

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1

Faculté de technologie

Département de Génie des procédés



Mémoire

En vue de l'obtention de diplôme de master 2

Spécialité : Génie des procédés des

Matériaux

Intitulé du mémoire

Impact de clinker sur altérée sur le performance du ciment

Présenté par :

Mr Kasraoui Walid

Mme Aklouche khaoula

Encadré par :

Mr.Touil Djamel

Mr.Fenniche Tarek

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Nous remercions avant toute chose, dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force et la volonté d'entamer et de terminer ce, Mémoire.

Tout d'abord, Nous ne saurions par où commencer pour exprimer notre immense gratitude à Pr. Djamel TOUIL, maitre - assistant A à l'université de Saad Dahleb Blida 1 pour nous avoir donné l'occasion de travailler avec lui sur ce sujet et de nous avoir encadré sur le plan scientifique mais aussi et surtout sur le plan humain.

Nous remercions par la même occasion Mr Hamid Derradji directeur du cimetièrre de Meftah Blida ainsi l'ensemble de personnel du l'usine, pour nous avoir ouvert les portes du l'usine et pour nous avoir facilité l'accès au laboratoire pour la réalisation de ce travail.

Nous n'oublierons pas de remercier Mr Tarek fenniche

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble du corps enseignant de spécialité, pour ces Dix-sept de formations très enrichissante. Nous remercions Pr Faiza zermane, maitre - assistant A à l'université de SAAD DAHLEB BLIDA 1 pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider ce jury.

Dédicace

A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère maman Toutes mes joies, mon amour et mes reconnaissances pour tous les efforts et les sacrifices que tu as fait pour moi, je t'aime.

A l'homme qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, Que dieu te protège, à toi mon père.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, A ma sœur Sara, A mes frères abd el Hamid et chamsadine. Mes plus chères au monde que j'aime énormément.

A mon binôme khaoula Aklouche qui a eu la patience de me supporter Durant la réalisation de ce mémoire et qui a été un exemple de ponctualité, de sérieux et de rieur. A mes adorables amis avec lesquels j'ai partagé mes moments difficiles et de bonheur, pour leur fidélité QUE toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve l'expression de ma reconnaissance.

Walid

Sommaire

	Introduction	01
	Chapitre I : Généralités sur la Production Industrielle du Ciment	
I.1	Introduction	02
I.2	Procédé de fabrication ciment	02
I.2.1	Réception et contrôle des matières premières	03
I.2.2	Dosage, broyage, séchage et homogénéisation du mélange cru	04
I.2.2.1	Propriétés d'usage du mélange cru	05
I.3	Cuisson du clinker	06
I.4	Broyage de clinker et production du ciment	07
I.5	Finesse et constituants du ciment	08
I.5.1	Finesse	08
I.5.2	Constituants	08
I.6	Stockage et expédition du ciment	09
	Chapitre 2 : Conditions de stockage et propriétés du clinker	
II.1	Introduction	10
II.2	Contrôle de la qualité du clinker	10
II.3	Stockage du clinker	10
II.3.1	Stockage du clinker dans des silos	10
II.3.2	Clinker stocké dans une cour ouverte	10
II.4	Impact de l'humidité sur la pré-hydratation des minéraux du clinker	10
	Chapitre 3 : Matériel et Méthodes	
III.1	Introduction	14
III. 2	Préparation des échantillons	14
III.2.1	Clinker	14

III.2.2	Ciment	14
III.3	Méthodologie de préparation des échantillons de ciment	14
III.3.1	Séchage et concassage des matériaux	14
III.3.2	Broyage et production de ciment	15
III.4	Analyse physico-chimique des échantillons de ciment	16
III.4.1	Analyse par spectrométrie Fluorescence X	16
III.4.2	Analyse par diffraction des Rayons X (XRF)	16
III.4.3	Détermination de la chaux libre	17
III.4.4	Déterminations du taux d'humidité	18
III.4.5	Mesure de la perte au feu (PAF)	18
III.3.5	Mesure du taux de refus	19
III.5	Test mécanique sur les éprouvettes du mortier à ciment	19
III.5.1	Préparation des éprouvettes de mortier	20
	Chapitre IV : résultat et interprétation	
IV .1	Introduction	21
IV.2	Analyse chimique des échantillons de clinker	21
IV.2.1	Analyse de la fluorescence X (XRF)	21
IV.2.2	Analyse par diffractométrie X	22
IV.2.3	Analyse chimique des clinkers	22
VI.3	Analyse des ciments préparés	23
VI.3.1	Caractérisation mécanique des ciments	25

Liste des fuguer

Figure I.1	Procédé de fabrication de ciment par voie sèche	02
Figure I.2	Les carrières de calcaire et d'argile de la Cimenterie	03
Figure I.3	Extraction des matières premières de leurs carrières.	03
Figure I.4	Atelier de concassage	04
Figure I.5	Pré homogénéisation et stockage des matières premières	04
Figure I.6	Broyeur à boulets ducru de la cimenterie	05
Figure I.7	Le clinker	06
Figure I.8	Ligne de cuisson d'une cimenterie	06
Figure I.9	Processus de cuisson	06
Figure I.10	Circuit fermé de broyage du clinker	08
Figure I.11	Microphotographie d'un clinker	09
Figure II 1	Développement des résistances dans le temps des constituants purs du ciment portland	11
Figure II 2	Particules de clinker avant réaction avec l'eau	12
Figure II 3	Deux heures après avoir ajouté de l'eau au clinker	12
Figure II 4	28jours après avoir ajouté de l'eau au clinker	12
Figure III.1	(a) Clinker sortie refroidisseur, (b) Stockage clinker à l'air libre	14
Figure III.2	Echantillon de ciment	14
Figure III.3	Concasseur de matériaux	15
Figure III.4	Broyeur à disques	15
Figure III.5	Pastilleuse d'échantillons	16
Figure III.6	Appareil d'analyse XRF	16
Figure III.7	Le matériel utilisé	17
Figure III.8	Le four à moufle	18

Figure III.9	Tamiseuse Alpin du refus	19
Figure III.10	Le malaxeur du mortier	20
Figure III.11	Appareil de choc	20
Figure III.12	Test Résistance à la compression	20
Figure IV.1	Variation de CaOf et free lime XRD	21
Figure IV.2	Variation de la portlandite, et taux humidité dans le ciment	24
Figure IV.3	Variation de CaO libre dans les ciments	24
Figure IV.4	résistance du ciment après 2jours	25

Liste des tableaux

Tableau I.1	Teneurs des oxydes dans le cru	04
Tableau I.2	Teneurs moyennes des composants secondaires	04
Tableau I.3	Différentes phases du clinker	06
Tableau I.4	Couleurs des différentes phases du clinker	07
Tableau II.1	Hydratation des minéraux du clinker	11
Tableau III.1	Composition des ciments préparés.	15
Tableau IV.1	Analyse par Fluorescence X du clinker	20
Tableau IV.2	Phases minéralogiques des clinkers	20
Tableau IV.3	Analyse par diffractométrie X des clinkers	21
Tableau IV.4	Analyse chimique des deux clinkers	22
Tableau IV.5	Analyse par Fluorescence X des ciments	23
Tableau IV.6	Analyse XRD	23
Tableau IV.7	Analyses chimique et granulométrique des ciments	23

Résumé

Ce travail expérimental, consiste à réaliser une comparaison de l'impact des conditions environnementales sur la qualité du clinker stocké dans deux lieux différents. Le premier est stocké en silo et le second à l'air libre. Les performances des ciments produits avec différents pourcentage des deux clinkers (0%, 5%, 25%, 50%, 95%) sont étudiées. Les résultats obtenus, montrent que la variabilité de la qualité du clinker, à la fois chimique et physique affecte de manière significative la résistance du ciment, en particulier la proportion des principaux minéraux du clinker, la chaux libre et le vieillissement du clinker.

Introduction générale

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

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

Lorsque la production des fours est supérieure à la demande de marché, il y a un excédent de production de clinker qui est stocké dans des halls de stockage fermés et lorsqu'il s'accumule et qu'il ne reste plus assez d'espace, il est stocké à ciel ouvert exposé à des conditions climatiques variables.

Le travail consiste à réaliser une comparaison de l'impact des conditions environnementales sur le clinker stocké dans des lieux différents. Le premier est stocké en silo et le second à l'air libre. Ensuite, la performance mécanique du ciment produit est examinée pour ces différents clinkers.

Le premier chapitre entame les définitions générales sur le ciment et le procédé de fabrication de ce produit. Dans le deuxième chapitre, les conditions de stockage et les propriétés du clinker sont présentées. La méthodologie des expériences relatives au thème étudiées définie dans le troisième chapitre. Enfin, les résultats obtenus et leur interprétation sont dégagées dans le quatrième chapitre.

Nomenclature

Symbole	signification
CaO	Chaux libre
SiO ₂	Silice
Al ₂ O ₃	Alumine
Fe ₂ O ₃	Hématite
C ₃ S	(CaO) ₃ (SiO ₂) ou Alite
C ₂ S	(CaO) ₂ (SiO ₂) ou Belite
CaCO ₃	Calcaire
C ₄ Af	(CaO) ₄ (Al ₂ O ₃ (FeO ₃) ou Ferrite
CaSO ₄	Gypse
PAF	la perte au feu
XRF	Spectrométrie Fluorescence rayon X
XRD	Diffraction des Rayons X
CSH	(CaO)(SiO ₂)(H ₂ O) ou Silicate de Calcium
CH	Ca(OH) ₂ ou Pentlandite

Bibliographique

- [1] Seidel G., Huckauf H., Jochen S., Technologie des ciments, chaux, plâtre : Processus et installations de cuisson, Septima, Paris (1980).
- [2] Papadakis M et Venuat M., Industrie de la chaux du ciment et du plâtre, Dunod, Paris (1970)
- [3] Pliskin L., la fabrication du ciment, ciment français, Edition Eyrolis, Paris (1993).
- [4] Delubac G (coordonnateur)., Aspects théoriques du broyage, Mines et Carrières les Techniques, III-IV, (1996) 15-33.
- [5] : Quantum-Rx est une société Française spécialisée dans la vente de produits d'analyse et de détection de terrain de hautes technologies. 2021. Disponible à l'adresse : <https://quantum-rx.com/principe-de-la-xrf/>
- [6] : FENNICHE, T. (2014). Détermination de l'humidité. meftah blida: scmi.
- [7] : FENNICHE, T. (2016). Détermination de la Chaux libre par acidimétrie. meftah blida : scmi.
- [8] : FENNICHE.T, (2015). préparation des échantillons pour analyser par spectromètre . meftah blida
algeria : SCMI.
- [9],[10],[11] : MERZOUGUI I., (2022). Improve clinker reactivity - impact on cement performance. La recharchescintifique. Université Mohamed Khider de Biskra, Biskra. p. 63

Abstract

This experimental work, consists in making a comparison of the impact of the environmental conditions on the quality of the clinker stored in two different places. The first one is stored in a silo and the second one in the open air. The performance of cements produced with different percentages of the two clinkers (0%, 5%, 25%, 50%, 95%) is studied. The results obtained show that the variability of the clinker quality, both chemical and physical, significantly affects the strength of the cement, in particular the proportion of the main minerals in the clinker, the free lime and the aging of the clinker.

ملخص

يتكون هذا العمل التجريبي من إجراء مقارنة لتأثير الظروف البيئية على جودة الكلنكر المخزن في مكانين مختلفين. يتم تخزين الأول في صومعة والثاني في الهواء الطلق. تمت دراسة أداء الأسمنت المنتج بنسب مختلفة من الكلنكر (0% ، 5% ، 25% ، 50% ، 95%). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن التباين في جودة الكلنكر ، الكيميائي والفيزيائي ، يؤثر بشكل كبير على قوة الأسمنت ، ولا سيما نسبة المعادن الرئيسية للكلنكر والجير الحر و عمر الكلنكر.

Chapitre I
**Généralités sur la Production Industrielle
du Ciment**

Introduction

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

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

Lorsque la production des fours est supérieure à la demande de marché, il y a un excédent de production de clinker qui est stocké dans des halls de stockage fermés et lorsqu'il s'accumule et qu'il ne reste plus assez d'espace, il est stocké à ciel ouvert exposé à des conditions climatiques variables.

Le travail consiste à réaliser une comparaison de l'impact des conditions environnementales sur le clinker stocké dans des lieux différents. Le premier est stocké en silo et le second à l'air libre. Ensuite, la performance mécanique du ciment produit est examinée pour ces différents clinkers.

Le premier chapitre entame les définitions générales sur le ciment et le procédé de fabrication de ce produit. Dans le deuxième chapitre, les conditions de stockage et les propriétés du clinker sont présentées. La méthodologie des expériences relatives au thème étudiées définie dans le troisième chapitre. Enfin, les résultats obtenus et leur interprétation sont dégagées dans le quatrième chapitre.

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les principales étapes du processus de fabrication du ciment Portland composite, tout en précisant l'intérêt de broyage du clinker sur la composition finale du ciment à l'expédition pour la préparation du mortier et du béton.

Procédé de fabrication ciment

Les procédés de fabrication du ciment par voie sèche constituent à ce jour les modes d'élaboration du ciment les plus modernes et les plus performants. La fabrication du ciment Portland par voie sèche passe par différentes étapes de transformations physico-chimiques, sous l'action d'importantes quantités d'énergie tel qu'illustré en figure I.1. Elle s'effectue en deux étapes principales [1]:

- La production d'un semi-produit désigné sous le nom de clinker par cuisson de matières premières (calcaire, argile, alumine et oxyde de fer), préalablement broyés finement et mélangés dans les proportions bien définies.
- La fabrication du ciment par co-broyage du clinker avec du gypse (régulateur de prise) et éventuellement un ajout minéral.

Plusieurs types de ciments sont fabriqués. Les ciments « Portland CEMI » (ciment pur sans ajout, constitué de clinker et de gypse) et les ciments « Portland composite CEMII » (ciments avec ajouts).

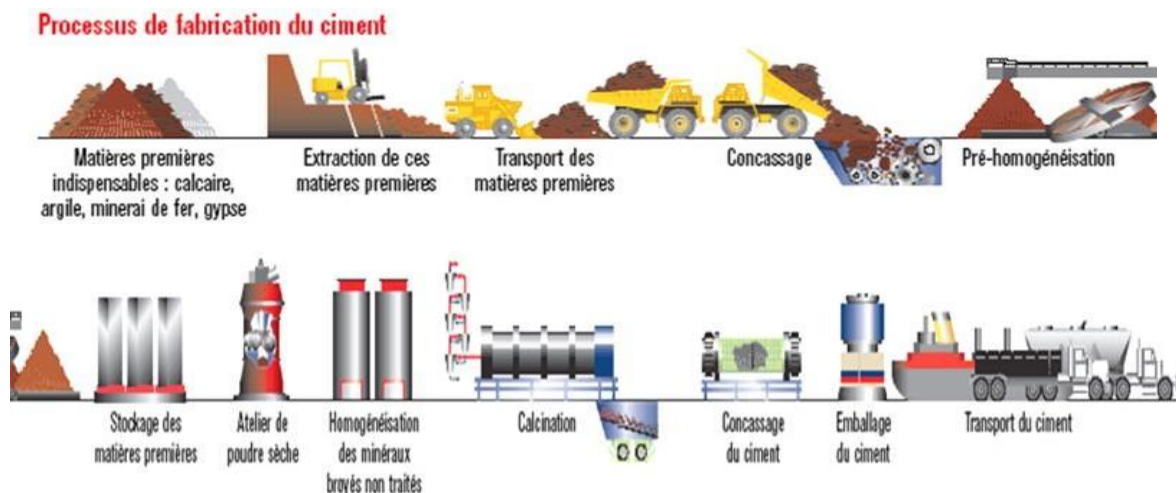


Figure I.1. Procédé de fabrication de ciment par voie sèche

Réception et contrôle des matières premières

Les matières premières principales entrant dans la fabrication des ciments portlands sont constituées de calcaire, d'argiles, de sables, et de minerais de fer (figure I.2). Les contrôles de réception des matières premières acceptées sont souvent limités à la détermination d'une ou plusieurs caractéristiques de base du matériau (titre en carbonate d'un calcaire, etc..).

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert, les carrières de calcaire et d'argile se situent respectivement à 1 km et 4km de la cimenterie. L'extraction de ces matières premières (figure I.3) se fait par abattage à l'explosif. Pour produire des ciments de qualités constantes, les matières premières doivent être très soigneusement échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition parfaitement régulière.



Figure I.2. Les carrières de calcaire et d'argile de la Cimenterie



Figure I.3. Extraction des matières premières de leurs carrières.

Le calcaire abattu à l'explosif subit deux opérations de concassage (figure I.4). Un concassage primaire qui permet de réduire la granulométrie de 1000 mm à l'entrée jusqu'à 100 mm à la sortie et un second concassage qui permet de réduire la granulométrie jusqu'à 30mm.



Figure I.4. Atelier de concassage

L'argile subit un concassage unique qui réduit la taille des particules à 30 mm. Après le concassage, une combinaison intime des différents matériaux préalablement concassés doit être réalisée, de manière à disposer d'un mélange de caractéristiques chimiques et physiques uniformes dans sa masse, cette étape est la pré homogénéisation des matières premières dans des silos de stockage (figure I.5).

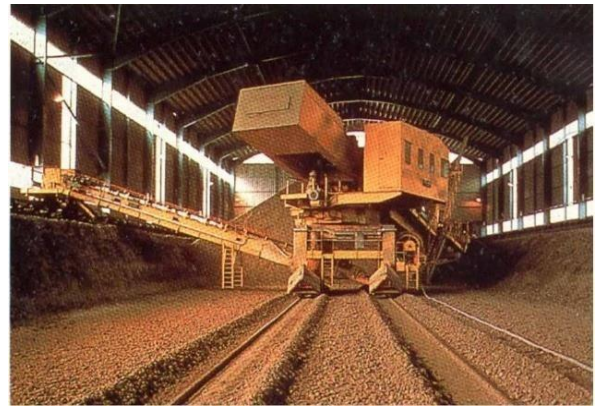
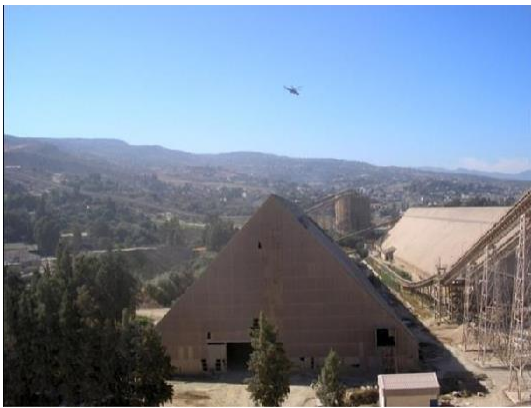


Figure I.5. Pré homogénéisation et stockage des matières premières

Dosage, broyage, séchage et homogénéisation du mélange cru

Le dosage précis des matériaux introduits dans le broyeur est important car il détermine la constance de la composition chimique du cru, essentielle pour la stabilité de fonctionnement du four et pour l'obtention d'un ciment de qualité. La matière première ainsi dosée, conformément aux analyses du laboratoire, est acheminée au moyen d'une bande transporteuse vers une trémie, pour être ensuite déversée dans un convoyeur d'alimentation du broyeur. Le mélange cru est broyé dans un broyeur à boulets (figure I.6) en poudre fine et séché simultanément à l'aide des gaz chauds du four et/ou de l'air d'exhaure du refroidisseur.



Figure I.6. Broyeur à boulets ducru de la cimenterie

Propriétés d’usage du mélange cru

La préparation du cru consiste à réaliser un mélange homogène de matières premières dans les proportions permettant d’obtenir un clinker dont la composition chimique respecte les limites précisées par le tableau I.1 suivant :

Tableau I.1 : Teneurs des oxydes dans le cru

Teneur %	Oxyde						
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O, Na ₂ O	SO ₃
Limite	60-69	18-24	4-8	1-8	< 5	< 2	< 3
Moyenne	65	21	6	3	2	1	1

Ce tableau indique les valeurs usuelles dans lesquelles s’inscrit la composition de cru de la cimenterie. Il faut élaborer des mélanges des matières de base, de façon à obtenir la composition chimique voulue. Des exemples de teneurs moyennes d’une farine crue industrielle sont cités dans le tableau I.2. La composition chimique de la farine crue, est déterminée au niveau du laboratoire de la cimenterie par Diffraction des rayons X.

Tableau I.2 : Teneurs moyennes des composants secondaires

Element	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻	SO ₃	MgO
Teneur (%)	0,5 – 1,3	0,05 -0,5	0,01- 0,02	0,1 – 0,5	< 2

La finesse optimale de broyage de cru se détermine expérimentalement, il convient cependant de noter que les meilleurs clinkers sont obtenus à partir de crus très fins. A l’échelle industrielle, la finesse de la farine crue se caractérise par un refus au tamis 90 µm de l’ordre de 5 à 20 % [2].

Cuisson du clinker

La cuisson est le processus de transformation de la farine crue en clinker, par un apport thermique suffisant, pour obtenir des réactions chimiques complètes (clinkérisation) conduisant à la formation des principaux composés de ce semi-produit (figure I.7).



Figure I.7. Le clinker

Le procédé de cuisson (figure I.8) comporte un préchauffeur à cyclones, un four rotatif et un refroidisseur à grilles. Le préchauffage de la farine crue s'effectue dans la partie supérieure du préchauffeur à cyclones. La décarbonatation a lieu dans la partie basse du préchauffeur et la partie amont du four rotatif. La clinkérisation se fait toujours dans la partie aval du four rotatif. Les gaz chauds sont produits dans le four par combustion du gaz naturel. Des ventilateurs situés après le préchauffeur et le refroidisseur aspirent les gaz à travers ces installations. Après passage dans le préchauffeur, la farine progresse vers l'aval sous l'effet de la rotation et la pente du four (3.5%). Au fur et à mesure de son acheminement, la matière s'échauffe jusqu'à clinkérisation vers 1400 à 1500°C (figure I.9). A la sortie du four, le clinker tombe dans un refroidisseur où se produisent les échanges thermiques.



Figure I.8. Ligne de cuisson d'une cimenterie

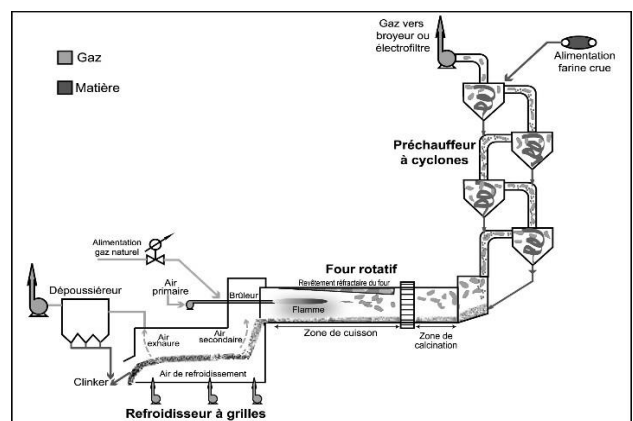


Figure I.9. Processus de cuisson

Le clinker se compose essentiellement des 4 phases cristallines principales indiquées au tableau I.3. Ces phases représentent environ 95% de la masse du clinker et sont constituées par les quatre oxydes CaO, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃. Les abréviations C₃S, C₂S, C₃A et C₄AF correspondent réellement à des phases pures qui n'existent pas dans le clinker industriel. Chacune des combinaisons citées forme des solutions solides avec d'autres oxydes.

Tableau I.3. Différentes phases du clinker [3]

Minéraux purs	Formules	Abréviation	Minéral présent	Pourcentage
Silicate tricalcique	3 CaO SiO ₂	C ₃ S	Alite	45-65
Silicate bicalcique	2 CaO SiO ₂	C ₂ S	Belite	10-30
Aluminate tricalcique	3 CaO Al ₂ O ₃	C ₃ A	Aluminate	5-15
Ferrite d'aluminium tetracalcique	4 CaO Al ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄	C ₄ AF	Alumino-Ferrite	5-15

Broyage de clinker et production du ciment

Le clinker est un semi-produit, impropre à la vente, il doit être transformé en ciment. Le ciment est obtenu par broyage des granulés de clinker, avec addition d'un faible pourcentage de gypse (4 – 5%) comme régulateur de prise et éventuellement 15 à 20 % d'un ou deux constituants secondaires. Les opérations dites de broyage du ciment ont pour but d'accroître la réactivité du clinker, par augmentation de sa surface spécifique et par création de défauts de cristaux en surface de grains. Ce traitement développe les propriétés hydrauliques du ciment et lui confère ses propriétés rhéologiques.

Le broyage du clinker est généralement réalisé en circuit fermé (figure I.10). Le refus des particules grossières quittant le séparateur est recyclé en amont du circuit de broyage afin de subir à nouveau la fragmentation dans le broyeur à boulets. Afin d'éviter le sur broyage des particules, le broyeur est traversé par un courant d'air dont le rôle est d'emporter les fines particules au fur et à mesure de leur formation. L'air sortant du broyeur contient de fines particules de matière. Celles-ci ne sont entraînées que si la vitesse du flux d'air est suffisamment élevée ; en pratique le débit d'air nécessaire est de l'ordre de 700 à 1500 Nm³/h par tonne de ciment.

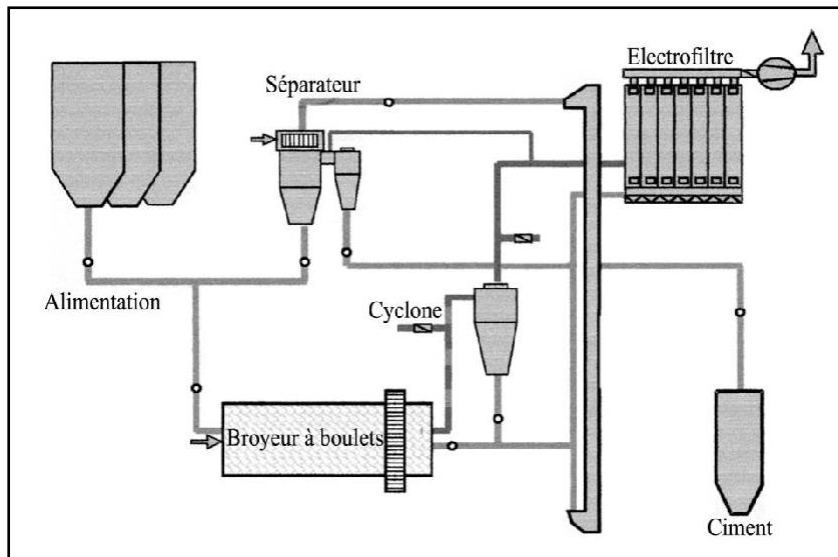


Figure I.10 Circuit fermé de broyage du clinker

I.5.Finesse et constituants du ciment

Finesse

La finesse du ciment lors du broyage du clinker est exprimée en termes de surface spécifique (cm^2/g), mesurée par le test de Blaine, et parfois par la courbe granulométrique. La surface spécifique Blaine est la surface totale des grains contenus dans l'unité de masse de l'ensemble des particules. La surface spécifique Blaine d'un ciment portland ordinaire, d'une valeur supérieure ou égale à $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ [4] dans l'industrie du ciment, est une condition de première satisfaction pour la préparation du béton. Plus les particules du ciment seront fines, plus la surface mouillable sera grande et plus les performances du ciment seront élevées.

Constituants

Le ciment résulte du broyage d'un certain nombre de constituants. Le plus important étant le clinker formé de silicates et d'aluminates de chaux (Tableau I.3). La figure I.11 suivante donne une microphotographie d'un clinker portland. Le tableau I.5 donne l'identification de la couleur des différentes phases.

Tableau I.4. Couleurs des différentes phases du clinker [5]

Phase	K ₂ SO ₄	C ₃ A	C ₃ S	C ₂ S	CaSO ₄	CaO
Couleur	Jaune	Vert	Rouge	Bleu clair	Vert	Blanc

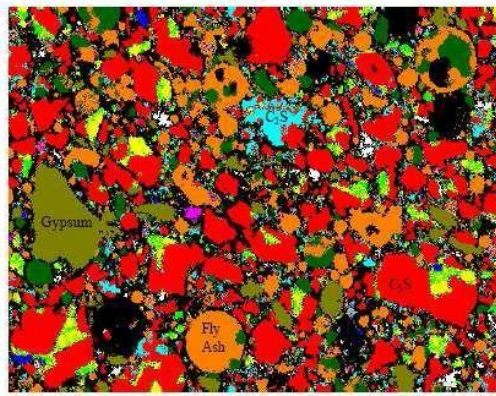


Figure I.11. Microphotographie d'un clinker

Le clinker « pur » très fin est caractérisé par de courts délais de prise (3 à 5 min), ce qui le rend pratiquement inutilisable. Ce fait est surtout dû à la phase C3A qui s'hydrate rapidement tandis que ses hydrates deviennent rapidement compacts et se cristallisent. Il s'ensuit que pour ralentir la prise du ciment, il faut lier les hydro aluminates de calcium en d'autres composés. Ce rôle peut bien être joué par le gypse qui réagit énergiquement avec l'hydro aluminat tricalcique et produit un sel insoluble.

Selon leur composition, les ajouts minéraux se présentent principalement par de la silice amorphe qui réagit activement avec l'hydroxyde de chaux qui se forme lors de l'hydratation des principaux minéraux du clinker. Le rapport entre le clinker et l'adjuvant hydraulique (ajout minéral) est établi en fonction de l'activité de l'ajout et de la composition minéralogique du clinker.

I.6 Stockage et expédition du ciment

Après le broyage, le ciment est sous sa forme définitive, il est alors stocké dans des silos verticaux qu'il faut entretenir régulièrement. En effet au bout d'un certain temps, le ciment sèche dans les silos et s'entasse. Il faut donc qu'il se renouvelle régulièrement dans les silos afin qu'il n'y stagne pas. Pour se faire, on installe, des injections d'air dont la pression est plus forte vers l'extérieur et moins forte vers le centre du silo. En tête du silo un aspirateur d'air est également mis en place pour dégonfler le silo. Par ce procédé, le ciment acquiert les propriétés d'un fluide et ne se bloque plus, économisant des pertes qui peuvent être conséquentes. Le ciment est ensuite extrait de ces silos par un bec verseur et quitte l'usine en Sacs ou en vrac.

Chapitre II

Conditions de stockage et propriétés du clinker

II.1. Introduction

Lors du stockage du clinker dans des espaces ouverts, le clinker est exposé aux facteurs naturels, en particulier (pluie et pression atmosphérique). L'eau de pluie réagit avec les minéraux du clinker, ce qui affecte ces performances chimiques.

Contrôle de la qualité du clinker

Le clinker Portland est le composant hydraulique principal du ciment. Il est obtenu par cuisson à 1450°C à partir d'un mélange de matières premières. Afin d'obtenir les propriétés commerciales désirées du clinker, sa qualité est suivie et contrôlée au laboratoire de la cimenterie lors de sa production et après broyage avec le mélange gypse et calcaire pour l'obtention du ciment. Les techniques d'analyse souvent utilisées sont la Fluorescence X et la Diffraction des rayons X (pour certain centre).

Stockage du clinker

Généralement le clinker est stocké dans des silos ou a ciel ouverte en cas silos plein. La capacité du stockage varie d'une cimenterie à l'autre.

Stockage du clinker dans des silos

Le clinker sortant du refroidisseur est rempli dans de grandes cuves souvent de forme cylindrique en matériaux isolants et solides pour empêcher les facteurs naturels d'atteindre le clinker appelé silo. Lorsque la production des fours est supérieure à la demande du marché, il y a un excédent de production de clinker qui sera stocké dans des halls de stockage fermés.

Clinker stocké dans une cour ouverte

Lorsque le clinker s'accumule dans les halls de stockage fermés et il ne reste plus assez d'espace, il est stocké dans une cour ouverte pour être utilisé en cas de besoin. Ainsi, il sera exposé à des conditions climatiques variables, ce qui peut entraîner une perte d'une partie de ses performances.

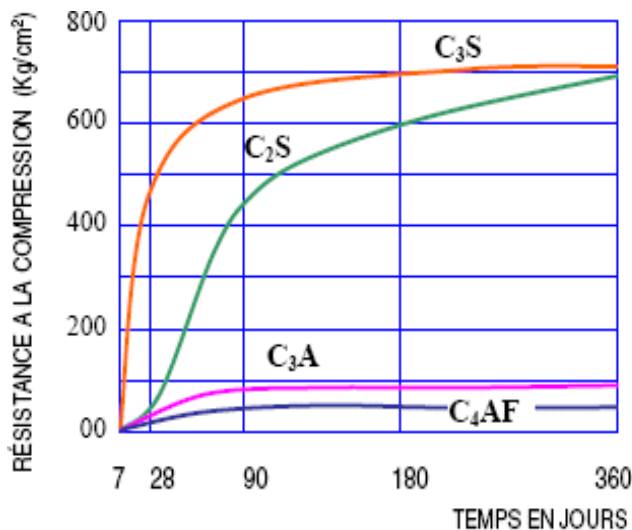
Impact de l'humidité sur la pré-hydratation des minéraux du clinker

Des études ont montré que le clinker laissé à l'extérieur perd une partie de ses performances suivant la durée d'exposition aux intempéries. Car il y aura une dissolution partielle des minéraux du clinker C3S, C2S, C3A et C4AF qui sont responsables en grande partie dans le développement des résistances.

Cette étude a été réalisée à différentes périodes de temps, où l'interaction de tous les composés présents dans le clinker a été observée et photographiée au microscope (figures II.2, II.3) pour assurer la validité de l'expérience.

Tableau II.1. Hydratation des minéraux du clinker [1]

Phase Minérale	Réaction	Produits de réactions
C3S (alite) 55-65%	Modéré	Gel de silicate de calcium [CSH] et calcium Lent mais contenant du fer Hydroxyde [Ca (OH)2]
C2S (bélite) 15-25%	Lente	Gel de silicate de calcium & hydroxyde de calcium
C3A (aluminat) 8-12%	Très rapide	Gamme de calcium hydrates d'aluminates
C4AF (ferrite) 6 - 9%	Lente et Variable	Similar à C3A Produits d'hydratation mais contenant du fer



- C₃S et C₂S – Constituants résistants (représentent ~70% en poids).
- C₃A et C₄AF – Requis comme fondants (représentent ~20% en poids).
- Gypse – Régularisation prise (représentent ~4% en poids)

Figure II.1. Développement des résistances dans le temps des constituants purs du ciment portland

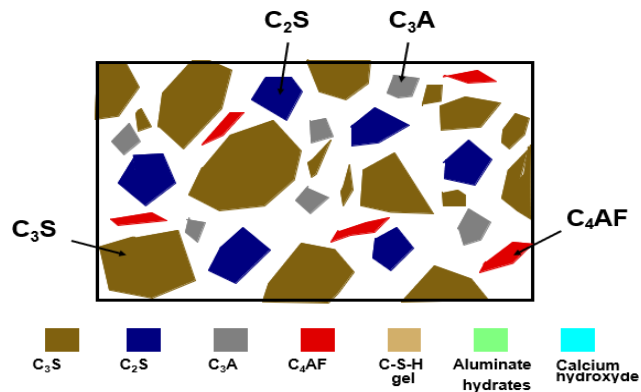


Figure II 2. Particules de clinker avant réaction avec l'eau[2]

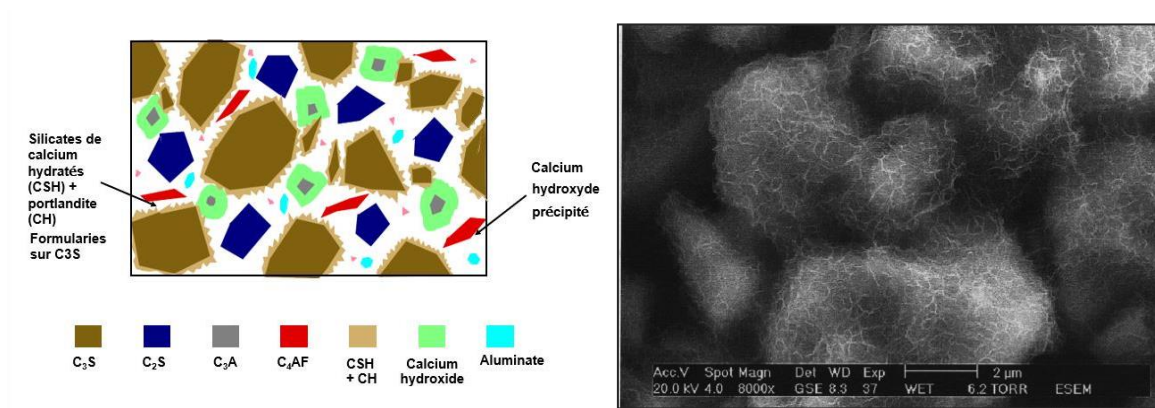


Figure II 3. Deux heures après avoir ajouté de l'eau au clinker[3]

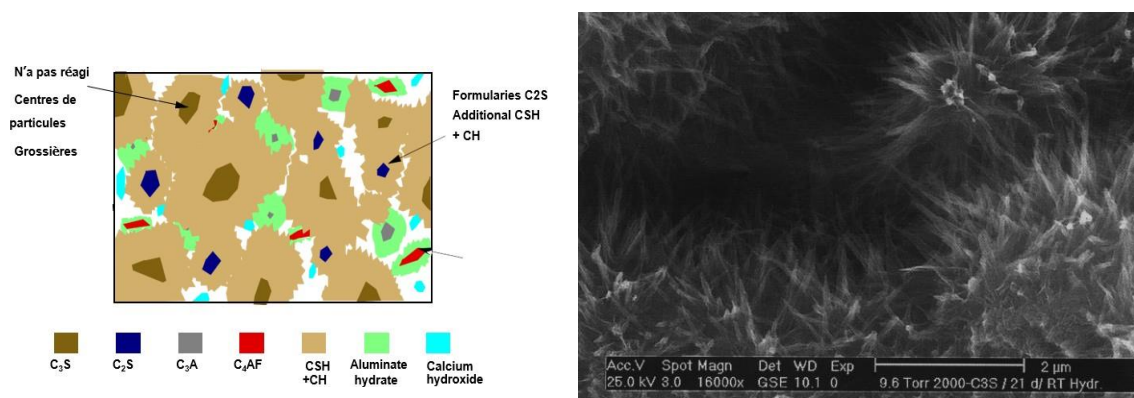


Figure II 4. 28jours après avoir ajouté de l'eau au clinker[4]

La figure II.4 ci-après illustre l'évolution du taux d'hydratation de C3S en fonction du temps constatée par plusieurs auteurs [5]. Ce qui confirme la rapidité de la réaction du composé du clinker sous l'effet de la teneur de l'humidité lors du stockage à ciel ouvert.

Lors du contact du clinker avec l'eau, l'aluminate tricalcique (C_3A) réagit en premier, se dissout et se recristallise.

Vient ensuite la réaction d'hydrolyse, de l'alite-Silicate tricalcique (C_3S) forme autour des grains une pellicule de gel et met en même temps des ions Ca^{2+} en solution.

Chapitre III
Matériel et Méthodes

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la détermination des types de clinker utilisée et de la quantité dans la fabrication du ciment sur le quel cette expérimentation a été menée, en plus des analyses avant et après production.

III. 2. Préparation des échantillons

Clinker

Deux échantillons de clinker sont prélevés à la sortie du refroidisseur à une température comprise entre 100 et 180 °C et du tas qui se trouve stocké à l'air libre à ciel ouvert.



Figure III.1. (a) Clinker sortie refroidisseur (b) Stockage clinker à l'air libre

Ciment

Des échantillons de ciment ont été produits par broyage des deux clinkers, Clinker A (sortant du refroidisseur), Clinker B (stocké à l'air libre) et du gypse.



Figure III.2. Echantillon de ciment

Méthodologie de préparation des échantillons de ciment

Séchage et concassage des matériaux

Les échantillons de clinker et de gypse ont été séchés à l'étuve respectivement à 105 et 45 °C durant 1h et 3heures. Ensuite ces matériaux ont subi le concassage (figure III.1) à un diamètre de particules inférieur à 3.5mm.



Figure III.3. Concasseur de matériaux

Broyages production de ciment

Le broyage séparé des clinkers (A et B) ainsi que le gypse ont été effectués dans un broyeur à disque (figure III.4) pour la production de poudre fines.



Figure III.4. Broyeur à disques

Les matériaux ainsi séchés et broyés ont été mélangés dans un mélangeur turbula durant 15 minutes dans des proportions (tableau III.1), déterminées par calcul matriciel

Tableau III.1 : Composition des ciments préparés

	%Clinker A	%Clinker B	%Gypse
Ciment 1	95	0	05
Ciment 2	90	05	05
Ciment 3	70	25	05
Ciment 4	45	50	05
Ciment 5	0	95	05

Analyse physico-chimique des échantillons de ciment

La caractérisation physicochimique des cinq ciments préparés a été effectuée par différentes techniques d'analyse.

Analyse par spectrométrie Fluorescence X (XRF)

La spectrométrie par fluorescence X ou (SXRF) est une technique analytique permettant d'obtenir des analyses quantitatives élémentaires. L'échantillon est bombardé par des photons émis d'un tube à rayon X. Des électrons appartenant aux couches internes des atomes sont alors éjectés. Il s'agit de la phase d'absorption du rayonnement primaire. Les atomes de la matière ainsi ionisés par leur électron 'manquant' se trouvent en état instable. Les couches internes de ces atomes se réorganisent afin de tendre vers un état plus stable. Les électrons des couches plus externes supérieures comblent les couches internes insaturés, il s'agit de la phase d'émission (faisceau de rayon X secondaire émis). Cette relaxation électronique libère une énergie sous la forme d'un photon caractéristique pour chaque atome et pour chaque transition de chaque atome.[1]

Analyse par diffraction des Rayons X (XRF)

La diffractométrie de rayons X est une technique d'analyse basée sur la diffraction des rayons X sur la matière. La diffraction n'ayant lieu que sur la matière cristalline, on parle aussi de radiocristallographie. Pour les matériaux non cristallins, on parle de diffusion.

L'appareil de mesure s'appelle un diffractomètre. Les données collectées forment le spectre de diffraction ou diffractogramme .

• Mode opératoire

- Peser $10 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ de la matière à analyser
- Ajouter 0.6 g de cellulose ;
- Sélectionnez le programme de broyage approprié ;
- Récupérer le matériel décheté (assurez-vous que le matériel est entièrement recyclé) ;
- Mettre l'anneau dans la pastilleuse (figure III.5) ;
- Mettre la pastille dans l'appareil XRF (figure III.6)
- Analyser et lire les résultats sur l'ordinateur [3]



Figure III.5. Pastilleuse d'échantillons



Figure III.6 Appareil d'analyse XRF

Détermination de la chaux libre

Ce mode opératoire de la technique analytique acidimétrie permet de déterminer le pourcentage de la chaux libre contenue dans le ciment.

• Mode opératoire

- Une masse de 1 g de ciment, est mise dans un erlenmeyer propre et bien séché de 250 ml
- 50 ml d'éthylène glycol est ajouté à l'erlenmeyer. La solution est ensuite chauffée à une température 90 °C, puis filtrée (filtre moyen).
- Quelques gouttes de bleu de méthylène est ajoutée à la solution filtrée qui sert comme un indicateur coloré.
- Titrer avec une solution de HCl 0,1 N jusqu'à l'apparition de la couleur jaune.
- Lire le volume V correspondant au changement de la coloration [4]

$$\% \text{ CaO libre} = \text{Fact} * V_{(\text{HCl})}$$

Fact= Facteur de solution 0.272 et V= Volume de solution dosé HCl 0,1 N



Figure III.7. Le matériel utilisé

Déterminations du taux d'humidité

Ce mode opératoire a pour objet de décrire les étapes à suivre pour déterminer le pourcentage de l'humidité contenue dans le ciment.

- **Mode opératoire**

- Peser un verre de montre vide et propre m1
- Ajouter une masse de produit brute à analyser sur le verre de montre soit m2
- Porter le verre de montre et son contenu dans une l'étuve pendant 1 heure
- Faire sortir le verre de montre et son contenu de l'étuve
- Mettre le verre de montre et son contenu dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'il prenne la température ambiante et peser m3 [5]

$$\%H_2O = \frac{(P_1 + P_0) - P_2}{P_1} * 100$$

P0 = poids du verre de montre vide

P1 = poids de la matière

P2 = (P0 + P1) poids de la matière après séchage

III.4.4 Mesure de la perte au feu (PAF)

La mesure de la perte au feu (PAF) donne une indication sur le taux de matière organique et volatile contenue dans la matière.

- **Mode opératoire**

- Peser le creuset vide, soit m1
- Peser une quantité de ciment égale $1 \pm 0.005g$, soit m2
- Placer le creuset dans le four à moufle (figure III.5) pendant 1hour
- Faire sortir le creuset et mettre la dans le dessiccateur pendant 10 min soit, m3 [6]

$$\%PF = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100$$

m1 : masse du creuset

m2 : masse de creuset + produit

m3 : masse de creuset +produit après calcination



Figure III.8. Le four à moufle

III.4.5. Mesure du taux de refus

Le pourcentage du refus sur le tamis 45 μm est déterminé pour contrôler l'état opérationnel du concasseur et le degré concassage du matériau.

Ce taux est déterminé au laboratoire au moyen la tamiseuse Alpin (figure III.6)



Figure III.9. Tamiseuse Alpin du refus

- **Mode Opérateur**

- Placez le tamis à utiliser sur le cadre
- Peser 25g de matière et le vider sur le tamis
- Installer le couvert en Plexiglas
- Régler le temps de tamisage à 3 minutes
- Actionner l'aspiration du système
- Après 3 minutes, l'appareil s'éteint automatiquement et peser le matériau restant sur le Tamis [7].

Test mécanique sur les éprouvettes du mortier à ciment

Ce test est très important car il est considéré comme un indicateur de qualité globale ciment dont le but est de mesurer la résistance aux différentes sollicitations dans le temps. Les âges de 02 et 28 jours sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges, ils devront être réalisés dans les limites de temps indiquées [8]

Remarque :

Pour s'assurer de la qualité du ciment sur lequel on effectue notre étude on doit d'abord s'assurer des résultats obtenus durant la période de 1 à 365 jours. Par contre l'étude de ces résultats prend énormément de temps, pour cela on effectue des études seulement pour des périodes précises 2-7-28. Sachant que ces périodes choisies sont les plus importantes pour l'étude de notre ciment d'où le fait de son avancement semi-régulier quand sa arrive à 28 jours sous la consigne de l'équipe spécialisée dans la cimenterie. De ce fait cette technique est utilisée pour faciliter la production et la vente du produit. Pour s'assurer de la qualité du ciment sur lequel on effectue notre étude on doit d'abord s'assurer des résultats obtenus durant la période de 1 à 365 jours. Par contre l'étude de ces résultats prend énormément de temps, pour cela on effectue des études seulement pour des périodes précises 2-7-28. Sachant que ces périodes choisies sont les plus importantes pour l'étude de notre ciment d'où le fait de son avancement semi-régulier quand sa arrive à 28 jours sous la consigne de l'équipe spécialisée dans la cimenterie. De ce fait cette technique est utilisée pour faciliter la production et la vente du produit.

Préparation des éprouvettes de mortier

• Mode opératoire

- Verser 225ml d'eau dans le récipient du malaxeur et ajouter une masse de 450g de ciment
- Mettre le malaxeur en marche à une vitesse lente pendant une minute, puis introduire dans les dernières 30 secondes une masse de 1350 g de sable normalisé sec
- Mettre le malaxeur (figure III.7) à une vitesse lente pendant 30 secondes après arrêter le mouvement pendant 90 secondes, reprendre le mélange pendant une minute à une vitesse rapide.
- Ensuite, à l'aide d'une spatule, le mélange bien tassé est versé dans le moule.

- Après un doublé de choc au moyen de l'appareil de choc (figure III.8), le mortier est mis dans la chambre humide à 90% et une température de $(20 + 1) ^\circ\text{C}$
- Après 24 heures, le solide est démoulé et les éprouvettes sont conservé dans le bain d'eau ;
- Les essais de résistances (figure III.9) sont effectués à différents âges, après 02 et 28jours.
- Analyser et Lire les résultats

Figure III.10. Le malaxeur du mortier



Figure III.11. Appareil de choc

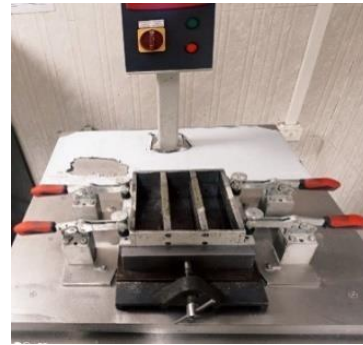


Figure III.12. Test Résistance à la compression



Chapitre IV

Résultat et interprétation

Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus lors des essais d'analyse et de caractérisation physique et mécanique des ciments élaborés à partir de deux clinkers stockés différemment.

Analyse chimique des échantillons de clinker

Analyse de la fluorescence X (XRF)

Le tableau ci-dessous VI.1 présente les résultats d'analyse des échantillons de clinker, obtenus par la fluorescence X (XRF). La teneur des oxydes des deux clinkers est presque similaire. Ce qui montre que les clinkers sont de même nature, produits par une même voie du procédé. D'autre part, le calcul des phases minéralogiques par les équations de Bogue donne le tableau IV.2. On constate que la teneur de C3S du clinker (A) (62.65%) est supérieure à celle du clinker (B) (54.65%). Ceci peut être traduit par une éventuelle dissociation de cette phase par la présence de l'eau. Rappelons que la présence de l'eau (pluvieux) impacte les minéraux du clinker en particulier le C3S (silicate tricalcique) et conduit à leurs dissolution (précipitation) en formant du CSH (silicate de chaux hydraté) et le CH (portlandite) selon la réaction suivante :

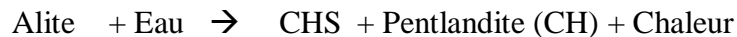


Tableau IV.1 Analyse par Fluorescence X du clinker

Désignation	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Clinker A	21.49	5.46	3.51	66.36	0.87	0.37	0.41	0.13
Clinker B	21.84	5.55	3.54	66.62	0.77	0.26	0.45	0.13

Tableau IV.2 : Phases minéralogiques des clinkers

Analyse	LS	AR	SR	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ S+C ₂ S
Clinker A	96.32	2.40	1.56	62.65	13.57	8.54	10.67	76
Clinker B	95.17	2.40	1.57	54.65	20.85	8.72	10.76	75.50

IV.2.2 Analyse par diffractométrie X

La détermination qualitative et quantitative des phases cristallines solide des deux clinkers est effectuée avec un diffractomètre XRD de type reitveld. La conversion des pics des spectres obtenus en % était déterminée automatiquement par le logiciel de l'analyseur. Les résultats obtenus de cette analyse sont donnés au tableau IV.3. On constate une augmentation dans le pourcentage de la chaux libre, la portlandite et une diminution dans la teneur de C3S (alite), ce qui confirme le résultat dégagé ci-dessus.

La dissolution partielle des minéraux du clinker libère une quantité de chaux proportionnelle au degré de l'hydratation, ce qui explique l'augmentation de la chaux libre mesuré par XRD (figure IV.1).

Tableau IV.3 : Analyse par diffractométrie X des clinkers

Item	Alite	Belite	Aluminate	Ferrite	Free lime	Portlandite	Periclase
Clinker A	70,76	8,89	8,21	10,22	0,56	0,07	0,34
Clinker B	62,80	12,10	10,51	10,76	2,25	2,97	0,11

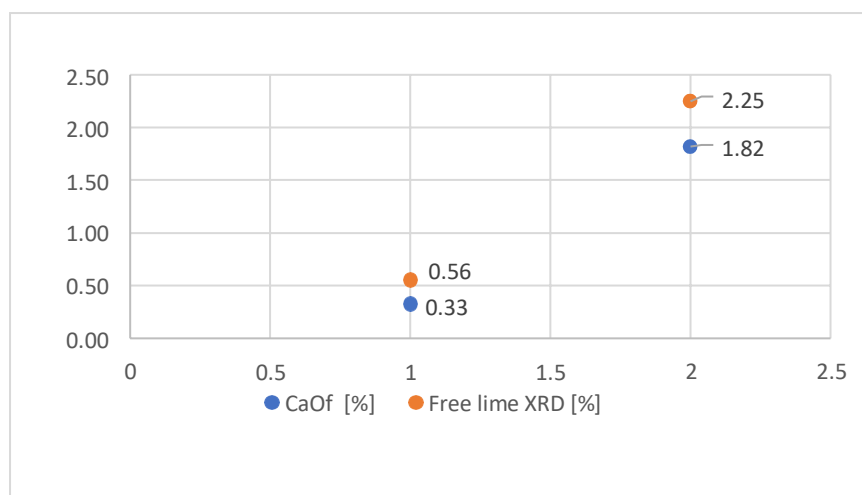


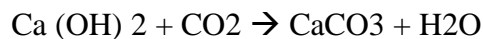
Figure IV.1. Variation de CaO et free lime XRD

IV. 2.3 Analyse chimique des clinkers

Les résultats d'analyse pour la détermination du taux d'humidité, la perte au feu et de la chaux libre des deux clinkers par voie analytique sont présentés au tableau IV.4.

La comparaison entre les valeurs du tableau montre clairement que le clinker stocké à l'air libre a été influencé fortement par les conditions du milieu ambiant externe. En effet, il a été humidifié, sa perte au feu et sa chaux libre ont nettement augmenté.

Lors de l'exposition du clinker à l'air libre, en présence de la grande surface de ses particules contenant des pores ouverts, le Ca(OH)_2 libéré lors de l'hydratation réagit assez rapidement avec le CO_2 atmosphérique pour produire du CaCO_3 selon la réaction :



En conséquence la perte au feu du clinker augmente par la production du carbonate de calcium, ce qui conduit à son vieillissement par la réduction de sa teneur en principaux minéraux.

Tableau IV.4. Analyse chimique des deux clinkers

Echantillon	H2O	PAF	CaO libre
Clinker A	0.00	0.03	0.33
Clinker B	1.22	3.96	1.82

Analyse des ciments préparés

Les résultats de caractérisation chimique, cristallographique, granulométrique et mécanique des 5 ciments préparées au laboratoire sont donnés par les tableaux ci-après.

Le tableau IV.5-IV8 présentent l'analyse par fluorescence et diffractométrie X, du taux d'humidité, pourcentage chaux libre, la perte au feu, les refus aux tamis $45\mu\text{m}$ et $90\mu\text{m}$, et la résistance mécanique après 2, 7 et 28 jours.

Tableau IV.5 : Analyse par Fluorescence X des ciments

Item	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Ciment 1	18,17	4,60	3,10	60,15	0,93	1,93	0,46	0,13
Ciment 2	17,98	4,52	3,09	60,47	0,82	2,10	0,46	0,13
Ciment 3	17,91	4,55	3,07	60,64	0,81	2,10	0,46	0,13
Ciment 4	18,10	4,50	3,08	60,31	0,89	2,34	0,51	0,13
Ciment 5	18,02	4,45	3,06	60,46	0,86	2,14	0,50	0,13

Tableau IV.6. Analyse XRD

Désignation	Alite	Belite	Aluminate	Ferrite	Free lime	Portlandite	Periclase
Ciment 1	57.02	10.76	7.60	9.59	0.22	0.13	0.39
Ciment 2	56.39	15.62	7.74	9.98	0.16	0.16	0.33
Ciment 3	55.45	17.70	7.97	9.20	0.63	0.75	0.38
Ciment 4	54.92	19.27	8.49	8.46	1.62	2.15	0.31
Ciment 5	54.65	20.42	9.12	7.60	3.79	5.01	0.21

Tableau IV. 7. Analyses chimique et granulométrique des ciments

Ciments	H ₂ O	PAF	CaO libre	R 45μ	R 90μ
Ciment 1	0.3	1.23	0.76	27.80	8.240
Ciment 2	0.70	1.34	0.77	28.12	9.160
Ciment 3	0.80	2.08	0.96	30.32	10.20
Ciment 4	1.10	2.91	1.00	30.68	13.64
Ciment 5	1.40	4.90	1.80	46.40	29.08

Caractérisation mécanique des ciments

Interprétation

On remarque que lorsque la quantité de clinker stocké à l'air libre augmente implique une augmentation de la portlandite, du taux d'humidité et du pourcentage de chaux libre.

Les courbes ci-dessus IV.2.et IV.3 montrent la variabilité des résultats des ciments au fur au mesure de l'augmentation du % du clinker extérieur augmente dans le ciment.

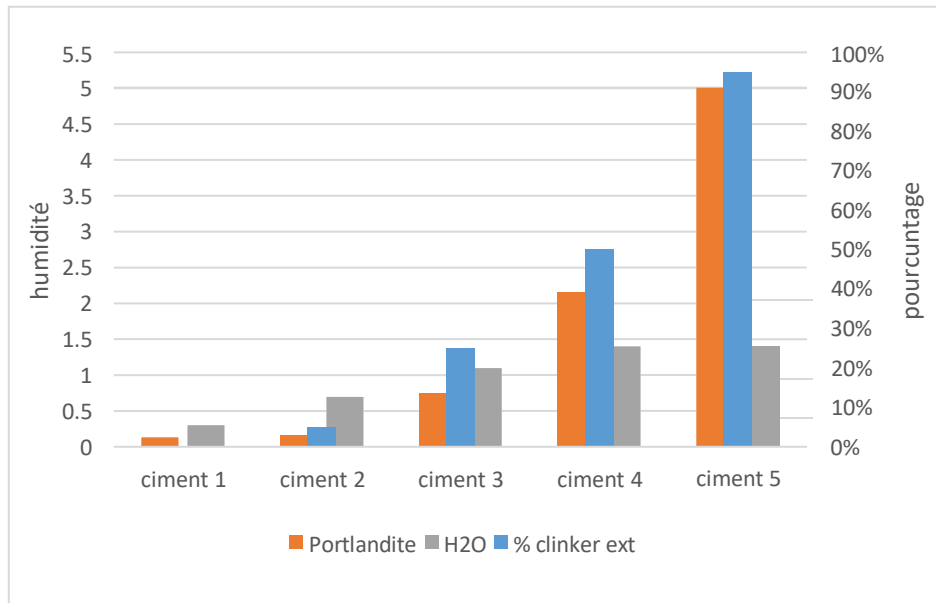


Figure IV.2. Variation de la portlandite, et taux humidité dans le ciment

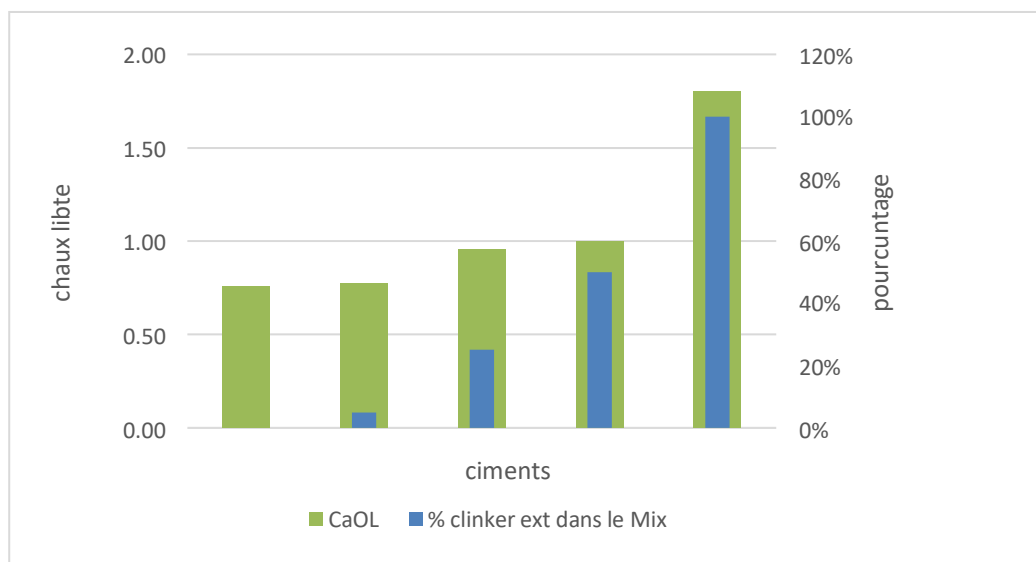


Figure IV.3. Variation de CaO libre dans les ciments

Les figures IV.4 et IV.5 ci-dessous montrent que la résistance du ciment est diminuée avec l'augmentation du pourcentage de portlandite. Comme expliqué auparavant, la perte de performance

du clinker stocké à l'air libre s'est bien manifesté lors des résultats obtenus avec différents ciments préparés. En plus de l'augmentation de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, la qualité du clinker est réduite par la perte de minéraux du clinker due à l'hydratation.

Tout ce que l'on appelle la résistance du ciment est simplement dû à l'hydratation du clinker lors de la réaction du ciment avec de l'eau. De plus cette hydratation est une réaction irréversible, le clinker hydraté sera dépourvu de toute résistance.

La variabilité de la qualité du clinker vieilli (stocké à l'extérieur exposé aux intempéries) à la fois chimique et physique lors de son utilisation dans le mélange peut affecter de manière significative les performances du ciment en particulier les résistances.

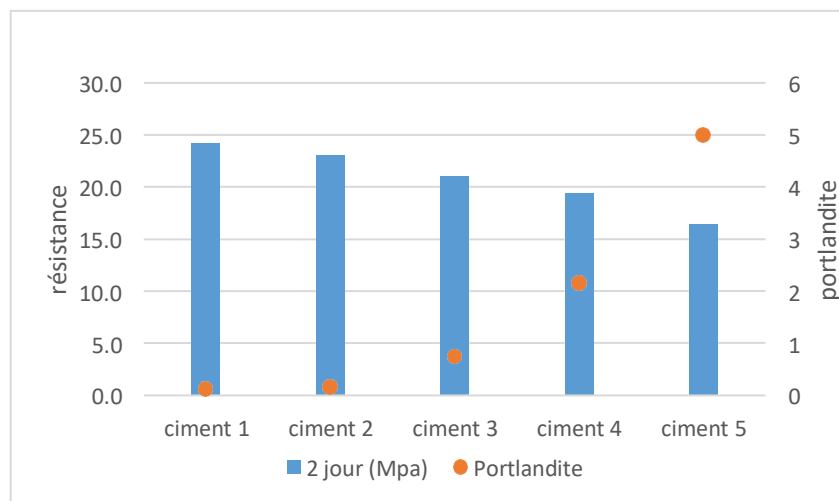


Figure IV.4. Résistance du ciment après 2 jours

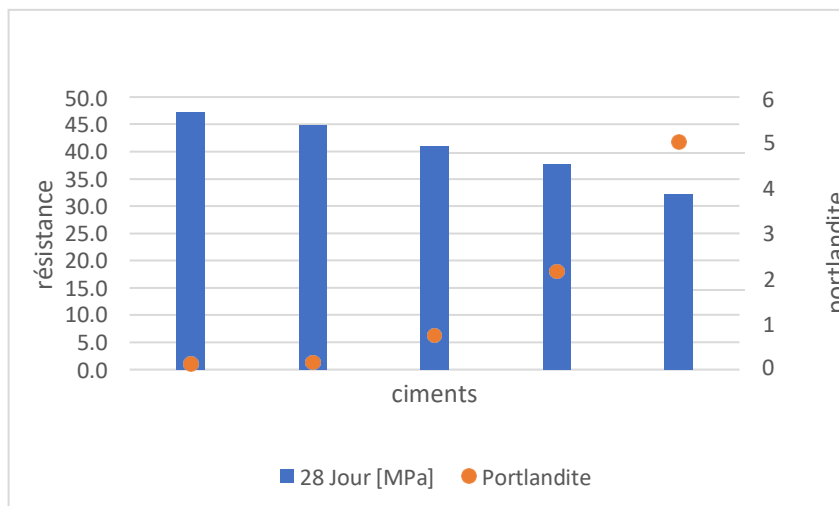


Figure IV.5. Résistance du ciment après 28 jours

Conclusion générale

Conclusion :

Le clinker laissé à l'extérieur perd une partie de ses performances du fait de la formation de Calcium hydroxyde lorsque le clinker est exposé à l'eau (pluie, neige ...) et de même lorsqu'il est exposé à l'atmosphère (humidité,..)

Le C3S potentiel (Alite) est réduit avec des niveaux de résistance considérablement réduits.

La Portlandite totale peut avoir différentes origines (selon la composition du ciment chaux libre hydratée du clinker, ou dissolution de l'Alite, ou encore hydratation de la chaux libre des poussières de four) ; La Portlandite peut également être minimisée (si le clinker est vraiment vieux, une partie de la Portlandite peut avoir été carbonatée) réagit avec le CO₂ pour former du carbonate de calcium CaCO₃.

Si on veut mesurer l'impact du clinker vieilli sur la performance du produit et si l'usine veut gérer au jour le jour, le dernier mot sera de suivre de près leurs atouts à court terme et d'y réagir en ajustant la quantité de clinker altéré à réintroduire dans le système

Pour cela, afin de minimiser l'impact sur la performance du ciment et les installations des solutions pratiques pour la gestion du clinker stocké à l'extérieur ont été mises en œuvre par certaines usines parmi elles :

- Couverture avec des bâches (réalisée à Lichtenburg)
- Recouvrement d'une légère couche de béton projeté
- Avoir des procédures d'utilisation du clinker altéré :

Des procédures ont été développées où l'utilisation de clinker « acheté » auprès d'un certain nombre d'usines est utilisée avec le clinker local.

Des tests de qualité sont effectués avant utilisation (par exemple Perte au feu, CaO libre, niveau C3S, produits d'hydratation).

Cela détermine le niveau de « mélange » entre les types de clinker (frais, stocké à l'extérieur et acheté) au broyeur à ciment.