

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

**Optimisation de la consommation électrique de l'atelier  
broyage BK4**

**Lieu : LAFARGE MEKNES**

**Référence : 16/15GI**

**Préparé par :**

-EL HABCHI Badr.

- LAMRISS Abderrezzak.

**Soutenu le 17 Juin 2015 devant le jury composé de :**

- Pr D.Tahri (Encadrant FST)
- Pr H.Kabbaj (Examineur)
- Pr K.El ouazzani (Examineur)

## **Dédicace :**

Nous offrons ce modeste travail :

**A nos chers parents,**

Aucune dédicace ne pourra faire témoin de notre profond amour, notre immense gratitude et notre plus grand respect à votre égard. On n'oubliera jamais la tendresse et l'amour dont vous nous avez entourés depuis notre enfance.

**A toute notre famille, frères et sœurs,** pour leur soutien moral.

**A tous nos amis,** et à tous ceux qu'on aime et à toutes les personnes qui nous ont encouragé et se sont données la peine de nous soutenir durant cette formation.

**A nos chers enseignants** sans exception.

**A tous les membres de la direction** de la FST de Fès.

**A tous les personnels de la société LAFARGE,** qui nous ont bien encadrés et qui nous ont fait sentir comme si nous était chez nous.

**A tous les étudiants** de la FST.

**A ceux qui nous sont chers.**

# Remerciement

## Avant tout louange à notre Dieu.

Au terme de ce travail, nous remercions vivement la société Lafarge-Meknès de nous avoir bien accueillis.

Que le professeur **IDRISS TAHRI** qui a dirigé et guidé ce travail avec toute compétence et patience trouve ici l'expression de notre profonde gratitude et nos sentiments de respect les plus distingués. Nous devrions témoigner du grand plaisir que nous avons eu à travailler avec lui et avouer que nous avons beaucoup appris auprès de lui. Ses critiques constructives et son aide morale étaient indispensables à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à présenter notre profonde gratitude à **RADOINE EDDBIRI** notre parrain de stage, pour sa disponibilité et de nous faire partager ses connaissances, son expérience et son savoir-faire.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du service procédés et fabrication de la société Lafarge-Meknès.

Nous tenons également à remercier **T.NABIL, BOUHO** et **K.ELMANSOURI** qui ont partagé avec nous leurs précieuses connaissances dans cette étude.

Que messieurs **les membres du jury** trouvent ici l'expression de nos reconnaissances pour avoir accepté de juger notre travail.

Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail trouvent l'expression de nos remerciements les plus chaleureux.

# Liste des figures :

Figure 1	: Lafarge dans le monde.....	11
Figure 2	: Implantation.....	12
Figure 3	: Organigramme d'usine LAFARGE MKS.....	14
Figure 4	: LES EPI.....	15
Figure 5	: Carrière d'extraction des matières premières.....	16
Figure 6	: Concasseur à marteaux.....	16
Figure 7	: Pré-homogénéisation de la matière crue.....	17
Figure 8	: Présentation des tas (A) : tas en construction (B) : en Consommation.....	17
Figure 9	: Broyage cru.....	18
Figure 10	: silo d'homogénéisation.....	18
Figure 11	: Ligne de Cuisson. ....	19
Figure 12	: Four rotatif 1 Lafarge- Usine Meknès.....	20
Figure 13	: Broyeur cuit.....	21
Figure 14	: Atelier broyage.....	24
Figure 15	: Broyeur BK4.....	25
Figure 16	: Vue interne BK4.....	26
Figure 17	: Doseur.....	26
Figure 18	: Fonction broyage.....	27
Figure 19	: Blindages.....	27
Figure 20	: Séparateur.....	28
Figure 21	: Circuit broyage.....	30
Figure 22	: Bilan électrique 20/04/2015.....	35
Figure 23	: Broyeur BB10.....	35
Figure 24	: Test BB10.....	36
Figure 25	: Bilan aéraulique.....	37
Figure 26	: Dépoussiérage aeroglissière.....	38
Figure 27	: Dépoussiérage aeroglissière des rejets.....	38
Figure 28	: Dépoussiérage d'élévateur.....	38
Figure 29	: Répartition granulaire matière.....	41
Figure 30	: Courbe de partage.....	42
Figure 31-1	: La cage mobile RAS.....	43
Figure 31-2	: Les pâles fixes .....	43
Figure 31-3	: Le jeu de la chicane varie entre 15mm et .....	43
Figure 31-4	: Le clapet des rejets .....	43
Figure 31-5	: Le cône de rejets .....	43
Figure 31-6	: Présence de ferrailles dans la cage (Ils sont dégagés) .....	44
Figure 31-7	: Les barreaux RAS.....	44
Figure 31-8	: L'état de la céramique RAS.....	44
Figure 31-9	: La conduite du produit fini RAS.....	44
Figure 31-10	: Registre de recirculation RAS.....	44
Figure 31-12	: Le registre rectangulaire d'air frais est ouvert à .....	44
Figure 31-11	: Le registre circulaire d'air frais RAS .....	44

Figure 32	: Courbe axiale BK4.....	45
Figure 33-1	: Le 1er compartiment.....	46
Figure 33-2	: Le 2ème compartiment.....	46
Figure 33-3	: Anneau de ventilation.....	47
Figure 33-4	: Jeu des lumières.....	47
Figure 33-5	: Les blindages releveurs RAS.....	47
Figure 33-6	: La grille de l'anneau de ventilation .....	47
Figure 33-7	: La glisse d'alimentation RAS.....	47
Figure 33-8	: La cloison intermédiaire côté C2 RAS.....	47
Figure 33-9	: La cloison de sortie RAS.....	47
Figure 33-10	: La grille de l'anneau de ventilation .....	48
Figure 33-11	: Les écopés .....	48
Figure 33-12	: Les blindages.....	48
Figure 33-13	: La charge broyant .....	48
Figure 33-14	: Usures blindages releveurs C1.....	48

## Liste des tableaux :

Tableau 1	: Composition du clinker.....	19
Tableau 2	: Caractéristique du four .....	20
Tableau 3	: Caractéristique des broyeurs cuit.....	21
Tableau 4	: Caractéristique BK3, BK4, BK5.....	24
Tableau 5	: Caractéristique des deux chambres du broyeur.....	25
Tableau 6	: Consommation de l'atelier BK4.....	34
Tableau 7	: Débit d'air.....	37
Tableau 8	: Valeurs moyenne des caractéristiques du séparateur.....	41

## Liste des acronymes

CPJ	Ciment Portland avec ajout de constituants secondaires
C3S	silicate tricalcique ou Alite
BB10	Broyeur a boulets de laboratoire
C2S	Silicate bicalcique ou Bélite
C4AF	Aluminoferrite tétracalcique ou Ferrite
Rc28	la résistance du mortier à 28 jours
CaCO3	Carbonate de Calcium
CaO	Oxyde de Calcium
SiO2	Oxyde de Silicium
SO3	Anhydride Sulfurique
BK	Broyeur de Clinker.

## Sommaire

<i>Dédicace .....</i>	<i>2</i>
<i>Remerciements.....</i>	<i>3</i>
<i>Liste des figures.....</i>	<i>4</i>
<i>Liste des tableaux.....</i>	<i>5</i>
<i>Sommaire.....</i>	<i>6</i>
<i>Introduction générale.....</i>	<i>9</i>

### CHAPITRE1 : PRESENTATION DE L'ENTRPRISE ET SON DOMMAINE D'ACTIVITE

I.	Présentation général.....	11
	1. Le secteur cimentier au Maroc.....	11
	2. Présentation du groupe Lafarge.....	11
	3. Lafarge-Maroc.....	12
	3-1. Historique.....	12
	3-2. Implantation.....	12
II.	Présentation Lafarge-Meknès.....	13
	1. Présentation général.....	13
	2. Fiche signalétique.....	13
	3. Organigramme d'usine Meknès.....	14
	4. Produits de la société.....	14
	5. L'environnement à LAFARGE Meknès.....	15
	6. La sécurité à LAFARGE Meknès.....	15
III.	Processus de fabrication du ciment.....	16
	1. La carrière.....	16
	2. Concassage.....	16
	3. Pré-homogénéisation.....	17
	4. Broyage cru.....	17
	5. Homogénéisation.....	18
	6. Cuisson.....	18
	6.1. Tour de préchauffage.....	19
	6.2. Four rotatif.....	20
	6.3. Refroidisseur.....	20
	7. Broyage cuit .....	21
	8. Ensachage et expédition.....	21

## Chapitre 2 : Description de l'atelier du Broyage ciment

I.	Description général.....	23
II.	Fonctionnement des équipements de l'atelier de broyage BK4.....	24
1.	Broyeur à boulets à deux compartiments.....	24
1.1	Description du broyeur.....	24
1.2	Processus de marche.....	26
2.	Séparateur.....	27
3.	Ventilateur.....	28
4.	Filtre à manches.....	29
5.	Les doseurs.....	29
6.	l'élévateur.....	29
7.	Grille de ventilation .....	29
8.	Blindages.....	29
III.	Présentation du circuit de broyage.....	30
1.	Schéma du circuit.....	30
2.	Description du schéma.....	31

## Chapitre 3 : optimisation de la consommation électrique d'atelier BK4 MKS :

I.	Description général du problème.....	33
II.	Bilan énergétique .....	34
1.	Bilan électrique.....	34
1.1	objectifs.....	34
1.2	interprétation des résultats .....	34
2.	teste de broyabilité au broyeur BB10.....	35
2.1	Objectifs.....	35
2.2	étude pratique.....	36
2.3	Interprétation et solutions proposés.....	36
III.	Bilan aéraulique.....	36
1.	objectif.....	36
2.	interprétation des résultats.....	38
IV.	Bilan séparation.....	39
1.	Objectif.....	39
2.	Méthode d'analyse-courbe de partage.....	40
3.	Etude pratique.....	41
4.	Interprétation et solutions proposées.....	42
5.	visite interne du séparateur.....	43
V.	Bilan matière.....	45
1.	Objectif.....	45
2.	Courbe axial.....	45
3.	Visite interne du broyeur.....	45
4.	Interprétations des résultats et solutions proposées.....	48
VI.	Analyse des arrêts.....	49
1.	Description.....	49
2.	Changements de silo.....	49



3.	Bouchage trémie .....	49
4.	Visite du broyeur.....	45
VII.	Récapitulatif.....	50
	Conclusion et perspectives.....	51
	Annexe	
	Bibliographie	
	Webographie	



## Introduction générale

L'industrie cimentière a dû optimiser son processus de fabrication. Il s'agit d'un procédé de fabrication très consommateur d'énergie électrique, surtout au niveau des opérations de broyage.

La cimenterie Lafarge de Meknès contient 5 atelier de broyage : deux pour la matière cru (BC1 ; BC2) et trois pour broyage ciment (BK3 ; BK4 ; BK5).

Le présent travail consiste à optimiser l'atelier du broyage ciment bk4. Afin d'améliorer les rendements massique et énergétique, des opérations de broyage ; par une gestion des flux de matière et aéraulique à travers tout le circuit ; s'avèrent nécessaire pour atteindre cet objectif.

Tout d'abord, nous allons donner un petit aperçu sur l'industrie du ciment au Maroc à la lumière de LAFARGE CIMENT (plus précisément de Meknès). Ensuite, Les grandes lignes du procédé de fabrication du ciment seront présentées pour définir ce qu'est le clinker et montrer le rôle de l'opération de broyage. Après, une description sur l'installation de l'atelier BK4 et son processus de marche suivie d'une présentation des objectifs à atteindre à travers des bilans qui vont contribuer à l'amélioration du rendement énergétique de l'atelier BK4.

# CHAPITRE 1 :

## PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET SON DOMAINE D'ACTIVITE

## I. Présentation général :

### 1. Le secteur cimentier au Maroc :

Les cimenteries marocaines génèrent un chiffre d'affaire annuel de 15 milliards Dhs, elles constituent un acteur majeur dans l'économie du Royaume, La moitié du ciment marocain est consommé par 16% du territoire.

Les deux premières régions consommatrices sont le Grand-Casablanca et Tanger- Tétouan, où se trouvent aussi deux des trois usines marocaines de Lafarge, le leader du marché.

L'industrie marocaine du ciment représente une part énorme dans l'économie marocaine, à la fois du fait des énormes quantités produites et du chiffre d'affaire généré, mais aussi par l'ampleur des investissements que cette industrie nécessite.

Les principaux acteurs du ciment marocain sont au nombre de cinq :

- Lafarge Maroc (groupe français Lafarge).
- Ciments du Maroc (groupe italien Italcementi).
- Holcim Maroc (groupe suisse Holcim).
- Asment Temara (groupe portugais Cimpor).
- Le dernier né, 100 % marocain, les Ciments de l'Atlas (CIMAT).

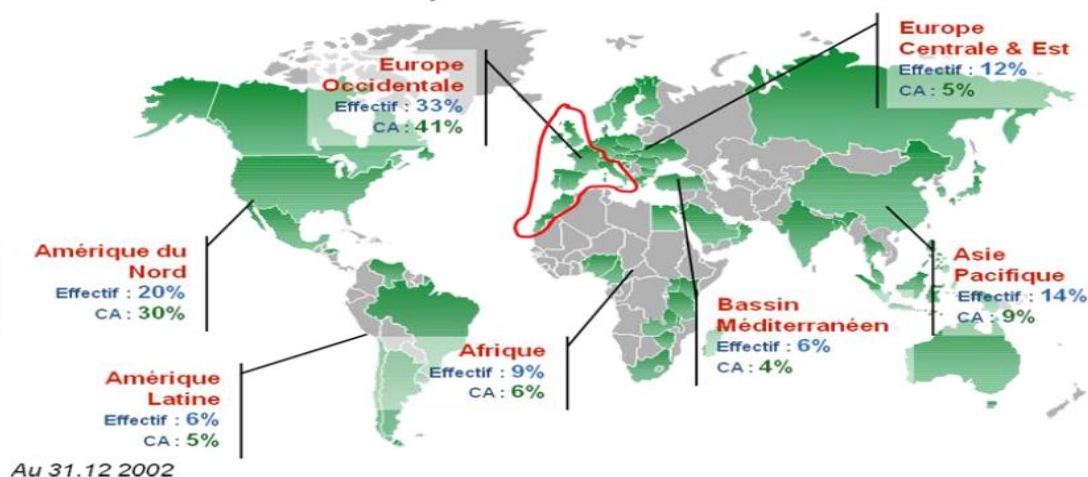
### 2. Présentation du groupe Lafarge :

Lafarge est un groupe français de matériaux de construction, leader mondial dans son secteur, la société produit et vend dans le monde entier principalement du ciment, des granulats et du béton prêt à l'emploi.

Lafarge a développé des ciments spéciaux et des bétons innovants de renommée internationale.

En 2014 le chiffre d'affaires de Lafarge s'est élevé à 12.843 milliards d'euros, dont 66.5% dans le ciment et 33.1% dans le béton et granulats.

Présent dans 61 pays, le groupe emploie environ 63000 personnes sur 1612 sites de production.



**Figure 1 : Lafarge dans le monde**

### 3. Lafarge-Maroc :

#### 3.1 Historique :

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 nécessita 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 la ville Casablanca avec une capacité de production annuelle de 10 000 tonnes.

Mais la naissance officielle de « Lafarge Maroc » a eu lieu le 01 Juin 1995, lors de la signature d'une convention de partenariat entre SNI (Société Nationale d'Investissement) et Lafarge qui aboutit à la création d'un Holding (50% LAFARGE et 50% SNI), mais notons que la SNI est achetée par ONA donc (50% LAFARGE et 50% ONA), La première conséquence de ce partenariat pour l'entreprise, est de pouvoir disposer d'une structure financière forte.

Aujourd'hui, Lafarge Maroc occupe la place de leader sur le marché et notons que l'activité essentielle de Lafarge est issue de la production de ciment (85% des ventes de l'entreprise).

#### 3.2 Implantation :

Voici une figure qui nous montre les différents secteurs d'activité la société Lafarge et son implantation au niveau du Maroc.

- ❖ **Dans le ciment**
  - ↙ 4 usines
    - ↙ Bouskoura
    - ↙ Meknès
    - ↙ Tétouan
    - ↙ Tanger
  - ↙ Capacité de production : 3 850 MT
  - ↙ Ventes ciment : 3,35 MT
  - ↙ Part du marché : 41,57 %
- ❖ **Dans le béton prêt à l'emploi**
  - ↙ Casablanca
  - ↙ Rabat et Salé
  - ↙ Meknès
  - ↙ Berrichid, etc...
- ❖ **Dans le plâtre : LAFARGE PLATRES**
- ❖ **Dans les granulats : GRAVEL MAROC**

**Figure 2 : Implantation**



## II. Présentation LAFARGE-Meknès :

### 1. Présentation général :

La cimenterie de Meknès se trouve au nord-est de la ville à proximité immédiate de hay soussi et non loin de la route principale de Meknès Fès.

Dénommé CADEM (ciments artificiels de Meknès) l'usine a démarré en 1953 avec une seule ligne de production a voie humide d'une capacité de 400 tonnes par jour, depuis les évènements suivant se sont succédés

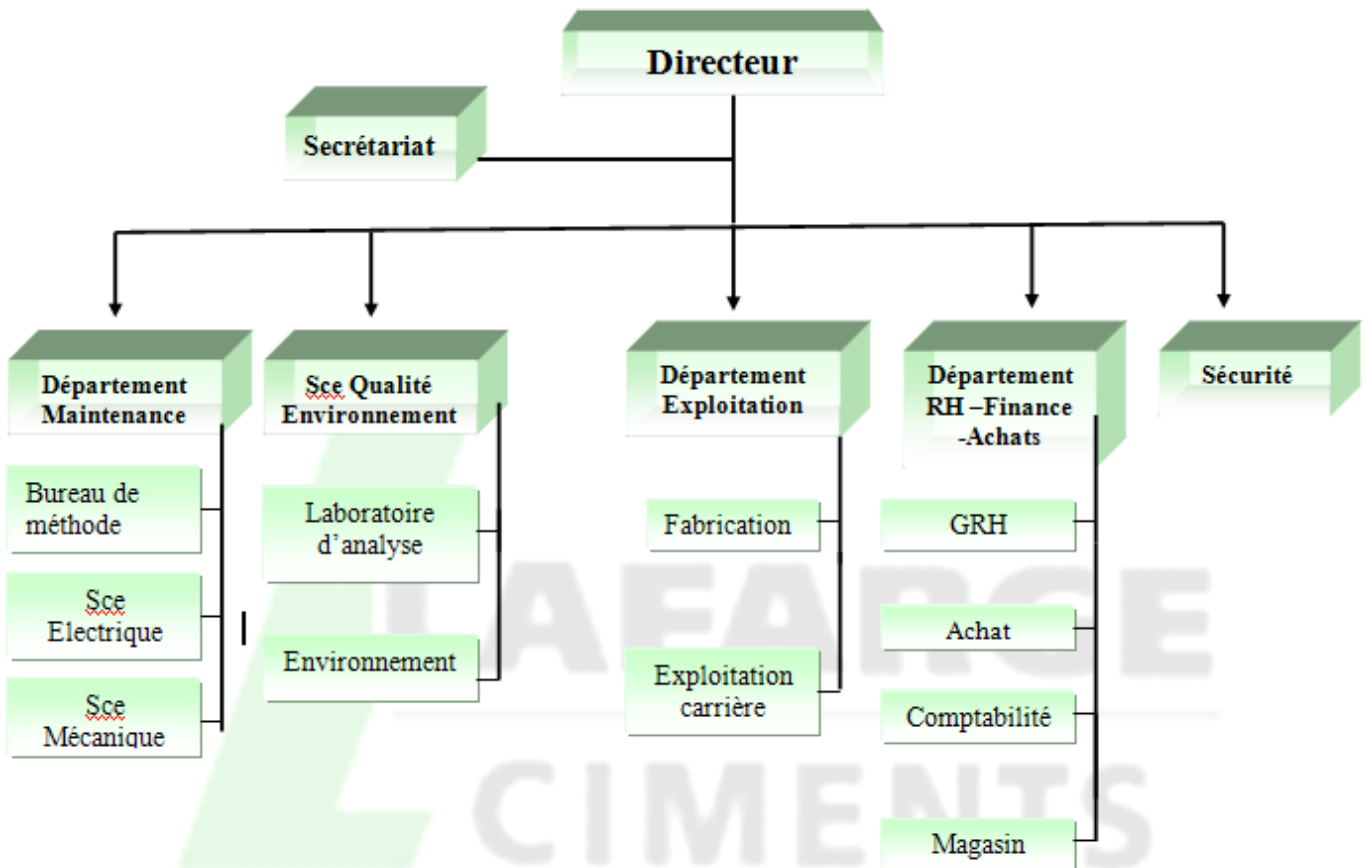
- 1971 : extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four de 650 t / j et augmentation de la capacité broyage ciment a 650.000 t.
- 1985 : conversion du procédé voie humide en voie sèche, tout en augmentant la capacité de production qui atteint 1500 tonnes par jour.
- 1989 : installation d'un broyeur a ciment BK4
- 1990 : la capacité de production passe de 1500 à 1800 tonnes par jour, grâce à des modifications au niveau du precalcinteur et du refroidisseur
- 1993 : nouvelle extension avec le démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité de 1 200 t/j clinker.
- Depuis 1997, la cadem est devenue LAFARGE Meknès et faisant partie du groupe Lafarge.
- Lancement d'une nouvelle organisation Usine/Secteur.
- Annonce du développement des compétences de fabrication.

### 2. Fiche signalétique :

<u>Raison sociale</u> :	LAFARGE Ciments Usine de Meknès	<u>Directeur</u> :	Mr CHEWAR
<u>Siege social</u> :	CASABLANCA	<u>Capital</u> :	476 430 500 DH
<u>Forme juridique</u> :	Société anonyme	<u>Gamme de produits</u> :	-CPJ45
<u>Date de création</u> :	1995		-CPJ45
<u>Adresse</u> :	Km 8 Route de Fès, BP 33 Meknès		-CPJ55
<u>Téléphone</u> :	035-52-26-44/45/46		
<u>CNS</u> :	1098343	<u>Certification</u> :	-ISO 9001
<u>Numéro Patente</u> :	17045015		-ISO 14001
<u>Registre de commerce</u> :	40779	<u>Effectif du personnel</u> :	340

### 3. Organigramme d'usine Meknès

Voici une vue général de l'organigramme de l'entreprise Lafarge-Meknès et ces différents service.



**Figure 3 : Organigramme d'usine LAFARGE MKS**

### 4. Produits de la société :

Pour répondre aux besoins spécifiques de ses clients, LAFARGE Maroc met à leur disposition une large gamme de ciments gris : CPJ 35, CPJ 45 et CPJ 55.

**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 comme le calcaire et le gypse.

Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la R28 du CPJ 35 doit être supérieure à 22.5MPa.

**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 comme le calcaire et le gypse.

Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 45 doit être supérieure à 32.5MPa.

Le **CPJ55** est un Ciment Portland avec Ajouts composé principalement de clinker et de calcaire, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 83%, sa résistance à 28 jours doit être supérieure à 48 MPA.

## 5. L'environnement à LAFARGE Meknès :

De nos jours, la protection et la mise en valeur de l'environnement représentent une composante incontournable du développement des entreprises.

Pour LAFARGE Maroc, la protection de l'environnement répond d'abord à une exigence éthique, elle part de la conviction qu'il n'est pas de croissance durable sans conciliation de la performance économique et du respect de l'environnement.

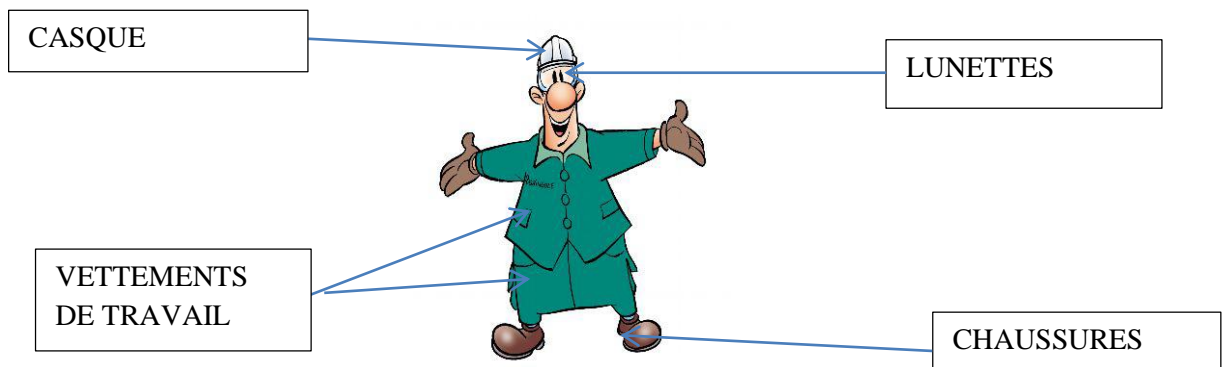
L'usine de Meknès s'est engagée en novembre 2000, dans la mise en place d'un Système de Management Intégrale (SMI) conforme au modèle de référence conçu par l'organisation internationale de standardisation (ISO 14001).

## 6. La sécurité à LAFARGE Meknès :

LAFARGE adopte actuellement une nouvelle stratégie pour assurer la sécurité, et protéger la santé des travailleurs.

Toute personne qui travaille pour LAFARGE est en droit de disposer d'un environnement de travail sain, en toute sécurité. En retour, chacun doit également démontrer, par un engagement actif et une responsabilité visible, que la santé et la sécurité sont des valeurs fondamentales. Lafarge a pris plusieurs mesures pour éviter tout danger probable, à savoir :

- La circulation à l'intérieur de l'usine.
- Le port des EPI.
- L'hygiène et conditions du travail.
- Les risques d'électrocution.
- Les risques liés aux machines tournantes et risques mécaniques.
- Les risques liés à la manipulation des produits chimiques.
- Les risques de chute en hauteur.
- La consignation = Un cadenas, une personne, une source d'énergie.



**Figure 4 : LES EPI**



### III. Processus de fabrication du ciment :

#### 1 Carrière :

L'usine dispose de deux carrières pour assurer son approvisionnement en matières premières. L'une est située à 5Km de l'usine et couvre une surface de 150ha, la seconde est à 1km de l'usine et couvre une superficie de 50ha.

Les carrières destinées à la production de la matière première du ciment fournissent deux éléments essentiels : le calcaire qui est très riche en carbonates de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et le schiste qui contient des teneurs importantes de silice ( $\text{SiO}_2$ ), d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et d'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ces matières premières sont extraites de la carrière par abattage.



**Figure 5 : Carrière d'extraction des matières**

#### 2 Concassage :

Les matières premières et les matières d'ajout sont concassées afin de réduire la dimension des blocs en fragments de faible dimensions en vue d'optimiser et de faciliter leur stockage et leur manutention.

Les matières premières, après concassage, sont transportées à l'usine par un tapis roulant où elles sont stockées et homogénéisées.



**Figure 6 : concasseur à marteaux**

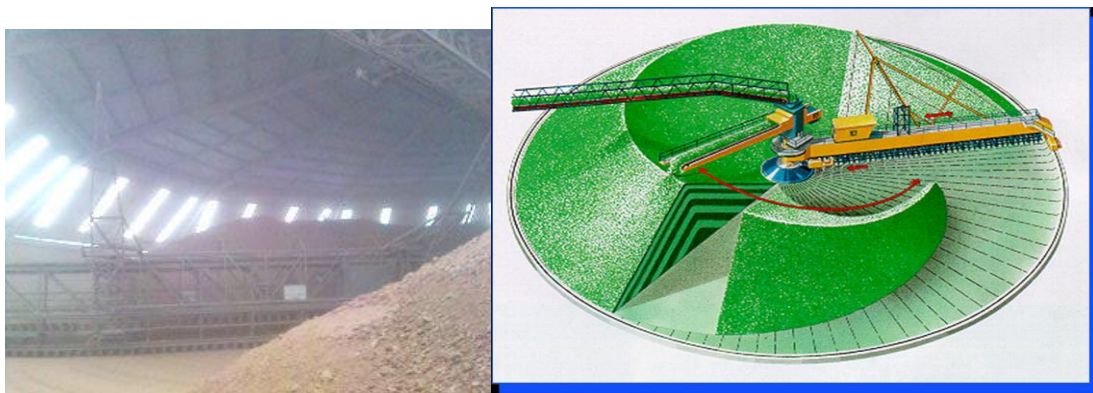


### 3. Pré homogénéisation

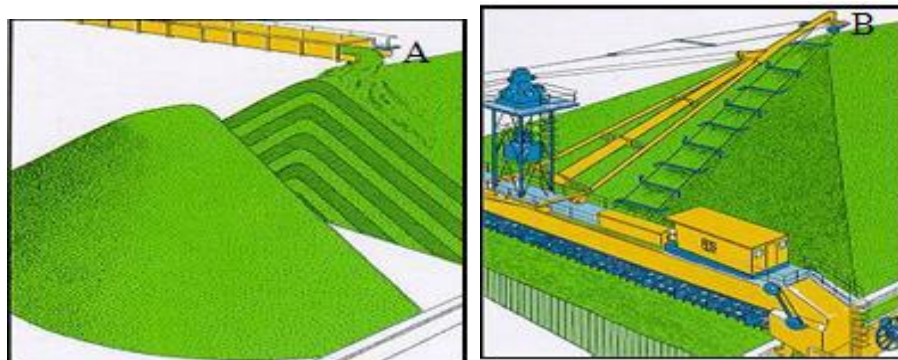
Cet atelier sert à stocker et à mélanger la matière issue de la carrière. La pré-homogénéisation est une constitution d'un stock intermédiaire entre le concassage et l'atelier du broyage. Comme son nom l'indique, on essaie d'homogénéiser le calcaire, la silice et l'alumine à l'avance avant son introduction au broyeur cru, afin d'obtenir un cru régulier.

Cette phase de pré-homogénéisation consiste à créer dans un hall un mélange en disposant la matière en couches horizontales superposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue-pelle.

Le produit arrivant du parc de pré-homogénéisation et du parc des ajouts est stocké dans des trémies. Suivant les pourcentages donnés par le laboratoire d'analyse, on procède au mélange du calcaire, de l'argile et autres ajouts.



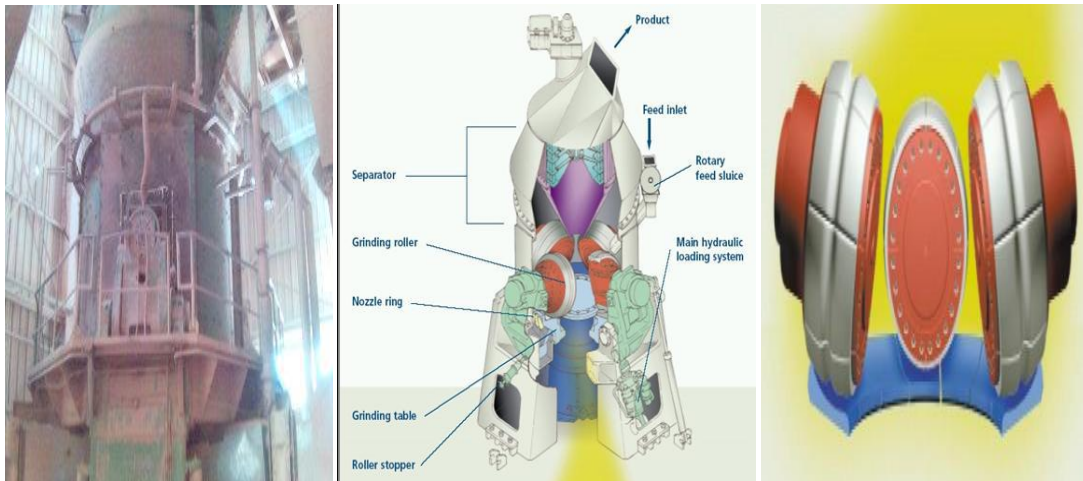
**Figure 7 : pré-homogénéisation de la matière crue**



**Figure 8 : présentation des tas (A) : tas en construction (B) : en Consommation**

### 4 Broyage cru :

Les matières premières doivent être finement broyées pour faciliter les réactions chimiques au cours de la cuisson dans le four, la qualité du produit issu de cette étape exige la maîtrise du broyeur sécheur. La fonction de séchage est nécessaire pour diminuer le taux d'humidité de la matière.



**Figure 9 : broyage cru**

### 5 L'homogénéisation :

Le cru provenant des broyeurs est ensuite acheminé par des aéroglesseurs pour être stocké dans les silos d'homogénéisation, qui assurent à fois le stockage et l'homogénéisation de la farine.

Le but est de réaliser un mélange final de la farine pour gommer les dernières dérives chimiques présentes.



**Figure 10 : Silo d'homogénéisation**

### 6 Cuisson :

L'opération de cuisson nécessite trois équipements essentiels :

- La tour de préchauffage (séchage+déshydratation+décarbonatation 20 à30%).
- Le four (décarbonatation 70 à 80 % +clinkérisation).
- Le refroidisseur (trempe refroidissement clinker).

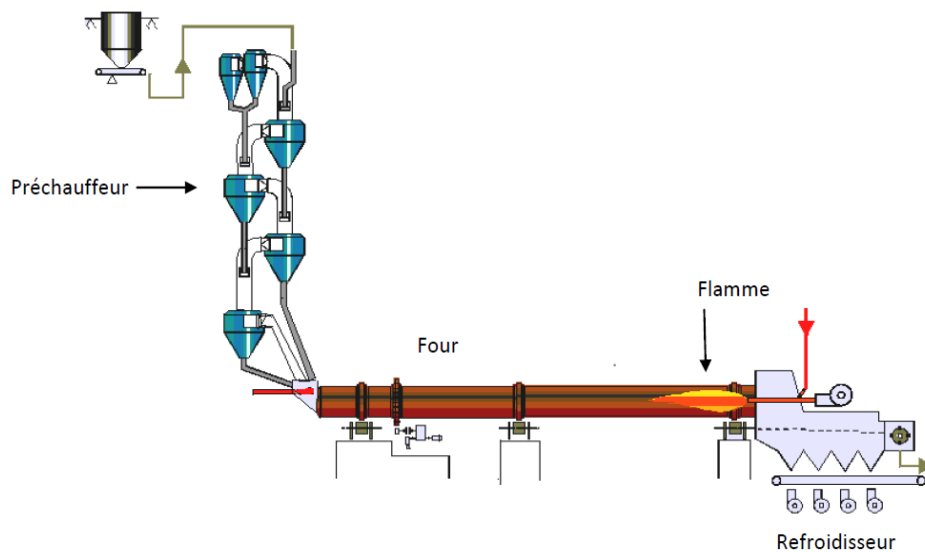
La farine crue constituée des éléments majeurs (Alumine, Fer, Silice, Chaux) est préchauffée puis elle passe au four où ses constituants seront combinés en quatre composants. La tuyère, haute impulsion, assure une flamme atteignant 2000°C qui portera la matière à 1500°C, avant qu'elle ne soit refroidie. Après cette opération, on obtient le clinker, matière de base nécessaire à la fabrication de tout ciment.

Nous présentons dans ce tableau la composition du clinker obtenue :

Nom du composant	Symbole	Quantité demandé
Aluminoferrite tétracalcique ou Féelite	C4AF ( $4CaOAl_2O_3FeO_3$ )	5 à 10%
Aluminate tricalcique ou Céelite	C3A ( $3CaOAl_2O_3$ )	5 à 15%
Silicate bicalcique ou Béelite	C2S ( $2CaOSiO_2$ )	15 à 25%
Silicate tricalcique ou Alite	C3S ( $3CaOSiO_2$ )	55 à 65%

**Tableau 1 : Composition du clinker**

**NB** : l'ordre des composants dans le tableau reflète la succession réelle de création des éléments dans le FOUR.



**Figure 11 : Ligne de Cuisson.**

### 6.1 La tour de préchauffage :

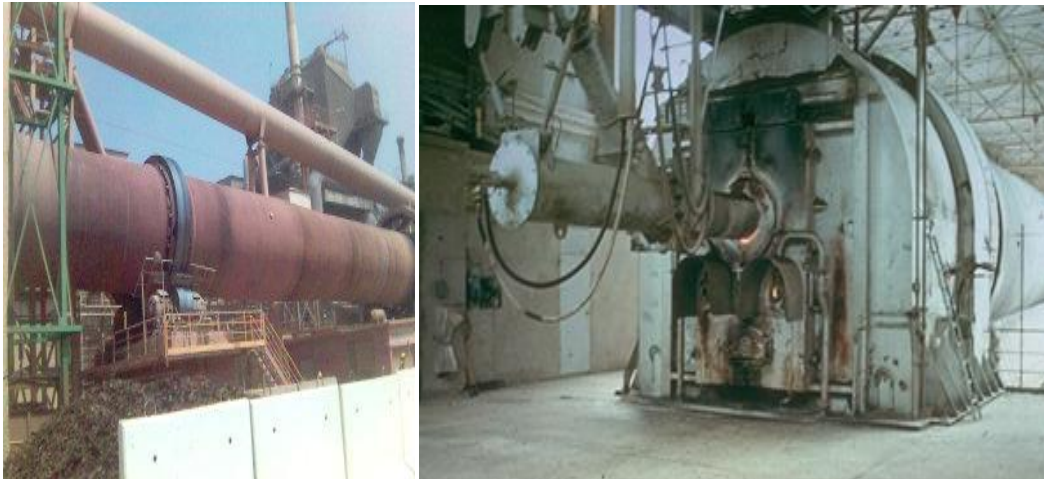
C'est un échangeur de chaleur à voie sèche constitué de quatre étages.

Elle permet d'effectuer un échange thermique à contre-courant entre les gaz chauds ( $850^{\circ}C$ ) sortant du four et la farine froide ( $50\ 60^{\circ}C$ ). Les gaz parcourent l'édifice de base en haut alors que la matière le parcourt en sens inverse

**NB** : la tour est liée avec le four via la boîte à fumée.

## 6.2 Le Four rotatif :

C'est une grande enceinte rotative dans laquelle on injecte le combustible sous pression pour produire une flamme. Il est constitué d'une virole en acier et protégé par un revêtement intérieur en matériaux réfractaires. Le four est un échangeur de chaleur à contre-courant dans lequel la flamme et les gaz récupérés du refroidisseur cèdent leur chaleur à la farine qui arrive en sens inverse.



**Figure 12: Four rotatif Lafarge- Usine Meknes**

**NB:** La jonction entre le four et le refroidisseur est assurée par le **capot de chauffe**. Voici un tableau qui montre les caractéristiques des deux fours de Lafarge Meknès :

	Longueur (m)	Diamètre (m)	Pente (°C)	Capacité (t/j)
Four 1	96	3,75	3	1800
Four 2	64	4	3	1200

**Tableau 2 : caractéristique de four**

## 6.3 Le Refroidisseur :

Situé à l'aval du four, le refroidisseur est à grilles horizontales. Le refroidissement du clinker est assuré par 5 ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres.

Le refroidisseur à un triple rôle :

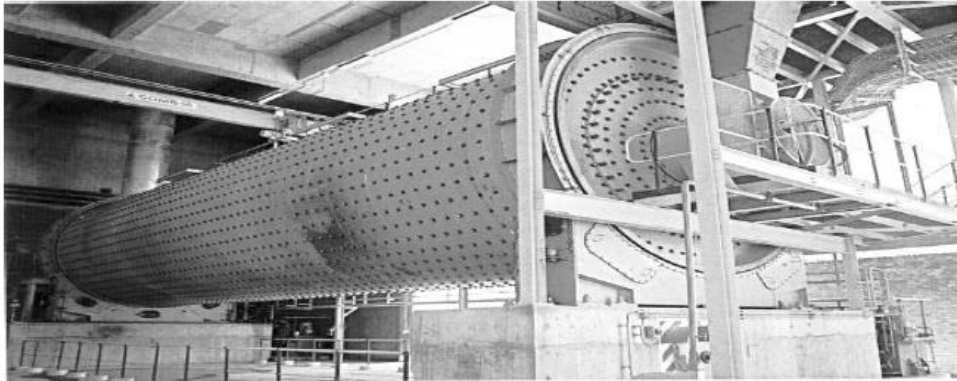
- Assurer la trempe de clinker par un refroidissement rapide.
- Refroidir le clinker qui sort du four.
- Récupérer le maximum de la chaleur contenue dans le clinker.

Le clinker sort avec une température dépassant 1450°C et tombe dans le refroidisseur pour subir une trempe rapide afin de figer les C3S du clinker et de les empêcher de se transformer en C2S. En effet le C2S formé influe sur la qualité et la composition du clinker.



## 7 Broyage cuit :

Après refroidissement, les granulats de clinker sont stockés, ensuite broyés avec addition de gypse et d'autres constituants secondaires. Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'Aluminate tri-calcique et aussi de conférer au ciment des propriétés correspondant à spécifiques différentes qualités des ciments cités auparavant (CPJ35, CPJ45, CPA55).



**Figure 13 : Broyeur cuit**

L'atelier de broyage de l'usine est équipé de 3 broyeurs à boulets nommés BK3, BK4 et BK5, dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

<i>Broyeur Ciment</i>	<i>Marque</i>	<b>Débit</b>	<i>Puissance</i>	<i>Diamètre Nominal</i>	<i>Longueur</i>
<b>BK3</b>	<i>PFEIFER</i>	<i>60 t/h</i>	<i>1600 KW</i>	<i>3400 mm</i>	<i>11250 mm</i>
<b>BK4</b>	<i>POLYSIUS</i>	<i>45 t/h</i>	<i>1600 KW</i>	<i>3200 mm</i>	<i>11060 mm</i>
<b>BK5</b>	<i>POLYSIUS</i>	<i>100 t/h</i>	<i>2700 KW</i>	<i>4200 mm</i>	<i>12000 mm</i>

**Tableau 3 : caractéristiques des broyeurs cuit**

C'est la variation des dosages de ces divers produits et la finesse du broyage qui permet de définir les différents types de ciment.

## 8 Ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est orienté vers les silos de stockage et de livraison. La livraison du ciment s'effectue soit en sacs, soit en vrac.

## CHAPITRE 2 :

# Description de l'atelier du Broyage ciment

## I. Description général

L'atelier de broyage BK4 dans lequel s'effectue la phase du broyage cuit se situe à la fin de la ligne de production du ciment, notre étude se focalisera sur cette étape de la chaîne de fabrication, le paragraphe qui suit décrit le procédé de fabrication au sein de cet atelier.

L'atelier de broyage de l'usine est équipé de 3 broyeurs à boulets nommés BK3, BK4 et BK5, dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

Broyeur Clinker	BK3	BK4	BK5
<b>Marque</b>	<b>PFEIFER</b>	<b>POLYSIUS</b>	<b>POLYSIUS</b>
<b>Longueur (m)</b>	<b>11.25</b>	<b>11.06</b>	<b>12.00</b>
<b>Diamètre nominal</b>	<b>3.4</b>	<b>3.2</b>	<b>4.2</b>
<b>Longueur utile C1</b>	<b>4,27</b>	<b>3 ,7</b>	<b>3 ,91</b>
<b>Diamètre utile C1</b>	<b>2 ,63</b>	<b>3,06</b>	<b>3,67</b>
<b>Longueur utile C2</b>	<b>8,92</b>	<b>7,09</b>	<b>6,88</b>
<b>Diamètre utile C2</b>	<b>2,72</b>	<b>3,10</b>	<b>3,67</b>

**Tableau 4 : caractéristiques BK3, BK4, BK5**

Dans l'atelier de broyage du ciment BK4, on trouve quatre fonctions principales : Transport, broyage, ventilation et séparation.

### ✚ La fonction de transport :

Les différents moyens qui assure le transport et la manutention des produits comme :

- les Elévateurs.
- les Trémies.
- les Doseurs.
- les Transporteurs.
- les Aéroglistisseurs.

### ✚ La fonction de broyage :

L'opération de broyage s'effectue dans un broyeur à boulet. Après avoir obtenu le clinker, ce dernier doit être finement broyé avec addition du gypse et d'autres ajouts pour donner un ciment aux propriétés hydrauliques actives.

Les broyeurs à boulets, dispositifs cylindriques chargés de boulets d'acier et mis en rotation, le broyeur à boulets est divisé en deux compartiments recouverts de plaques de blindage en acier, le premier étant moins long que le deuxième.

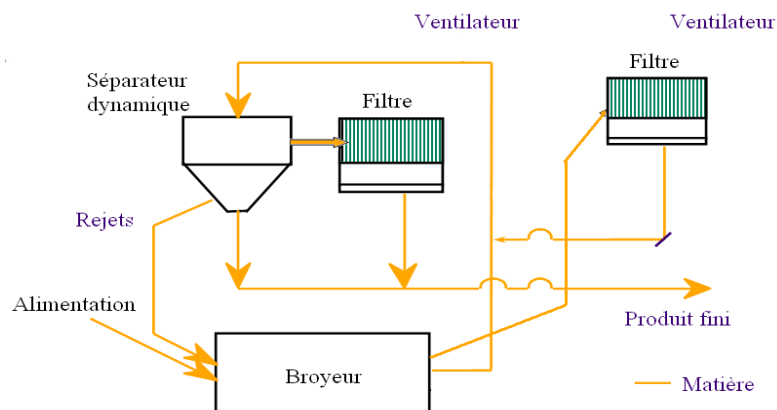
#### ✚ La fonction de ventilation :

La ventilation au niveau du broyeur ciment a des objectifs bien précis. En premier lieu, la ventilation est indispensable à l'enlèvement des particules suffisamment fines car elles encombrant et stagnent dans le broyeur et constituent ainsi un « matelas » limitant ainsi l'efficacité du broyage . Il en résultera une surconsommation de puissance , un risque de bourrage entraînant une diminution du débit et une production des sur fines. Elle a pour rôle aussi de refroidir le ciment car il ne faut jamais dépasser 110°C à la sortie du Broyeur.

#### ✚ La fonction de séparation :

Etape de sélection où les fines particules ayant la finesse requise sont envoyées au produit fini et Les grosses particules retournent au broyeur . Pour l'unité du broyage du ciment, on a deux types de séparateurs, séparateur statique et séparateur dynamique (3er génération).

## II. Description et fonctionnement des équipements de l'atelier de broyage BK4 :



**Figure 14 : Atelier broyage**

### 1. Broyeur à boulets a deux compartiments :

#### 1.1 Description du broyeur :

Les broyeurs à boulets sont très largement utilisés dans toutes les branches de l'industrie, pour le broyage fin de différents produits.

Le broyage est provoqué par des boulets qui se trouvent avec le produit dans un tambour rotatif.

Il est produit par le choc résultant de la chute des corps de broyage sur le produit broyé et par le frottement entre le produit et les corps de broyage.





**Figure 15 : Broyeur BK4**

Le tube broyeur à boulets est généralement divisé en deux compartiments, recouverts de plaques de blindage en acier.

Le premier étant moins long que le deuxième, assure le concassage et le broyage grâce à de gros boulet.

Le deuxième est équipé de boulets plus petits qui assurent la finition.

Ces deux compartiments (C1 et C2), sont séparés par une cloison intermédiaire qui ne laisse transiter que les grains de taille suffisamment réduite.

Le produit broyé sort du broyeur par la grille de décharge, qui empêche les boulets de sortir du deuxième compartiment.

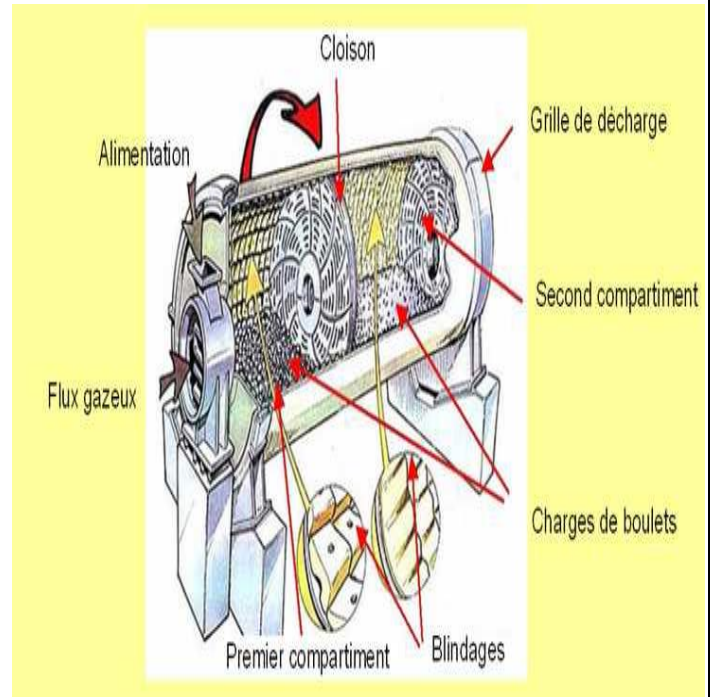
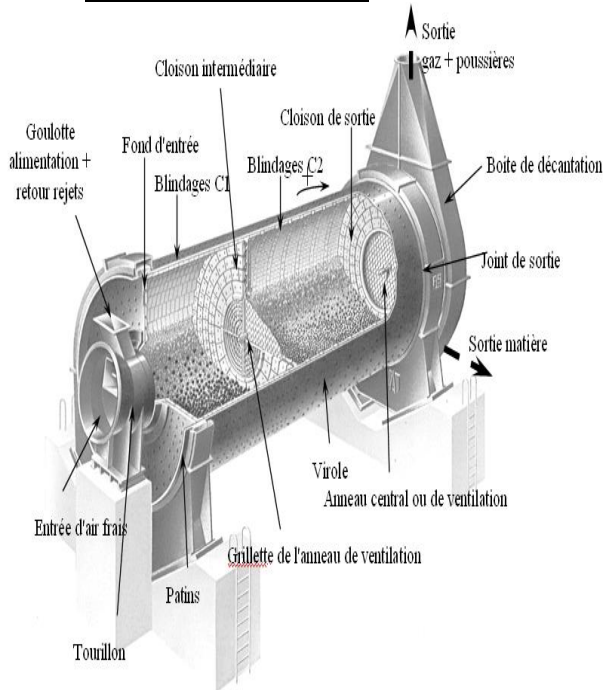
Le tableau suivant résume les données citées :

	Compartiment 1	Compartiment 2
<b>La charge du broyeur</b>	<b>28 à 30%</b>	<b>28 à 32%</b>
<b>Diamètre du broyeur</b>	<b>3,06 m</b>	<b>3,10 m</b>
<b>Blindage</b>	<b>Releveur</b>	<b>Classant</b>
<b>Diamètre de Boulets</b>	<b>Entre 90 et 60 mm</b>	<b>Entre 60 et 20 mm</b>

**Tableau 5 : caractéristiques des deux chambres du broyeur**

Les schémas suivants présentent une vue générale de l'intérieur du broyeur et décrivent ses éléments essentiels.

### Vue interne du broyeur



**Figure 16 : vue interne BK4**

## 1.2 Processus de marche :

**Fonction d'alimentation :** L'alimentation du broyeur se constitue des rejets recyclés du séparateur, ainsi d'une alimentation en fraîche composé de trois éléments (clinker, calcaire, gypse), dont le clinker est l'élément maître.

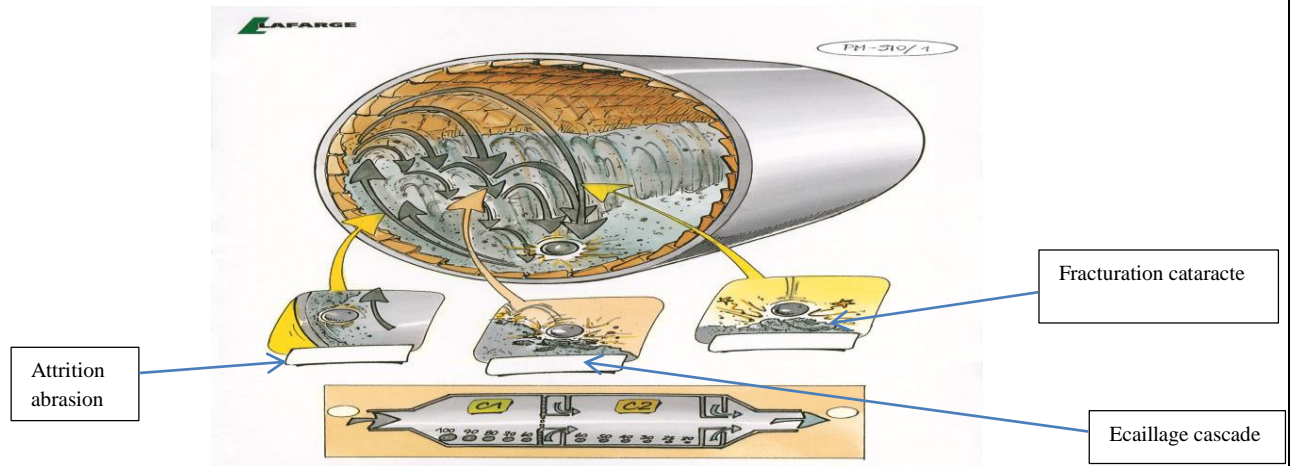
Les débits voulus en pourcentage de chaque constituant, sont délivrés par des doseurs (photo suivante) en agissant sur leurs vitesses selon la loi ( $Qv = V * M$  avec V en m/s, M en kg/m et Qv le débit voulue).

Ces doseurs à leur tour sont alimentés à l'aide des trémies et des ponts.



**Figure 17 : Doseur**

**Fonction de broyage :** Le broyage est une opération de fragmentation réalisée en deux compartiments qui se différencient par le type de blindage et la taille des boulets contenues.  
 Cette fragmentation est de 3 types :



**Figure 18 : fonction broyage**

Le premier compartiment est rempli de boulet, de diamètre compris entre 90 et 60mm et muni d'un blindage releveur (schéma et photo suivants), qui assure la partie concassage par le choc des boulets avec les grosses particules.



**Figure 19 : Blindages**

La matière concassée traverse la cloison intermédiaire, pour passer à la finition dans le deuxième compartiment.

Cette fonction est dû à la taille moins petite des boulets (diamètre compris entre 60 et 20mm), ainsi qu'au blindage classant qui assorti la taille des boulets à la matière, afin d'assurer un bon frottement entre elles.

## 2. Séparateur :

La présence d'un séparateur dynamique à air (cyclone) des particules fines va permettre d'obtenir moins de ciment subroyé. Par conséquent la consommation en puissance sera réduite.

Une bonne ventilation évite le phénomène de fausse prise et assure une bonne régularité du produit finis avec haute finesse.

Le séparateur dynamique le plus utilisé est dit de 3<sup>ème</sup> génération, La matière alimentée est amenée vers le séparateur par le haut. Par la goulotte d'alimentation, la matière est distribuée sur le plateau de distribution (en haut de la cage) et tombe ensuite dans l'espace entre la cage et ces ouïes d'admission des gaz en formant un rideau de matière.

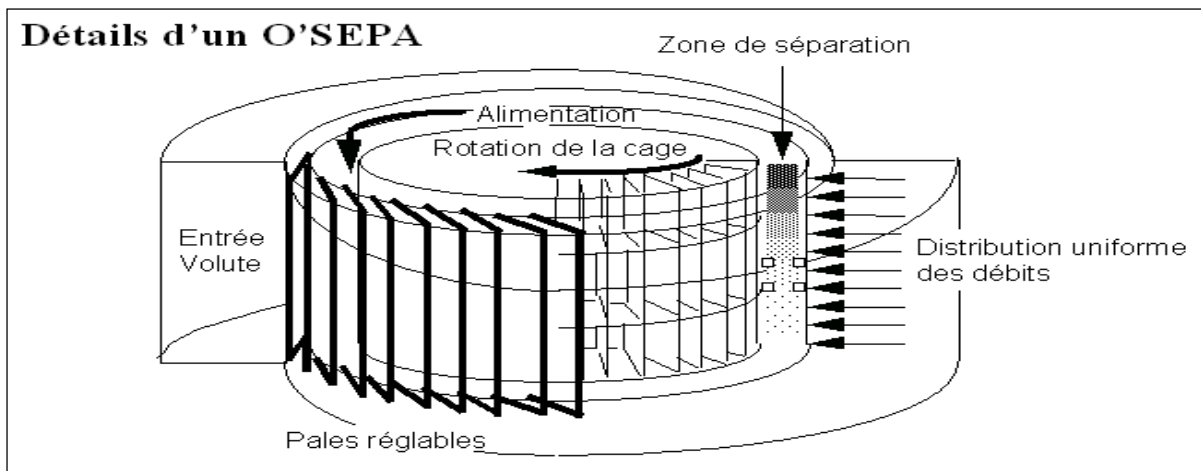
La volute de soufflage avec ses pales réglables permet un flux d'air constant tout autour de la cage qui va transporter les particules les plus fines au travers de la cage en rotation.

Les particules les plus grossières qui opposent une plus grande inertie tomberont dans une trajectoire en spirale dans le cône des rejets

Le produit fini ou la matière fine est alors séparée dans un filtre de dépoussiérage séparé.

Le débit d'air nécessaire à la séparation est généré par un ventilateur de recyclage.

Voici une vue interne du séparateur dynamique 3<sup>ème</sup> génération de l'atelier BK4 :



**Figure 20 : séparateur**

### 3. Ventilateur :

#### Dans le broyeur :

La ventilation du tube broyeur a pour but de :

- Transporter les fines dès leur création pour augmenter l'efficacité de broyage.
- Refroidir la matière pour la ramener aux cibles imposées.

Il est indispensable d'éliminer les particules suffisamment fines, car :

- Elles encombrer inutilement le broyeur.
- Elles réduisent l'efficacité du broyage.
- Elles risquent le sur broyage.
- Elles provoquent alors du coating (la matière entoure les boulets et diminue le fonctionnement des boulets par conséquent).
- Les particules très fines se réagglomèrent en grosses particules qui augmentent la charge circulante et réduisent l'efficacité de la séparation.

### Dans le séparateur :

Une ventilation est nécessaire pour le transport des fines et des grains séparés mais il ne faut pas dépasser un débit nominal pour ne pas influencer la finesse.

L'air de ventilation est dépoussiéré à l'aide des filtres à manche avant sont refoulement par les cheminées.

#### 4. Filtres à manches :

Ils ont pour fonction le dépoussiérage des gaz. Ils sont utilisés pour toutes les sources de poussières, et permettent de récupérer une quantité importante de la matière à partir des gaz empoussiérés évacués, Situes en amont des séparateurs statique et dynamique. Ces filtres, dits respectivement filtre broyeur et filtre séparateur, ont une capacité de 6500m<sup>2</sup>.

Ils sont repartis en deux compartiments comportant chacun des manches. Les gaz sont soit acheminés vers l'environnement extérieur, soit recyclés vers l'entrée du séparateur dynamique dans le cas du filtre séparateur. Quant aux poussières, elles peuvent être renvoyées soit au produit fini soit au pied de la boîte de sortie du broyeur.

#### 5. Les doseurs :

Les doseurs sont des équipements d'alimentation pondéraux de la matière. Celle-ci est transportée sur une bande dont la vitesse est ajustée automatiquement pour obtenir un débit de matière correspondant à la valeur consigne de la salle de commande.

#### 6. L'élévateur :

L'élévateur est un équipement qui assure le transport de la matière d'un étage (sortie broyeur) vers l'autre (aéroglossière).

#### 7. Grille de ventilation :

Cette grille assure le passage des gaz et éviter le passage des boulets entre les chambres.

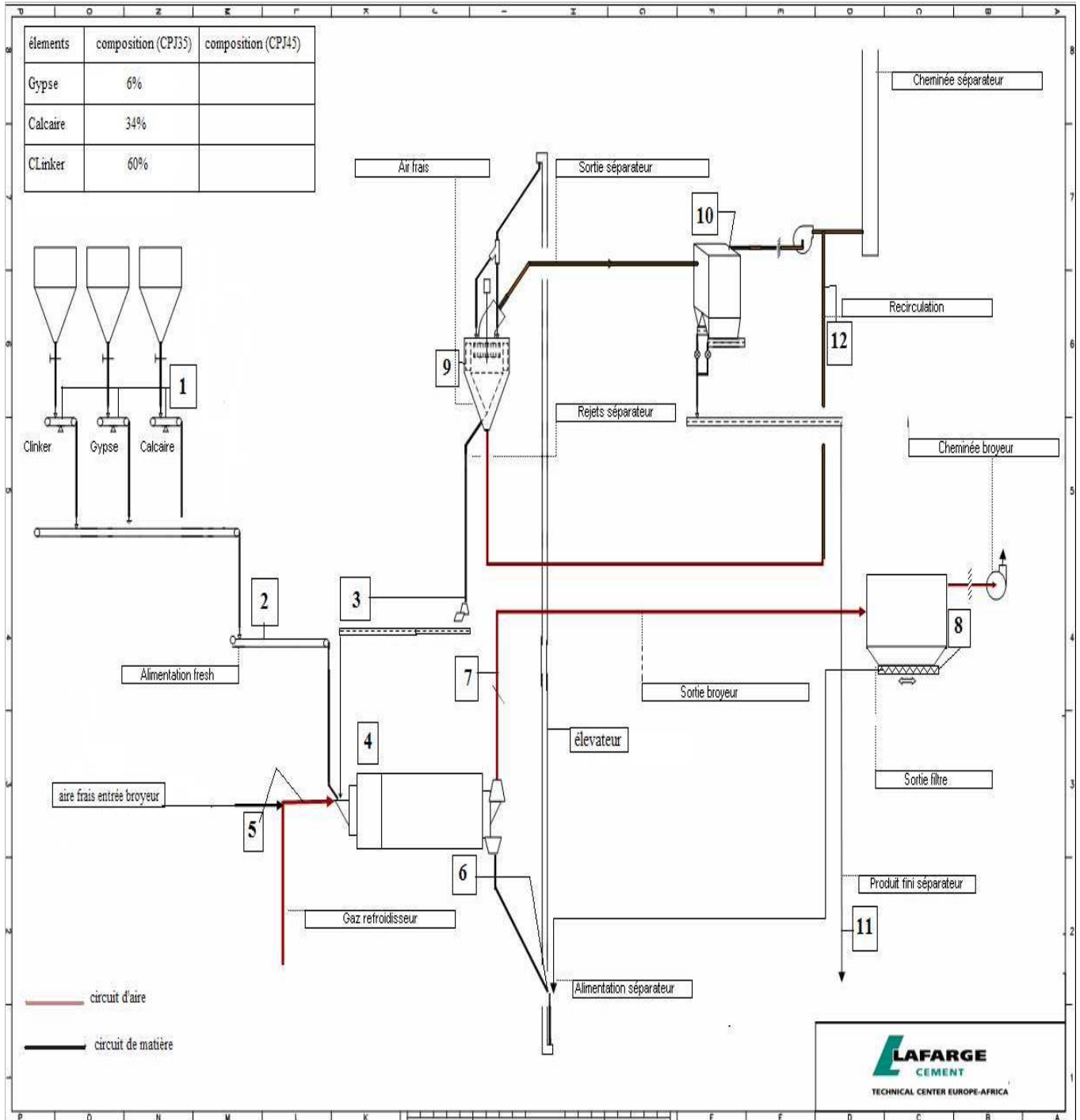
#### 8. Blindages :

Cette opération se fait au niveau du broyeur, cette phase le relevage des boulets et ainsi le concassage dans le broyeur, le 1<sup>er</sup> compartiment du broyeur dispose des boulets de concassage ainsi le 2<sup>ème</sup> compartiment de blindages classant.



### III. Présentation du circuit broyeur :

#### 1 Schéma du circuit :



**Figure 21 : circuit broyeur**

## 2. Description du schéma :

- 1- Doseur du clinker et des ajouts (Calcaire, et Gypse) permet de donner la quantité nécessaire de chaque élément selon les critères qualité exigée.
- 2- Le mélange des 3 doseurs constitue l'alimentation en fraîche du broyeur.
- 3- Les rejets recyclés du séparateur représentent une charge qui limite l'augmentation du débit en fraîche.
- 4- Broyeur à boulet.
- 5- Le mélange d'air chaud provenant du refroidisseur, qui sert à diminuer l'humidité de l'alimentation, et du gaz frais, qui aide à contrôler la température du produit à ne pas dépasser.
- 6- Alimentation de l'élévateur qui assure l'alimentation du séparateur par la matière provenant de la sortie du broyeur et la sortie du filtre broyeur.
- 7- Tirage d'air qui assure l'élimination des particules suffisamment broyées.
- 8- Fines récupérées du filtre à manche pour être renvoyer à l'alimentation du séparateur.
- 9- Séparatrices dynamiques 3èmes générations.
- 10- Filtre séparateur permettant de retenir les particules fines du séparateur envoyées directement au produit fini.
- 11- Produit fini y compris les fines séparatrices et les fines provenant du filtre séparateur.
- 12- L'air recyclé du refoulement du filtre séparateur vers l'alimentation en air frais du séparateur.

## CHAPITRE 3 :

# Optimisation de la consommation électrique de l'atelier du broyage



## I. Description général du problème :

Le procédé de fabrication du ciment à LAFARGE Maroc, plus précisément de Meknès est assuré par des équipements de haute technologie (broyeur, séparateur, four, refroidisseur, filtres à manches, équipements laboratoire,...).

Afin d'être compétitive dans le monde, LAFARGE procédera de plus en plus à l'optimisation de ces différents ateliers.

Notre présent travail vise à l'amélioration et à la modernisation d'atelier de broyage ciment au moyen d'une analyse de tous les équipements de l'atelier. Cette analyse va nous permettre de diagnostiquer le dysfonctionnement de l'atelier et par suite remédier à ces anomalies afin d'améliorer le rendement de l'atelier de broyage ciment BK4. En plus du bon rendement, une réduction électrique de l'ensemble des composantes de l'atelier BK4.

Afin de réaliser ce projet, nous avons eu besoin de collecter les informations nécessaires à partir de la documentation, de prendre des mesures, d'analyser des prélèvements, d'interpréter les résultats et discuter avec toute l'équipe en place.

Le traitement de la problématique va se baser sur l'achèvement d'une méthodologie d'analyse basée sur:

- Bilan énergétique des composants les plus consommateurs de l'atelier BK4.
- Bilan aéraulique nous donne la possibilité de traiter les airs faux dans l'atelier BK4.
- Bilan de séparation pour avoir une idée sur l'efficacité du fonctionnement du séparateur de l'atelier BK4.
- Bilan matière va nous permettre de savoir l'état de la matière dans le broyeur BK4 ainsi une idée sur l'état du broyeur.
- Etude sur les arrêts les plus fréquents de l'atelier de broyage BK4.

## II. Bilan énergétique :

### 1. bilan électrique :

#### 1.1 Objectifs :

Le bilan électrique est un indicateur global de la marche de l'installation, Il s'exprime en KWh/t du produit fini.

On peut toutefois quantifier l'énergie nécessaire à chaque appareil et l'énergie totale nécessaire à la production d'une tonne de produit.

Pour cela, un bilan électrique est réalisé à partir de la sommation de la consommation de chaque appareil de l'atelier pour **un tonne** de ciment.

Ainsi ce bilan permettra de calculer le gain en KWh après passage direct de la matière récupérée du filtre broyeur, au produit fini.

Les calculs de ce bilan sont présentés dans **l'annexe 0**.

Le tableau suivant présente la consommation énergétique de chaque appareil pendant la période d'établissement des bilans:

Consommation du broyeur en KWh/t	Consommation de l'élévateur en KWh/t	Consommation du séparateur en KWh/t	Consommation du ventilateur de tirage filtre broyeur en KWh/t	Consommation du ventilateur de tirage du filtre séparateur en KWh/t
<b>29,5757</b>	0,5	0,616	2,59	5,2

Consommation électrique totale de l'atelier en KWh/t de **38.4817 kWh/t** ciment :

**Tableau 7 : consommation de l'atelier BK4**

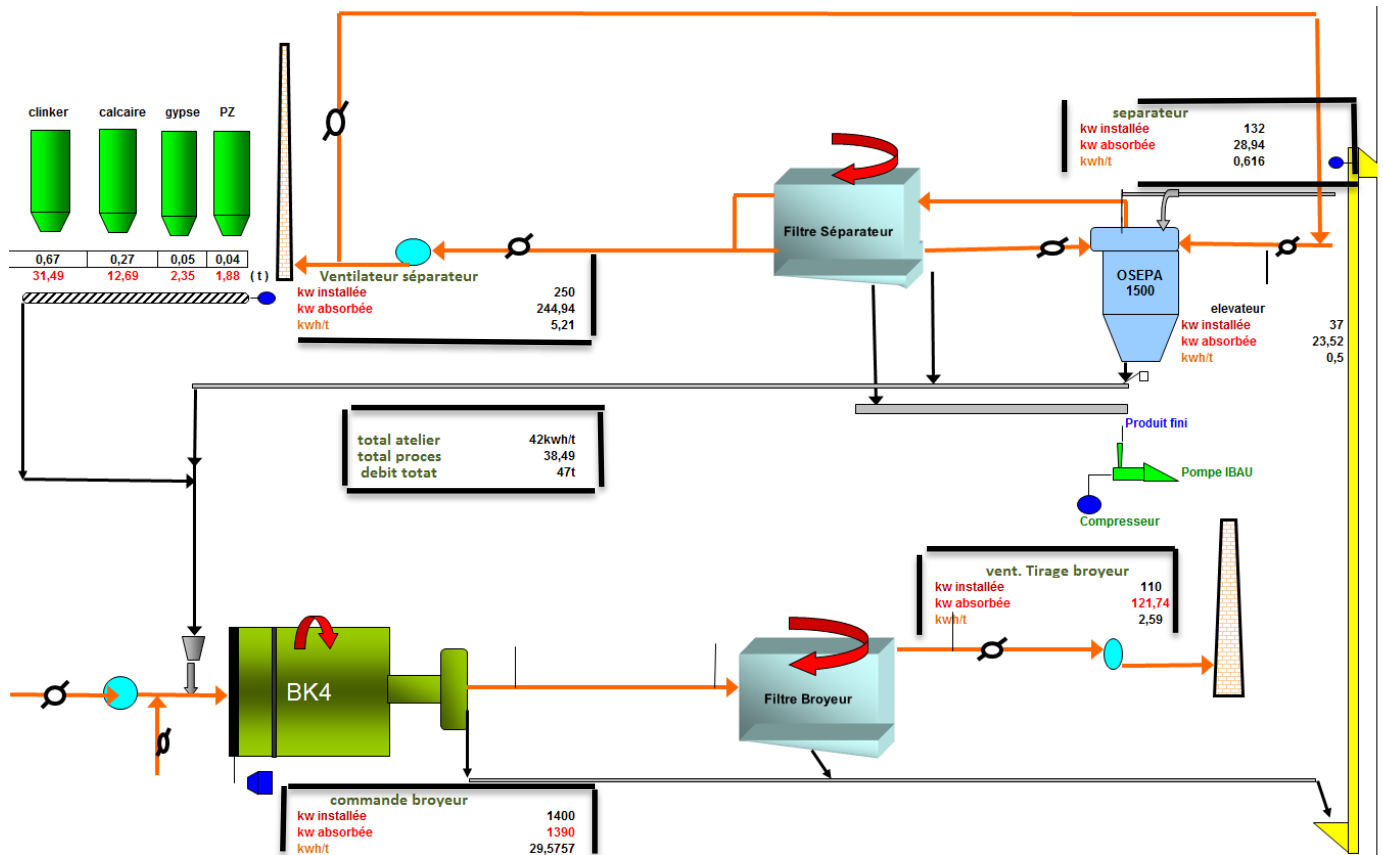
#### 1.2 Interprétation des résultats :

D'après ce bilan électrique on constate que le broyeur consomme 29.5757 KWh/t ce qui veut dire en pourcentage 77% de la consommation électrique de l'atelier BK4. C'est l'équipement le plus consommateur.

Le ventilateur tirage séparateur consomme 5.2 KWh/t soit 13.57% de l'ensemble de la consommation de l'atelier BK4, suivie par le ventilateur tirage broyeur qui consomme à son tour 2.59KWh/t soit 6.73% de consommation de l'atelier BK4.

Cependant les 2 équipements qui restent ne consomment que 2.73 % de l'ensemble de la consommation de l'atelier BK4.

Alors ce bilan nous a permis d'avoir une vision globale sur la consommation électrique de chaque équipement de l'atelier BK4, chose qui nous sera utile dans le traitement de chacun des équipements de l'atelier BK4 dans les bilans qui suivent.



**Figure 22 : Bilan électrique 20/04/2015**

## 2. Tests de broyabilité au broyeur BB10 :

### 2.1 Objectifs :

Le broyeur BB10 est un broyeur de laboratoire étalonné qui donne l'énergie "process" théoriquement nécessaire pour broyer un matériau à une finesse voulue, il est réalisé sur le produit fini reconstitué (constituants prélevés sur les bandes d'alimentation).

On trace une courbe, avec en ordonnée les KWh/t, en abscisse les finesse correspondantes. Pour un ciment la finesse est exprimée en SSB.

A la finesse du produit fini correspond les KWh/t de l'atelier.

Si le broyeur fonctionne dans de bonnes conditions, on doit retrouver la même finesse sensiblement les mêmes KWh/t BB10.



**Figure 23 : Broyeur BB10**

## 2.2 Etude pratique

L'essai BB10 a été effectué sur du ciment reconstitué CPJ 45 (c'est-à-dire constitué de : 82,8 % en clinker, 12,4% en calcaire et 4,8% en gypse).

Ainsi à partir du graphe BB10, l'énergie de broyage nécessaire est de 57 kWh/t à une finesse de 3500 cm<sup>2</sup>/g.

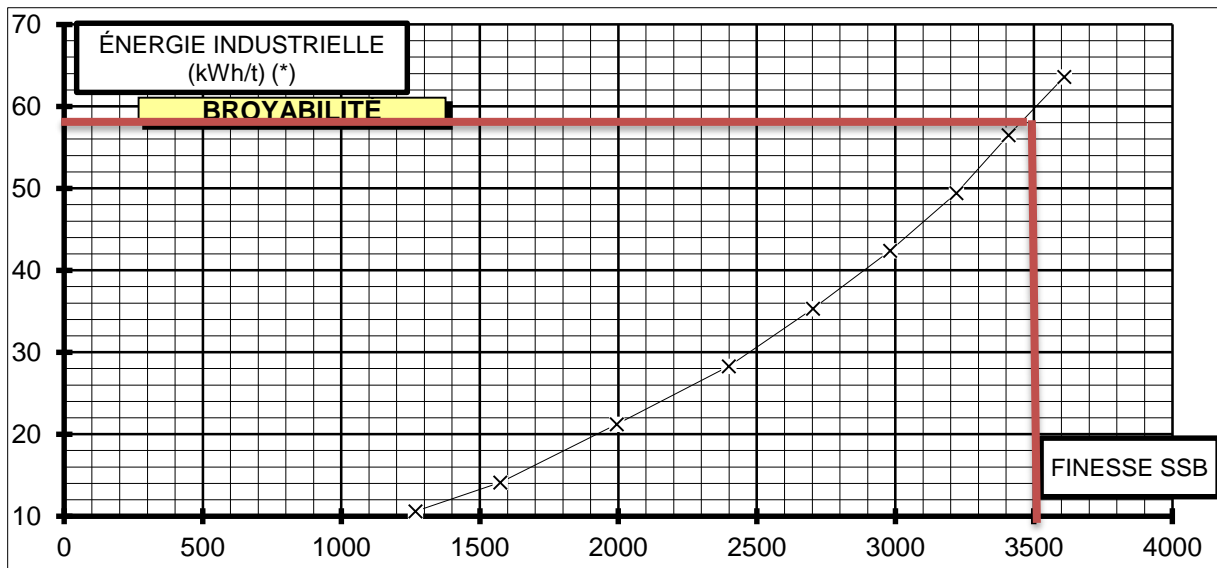


Figure 24 : Test BB10

## 2.3 Interprétation et solution proposées

On constate d'après ce test BB10 qu'on a un clinker difficile à broyer. En effet pour une finesse de 3500 cm<sup>2</sup>/g, on a besoin en moyenne de 47 KWh/t, cette mauvaise qualité du clinker est due à certains facteurs :

- Composition chimique de clinker est un facteur important, car un taux faible de C3S favorise le pourcentage de C2S dans le clinker ce qui donne une mauvaise aptitude au broyage ciment et une aptitude moindre à l'obtention de résistance mécanique. Par conséquent une nécessité de broyage plus fin et des dépenses d'énergie plus grande.
- Mauvais cuisson et refroidissement long. Il faut que le refroidissement soit rapide avec une zone de cuisson courte, chose qui donnent des petits cristaux favorable à la broyabilité.

## III. bilan aéraulique :

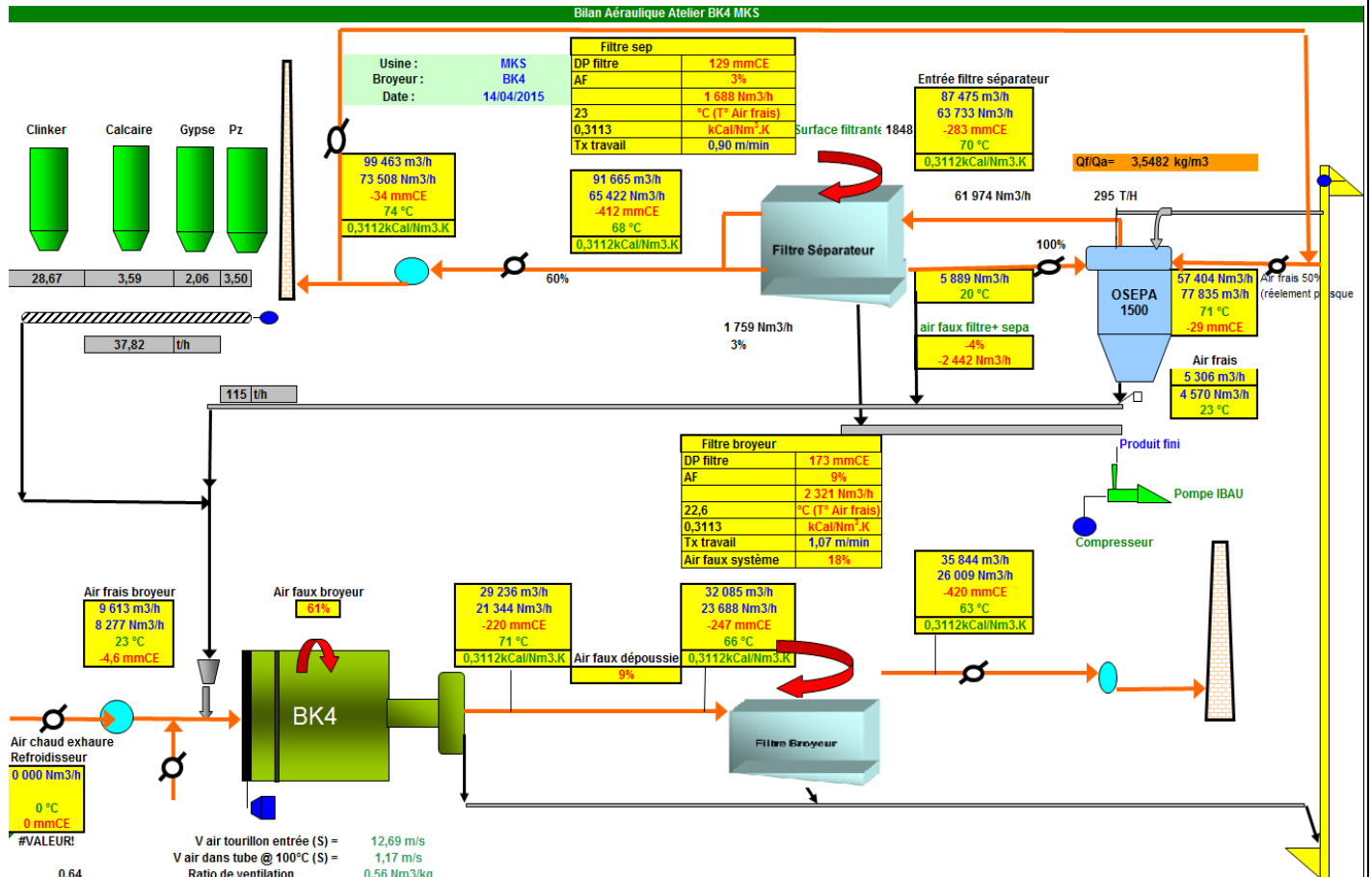
### 1. Objectifs

Les mesures aérauliques permettent de dresser un bilan d'entrée et de sortie des flux d'air à différents points.

De ce bilan, on déduit la quantité d'air frais inutile ajoutée dans le système via des ouvertures qu'il faut boucher. Cette quantité qui s'appelle « l'air faux », a un impact négatif dans le processus

Le bilan aéraulique a été établi pour un débit de 37.82 t/h en matière sèche et une ouverture du registre du ventilateur de tirage à 60%.

L'air utilisé pour la ventilation du broyeur et le séchage de la matière provient de l'exhaure du refroidisseur four 2.



**Figure 25 : Bilan aéraulique**

Du schéma, on peut tirer les mesures des débits suivants :

	Débit d'entrée (Nm <sup>3</sup> /H)	Débit de sortie (Nm <sup>3</sup> /H)	Air faux (%)
<b>Broyeur</b>	8 277	21 344	61
<b>Filtre broyeur</b>	21 344	23 688	9
<b>Séparateur</b>	5 7404	5 889	4

**Tableau 8 : débit d'air**

## 2. Interprétations des résultats et solution proposées :

L'air faux déterminé aux bornes du broyeur est de **13.067 Nm<sup>3</sup>/h**. Il représente **61%** d'air faux, ce qui indique qu'une partie de l'air arrive avec la matière, Il faut revoir l'étanchéité du clapet d'alimentation du BK afin de privilégier l'air provenant du refroidisseur.

Ainsi qu'une grande partie de cet air provient de :

- La goulotte d'alimentation du broyeur (impossible à mesurer), et participe donc à la ventilation du tube.
- Néanmoins, il est nécessaire de contrôler l'étanchéité du joint entre la boîte de sortie et la virole du broyeur.

En plus des deux sources d'air faux citées en dessus, on trouve d'autres, situées au niveau de l'aérogliissière qui fait la jonction entre la décharge du broyeur et le pied de l'élévateur.

De ce fait, le ventilateur de tirage dépoussière le pied de l'élévateur au lieu d'aspirer l'air du broyeur.

Il est donc nécessaire de résoudre ce problème en s'assurant :

- L'étanchéité du tourillon.
- Installation d'un clapet (comme cela a été fait à bous Koura) dans l'aérogliissière (photo ci-dessous) qui assurera 2 fonction :
  - Permettre le passage de la matière du broyeur vers l'élévateur.
  - Entraver le passage de l'air de l'élévateur vers la gaine sortie broyeur.



**Figure 26 : dépoussiérage aérogliissière**

Les prises d'air faux filtre broyeur : initiées par la présence de quelques fissures sur la gaine d'air entrée filtre dépoussiérage broyeur, la manques d'étanchéité des portes visite et surtout la présence d'un piquage qui a été réalisé en amont pour dépoussiérer l'élévateur, l'aérogliisseur des rejets du séparateur et le piège à mitraille (situé sur l'aérogliisseur à l'entrée du séparateur). Cet air faux ne favorise pas la ventilation du tube.



**Figure 27 : dépoussiérage aérogliissière des rejets**



**Figure 28 : dépoussiérage d'élévateur**



Il est donc nécessaire de séparer l'aéraulique procédé de celle de dépoussiérage de l'installation en installant un nouveau ventilateur qui assurera le dépoussiérage de l'aéroglossière de sortie broyeur, l'aéroglossière des rejets et de ventilateur.

Pour installer cette ventilation on a besoin d'installer plusieurs équipements à savoir : moteur ventilateur, ventilateur, câble. Une étude faite dans l'installation du bk5 nous a permis d'estimer que cette installation va coûter 5000 DHs.

#### Étude du gain de cette ventilation :

On sait que :

$$\begin{aligned} Q &= K \cdot N & , & & W &= K \cdot N^3 \\ Q' &= K \cdot N' & \text{Et} & & W' &= K \cdot N'^3 \end{aligned}$$

Avec **K** : constante.

**N** : vitesse de ventilateur.

**Q'** : débit sans dépoussiérage.

**W'** : puissance équivalente.

D'où :

$$\left(\frac{Q'}{Q}\right) = \left(\frac{N'}{N}\right) \quad \text{Et} \quad \left(\frac{W'}{W}\right) = \left(\frac{N'}{N}\right)^3$$

$$\text{Donc :} \quad \left(\frac{W'}{W}\right) = \left(\frac{Q'}{Q}\right)^3 \quad \text{Et par suite} \quad W' = W \cdot \left(\frac{Q'}{Q}\right)^3 \quad (1)$$

D'après le bilan aéraulique on a  $Q=23688 \text{ Nm}^3/\text{h}$  (débit entrée filtre broyeur) et 9% d'air faux dépoussiérage donc on peut déduire le débit sans dépoussiérage  $Q'=Q-Q \cdot 9\%=21556.08 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .

D'après la relation (1) on peut tirer la puissance équivalente  $W' = 91.739 \text{ KW}$ .

D'après le bilan électrique la puissance de ventilateur tirage du broyeur est  $W = 121.73 \text{ KW}$  donc on aura comme gain  $Wg = W - W' = 121.73 - 91.739 = 29.991 \text{ KW}$  ce qui veut dire en pourcentage on va gagner 24%.

$$G = 1 - \left(\frac{W'}{W}\right) = 1 - \left(\frac{91.86}{121.74}\right) = 0.24 = 24\%$$

Après ces calculs, on peut installer un ventilateur qui aspire un débit de  $2000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  en consommant seulement  $Wc = 11 \text{ KW}$  ce qui veut dire qu'on va gagner  $Wg - Wc = 18.991 \text{ KW}$ .

Les prises d'air au niveau filtre séparateur sont normaux (4%) : L'état du filtre est bon.

## IV. Bilan séparation :

### 1. Objectifs :

Le bilan de séparation s'effectue au niveau du séparateur et permet d'en déduire ses coordonnées de fonctionnement tant du point de vue des grandeurs caractéristiques que des divers débits massiques.

Il s'établit à partir de prélèvements de matière effectués aux bornes des entrées et sorties du séparateur.

## 2. Méthodes d'analyse – courbe de partage :

Après analyse de la granulométrie des flux entrant et sortant du séparateur on trace une courbe de partage (abscisse en coordonnées logarithmiques, ordonnée en coordonnées gaussiennes).

A partir de cette courbe on détermine :

- Charge circulante
- La limite d'acuité.
- Le soutirage.
- L'imperfection.
- Le rendement cumulé en fins qui permettent de quantifier l'efficacité de la séparation.

On calculera, en connaissant au moins un débit, les débits entrant et sortant du séparateur (à partir du calcul des rejets sur alimentation **R/A** moyen) ainsi que la charge circulante de l'atelier de broyage BK4 (**Voir annexe2**).

A partir de la courbe de partage que l'on va déterminer les paramètres de fonctionnement du séparateur.

✚ **Charge circulante Lafarge :** Le débit des rejets recyclés au broyeur exprimé en % par rapport au débit produit fini.

$$CC \text{ Lafarge} = R/F$$

Avec **R** : les rejets du séparateur.

**F** : les particules fines.

✚ **Limite d'acuité :** C'est la taille maximale d'une particule que le séparateur reconnaît. Elle s'exprime en  $\mu\text{m}$  et est l'abscisse du point d'inflexion des 2  $\frac{1}{2}$  droites, plus la limite d'acuité est faible, meilleure est la coupure.

✚ **Soutirage :** Probabilité minimale de trouver une particule aille dans les rejets. Il s'exprime en pourcentage et il est l'ordonnée du point d'inflexion des 2  $\frac{1}{2}$  droites, le soutirage doit être le plus faible possible.

✚ **Imperfection :** Pente de la  $\frac{1}{2}$  droite d'acuité définie par la formule :

$$I = (d75 - d25) / (2 * d50)$$

$d25$ ,  $d50$ ,  $d75$  en ( $\mu\text{m}$ ) étant les abscisses des points correspondantes de coordonnées  $P_x$  a 25,50 et 75 %.

Plus l'imperfection est faible (donc la pente grande) meilleure est la séparation.

✚ **Rendement cumulé en fins :** Par maille c'est le ratio :

$$\left( 1 - \frac{R}{A} \text{moyen} \right) * \left( \frac{F_x}{A_x} \right)$$



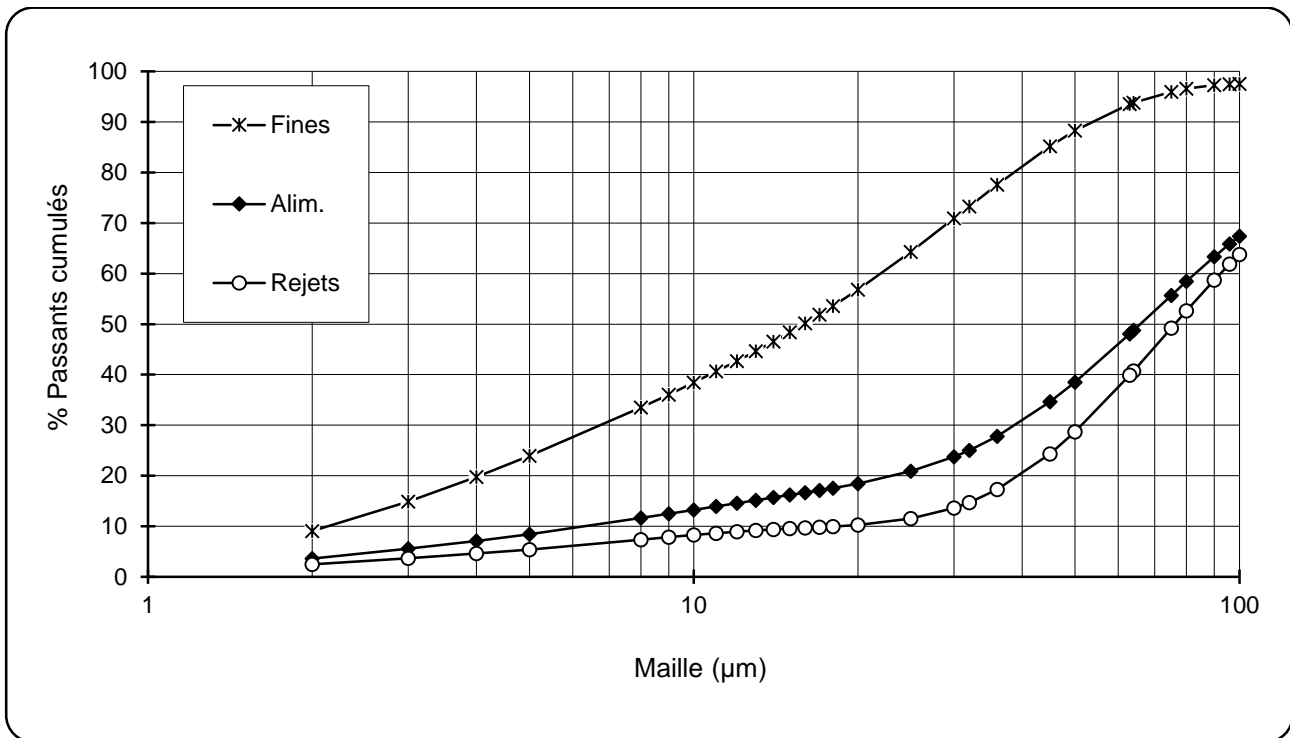
On obtient ainsi une courbe du pourcentage cumulé des particules de l'alimentation qui vont aux fines, son maximum est appelé rendement cumulé en fins, ce rendement permet de mieux appréhender l'efficacité du séparateur.

Voici un tableau qui présente les caractéristiques d'un bon fonctionnement du séparateur :

	Charge circulante	Limite d'acuité	Soutirage	Imperfection
Valeur moyenne	100 à 250%	<15 $\mu\text{m}$	5 à 10 %	<0.30 à 0.35

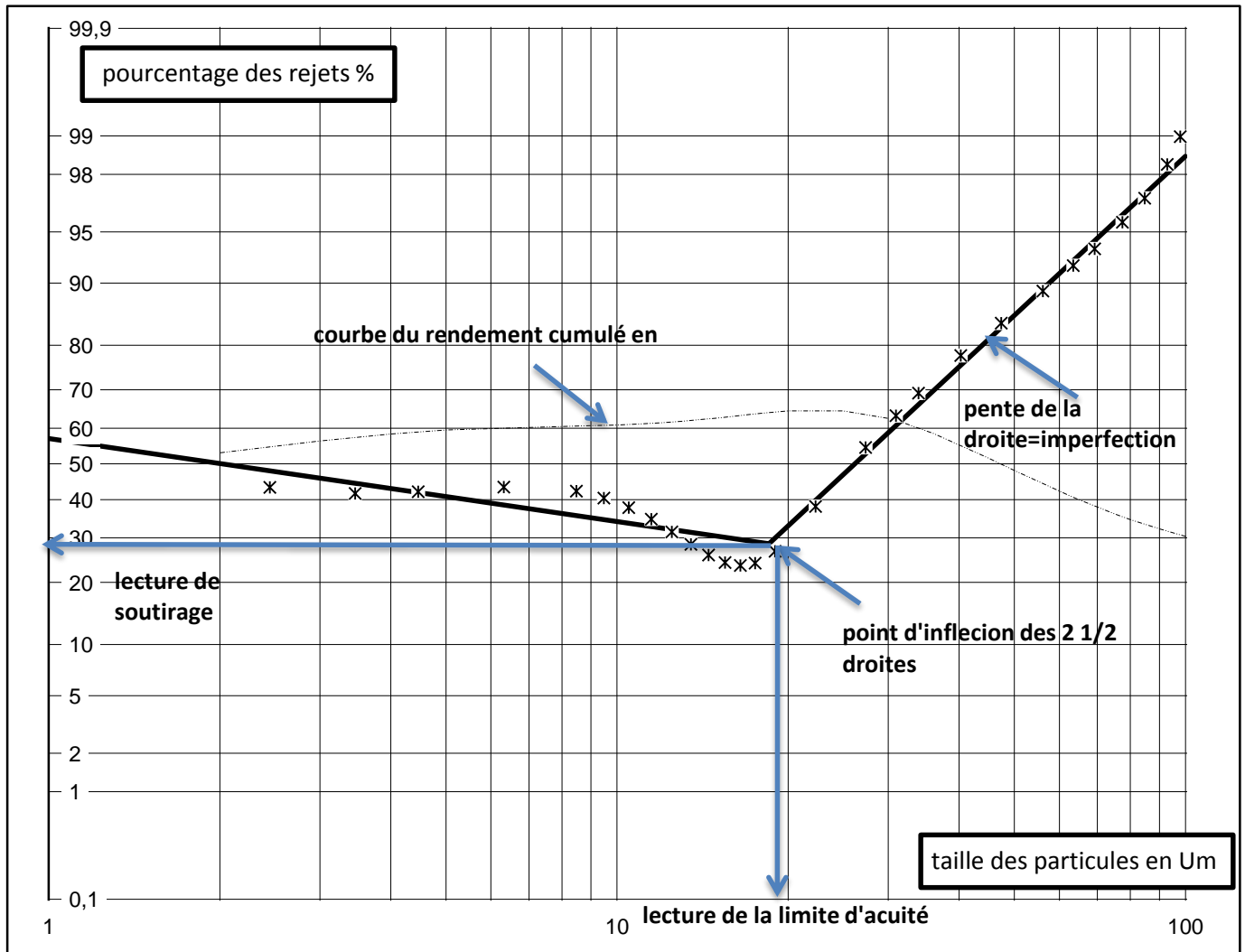
**Tableau 9 : valeurs moyenne des caractéristiques du séparateur**

### 3. Etude pratique :



**Figure 29 : Répartition granulométrique matière**

Les calculs faits sont présentés dans (Annexe 2).



**Figure 30 : Courbe de partage**

D'après la courbe on trouve :

**Charge circulante : 377% (100 à 250 %).**

**Soutirage : 28.5% (5 à 10 %).**

**Limite d'acuité : 19 μm (<15μm).**

**Imperfection : 0.33 (<0.30 à 0.35) avec  $d_{25}(\mu\text{m})=25\mu\text{m}$ ,  $d_{50}(\mu\text{m})=33\mu\text{m}$ ,  $d_{75}=46\mu\text{m}$ .**

#### 4. Interprétation des résultats et solution proposées :

On remarque que la charge circulante dépasse de loin la valeur normale ce qui veut dire que le débit des rejets recyclés au broyeur exprimé en % par rapport au débit du produit finis est très grande.

Le soutirage est légèrement supérieur à la moyenne normale donc la probabilité qu'une particule aille dans les rejets est grande, on constate donc que beaucoup de produit fini revient comme des rejets vers le broyeur inutilement.

Pendant la limite d'acuité dépasse de peu la valeur normale, le séparateur reconnaît une taille des particules égale à 19  $\mu\text{m}$  et plus elle est faible mieux est la séparation.

Ainsi l'imperfection est plutôt bonne, elle caractérise une bonne capacité de coupure, plus elle est élevée moins le séparateur coupe de manière franche et plus on a des particules grossières dans le produit fini.

Le ratio  $Q_f/Q_a$  (alimentation séparateur / débit total d'air) est de  $3.45 \text{ Kg/m}^3$  dépasse le ratio souhaité ( $2 \text{ Kg/m}^3$ ) ceci est due à l'augmentation de la charge circulante et la sous ventilation du séparateur. Il faut donc ouvrir le registre de ventilateur à 100% cependant dans l'atelier BK4 on ne peut pas faire varier la vitesse de ventilation du séparateur c'est pour cela on peut installer un variateur de vitesse pour mieux ventiler le séparateur et gagner au niveau de la consommation électrique. En effet les variateurs de vitesse sont moins consommateurs d'énergie électrique que les registres. On va gagner donc 20 KW d'après un essai similaire dans l'atelier BK5.

### 5. visite interne du séparateur :

Nous allons présenter une vue interne des différents composants du séparateur de l'atelier BK4 :



**Figure 31-1 : La cage mobile RAS**



**Figure 31-2 : Les pâles fixes**



**Figure 31-3 : Le jeu de la chicane varie entre 15mm et 20mm**



**Figure 31-4 : Le clapet de rejets RAS**



**Figure 31-5 Le cône de rejets RAS**



**Figure 31-6 : Présence de ferrailles dans la cage (Ils sont dégagés)**



**Figure 31-7 : Les barreaux RAS**



**Figure 31-8 : L'état de la céramique RAS**



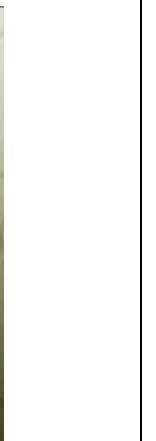
**Figure 31-9 : La conduite du produit fini RAS**



**Figure 31-10 : Registre de recirculation RAS**



**Figure 31-11 : Le registre circulaire d'air frais RAS**



**Figure 31-12 : Le registre rectangulaire d'air frais est ouvert à 30% (RAS)**

D'après la visite interne on remarque toutes les composantes du séparateur sont en bon état. Cependant on peut optimiser la géométrie de la volute pour une meilleure distribution de l'air dans la zone de séparation en réglant la distance entre la cage et la volute.

## V. Bilan matière :

### 1. Objectifs :

Ce bilan permet de connaître le débit de matière dans chaque branche du circuit. Le point le plus important est, sans aucun doute, au niveau du séparateur et de sa charge circulant que nous venons de voir dans le chapitre précédent.

Il permet aussi de quantifier le flux de poussière des filtres. Un filtre surchargé en matière aura un mauvais rendement et générera des perturbations aérauliques.

Si les poussières à l'entrée du filtre sont trop importantes. Il est fort probable que la concentration de poussières sortie filtre sera en augmentation.

Pour un filtre à manche le ratio de dimensionnement est de 60 à 140 m<sup>3</sup> /h (vitesse de filtration ou taux de travail) ce qui correspond à des vitesses de 1 à 2,3m/min.

Il permet à partir du débit gazeux de définir la surface des médias filtrants.

Sur ce genre de filtre, dans le cas d'un dé colmatage séquentiel, une surcharge en matière se traduira par une augmentation de la perte de charge filtre et donc une perturbation aéraulique.

Dans le cas d'un dé colmatage par la perte de charge, il apparaîtra une augmentation de l'énergie nécessaire au nettoyage des manches.

### 2. Courbe axiale :

Des prélèvements de matière sur la longueur des deux compartiments du broyeur ont été réalisés (**voir annexe 3**) afin de caractériser l'évolution granulométrique dans le broyeur, et d'évaluer l'efficacité de celui-ci :

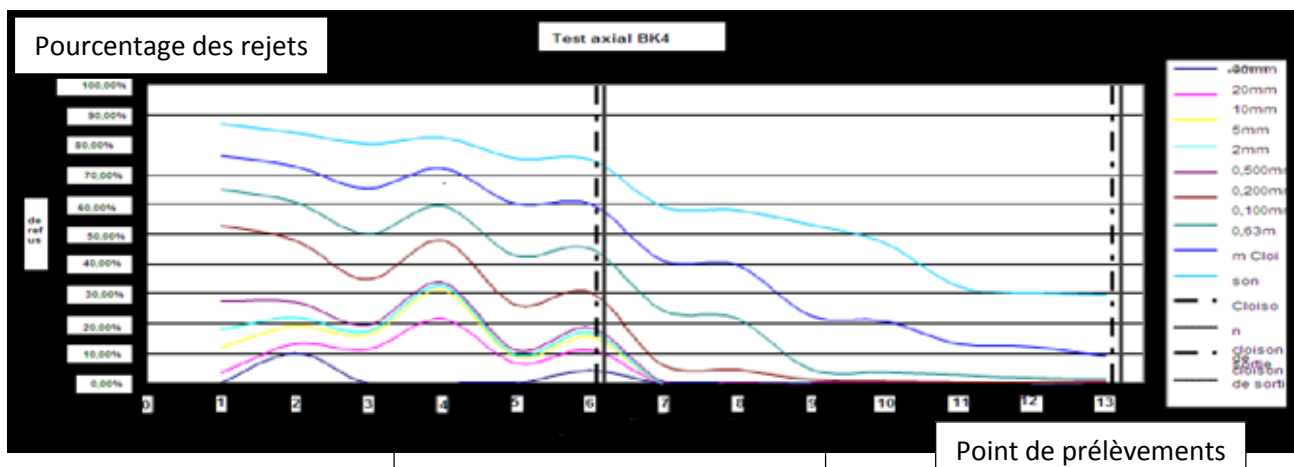


Figure 32 : Courbe axiale BK4

La courbe d'évolution de la broyabilité le long du broyeur indique une fonction de broyage non optimisée du premier compartiment.

Le résultat du test axiale montre un manque de concassage car les refus à 2.5% (interpellation entre 2 et 5mm) sont au-dessus de 15% (pour un bon fonctionnement <5%), de plus l'analyse montre une accumulation de grains à la cloison intermédiaire, ceci est probablement causé par :

- Une granulométrie des matières premières trop grossière.
- Charge « broyante » trop grossière qui privilégie avant tout le concassage, donc un tri de charge des deux compartiments s'impose.

Le tri de la charge C1, doit être fais après 5000h à 7000h de travail du broyeur.

Le tri de la charge C2, doit être fais après 10000h à 14000h de travail du broyeur.

### 3. visite interne du broyeur :

Voici une visite à l'intérieur du broyeur qui va nous permettre de visualiser l'état général du broyeur :

#### **Taux de remplissage :**

		20/04/2015
<b>Taux de remplissage</b>	<b>C1</b>	<b>31,3%</b>
	<b>C2</b>	<b>33.64%</b>



**Figure 33-1 : Le 1<sup>er</sup> compartiment**



**Figure 33-2 : Le 2<sup>ème</sup> compartiment**





Présence des riblons

**Figure 33-3 : anneau de ventilation**

**Figure 33-4 : jeu des lumières**



**Figure 33-5 : Les blindages releveurs RAS**



**Figure 33-6 : La grille de l'anneau de ventilation RAS**



**Figure 33-7 : La glisse d'alimentation RAS**

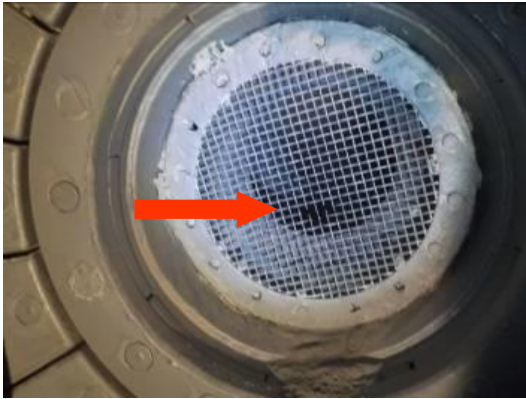


**Figure 33-8 : La cloison intermédiaire côté C2 RAS**



**Figure 33-9 : La cloison de sortie RAS**





**Figure 33-10 : La grille de l'anneau de ventilation**



**Figure 33-11- : Les écopés**



**Figure 33-12 : les blindages**



**Figure 33-13 : La charge broyante**



**Figure 33-14 : usures blindages releveurs C1**

#### 4. Interprétation des résultats et solution proposées :

D'après cette visite interne du broyeur on remarque que :

Dans le compartiment 1 la matière est au même niveau avec les boulets.

Dans le compartiment 2 la matière est au-dessous des boulets chose qui explique que la matière reste longtemps dans le 1<sup>er</sup> compartiment. On aura alors une charge trop fine qui va entraîner une augmentation de taux de matière et les boulets en retombant sur un lit de matière trop épais perdront de leur efficacité de broyage. Il faut donc ouvrir les écopés à 100% pour évacuer la matière plus rapidement vers le 2eme compartiment.

Dimension des jeux de lumière n'est pas correcte (10.5 mm vs 6mm) donc il y a un grand risque de passage de grains grossiers vers le compartiment 2, donc il faut programmer un

changement des blindages pour ne pas vider le 1<sup>er</sup> compartiment avec une granulométrie élevée vers le compartiment 2. On a constaté aussi la présence des riblons dans les jeux de lumières qui gênent le passage de la matière c'est pour cela il faut nettoyer les jeux de lumières.

Durant la visite on a remarqué que la grille de l'anneau de ventilation commence à se détruire et par suite laisse passer des grains grossiers, il faut la changer.

L'absence du coating dans la charge circulante et le broyeur suite à l'aération suffisante dans le tube broyeur et l'effet d'adjuvant plus les gaz chauds.

Plaques de blindages releveurs usés, il faut réparer ces plaques de blindage pour mieux assurer le concassage de la matière dans le 1er compartiment.

Déplacer la cloison centrale vers l'amant du broyeur afin d'utiliser moins de 35% de la longueur utile (Vs 44%) pour permettre une meilleure efficacité de l'énergie du broyage.

Installer un arrivée de matière en escalier et le situer à l'intérieur du BK4 afin d'améliorer la ventilation du BK et éviter le débordement de la matière.

## VI. Analyse des arrêts :

### 1 description :

Les arrêts présentent une grande partie des pertes énergétique pour l'atelier de broyage. Une étude des arrêts basés sur un historique du mois 3 et 4 nous semble importante pour ressortir les causes des arrêts les plus fréquents et essayer d'éliminer les causes.

D'après l'historique du mois 3 et 4 (**annexe 4**) on remarque 3 types d'arrêts qui se répètent fréquemment :

- **changement du silo.**
- **Bouchage trémie.**
- **visite du broyeur.**

### 2 changements du silo :

Lafarge-Meknès dispose de 7 silos de capacité de stockage 4500 ton chacun, relier l'un à l'autre par une gaine qui fait le transport du produit fini, dès qu'un silo est chargé entièrement on fait un arrêt pour orienter le produit fini vers le silo suivant et vider la gaine. La matière ne doit pas rester dans la gaine. Elle deviendra humide ce qui va causer le bouchage de la gaine de transport.

D'où pour diminuer ses arrêts on peut :

- Utilisation d'un tapis roulant au lieu de la gaine, qui aura pour mission le transport du produit fini vers les silos.
- Construire des silos de grande capacité de stockage, chose qui va permettre de réduire les arrêts pour faire le changement des silos.

### 3. Bouchage trémie :

Cet arrêt est la source de la grande perte de l'énergie dans l'atelier de broyage, car le broyeur tourne dans le vide sans produire. Cet arrêt est dû à l'état de la matière première, il se peut qu'elle soit humide ce qui provoquera le bouchage de trémie et par suit la marche à vide du broyeur.

D'où pour remédier à cette anomalie il faut :

- Installer des vibreurs dans la trémie pour éviter le bouchage.
- Installer un sécheur qui aura comme mission le séchage de la matière.

#### 4. Visite du broyeur :

La visite interne du broyeur se fait pour vérifier et connaître l'état des équipements du broyeur, pour assurer une meilleure broyabilité de matière première avec une consommation électrique réduite, cette visite dure 3 heures et nous fait perdre de l'énergie électrique, mais c'est une opération nécessaire d'où on a pensé à changer l'horaire de cette visite pour réduire cette consommation.

- Si on fait la visite dans les heures pleine on gagnera 1373,61 DH (**voir annexe4**).
- Si on fait la visite durant les heures de point on gagnera 3390 DH (**voir annexe 4**).
- Si on fait la visite durant les heures creuse on perdra 512.81 DH (**voir annexe 4**).

D'où on propose que la visite soit faite dans les heures de point ou le prix des KW est le plus haut.

#### VII. Récapitulatif

Durant ces deux mois de stage au sein de la société Lafarge-Meknès nous avons essayé, d'optimiser la consommation électrique de l'atelier BK4 en traitant les problèmes constatés dans chacun des équipements de cet atelier.

Pour améliorer et moderniser l'atelier de broyage BK4, il faut analyser 5 facteurs important :

- **L'humidité de la matière.**
- **Granulométrie de la matière.**
- **Température à l'intérieur du broyeur.**
- **Broyabilité.**
- **Régularité.**

Durant l'analyse des arrêts on a pu constater que la matière humide provoque le bouchage de la trémie et par conséquent la marche à vide du broyeur. Pour remédier on a proposé d'installer des vibreurs dans la trémie pour éviter le bouchage, ainsi installer un sécheur qui aura comme fonction le séchage de la matière humide.

D'après le test de broyabilité BB10 on a pu constater que le clinker entrant au broyeur est difficile à broyer. Ceci est dû aux conditions de cuisson et refroidissement du clinker avant qu'il arrive au broyeur. En effet une zone de cuisson courte et refroidissement rapide donnent des petits cristaux favorables à la broyabilité.

La notion de température est importante dans l'atelier BK4, D'après le bilan aéraulique on constate une bonne température au niveau de l'atelier BK4.

Au niveau de la broyabilité grâce au test axial on a constaté une fonction de broyage non optimisée du 1<sup>er</sup> compartiment du broyeur. En effet un tri de charge des deux compartiments du broyeur est nécessaire pour une meilleur broyabilité.

La notion de régularité est très importante dans l'optimisation de l'atelier BK4 car elle implique, une stabilité de marche de l'atelier BK4 en s'assurant le bon fonctionnement de tous les composants de l'atelier BK4 en éliminant les causes fréquents des arrêts de l'atelier bk4 (visite broyeur, changement du silo, bouchages trémies) et en éliminant les aires faux de l'atelier BK4.

## Conclusion et perspectives :

Nous avons effectué notre stage de fin d'études au sein de la société Lafarge-Meknès. Lors de ce stage de 8 semaines, nous avons pu mettre en pratique notre connaissance théorique acquise durant notre formation, de plus nous sommes confrontés aux difficultés réelles du monde du travail et du management d'équipe. Dans cette mission, nous avons travaillé sur le fonctionnement du broyeur, du séparateur et de tout l'atelier du broyage ciment plus précisément le BK4, afin d'atteindre un optimum qualitatif et quantitatif. De plus, nous avons eu de la chance au cours de notre stage de participer à des solutions convenables concernant certaines anomalies détectées.

A partir de l'établissement de certains bilans on a pu détecter des dysfonctionnements au niveau de l'atelier BK4 et proposer des solutions pour y remédier. Du coup n'a pu optimiser l'énergie nécessaire du broyage de clinker de 57KWh/t jusqu'à 47 KWh/t .ainsi on a pu augmenter le débit de 47t/h jusqu' au 50t/h par conséquent l'énergie électrique à baissée de 39KWh/t à 36KWh/t.

Au terme de ce travail, nous pouvons conclure que LAFARGE Usine de Meknès dispose d'un système puissant de commande et de gestion de tous ses ateliers, mais malgré ce suivi quotidien, il faut toujours penser à optimiser chaque installation pour atteindre son optimum, afin d'assurer sa bonne marche et une meilleure exploitation de ces équipements et ressources. Certaines solutions qui ont été recommandés nécessite du temps pour être mises en place et mesurer leur efficacité sur la consommation électrique à cause de la durée limitée de stage, mais ces recommandations ont reçu un écho favorable de la part de l'encadrant.

Au terme de ce travail, nous espérons que notre projet trouvera son application au sein de l'entreprise et qu'il donnera satisfaction à ses besoins.