



Année Universitaire : 2021-2022



Licence Sciences et Techniques : Géoresources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

LE CONTROLE QUALITE DU CIMENT

Présenté par :

Simon NKHOMA

Encadré par :

Pr. CHARROUD Mohammed, FST-Fès

Mr. ABDELAZIZ Ayadi, LafargeHolcim Fès

Soutenu Le 06 juillet 2022, devant le jury composé de :

Pr. HINAJE Saïd, FST-Fès

Pr. ZAHOUR Rachid, FST-Fès

Pr. CHAOUNI Abdel-Ali, FST-Fès

Pr. CHARROUD Mohammed, FST-Fès

Pr. ELFARTATI Mohamed, F.P. Khouribga



Stage effectué à : L'Usine de LAFARGEHOLCIM, FES

Dédicace :

Je dédie ce travail à ma mère qui a tout fait pour que je sois ce que je suis le fruit de ses efforts, espérons que je corresponds à ses espérances, à mes frères et mes sœurs qui n'ont jamais cessé de m'apporter leurs soutiens et de m'encourager pendant mon parcours scolaire et dans mon travail. Je dédie ce travail, en effet, à toute ma famille, c'est cette famille qui m'a soutenu. Je dédie également mon travail à mes collègues de FST Fès avec qui j'ai eu l'occasion de travailler ensemble, et de partager nos connaissances, nos expériences, et à tous mes amis dont leurs encouragements n'ont jamais cessé de me parvenir.

Remerciement :

J'adresse mes vifs remerciements à **Monsieur le Doyen**, ainsi que tout le personnel de l'administration de la FST Fès de m'avoir facilité l'obtention de ce stage, et surtout de leur attention qu'ils prêtent à non seulement moi mais à tous (tes) les étudiants (es) de cette faculté. Mes Sincères remerciements et ma profonde gratitude s'adressent à mon encadrant professeur **Pr. Mohammed CHARROUD**, pour son encadrement pédagogique, pour ses orientations et ses conseils fructueux qu'il m'a apportés à la réalisation de ce travail. Je profite de cette occasion pour remercier également mes professeurs Messieurs les jurys **Pr. HINAJE Saïd, FST-Fès, Pr. ZAHOUR Rachid, FST-Fès, Pr. CHAOUNI Abdel-Ali, FST-Fès, Pr. CHARROUD Mohammed, FST-Fès et Pr. ELFARTATI Mohamed, F.P. Khouribga** d'avoir accepté d'examiner mon travail. Un merci tout particulier à **Pr. Abdelali CHAOUNI** professeur et responsable de la filière de Géoresource et Environnement et à l'ensemble des enseignants du département de l'Environnement pour leur assistance, leurs conseils et leurs enseignements à la fois riches et pédagogiques. Aussi, j'exprime ma profonde reconnaissance et remerciement à tous les professeurs de FST Fès que d'un moment à l'autre j'ai bénéficié de leurs savoirs. Je remercie **Mr. Hassan ARABI**, Directeur générale de LafargeHolcim-Fès qui a eu la bienveillance de m'accorder ce stage et c'est ainsi que je remercie **Mr. Brahim EL FEZAZI**, responsable ressources humaines et affaires générales, **madame Meryem LAZRAQ** et madame **Sanae LAKHSSASSI** qui ont donné un pas décisif à cet accord. J'exprime ma gratitude et remerciement particulier à **Mr. Abdelaziz AYADI**, responsable du service **control qualité** pour son encadrement et ses encouragements, et qui a été toujours disponible de travailler avec moi et de me fournir des aides dont j'avais besoin, et de son intérêt aux activités des stagiaires. Toutes personnes de LafargeHolcim trouvent ici mon remerciement pour leur collaboration et qui ont répondu régulièrement à mes questions tout au long de mon stage et plus précisément à **Mr. Attar, Mr. Saâd IKHALJAN, Mr. Erroudani ABDELLAZIZ, Mr. Al Ehamad AHMED** et **tous les Chimistes de la service control qualité du LafargeHolcim Fès**. Pour finir, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

TABLEAU DE MATIÈRE:

1. CHAPITRE UN : PRÉSENTATION DU GROUPE LAFARGEHOLCIM	9
1.1. Avant la fusion de Lafarge et Holcim :	10
1.1.1. Le Groupe Holcim :	10
1.1.2. Holcim Maroc	10
1.1.3. Historique :	10
1.2. Déroulement de la fusion :	11
1.3. Les activités :	12
1.4. LafargeHolcim Fès :	14
1.4.1. Localisation géographique de l'usine :	14
1.4.2. Choix du site :	15
2. CHAPITRE DEUX : PROCÉDÉS DE LA FABRICATION DU CIMENT	17
2.1. Le ciment :	12
2.1.1. Le procédé de fabrication de ciment selon à l'usine de LafargeHolcim Fès : 12	
2.1.1.1. Extraction :	14
2.1.1.2. Le concassage :	14
2.1.1.3. Pré-homogénéisation des matières premières :	15
2.1.1.4. Le broyage du cru :	15
2.1.1.5. L'homogénéisation du cru :	16
2.1.1.6. Le Préchauffage du cru :	16
2.1.1.7. La cuisson du cru :	17
2.1.1.8. Le Refroidissement du clinker :	20
2.1.1.9. Le stockage du clinker :	21
2.1.1.10. Le broyage du ciment :	21
2.1.1.11. Le stockage du ciment :	22
2.1.1.12. L'ensachage et l'expédition du ciment :	22
2.2. Le service de contrôle qualité :	23

2.2.1.	Les essais chimiques :	24
2.2.1.1.	Analyse par spectrométrie de fluorescence-X :	24
2.2.1.2.	La perte au feu :	27
2.2.2.	Les essais physiques :	29
2.2.2.1.	La finesse :	29
2.2.2.2.	La prise :	34
2.2.2.2.1.	Essaie de flexion et de torsion :	30
o	Préparation des échantillons sous forme d'éprouvettes :	30
2.2.2.2.2.	Essai de rupture par flexion :	32
2.2.2.2.3.	Essai de compression :	33
2.3.	Différents types de ciment qui sont fabriqués à l'usine de LafargeHolcim Fès :	33
2.3.1.	Le CPJ 45 : (ciment portland aux ajouts 45) :	34
2.3.2.	LE CPJ 55 (ciment portland avec ajouts 55) :	34
2.3.3.	CPJ 65 :	34
2.3.4.	PREFA :	35
3.	CHAPITRE TROIS : LA GESTION DURABLE DES SUBSTANCES DANGEREUSES EN ENTREPRISE	36
3.1.	LES ENTREPRISES FACE AUX SUBSTANCES DANGEREUSES :	37
3.2.	La gestion des substances dangereuses en entreprise :	37
3.2.1.	Identifier les produits dangereux :	38
3.2.2.	Évaluer les risques liés aux produits :	40
3.2.3.	Éviter l'utilisation des produits ou de matériaux jugés dangereux :	40
	Une fois qu'on a identifié les produits dangereux, on doit essayer de les éviter ou de les remplacer par un produit moins dangereux s'ils existent.	40
3.2.4.	Respecter les mesures de sécurité liées à l'utilisation des substances dangereuses :	41
3.2.5.	Recyclage des Déchets :	42
3.2.5.1.	Exemples des substances dangereuses qui sont recycler :	42

3.2.5.1.1. Plastiques bromés :.....	42
3.2.5.1.2. Tubes cathodiques :.....	43
3.2.5.1.3. Cartouches de toner :.....	43
3.3. Les effets de substances Dangereuses :.....	43
LA CONCLUSION :	44
REFERENCES :	47
Résumé :	49

Liste des Tableaux :

TABEAU 1 : FICHE TECHNIQUE DE L'ENTREPRISE (D'APRES AYA 2021)	15
TABEAU 2 : DIFFERENTS SERVICES DE L'USINE ET LEURS ACTIVITES (D'APRES ACHRAF 2020 ; AYA 2021).	16
TABEAU 3 : LES REACTIONS QUI SE DEROULENT DANS LE FOUR ROTATIF (D'APRES AMINA ET YOUNES, 2019).....	24
TABEAU 4 : LES PHASES QUI CONSTITUENT LE CLINKER REGISTRE (LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	25
TABEAU 5 : LES MODULES EMPLOYES POUR DETERMINER LA QUALITE DU CLINKER A L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES	19
TABEAU 7 : COMPOSITION CHIMIQUE DU CLINKER PRODUIT EN MARCHE NORMALE (D'APRES LE REGISTRE DU LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	19
TABEAU 8 : VALEURS DES MODULES DU CLINKER (D'APRES LE REGISTRE DU LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	19
TABEAU 9 : COMPOSITION CHIMIQUE DU CIMENT CPJ 45	34
TABEAU 10 : COMPOSITION CHIMIQUE DU CIMENT CPJ 55	34
TABEAU 11 : COMPOSITION CHIMIQUE DU CIMENT PREFA	35

Liste des Figues :

FIGURE 1 : LES ETAPES DE LA FABRICATION DU CIMENT.....	13
FIGURE 2 : LES RESULTATS D'ANALYSE DU CIMENT PAR SPECTROMETRE DE FLUORESCENCE-RX (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	28
FIGURE 3 : LES VALEURS DE FINESSE ET PERTE AU FEU (PAF) DU CIMENT (LABORATOIRE D'ANALYSE DE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	32
FIGURE 4 : EXEMPLES DE RESISTANCES A FLEXION ET A COMPRESSION (D'APRES LE REGISTRE DU LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	33
FIGURE 5 : PICTOGRAMME DE DANGER (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	38
FIGURE 6 : LE FICHE DE DONNEES DE SECURITE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	39
FIGURE 7 : LES EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLES EPI (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	42
FIGURE 8 : PLASTIQUES BROME.....	42

FIGURE 9 : CARTOUCHES DE TONER.....	43
FIGURE 10 : LOCALISATION DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES (LAFARGEHOLCIM MAROC 2022)	46

Liste des Photos :

PHOTO 1 : LA CARRIERE (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	14
PHOTO 2 : CONCASSEUR (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	15
PHOTO 3 : HALL DE PRE-HOMOGENEISATION (USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	15
PHOTO 4 : BROYEUR DE CRU (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	15
PHOTO 5 : SILO DE STOCKAGE ET HOMOGENEISATION DU CRU (LAFARGEHOLCIM 2022)	16
PHOTO 6 : LES CYCLONS DE PRECHAUFFAGE DE CRU DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES.	17
PHOTO 7 : LES CYCLONS (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	17
PHOTO 8 : LE FOUR ROTATIF (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	18
PHOTO 9 : REFROIDISSEURS DU CLINKER (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	20
PHOTO 10 : LES VENTILATEURS DE REFROIDISSEURS DE CLINKER DE (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	20
PHOTO 11 : SILO DE STOCKAGE DE CLINKER (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	21
PHOTO 12 : BROYEUR DE CIMENT (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	22
PHOTO 13: LES SILOS DE STOCKAGE DE CIMENT (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)....	22
PHOTO 14 : CAMION D'EXPEDITION DE CIMENT EN VRAC ('USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	23
PHOTO 15 : CIMENT EN SAC (50KG) (L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	23
PHOTO 16 : LA BALANCE DE MASSE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	25
PHOTO 17 : LE BON EN TUNGSTENE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	25
PHOTO 18 : LA PRESSE A PASTILLE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	26
PHOTO 19 : LE SUR-BROYEUR (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	26
PHOTO 20 : LE SPECTROMETRE A FLUORESCENCE XR (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	27
PHOTO 21 : LA PASTILLE (PREPAREE LE 23 JUIN 2022 (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES)	27
PHOTO 22: LA BALANCE DE PRECISION (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES) .	28
PHOTO 23 : LE FOUR A MOUFLE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022) ..	28

PHOTO 24 : LES CREUSETS EN PLATINE DU LABORATOIRE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	29
PHOTO 25 : LES TAMIS DE 45 μ M, 85 μ M ET 90 μ M (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	29
PHOTO 26 : LE TAMISEUR A COURANT D'AIR (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022)	29
PHOTO 27 : LA MOULE D'EPROUVETTE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	31
PHOTO 28 : LE MALAXEUR DU LABORATOIRE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	31
PHOTO 30 : LA MACHINE A CHOC (ANTI BULLES D'AIR) (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	32
PHOTO 29 : LES EPROUVETTES DANS LES MOULES (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES)	32
PHOTO 31 : LES EPROUVETTE SOUMIS DANS L'EAU DANS LA CHAMBRE A ARMOIRE HUMIDE (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	32
PHOTO 32 : L'EPROUVETTE MESURANT 4CM*4CM*16CM (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	32
PHOTO 33 : LA MACHINE DE COMPRESSION ET FLEXION (LABORATOIRE DE L'USINE DE LAFARGEHOLCIM FES 2022).....	33

L'INTRODUCTION GENERALE :

Récemment, le Maroc a connu la croissance rapide de ses activités économiques qui est déclenchée par l'augmentation rapide de la population de son peuple, d'où une demande plus élevée de projets d'infrastructure comme la construction de routes, de ponts, de bâtiments, etc. Cela a provoqué une augmentation de la demande de ciment et d'autres matériaux de construction.

C'est pour cette raison que LafargeHolcim est en cours d'utiliser différentes technologies pour fabriquer différents types de ciment et de bonne qualité afin de répondre aux besoins de ces clients.

C'est dans ce but que le service de contrôle qualité veille à tester si le ciment produit répond aux exigences du client et ce à travers des essais effectués dans un laboratoire doté d'équipements modernes destinés à ce but. En outre, la non-conformité du produit engendre des coûts que l'entreprise ne peut supporter.

Le contrôle de la qualité du ciment intervient dans toutes les étapes de la fabrication. Des analyses chimiques et des essais physiques et mécaniques sont réalisés par les techniques et les appareils de mesures qui répondent aux normes marocaines.

Le chapitre un concerne le procédé de fabrication du ciment, le chapitre deux concerne le contrôle qualité du ciment (des analyses chimiques, des essais physiques et mécaniques) que j'ai réalisé au sein du laboratoire de contrôle qualité. Et le dernier chapitre trois concerne la notion de gestion de substances dangereuses qu'il faut connaître pour travailler en sécurité dans l'usine de LafargeHolcim Fès.

1. CHAPITRE UN : LE PROCÉDÉ DE LA FABRICATION DU CIMENT

1.1. Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, au même titre que la chaux : mélangé à de l'eau, il durcit et prend en masse. Après durcissement, les liants hydrauliques conservent leurs résistances, ainsi que leur stabilité, même si exposés à l'eau.

Ce liant est fabriqué à partir du clinker, le clinker est un matériel minéralisé obtenu par la combinaison chimique à très haute température de calcaires, schistes, minerais de fer, du sable et de la fluorine. Le clinker est ensuite broyé avec des ajouts, dans des proportions très précises, qui donneront au ciment des caractéristiques spécifiques. Lafarge Holcim Fès produit ainsi différents types des ciments pour répondre aux besoins de ses clients (Amina et Younes, 2019 ; Aya 2021 ; Achraf 2020 ; LafargeHolcim, 2022).

1.1.1. Le procédé de fabrication de ciment selon à l'usine de LafargeHolcim Fès :

Il existe deux voies pour fabriquer du ciment : La voie sèche et la voie humide, à l'usine de LafargeHolcim Fès, c'est la voie sèche qui est employée. Ce procédé peut-être décomposer en 12 étapes clés :

- La carrière de cimenterie
- La pré-homogénéisation des matières premières
- Le broyage du cru
- L'homogénéisation du cru
- Le préchauffage du cru
- La cuisson
- Le refroidissement du clinker
- Le stockage du clinker
- Le broyage du ciment
- Le stockage du ciment
- Le contrôle qualité du ciment
- Conditionnement et expédition du ciment

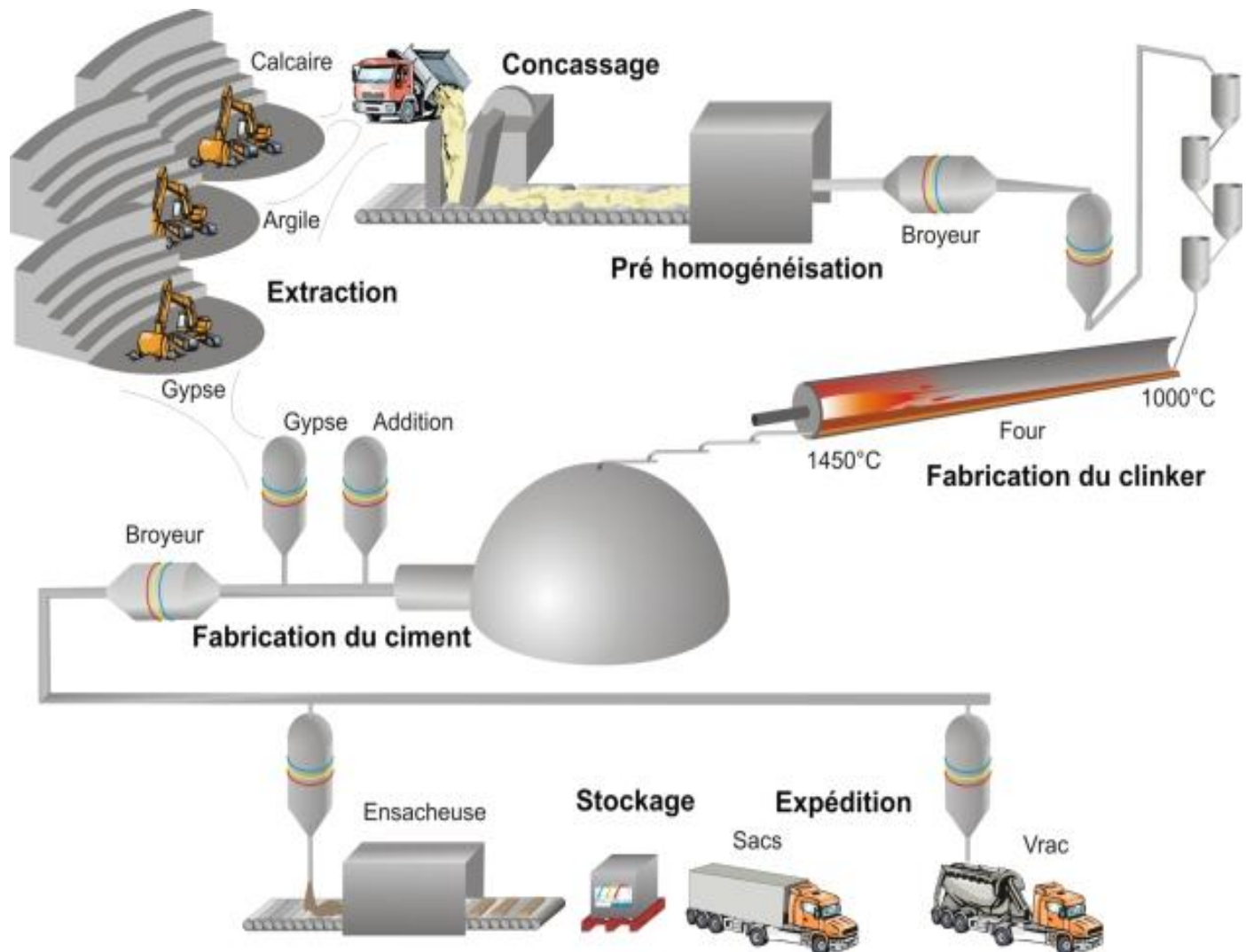


Figure 1 : Les étapes de la fabrication du ciment



1.1.1.1. Extraction :

Les calcaires, schistes, minerais de fer, du sable et de la fluorine sont des matières premières nécessaires à la fabrication du ciment à l'usine de LafargeHolcim Fès. Elles sont extraites de carrières à ciel ouvert, la carrière de calcaire est à proximité de la cimenterie et celui de schiste est un peu loin. Les minerais de fer, du sable et de la fluorine sont achetés ailleurs, le calcaire cimentier est abattu par tirs de mines et les blocs de roches sont transportés par dumper vers le hall de concassage.

Photo 1 : la carrière (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

Cette étape consiste à réduire les blocs à une taille maximum de 100mm .il y a trois positions à partir de laquelle les dumpers déposer le calcaire et schistes qui sera ensuite concassé ensemble. Une fois réduit, ils sont transportés par les convoyeurs à bande vers le hall de pré homogénéisation.si là la taille de matérielles est supérieures à 100 mm, cela pose des problèmes de vibration au niveau du broyage. Ce problème arrive aussi si ces matérielles sont très finement concassées, c'est pour ça que la surveillance est très importante à ce niveau-là pour avoir la taille normale de matérielles (entre 80mm et 100mm).

1.1.1.2. Le concassage :



Photo 2 : concasseur (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

1.1.1.3. Pré-homogénéisation des matières premières :

Entre le concasseur et le hall de pré-homogénéisation il y a une installation de PGNNA qui fait le dosage automatique en linge en utilisant les neutrons, cette information est envoyée vers le laboratoire de contrôle qualité. Une fois arriver



Photo 3 : Hall de pré-homogénéisation (usine de LafargeHolcim Fès 2022)

dans le hall de Pré-homogénéisation, les matières concassées sont mélangées pour former un mélange homogène en disposant la matière en couches horizontales puis en formant les piles qui va alimenter le broyeur à cru.

1.1.1.4. Le broyage du cru :

Le broyeur à cru réduit la taille matérielles pré-homogénéisées en poudre très fines appelées la farine crue. De cette matière en une taille micrométrique appelée la farine ou cru. Apres broyage, le cru passe dans les conduits par aspiration vers les silos de stockage et homogénéisation de cru .il y a des installations des P.G.N.N.A avant et après le broyage pour savoir et



Photo 4 : Broyeur de cru (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

confirmer le dosage de cru et de matérielles de correction s'il y a un manque de éléments essentielles à la fabrication du clinker. Le broyeur est lié aux filtres qui font la séparation entre des poussières de cru et le gaz pendant le broyage. Les gaz sont libérés à travers le cheminé et du poussières de cru rejoint le silo de stockage et homogénéisation de cru. Donc on n'a pas de perte de matérielles.



1.1.1.5. L'homogénéisation du cru :

Après avoir été finement broyée, la farine est très largement brassée dans des silos d'homogénéisation, de manière à obtenir une composition chimique et physique ciblée, la plus régulière possible.

Après l'homogénéisation du cru, il est ensuite acheminé vers les cyclons de préchauffage.

1.1.1.6. Préchauffage du cru :

L'air

chauds provenant du four se déplace dans le sens contraire de celui du cru dans les cyclones. Pendant de mouvement, le cru est préchauffé à une vers une température de 850°C. cette technique réduit

Photo 5 : Silo de stockage

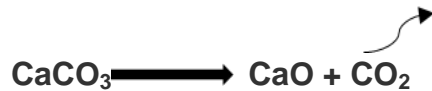


le cout d'énergie et permet de réduire significativement l'empreinte de CO₂ du matériau.

Au niveau du cyclons, à chaque fois que la matière descend il y a augmentation de la température qui provoque d'abord le séchage, la déshydratation et la décarbonatation ou bien la calcination.

La réaction de décarbonatation est la suivante :

Photo 6 : Les cyclons de préchauffage de cru de l'usine de LafargeHolcim Fès



Le CO₂ est libéré à travers le cheminer est la chaux entre en réaction avec les autres matières dans le four rotatif.

Photo 7 : les cyclons (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

1.1.1.7. La cuisson du cru :

Le four rotatif mesure 64 mètres en longueur et 4 mètres en diamètre, il est incliné de 3° pour permettre le passage en 25 à 30 minutes de l'entre-four, il est couvert par des briques réfractaires à l'intérieure et il fonctionne 24h/24 et 7j/7. À l'entrée du four, le cru préchauffés et calciné est appelé entre-four. L'entre-four subie des très hautes températures qui augmente de 1000°C jusqu'à 1450°C. Pour attendre cette température de matières, l'intérieure du four est chauffé jusqu'à 2000°C. toutes matières se transforment en lave.

La chaleur du four rotatif est fournie par différents types de combustible comme le pet coke qui est le combustible principale, les grignons d'olives, des combustibles alternatifs/de substitution comme les déchets riche en alcalins, l'eau pollué etc.

C'est très important de choisir un combustible de bonne qualité pour éviter la contamination du clinker qui est le produit semi-fini.

Le four est le corps de l'usine de ciment où se produise toutes les réactions chimiques aboutissant à la formation du clinker. Les réactions se déroulent dans l'ordre suivant

Tableau 1 : Les réactions qui se déroulent dans le four rotatif (d'après Amina et Younes, 2019).

Formation d'oxyde et décomposition des substances argileuses	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$
Formations des composés intermédiaires	$\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ $2\text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ $2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Formations des silicates tricalciques	Formation des alites, belites, aluminates et ferrites

Tableau 2 : Les phases qui constituent le Clinker registre (laboratoire de contrôle qualité de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

Nom	Formule	Abréviation
Alite	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S
Belite	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S
Aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Ferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF



Photo 8 : Le four rotatif (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

La qualité du clinker est déterminée selon les modules suivants :

Table 3 : les modules employés pour déterminer la qualité du Clinker à l'usine de LafargeHolcim Fès

Modules	Expression	Rôles
LSF* $94 < LSF < 98$	$\frac{CaO}{2,8 SiO_2 + 1,18 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3}$	Contrôle le rapport d'alite au belite dans le clinker
MS* $2,35 < MS < 2,75$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	Caractérise le rapport solide /liquide dans la zone de cuisson
MAF* $1,4 < MAF < 1,9$	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	Détermine la composition de la phase liquide

LSF=lime saturation facteur ; MS module silicique ; MAF module alumino-ferrique.

Lorsqu'on utilise la pet coke seule (marche normale), on produit le clinker avec les caractéristiques suivantes (le débit du clinker est de 107,7t /h) :

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Composition (%)	21,35	5,57	2,95	65,93
Débit (t/h)	22,99	6,00	3,18	71,01

Tableau 4 : Composition Chimique du clinker produit en marche normale (d'après le registre du laboratoire de contrôle qualité de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022).

LSF	MS	MAF
96,57	2,50	1,89

Tableau 5 : Valeurs des modules du clinker (d'après le registre du laboratoire de contrôle qualité de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022).

1.1.1.8. Le Refroidissement du clinker :

Le refroidissement rapide du mélange de matières en fusion (clinker) se fait rapidement par soufflage d'air dans le but d'obtenir la chimie cristalline appropriée pour les propriétés hydrauliques du clinker.



Photo 9 : Refroidisseurs du clinker (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)



Photo 10 : Les ventilateurs de refroidisseurs de Clinker de (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

Le clinker est ainsi obtenu sous forme de granules de quelques centimètres, il est finalement refroidi jusqu'à une température de l'ordre de 100°C et acheminé dans le hall de stockage. Il est une installation de filtres à ce niveau, les gaz sont séparés de poussières pour éviter des réactions secondaires et aussi pour éviter l'accumulation de SO_3 qui provoque la matière de se coller dans les parois du conduit pendant le trajet. Les poussières du clinker rejoint le silo de stockage. Pour les refroidisseurs les plus performants, l'énergie thermique est ainsi restituée aux trois-quarts et réutilisée pour le préchauffage de la farine, ce qui améliore considérablement l'impact environnemental du produit.

1.1.1.9. Le stockage du clinker :

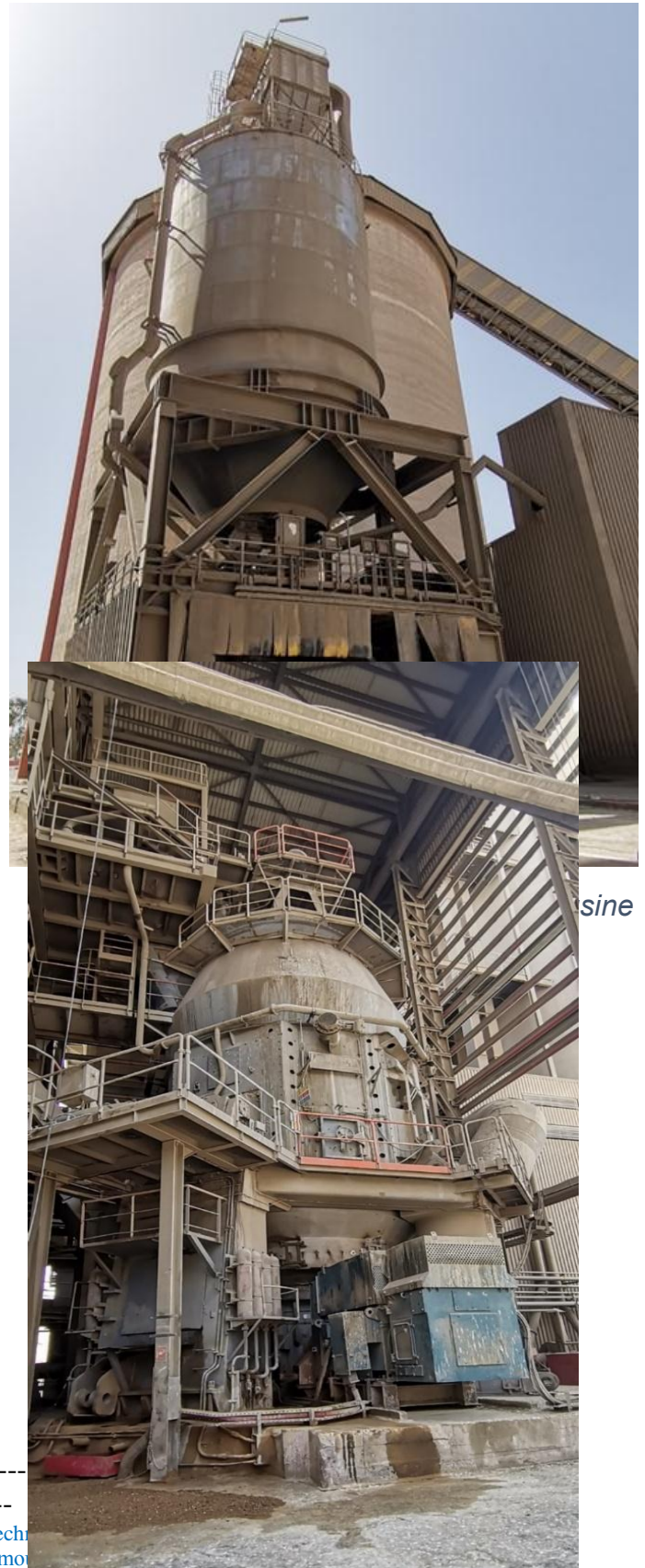
Une fois que le clinker est refroidi à 100°C, on le transporte par les convoyeurs vers le silo de stockage de plusieurs dizaines de milliers de tonnes, permettant ainsi d'assurer une continuité de la production du ciment, y compris lors des arrêts de la ligne de cuisson pour la maintenance annuelle, par exemple.

Dans le cas où le clinker produit n'est pas de bonne qualité, on le stock dans le petit silo et on prend des petites quantités qu'on mélange avec une grande quantité du clinker propre et broyer avec du gypse et des ajouts pour produire du ciment.

1.1.1.10. Le broyage du ciment :

Le clinker est ensuite broyé avec du gypse, qui joue le rôle de régulateur de prise, le calcaire qui améliore la couleur du ciment et des ajouts comme la pouzzolane et des cendres volantes avec des proportions bien définies

D'autres ajouts éventuels, préalablement séchés si besoin, peuvent être incorporés au mélange, ainsi que des agents de broyage appelés agents de mouture. Le mélange broyé passe dans un séparateur de particules qui permet d'obtenir une poudre fine, de répartition granulaire ciblée et très régulière, appelée le ciment. Les à ce niveau séparent les poussières de ciment et des gaz, de la poussière de ciment rejoint le silo de stockage



de ciment et les gaz sont libérés dans l'atmosphère à travers le cheminé.

Photo 12 : Broyeur de ciment (l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

1.1.1.11. Le stockage du ciment :

Le ciment est stocké dans des silos d'une capacité de plusieurs milliers de tonnes, qui peuvent être parfois divisés en plusieurs compartiments, pour stocker différents types de ciment.



Photo 13: Les silos de stockage de ciment (l'Usine de LafargeHolcim Fès 2022)

1.1.1.12. L'ensachage et l'expédition du ciment :

L'ensachage du ciment se fait par fluidisation à l'aide de compresseurs au niveau des silos de stockage. L'expédition des différents types de ciment se fait par sacs de 50Kg et en vrac par voie terrestre et ferroviaire. Le chargement du ciment en vrac par camion ou wagons citernes se fait directement à partir des silos de stockage.



*Photo 15 : Ciment en sac (50Kg)
(l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)*

*Photo 14 : Camion d'expédition de ciment en
vrac ('Usine de LafargeHolcim Fès 2022)*

2. CHAPITRE DEUX : LE CONTRÔLE QUALITE DU CIMENT

Le service de contrôle Qualité :

Les laboratoires du service de contrôle qualité ont pour but de contrôler la qualité des échantillons prélevés de façon régulière tout au long du procédé de la fabrication du ciment (depuis l'extraction de la carrière jusqu'à l'expédition), afin de savoir leur composition chimique et effectuer des modifications s'il y a des anomalies.

Au niveau du laboratoire, la fréquence de prise d'échantillons de chaque matière se fait comme suit :

- Le contrôle des matières premières se fait à chaque arrivage.
- Un contrôle de cru se fait chaque 2 heures pendant la marche du broyeur.
- Un contrôle de la farine chaude se fait chaque 4 heures.
- Un contrôle de clinker se fait chaque 2 heures.
- Un contrôle de ciment (BK4) se fait chaque 2 heures.

On utilise les résultats de ces contrôles pour la correction de consignes des doseurs et la rectification automatique à travers la salle de contrôle. Le ciment répond à des normes très sévères sur lesquelles les cimenteries s'engagent. Dans le laboratoire de LafargeHolcim Ras El Ma, on trouve les différentes procédures chimiques et physiques nécessaires pour effectuer ces contrôles.

2.1.1. Les essais chimiques :

2.1.1.1. Analyse par spectrométrie de fluorescence-X :

Le principe de cette analyse consiste à broyer 20g de l'échantillon à analyser pour avoir de granulats des dimensions plus fines. Après broyage, on met cet échantillon dans un presseur hydraulique pour former une pastille qu'on va mettre dans le spectromètre à fluorescence (RX). Les résultats sont traités automatiquement par l'ordinateur qui affiche le pourcentage de chaque constituant.

Ces résultats sont utilisés pour la correction des consignes des doseurs qui sont rectifiés automatiquement par la salle de contrôle et pour suivre la conformité du produit tout au long du procédé.

L'échantillon à analyser est préparé de la façon suivante :

On mesure 20g de l'échantillon avec la balance de masse et on l'introduit dans le bol en tungstène et on met 2 gouttes de Tri éthanolamine pour éviter le colmatage de la matière dans le bol et pour faciliter le broyage. Ensuite, on introduit le bol dans un sur-broyeur pendant 3 minutes pour obtenir des particules très fines. Après broyage, on introduit l'échantillon dans une presse à pastille pour préparer la pastille. Ensuite, on récupère la pastille et on le met dans le spectromètre à fluorescence X, les résultats sont traités automatiquement et affichés dans un ordinateur lié à



Photo 16 : La balance de masse (laboratoire de la machine.



Photo 17 : Le bol en Tungstène (laboratoire de



Photo 19 : Le sur-Broyeur (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)



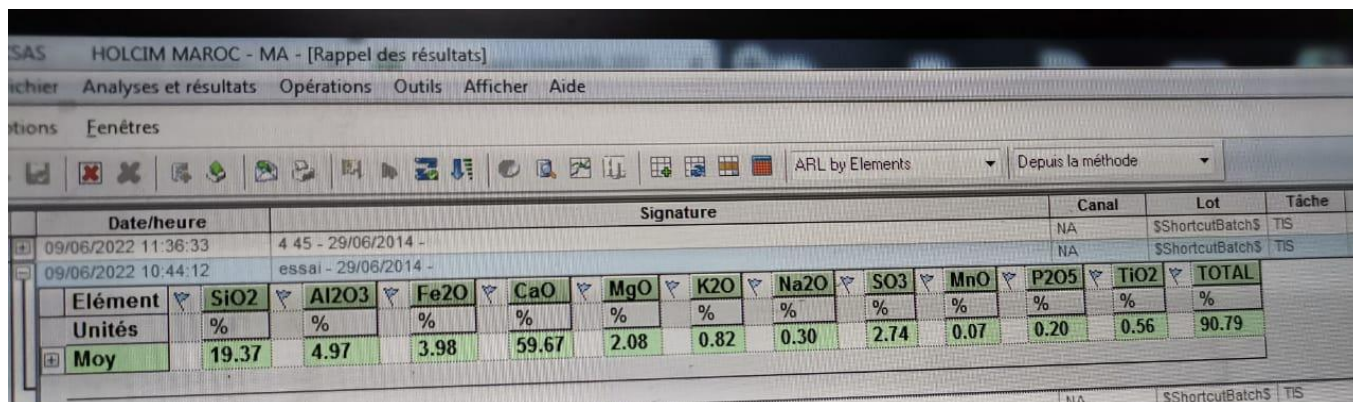
Photo 18 : La presse à pastille (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)



Photo 21 : La pastille (préparée le 23 juin 2022 (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès)



Photo 20 : Le Spectromètre à fluorescence XR (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)



Date/heure	Signature											Canal	Lot	Tâche
09/06/2022 11:36:33	4 45 - 29/06/2014 -											NA	\$\$ShortcutBatch\$	TIS
09/06/2022 10:44:12	essai - 29/06/2014 -											NA	\$\$ShortcutBatch\$	TIS
Elément	SiO2	Al2O3	Fe2O	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	MnO	P2O5	TiO2	TOTAL		
Unités	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
Moy	19.37	4.97	3.98	59.67	2.08	0.82	0.30	2.74	0.07	0.20	0.56	90.79		

Figure 2 : les résultats d'analyse du ciment par spectromètre de fluorescence-RX (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

2.1.1.2. La perte au feu :

Le calcul de la perte au feu a pour but de déterminer la teneur en CO₂ présent dans la farine traité qui a été évacué pendant un traitement thermique dans un four à moufle pendant 25 minutes (décarbonatation).

Décomposition de CaO_3 dans le four et libération de CO_2 dans l'atmosphère :



On utilise les fours à moufle de 1000°C et de 500°C

Procédure de la préparation de l'échantillon :

On mesure le poids du creuset avec la balance à précision (M_c), puis on met la balance à précision à zéro et on pèse 1g de la farine (M) et on l'a mis dans le four à moufle de 1000°C qui est toujours allumé 24h/24h et 7j/7j. Après 25 minutes, on enlève le creuset du four et on pèse la masse finale M_f . Pour le four de 500°C on fait la même démarche.

Ensuite on calcul la perte au feu à l'aide de la formule suivante :

$$\text{PAF} (\%) = \frac{(M_c + M) - M_f}{M} \times 100$$

Avec : M_c : masse du creuset ; M : prise d'essai et M_f : poids du creuset + prise d'essai après calcination.



Photo 22: La balance de précision (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès)



Photo 23 : Le Four à moufle (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)



Photo 24 : Les creusets en platine du laboratoire (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

2.1.2. Les essais physiques :

2.1.2.1. La finesse :

L'objectif du test de finesse est de déterminer la granulométrie des échantillons. En utilisant un courant d'air on crée une différence de pression entre les deux niveaux du tamis. On a les tamis de 45 μm , de 85 μm et de 90 μm . On pèse 10g d'échantillon avec la balance de précision, puis on le met dans le tamis de 45 μm pendant 3 minutes, les grains de petite taille (inférieurs à 45 μm) sont entraînés par le courant d'air, constituent les passants et les grains dont la dimension est supérieure à 45 (μm) constituent les refus. On mesure le poids des refus à l'aide de la balance de précision.

Ensuite, on a calculé le taux de refus de la façon suivante :

$$\text{Taux de refus (\%)} = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

Avec :

M_2 : poids pesé avant tamisage

M_1 : poids pesé après tamisage

Les résultats de l'analyse de finesse servent à contrôler le bon fonctionnement des broyeurs et la vitesse des séparateurs.



Photo 25 : Les Tamis de 45 μm , 85 μm et 90 μm (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)



Photo 26 : Le Tamiseur à courant d'air (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

Broyeur Vertical BK4						
Perfecto				CPJ 45		
R45 μ	R90 μ	PAF	SO3	R45 μ	R90 μ	PAF
13,50%	< 2	17,50%	2,80%	10%	< 1	14,50%
13 à 14,5		17 à 19%	2,5 à 3,0	09 à 11		14-15
				11,2	0,62	14,53
				10,6	0,54	14,66
				10,0	0,44	14,55
					0,40	14,59
				10,26	0,34	14,36
						Vers Perfecto

Figure 3 : les valeurs de finesse et Perte au feu (PAF) du ciment (laboratoire d'analyse de de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

Les essais mécaniques :

2.1.2.2. Essai de flexion et de torsion :

Préparation des échantillons sous forme d'éprouvettes :

- On pèse 225g de l'eau dans un bol séché et nettoyé proprement.
- On pèse 450 g de ciment et le verse dans le bon du malaxeur.
- On met le malaxeur en marche en mode automatique
- Après 30 secondes, on verse en haut du bol 1350g de sable normalisé.
- Après l'arrêt automatique du malaxeur, on racle les parois et le fond du bol sur une Plaque inoxydable puis on forme une patte rectangulaire.



*Photo 27 : la moule d'éprouvette
(laboratoire de l'usine de
LafargeHolcim Fès 2022*

*Photo 28 : Le malaxeur du laboratoire (laboratoire
de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)*

- On fixe le moule sur la table à choc, on introduit une partie du mélange puis on démarre la machine à 60 chocs/minute. Après l'arrêt automatique de la machine, on verse le deuxième contenu sur le premier puis on racle avec une raclette. On met une deuxième fois la machine à choc en marche. Une fois que la machine est arrêtée, on fait raser les moules à l'aide d'une règle métallique et on les conserve dans une chambre humide pendant 24 heures.
- Après 24 heures, on fait sortir les éprouvettes des mortiers normalisées de la chambre et on les démoule, puis on les remet dans l'eau de températures 20°C dans la chambre de compression et de flexion à 2 jours, 7 jours et 28 jours. Ces éprouvettes ont des mesures de 4cm X 4cm X16cm.





Photo 28 :
les moules
de



Photo 29 : La machine à choc (anti bulles d'air) (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

Photo 31 : Les éprouvette soumis dans l'eau dans la chambre à armoire humide (laboratoire de l'usine de

2.1.2.2.1. Essai de rupture par flexion :

Cet essai a pour but de déterminer la contrainte de traction par flexion. la rupture est effectuée sous charge concentrée dans une machine munie d'un dispositif qui casse les éprouvettes en deux et la pression supportée est affichée en MPa sur l'écran de l'ordinateur qui est connecté à cette machine de compression et flexion.



Photo 32 : L'éprouvette mesurant 4cm*4cm*16cm (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

*Photo 33 : La machine de compression et flexion
(laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)*

2.1.2.2. Essai de compression :

Chaque demi éprouvette passe en compression sur la face latérale, entre deux plaques de métal dur. Enfin, l'appareil à presse indique la pression limite à laquelle l'éprouvette à résistée. La presse qu'on utilise pour ses essais à une capacité de 2000KN et la vitesse de changement est fixée à 5 KN/S 0,5MPa/S. Dans ces deux cas, il faut d'abord préparer des moules de béton. Ces Moules vont subir des périodes différentes (2 jours, 7 jours et 28 jours) dans une humidité de 95 %.

La classification du ciment se base sur ce paramètre, à titre d'exemple le CPJ 45 a une résistance moyenne d'environ 45 MPa en cas de 28 jours et le CPJ 55 a une résistance moyenne d'environ 55 MPa en cas de 28 jours

Résistance (MPa)

Flexion à 2 jours	Flexion à 7 jours	Flexion à 28 jours	Compression à 2 jours	Compression à 7 jours	Compression à 28 jours
4,2	7,7	9,2	33	50	60

Figure 4 : Exemples de résistances à Flexion et à Compression (d'après le registre du laboratoire de contrôle qualité de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022).

2.2. Différents types de ciment qui sont fabriqués à l'usine de LafargeHolcim Fès :

L'usine assure la production de plusieurs types de ciment pour répondre à la demande croissante de la région.

Les types de ciment produits à ces usines sont les suivant :

- Le ciment portland CPJ 45

- Le ciment portland artificiel CPJ 55
- Le ciment portland artificiel CPJ 65
- Le Prefa

2.2.1. Le CPJ 45 : (ciment portland aux ajouts 45) :

Le CPJ 45 est un Ciment Portland avec Ajouts. Il doit contenir un pourcentage minimum en Clinker de 65%, le reste étant constitué de gypse, de calcaire et de pouzzolane. Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 45 (Résistance à la compression à 28 jours) 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.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
CPJ45	22,31	6,76	4,61	52,57	2,78	0 ;82	3,01

Tableau 6 : Composition Chimique du Ciment CPJ 45

2.2.2. LE CPJ 55 (ciment portland avec ajouts 55) :

Il s'agit d'un produit sur commande utilisé pour les grands travaux tels que la construction des ports, des aéroports, des ponts. A part les produits fabriqués localement, LAFARGE commercialise le ciment super blanc de calcaire importé de la France qui fait que prix, de ce dernier soit élevé. Son utilisation est limitée au traitement des planches et aux travaux de décoration.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
CPJ55	13,83	5,56	3,44	59,05	1,87	0,69	3,21

Tableau 7 : Composition chimique du ciment CPJ 55

2.2.3. CPJ 65 :

C'est un ciment portland artificiel composé du clinker et pouzzolane défini en pourcentage selon la demande du client, c'est un type de ciment utilisé pour la construction de barrage et il est fabriqué seulement sur commande.

2.2.4. PREFA :

Le Prefa fait partie de la famille de CPJ65, il diffère seulement par le pourcentage en matière de pouzzolane qui est très élevé .il est adapté à la fabrication artisanale des petits éléments préfabriqués en bétons.

%	Clinker	Calcaire	Gypse	Pouzzolane	Cendres volants
PREFA	56,5	4	6	27	6,5

Tableau 8 : Composition Chimique du ciment Prefa

(Ben 2021 ; Amina et Younes, 2019 ; Aya 2021 ; Achraf 2020 ; LafargeHolcim 2022).

3. CHAPITRE TROIS : LA GESTION DURABLE DES SUBSTANCES DANGEREUSES EN ENTREPRISE

3.1. LES ENTREPRISES FACE AUX SUBSTANCES DANGEREUSES :

Les substances dangereuses sont toutes les substances utilisées ou présentes au travail qui pourraient, si elles ne sont pas correctement contrôlées, causer des dommages aux personnes à la suite d'un incendie, d'une explosion ou de la corrosion du métal. Ils peuvent être trouvés dans presque tous les lieux de travail et comprennent des éléments tels que les solvants, les peintures, les vernis, les gaz inflammables, tels que le gaz de pétrole liquéfié (GPL), les poussières d'usinage et de ponçage, les poussières alimentaires, les gaz sous pression et les substances corrosives pour le métal.

Parfois, les substances dangereuses peuvent poser des effets négatifs sur l'environnement ou nuire à la santé des êtres humaines ou des animaux.

Dans l'industrie on trouve toujours des substances qu'on peut juger dangereuses, ces substances sont utilisées dans différentes activités quotidiennes de l'industrie comme dans les cuisines, les ateliers de menuiserie, les laboratoires et même dans les bureaux.

En générale, une entreprise ne peut pas complètement éviter l'utilisation de ces substances, mais elle peut contrôler leur utilisation et éventuellement les risques associés (OSHWIKI ; 2020).

3.2. La gestion des substances dangereuses en entreprise :

Comment on peut identifier les substances dangereuses et éviter ou bien minimiser les accidents associés à ces substances ?

Pour répondre à cette question, une démarche en plusieurs étapes s'impose (d'après : Ecosystème, 2022).

1. Identifier les produits potentiellement dangereux.
2. Évaluer les risques liés aux produits.
3. Éviter l'utilisation des produits jugés dangereux ou les remplacer par des substances moins dangereuses.
4. Respecter les normes et les mesures de sécurité liées à l'utilisation des produits dangereux.
5. Recyclage des déchets :

3.2.1. Identifier les produits dangereux :

L'identification d'un produit dangereux ou qui contiennent des substances dangereuses est une étape plus importante dans leur gestion. On ne peut pas mieux gérer ces substances ses si on ne les connait pas et cela peut causes des problèmes graves aux personnages qui seraient en contact avec ces substances et même pour l'environnement.

Comment reconnaître un produit dangereux ?

- ❖ Dans l'industrie, toutes les substances et préparations dangereuses doivent être accompagnés d'une Fiche de Données de Sécurité (FDS). Cette fiche est un document clé dans l'identification des substances dangereuses il contient toutes les informations essentielles concernant la substance en question comme les mesures de sécurités à appliquées lors du transport, du stockage, de la manipulation, les dangers liés aux produit, sa composition, les précautions à mettre en place pendant la manipulation et les premiers secours à appliqués en cas d'accident.
- ❖ Tous les produits achetés par l'usine doivent disposer d'une étiquette comprenant :
 - Le nom du produit et, éventuellement, sa composition.
 - Un ou plusieurs pictogramme(s) de danger qui indiquent les dangers pour la santé et pour l'environnement.



Figure 5 : Pictogramme de danger (laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

- Les mentions de danger, donnent les informations sur les dangers du produit comme, par exemple, « provoque une sévère irritation des yeux », « nocif pour les organismes aquatiques », « toxique en cas d'ingestion », etc.
- Les conseils de prudence, donnent des informations sur les précautions à prendre lors de l'utilisation ou du stockage du produit, comme, par exemple, le conseil de mettre des gants, des lunettes de protection, de ne

pas mélanger le produit avec un autre, ou encore, de stocker le produit hors de la portée des enfants.

- Le mode d'emploi donne des informations quant à l'utilisation et au dosage du produit.
- Les coordonnées du fabricant ou du fournisseur.






MODE OPERATOIRE	
Produit : ACIDE NITRIQUE	Formule chimique : HNO₃
Risques chimiques	
Danger :	Equipements de protection individuelle
 Comburant	 Corrosif
  	
Premiers secours :	
<ul style="list-style-type: none"> ⊖ En cas de projection oculaire, laver immédiatement à l'eau pendant au moins 15mn ⊖ En cas d'inhalation de forte concentration, retirer le sujet de la zone contaminée. S'il est conscient, le mettre en position latérale de sécurité et avertir le médecin. ⊖ En cas d'ingestion de solutions diluées (PH>1.5) en très faible quantité, faire boire 1 ou 2 verres d'eau, s'il apparaît des nausées ou des vomissements, consulter le médecin ⊖ Si le PH de la solution n'est pas connu, ne pas faire boire et ne pas tenter de provoquer des vomissements, faire transférer rapidement en milieu hospitalier 	
Environnement	
Conditions d'évacuation:	
<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Eviter tout rejet à l'égout du produit pur sans dilution préalable à grande eau et une neutralisation avec une solution alcaline (bicarbonate de sodium). ⊖ En cas de fuite ou de déversement accidentel, récupérer le produit en épongeant avec un matériau absorbant non combustible puis laver à grande eau la surface ayant été souillée. Si le déversement est important, évacuer le personnel en ne faisant intervenir que des opérateurs entraînés munis de protection ⊖ Conserver les déchets dans des récipients clos spécialement prévu à cet effet et les éliminer dans les conditions réglementaires. 	
Principaux risques et moyens de prévention	
Manipulation	
<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Eviter tout contact du produit avec la peau et les yeux ⊖ Eviter les projections accidentelles du produit sur des carters chauds et des contacts électriques ⊖ Eviter l'inhalation des vapeurs et effectuer en appareils clos toute opération industrielle ⊖ Entreposer dans les locaux de travail des quantités relativement faibles ne dépassant jamais celle nécessaire au travail d'une journée 	
Stockage	
<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Stocker dans les locaux frais, bien ventilés, à l'abri des rayons solaires et à l'écart de toute source d'ignition, des matières inflammables et des oxydants ⊖ Maintenir les récipients fermés et étiquetés. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement d'emballage ⊖ Conserver de préférence dans l'emballage d'origine ⊖ bannir du lieu de stockage tout métal ou objet métallique susceptible de réagir avec dégagement d'hydrogène au contact du produit 	
Risques d'incendie	
En cas d'incendie :	
<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Utiliser les moyens d'extinction appropriés (dioxyde de carbone, mousse, poudres sèches) ⊖ Porter un appareil de protection respiratoire isolant en atmosphère confinée ⊖ Ne jamais utiliser de lances d'incendie 	

Figure 6 : Le Fiche de Données de Sécurité (Laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

3.2.2. Évaluer les risques liés aux produits :

L'évaluation des risques : c'est l'étape premier ver la prévention, Les substances dangereuses posent des risques qui sont souvent complexe et de nombreux facteurs doivent être pris en compte lors de l'identification de ces risques. Les employeurs, les gestionnaires et les travailleurs devraient être impliqués. Toutes les évaluations doivent être à jour les environnements de travail changent, le potentiel d'exposition à des substances dangereuses change également.

Ces risques dépendent fortement des conditions d'utilisation, des quantités utilisées, de la durée et de la fréquence d'exposition, etc. il est fortement recommandé de faire l'analyse des risques qui permettra d'évaluer les dangers qui peuvent émaner d'une substance dangereuse.

Les employeurs doivent :

- Savoir tous les types de substances dangereuses qui se trouvent sur leur lieu de travail et quels sont les risques.
- Mettre en place des mesures de contrôle pour supprimer ces risques ou, si cela n'est pas possible, les contrôler.
- Mettre en place des contrôles pour réduire les effets de tout incident impliquant des risques.
- Préparer des plans et des procédures pour faire face aux accidents, incidents et urgences impliquant des substances dangereuses.
- S'assurer que les employés sont correctement informés et formés pour contrôler ou gérer les risques liés aux substances dangereuses.
- Identifier et classer les zones du lieu de travail où des atmosphères explosives peuvent se produire et les éviter, sources d'inflammation (provenant d'équipements non protégés, par exemple) dans ces zones.

L'entreprise doit avoir le permis d'environnement qui prévoit l'évaluation des risques liés aux substances dangereuses utilisées par l'entreprise et impose les mesures de sécurité nécessaires.

3.2.3. Éviter l'utilisation des produits ou de matériaux jugés dangereux :

Une fois qu'on a identifié les produits dangereux, on doit essayer de les éviter ou de les remplacer par un produit moins dangereux s'ils existent.

3.2.4. Respecter les mesures de sécurité liées à l'utilisation des substances dangereuses :

Quand l'utilisation d'une substance ou d'un produit dangereux est indispensable, il est nécessaire de respecter les mesures de sécurité et les conditions d'utilisation. Ces ceux-ci varient d'une substance à l'autre, elles sont indiquées sur l'étiquette et détaillées dans la fiche de données de sécurité.

- Porter les **EPI** : **un masque, des gants ou des lunettes de protection, les chaussures de sécurité** et travailler **sous une hotte aspirante** lors de la manipulation.
- Les normes d'utilisation prescrivent une dose maximale de la substance à laquelle les travailleurs peuvent être exposés, ainsi que la durée pendant laquelle ils peuvent être exposés à la substance, comme c'est le cas pour les manipulations du spectromètre à Rayon-X dans le laboratoire d'analyse d'échantillon. Chaque personne qui travaille avec le spectromètre à rayon-x doit porter un dosimètre actif.

L'entreprise doit mettre en place des mesures de prévention adaptées à la substance/au produit et informer les membres du personnel sur les risques liés à la substance/au produit, à son utilisation correcte et sûre et aux mesures à prendre en cas d'accident.

Elle doit mettre à disposition des travailleurs, les protections requises (masques, gants, lunettes de protection, chaussure de protection, etc.) pour limiter au maximum les risques (Les Cahiers du Développement Durable, 2022 ; EU-OSHA, 2021 ; *ADDI6,2013 ; HSS-202, 2018 ; DSEAR,2002*).



Figure 7 : Les Equipements de Protection Individuelles EPI (Laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès 2022)

3.2.5. Recyclage des Detchets :

Dans l'usine , on trouve toujours des detchets qui se produit à cause des activités différentes de l'usine, si on faire rien avec ces detches, ils peuvent polluer l'environnememt et parfois causent des problèmes graves aux gens, comme c'est le cas pour la pollution de l'eau .

Pour eviter ces problèmes ,Llafargeholcim Maroc a lancé le programme de recyclage de detchets et a installé plusieurs sites de **Géotraitement** afin de conserver l'environnement et reduirela pollution .

Dans chaque usine de Lafargeholcim, il y a des points de collection de detchets dangereux et on les transmit vers les sites de géotraitement .

3.2.5.1. Exemples des substances dangereuses qui sont recycler :

3.2.5.1.1. Plastiques bromés :

Ils sont traités en incinérateurs de déchets dangereux, équipés de fours à haute température. Les plastiques de la plupart des appareils électriques et électroniques contiennent des retardateurs de flammes bromés. Ils sont classés « dangereux » et POP (polluants organiques persistants). Par principe de précaution, nous rassemblons dans la catégorie « susceptibles d'être bromés » tous les plastiques bromés ainsi que ceux sur lesquels persistent des doutes.



-----Figure 8 : Plastiques Bromé

3.2.5.1.2. Tubes cathodiques :

Le verre des tubes cathodiques est notamment composé de plomb. Considéré comme dangereux, le verre au plomb est stocké dans des installations dédiées aux déchets dangereux dans des alvéoles étanches. Le plomb est susceptible de s'accumuler dans les organismes et de provoquer des effets néfastes sur la reproduction et le développement des êtres vivants.

Les verres sont également composés de baryum. Evalué comme non dangereux, le verre au baryum est recyclé dans la fabrication de matériaux pour le bâtiment.

3.2.5.1.3. Cartouches de toner :

Elles sont récupérées et nettoyées pour être reconditionnées. Les cartouches non reconditionnables sont prises en charge par des entreprises spécialisées. Les cartouches sont broyées et les matériaux sont séparés pour être régénérés. Ce qui ne peut pas être régénéré est valorisé énergétiquement comme combustible solide de récupération (CSR). Les dangers des toners de couleur sont peu documentés.



Figure 9 : Cartouches de toner

3.3. Les effets de substances Dangereuses :

Les produits dangereux agissent de différentes manières :

- Certains peuvent être inflammables et causer un incendie ou une explosion.

Par exemple : matières inflammables et combustibles :

- Gaz inflammables
- Liquides inflammables et Liquides combustibles (les huiles)
- Solides inflammables (le pet coke et grignons d'olive)
- Aérosols inflammables

- Matières réactives inflammables
- D'autres peuvent être nocifs ou toxiques et ainsi causer une intoxication chez l'Homme ou polluer l'environnement.
- D'autres encore peuvent être corrosifs et causer des irritations ou des brûlures comme les acides par exemple.
- Parfois des substances inoffensives en elles-mêmes peuvent provoquer des réactions dangereuses quand elles sont en contact avec d'autres substances. (climate consulting 2022 ; AlexandreR, 2021,votre partenaire environnement, 2021 ; Thierry,2022 ; ecosysteme 2022 ; HSS-202, 2018).

LA CONCLUSION :

Le service de contrôle qualité est un cerveau de l'usine, les analyses chimiques, les essais physiques et mécaniques doivent être faites avec précaution et leurs résultats doivent être à jour tout au long du procédé de fabrication de ciment. Pour produire le ciment de bonne qualité, le service de contrôle qualité doit être actif 24h/24h.

Le four rotatif fonction comme le cœur de l'usine, les gaz produit doivent être filtré afin d'éviter des réactions secondaires qui peuvent dégrader la qualité du clinker.

Le choix du combustible de bonne qualité est très important, si les combustibles contiennent plus de sulfure, le dioxyde de sulfure va être produite pendant la cuisson et provoque la matière de se coller dans les parois du tuyau/chemin. Si l'accumulation est très importante, le diamètre du tuyau diminue et l'acheminement de la matière est retardé.

Ce stage a été très bénéfique pour moi car il m'a aidé à approfondir les compréhensions des cours, les pratiques est en plus de ça, j'ai appris beaucoup de choses ainsi que l'expérience de travailler et d'être dans le domaine de travail.

LE GROUPE LAFARGEHOLCIM

Le groupe LAFARGEHOLCIM est composé de deux entreprises qui ont été fusionnées le 10 juillet 2015.

LAFARGE est une société française qui a été fondée en 1883 et Holcim est une société suisse qui a été fondée en 1912.

LAFARGEHOLCIM est présent dans différentes régions du Maroc ainsi que dans d'autres pays.

Les activités :

LafargeHolcim Maroc participe dans plusieurs activités afin de servir aux besoins de ses clients. Dans le pays, il a 6 cimenteries et une en construction, 1 usine de mortier ciment, 3 centres de broyage, 26 centrales à béton, 2 carrières de granulats, 2 usines de plâtre, 1 usine de chaux et 4 plateformes de valorisation de déchets (LafargeHolcim, 2022).

LafargeHolcim Fès :

Localisation géographique de l'usine :

Cette usine est sur le terrain en propriété de la CIOR et elle est située à 25 KM au sud de la ville de Fès et 340 KM du port de Nador à partir duquel elle est alimentée en coke de pétrole. La route qui passe par la localité de Ben Souda et Zillig relie cette usine à la centre-ville et l'autoroute qui relie la ville de Casablanca et Oujda relie aussi cette usine aux autres régions du royaume. Elle est aussi raccordée à la voie ferrée depuis 2005 (Achraf, 2020).

Figure 10 : Localisation de l'usine de LafargeHolcim Fès (LafargeHolcim Maroc 2022)



Bibliographie et Webographie :

- **AMINA ET YOUNESS, 2019**-Rapport de stage sur l'Etude granulométriques et chimiques du clinker effectué à l'usine de LafargeHolcim Fès.
- **AYA, 2021**-Rapport de stage effectué à l'usine de LafargeHolcim Fès sur les analyses de contrôle qualité du ciment.
- **ACHRAF, 2020**- Rapport de stage effectué à l'usine de LafargeHolcim Fès
- **BEN, 2021**-Rapport de stage effectué à l'usine de LafargeHolcim Meknès sur l'étude granulométrique du clinker.
- **REGISTRE, 2022**-Laboratoire de l'usine de LafargeHolcim Fès
- **CLIMATE CONSULTING, 2022**-<https://climate.selectra.com/Fr/conseils>
- **ECOSYSTEME, 2022**- <https://www.ecosystem.eco/fr/article/obligations-detenteurs-pro>.
- **THIERRY, 2022**- <https://www.pole-ecoindustries.fr/industrie-gerez-le-recyclage-de-vos-dechets/>.
- **THE PARTENAIRE ENVIRONNEMENT, 2017**- <https://theys.com/recyclage-entreprise-que-faire-produits-dangereux/>.
- **ALEXANDRE OCT 25, 2021**- Gestion des déchets en entreprise : que dit la loi française ? - <https://lesjoyeuxrecycleurs.com/recyclage-en-entreprise-mode-demploi/loi-recyclage-entreprise/>.
- **HSS-202, 2018**- substances dangereuses, LafargeHolcim.
- **LAFARGEHOLCIM MAROC, 2022**- <https://www.lafargeholcim.ma/fr>.
- **DSEAR, 2002**-l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail et Réglementation sur les substances dangereuses et les atmosphères explosives.

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Simon NKHOMA

Année Universitaire : 2021/2022

Titre : Le Contrôle Qualité du Ciment

Résumé :

Le processus de fabrication du ciment intégrer des technologies diverses dans un environnement dans un environnement en perpétuelle concurrence.

La qualité du ciment dépend surtout de la composition chimique des matières premières qui entrent dans la synthèse du clinker qui est un produit semi-fini. L'étape de fabrication du clinker représente la partie la plus couteuse dans le procédé entier de de fabrication, ce qui demande une utilisation du clinker dans la fabrication à des proportions bien économiques. Plus la proportion du clinker dans le ciment est importante plus la qualité du ciment est parfaite et plus le coût de fabrication est élevé.

Sur ces liens entre la qualité du ciment, la quantité du clinker et le coût de fabrication, le clinker doit subir un contrôle strict et rigoureux. Après la cuisson à une température de 1450°C du cru (mélanges du calcaire, de l'argile ou le schiste, et des additifs tel que les minerais de fer, etc.). Le clinker produit subit un refroidissement brusque qui provoque une texture et une granulométrie différente.

Mon étude a donc pour objectif de comprendre le processus de fabrication de ciment, les analyses chimiques, les essais physiques et mécaniques. Ces analyses et essais sont faites dans les laboratoires de contrôle qualité, afin d'assure le meilleur qualité et conformité du ciment fabriqué. Pour travailler dans les meilleures conditions de santé et sécurité, j'ai travaillé aussi sur la gestion de substances dangereuses à l'usine de LafargeHolcim Fès.

Mots clés : ciment, clinker, cru, farine, substance, dangereuse, four rotatif , analyse, Homogénéisation, analyse, concassage, broyage, additif, silo, gestion et control qualité.

