

Licence Sciences et Techniques (LST)

Technique d'Analyse et Contrôle de Qualité

« TACQ »

PROJET DE FIN D'ETUDES

Titre

**La caractérisation et l'aptitude à la cuisson de différents
panneaux carrière.**

Présenté par :

◆ **MSIDA Hajar**

Encadré par :

◆ **Pr. KANDRI RODI Youssef (FST)**

Soutenu, Le 06/07/2022 devant le jury composé de :

- **Pr. BOUAYAD Abdessalam**

- **Pr. BOUAYAD Abdelouahed**

- **Pr. KADRI RODI Youssef**

Stage effectué à LAFARGE HOLCIM DE Meknès



LafargeHolcim

Année Universitaire 2021 / 2022

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES

B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

Ligne Directe : 212 (0)535 61 16 86 – Standard : 212 (0)535 60 82 14

Site web: <http://www.fst-usmba.ac.ma>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

Mes chers parents aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de vos sacrifices, de l'amour et l'affection dont vous n'avez jamais cessé de m'entourer toutes au long de ces années d'études.

Ma chère sœur qui n'a pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

Mes amis avec qui j'ai partagé des moments de bonheur et qui n'ont pas cessé de me soutenir dans les moments les plus durs.

Mes professeurs et toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Mes grands-parents, que Dieu les protège et leur donne une longue vie.

Mes grands-parents, puisse Dieu les accueillir dans son infinie miséricorde.

Remerciement :

Ce manuscrit a été rédigé suite au terme de projet de fin d'études, je tiens donc à commencer par remercier le directeur général de Lafarge Holcim l'usine de Meknès de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer mon stage, je tiens également à remercier tout le personnel de Lafarge Holcim de Meknès pour son accueil chaleureux, son soutien tout au long de ce stage et les diverses connaissances qu'ils ont partagé avec moi durant toute cette période. Je tiens ensuite à remercier tout particulièrement les membres du service de qualité, à savoir mon tuteur en entreprise Mr. LAGMAH Mouhcine ainsi Mr. OUAZANI Taoufik Aziz et Mr. EL FADILI Mourad pour leur disponibilités, leurs précieux conseils, et leur bonne humeur au quotidien. Je remercie également Mr. EL MANSOURI Hamid de service procédé pour sa disponibilité.

Je remercie également les membres du jury Pr. BOUAYAD Abdessalam, Pr. BOUAYAD Abdelouahed et Pr. KANDRI RODI Youssef.

Je veux maintenant adresser mes plus sincères remerciements à mon tuteur universitaire Pr. KANDRI RODI Youssef pour m'avoir apporté énormément de connaissances dans de très nombreux sujet et pour sa très grande minutie dans les corrections et l'améliorations nécessaires à ce manuscrit, je remercie également Pr. BOUAYAD Abdelouahed pour ses précieux conseils à la préparation de la soutenance.

Finalement, mes derniers remerciements, mais certainement les plus importants, vont à ma famille et plus particulièrement à mes parents et à ma sœur. Merci à vous d'avoir toujours été là depuis le début de mes études (et de m'avoir permis d'étudier dans les meilleures conditions possibles) et de m'avoir toujours encouragé à faire ce que je voulais. Merci d'avoir été là dans les bons comme les mauvais moments de la préparation de ce projet de fin d'étude.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale : | 1 |
| Chapitre I : | 2 |
| Présentation de l'organisme LafargeHolcim Maroc. | 2 |
| I- Présentation du groupe Lafarge Holcim Maroc : | 3 |
| II- Historique : | 3 |
| 1- Localisation dans le monde : | 4 |
| 2- Une couverture de l'ensemble du territoire national : | 5 |
| 3- LafargeHolcim Meknès : | 5 |
| | 6 |
| a- Présentation de LafargeHolcim l'usine de Meknès : | 6 |
| b- Les dates clés : | 6 |
| c- L'équipements de l'usine : | 7 |
| d- L'organigramme : | 7 |
| e- Les services de LafargeHolcim de Meknès : | 7 |
| 1- Service carrière : | 8 |
| 2- Service fabrication : | 8 |
| 3- Service électrique : | 8 |
| 4- Service procédé : | 8 |
| 5- Service commercial : | 8 |
| 6- Direction financière : | 8 |
| 7- Direction administrative : | 8 |
| 8- Service contrôle de qualité : | 8 |
| 9- Service sécurité : | 9 |
| Chapitre II : | 10 |
| Procédé de fabrication du ciment. | 10 |
| I- Le ciment : | 11 |
| 1- Définition : | 11 |
| 2- Type de ciment : | 11 |
| 3- Les produits fabriqués par LafargeHolcim Maroc : | 12 |
| 4- Les produits fabriqués par LafargeHolcim de Meknès : | 12 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| II- | Procédé de fabrication du ciment: | 12 |
| 1- | L'extraction et la préparation de la matière : | 13 |
| a- | La carrière : | 13 |
| b- | Concassage : | 13 |
| c- | La Préparation : | 13 |
| 2- | Broyage et l'homogénéisation : | 14 |
| 3- | La cuisson et le broyage : | 14 |
| a- | La cuisson : | 14 |
| b- | Le broyage : | 15 |
| 4- | L'ensachage : | 16 |
| | Chapitre III : | 17 |
| | La caractérisation et l'aptitude à la cuisson des différents panneaux carrière. | 17 |
| | La partie théorique : | 17 |
| I- | Introduction : | 17 |
| II- | Généralité : | 18 |
| | La Partie pratique du sujet : | 21 |
| I- | Introduction : | 22 |
| II- | Le But : | 22 |
| III- | Reconnaissance : | 22 |
| IV- | Matériels utilisés : | 22 |
| V- | Bilan des réactions : | 23 |
| VI- | Mode opératoire : | 23 |
| 1- | Préparation de la matière : | 23 |
| 2- | Manipulation : | 23 |
| a- | Perte au feu totale : | 23 |
| b- | Perte au feu : | 23 |
| VII- | Travail à faire : | 23 |
| 1- | Perte au feu totale à 950°C : | 23 |
| 2- | Perte au feu à différentes températures : | 23 |
| VIII- | Résultats de la partie pratique : | 24 |
| 1- | Manip I : | 24 |
| 2- | Manip II: | 26 |
| | Conclusion : | 33 |
| | Bibliographie et Webographie : | 34 |

Liste des figures :

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Localisation des différentes sociétés d’Holcim, de Lafarge et LafargeHolcim dans le monde. | 5 |
| Figure 2: Distribution de LafargeHolcim au Maroc..... | 5 |
| Figure 3: implantation de LafargeHolcim l’usine de Meknès..... | 6 |
| Figure 4: L’organigramme de LafargeHolcim Meknès. | 7 |
| Figure 5: équipement de protection individuelle (EPI). | 9 |
| Figure 6: Les différents types du ciment. | 12 |
| Figure 8 : Hall de pré-homogénéisation. | 14 |
| Figure 9 : BC broyeur cru. | 14 |
| Figure 10 : Silo de l'homogénéisation de la farine. | 14 |
| Figure 11: Les cyclons de préchauffage..... | 15 |
| Figure 12 : Four rotatif. | 15 |
| Figure 13 : broyeur à boulet. | 15 |
| Figure 14 : Les silos du stockage du ciment. | 16 |
| Figure 15 : Schéma représentatif du four. | 19 |
| Figure 16 : Perleuse appareil sert à perler les échantillons. | 20 |
| Figure 17 : courbe de PAF totale à 950°C en fonction de % CO ₂ | 25 |
| Figure 18 : Graphe de PAF des différents panneaux en fonction des températures. | 27 |
| Figure 19 : Courbe représente la PAF à 350°C en fonction des panneaux. | 28 |
| Figure 20 : courbe représente la PAF à 500°C en fonction des panneaux. | 28 |
| Figure 21 : courbe représente la PAF à 650°C en fonction des panneaux. | 29 |
| Figure 22 : Courbe représente la PAF à 750°C en fonction des panneaux. | 30 |
| Figure 23 : Courbe représente la PAF à 850°C en fonction des panneaux. | 30 |
| Figure 24 : Courbe représente la PAF à 950°C en fonction des panneaux. | 31 |
| Figure 25 : courbe représente la PAF à 950°C en fonction de pourcentage de CaCO ₃ | 32 |

Liste des tableaux :

| | |
|--|----|
| Tableau 1:La proportion des composants de ciment. | 12 |
| Tableau 2 : Le pourcentage de quelques composants chimiques des échantillons. | 24 |
| Tableau 3 : les résultats de perte au feu totale des panneaux. | 24 |
| Tableau 4 : PAF et le % de CaCO ₃ à différentes températures. | 26 |
| Tableau 5 : pourcentage de CaCO ₃ à 950°C..... | 31 |
| Tableau 6 : : l'aptitude des différents panneaux. | 33 |

Liste des abréviations :

Pour désigner les phases cimentières, on utilise en général des notations abrégées

- C : pour CaO (Chaux),
- S : pour SiO₂ (silice),
- A : pour Al₂O₃ (alumine)
- F : pour Fe₂O₃ (hématite).
- C₃A: Aluminate. (CaO)₃Al₂O₃
- C₄AF: Alumino-ferrite (CaO)₄Al₂O₃Fe₂O₃
- C₂S: Bélite (CaO)₂SiO₂.
- C₃S : Alite (CaO)₃SiO₂
- M : Magnésie MgO.
- SIN : la société nationale d'investissement.
- CIOR : Ciments de l'oriental.
- Cinouca : cimenterie nouvelle de Casablanca.
- ODI : Office pour le Développement Industriel.
- Cadem : Ciment artificiel de Meknès.
- PAF : la perte au feu.
- BC : broyeur cru.
- BK : broyeur clinker

Introduction générale :

Le ciment est une matière pulvérulente formant avec l'eau une pâte liante capable d'agglomérer en durcissant des substances variées (Larousse 2002). Selon la norme EN 197.1 le terme de ciment désigne par défaut un liant hydraulique, qui fait prise au contact de l'eau par hydratation.

Dans le cadre de mon projet de fin d'étude en Licence Sciences et Techniques de Faculté Sciences et Techniques de Fès filière Technique d'Analyse et Contrôle de Qualité, j'ai effectué un stage durant 2 mois (depuis le 25 avril jusqu'au le 24 juin) au sein de l'entreprise Lafarge Holcim de Meknès.

Le premier jour au sein de la société, a été sacrer pour une formation détailler sur la sécurité, la procédure LOTOTO « Lock out Tag Out Try Out » cette dernière prévoit des règles pour les éléments suivants : le blocage ou le verrouillage d'une machine « Lock Out », avoir une étiquette d'avertissement sur le dispositif de verrouillage (cadenas de consignation) « Tag Out » et la vérification de la source d'énergie si elle est bien déconnectée « Try Out ». Et tout type de dangers auxquels on peut être confrontés, des points de rassemblement sont mis en place dans chaque zone de l'usine pour des alertes de dangers précis, les choses qui sont interdits et autorisés sont aussi mentionnées lors de la formation.

Dès quand on a terminé la formation, notre direction c'était vers la zone verte, c'est ou le service qualité est situé. La première chose que j'ai retenu lors de ma rentrée à cette zone, c'est que ma sécurité et ma responsabilité (la seule personne responsable de ma sécurité c'est moi-même). Dans une part de cette zone verte se trouve le laboratoire de contrôle de qualité, c'est là où les différentes analyses des échantillons sont effectuées, le laboratoire est divisé en plusieurs salles, parmi lesquelles : la salle des essais physique et mécanique, la salle des analyses chimique et la salle de la préparation de la matière.

L'entreprise m'a apporté un aspect intéressant du milieu de contrôle de qualité. Ainsi, mon sujet portait le thème :« La caractérisation et l'aptitude à la cuisson des différents panneaux carrière ». Par ailleurs, mon rapport de stage est divisé en trois parties :

Nous commencerons dans un premier temps par la présentation du groupe Lafarge Holcim Maroc, la deuxième partie concerne le processus de fabrication du ciment, la troisième partie nous intéresserons à la caractérisation et l'aptitude à la cuisson des différents panneaux carrière.

Chapitre I :
Présentation de l'organisme
LafargeHolcim Maroc.

I- Présentation du groupe Lafarge Holcim Maroc :

Holcim est un groupe suisse fondé en 1912, par contre Lafarge est une entreprise française de matériaux de construction. Le groupe LafargeHolcim occupe la position de leader dans les produits des matériaux de construction pour un usage plus varié. Présent dans 70 pays à travers le monde, le groupe est actif dans les secteurs du ciment, des granulats, tels que le sable et graviers, ainsi que du béton, il compte 90000 employés à travers le monde.

II- Historique :

En **1928**, c'était l'année de création de la société marocaine des ciments Lafarge. L'usine des Roches Noires démarre en **1930** avec une capacité de 120000 t/an.

Au années **1934-1950** l'entreprise est la seule à répondre aux grandissants du Royaume et en 1950 265000 tonnes peut être fournir au marché national.

Entre **1952-1953** une nouvelle cimenterie est construite à Meknès, un investissement pris en charge directement par Lafarge via la société « Ciment Artificiel de Meknès » CADEM.

En 1951 c'est été le démarrage de la cimenterie de Tétouan construite par la société Ciments d'Agadir, filiale.

En 1953 Tétouan et Meknès, le démarrage de la cimenterie de Tétouan construite par la société Chaux et Ciments du Maroc, ainsi le démarrage par Lafarge de la cimenterie de Meknès via la société des Ciments Artificiels de Meknès (Cadem).

En **1968** la création de la société Lafarge Maroc. Chaux et Ciments du Maroc en est le principal actionnaire.

En **1970** des nouveaux investissements à Roches Noires. La capacité de l'usine passe à 950000t/an.

En **1971** prise de participation de la SNI (société nationale d'investissement) dans le capital de Lafarge Maroc.

En **1976** l'Office de Développement Industriel (ODI) crée la Cimenterie de l'Oriental (CIOR), pour objet la réalisation d'une cimenterie dans la région d'Oujda, et la mise en service de la cimenterie de Marrakech par Ciments de Maroc.

En **1976** Inauguration par le Groupe Omar Laraqui de Cimenterie Asment Temara.

En **1978** c'était l'année de démarrage de la production de la cimenterie d'Oujda (CIOR).

En **1983** l'usine de Bouskoura (Cinouca) a démarré dont Lafarge Maroc est l'actionnaire majoritaire.

En **1987** la fermeture de l'usine Lafarge des Roches Noires.

1990 le démarrage de l'usine de Safi (Cimasif) par Ciments Français.

1992 la Fusion de Cimasfi et de la société des Ciments d'Agadir sous le nom de Ciments du Maroc (suite à la prise de contrôle de ciments Français par Italcementi)

1993 le Démarrage de l'usine de Fès par Cior. De la même année c'était la prise de contrôle majoritaire de capital de Cior par Holcim Ltd dans le cadre du programme de privatisation.

En **1995** Lafarge Maroc devient une JV à 50/50 entre Lafarge et la SNI (société nationale d'investissement).

En **1996** Lafarge Ciments et Asment Temara, la création de Lafarge Ciments par fusion de Cinouca et Cadem.

En **2002** un changement d'identité visuelle de Cior qui devient Holcim Maroc. Et la mise en ligne de la nouvelle usine de Tétouane II par Lafarge Ciments.

En **2003** c'était le démarrage de l'usine de Tétouan qui installe en 2004 son premier parc éolien qu'est destiné à couvrir ses besoins en électricité.

En **2007** le démarrage par Holcim Maroc de la cimenterie de Settat.

En **2008** démarrage par Lafarge Maroc de la nouvelle station de broyage de Tanger.

En **2009** l'usine de Tétouan atteint une capacité de production de 2 millions tonnes par an.

En **2011** Lafarge Ciments lance Mawadis, son réseau de distribution de matériaux de construction.

En **2012** doublement de la capacité de production clinker de l'usine de Fès.

En **2013** lancements de l'activité Export de clinker, principalement vers l'Afrique Sub-saharienne.

En **2016** la fusion de Lafarge Maroc et Holcim Maroc pour créer LafargeHolcim Maroc.

1- Localisation dans le monde :

Les deux géants groupes du ciment le français Lafarge et le suisse Holcim sont partout dans le monde entier, on les trouve en abondance tous en commun dans l'Amérique, l'Afrique du Nord, l'Asie et l'Europe.

La prés des de du cim

Lafar
Holci
Prése

Chiffres
des deu
En 2013, e

Chiffre d'a
Résultat r
du groupe
Dette net
Part du ci
Collaborat

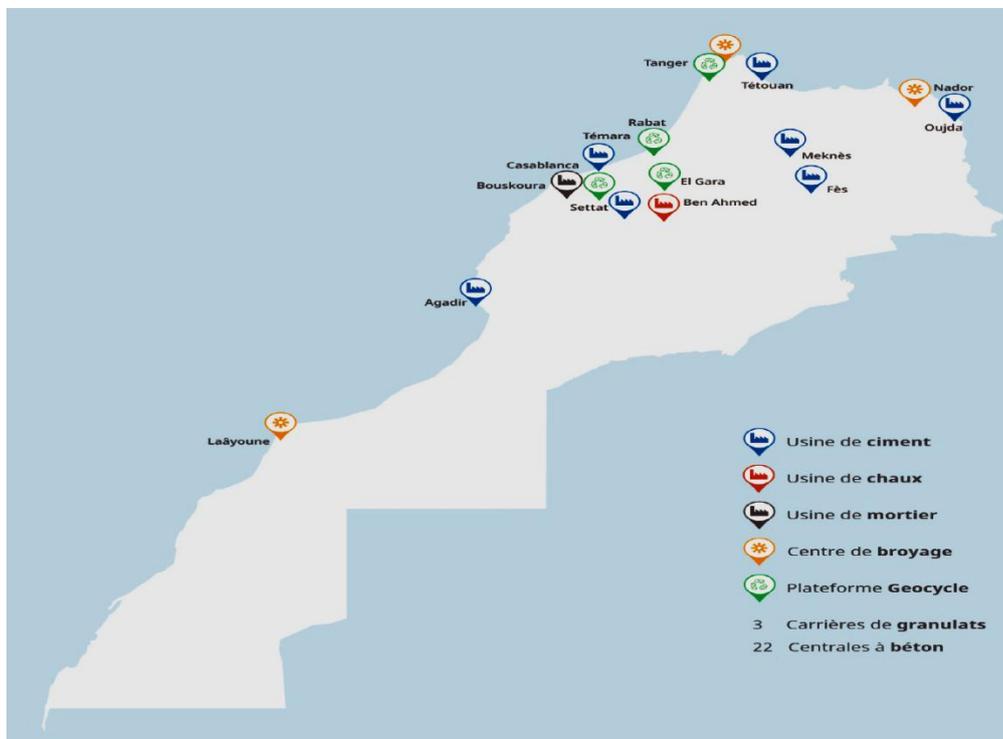


Figure 1 : Localisation des différentes sociétés d’Holcim, de Lafarge et LafargeHolcim dans le monde.

2- Une couverture de l’ensemble du territoire national :

Depuis 1928, LafargeHolcim Maroc participe à la modernisation du secteur de la construction et à l’essor économique du pays.

3- LafargeHolcim Meknès :

Localisation :

La cimenterie LafargeHolcim Maroc -usine de Meknès est située au Nord-Est de la ville de Meknès à proximité de commune d’Ouislane et de la route nationale de Meknès et Fès.

Figure 2: Distribution de LafargeHolcim au Maroc.

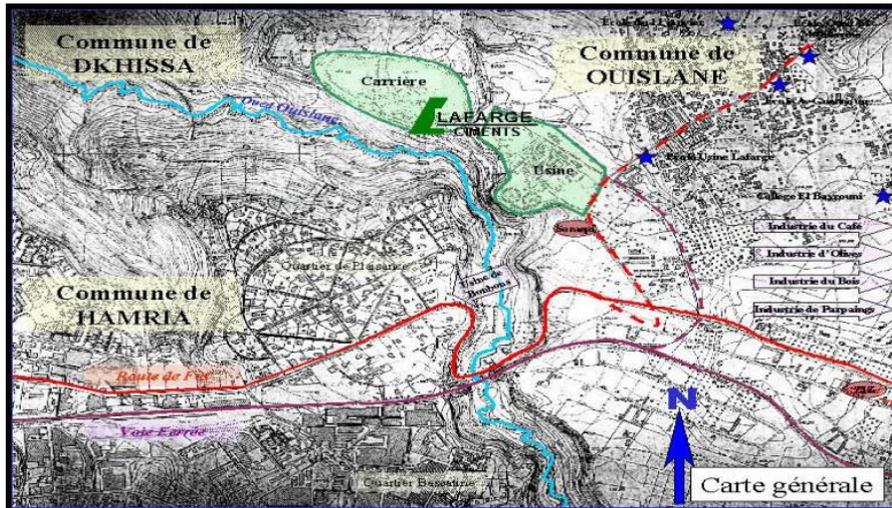


Figure 3: implantation de LafargeHolcim l'usine de Meknès.

a- Présentation de LafargeHolcim l'usine de Meknès :

L'usine de Meknès est la 2^{ème} cimenterie, en termes de capacités, du groupe LafargeHolcim Maroc. Elle y occupe une position majeure grâce à sa situation géographique. Le plateau de Meknès se présente comme étant un carrefour de routes entre le Moyen Atlas au Sud et la plaine du Sebou et le Gharb au Nord et une zone de transition entre la plaine du Saïs, la ville de Fès et l'Oriental à l'Est et la région de Rabat à l'Ouest.

b- Les dates clés :

- 1953 : Démarrage du premier four, en voie humide, 400t /j
- 1971 : Extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four de 650t/j et augmentation de la capacité broyage ciment 650000t.
- 1978 : Nouvelle extension du broyage ciment.
- 1985 : Conversion du four en voie sèche avec l'installation d'un mini précalcinateur.
- 1993 : Nouvelle extension avec démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité de 1200t/j de clinker.
- 1998 : Modification du précalcinateur du premier four.
- 2001 : Installation d'un nouveau broyeur ciment portant la capacité de l'usine à 1750000t.
- 2002 : Certification ISO 14001.
- 2003 : Construction du silo n°7 et ensacheuse Haver 3.
- 2004 : Début d'utilisation des pneus au deuxième four comme combustible de substitution.
- 2005 : Certification ISO 9001.
- 2006 : Implantation du filtre hybride au deuxième four.
- 2008 : Remplacement du refroidisseur du premier four et augmentation du débit à (1900 t/j).

c- L'équipements de l'usine :

LafargeHolcim usine de Meknès est disposé de :

Deux Halls de pré-homogénéisation, deux Broyeurs verticaux, deux tours d'homogénéisation, deux lignes de cuisson en voie sèche (tour de préchauffage et four), trois broyeurs ciment d'une capacité totale annulaire de 1750000 tonnes. Un Laboratoire d'analyse permettant d'assurer une logique de contrôle qualité aux différentes étapes de fabrications.

d- L'organigramme :

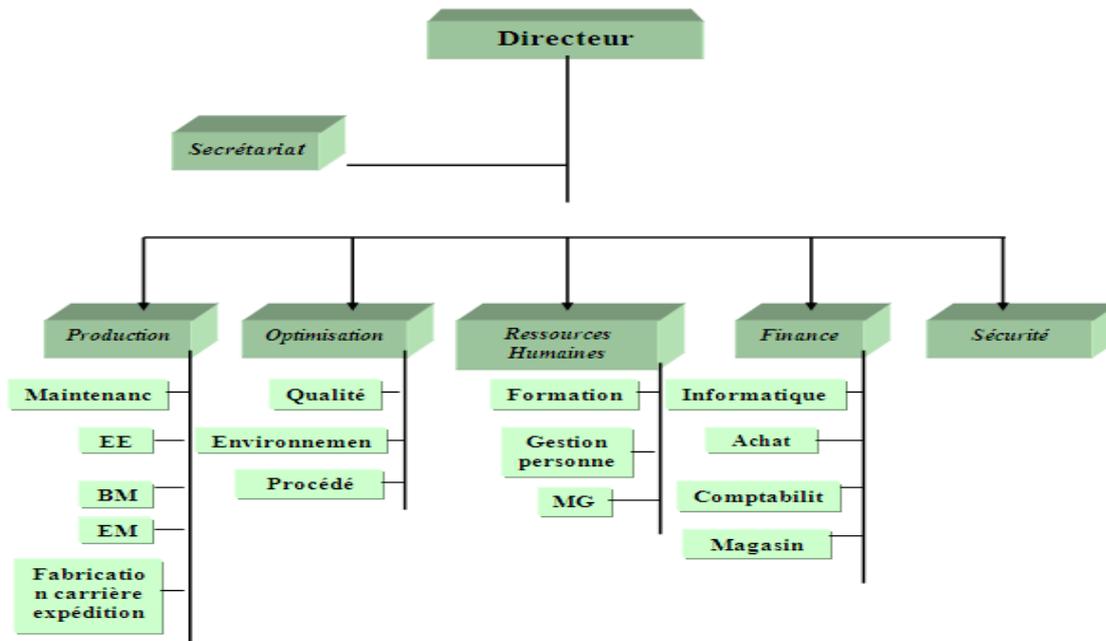


Figure 4: L'organigramme de LafargeHolcim Meknès.

e- Les services de LafargeHolcim de Meknès :

Description des services de l'usine

L'usine de Meknès est organisée en plusieurs services qui travaillent en collaboration pour permettre de répondre à la demande dans les meilleures conditions tout en garantissant la santé l'usine de Meknès est organisée en plusieurs services qui travaillent en collaboration pour permettre de répondre à la demande dans les meilleures conditions tout en garantissant la santé et la sécurité de ses collaborateurs. Cette section présente les différents services au sein de l'usine et le rôle de chacun d'eux.

1- Service carrière :

Il permet l'approvisionnement des matières premières : Calcaire, Argile de la carrière. Celles-ci sont extraites sur un site de 5 à 7 km de l'usine et sont concassées avec un concasseur. Les matières sont ensuite acheminées vers l'usine par une bande transporteuse.

2- Service fabrication :

Ce service est responsable de la planification, de l'amélioration des performances et de l'analyse des défauts dans le but global de réduire les coûts de production. Le suivi des ateliers de fabrication (concassage de la matière première, Pré homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) se fait dans la salle de contrôle. Le service est donc composé de chefs de postes, d'opérateurs et de rondiers qui assurent la production 24/24.

3- Service électrique :

Il intervient à la demande du service fabrication. Il s'occupe de tout ce qui est moteurs électriques, transformateurs, régulation permettant de contrôler et d'observer les différents paramètres rentrant en jeu dans la supervision tels que la température, les pressions, les débits...

4- Service procédé :

Ce service a pour rôle l'optimisation des procédés dans un but d'amélioration du rendement des unités de production, à travers l'analyse des dysfonctionnements du processus, le suivi des indicateurs de performance, les consignes, du processus, l'audit et les tests de performance et la proposition des améliorations ainsi que la gestion par l'informatique industrielle. Il contrôle en collaboration avec les services de fabrication et de qualité le processus de fabrication du ciment.

5- Service commercial :

Ce service est le plus mouvant car il permet de fixer les objectifs de vente de ciments sur une clientèle bien identifiée. Leur travail se base sur la réception des bons de commande et des effets de commerce, la saisie des commandes et des bons de livraison.

6- Direction financière :

La direction financière est un service clé de l'entreprise. Elle met en place des outils d'aide à la prise de décisions stratégiques et prévient ainsi les risques financiers. La direction financière, en générale supervisée par un Directeur Administratif et Financier (DAF), aide à planifier la stratégie de développement du dirigeant ou de la direction générale de l'entreprise.

7- Direction administrative :

Ce bureau s'occupe de la gestion du personnel pour répondre à un ensemble d'objectifs :
· Ajuster l'effectif des employés de façon à réaliser les objectifs fixés. Motiver le personnel pour une organisation du travail au sein de l'entreprise.

8- Service contrôle de qualité :

LafargeHolcim Meknès dispose d'un laboratoire doté de tous les équipements nécessaires pour effectuer des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'à l'expédition du produit fini, conformément aux normes en vigueur et aux besoins des clients. Le personnel de ce laboratoire chargé du contrôle qualité est compétent et suit une formation continue au contrôle qualité et selon un calendrier de formation prédéterminé.

9- Service sécurité :

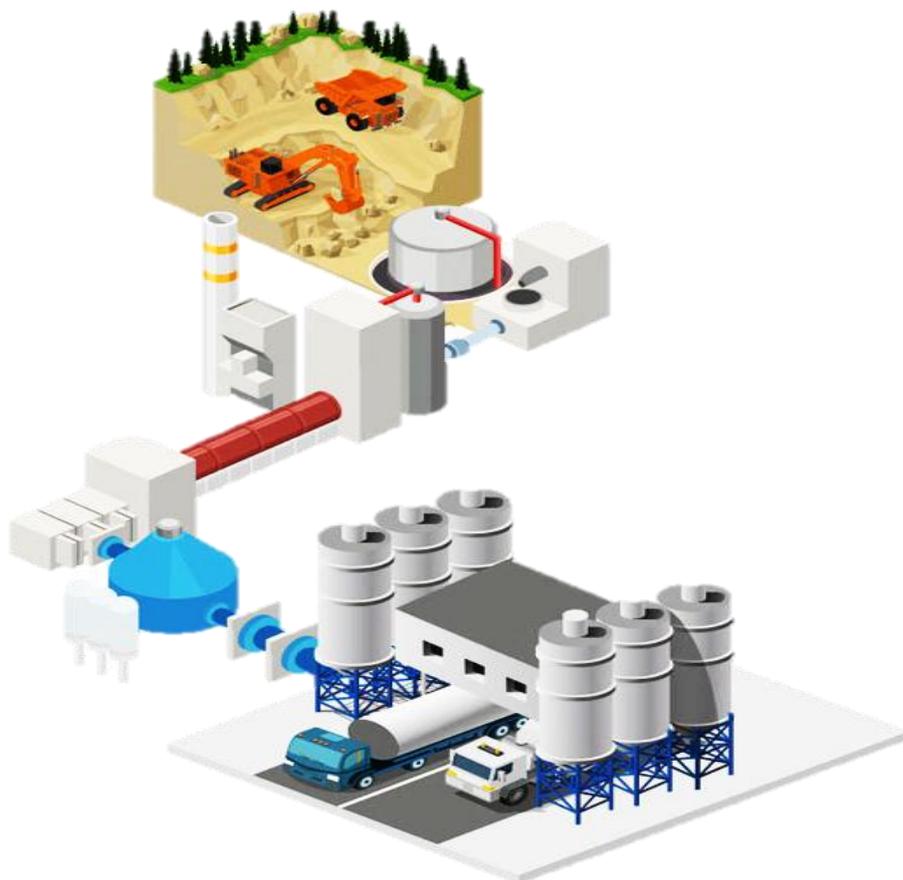
Son objectif principal est d'assurer la sécurité à l'intérieur de l'usine pour produire un ciment avec zéro accident. Pour ce faire LafargeHolcim a pris plusieurs mesures pour éviter tout danger probable, à savoir :

- ✚ La circulation à l'intérieur de l'usine.
- ✚ Le port des EPI (équipements de protection individuels).
- ✚ La consignation (Un cadenas, une personne, une source d'énergie).
- ✚ Dire non à un travail sans sécurité.
- ✚ Avoir un permis de travail.



Chapitre II :

Procédé de fabrication du ciment.



I- Le ciment :

1- Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue, qui gâchée avec de l'eau pour former une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Il est fabriqué à partir de la cuisson de mélange à 1450°C et le broyage de différentes matières premières.

2- Type de ciment :

Il existe un grand nombre de catégories de ciment, la plus connue d'entre elle celle des ciments portland qui en fait regroupe deux catégories normalisées :

- Le ciment Portland Artificiel : le CPA c'est produit de calcination de l'argile et le calcaire
- Un ciment pouzzolanique (laitier) : contient de 20 à 64 % de clinker, et de 18 à 49 % de laitier des hauts fourneaux plus les cendres volantes siliceuses. Ce type de ciments en général sont adaptés aux travaux hydrauliques.
- Le Ciment Portland Composé : contient au moins 65 % de clinker et au plus 35 % d'autres constituants secondaires (pour les travaux massifs qui nécessitent des résistances initiales très élevées ou encore une augmentation de température modérée. CPJ (35, 45, 55).

3- Les produits fabriqués par LafargeHolcim Maroc :



Figure 6: Les différents types du ciment.

4- Les produits fabriqués par LafargeHolcim de Meknès :

L'usine de Meknès se spécialise dans la fabrication de quatre types de ciments : CPJ 35, CPJ 45, CPJ 55 et CM 25 perfecto.

En outre, les trois types de ciments (CPJ35, CPJ45, CPJ55) se différencient selon des pourcentages précis des ajouts au clinker.

Tableau 1: La proportion des composants de ciment.

| Les ciments | Clinker | Calcaire | Constituants II |
|-------------|---------|----------|-----------------|
| CPJ 35 | 70% | 30% | ---- |
| CPJ 45 | 70% | 25% | 5% |
| CPJ 55 | 76% | 19% | 5% |

Les constituants secondaires peuvent être soit :

- ✚ Calcaire.
- ✚ Filler.
- ✚ Pouzzolane.

II- Procédé de fabrication du ciment:

La fabrication de ciment se déroule en cinq étapes principales :

- ✚ L'extraction et la préparation de la matière première :
- ✚ La pré-homogénéisation.
- ✚ Broyage et l'homogénéisation.
- ✚ La cuisson et le broyage.
- ✚ L'ensachage.

1- L'extraction et la préparation de la matière :

a- La carrière :

La carrière se situe à 7km de l'usine LH Meknès consiste à extraire les matières premières (le calcaire et l'argile) à ciel ouvert. La carrière est séparée en différentes zones, qu'en ont différentes proportions des compositions chimiques, ce qui nécessite des mélanges de zones pour obtenir un cru dosé. L'exploitation comporte cinq phases principales :

- Décapage de la terre végétale.
- L'abattage à l'explosif des gradins ou par ripage mécanique des fronts à l'aide des engins.
- Le transport des matériaux abattus vers les deux concasseurs.
- Le concassage des matériaux.
- Le transport de la matière concassée vers l'usine par un transporteur à bandes.

b- Concassage :

Après l'extraction des matières premières, ces dernières sont chargées dans un dumper à l'aide d'une chargeuse, ce qui va servir la conduite vers l'atelier de concassage. L'usine de Meknès est menu de deux concasseurs :

- Concasseur FCB, débit :300t/h
- Concasseur HAZEMAG, débit : 600t/h (la conduite est assurée par un automate, et surveillée par un opérateur qualifié).



Figure 7: Le concassage.

c- La Préparation :

Cette opération peut être réalisée soit dans un hall, un mélange pré-homogène en disposant la matière en couches horizontales, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'un gratteur et soit dans un silo vertical par brassage par air comprimé.

LafargeHolcim l'usine de Meknès est équipé par deux pré-homogénéisations polaires à chevrons, de capacité :

- Préhomos n°1 :18000 t
- Préhomos n°2 :18000 t

La pré-homogénéisation vise à assurer un cru aux caractéristiques constantes, garantie de qualité pour les produits finis. Cette dernière qui consiste à reconstituer une carrière artificielle qui est en général constitué de 2 tas ; un tas de constitution, et un autre de reprise.

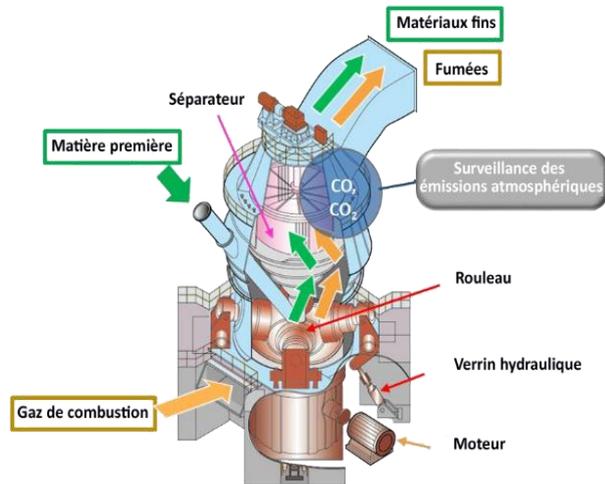
Un remplissage circulaire en cordons par couches superposés, c'est la manière utilisée pour construire un tas, on se basant sur les



résultats des analyses au sein de laboratoire de qualité.

Figure 8 : Hall de pré-homogénéisation.

2- Broyage et l'homogénéisation :



Le cru est d'abord homogénéisé et éventuellement corrigé chimiquement par l'apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis. Puis, il est séché et finement broyé de sorte à obtenir une poudre appelée la « farine ». Le Broyage, est une opération assurée par deux broyeurs verticaux, ce sont des broyeurs à galets (actionnés par des vérins hydrauliques qui servent à écraser le cru), et l'aide d'un séparateur dynamique on peut assurer la

recupération des fines poussières (farine).

Figure 9 : BC broyeur cru.

Cette dernière est acheminée par des aéroglisteurs vers deux tours d'homogénéisation en assurant son mélange et son stockage avant cuisson, vers l'étape de préchauffage et jusqu'au four proprement dit. Les deux silos d'homogénéisation sont de capacités 7500 tonnes de la ligne1 et 5000 tonnes de la ligne2.

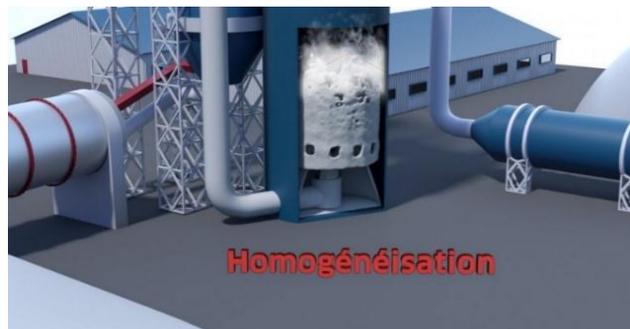
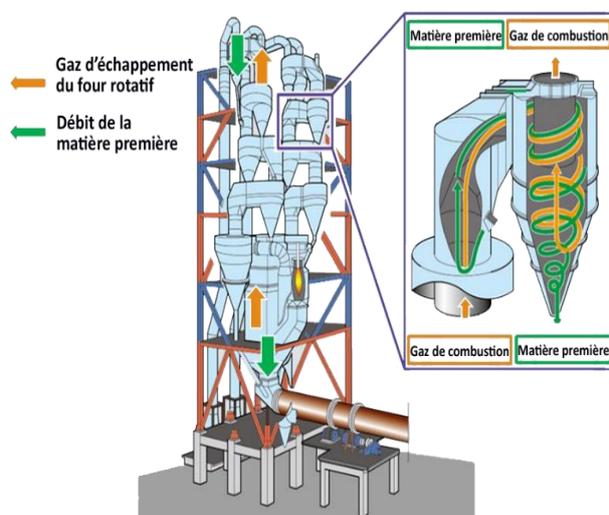


Figure 10 : Silo de l'homogénéisation de la farine.

3- La cuisson et le broyage :

a- La cuisson :



LH de Meknès est équipé par deux fours, un et de 3 mètres en diamètre et de 96 mètres en longueur, ce dernier a une capacité de 1800 tonnes de clinker par jour.

Le deuxième four de longueur 64m, de diamètre de 4m et d'une capacité de 1200t/j.

Les deux fours sont inclinés par une pente de 3°.

Au sein de chaque des fours se trouvent des briques réfractaires qui servent à conserver la chaleur au sein du four, des ventilateurs sont placés en dehors de four pour refroidir

les parois du four.

Figure 11: Les cyclons de préchauffage.

Le processus de la cuisson est résumé en quatre étapes :

- La farine est injectée dans la tour de quatre cyclons, ce qu'introduit une déshydratation de la farine et une calcination qui se traduit par une décarbonatation des carbonates de calcium et de magnésium (CaCO_3 , MgCO_3) en CaO et MgO plus le dioxyde de carbone CO_2 .
- L'injection des combustibles dans la tuyère, qui sont principalement du coke de pétrole en marche normale des fours et du fuel Haute viscosité lors de l'allumage, après sa devient la responsabilité des déchets



Figure 12 : Four rotatif.

- des pneus et le grignon d'olive d'apporter l'énergie nécessaire à la cuisson environ 1450°C .
- Après avoir la chaleur nécessaire à la cuisson les matières sont introduites au sein du four rotatif qu'est divisé en trois phases : la phase de décarbonatation ou la matière perd son dioxyde de carbone CO_2 en contactant le contre-courant d'air chaud, la phase liquide, dans laquelle les liaisons se cassent, la phase de clinkérisation ou la matière se transforme en C_3S et C_2S pour avoir le produit final, le clinker.
- A la sortie du four, le clinker est trempé dans le refroidisseur à grilles (se trouve sous terrain) puis il est refroidi par soufflage d'air ambiant, le changement de chaleur entre la matière cuite et l'air permet d'avoir un air chaud qu'est utilisé précédemment pour chauffer la farine au niveau des cyclons et au four. Le clinker est ensuite envoyé vers le hall de stockage par des transporteurs métalliques à températures de 140°C .

b- Le broyage :



obtenus.

Après avoir cuit la farine, elle se transforme en galets de clinker, cette matière obtenue est très dure, le broyage de cette dernière nécessite un broyeur spécial pour l'écraser.

Avant qu'on passe au broyage, on dose le clinker précédemment formé au niveau du four, en ajoutant du gypse et du calcaire on se basant sur les résultats des analyses

Figure 13 : broyeur à boulet.

L'étape suivante consiste à introduire le clinker dosé au niveau du broyeur horizontal à boulets, pour subir des efforts mécaniques du broyage et produire ainsi un mélange broyé, ce dernier passe dans un séparateur de particule qui permet d'obtenir une poudre fine d'un diamètre bien précis d'environ 80 μ m.

Cette poudre fine obtenu est le ciment, qu'est stocké après dans des silos.



Figure 14 : Les silos du stockage du ciment.

4- L'ensachage :

La dernière étape de fabrication de ciment est l'expédition qui consiste au remplissage de ciment soit en sacs (automatique ou semi-automatique) soit en vrac. L'ensachage en sacs est effectué à l'aide d'un haver sous un contrôle d'un logiciel CMS.

Chapitre III :

La caractérisation et l'aptitude à la cuisson des différents panneaux carrière.

La partie théorique :

I- Introduction :

Après l'extraction des matières premières des différents panneaux, ces dernières construisent un tas de près-homo, ce dernier nous permet d'avoir un cru dosé, qu'est entraîné au sein du broyeur cru (BC) avec des ajouts (bauxite et le ferrite), si ils sont nécessaire d'être ajouté avant d'être incluse au sein du four, cette différenciation de la composition de tas, nous mène à avoir un problème de l'aptitude à la cuisson de ces différents panneaux qui construiront le tas, il y'en a ceux qu'ont facile à être cuit, d'autre qu'ont difficile et d'autre moyenne.

II- Généralité :

L'exploitation des carrières de cimenteries se fait à ciel ouvert, le plan guide d'exploitation élaboré par les géologues à partir des sondages et analyses effectuées sur le site permet à l'exploitant de gérer au mieux son gisement en tenant compte des impératifs financiers et réglementaires.

La carrière est loin de 5km de l'usine, et elle est divisée à différentes zones qui contiennent différents panneaux parmi lesquelles on site ; ZD est P1, ZD est P6, ZD est P5, ZD est P10, P2, P3, P19, P150, ZDP14...

Ces panneaux sont séparés selon la proportion de leurs compositions chimiques (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MgO , Na_2O).

Après des échantillons des différents panneaux sont prélevés pour subir une série des analyses au sein du laboratoire de contrôle de qualité, la seconde étape après l'échantillonnage c'est de préparer l'échantillon pour subir les analyses :

Chaque échantillon pris est placé dans un sac en plastique en marquant la source de prélèvement. Quand ce dernier est au laboratoire, il doit être tout d'abord concasser et sécher dans l'étuve à 105°C , pour se débarrasser de toute l'humidité absorber. Après le séchage de la matière, cette dernière est entraînée au sein d'un récipient en métal qui contient trois anneaux placer l'un dans l'autre, la différence de diamètre entre ces anneaux crée une place vide, qui va être rempli par la matière et deux comprimés (pour éviter l'adhésion de la matière) lors de broyage, le récipient est placé dans un broyeur qui crée des vibrations, qui vont pousser les anneaux à écraser la matière qui se trouve dedans, pour avoir au final une fine poudre de diamètre microscopique. Chaque échantillon broyé est remis dans le même sac qui lui avait contenu dès le début, pour qu'enfin les échantillons sont prêts d'être analysés.

Les matières sont emportées par une chargeuse pour remplir un dumper qui va les destiner vers un concasseur, qui sert à concasser la matière première pour avoir un cru transporter par une bande transporteuse ou aéroglossière, qui les envoient vers la pré-homo, chez LafargeHolcim Meknès la pré-homo est circulaire ou polaire en constituant des tas, la reprise de ce dernier peut se faire soit par une roue pelle ou par gratteur et c'est l'instrument utilisée dans l'usine LH Meknès.

Ce dernier sert à prendre, d'une façon verticale et homogène, les matières qui construisent le cru, qui vont être transportés sous terrain, et à l'aide d'une bande vont être envoyés vers un broyeur cru en passant par un détecteur de métaux son rôle est d'éliminer les métaux qu'en sont présents dans le cru cette étape facilite le broyage. Avant d'être entraîné au sein du BC si les analyses montrent un manque, des ajouts sont mis au niveau de passage de BC, soit de la bauxite soit de ferrite (oxyde de fer), maintenant en a eu un cru dosé prêt d'être broyé dans un broyeur vertical qui permet d'avoir une farine finement moulu, la farine est stockée dans des tours d'homogénéisation pour qu'elle passe à la ligne de cuisson en passant par des cyclons (quatre cyclons) au sein de lesquelles se passent les réactions qui ouvrent la voie à d'autres qui sont très importantes.

Parmi les réactions que l'on trouve au sein des :

- Déshydratation et évaporation :

À 100°C l'eau libre vient de s'évaporer et à une température d'environ 250-450°C l'eau est éliminé de l'argile.

- Décarbonation :

La décarbonation de la matière est divisée en deux parties :

La décarbonation des carbonates de magnésium à une température qui varie de 450 à 620 °C.



La décarbonation de carbonates de calcium à une température varie de 820 à 900 °C.



Le dioxyde de carbone provient de ces deux réactions définissent la perte au feu, c'est la variation de masse résultant du chauffage d'un échantillon dans des conditions spécifiées, et s'exprime en pourcentage en masse de la matière sèche.

$$\text{PAF} = \% \text{CO}_2(\text{CaCO}_3) + \% \text{CO}_2(\text{MgCO}_3)$$

La farine est en cours d'être en four à une température qui arrive presque à 1450 °C,

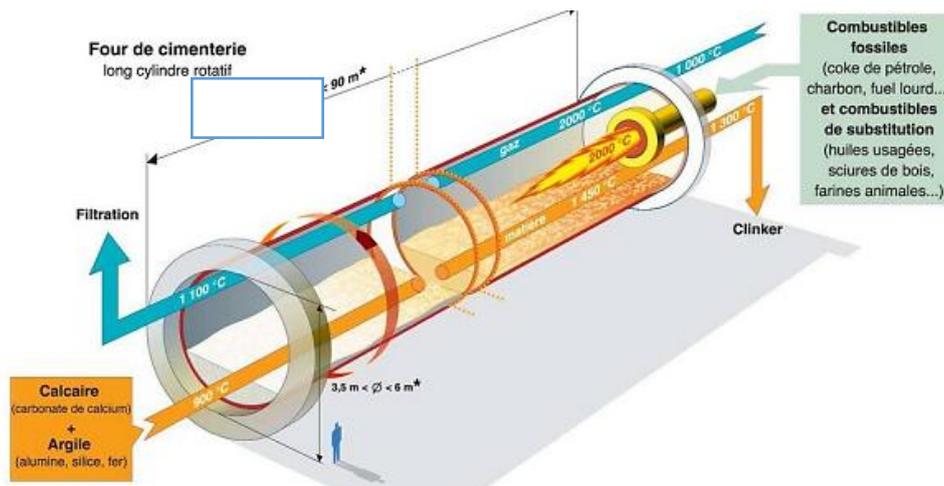


Figure 15 : Schéma représentatif du four.

D'une capacité de 1800t/j en pleine régime.

Les matières sont entrainées dans le four rotatif avec une alimentation en continu, le grignon d'olive après avoir le sécher et broyer, il est mélangé avec la farine pour éviter l'adhésion de la matière aux parois du four. Des prélèvements d'échantillonnage sont mis d'une façon automatique chaque 2 heures et récupérés pour être analyser au laboratoire.

Après la récupération de l'échantillon, le clinker est concassé dans un concasseur (HERZOG), puis on pèse 20gr du clinker concassé et en la place dans un broyeur semi-automatique en ajoutant 4 comprimés à la matière concassée, le clinker moulu est automatiquement récupéré dans un récipient, on pèse après 6 gr de la matière obtenue, puis on la compresse en utilisant un anneau et machine presseuse, qui sert à exercer une force de 40 kN sur la matière entrainait au sein de l'anneau, ce qu'implique une pastille prête d'être analyser en présence de fluorescence des rayons X.

Il existe une autre manière d'analyser les matières en utilisant cette fois ci une perleuse, cette dernière nous permet d'avoir des analyses plus exactes que l'autre manière citée au-dessus.

Tout d'abord en préparant la matière comme qu'elle est citée ci-contre, après en pèse 1 gr si les matière provenant de la carrière, si les matières sont étrangères en prennent 0.5 gr, puis en ajoutent une masse de fondant, qu'est le tetra borate de lithium (qu'aide à fusionner les matières) jusqu'au quand atteint une masse (matière + fondant) de 9 gr, ces deux derniers sont placés dans un creuset en platine, qu'est envoyé directement envers la perleuse, pour avoir enfin de compte un mélange homogène sous forme d'un liquide versé dans un moule de forme rond placer en dessus d'un système de refroidissement, le mélange est retenu sous forme d'un verre rond, utilisé après, dans les mesures, par un spectromètre de fluorescence X.



Figure 16 : Perleuse appareil sert à perler les échantillons.

Le clinker ainsi obtenu doit subir un refroidissement pour avoir une abondance de C_3S plus que C_2S , car une mauvaise trempe entraîne une diminution d'obtention du ciment.



Après le refroidissement, le clinker est obtenu sous forme de granulas, ce dernier est broyé en suite à l'aide d'un broyeur à boulets contenant des boules de métaux dedans servant à écraser le clinker qui a une texture plus dure nécessite une certaine manière pour qu'n puisse l'écraser. Cette poudre obtenue au final est le ciment.

Le ciment obtenu passe sous un contrôle, au sein du laboratoire de contrôle de qualité pour contrôler sa composition chimique.

La composition chimique garantit les qualités du ciment à terme, c'est-à-dire pendant sa fabrication, et également des mois, voire des années après sa commercialisation. Des analyses sont donc effectuées sur des échantillons prélevés régulièrement tout au long du processus de la fabrication. On analyse également les matières premières et les combustibles afin de connaître leur teneur en différents composés, et de pouvoir ainsi les doser.

La qualité finale est évaluée par des modules, c'est-à-dire des valeurs calculées à partir de la composition.

On définit par exemple :

- **Facteur de saturation de la chaux LSF** : le facteur de saturation de la chaux est un rapport de CaO réelle aux trois autres oxydes principaux

$$LSF = \frac{CaO(reél)}{2.8 * SiO_2 + 1.18 * Al_2O_3 + 0.65 * Fe_2O_3}$$

Pour un ciment normal LSF est compris entre 90 et 95%.

Pour le ciment aux caractéristiques plus élevés, LSF est compris entre 95 et 98%.

En dessous de 90% le cru est sous dosage de chaux, le C₃S va baisser que la chaux libre.

Plus de 100%, il y a un excès de chaux.

- **Module silicique (MS ou SR)** : c'est un indicateur de la facilité de cuisson.

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Si le rapport est grand la cuisson sera difficile et phase liquide sera faible.

Si le rapport est faible la cuisson sera facile et la phase liquide augmente.

La valeur de MS varie en moyenne de 2.5 à 3.2.

- **Module alumino-ferrique MAF** : ce module règle la proportion massique entre C₃A et C₄AF. A est consommé pour former en priorité C₄AF, alors le C₃A se forme avec l'alumine restante. S'il y a plus de F que celles de A, il ne reste plus de A pour former C₃A.

$$AF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

La valeur de MAF varie entre 1.5 et 2.2.

Si A/F augmente, la proportion de C₃A formé augmente, la cuisson en principe sera plus difficile.

La Partie pratique du sujet :

I- Introduction :

L'échantillon est brûlé à haute température : la matière organique est oxydée et transformée en gaz carbonique (CO₂) et de vapeur d'eau. Après chauffage, il ne reste que la fraction minérale du sol dans le creuset.

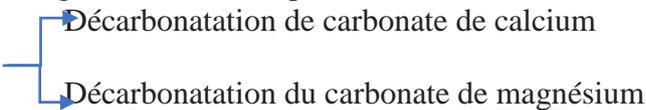
II- Le But :

La mesure de la perte au feu permet une bonne estimation des teneurs réelles en matière organique de l'échantillon, et la teneur en carbone organique.

III- Reconnaissance :

La perte au feu représente le pourcentage de la matière qui passe à l'état gazeux à l'issue de cet essai réalisé au laboratoire à différentes températures :

- L'eau de constituant des argiles et le CO₂ disparaissent.

CO₂ provient de 

- L'oxydation partielle des éléments présents :



$$\% \text{CO}_2(\text{CaCO}_3) = \frac{\% \text{CaO} * \text{Mm}(\text{CO}_2)}{\text{Mm}(\text{CaO})}$$

$$= 0.785 * \% \text{CaO}$$

$$\% \text{CO}_2(\text{MgCO}_3) = \frac{\%(\text{MgO}) * \text{Mm}(\text{CO}_2)}{\text{Mm}(\text{MgO})}$$

$$= 1.1 * \% \text{MgO}$$

Cela nous mène à avoir comme relation :

$$\% \text{PAF} = \% \text{CO}_2(\text{CaCO}_3) + \% \text{CO}_2(\text{MgCO}_3)$$

IV- Matériels utilisés :

- Creuset en porcelaine, silice ou nickel.
- Balance analytique à précision.
- Étuve
- Four à calcination
- Plaque métallique ou tôle
- Spatule
- Compresseur
- Chronomètre

V- Bilan des réactions :

- De 100-450°C : évaporation et la déshydratation de l'eau trouver en argile.
- De 450-620°C : la décarbonatation des carbonates de magnésium.
- De 720-900°C : la décarbonatation des carbonates de calcium.

VI- Mode opératoire :

1- Préparation de la matière :

Tout d'abord la matière provenant de la carrière doit être concasser et sécher dans l'étuve pendant une journée à 105°C, pour qu'on puisse se débarrasser de toute l'humidité absorber par la matière, ceci nous permet d'avoir une valeur proche à la valeur vraie, l'étape suivante c'est de broyer la matière en utilisant des un récipient en métal qu'est constitué de trois anneaux ronds placer dedans, qu'servent à écraser la matière concasser après l'ajout de deux compresseur, qu'servent à éviter l'adhésion de la matière à l'entour des anneaux.

Pour avoir au final une matière prête d'être pesée.

2- Manipulation :

a- Perte au feu totale :

À l'aide d'une balance analytique à précision, on pèse 1 gr de la matière préparer précédemment pour les neufs échantillons présents, puis on place la matière pesée de chaque échantillon dans un creuset propre à chacun, sans avoir oublié de noter son poids avant et après d'être rempli. Placez tous les creusets dans le four à une température de $950 \pm 25^\circ\text{C}$ pendant 30 minutes.

b- Perte au feu :

La même procédure de perte au feu totale est applicable pour cette deuxième manip, sauf au lieu d'aller avec 1gr de la matière à 950°C, on travaille avec la moitié de matière pris au début du manip à différentes températures : 350°C, 500°C, 650°C, 750°C, 850°C et enfin 950°C pendant la même durée précédemment 30 minutes.

VII- Travail à faire :

1- Perte au feu totale à 950°C :

1-Calculer le pourcentage de la perte au feu de chaque panneau.

2-Calculer le pourcentage de CO_2 provenant de la calcination du CaCO_3 et MgCO_3 des différents panneaux.

4-Tracer une courbe représente PAF en fonction du pourcentage de CO_2 provenant de décarbonatation du CaCO_3 et MgCO_3 .

5-Essayez de schématiser la courbe en une équation, en trouvant ces paramètres.

6-Interpréter les résultats trouvés.

2- Perte au feu à différentes températures :

1-Calculer le pourcentage de la PAF correspond de chaque panneau à différentes températures.

2-Calculer le pourcentage de CaCO_3 présente dans chaque panneau à 950°C.

3-Tracer une courbe qui relie les valeurs de PAF trouver à chaque température.

4-Tracer une courbe de PAF en fonction de pourcentage de CaCO₃ à 950°C.

5- Interpréter les résultats trouver.

la relation ci-dessous pour calculer la PAF pour les deux manipulations.

$$PAF = \frac{mi - mf}{mi - mcre} * 100$$

Avec

Mi : la masse de creuset + matière

Mcreu : la masse de creuset vide

Mf : la masse de creuset + matière après leurs calcinations au sein du four dans le laboratoire.

VIII- Résultats de la partie pratique :

À l'aide de la fluorescence des rayons X les panneaux donnés ont subi des analyses sur la nature de leurs compositions chimiques, cela nous donne une idée sur le pourcentage des différentes composantes.

Tableau 2 : Le pourcentage de quelques composants chimiques des échantillons.

| Panneau | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O |
|----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|
| ZDP1(840) | 5,12 | 1,46 | 0,64 | 50,38 | 0,74 | 0,03 | 0,05 |
| ZDP14(840) | 8,70 | 2,08 | 0,89 | 45,36 | 0,80 | 0,03 | 0,08 |
| ZDestP6(1371) | 6,08 | 1,72 | 0,80 | 49,43 | 0,78 | 0,03 | 0,05 |
| ZDestP10(1371) | 5,57 | 1,57 | 0,70 | 49,95 | 0,75 | 0,08 | 0,08 |
| ZDestP5(1370) | 6,54 | 1,74 | 0,82 | 49,28 | 0,78 | 0,03 | 0,06 |
| P3 | 6,87 | 1,85 | 0,72 | 48,96 | 0,77 | 0,07 | 0,05 |
| ZDNE P2 | 5,87 | 1,62 | 0,67 | 50,00 | 0,76 | 0,05 | 0,04 |
| P19 | 38,10 | 4,63 | 3,18 | 28,55 | 0,95 | 0,04 | 0,52 |
| P150 | 23,42 | 3,64 | 2,35 | 37,70 | 0,74 | 0,07 | 0,40 |

1- Manip I :

1)2) Les résultats et les données trouver sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : les résultats de perte au feu totale des panneaux.

| Panneau | PAF | Mcreu | Mi | Mf | CaO% | MgO% | X |
|------------|-------------|---------|---------|---------|-------|------|---------|
| ZDP1(840) | 40,35717849 | 19,5507 | 20,553 | 20,1485 | 50,38 | 0,74 | 40,3623 |
| ZDP14(840) | 38,68103362 | 19,8502 | 20,8525 | 20,4648 | 45,36 | 0,8 | 36,4876 |

| | | | | | | | |
|----------------|-------------|---------|---------|---------|-------|------|----------|
| ZDestP6(1371) | 40,05994006 | 20,0573 | 21,0583 | 20,6573 | 49,93 | 0,78 | 40,05305 |
| ZDestP10(1371) | 40,21242803 | 19,8517 | 20,8591 | 20,454 | 49,95 | 0,75 | 40,03575 |
| ZDestP5(1370) | 40,05193767 | 18,637 | 19,6382 | 19,2372 | 49,28 | 0,78 | 39,5428 |
| P3 | 40,743331 | 20,0567 | 21,0576 | 20,6498 | 48,96 | 0,77 | 39,2806 |
| ZDNE P2 | 41,69241503 | 16,4252 | 17,4285 | 17,0102 | 50 | 0,76 | 40,086 |
| P19 | 26,06969125 | 19,693 | 20,7003 | 20,4377 | 28,55 | 0,95 | 23,45675 |
| P150 | 32,36320144 | 19,504 | 20,5073 | 20,1826 | 37,7 | 0,74 | 30,4085 |

3) la courbe de PAF en fonction du pourcentage de CO₂ provenant de la calcination de CaCO₃ et MgCO₃.

Avec

$$\% \text{CO}_2(\text{CaCO}_3) = \frac{\% \text{CaO} * \text{Mm}(\text{CO}_2)}{\text{Mm}(\text{CaO})}$$

$$= 0.785 * \% \text{CaO}$$

$$\% \text{CO}_2(\text{MgCO}_3) = \frac{\%(\text{MgO}) * \text{Mm}(\text{CO}_2)}{\text{Mm}(\text{MgO})}$$

$$= 1.1 * \% \text{MgO}$$

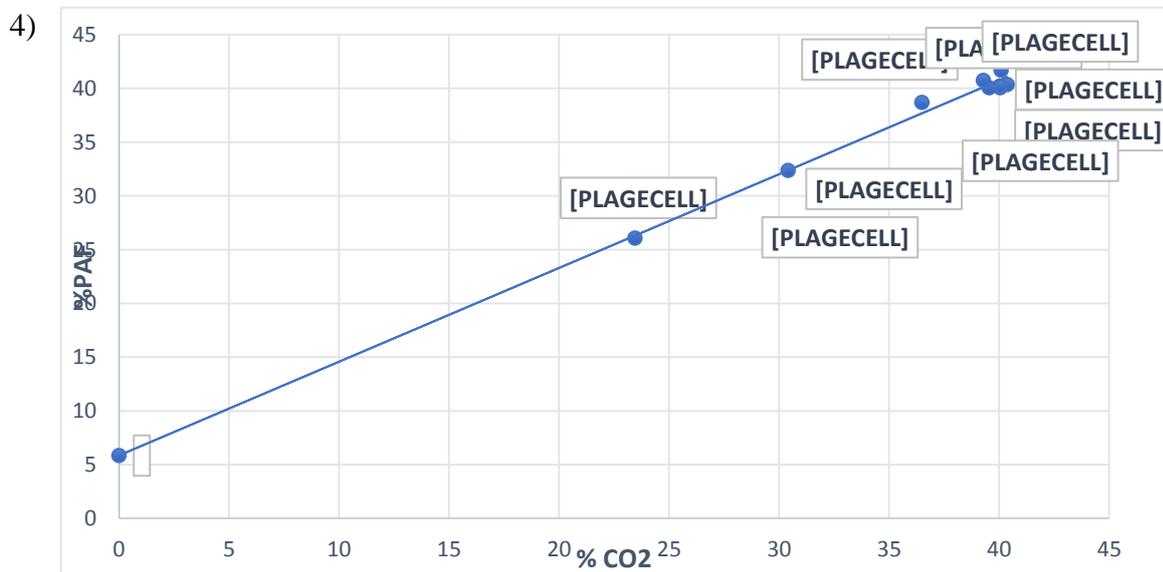


Figure 17 : courbe de PAF totale à 950°C en fonction de % CO₂.

La courbe trouvée, est une fonction affine d'une pente égale **0,872**, et d'un ordonné à l'origine égale à **5,854**.

L'équation de cette courbe est **PAF = 0,872 * X + 5,854**, avec

X=0,785*% CaO+1,1*%MgO.

5) D'après les résultats calculer on a voulu les schématiser dans une courbe, qui l'a les paramètres suivants : la pente qu'égal à 0,872 et l'ordonnée à l'origine qu'est égale à 5,854, ce qui nous mène à une équation de $PAF = 0,872 * X + 5,854$ avec

$X = 0,785 * \% \text{ CaO} + 1,1 * \% \text{ MgO}$.

Ces résultats nous permettent de constater que les deux paramètres PAF et CO₂ provenant de la calcination de CaCO₃ et MgCO₃ sont proportionnelles et intimement liés ; d'une autre manière, plus le pourcentage du CO₂ émis est très élevé plus PAF augmente. Notons que la valeur de PAF obtenue dans l'ensemble des échantillons de la zone P19 est la plus petite ce qu'est automatiquement lié à son faible pourcentage de CO₂ émis. Et de même pour la zone P2 ayant une valeur maximale représente un pourcentage de CO₂ assez élevé.

2- Manip II:

1) les calculs sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

| Panneau | 350°C | 500°C | 650°C | 750°C | 850°C | 950°C | CaCO ₃ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| ZDP1(840) | 1,60 | 1,23 | 2,55 | 30,16 | 40,08 | 40,36 | 89,9642857 |
| ZDP14(840) | 1,22 | 2,20 | 2,79 | 22,36 | 37,80 | 38,68 | 81 |
| ZDestP6(1371) | 1,30 | 1,89 | 2,63 | 30,15 | 39,15 | 40,06 | 88,2678571 |
| ZDestP10(1371) | 1,06 | 1,76 | 3,79 | 5,19 | 39,74 | 40,21 | 89,1964286 |
| ZDestP5(1370) | 1,34 | 1,87 | 3,81 | 37,38 | 39,38 | 40,05 | 88 |
| P3 | 3,25 | 5,34 | 11,48 | 12,99 | 39,78 | 40,74 | 87,4285714 |
| ZDNE P2 | 3,41 | 4,35 | 8,93 | 14,75 | 40,84 | 41,69 | 89,2857143 |
| P19 | 4,08 | 5,70 | 10,80 | 22,10 | 25,70 | 26,07 | 50,9821429 |
| P150 | 3,95 | 5,28 | 9,68 | 24,83 | 32,17 | 32,36 | 67,3214286 |

Tableau 4 : PAF et le % de CaCO₃ à différentes températures.

3)5) La courbe de PAF à chaque température prise :

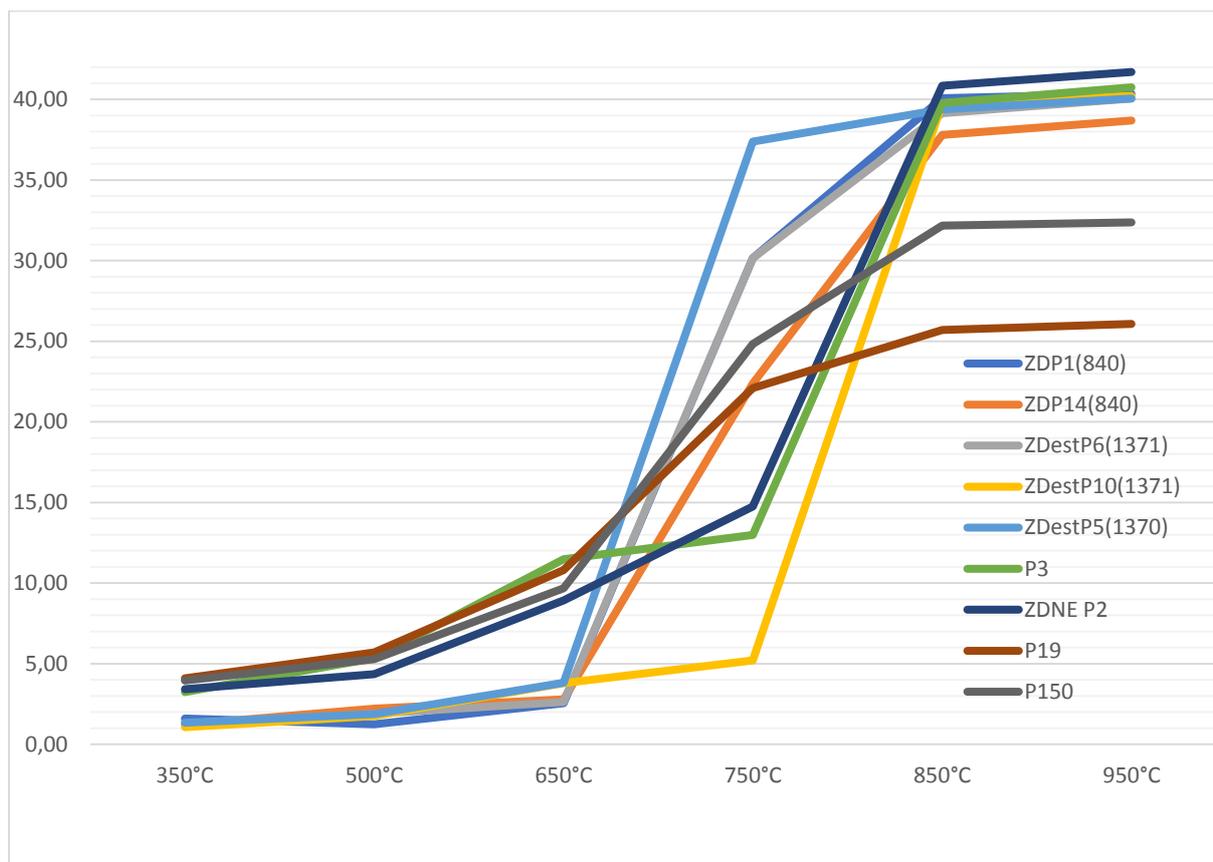


Figure 18 : Graphe de PAF des différents panneaux en fonction des températures.

D'après la courbe ci-contre, qui est représenté en perte au feu en fonction de des différents températures. Il est bien clair que les zones dans l'intervalle de [350-500°C] les courbes sont bien superposées, et la valeur maximale de PAF ne dépasse pas 5.70 %, ce qu'explique la décarbonation de carbonate de magnésium est déclenché, et la faible valeur est expliquer par la faible teneur commune de MgO de différentes zones. Au-delà de 650°C on constate un écartement au niveau des allures des courbes, ceci est due au début de la décarbonatation de carbonate de calcium de quelques panneaux.

Cela nous permet de différencier entre la différence aptitude de la cuisson de ces derniers.

On peut remarquer à 750°C l'existence de trois intervalles verticaux, qui nous mène à séparer entre différentes aptitudes :

- Ceux qu'elles ont une difficile aptitude au cuir, elles sont les zones qu'on un pourcentage de PAF inférieur à 15 %, ceci remarquable pour les zones ZDest P10, P3 et P2.
 - Ceux qu'elles ont une aptitude moyenne, leurs valeurs de PAF situé entre 15 et 25 %, et qu'elles sont P19, ZDP14 et P150.
 - Ceux qu'elles ont une facile aptitude, sont les zones, qu'présent des valeurs supérieures à 25% et qu'elles sont ZDest P5, ZD P1 et ZDest P6.
- ✚ On peut savoir plus, si on essaye de tracer les allures trouvant précédemment à des intervalles bien précis.
- ✚ Les six courbes ci-dessous montrent la variation de % PAF dans différentes zones à des températures précises.

À une température de 350°C :

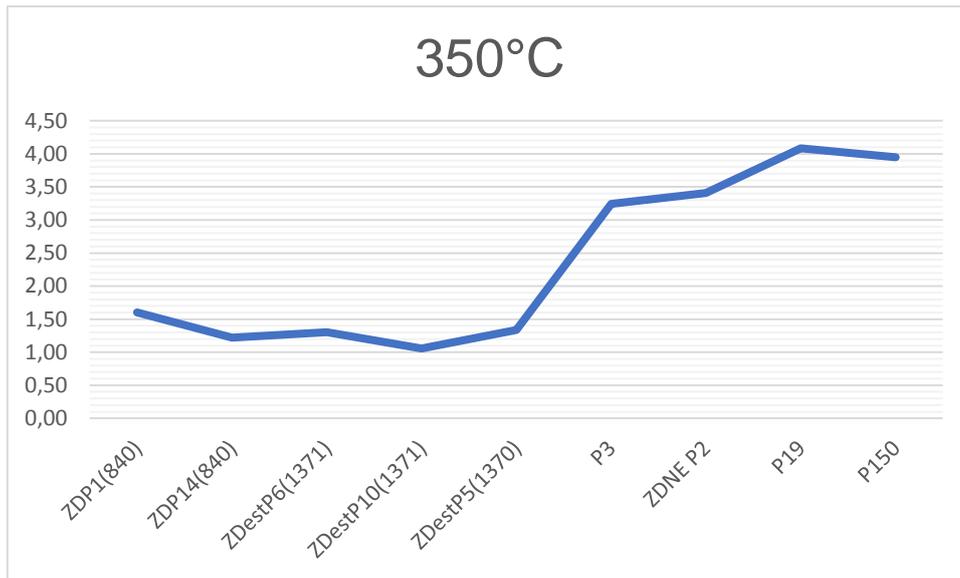
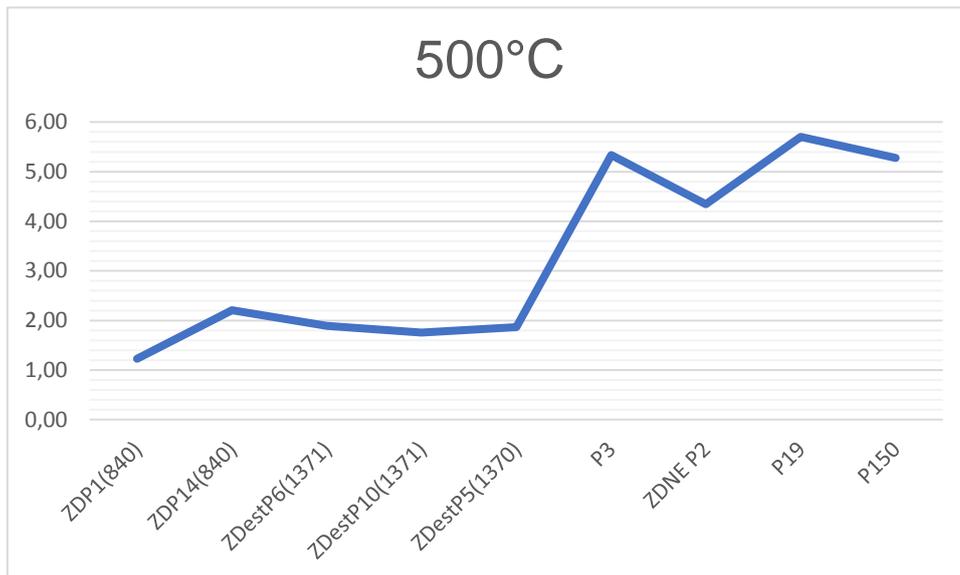


Figure 19 : Courbe représente la PAF à 350°C en fonction des panneaux.

On observe que les valeurs de pourcentage de PAF de l'un des panneaux suivants sont centrées à deux valeurs : 1.5% pour P1, P14, P6, P10 et P5 et 3.5% pour P3, P2, P19 et P150.



A une

température de 500°C :

Figure 20 : courbe représente la PAF à 500°C en fonction des panneaux.

Des pourcentages de PAF qui sont centrés à l'entour de deux valeurs : 2% pour P1, P14, P6, P10, et P5. 5% pour P3, P2, P19 et P150.

- Ce qu'explique les valeurs superposées dans l'intervalle [350-500] observer dans le graphe

A une température de 650°C :

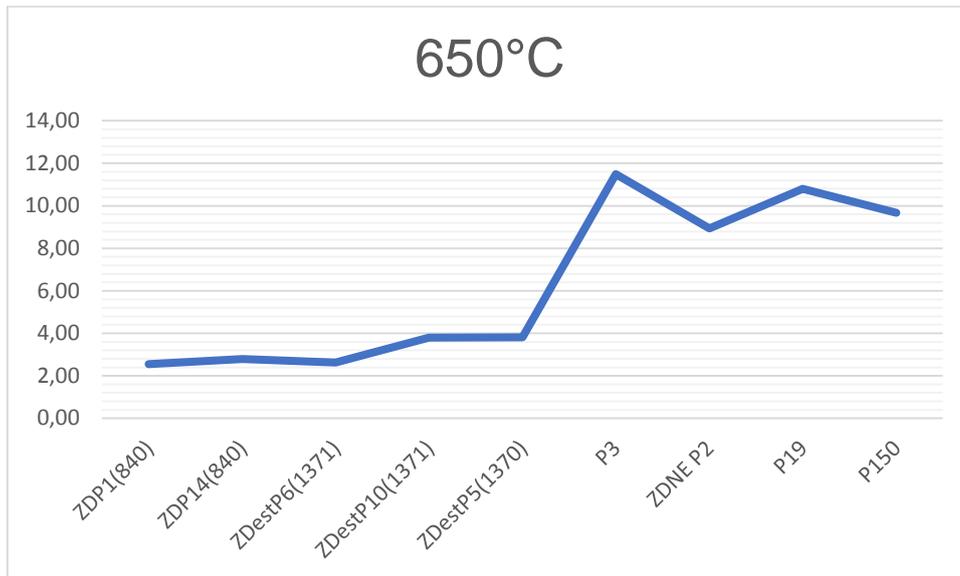
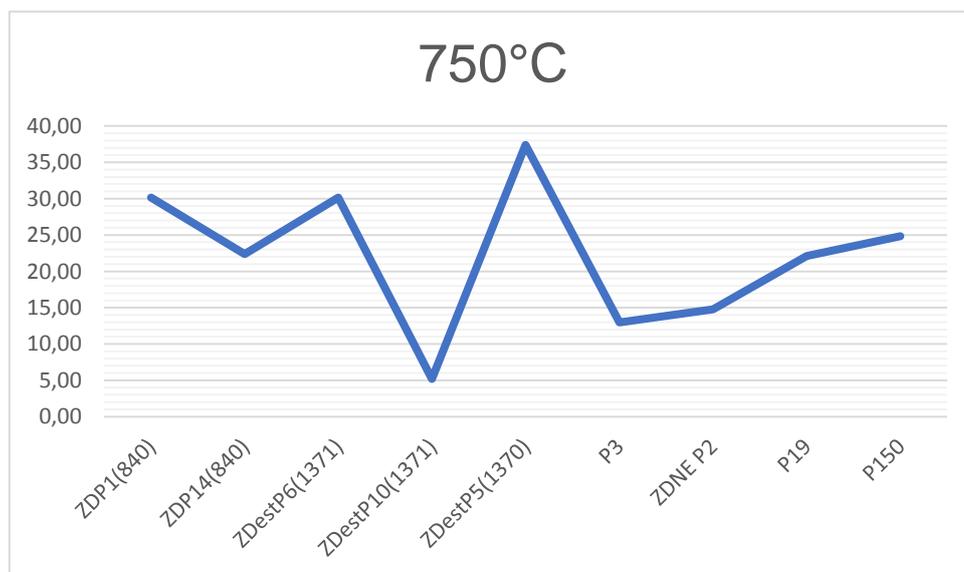


Figure 21 : courbe représente la PAF à 650°C en fonction des panneaux.

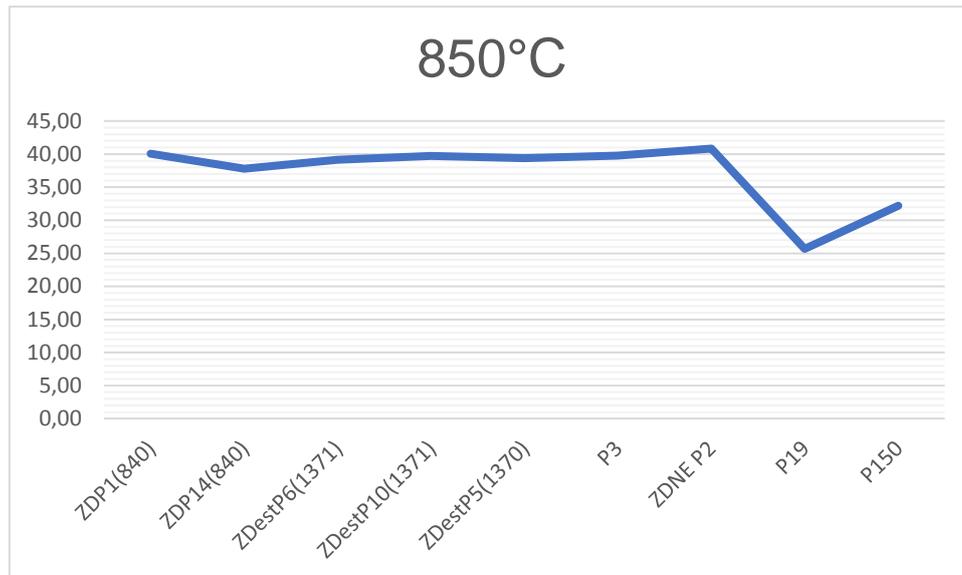
Une augmentation est observable de pourcentage PAF qui est à l'entour de 10% pour les panneaux suivants P3, P2, P19 et P150. Par contre aux panneaux restants, qui n'ont pas pu dépasser les 4%.



A une température de 750°C :

Figure 22 : Courbe représente la PAF à 750°C en fonction des panneaux.

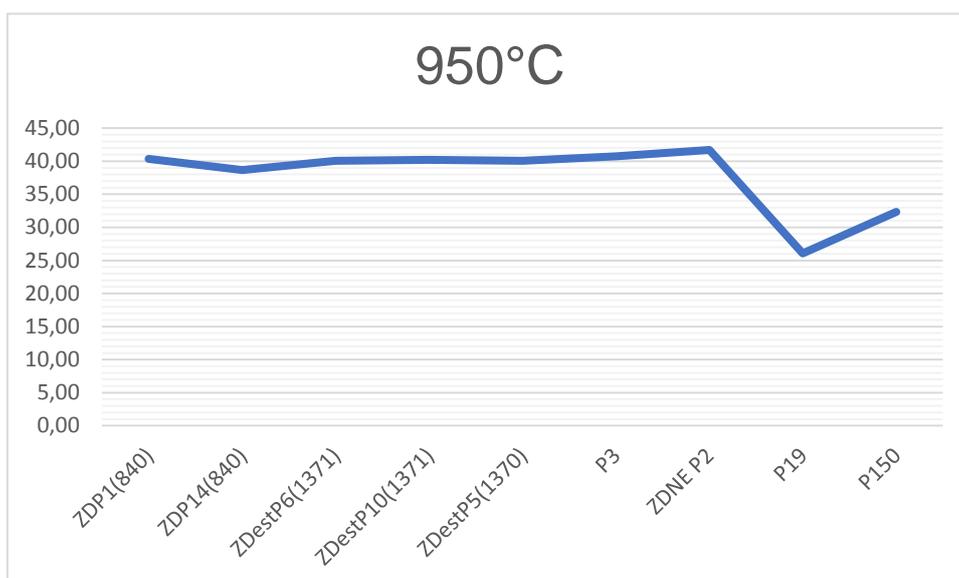
On voit une progression marquante de pourcentage PAF au-delà de 30% pour chacun des panneaux suivants : P1, P6 et P5. Et d'un pourcentage de PAF entre 15-25 % pour P19, P150 et P14. Par contre aux trois panneaux restants P10, P3 et P2, ils n'ont pas pu dépasser les 15% même à une température assez élevée comme celle-ci.



A une température de 850°C :

Figure 23 : Courbe représente la PAF à 850°C en fonction des panneaux.

On remarque une augmentation de toutes les valeurs de PAF de chaque panneau avec la centration de la plupart des valeurs des panneaux à une valeur maximale à l'entour de 40%, sauf pour P19 et P150 n'ont pas pu dépasser les 33 %.



A une température de 950°C :

Figure 24 : Courbe représente la PAF à 950°C en fonction des panneaux.

Les valeurs obtenues à 950°C sont concentrées à l'entour de 40% pour la plupart des panneaux, sauf pour P19 et P150, ces deux derniers n'ont pas dépasser les 35%.

- On remarque qu'à 850°C et 950°C la variation de PAF de chaque panneau est constante tout au long de cet intervalle, ce si est dû à la fin de décarbonatation de carbonates de calcium.

On peut constater qu'en augmentant la température le PAF augmente proportionnellement

1) Calculs de pourcentage de CaCO₃ des différents panneaux

Tableau 5 : pourcentage de CaCO₃ à 950°C.

| Panneaux | 950°C | CaCO ₃ |
|-----------------------|------------|-------------------|
| P19 | 26,0696913 | 50,9821429 |
| P150 | 32,3632014 | 67,3214286 |
| ZDP14(840) | 38,6810336 | 81 |
| P3 | 40,743331 | 87,4285714 |
| ZDestP5(1370) | 40,0519377 | 88 |
| ZDestP6(1371) | 40,0599401 | 88,2678571 |
| ZDestP10(1371) | 40,212428 | 89,1964286 |
| ZDNE P2 | 41,692415 | 89,2857143 |
| ZDP1(840) | 40,3571785 | 89,9642857 |

Voir annexe.

Avec $\text{CaCO}_3 = \% \text{CaO} / 0.56$ en se basant sur les masses molaires et l'équation suivante :



4)5) La courbe de PAF et de % de CaCO_3 .

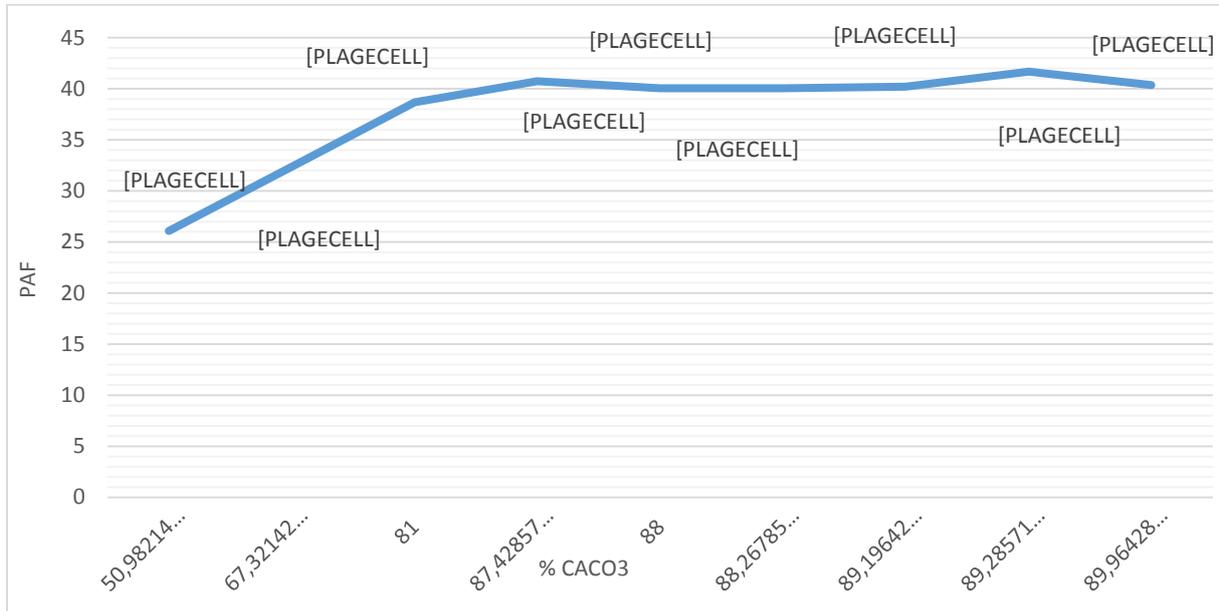


Figure 25 : courbe représente la PAF à 950°C en fonction de pourcentage de CaCO_3 .

On observe la variation de perte au feu en fonction de pourcentage de CaCO_3 présent dans chaque panneau. D'après la courbe on peut déduire la corrélation entre les trois paramètres PAF, $\% \text{CaCO}_3$ et $\% \text{CaO}$. A 950°C la décarbonatation de MgO est négligeable d'où le pourcentage de l'émission du CO_2 provenant de ce dernier (MgO) est aussi négligeable. Cela nous mène à la formule suivante :

$$\% \text{ PAF} = \% \text{ CO}_2(\text{CaCO}_3), \text{ avec } \% \text{ CaCO}_3 = \% \text{ CaO} / 0.56$$

Cela montre la proportionnalité de ces trois paramètres.

- Une augmentation de $\% \text{ CaCO}_3$ (CaO) entraîne une augmentation de $\% \text{ PAF}$ et vice versa, et cela est remarquable pour chaque panneau.

Conclusion :

D'après les résultats expérimentaux obtenus par le calcul de la perte au feu des échantillons, il ressort que la variation du pourcentage du PAF trouve ce qui nous mène au problème de l'aptitude de la cuisson, qui nous a rencontré lors de la fabrication de ciment.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de conclure :

- ✚ La différence de l'aptitude à la cuisson peut être due à la différence de la composition chimique de ses différents panneaux car la composition chimique a un impact plus conséquent sur l'aptitude à la cuisson.
- ✚ La différence entre la taille des grains du cru lors de broyage, car cette dernière a un impact sur la cuisson.

L'aptitude à la cuisson peut être corrigée :

- ✚ Par une augmentation de la durée et de la température de cuisson.
- ✚ Par un mélange à des proportions égales des panneaux, qui ils ont une aptitude à la cuisson facile avec ceux qui ils ont une aptitude difficile pour avoir une aptitude à la cuisson moyenne.

Tableau 6 : : l'aptitude des différents panneaux.

| Aptitude à la cuisson | Panneau |
|-----------------------|----------------|
| Facile à cuire | ZDestP5(1370) |
| Facile à cuire | ZDestP6(1371) |
| Facile à cuire | ZDP1(840) |
| Moyenne | P19 |
| Moyenne | P150 |
| Moyenne | ZDP14(840) |
| Difficile à cuire | ZDestP10(1371) |
| Difficile à cuire | P3 |
| Difficile à cuire | ZDNE P2 |

Ce stage que j'ai effectué au sein de la société Lafarge Holcim Maroc, c'est avéré fructueux grâce aux nouvelles connaissances acquises dans le domaine industriel et les situations rencontrées, bien que mes connaissances professionnelles sont bien enrichies grâce aux personnes compétentes que j'ai rencontrées au sein de l'entreprise et mes qualités relationnelles sont bien améliorées.

Bibliographie et Webographie :

<https://www.issep.be/wp-content/uploads/D-II-5-perte-au-feu.pdf>

<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Ciment-page-2.html>

<https://123dok.net/article/finesse-cru-l-aptitude-cuisson.zlgwxkry>

<https://www.infociments.fr/ciments/types-et-composition>

<https://www.infociments.fr/glossaire/filler>

<https://www.e2me.fr/catalogue/essais-sur-ciments-mortiers-2.html>

<https://www.e2me.fr/catalogue/armoires-humides-et-bains-de-conservations-153.html>

<https://www.e2me.fr/catalogue/presses-ciments-mortiers-167.html>

Historique de la section de Lafarge de 1928 à 2015.

Des documents fournis par Lafarge Holcim de Meknès.

Doc chef de poste, document détailler sur le ciment depuis l'extraction jusqu'au l'ensachage.

Des PPT détailler sur chaque étape de processus de fabrication.

Dossier de Fiche technique.

Des documents sur le procédé de fabrication.