



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Technique d'échantillonnage de la matière première pour la
préparation du ciment**

Présenté par :

◆ **Tarik SAGHOURI**

Encadré par :

- ◆ **Mr. Fouad BOUHASSANE (Lafarge-Holcim)**
- ◆ **Pr. Mohammed KHALID SKALLI (FST)**

Soutenu Le 09 Juin 2017 devant le jury composé de:

- **Pr. Mohammed KHALID SKALLI**
- **Pr. Abdellah FARAH**
- **Pr. Mohammed CHAOUQI**
- **Mr. Fouad BOUHASSANE (Lafarge-Holcim)**

Stage effectué à Lafarge-Holcim Meknès

Année Universitaire 2016 / 2017

Remerciements

Dans le cadre d'obtention de la licence sciences et techniques, spécialité génie chimique à la faculté des sciences et techniques Fès, j'effectue un stage de fin d'études à l'usine **Lafarge-Holcim** de Meknès du 10 Avril au 28 Mai 2017.

Avant de commencer ce rapport, je tiens spécialement à exprimer mes sincères gratitude à **Monsieur Le Directeur de Lafarge-Holcim Meknès** qui a eu la bienveillance de m'accorder ce stage.

Je remercie aussi mon tuteur de stage **Monsieur Fouad BOUHASSANE**, chef du service carrière, pour son encadrant et ses encouragements et son intérêt aux activités des stagiaires.

Je tiens également à remercier mon encadrant **Professeur Mohammed KHALID SKALLI**, pour sa disponibilité, son aide, ses orientations et ses conseils fructueux qu'il m'apporté à la réalisation de ce travail.

Je profite de cette occasion pour remercier également mes professeurs messieurs les jurys **Professeur Mohammed CHAOUQI** et **Professeur Abdellah FARAH** d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je ne manque pas de cette occasion pour adresser mes sincères remerciements à toutes personnes de l'usine plus précisément **Monsieur Mohamed DERRI** et **Monsieur Jaouad AGUELMANE**, qui ont été toujours disponible pour répondre à mes questions tout au long de mon stage.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement au bon déroulement de ce stage dans les meilleures conditions.

Liste des abréviations

Mdt : Milliards de tonnes.

BTP : Bâtiments et travaux publics.

USGS : United States Geological Survey.

EPI : Equipement de Protection Individuelle.

C : Oxyde de calcium (la chaux vive).

S : Oxyde de silicium (silice).

A : Oxyde d'aluminium (alumine).

F : Oxyde de fer (oxyde ferrique).

C₃S : Silicate tricalcique (Alite).

C₂S : Silicate bicalcique (Belite).

C₃A : Aluminate tricalcique.

C₄AF : Ferro-aluminate tricalcique.

CPJ : Ciment portland avec ajouts.

MPa : Méga Pascal.

RC28 : Résistance à la compression à 28 jours.

A/F : Module Alumino-ferrique.

MS : Module silicique.

P.F : Perte au feu.

FX : Fluorescence X.

Liste des figures

Figure 1 : Evolution du marché mondial du ciment.....	3
Figure 2 : Organigramme de Lafarge-Holcim Meknès.....	8
Figure 3 : Equipement de protection individuelle (EPI).....	10
Figure 4 : Schéma de fabrication du ciment.....	15
Figure 5 : Extraction de la matière première.....	16
Figure 6 : Hall de pré-homogénéisation.....	17
Figure 7 : Broyeur à galets.....	19
Figure 8 : Silo d'homogénéisation de 7 500 tonnes.....	19
Figure 9 : Etapes de cuisson du clinker.....	20
Figure 10 : Echangeur à cyclones.....	20
Figure 11 : Four rotatif.....	22
Figure 12 : Aspect du clinker.....	23
Figure 13 : Silo à clinker.....	25
Figure 14 : Ajouts du clinker.....	25
Figure 15 : Expédition de ciment.....	26
Figure 16 : Sondeuse.....	30
Figure 17 : Quartage de la matière.....	30
Figure 18 : Appareil Fluorescence X et les pastilles.....	32

Liste des tables

Tableau 1 : 18 Plus grands producteurs mondiaux.....	5
Tableau 2 : Consommation de ciment au Maroc.....	6
Tableau 3 : Composition chimique du cru.....	13
Tableau 4 : Composition chimique du clinker.....	13
Tableau 5 : Caractéristiques des deux fours.....	21
Tableau 6 : Résultats de l'analyse par FX des échantillons du P1 zone D Ouest.....	33
Tableau 7 : Résultats de l'analyse par FX des échantillons du P3 zone 4.....	33

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation de Lafarge-Holcim	2
1- Présentation de secteur du ciment	3
1.1 Sur le plan mondial	3
1.2 Sur le plan national	6
2- Présentation de Lafarge-Holcim Meknès	6
3- Présentation des services de Lafarge-Holcim usine de Meknès	7
3.1 Service carrière	8
3.2 Service fabrication	8
3.3 Service électrique et régulation	8
3.4 Service commercial	8
3.5 Service financière	9
3.6 Service contrôle de qualité	9
3.7 Service procédé	9
3.8 Direction administrative	9
3.9 Service sécurité	9
Chapitre II : Procédé de fabrication du ciment	11
1- Ciment	12
1.1 Définition du ciment	12
1.2 Définition du ciment Portland	12
1.3 Types du ciment fabriqués à Lafarge-Holcim Meknès	13
➤ CPJ35.....	14
➤ CPJ45.....	14
➤ CPJ55.....	14
2- Procédé de fabrication du ciment	14
2.1 Extraction des matières premières	15
2.2 Concassage	16
2.3 Pré-homogénéisation	17
2.4 Préparation du cru	17
2.5 Broyage du cru	18
2.6 Homogénéisation	19
2.7 Cuisson	20
2.8 Broyage du clinker	25
2.9 Ensachage et expédition	26

Chapitre III : Etapes de préparation de la matière première avant le processus de fabrication du ciment.....27

1. Présentation du sujet.....28

2. Etapes de préparation de la matière première29

2.1 Décapage.....29

2.2 Sondage.....29

2.3 Etape Cuttings.....30

2.4 Analyse chimique : Fluorescence X.....31

Conclusion générale.....34

Références bibliographiques

Introduction générale

Le secteur cimentier au Maroc a connu un grand développement ces dernières années, il constitue un facteur important dans la croissance économique du Maroc et du monde en général.

L'exigence de la qualité du ciment par les clients devient un facteur déterminant dans le marché et par conséquent aux choix des clients.

Le secteur cimentier occupe actuellement une place importante dans le tissu socio-économique marocain et ce en raison de sa forte contribution à la création de la valeur ajoutée, la promotion de l'emploi, la lutte contre l'habitat insalubre et la protection de l'environnement. Son développement est étroitement lié au développement du pays et à la mise à niveau du secteur de la construction et du logement.

La volonté de croissance du groupe Lafarge-Holcim, leader international des matériaux de construction, s'inscrit dans le cadre d'une stratégie de développement durable ayant pour but de réduire l'impact de la forte concurrence et l'énorme demande des matières de construction.

Sous le thème d'un contrôle de qualité, l'industrie réalise des analyses pour la prévention de défauts et leurs améliorations tout au long du processus, depuis la matière première jusqu'au produit fini, il réalise aussi des études à pour objectif d'études et d'analyses des données géologiques, des variations géochimiques, de la caractérisation et d'hétérogénéité chimique de la matière première et de déterminer les zones plus riches en CaCO_3 et de proposer quelques recommandations pour l'amélioration de qualité du ciment.

Mon rapport de stage est composé de trois chapitres, le premier chapitre est consacré à la présentation de Lafarge-Holcim, le second étudie le procédé de fabrication du ciment et le troisième chapitre sera consacré aux étapes de préparation de la matière première avant le processus de fabrication du ciment.

Chapitre I

Présentation de Lafarge-Holcim

1. Présentation de secteur du ciment

1.1 Sur le plan mondial

La production mondiale de ciment est estimée à 4 milliards de tonnes en 2013, en moyenne la production s'élève à 555 kilos de ciment par habitant et par an. Au total, la production mondiale de ciment augmente régulièrement, grâce à la croissance de la production dans les pays émergents : 1.370 milliards de tonnes (Mdt) en 1994, 2.55 Mdt en 2006, 2.96 Mdt en 2009, 3.3 Mdt en 2010 soit +9.2% par rapport à 2009, 3.4 Mdt en 2011, soit +2.8% par rapport à 2010. La production mondiale de ciment est dominée par quelques groupes internationaux occidentaux, le suisse Holcim, le français Lafarge, L'Irlandais CRH, L'Allemand Heidelberg Cement, le Mexicain Cemex et L'Italien Italcementi.

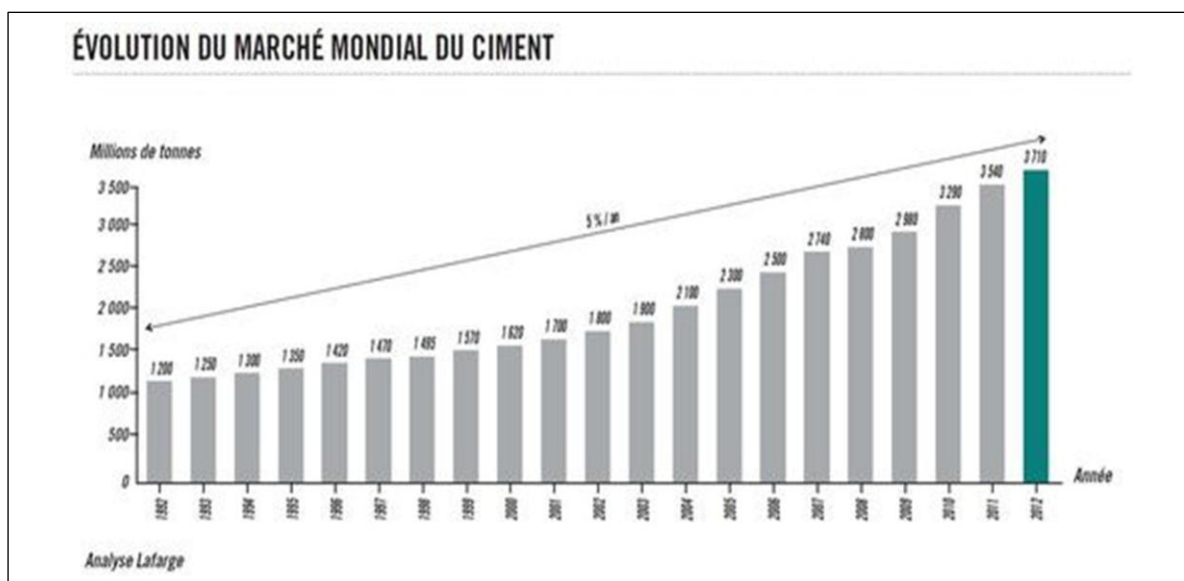


Figure 1 : Evolution du marché mondial du ciment

La consommation mondiale de ciment a plus que doublé en 15 ans. Surtout du fait du boom de la construction dans les pays émergents. Les marchés émergents consomment aujourd'hui 90% de la production de ciment, contre 65% au début des années 1990. La consommation mondiale de ciment devrait croître régulièrement jusqu'en 2030-2050, pour culminer autour de 5 Mdt.

La **Chine** reste, et de loin, le premier producteur avec 57.5% du total mondial avec ses 2.3 Mdt annuelles, soit 1.7 tonnes par habitant. Elle représentait 47% du total mondial en 2006 et

29% en 1994. La chine a produit, seule, en 2013 l'équivalent de la production mondiale en 2005.

L'**Inde** reste un second loin derrière, mais progresse régulièrement : ses 280 millions de tonnes annuelles représentent 12% de la production chinoise, mais 7% de la production mondiale. La production 2013 représente 227 kilos par habitant.

Les **Etats-Unis** sont 3^{ème} : 77.8 millions de tonnes, soit 244 kilos par habitant, et demeure un troisième qui décroît régulièrement : sa production représentait 5.7% de la production mondiale en 1994, 3.9% en 2006 et 1.9% en 2013.

L'**Iran** est 4^{ème} : 75 millions de tonnes, soit 928 kilos par habitant, a réalisé en 2013 nettement plus du double de sa production 2006 de 33 millions de tonnes.

Le **Brésil** est 5^{ème} : Un peu plus de 70 millions de tonnes, soit 344 kilos par habitant: il progresse lui aussi très vite car sa production n'était que de 26 millions en 1994 et de 39 millions 2006.

La **Turquie** est 6^{ème} : 70 millions de tonnes, soit 858 kilos par habitant, Sa vitesse de progression s'est un peu ralentie ces dernières années : 47.5 millions en 2006 et 64 millions 2011.

Le tableau suivant présente par ordre décroissant, les 18 premiers pays producteurs mondiaux de ciment :

En millions de tonnes (e=estimé)	2006	2008	2012	2013
Chine	1237.0	1400.0	2210.0	2300.0
Inde	160.0	185.0	270.0	280.0
Etats Unis	99.7	87.6	74.9	77.8
Iran	33.0	44.4	70.0	75.0
Brésil	39.5	52.0	68.8	70.0
Turquie	47.5	54.0	63.9	70.0
Russie	54.7	53.5	61.5	65.0
Vietnam	32.7	40.0	60.0	65.0
Japon	69.9	62.8	51.3	53.0
Arabie Saoudite	27.1	31.8	50.0	50.0
Korè	54.0	51.7	48.0	49.0
Egypte	36.2	39.8	46.1	46.0
Mexique	40.4	37.1	35.4	36.0
Indonésie	35.0	36.0	32.0	35.0
Thaïlande	39.4	31.7	37.0	35.0
Allemand	33.6	33.6	32.4	34.0
Pakistan	20.7	30.8	32.0	32.0
Italie	47.8	43.0	33.0	29.0
Autres pays	491.8	535.2	524.0	598.2
Total	2600.0	2850.0	3800.0	4000.0

Tableau 1 : 18 plus grands producteurs mondiaux

Les données sont fournies par l'USGS (United States Géological Survey) qui produit de nombreuses analyses mensuelles et divers rapports annuels sur son site, sur la plupart des métaux et des minerais.

1.2 Sur le plan national

C'est à partir de 1912 que le ciment commençât à être utilisé au Maroc, d'abord pour certaines réparations, puis pour les constructions principalement à Casablanca. La construction du port de Casablanca nécessite des quantités importantes de ciment, qui était à l'époque importé.

C'est alors que fut décidée en 1913, l'implantation de la première cimenterie à Casablanca avec une capacité de production de 10 000 tonnes. L'accroissement des besoins nationaux en ciment a engendré l'extension de l'usine de Casablanca et la création de nouvelles unités.

Les cimenteries marocaines génèrent un chiffre d'affaire annuel de 15 milliards de dirhams. Elles constituent un acteur majeur dans l'économie du Royaume. Actuellement les principaux acteurs du ciment marocain sont au nombre de quatre : **Lafarge-Holcim** (en train de fusionner), **Ciments du Maroc** filiale du groupe Italien Italcementi, **Asment Temara** filiale du groupe Portugais Cimpor et finalement le dernier né 100% marocain, **les Ciment de l'Atlas** (CIMAT). Les parts de marché sont réparties comme suit : Lafarge-Holcim (54.9%), Ciment du Maroc (23.9%), Ciments d'Atlas (14.5%), Asment Temara (6.7%). Sur le plan interne, les quatre grands consommateurs sont : Tanger-Tétouan (11.9%), Grand Casablanca (11.6%), Oriental (11.5%) et Marrakech Tensift Haouz (10%).

L'activité de la construction au Maroc a continué sa tendance à la baisse à partir d'année 2012, et celle de ciment aussi. La consommation de ciment n'en finit pas de chuter au Maroc. L'année 2014 s'est soldée par une nouvelle baisse. Dans un contexte incertain pour le BTP et de fusion Lafarge-Holcim, la profession prévoit au mieux une stabilisation en 2015.

Année	Millions de tonnes	Variations
2014	14.01	-5.4%
2013	14.86	-6.3%
2012	15.87	-1.6%
2011	16.13	+10.9%

Tableau2 : Consommation de ciment au Maroc

2- Présentation de Lafarge-Holcim Meknès

Lafarge et Holcim ont lancé leur projet de fusion sont tous implantés au Maroc où Lafarge détient environ 40% du marché contre 25 à 30% à Holcim. Dans un marché en berne,

le conseil marocain de la concurrence devrait être saisi du rapprochement. La structure complexe du capital des deux groupes, tous deux côtés à Casablanca, où l'on retrouve pêle-mêle la famille royale du Maroc, la banque islamique de développement ou des investisseurs individuels risque aussi de compliquer l'opération.

L'usine de Meknès occupe une position stratégique par sa situation géographique. La qualité «low alkali» de son ciment en fait un fournisseur privilégié pour des chantiers d'ouvrages d'art (barrages...) De nombreuses actions sont menées par l'usine au sein de ses communautés. Une attention particulière est portée au dialogue local.

Dates et chiffres clés :

1953 : Démarrage du premier four.

1969 : Démarrage du four 2.

1971 : Extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four et augmentation de la capacité broyage ciment à 650 000 t.

1978 : Nouvelle extension du broyage ciment.

1985 : Conversion du four 1 en voie sèche avec installation d'un mini pré-calcaireur.

1993 : Nouvelle extension avec démarrage d'une seconde ligne de cuisson.

2001 : Installation d'un nouveau broyeur ciment portant la capacité de l'usine à 1 750 000 t.

2002 : Certification ISO 14001.

2003 : Début d'utilisation des pneus déchiquetés dans les fours.

2005 : Stockage couvert de clinker.

2010 : Démarrage d'une nouvelle carrière OULED RAHOU.

2013 : Mise en service d'un palettiseur.

L'usine de Meknès est la 2^{ème} cimenterie du groupe Lafarge en terme de capacité, après celle de Bouskoura, et suivie par celle de Tétouan, de Tanger et d'El Jadida. Elle y occupe une position majeure grâce à sa situation géographique

3- Présentation des services de Lafarge-Holcim usine de Meknès

En partant de l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du ciment, le processus de fabrication nécessitant l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches :

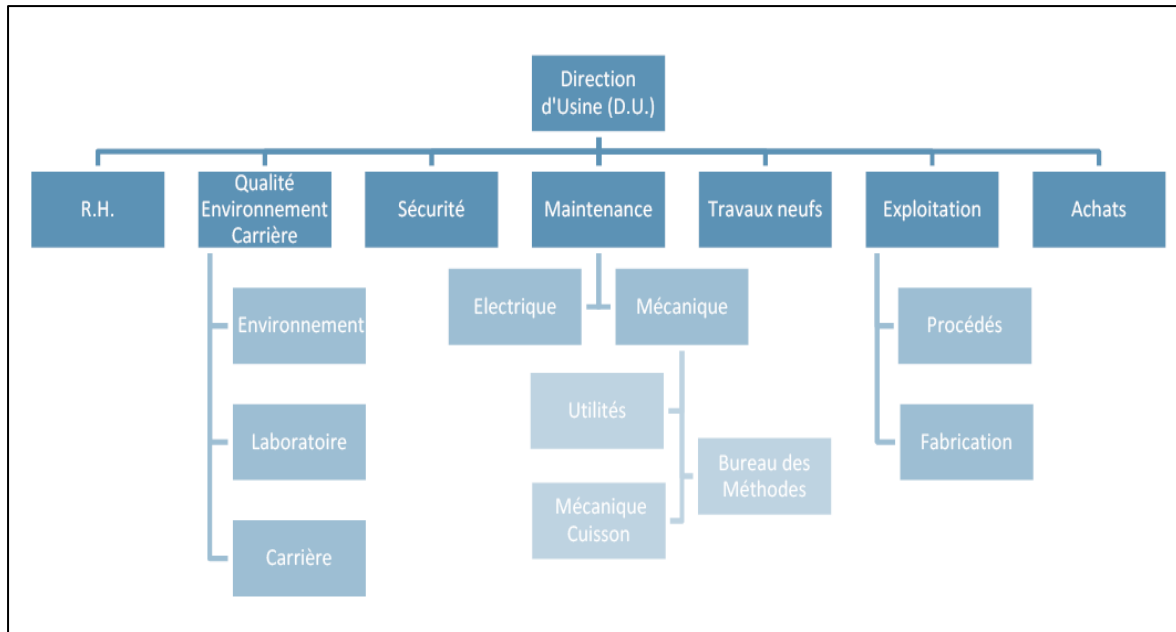


Figure 2 : Organigramme de Lafarge-Holcim Meknès

3.1 Service carrière :

Il permet l'approvisionnement des matières premières. Celles-ci sont extraites sur un site à 5Km de l'usine et sont concassés par un concasseur. Les matières concassées sont ensuite acheminées vers l'usine par un tapis roulant.

3.2 Service fabrication :

Les ateliers composant la fabrication du ciment (concassage de la matière première, pré-homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) fonctionnent automatiquement, leur suivi se fait à partir d'une salle de contrôle. Le service fabrication est donc composé de chefs de postes, d'opérateurs et de rondiers qui assurent la production 24h/24h.

3.3 Service électrique et régulation :

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

3.4 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.

3.5 Service financière (Comptabilité générale) :

Le service comptabilité générale s'occupe de tous les projets d'investissement quelle que soit leur nature car pour tous achats et approvisionnement, des commandes sont établies et présentées à la section « Fournisseurs d'exploitation » qui s'occupe d'établir ces commandes par l'envoi d'une facture préforma. Les fournisseurs avisent la société de leur possession des produits demandés, les bons de commandes sont préparés par le bureau du service achat et rapatrié ultérieurement au service de la comptabilité fournisseurs afin de vérifier la conformité de la marchandise et d'enregistrer et classer les bons de commande.

3.6 Service contrôle de qualité :

Lafarge-Holcim usine de Meknès est dotée d'un laboratoire équipé de tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'aux expéditions du produit fini et ce conformément aux normes en vigueur et aux besoins de la clientèle.

Le personnel de ce laboratoire ayant en charge le contrôle de la qualité est compétant et suit des formations continues en matière de contrôle de qualité et selon un planning de formation préétabli.

Ce laboratoire est divisé en plusieurs départements, agencés de telle sorte à assurer une bonne réception, identification et conservation des échantillons ainsi que la réalisation de tous les essais.

3.7 Service procédé :

Ce service s'intéresse aux différents procédés s'effectuant au sein de l'usine, il contrôle en collaboration avec les services de fabrication et de qualité le processus de fabrication du ciment, aussi cherche-t-il à optimiser les paramètres de réglage de différentes installations (cuisson, broyage...) En effet des audits et des tests de performance se réalisent systématiquement dans le but d'améliorer le rendement des unités de production.

3.8 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.

3.9 Service sécurité :

Il est le moteur pour la réalisation et l'encadrement de l'effectif de l'usine pour produire un ciment avec un objectif de zéro accident il a pour mission l'animation de la sécurité,

le soutien de la hiérarchie en matière de sécurité, l'animation d'un comité de sécurité d'usine, instauration des procédures de sécurité, le reporting sécurité et la gestion du réseau sécurité inter usines.

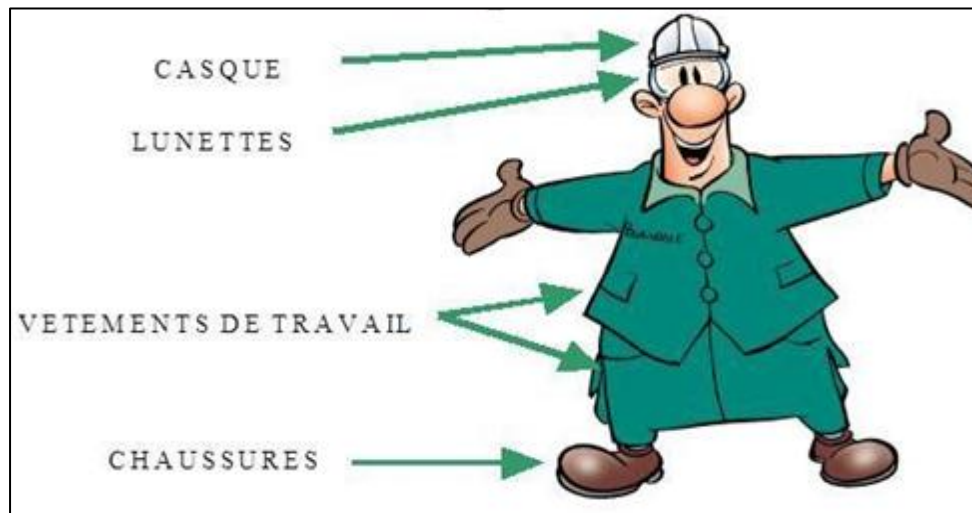


Figure 3 : Equipement de protection individuelle (EPI)

Chapitre II
Procédé de fabrication du ciment

1- Ciment

1.1 Définition du ciment

Le ciment est une matière pulvérulente, formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il désigne également, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier.

C'est une gangue hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre, mélangée à de l'eau, pour agréger du sable fin, pour produire du mortier, des graviers, ou encore du béton.

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminate de calcium résultant de la combinaison de la chaux vive (CaO) avec la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) et l'oxyde ferrique (Fe_2O_3). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, mais l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles.

Le produit principal du ciment est le **clinker** (produit de la cuisson), il est obtenu par la cuisson du **cru** (farine) obtenue par broyage fin des matières premières extraites des carrières composés essentiellement de calcaires et d'argiles. Le ciment est obtenu par broyage fin du clinker avec une quantité nécessaire de gypse et un/ou des ajouts (calcaire, silice, pouzzolanes, cendres volantes).

1.2 Définition du ciment Portland

Le ciment artificiel Portland est une poudre minérale qui a la propriété de former en présence de l'eau une pâte capable de faire prise et de durcir progressivement, même à l'abri de l'air et notamment sous l'eau. La dénomination Portland venant du fait que le ciment avait la couleur de la pierre extraite de la presqu'île britannique de Portland, le nom ensuite s'est conservé.

La composition chimique du clinker est très importante pour identifier le type de ciment fabriqué. Pour obtenir un clinker ayant des propriétés fixées, il faut un cru de compositions chimiques déterminées :

➤ Composition chimique du cru :

Nom	Symbole chimique	Notation cimentière	Pourcentage
Oxyde de calcium (chaux vive)	CaO	C	60 à 66 %
Oxyde de silicium (Silice)	SiO_2	S	18 à 24 %
Oxyde d'aluminium (Alumine)	Al_2O_3	A	4 à 8 %
Oxyde de fer (oxyde ferrique)	Fe_2O_3	F	1 à 5 %

Tableau 3 : Composition chimique du cru

➤ Composition chimique du clinker :

Le clinker se présente sous la forme de nodules durs et cristallisés, de teinte grise foncé pour les ciments habituels et verte pour le clinker de ciment blanc.

Nom	Symbole chimique	Notation cimentière	Pourcentage
Silicate tricalcique (Alite)	Ca_3SiO_5	C_3S	50 à 65 %
Silicate bi calcique (Belite)	Ca_2SiO_4	C_2S	15 à 20 %
Aluminate tricalcique	$Ca_3Al_2O_6$	C_3A	5 à 15 %
Ferro-aluminate tétra calcique (Ferrite)	$Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$	C_4AF	5 à 10 %

Tableau 4: Composition chimique du clinker

Le clinker contient aussi d'autres produits en petites quantités : de la chaux vive CaO , de la magnésie MgO , des alcalis Na_2O et K_2O et d'autres de moindre importance.

1.3 Types du ciment fabriqués à Lafarge-Holcim Meknès

Pour répondre aux besoins spécifiques des clients, usine de Meknès met à leur disposition une large gamme de ciment gris : **CPJ 35**, **CPJ 45** et **CPJ 55**.

➤ **CPJ 35 :**

Le CPJ 35 est un ciment Portland avec ajouts, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 65%, le reste étant constitué d'ajouts (calcaire d'addition, gypse, pouzzolanes), sa résistance à la compression à 28 jours (Rc28) doit être supérieure à 22.5 MPa.

Le CPJ 35 développe des performances adaptées pour une utilisation dans la confection des bétons faiblement sollicités, béton non armé et tous les types de mortiers.

➤ **CPJ 45 :**

Le CPJ 45 est un ciment Portland avec ajouts, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 72%, le reste étant constitué d'ajouts (calcaire d'addition, gypse, pouzzolanes), la Rc28 du CPJ 45 doit être supérieure à 32.5 MPa.

Le CPJ 45 développe des performances qui lui permettent d'être utilisé pour les bétons armés courants et les bétons destinés aux travaux en grandes masses.

➤ **CPJ 55 :**

Le CPJ 55 est un ciment Portland avec ajouts, composé principalement de clinker et de calcaire, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 83%. Sa Rc28 doit être supérieure à 48 MPa. Les niveaux de qualité garantie par la norme lui confèrent une bonne aptitude pour la confection des bétons armés destinés aux ouvrages bâtiment et travaux publics.

2- Procédé de fabrication du ciment

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise d'outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité.

Avant d'obtenir du ciment, la matière première passe par diverses étapes de transformation physico-chimiques de l'extraction jusqu'à l'expédition.

Le processus de fabrication du ciment est illustré par la succession des schémas suivants :

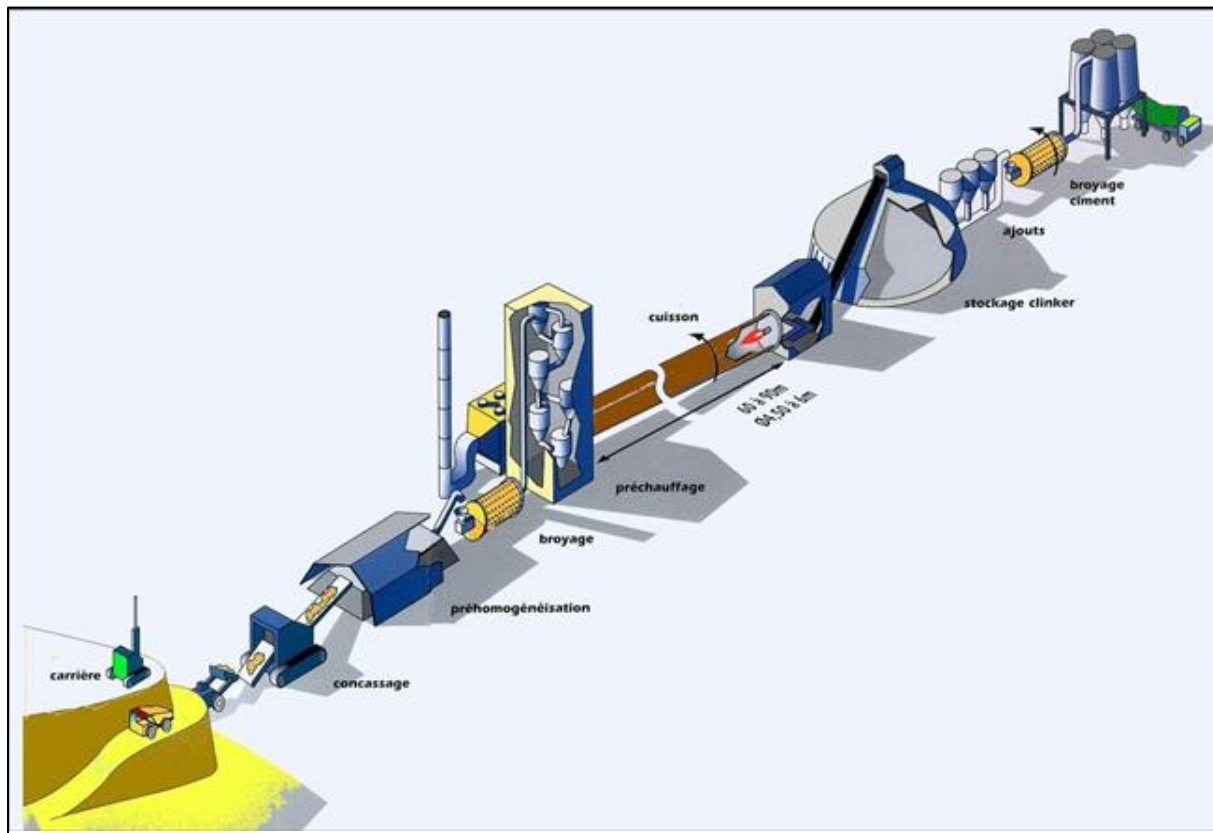


Figure 4 : Schéma de fabrication du ciment

2.1 Extraction des matières premières :

La carrière est située à 5,6 km de l'usine, elle est divisée en deux zones :

Zone 4 : Profondeur d'exploitation 18m.

Zone D : Profondeur d'exploitation 10m, à son tour elle est divisée aussi en deux zones : Zone D Est et Zone D Ouest.

La matière première est extraite des parois rocheuses d'une carrière par abattage et tirs de mines, la procédure d'un abattage de front est la suivante :

- Mettre en place les panneaux signalétiques de tir.
- Evacuer la totalité des matériaux en pied du front.
- Poser les graviers de bourrage près des trous de mines.
- Baliser les trous de mine.
- Définir les zones de dangers en Co-activité.

- Contrôler les tirs de mines.
- Charger les trous de mine par l'explosif.
- Mettre en place le bourrage.
- Raccorder les amorces.
- Mesurer la résistance du circuit d'explosif.
- Contrôler les lieux cachés et surveiller la carrière.
- Exécuter le tir.
- Contrôler les résultats du tir.

La matière première est reprise par des camions vers un atelier de concassage. Les roches sont échantillonnées en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires.



Figure 5 : Extraction de la matière première

2.2 Concassage

C'est une opération qui consiste à réduire la granulométrie de la matière première en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm). Elle assure également un certain mélange des matières (calcaire et schiste). Les matières premières sont transportées par les camions qui sont déchargés dans une trémie qui est reliée à un alimentateur à vitesse variable qui permet de réguler le débit d'alimentation.

La matière première passe par un concasseur à marteaux. Cette étape est capable de fournir un débit max de 1100 t/h.

Après le concassage, la matière est transportée par un tapis roulant vers les deux pré-homogénéisateurs.

2.3 Pré-homogénéisation

L'usine est équipée de deux halls de pré-homogénéisation, la capacité de chacun est de 18 000 tonnes.

Le hall de pré-homogénéisation est en général constitué de 2 tas (un en construction et l'autre en consommation), cette opération est réalisée pour aboutir un mélange pré-homogène en disposant la matière en couches horizontales superposées puis en la reprenant verticalement (tas en consommation) à l'aide d'une roue pelle.

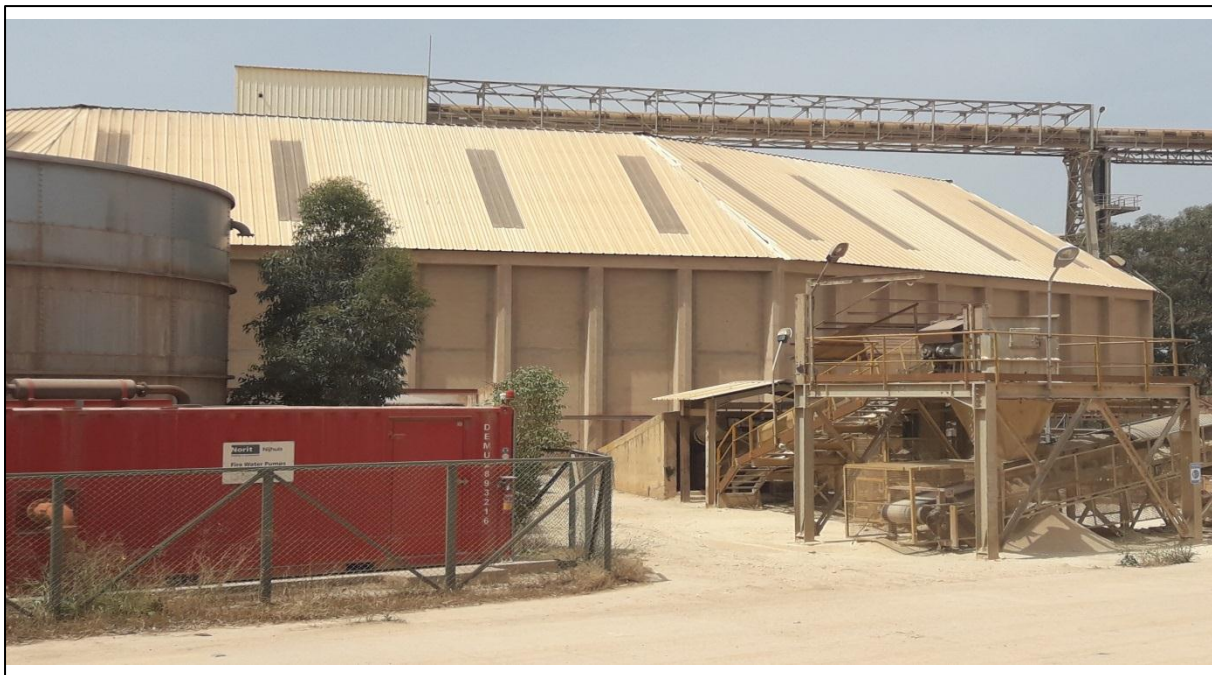


Figure 6 : Hall de pré-homogénéisation

2.4 Préparation du cru

La préparation du cru consiste à réaliser un dosage approprié des 4 constituants de bases : La chaux, Silice, Alumine et Fer. Mais pour avoir un cru dosé, il faut ajouter des produits auxiliaires :

- Pélite : Apport de Silice et Alumine.
- Phtanite : Apport de Silice.
- Minerai de Fer : Roche riche en oxyde de Fer.

Les matières premières constituant le cru doivent être finement broyées et parfaitement homogénéisées de manière à faciliter les réactions au cours de la cuisson.

2.5 Broyage du cru

Un broyeur à galets réduit la matière première pré-homogénéisée à l'état de farine. L'usine de Meknès dispose de deux broyeurs, la capacité de chaque broyeur est de 120 t/h et la puissance installée est 1 200 KW.

Le broyeur à galets est constitué de :

- Un moteur électrique.
- Un plateau de broyage qui est entouré par un canal circulaire de répartition des gaz alimenté en gaz de séchage par des canalisations de gaz chaud.
- Une face supérieure du plateau de broyage sur laquelle s'écoule la matière à broyer.
- Un anneau dirige le flux de gaz de séchage dans le compartiment de broyage.
- Des galets (de grande et petite taille), Ces meules exerçant des pressions élevées par un mouvement rotatif sur la matière à broyer, ils sont guidés de façon précise par des leviers et travaillés de manière indépendante.

La matière broyée est séchée par le gaz chaud provenant du four rotatif (Le transport des gaz se fait à l'aide d'un ventilateur) et transportée dans le séparateur placé au-dessus des galets, ensuite les particules de taille trop grande retombent à travers une trémie sur le plateau de broyage et sont mélangées avec la matière à broyer fraîche introduite dans le broyeur à travers un canal d'alimentation. L'opérateur du broyeur a des consignes du laboratoire sur la finesse de **la farine**, donc il règle la vitesse de séparateur pour avoir une farine bien déterminée. Ensuite le mélange de gaz et de produit fini (la farine) entre dans le filtre à manches où le produit fini est séparé du gaz, après la séparation, le produit fini tombe sur une vis de récupération qui alimente un élévateur, ce dernier transporte **la farine** vers les silos d'homogénéisation.

Les gaz après la séparation sont rejetés dans l'atmosphère à travers la cheminée, et le transport des gaz se fait par un ventilateur final.

Alors, ce type de broyeur combine les fonctions suivantes : séchage, broyage et séparation.

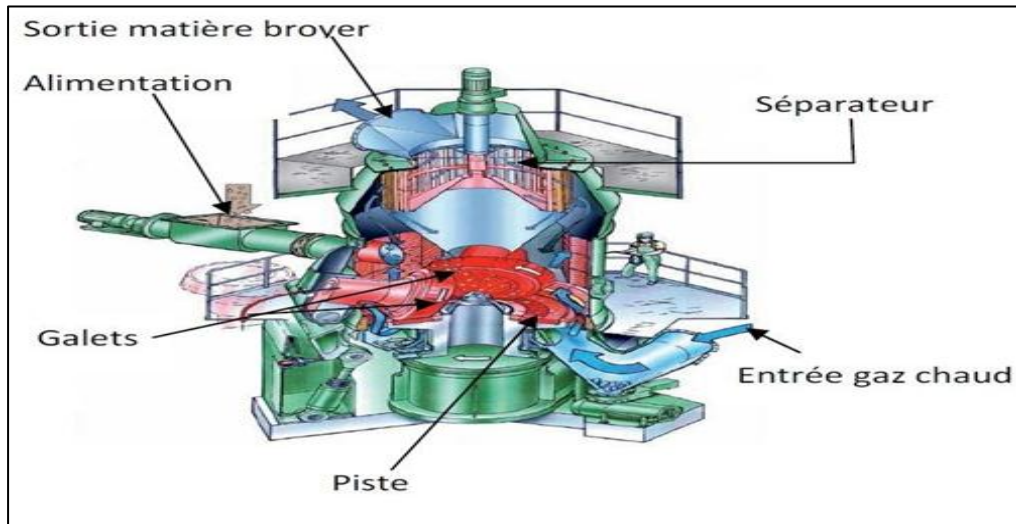


Figure 7 : Broyeur à galets

2.6 Homogénéisation

Après broyage, le cru est expédié à l'aide de deux élévateurs vers deux silos d'homogénéisation qui assurent à la fois le stockage et d'homogénéisation de la farine.

Silos 1 : 7 500 tonnes.

Silos 2 : 5 000 tonnes.

Cette opération permet d'homogénéiser le cru et d'alimenter les fours avec un cru de composition chimique constante dans le temps.



Figure 8 : Silo d'homogénéisation de 7 500 tonnes

2.7 Cuisson

La cuisson est une opération fondamentale dans la préparation du ciment. Tout au long de la cuisson, l'ensemble des réactions physico-chimiques conduit à l'obtention du clinker. La ligne de cuisson est constituée de :

- Une tour de préchauffage.
- Deux fours rotatifs.
- Un refroidisseur.

Les étapes de cuisson du clinker sont représentés dans le schéma suivant :

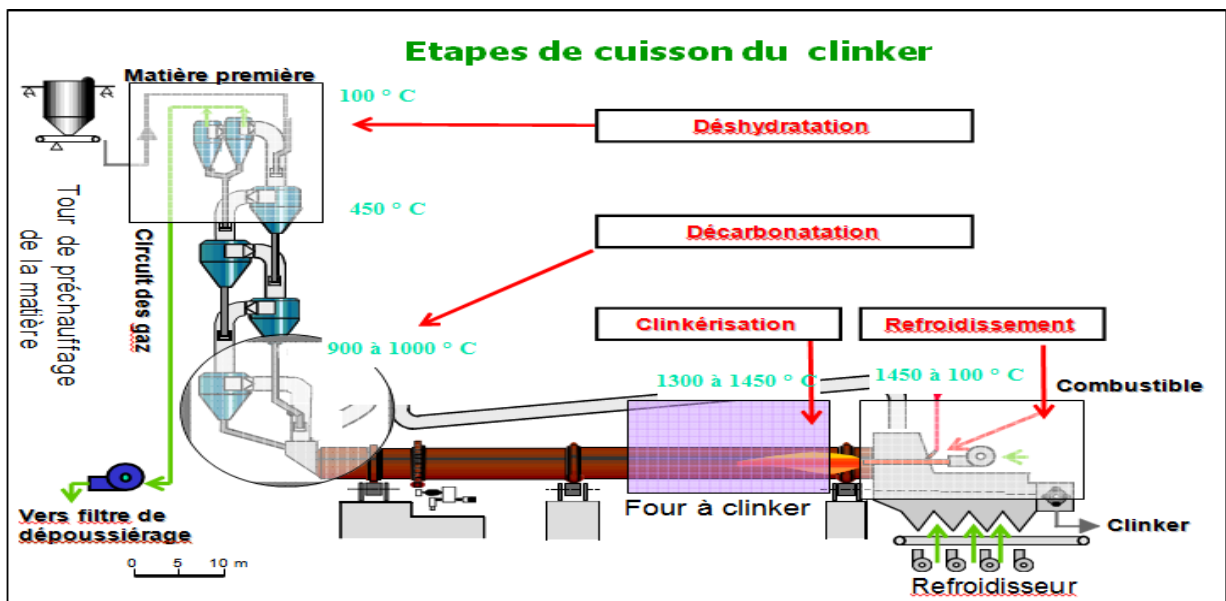


Figure 9 : Etapes de cuisson du clinker

La cuisson se fait en 4 étapes :

➤ **Destruction des combinaisons** : L'échangeur à cyclones permet d'effectuer un échange thermique à contre-courant entre les gaz chauds (950 °C) sortant du four et la farine (état du cru après broyage et avant cuisson) froide (50 à 60 °C).

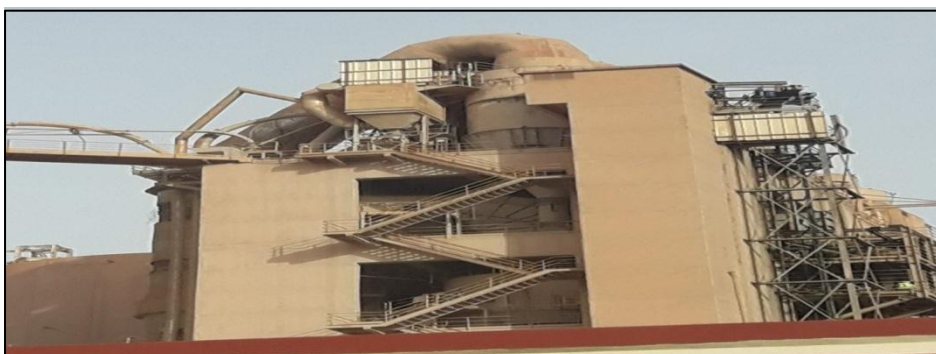
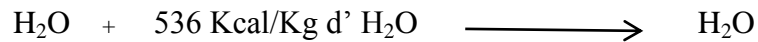


Figure 10 : Echangeur à cyclones

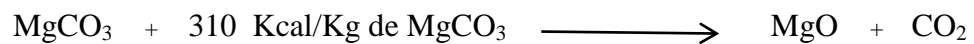
Les gaz parcourent l'édifice de bas en haut alors que la matière le parcourt en sens inverse, à la fin de cette 1^{ère} étape les 4 corps (**C₃S**, **C₂S**, **C₃A** et **C₄AF**) sont prêts à se recombinaison. Elle est divisée en 4 étapes :

- **A 100 °C** : Evaporation de l'eau

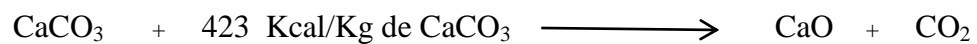


- **250 à 450 °C** : Déshydratation de l'eau.

- **450 à 820 °C** : Décarbonatation du carbonate de magnésium



- **820 à 950 °C** : Décarbonatation du carbonate de calcium



De cette dernière réaction résulte la formation de CaO naissante indispensable pour la formation des différentes phases du clinker, accompagnée d'un important dégagement gazeux de CO₂.

Toutes ces réactions s'effectuent dans la tour de préchauffage, sauf la décarbonatation de calcium qui se fait au début du four rotatif : Le **four rotatif** est un tube cylindrique tournant autour de son axe (1 à 4 t/min). C'est un échangeur de chaleur à contre-courant dans laquelle la flamme et les gaz récupérés du refroidisseur cèdent leur chaleur à la farine qui arrive en sens inverse. Le four est constitué par une virole en acier et protégée par un revêtement intérieur en matériaux réfractaires.

L'usine dispose de deux fours rotatifs légèrement inclinés dont les caractéristiques sont les suivantes :

Four	Longueur (m)	Diamètre (m)	Pente (degré)	Capacité (t/j)
Four1	96	3.75	3	1 800
Four2	64	4	3	1 200

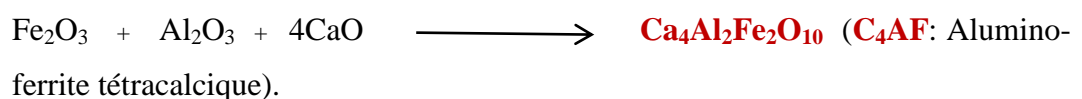
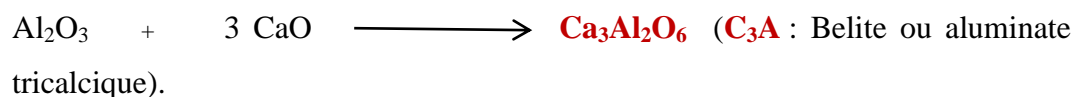
Tableau 5 : Caractéristiques des deux fours



Figure 11 : Four rotatif

➤ *Phase transitoire :*

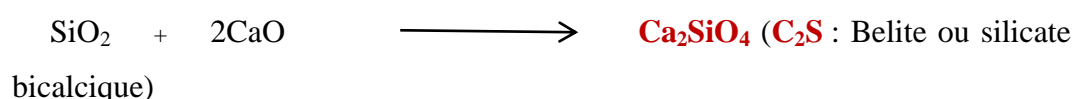
- **950 à 1338 °C** : Le milieu continu à s'échauffer, les alcalins (Na_2O , K_2O) et la magnésie (MgO) fondent un liquide qui favorise les combinaisons provisoires entre C, S, A et F. Vers 1100 °C, C_3S et C_4AF commencent à apparaître selon les réactions suivantes :



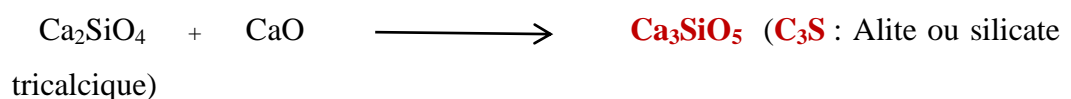
Ces deux composés nouvellement formés constituant la phase liquide du mélange qui continu de progresser vers la partie la plus chaude du four.

➤ *Clinkérisation :*

- **1338 à 1420 °C** : Apparition de la phase liquide (C_3S et C_4AF), la silice (SiO_2) et la chaux vive (CaO) restant se dissolvant dans cette phase et réagissent entre elles selon la réaction suivante :



- **> 1420 °C** : La réaction peut se poursuivre éventuellement s'il reste de la chaux vive (CaO) qui n'a pas encore réagi :



Donc, la fabrication de C_3S passe par un corps intermédiaire le C_2S , et quand la chaux célibataire est combinée, la clinkérisation est terminée. Pour que la transformation de C_2S en C_3S soit totale, il faut :

- Une température supérieure à $1420^{\circ}C$.
- Suffisamment de la chaux vive (CaO).
- Un temps de réaction suffisant entre C_2S et CaO .
- Une température régulièrement répartie.

Industriellement ces 4 conditions n'étant pas réunis, il restera du C_2S non transformé dans le clinker.

Alors, le clinker est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives sous l'effet de la chaleur. Elle se présente sous forme de grains gris foncés, arrondis, à surface irrégulière et dont le diamètre peut aller jusqu'à 3 cm.



Figure 12 : Aspect du clinker

Le clinker se compose de 4 minéraux majeurs : C_3S , C_2S , C_3A et C_4AF .

Il y a d'autres composés existents mais en faible quantité, ce sont les éléments mineurs du clinker, il provient :

- Na_2O , K_2O , MgO .
- $CaSO_4$, K_2SO_4 et Na_2SO_4 (le soufre vient du combustible utilisé).
- La chaux libre (de la cuisson incomplète).

Rem : L'addition de Fe_2O_3 donne naissance à un nouveau minéral dans le clinker : C_4AF . Sans ajout de Fe_2O_3 , les températures qu'il faudrait atteindre pour obtenir les deux minéraux C_3S et C_3A à partir de C, S et A approchent de $1600^{\circ}C$ et $1700^{\circ}C$.

Donc, l'addition de Fe_2O_3 va permettre les combinaisons entre C, S et A à des températures inférieures qu'on peut obtenir dans un tour industriel.

➤ **Refroidissement :**

Le refroidisseur se trouve à l'aval du four, c'est un refroidisseur à couloirs parallèles, il est assuré par ensemble de soufflage composé de 9 ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres de soufflage. Le refroidisseur a quatre rôles :

- Refroidir le clinker qui sort du four.
- Récupérer le maximum de chaleur contenue dans le clinker.
- Assurer la trempe de clinker par un refroidisseur rapide.
- Le transport du clinker depuis la jetée du four jusqu'à la chaîne traînante.

La fonction du transport se fait par le déplacement des couloirs en quatre étapes :

La première étape : Les couloirs se déplacent en même temps vers l'avant c'est-à-dire dans le sens de transport du clinker.

Les étapes de deux à quatre : Correspondent à des déplacements vers l'arrière des couloirs c'est-à-dire à l'opposé du sens du transport du clinker, lors de ce déplacement, un couloir sur trois se déplace vers l'arrière c'est-à-dire qu'il y a toujours deux couloirs immobiles entre les couloirs en mouvement.

Le refroidissement a lieu durant le transport du clinker.

Lorsque le refroidissement est trop lent, il provoque trois transformations indésirables :

- Le C_3S se décompose en C_2S : La décomposition de C_3S en C_2S diminue la résistance du ciment à court terme et augmente un peu la chaux libre (CaO).
- Cristallisation de la magnésie (MgO) : La magnésie sous forme cristalline provoque une expansion importante du ciment lors de l'hydratation après plusieurs années.
- Le C_2S change de réseau cristallin : Le changement de réseau du C_2S modifie les propriétés hydrauliques du ciment.

Alors, le clinker une fois sorti du four tombe dans le refroidisseur pour subir une trempe rapide et empêcher ces transformations indésirables qui influent sur la qualité et la composition du clinker.

Ensuite il est évacué par tapis vers le silo à clinker d'une capacité de 60 000 tonnes où il sera stocké en attendant d'être broyé pour faire du ciment.

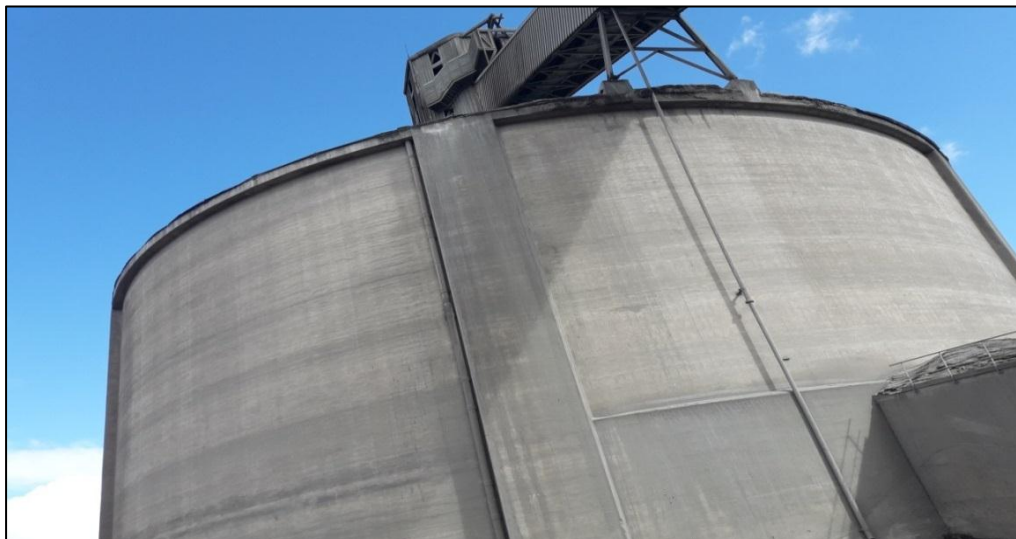


Figure 13 : Silo à clinker

2.8 Broyage du clinker

Après refroidissement, les granules de clinker sont ensuite broyés avec addition de trois composés (calcaire d'addition, gypse, pouzzolane) :



Figure 14 : Ajouts du clinker

Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique et aussi de conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités du ciment. Le broyage se fait dans un **broyeur à boulets** qui est souvent rempli de boulets en aciers spéciaux et tapissés de

plaques de blindage. Le broyeur tourne à une vitesse calculée pour que boulets et clinker se percutent sans être centrifugés. Les matières concassées sont rejetée vers le centre du broyeur, ensuite les plus fines passent à travers les grilles (en fond de broyeur) dans une seconde chambre de broyage pour être broyés plus finement.

En sortie du broyeur tous les matériaux broyés sont entraînés dans un séparateur, qui renvoie les particules les plus grosses dans le broyeur, alors que les plus fines sont dirigées vers les silos de ciment. L'air qui sert de moyen de transport est filtré et les particules récupérées sont envoyées également vers les silos de ciment.

Rem : Le broyage se fait dans 3 broyeurs à boulets dont les capacités 60t/h, 45t/h et 100t/h.

2.9 Ensachage et expédition

A la sortie broyeur, le ciment est sous forme définitive, il est orienté vers les silos de stockage et de livraison (7 silos). Il existe trois silos pour CPJ 35(silo 2, 5 et 6), trois silos pour CPJ 45 (silo1, 4 et 7) et le silo 3 pour CPJ 55. Le transport du ciment s'effectue par un convoyeur pneumatique. Le ciment quitte l'usine en sac ou en vrac



Figure 15 : Expédition de ciment

Chapitre III

Etapes de préparation de la matière première avant le processus de fabrication du ciment

1. Présentation du sujet

Pour produire le ciment, l'industrie cimentière a du exercer des forages au niveau de sa carrière pour connaître les buts quel doit fixer à fin d'avoir un produit de bon qualité, tester la fiabilité de la technique de prélèvement ou d'échantillonnage réalisée au niveau de cette carrière, entre dans l'étude systématique effectuée pour un contrôle continu des matières premières avant traitement.

Lafarge-Holcim de Meknès a répartie son terrain en plusieurs gisements, chacun appelé panneau, au niveau de chaque panneau on prélève des échantillons, pour analyser leurs compositions chimiques et déterminer le pourcentage de chacun des éléments présents dans la matière.

En outre la moyenne qui en résulte à ce stade est différente de celle obtenue au niveau de la tour d'échantillonnage. Ce qui nous mène à porter une étude à fin de savoir sur quoi il faut agir pour avoir une bonne moyenne qui représente le tas de pré-homogénéisation.

Lafarge-Holcim de Meknès a une carrière située à 5km de l'usine et d'une superficie de 100ha, possédant des réserves importantes des calcaires et d'argiles. Cette carrière est divisée en deux zones :

- La première zone nommée **Zone 4** à une profondeur d'exploitation de 18m environ, constitue que 20% d'approvisionnement, elle en phase d'épuisement.
- La seconde zone nommée **Zone D**, avec une profondeur d'exploitation de 10m maximum, constitue 80% du plan d'approvisionnement, cette zone est encore divisée en **zone D-Est** (8m) et **zone D-Ouest** (10m).

La zone D contient des formations géologiques carbonatées très importantes, par contre la zone 4 ne contient que quelques réserves de carbonates, c'est la raison pour laquelle la zone D représente 80% d'exploitation de la carrière en 2015 et le 20% restant pour la zone 4.

Ces zones sont situés dans le bassin lacustre de Sais d'âge tertiaire (Pliocène : 3Ma environ), Ce bassin couvre toute la région de Fès à Meknès. Il est limité au Nord par des collines marquant l'extension des rides pré-rifaines et au Sud par les roches liasiques du moyen Atlas. Entaillé sur les bordures par les vallées de l'Oued Zifera à l'Est, et de l'Oued Ouislane à l'Ouest.

Mon sujet concerne les étapes de la technique d'échantillonnage de la matière première de la carrière pour classer les zones les plus riches en CaCO_3 . L'objectif de la technique d'échantillonnage c'est avoir une moyenne représentative de la composition chimique réellement présente dans la carrière.

2- Etapes de préparation de la matière première

Dans le cadre d'amélioration de la qualité du ciment, l'usine Lafarge-Holcim de Meknès fait la prise d'échantillons de façon continue pour connaître la composition minéralogique et chimique de la zone étudiée, et aussi pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (Bauxite, silice, ferrite).

La technique d'échantillonnage est constituée de :

2.1 Décapage

Le décapage est un procédé qui consiste à éliminer la couche des matières déposée sur la surface d'une autre matière. Pour le faire on utilise une machine qui s'appelle bull. La matière éliminée est gardée pour être utilisée dans la réhabilitation des carrières par le calyptus et l'olivier.

2.2 Sondage :

C'est une opération qui consiste à forer les trous de mine dans le rocher, on utilise couramment des machines hydrauliques (**sondeuses**).

Le sondage est défini par son diamètre, sa profondeur, et son inclinaison par rapport à la verticale. Elle consiste à réaliser des trous dans un terrain dur pour y mettre de l'explosif dans le but de le fragmenter. L'exécution de ces trous doit être faite suivant une maille bien déterminée tout en respectant la hauteur à forer, la précision avec laquelle ces paramètres sont respectés aura une grande influence sur les résultats des tirs.

Les caractéristiques des trous de mine sont :

- **Front** : C'est une surface sensiblement verticale qui limite le massif rocheux à abattre et en arrière de laquelle on implante le sondage.
- **Banquette** : C'est la distance qui sépare le trou de mine du front (2.5m).
- **Maille** : On appelle maille le quadrilatère formé par la succession de deux trous et leurs projections sur le front ($2.5 * 3$), elle s'exprime en m^2 .
- **Diamètre de forage** : C'est le diamètre qui permet de forer les trous destinés à recevoir l'explosif (10 à 15 cm).
- **Profondeur** : 9 à 10 m.
- **Espacement** : Distance entre deux trous successives d'une même rangé (3m).



Figure 16 : Sondeuse

2.3 Etape Cuttings

Après le forage d'un trou de mine, la matière est aspirée dans deux sacs : un pour la matière sous forme de poussière et l'autre pour la matière grosse, qui seront mélangées par la suite. Le lieu dans laquelle on mélange les deux sacs doit être bien nettoyé pour éviter toute contamination par une autre matière et pour avoir des résultats corrects. Ensuite on commence de faire ce qu'on appelle **Quartage de la matière** de la façon suivante :

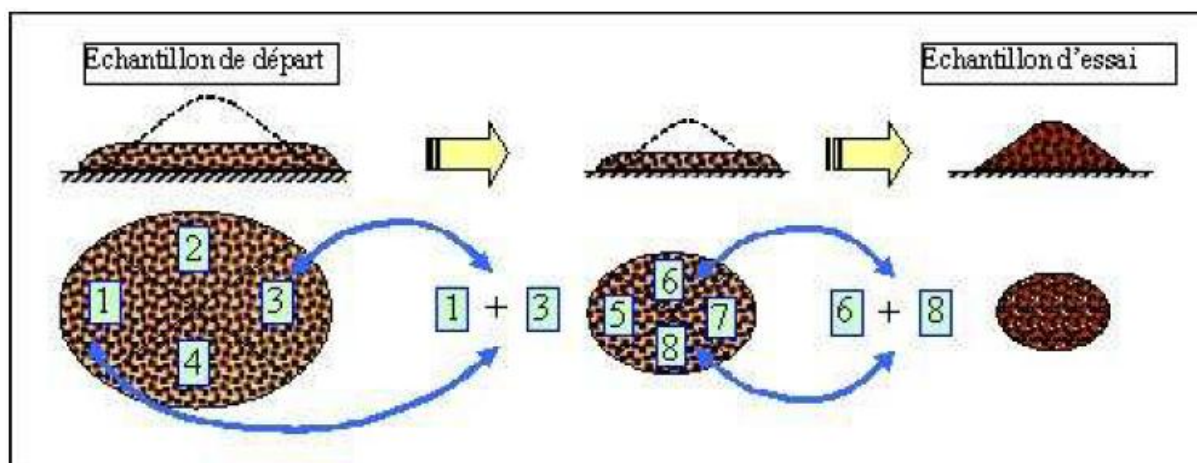


Figure 17 : Quartage de la matière

On reverse l'échantillon d'essai dans un diviseur qui doit être bien nettoyé, on divise la matière deux fois et la mettre dans un sac accompagné de toute références de sondage

(date/zone d'étude/numéro de panneau/numéro de trou), enfin l'échantillon est envoyé au laboratoire pour l'analyse chimique.

2.4 Analyse chimique : Fluorescence X

La fluorescence X peut être définie comme étant une méthode de détermination de la concentration d'un élément dans un échantillon, celle-ci se fait par la mesure de l'intensité du rayonnement. La fluorescence X est une interaction entre le rayon X primaire et les différentes couches électroniques de l'atome, les électrons sont excités et migrent vers une couche électronique supérieure. En revenant à l'état initial il y a émission d'un rayonnement spécifique à l'élément, l'intensité du rayonnement secondaire est proportionnelle à la concentration de l'élément

L'appareil Fluorescence X est capable de détecter la présence de minéraux cités ainsi que leurs pourcentages. Avant de commencer à utiliser la Fluorescence X, il doit être préparé des pastilles à l'avance par la méthode suivante :

- Séchage d'échantillon dans un four d'une température de 105°C.
- Peser 20g de l'échantillon.
- Ajouter 2 comprimés d'additif de broyage(HERZOG).
- Broyage du mélange pendant 2min30s
- Peser et mettre 10 g dans une pastille.
- Presser la pastille dans un compresseur (200tonnes).
- Nettoyer le fond de la pastille pour éviter la pollution de l'appareil FX.

La pastille est met dans l'appareil FX, et les résultats seront affichés sur le système de détection relié à la machine FX (ordinateur).

L'appareil FX affiche les concentrations des éléments suivants : **CaCO₃, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, P₂O₅ et MnO**. Il permet aussi de déterminer les trois indices suivants : **MS, A/F** et **P.F**.

- **MS** : Module silicique pour déterminer le pourcentage de la silice demandé pour obtenir une production d'une qualité bien déterminée. Il est calculé par la méthode suivante (par le système) : **MS= S/ (A+F)**

A et F sont des agents de fusion, grâce auxquels la formation de la phase liquide commence. Si MS est élevé, la cuisson sera ensuite difficile c'est-à-dire grande consommation d'énergie.

- **A/F** : Module Alumino-ferrique, C'est un indice qui règle la proportion massique entre C_3A et C_4AF pour obtenir une production d'une qualité bien déterminée. Il est calculé par la méthode suivante (par le système) : **$A/F = Al_2O_3/Fe_2O_3$**
- Sa valeur caractérise la nature de la phase fondue, contenant presque la totalité des deux oxydes. Quand A/F augmente, la cuisson devient plus difficile d'où une grande consommation d'énergie.

Alors, l'appareil FX détermine la composition chimique de l'échantillon pour connaître la quantité des différents ajouts nécessaires (Bauxite, Silice, Ferrite), tout ça pour améliorer la qualité du ciment fabriqué.

Rem : L'interprétation des résultats obtenus se fait par le chef de service contrôle de qualité.

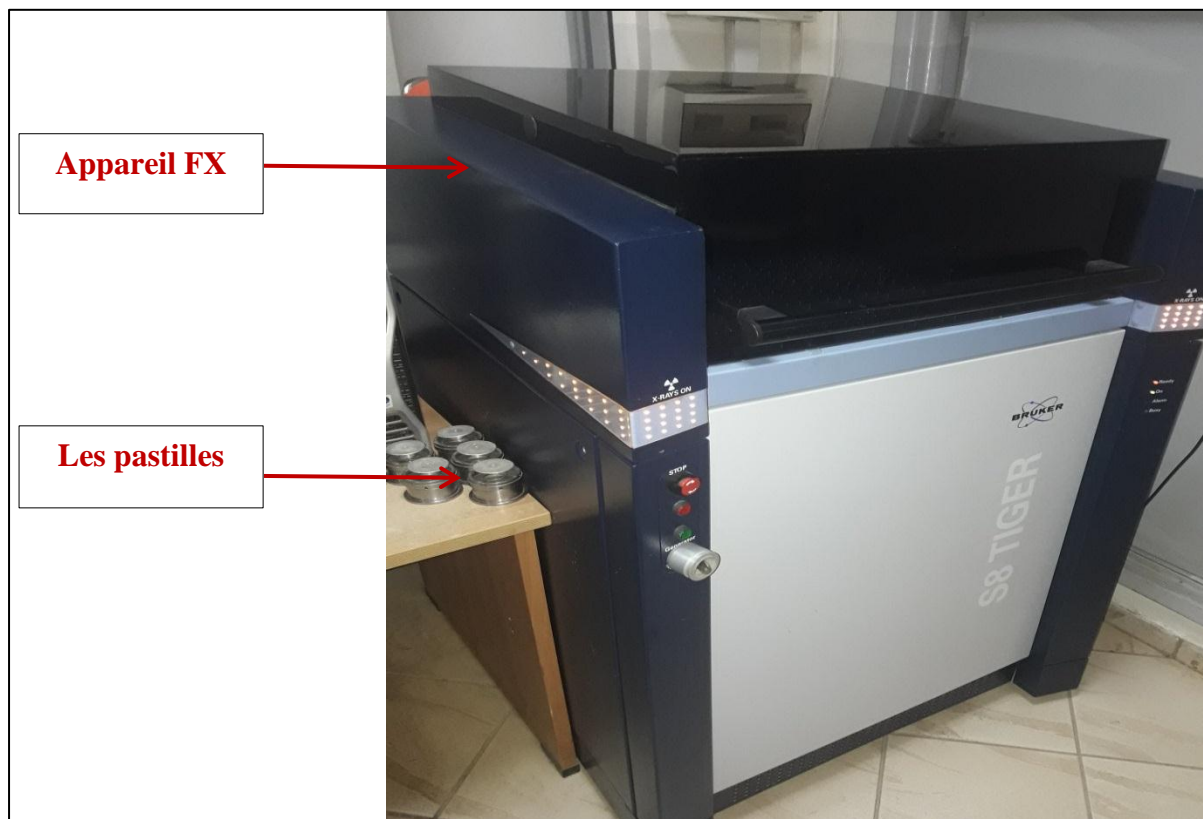


Figure 18 : Appareil Fluorescence X et les pastilles

Résultats

P N°1	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	P.F	A/F	MS
Ech 1	45,6	3,118	1,67	0,713	7,1	0,52	0,2	0,02	0,002	0,047	41,01	2,342	1,3
Ech 2	43,12	4,251	0,98	0,54	6,971	1,02	0,04	0,059	0,003	0,16	42,85	1,815	2,8
Ech 3	44,87	3,45	1,37	0,35	7,5	0,91	0,015	0,05	0,054	0,97	40,46	3,9	2
Ech 4	47,15	4,96	1,001	0,48	8,74	0,86	0,024	0,005	0,01	0,64	36,13	2,085	3,35

Tableau 6 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P1 zone D Ouest

P N°3	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	P.F	A/F	MS
Ech 1	31,02	2,49	5,24	4,71	6,21	0,076	0,005	0,12	0,018	0,07	50,04	1,11	0,25
Ech 2	32,70	3,001	6,012	4,98	5,78	0,075	0,004	0,20	0,007	0,18	47,06	1,2	0,27
Ech 3	33,54	2,24	5,70	5,12	6,12	0,046	0,019	0,09	0,049	0,08	46,99	1,11	0,2
Ech 4	31,50	2,51	6,24	4,81	6,13	0,042	0,04	0,15	0,009	0,01	48,56	1,3	0,23

Tableau 7 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P 3 zone 4

Discussion des résultats :

D'après ces résultats on peut dire que la **zone D Ouest** (pourcentage maximale de 47.15% en CaCO₃) est plus riche en CaCO₃ que la **zone 4** (pourcentage maximale de 33.54% en CaCO₃).

C'est la raison pour laquelle la zone D représente **80%** d'exploitation des carrières et le **20%** restant pour la zone 4.

Conclusion générale

Ce stage a été très enrichissant où les employés m'ont offert un encadrement de bonne qualité. J'ai appris au cours de ce stage de nouvelles façons de travailler tout en mettant en application ce qui m'a été enseigné à l'université tout au niveau de pratique que théorique. C'était aussi l'occasion pour examiner mes capacités d'adaptation et mes qualités personnelles au rythme de travail.

Je pense que cette expérience en société Lafarge-Holcim de Meknès m'a offert une bonne préparation à mon insertion professionnelle car elle fut pour moi une expérience enrichissante et complète qui conforte mon désir d'exercer mon futur métier dans le domaine de l'industrie.

Les objectifs de ce stage sont de citer les différentes étapes de fabrication du ciment depuis l'extraction de la matière première jusqu'à l'ensachage et l'expédition et de suivre la technique d'échantillonnage de la matière première avant le processus de fabrication du ciment pour améliorer sa qualité.

Références bibliographiques

- Compte rendu de la mission à la société des ciments artificiels de Meknès-Cadem (L.C.E-October1980).
- M Venuat-La pratique des ciments, mortiers et bétons–Tome 1 : « Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers »-édition2-Collection Moniteur.-277p-1989.
- Les composants de la matrice cimentaire (rappels et interaction) par Noureddine Rafai, direction recherche et innovation, Lem (Arles) Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux.
- Pliskin L.1993 : « La fabrication du ciment » -Edition Eyrolles Paris 1993.
- Rapport des stagiaires précédentes (2012/2014/2015/2016).
- www.lafargeholcim.com
- www.directindustry.fr
- www.cimalux.lu
- www.lafarge-na.com
- www.ciments-calcia.fr