (mm)

2.2.5. Essai mécanique (flexion et compression)

2.2.5.1.Definition

Ce test est très important car il est considéré comme un indicateur mondiale de qualité du ciment, son but est de mesurer les résistances au différentes contraintes au bout d'un certain temps.

L'essai de flexion et de compression permettant de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la compression des liants hydrauliques

2.2.5.2.composition du mortier

La composition du mortier est la suivante :

- Sable normalisé = 1350 ± 5 g.
- Ciment = 450 ± 2 g.
- Eau de gâchage = 225 ± 1 ml

2.2.5.3. Les équipements nécessaires :



Fig 2.10 : Malaxeur automatique



Fig 2.11 : sable normalisé 1350 g



Fig 2.12. : Table à choc



Fig 2.13 : les éprouvettes 4x4x16 cm



Fig2.14 : La chambre d'humide



Fig2.15 : Appareil de flexion et compression

2.2.5.4. Préparation du mortier :

- Verser 225 ml d'eau dans le récipient du malaxer et ajoutes 450 g de ciment
- Mettre le malaxeur en marche à la vitesse lente pendant une minute dans les 30 derniers seconds puis introduire 1350 g de sable normalisé sec.
- Mettre le malaxeur à la vitesse lente pendant 30 secondes après arrêter le mouvement pendant 90 seconds, reprendre le mélange pendant 2 mn à la vitesse rapide.
- Ensuite, mélange est versé dans le moule à l'aide d'une spatule, et peut être bien tassé, après un doublé de choc en utilisant l'appareil à choc. Le mortier est mis 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.
- L'éprouvette pour 2 jours, 1 éprouvette pour 7 jours et 1 éprouvette pour 28 jours.

code	Cao_1	F2J(MPa)	F28J(MPa)	C2J(MPa)	C28J(MPa)
Ciment01	0,96	5,50	7,60	27,20	50,20
Ciment02	1,50	5,50	7,70	26,80	50,10
Ciment03	3,12	4,90	7,00	23,90	45,90
Ciment04	2,52	4,70	7,40	24,10	46,80
Ciment05	3,50	4,10	6,10	20,00	38,20

Tableau 2.13 : Analyse mécanique de flexion et de compression

Chapitre III
INTERPRÉTATION
DES RÉSULTATS

1. Interprétation d'analyse chimique :

Les résultats se trouvent de la norme Algérienne NA (442)

- D'après le tableau (3.1) et la figure (3.1), on observe que :
- le pourcentage du **C3S** est diminué en tant que le pourcentage de la chaux libre est augmenté (relation inverse)
- On voit aussi que le pourcentage du C2S est augmenté en tant que le pourcentage de la chaux libre est augmenté
- A partir de la relation suivante: $\text{CaO} + \text{Ca}_2\text{SiO}_4 \text{ (C2S)} \rightarrow \text{Ca}_3\text{SiO}_5 \text{ (C3S)}$

Le Tableau 3.1 : le pourcentage des phases on clinker

les phases	chaux libre	C3S	C2S
Ciment 01	1,23	60,14	16,15
Ciment 02	1,61	60,7	14,94
Ciment 03	2,85	55,39	19,41
Ciment 04	3,04	53,48	21,18
Ciment 05	5,31	42,05	29,93

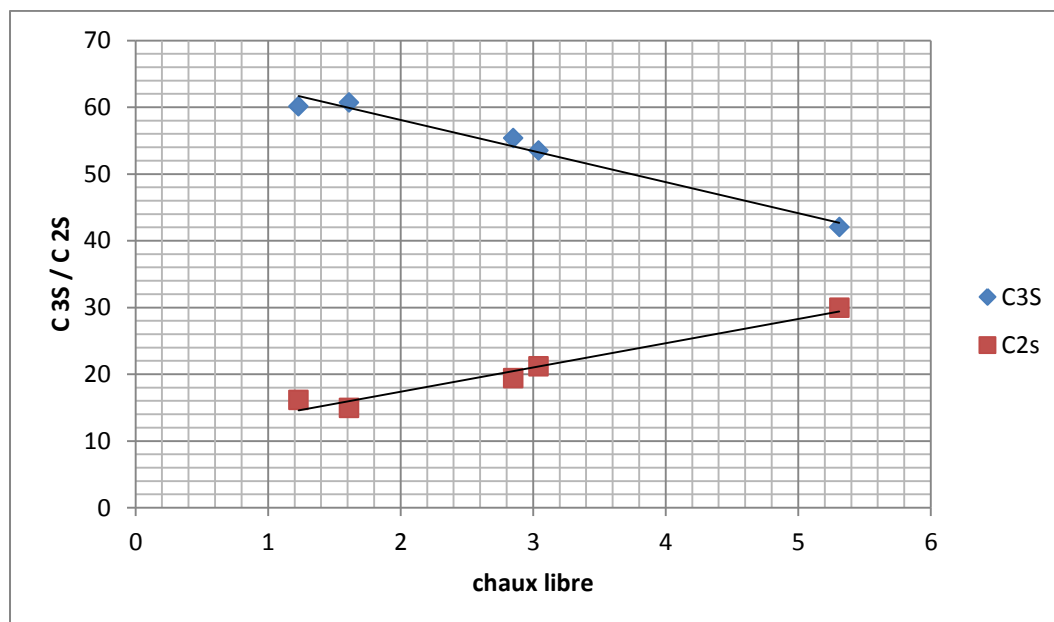


Fig.3.1 : Le pourcentage du C3S et C2S en fonction de la chaux libre

L'effet du C3S sur le ciment :

- La figure ci-dessous montre l'effet de **C3S** sur la résistance du ciment, on remarque que la variation de ces deux paramètres est proportionnelle. Ce résultat s'explique par le fait que le **C3S** est le responsable de la résistance à court terme.

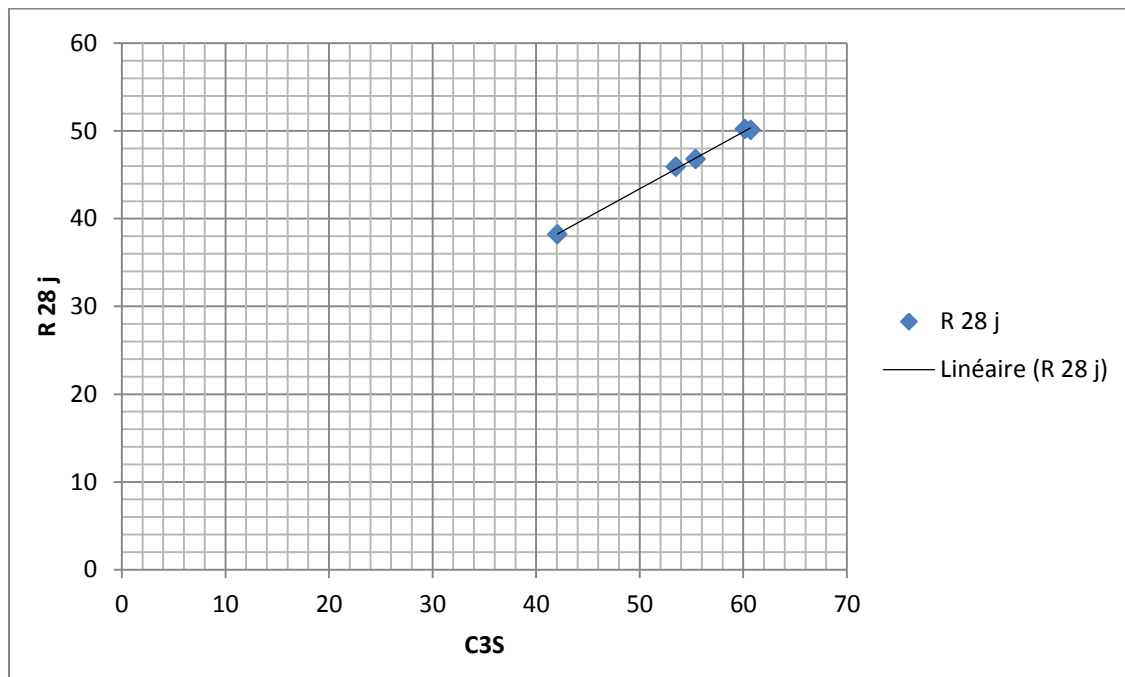


Fig.3.2 : la résistance à 28j en fonction de la C3S (Alite)

2. Interprétation d'analyse physique :**2.1. L'effet de la chaux libre :**

- Sur le pourcentage refus

La figure (3.3) montre que le pourcentage refus augmente avec l'augmentation de la chaux libre.

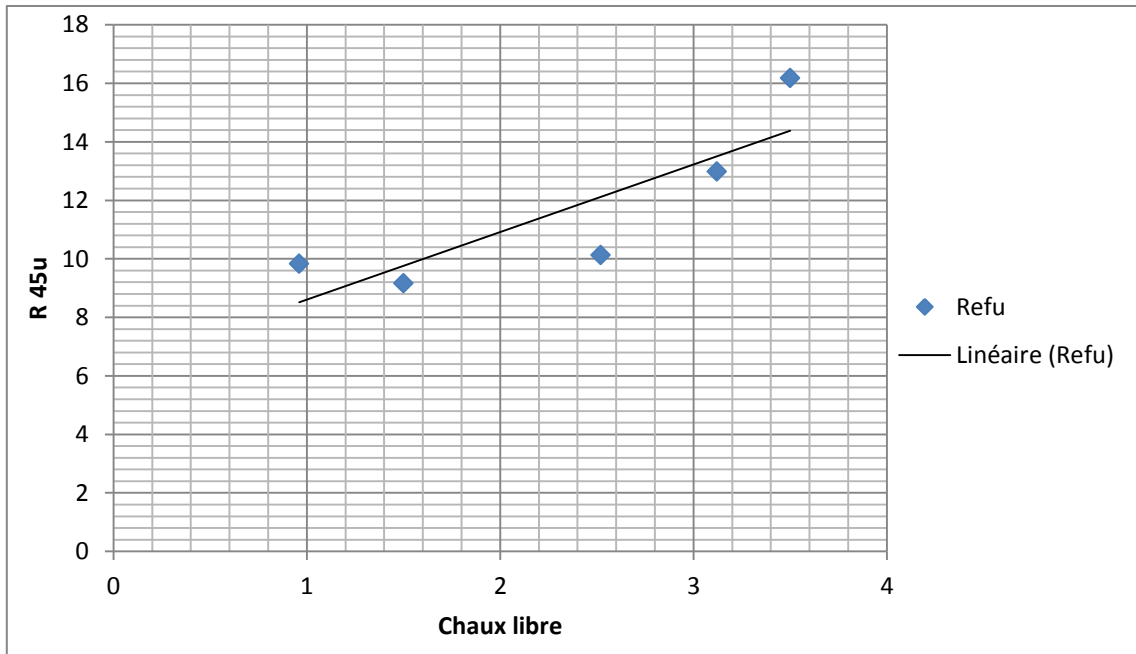


Fig.3.3 : La variation du refus en fonction de la chaux libre.

➤ Sur le temps prise :

- En tant que la chaux libre augmentée le temps de prise est diminué (relation inverse).

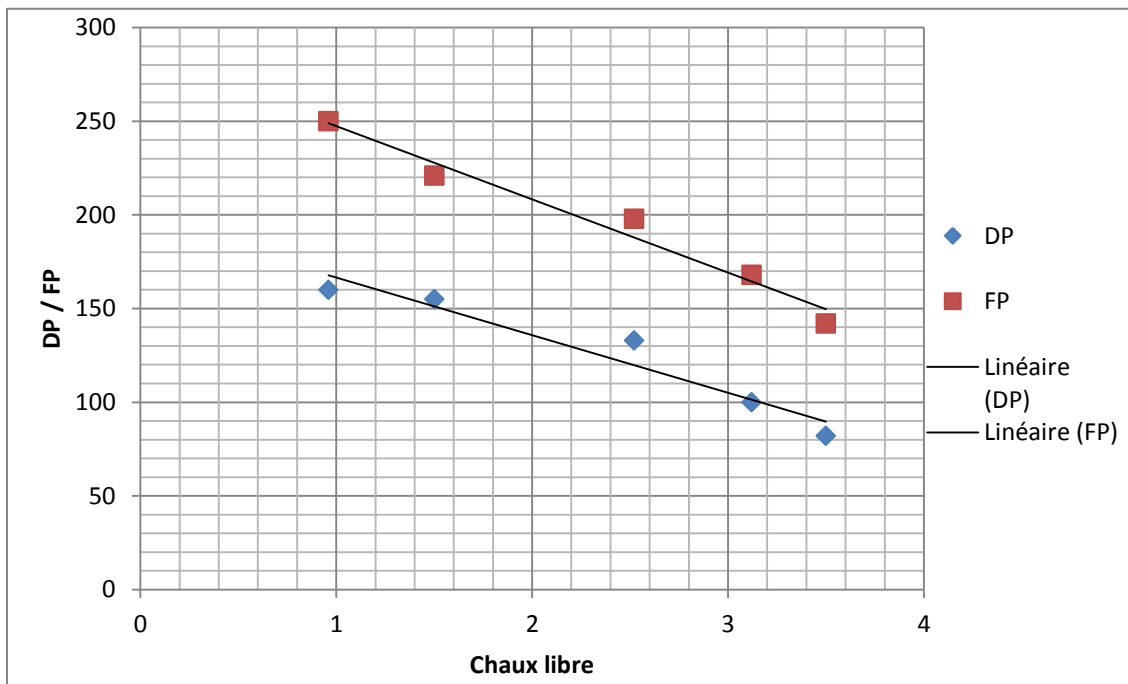


Fig.3.4 : La variation du temps de prise en fonction de la chaux libre.

➤ Sur l'expansion :

La figure (3.5) montre que l'expansion du ciment augmente avec l'augmentation de la chaux libre. Qui en résulte le gonflement du ciment.

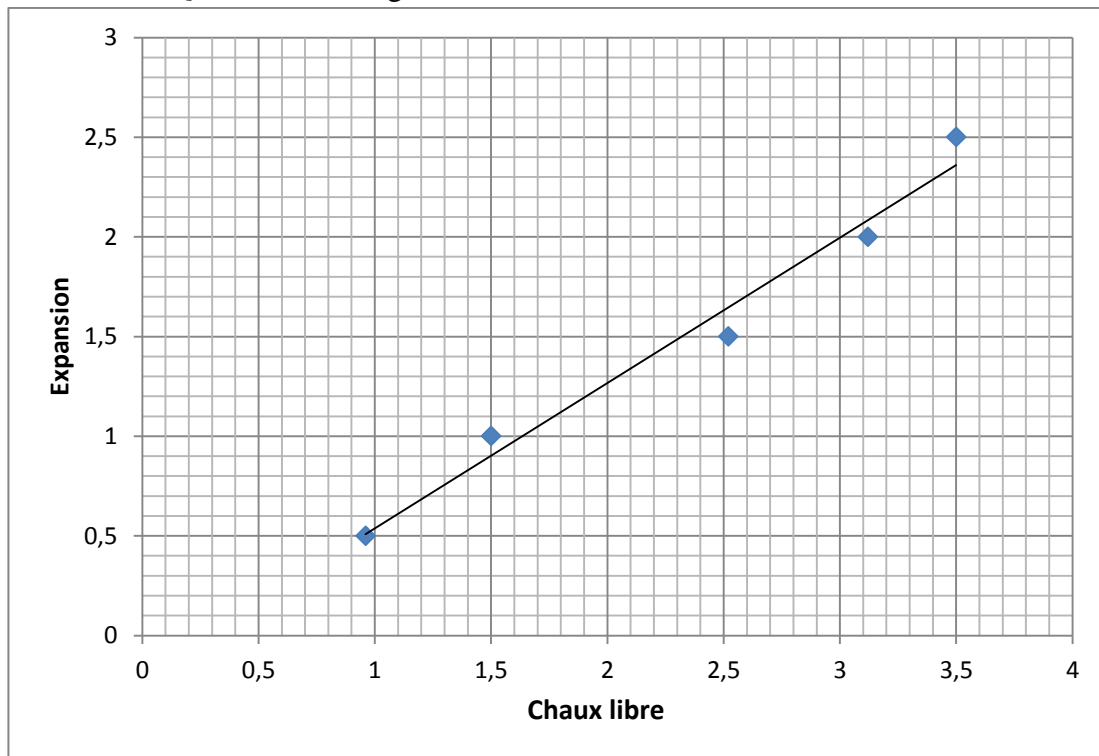


Fig.3.5. L'effet de la chaux libre sur l'expansion du ciment.

➤ Sur la Résistance :

Les deux figures (3.6 et 3.7) ci-dessous montre que La chaux libre est l'élément principale qui s'effe directement sur la résistance du ciment. En tant que la chaux libre est augmenté, en tant que la résistance du ciment est diminué. S'effe directement sur la qualité du ciment.

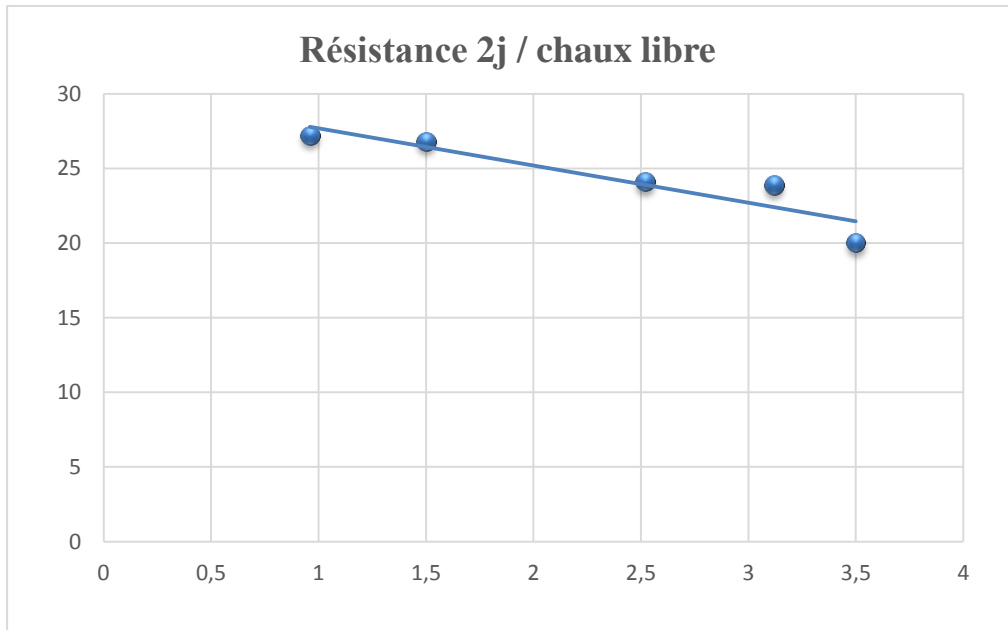


Fig.3.6. L'effet de la chaux libre sur la résistance du ciment à 2j.

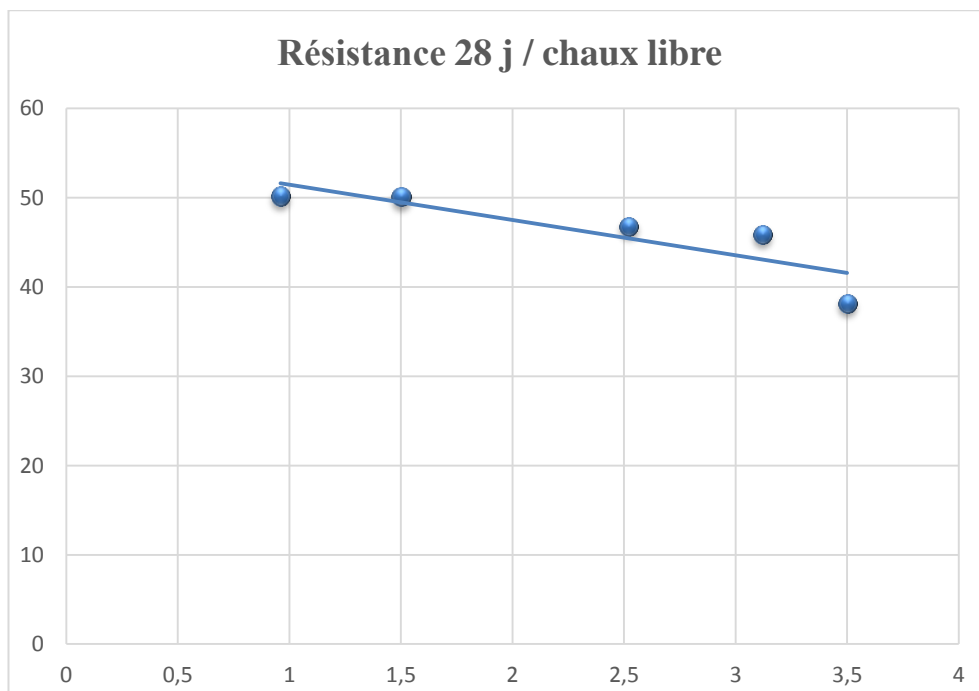


Fig3.7. L'effet de la chaux libre sur la résistance du ciment à 28j.

2.3.L'effet de la % Refus :

➤ Sur les Résistance :

Les figures ci-dessous montre que la résistance du ciment est diminué avec l'augmentation de la pourcentage de refus.

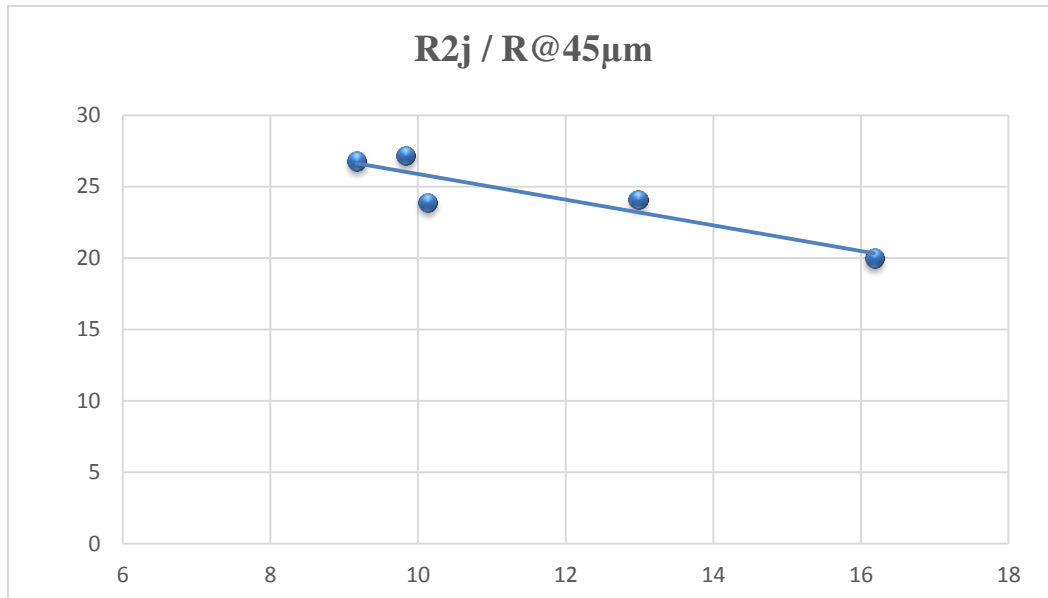


Fig3.8. L'effet de pourcentage du refus sur la résistance du ciment à 2j.

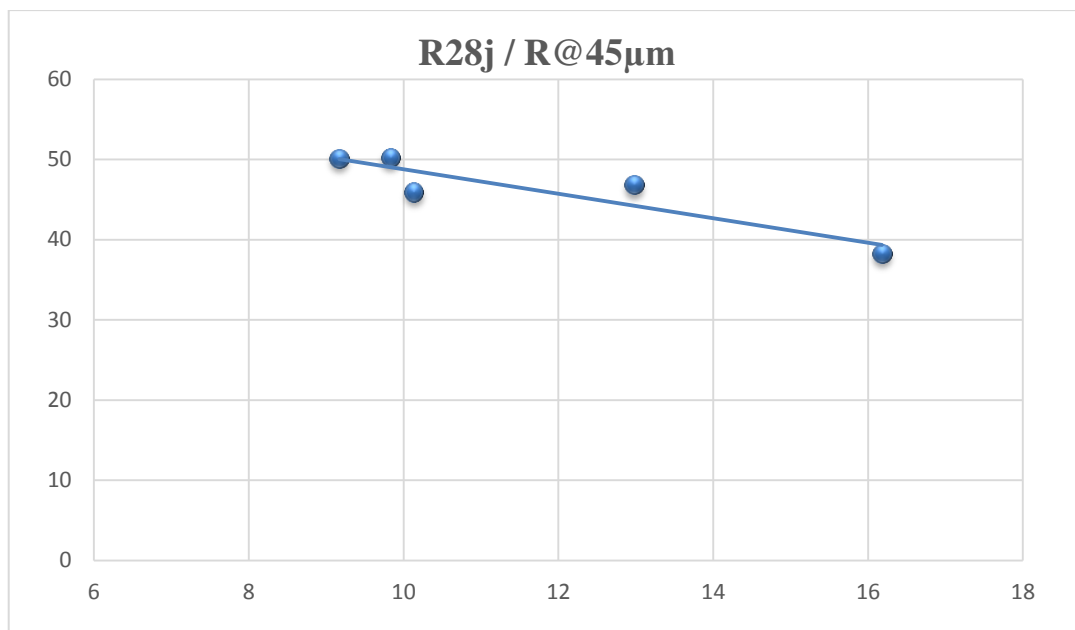


Fig3.9. l'effet de pourcentage du refus sur la résistance du ciment à 28j.

Conclusion

Conclusion

Notre stage à la cimenterie CILAS a été bénéfique pour nous, il nous a permis de s'intégrer dans le milieu industriel et d'exploiter les connaissances théoriques déjà acquises, et d'apprendre d'autres, ainsi que faire face d'une manière objective au monde du travail et de constater l'importance de la maintenance.

D'après ce travail, toutes les analyses chimiques et physiques ont démontrées que :

- L'augmentation de la chaux libre a diminué le pourcentage du %C3S qui s'effectue directement sur la réactivité du clinker
- L'augmentation de la chaux libre a augmenté le pourcentage du refus ce qui fait dire qu'elle augmente les grains de clinker qui sont difficiles à cuire dans le four et difficiles à broyer dans le broyeur.
- En tant que l'expansion de ciment est diminuée en tant que l'on obtient un bon ciment
- En tant que les grains du clinker sont plus élevés le ciment est de moins bonne qualité
- En tant que le temps de prise est élevée le pourcentage de la chaux libre est diminuée
- En tant que le temps de prise est élevée la qualité de ciment est élevée
- L'augmentation du pourcentage de la chaux libre du clinker a diminuée les résistances (flexion et compression) du ciment.
- Tel que le pourcentage de la chaux libre du clinker a augmentée tel que le pourcentage d'expansion du ciment est augmentée

La Bibliographie

La bibliographie

- [1]:**BELMOKHTAR NASSIMA, ZERAIG AKILA** « Effet du mode d'introduction de la nano-silice sur les propriétés rhéologiques et physicomécaniques des pâtes cimentaires et mortiers de ciment », diplôme de Master en génie des matériaux Université M'Hamed Bougera de Boumerdes, 2016/2017, P.1-7.
- [2]: Le site web <http://www.lafarge.com>
- [3]:**MEROUANE Abdellah** « SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION D'UN CIMENT BELTIQUE RICHE EN α_1 -C2S ET DE HAUTE REACTIVITE HYDRAULIQUE » MEMOIRE DE MAGISTER en Chimie Industrielle, université Mohamed BOUDIAF d'Oran, 2009, P.4.
- [4]:**BENZINEB MERYEM** « Optimisation du ratio ciment/clinker(C/K) » Mémoire de master en génie des matériaux et des procédés, université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Maroc, 17 juin 2017, P.6.
- [5]: **GHERMAOUI Amina** « Effets de certains métaux sur les propriétés physico-chimiques des mortiers de ciment de Béni-saf sans ou avec ajout de pouzzolane »Mémoire de master en chimie option Chimie physique et analytique, universitéAbou-Bakr Belkaïd, 29 juin 2015, P.15-30.
- [6]: **MEBARKI Henen** « Etude comparative des clinkers de l'ouest Algérien : Analyse Physico-chimique et Applications »Mémoire d master en chimie option chimie physique et analytique, Université Abou-BakrBelkaïd, Tlemcen, 2012/2013, P.14-17.
- [7] : **Mohammed Amine Benhadda**« La durabilité du mortier à base de ciment de Béni-Saf vis-à-vis de milieux basiques NaOH et NH₄OH », Diplôme d'ingénieur d'état en chimie industrielle, Génie des procédés, Université Abou-BakrBelkaïd, 2011/2012, P.2-21.
- [8]:**M. Venuat**, La pratique des ciments, mortiers et bétons, Tome 1 : « Caractéristiques des liants et des bétons, mise en oeuvre des coulis et mortiers », édition2, Collection Moniteur, 277p, 1989.
- [9] : **J. Baron, JP. Olivier et J.C.Weiss**, « Les ciments courants », « Les bétons, bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles, 806p, 1997.
- [10]: **Stutzman. P**, (2004) Scanning electron microscopy imaging of hydraulic cement microstructure, Cement and Concrete Composites, 26: 957-966.
- [11] :**KHAZZAR Mohamed** « ETUDE ET MAINTENANCE DU BROYEUR A BOULETS DE L'A.C.C HAMMAM DALAA - M'SILA » Mémoire de master en génie mécanique option productique, université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2015/2016 P.11-
- [12] :**Sailaa Rabah** « L'influence de la chaux libre du clinker sur les Propriétés physico-chimiques et mécaniques du ciment portland » Mémoire de master en génie civil spécialité matériaux, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2015/2016 P.3-24.

[13] :KHERROUBI Djamila « Elaboration d'un éco-matériau par activation de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf par la chaux: caractérisation mécaniques des mortiers 1/3 » Mémoire de master en chimie des matériaux industrielles, université d'Oran, 2013/2014 P. 6.

[14] :Ben inak Chouaib Amine « processus de fabrication du ciment, et gestion des poussières » ; Mémoire fin étude, Université Badji Mokhtar Annaba, 2014

[15] : DAHOU Fatma Zohra « L'influence de la surface spécifique du Blaine sur le ciment » Rapport de soutenance En vue de l'obtention du diplôme de Licence Professionnalisant en Génie de la formulation faculté des sciences, université de bouira, 2017/2018.

[16]: Le document PDF **Lafarge centre de viviers** " Introduction à la fabrication du ciment Algérie ".P.58-175.

[17] : Raed farid Abd Ali « Influence de la substitution du clinker par l'argile cuite sur le comportement mécanique du mortier » Mémoire de master en génie civil option matériaux, université Mohamed Boudiaf-Msila, 2015/2016.P.10.