Faculté des Sciences et Techniques de Fès

Département de Génie Industriel

LST de Génie Industriel

Projet de Fin d'Etudes

Optimisation des coûts de production dans le secteur Broyeur BK4

Lieu : **Holcim Maroc**

Référence : 22 / 12GI

Préparé par :

- Maha DOUIYEB
- Ezzina MRANI ALAOUI

Soutenu le 16 Juin 2012 devant le jury composé de :

- Pr A. CHAFI (Encadrant FST)
- Pr. S. HAOUACHE (Examinateur)
- Pr. A. EN-NADI (Examinateur)
- Mr. N. Bourazake (Encadrant Société)

Remerciements

Nous exprimons vivement nos remerciements et notre gratitude à toute personne ayant permis la réalisation de ce Rapport et ayant contribué à son achèvement et à sa réussite. Ces propos sont particulièrement destinés à :

- Notre professeur encadrant ***M. Anas Chafi,*** pour le temps consacré à la lecture et aux réunions qui ont rythmé les différentes étapes de notre mémoire. Nous le remercions aussi pour sa disponibilité à encadrer ce travail à travers ses critiques et ses propositions d'amélioration.

- Nos maîtres de stage : ***M. Mostapha Kassaoui*** **et M. Mohammed Bougrine.** Leurs précieux conseils nous ont été d'une grande aide, ainsi que la patience, la compréhension et l'entière disponibilité dont ils ont fait preuve a l'égard de notre rythme de travail.

- Tout ***le corps professionnel au sein de*** **HOLCIM**, pour leur soutien quotidien. L'accueil chaleureux et l'ambiance amicale qu'ils font régner sur les lieux de travail n'ont apporté que de bonnes choses à ce modeste projet.

- La société ***Green Tech Energy***, spécialisée dans les domaines de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, pour son

assistance, et sa confiance pour nous avoir fourni les informations nécessaires à l'étude de notre projet.

SOMMAIRE

Introduction _____ 3

CHAPITRE I _____ 5

Présentation de Holcim et son processus de fabrication de ciment à Fès : _____ 5

I. Présentation de l'entreprise : _____ 6

II. La fabrication de ciment : _____ 9

CHAPITRE II _____ 15

Calcul des coûts de production par la méthode ABC (Activity Based Costing): _____ 15

I. Notions sur les coûts de production : _____ 16

II. Généralités sur la méthode ABC : _____ 17

III. Calcul des coûts de production pour une tonne de ciment : _____ 18

CHAPITRE III _____ 26

Optimisation des coûts de production : _____ 26

I. Optimisation au niveau de : _____ 27

1. L'énergie thermique: _____ 27
2. La maintenance (calcul MTBF) : _____ 32
3. L'énergie électrique (économie d'énergie) : _____ 37
4. Energie électrique (méthode du simplexe) : _____ 39

Conclusion : _____ 44

Bibliographie: _____ 46

Introduction

La crise n'exclut pas la performance ! Dans le contexte économique actuel où la crise sévit et s'amplifie dans la majeure partie du monde, et où les faillites se succèdent à un rythme infernal, le marché des ciments au Maroc a progressé beaucoup plus vite que les estimations des professionnels en marquant une croissance de 22% à la fin du premier trimestre de cette année. N'empêche que si l'on observe à travers un angle plus étroit, la compétitivité est toujours existante, et de plus en plus rude.

Pérenniser sa production, est le souci majeur de toute société ou entreprise face à un marché de plus en plus concurrentiel. C'est pourquoi elle a intérêt à satisfaire le plus grand nombre des clients sans pour autant mépriser ses fins financières. Face à ce contexte, la réduction des coûts de production est l'une des recettes magiques favorisant une marge de bénéfice plus large. C'est l'écart entre les revenus et le coût de revient qui détermine le devenir économique de toute entreprise. C'est-à-dire plus le coût est minime, plus le bénéfice est important.

Basée sur notre formation polyvalente et notre domaine de compétences fortement lié au service production, elle nous a été confiée comme mission faisant l'objet de notre PFE, une analyse des coûts de production au sein d'un des plus grands producteurs mondiaux de ciment, Holcim. Le but est d'aboutir à des propositions visant la réduction de ces coûts et donc l'élargissement de la zone « bénéfice ».

Le présent document est divisé en trois chapitres:

- **Le premier chapitre présente la société et son procédé de fabrication de ciment de son extraction des gisements jusqu'à l'ensachage.**

- **Le 2ème chapitre est consacré au calcul des couts de production fixes et variables (matières premières, énergies électrique et thermique) a l'aide de la méthode ABC.**

- **Le dernier chapitre comporte quatre propositions d'optimisation des coûts d'énergie électrique et thermique ainsi que la maintenance préventive.**

CHAPITRE I

Présentation de Holcim et son processus de fabrication de ciment à Fès :

Holcim est un organisme national comportant plusieurs unités, dont chacune emploie des technologies récentes dans le domaine de l'industrie du ciment.

Au sein de chaque unité il existe une organisation aussi bien élaborée qui permet de maintenir le contact avec toutes les unités pour former le grand organisme Holcim. Dans ce chapitre nous allons procéder à l'identification de la société (services, organigramme,…) ainsi que son processus de fabrication avec un aperçu sur les ressources énergétiques exploitées.

I. Présentation de l'entreprise :

1. Historique de Holcim (Maroc) :

- ***Holcim (Maroc)*** a été crée en 1976 par l'office du développement industriel (ODI) avec le concours de la banque Islamique sous le nom de CIOR (les Ciments de l'Oriental). Sa première cimenterie a été construite à OUJDA et elle a démarré en 1979 avec une capacité de production de 1.2 millions de tonnes par an.

- ***En 1993 :*** HOLCIM a mis en service sa deuxième cimenterie à Ras El Ma dans la région de Fès, avec une capacité de production de 600000 T/ans pour répondre aux besoins croissants du marché national. En outre, deux centres de broyage et de distribution ont été ouverts à Fès et à Casablanca dont la capacité totale est de 800000 T /an.

- ***Le 15 Avril 2002 :*** CIOR devient HOLCIM (Maroc), Ce changement affirme son appartenance au groupe International HOLCIM, Groupe suisse leader dans le domaine de fabrication du ciment, du béton et du granulat. La nouvelle vision adoptée par la société permet de tenir ses engagements vis-à-vis de ses clients, de développer le système de formation de ses collaborations et de prendre en considération les problèmes liés à l'environnement.

- ***En 2000-2002 :*** les démarches ISO 9001 et ISO 14001 ont été mises en place respectivement dans les usines de Fès Ras El Ma et Oujda pour avoir les certificats officiels de conformité du système de management intégré (SMI) Qualité et Environnement.

- ***2008 :*** Lancement du projet de doublement de capacité de production de l'usine de Fès.

2. Présentation de la cimenterie de Fès :

La cimenterie de Ras El MA est située à 20 Km de l'ouest de la ville de FES sur un terrain en propriété de la CIOR. Elle a démarré en mois d'avril 1993.

Le site n'était pas choisi par hasard mais en tenant compte de plusieurs raisons :

- ✓ La disponibilité des matières premières en quantité et qualité.
- ✓ La possibilité d'alimentation en eau et en énergie électrique.
- ✓ La qualité des terrains de point de vue fondation et écoulement de la production et l'approvisionnement de la cimenterie.

Cette usine est construite selon les technologies les plus nouvelles en matière d'industrie de ciment ce qu'il lui permet de produire, actuellement environ 2800 t/j.

La présente unité a réalisé de bonnes performances depuis son démarrage, notamment au niveau de la consommation calorifique, électrique, et de productivité. Sa consommation électrique est d'environ 90-100KWh/t de ciment c-à-dire 22513KDH par an en tenant compte du prix d'un KWh qui est de 0,6 DH /kWh.

3. Situation de l'industrie cimentière au Maroc:

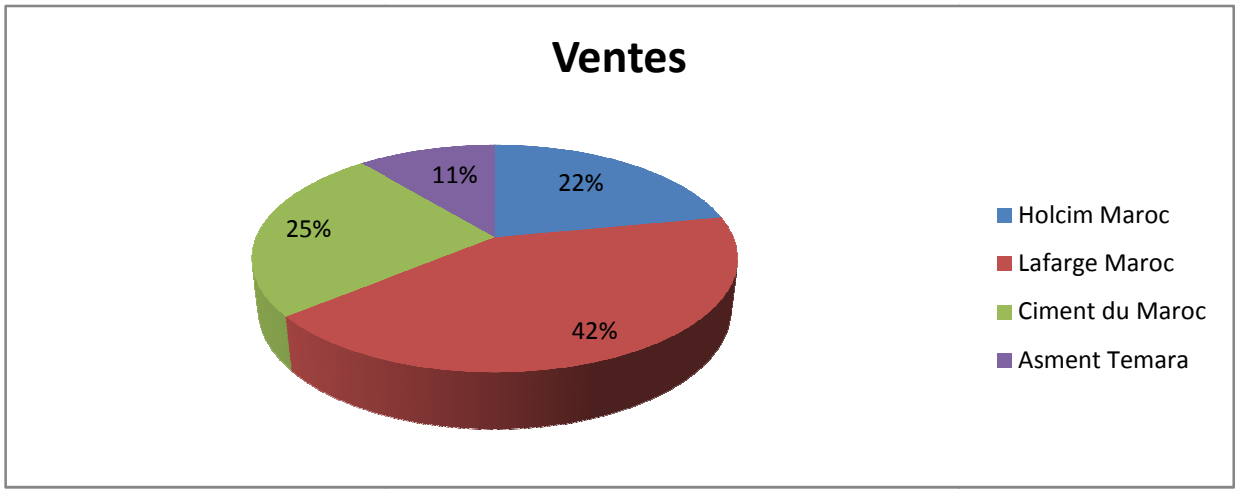

Figure 1 : Les principaux opérateurs cimentiers au Maroc et leurs parts du marché

4. Organigramme hiérarchique de Holcim Maroc:

L'organigramme ci –dessous résume la voie hiérarchique de la société :

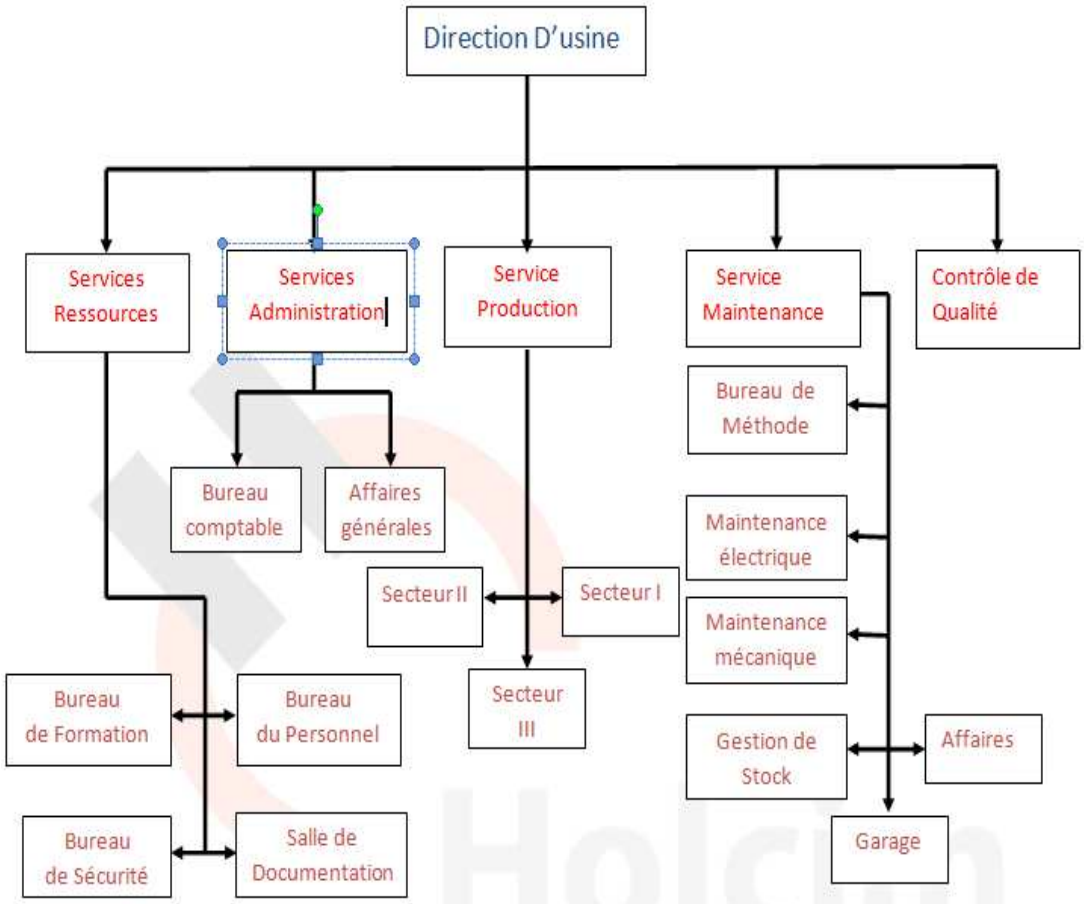

Figure 2 : Organigramme hiérarchique de Holcim Maroc

5. Type de ciment fabriqués :

Il y a trois types de ciments produits par Holcim :

- *CPJ35 : Ciment portland composé avec ajouts :*

Le CPJ 35 est un ciment portland composé dont les constituants principaux sont le Clinker du filler et du gypse. La classe de résistance du CPJ 35 en fait un produit particulièrement adapté à la fabrication des mortiers et des enduits pour la maçonnerie, ainsi que les bétons non armés peu sollicités et à résistances mécaniques peu élevées. Le CPJ 35 est également utilisé dans le domaine routier pour la stabilisation des sols et des couches des chaussées.

- *CPJ45 : Ciment portland composé avec ajouts :*

Le CPJ 45 est un ciment portland composé dont les constituants principaux sont le Clinker du filler et du gypse. La classe de résistance de CPJ 45 MPA lui confère l'aptitude à être utilisé pour les bétons armés, fortement sollicités et à résistances mécaniques élevées.

- *CPJ 55 : Ciment portland composé :*

Le ciment CPJ 55 est un ciment portland composé essentiellement de clinker et de gypse. Sa classe de résistance est de 55 MPA. Il est destiné à la fabrication des bétons armés à haute résistance.

II. La fabrication de ciment :

1. Le ciment :

Le ciment est une poudre minérale, un liant hydraulique utilisé dans plusieurs domaines comme matériau de construction. Il est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage de différentes matières premières comme il est présenté sur la figure 3 :

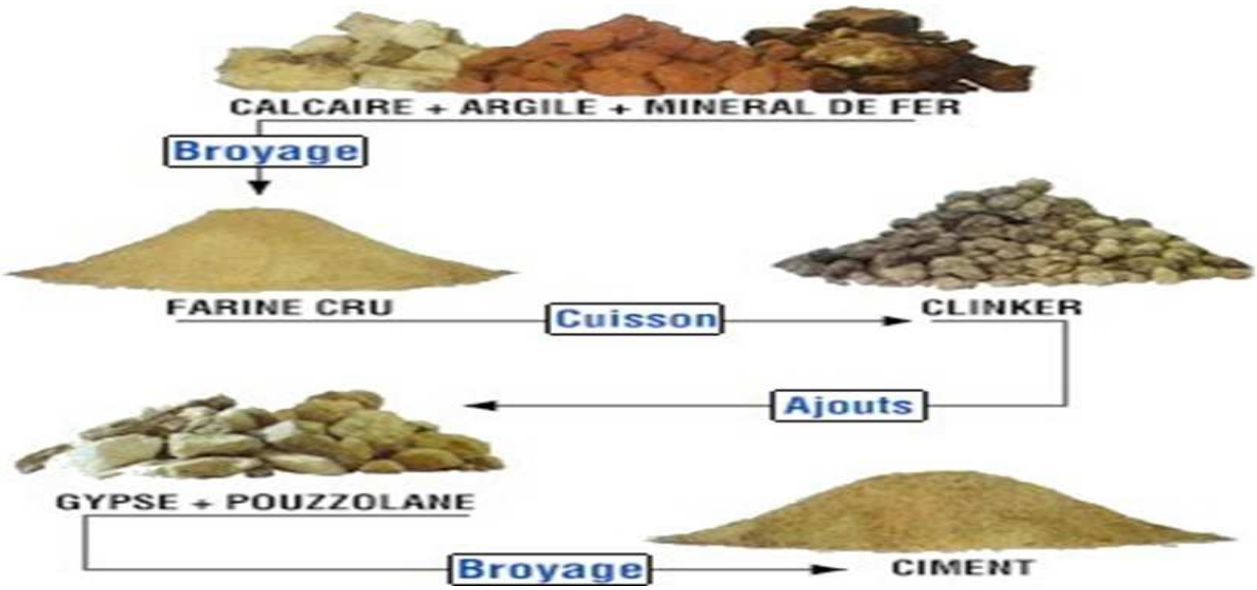

Figure 3 : Circuit de fabrication de ciment

2. Carrière :

La matière première principale extraite d'une carrière proche de l'usine est le calcaire, d'autres additifs viennent s'ajouter au calcaire, principalement l'argile, le minerai de Fer, le sable, la fluorine, et le schiste en faible quantité.

3. Concassage :

En vue d'optimiser et faciliter le stockage et la manutention des matières premières, les blocs extraits au niveau de la carrière sont introduits dans un concasseur pour réduire leurs dimensions. Pour réduire la taille des blocs, le concassage soumet les matières premières à des efforts d'impact.

4. Dosage cru :

Cette étape a pour but de déterminer et de réaliser un pré dosage des six constituants de base du clinker. Pour cela, il existe six trémies assurant le stockage des matières premières.

5. Broyage cru :

Les matières préparées par le concassage doivent être maintenues réduites à la finesse requise pour la cuisson.

Le broyeur est constitué de deux paires de galets à suspension flottante. Ces paires de galets sont entraînés par un plateau de broyage sous l'effet de la force centrifuge, la matière passe sous les galets alors que les particules trop lourdes retombent sous plateau de broyage dans un élévateur à godets qui les recyclent dans le broyeur, les particules fines entraînées par le flux de gaz sont dirigées vers le séparateur monté sur le broyeur.

6. Dépoussiérage :

Une fois la matière broyée, les particules fines sont entraînées par le flux gazeux.

Pour cela on dispose de filtres à manches qui libèrent la matière des gaz, cette opération de dépoussiérage s'effectue avec un rendement de 99,8%. En outre, cette opération est presque utilisée dans toutes les unités de production.

7. Homogénéisation :

La farine produite est transportée à travers des aéroglisseurs vers un silo de stockage dont le rôle est d'homogénéiser la farine. Ce silo dont la capacité de stockage est de 6000 t est équipé d'un système de fluidisation et d'extraction.

8. Cuisson :

Le four rotatif est un cylindre en acier reposant sur trois stations de roulement. Il est garni intérieurement par des produits réfractaires. La rotation du four est assurée par un pignon qui agit sur une couronne solidaire au four.

Durant la cuisson, le four est animé d'un mouvement de rotation, sa disposition en pente permet le transport de la matière, introduite à l'autre extrémité par rapport aux flammes. A l'entrée du four, la matière est à la température de 900°C, en avançant dans le four sa température s'élève jusqu'à atteindre la température de clinkerisation (1450°C).

9. Broyage du charbon :

Le broyeur du charbon utilisé dans la cimenterie de Fès fait partie de la catégorie des broyeurs verticaux à galets. Il alimente le four par le charbon nécessaire à la production de l'énergie calorifique. Le schéma sur la figure 4 illustre la zone de cuisson :

Figure 4 : schéma de la zone de cuisson

10. Refroidisseur :

Le rôle du refroidisseur consiste à garantir la trempe du clinker pour avoir une structure métallurgique et des dimensions des cristaux favorables. Il permet aussi de baisser la température du clinker pour faciliter la manutention et le stockage.

11. Stockage et expédition du clinker :

Le clinker sortant du refroidisseur est transporté par un élévateur vers un silo de stockage. Le Clinker est ensuite transporté vers un broyeur, avec un ajout de calcaire, de gypse et d'adjuvant pour obtenir des qualités de ciment, selon le prorata de chacun des trois types, à savoir le CPJ35, le CPJ45 ou le CPA55.

12. Broyage ciment :

Le broyeur à ciment fait partie de la famille des broyeurs verticaux à galets. Avant le broyage du clinker on ajoute du gypse et d'autres constituants secondaires qui donnent au ciment les propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités.

Les ajouts utilisés sont :

- ***Les cendres volantes :*** récupération des poussières des centrales thermiques au charbon.
- ***Les pouzzolanes :*** roches d'origines volcaniques.

Les broyeurs utilisés sont :

- ***Un broyeur vertical à galets :*** ce type de broyeur est constitué d'une piste rotative, deux galets masters et deux galets esclaves, il a un débit nominal de 120 tonnes par heure.
- ***Un broyeur horizontal à boulets :*** ce broyeur a la forme d'un gros cylindre d'un diamètre de 2.8m. Ce type de broyeur peut broyer jusqu'à 25 tonnes par heure.

13. Ensachage et expédition :

a. Ensachage :

L'ensachage du ciment se fait par fluidisation à l'aide de suppresseurs au niveau des silos de stockage. Le ciment est ensuite transporté par des aéroglisseurs et des élévateurs à godets puis passe par des cribles pour l'élimination des corps étrangers.

L'installation d'ensachage a été rénovée récemment et comporte trois ensacheuses automatiques.

b. Expédition :

L'expédition des différents types de ciment se fait en sacs de 50 Kg et en vrac soit par route soit par voie ferrée .Le chargement des camions en sacs se fait manuellement. Le chargement des wagons en sac est assuré par des chargeurs de wagons.

L'expédition du ciment en vrac par camion ou wagons citernes se fait directement à partir des silos de stockage.

CHAPITRE II

Calcul des coûts de production par la méthode ABC (Activity Based Costing):

I. Notions sur les coûts de production :

Le coût de production d'une entreprise ou d'une administration comme on le connait, est tout simplement la somme des dépenses réalisées pour produire des biens ou services.

Dans nôtre cas, on va s'intéresser à deux types de coûts de production, fixes et variables.

Certaines dépenses indispensables à la production sont indépendantes de la quantité produite, ce sont les coûts fixes (loyer des bâtiments, assurances, ...). D'autres varient lorsque la quantité produite augmente : ce sont les coûts variables (matières premières, consommations intermédiaires...).

Pour une technique de production donnée, le coût total augmente quand on produit davantage puisque pour produire plus il faut utiliser davantage de produits intermédiaires, d'énergie et de travail.

Pour le cas de Holcim, on distingue l'ensemble des coûts dans les deux tableaux suivants :

Coûts fixes	Définition
Energie électrique fixe	L'électricité directement utilisée dans les administrations (lumière, chauffage…)
Salaires - Employés propres	Concerne les salaires du personnel propre à la société.
Autres dépenses du personnel	Représente les autres charges du personnel y compris les primes, les formations, etc.
Sous-traitance maintenance	L'ensemble des fonctions maintenance livrées ou confiées au partenaire sous traitant
Maintenance propre	L'ensemble des fonctions maintenance dont les intervenants font partie de la main d'œuvre propre à la société.
Pièces de rechange	Pièce destinée à en remplacer une autre dans un ensemble, dans un mécanisme sur une durée bien déterminée.

Tableau 1 : L'ensemble des coûts fixes dans la société Holcim

Coûts variables	Définition
Matières premières	Une matière première est une matière extraite de la nature utilisée dans la production de produits finis.
Combustibles / Energie thermique	Substance capable de brûler en présence d'un autre réactif (comburant) pour fournir de l'énergie.
Variable de l'énergie électrique	Elle comporte surtout la puissance électrique en KWh consommée par chaque moteur de tout dispositif contribuant à la production de ciment, ainsi qu'une proportion d'électricité directement utilisée dans les administrations (lumière, chauffage…)
Pièces d'usure	Les pièces ou les éléments d'un mécanisme dont l'usure est normale, a été prévue, et qu'il est nécessaire de remplacer périodiquement.
Activités externalisées	L'externalisation désigne le transfert de tout ou partie d'une fonction d'une organisation (entreprise ou administration) vers un partenaire externe.

Tableau 2 : L'ensemble des coûts variables dans la société Holcim Maorc

II. Généralités sur la méthode ABC :

L'Activity Based Costing (ABC) est une méthode développée pour suivre sur une certaine durée l'évolution des coûts et qualifier les causes de leur variation. La méthode ABC permet d'aligner le suivi des coûts de l'entreprise sur les différents axes utilisés pour suivre les revenus.

La méthode ABC consiste à identifier le coût des activités constitutives des processus au travers de leur consommation des ressources mises à disposition, puis à suivre la consommation de ces activités suivant les différentes rubriques des coûts entraînant leur variation.

Le but de cette méthode est tout le travail qui sera effectué dans ces deux derniers chapitres, c'est-à-dire, le pilotage des coûts par une gestion des activités

III. Calcul des coûts de production pour une tonne de ciment :

1. Calcul des coûts de matières premières pour une tonne de ciment :

L'ensemble des matières premières entrant dans la fabrication du ciment sont :

- Le clinker
- La pouzzolane
- Le gypse
- Le calcaire
- Les cendres volantes

Le coût de chaque composant est obtenu par le produit de la quantité utilisée fois son coût unitaire, suivant la formule suivante :

Coût = Pourcentage (pour une tonne de ciment) * Coût unitaire

Et l'on obtient le coût total des matières premières en sommant les coûts de chaque composant comme dans le tableau suivant :

Pour le CPJ 35 :

Matières premières	Coût unitaire (MAD)	Pourcentage M.P Pour 1 tonne de ciment	Montant (MAD)
Clinker	436	65%	283,40
Pouzzolane	115	0%	0
Gypse	63	5%	3,15
Calcaire	4	30%	1,20
Cendres volantes	171	0%	0
Total		100%	287,75
Coût des MP à la tonne (MAD)			287,75

La matière première pour le CPJ 35 vaut 287,75 MAD/t.

Pour le CPJ **45 :**

Matières premières	Coût unitaire (MAD)	Pourcentage M.P Pour 1 tonne de ciment	Montant (MAD)
Clinker	436	65%	283,40
Pouzzolane	115	19%	21,85
Gypse	63	5%	3,15
Calcaire	4	5%	0,20
Cendres volantes	171	6%	10,26
Total		100%	318,86
Coût des MP à la tonne (MAD)			318,86

La matière première pour le CPJ 45 vaut 318,86 MAD/t.

Pour le CPJ **55** :

Matières premières	Coût unitaire (MAD)	Pourcentage M.P Pour 1 tonne de ciment	Montant (MAD)
Clinker	436	79%	344,44
Pouzzolane	115	7%	8,05
Gypse	63	5%	3,15
Calcaire	4	4%	0,16
Cendres volantes	171	5%	8,55
Total		100%	364,35
Coût des MP à la tonne (MAD)			364,35

La matière première pour le CPJ 55 vaut 364,35 MAD/t.

2. Calcul du coût d'énergie électrique variable :

La consommation d'énergie électrique variable concerne le moteur du broyeur ciment BK4, le moteur du ventilateur ainsi que les auxiliaires.

L'énergie électrique consommée pour chaque CPJ est la somme de l'ensemble des énergies consommées par le broyeur, le ventilateur et les auxiliaires.

Le calcul du coût d'énergie consommée se fait suivant trois tranches horaires :

- Les heures pleines : de 7h à 18h
- Les heures de pointe : de 18h à 23h
- Les heures creuses : de 23h à7h

Ce dernier est résultat de la formule suivante :

$$Coût\ d'énergie\ électrique = \frac{(\sum(\mathrm{h} * \mathrm{Coût\ unitaire})) * \mathrm{C} * \mathrm{D}}{t}$$

C : la consommation électrique mensuelle en KWh.

Coût unitaire : le coût unitaire de chaque tranche horaire.

D : le débit du broyeur ciment.

h : Le nombre d'heures pour chaque tranche horaire.

t : la quantité de ciment mensuelle produite en tonne (tonnage).

Le calcul du coût d'énergie électrique consommée pour chaque CPJ se fera suivant les tableaux ci-dessous :

Pour le CPJ 35 :

	Mot BK4			Mot vent			Auxiliaires		
Compteur d'énergie en MWh	24216,3	24201,3	15	19048,1	19038,9	9,2	2752	2749,8	2,2
	24380,6	24345,6	35	19119,6	19112,9	6,7	2772	2771,2	0,8
	24434,4	24422,9	11,5	19156,6	19147,7	8,9	2784,8	2782,9	1,9
	24490,6	24439	51,6	19161	19160,4	0,6	2787	2786,7	0,3
	24564,7	24526,7	38	19200,2	19198,2	2	2802,8	2801,8	1
	24586,8	24577,4	9,4	19223,3	19218,8	4,5	2811,2	2809,6	1,6
	24659	24623,4	35,6	19247,7	19239,2	8,5	2821,8	2818	3,8
	24693,5	24691,5	2	19271,3	19269,6	1,7	2832,4	2831,8	0,6
	24890,3	24886,5	3,8	19359,9	19356,1	3,8	2873,1	2871,5	1,6
	24994,7	24945,6	49,1	19388,3	19378,8	9,5	2884,6	2881,4	3,2
	25289,2	25273,1	16,1	19521,2	19512,3	8,9	2949,1	2944,3	4,8
		Total	**267,1**		**Total**	**64,3**		**Total**	**21,8**

L'énergie consommée en mois d'avril pour le CPJ 35 est donc :

C = 267.1 + 64.3 + 21.8 = **353,2 MWh.**

	Tonnage	Energie consommée KWh / tonne
Compteur (Tonnage) (t)	438	34,43
	1868	
	496	
	376	
	143	
	201	
	944	
	1180	
	820	
	1007	
	389	
	736	
	1660	
Total	10258	

Pour une quantité de **10258 t** de CPJ35 produite, la consommation électrique était de 353.2 MW h, donc : C = 353 200/10 258 = 34.43 KWh / t.

Tranches horaires		Coût unitaire	Coût d'énergie
Heures pleines	42,30	1	**33,24**
Heures de pointe	15,70	1,2	
Heures creuses	31,20	0,8	
Total	89,20		

Avec un débit de production de 115 t/h, le coût d'énergie pour le CPJ 35 vaut :

$$c = \frac{[\,(42.30*1)+(15.70*1.2)+(31.20*0.8)\,]*115*34.43}{10258} = \mathbf{33.24\ MAD/\ t}.$$

Pour le CPJ **45** :

	Mot BK4			Mot vent			Auxiliaires		
Compteur d'énergie en MWh	24272,4	24228,6	43,8	19089,2	19056,4	32,8	2760,9	2758,6	2,3
	24344,4	24298,7	45,7	19112,4	19091,1	21,3	2771,1	2764,9	6,2
	24361,9	24357,9	4	19138,8	19119,3	19,5	2775,5	2773,5	2
	24416,3	24401,2	15,1	19154,7	19141,3	13,4	2782,2	2780,3	1,9
	24436	24434,4	1,6	19169	19157	12	2786,1	2785,4	0,7
	24517,9	24468,9	49	19194,8	19171,9	22,9	2789,5	2787,7	1,8
	24565	24537,9	27,1	19219,8	19203,7	16,1	2808	2803,7	4,3
	24640,1	24585	55,1	19242,9	19227	15,9	2815,6	2812,5	3,1
	24651,7	24640,8	10,9	19462,9	19248,6	214	2828,7	2822,1	6,6
	24879,3	24718,9	160,4	19685,4	19482,4	203	2840,4	2838,8	1,6
	25112,1	25012,6	99,5	19666	19660	6	2878,9	2875,8	3,1
	25141,5	25130,3	11,2	19980,5	19977,3	3,2	2893,3	2890,9	2,4
	25280,7	25190,9	89,8	20237,1	20018	219	2908,4	2903	5,4
	25240,4	25227	13,4	20472,2	20445,5	26,7	2916,2	2912,8	3,4
	25332,3	25267,8	64,5	20495,2	20481,9	13,3	2932	2930,1	1,9
	25342,1	25334,4	7,7	20528,7	20522	6,7	2953	2951,6	1,4
		Total	**698,8**		**Total**	**846**		**Total**	**48**

L'énergie consommée en mois d'avril pour le CPJ 45 est donc :

C = 698.8 + 846 + 48 = **1593.1MWh**.

	Tonnage	Energie consommée KWh / t
Compteur (Tonnage) (t)		39,95
	1974	
	2560	
	1849	
	2466	
	2906	
	2837	
	2569	
	2589	
	978	
	1505	
	977	
	2401	
	2012	
	508	
	1078	
	2956	
	1934	
	1609	
	1091	
	2199	
	884	
Total	**39882**	

Pour une quantité de **39882 t** de CPJ45 produite, la consommation électrique était de 1593.1MW h, donc : C = 39.95 KWh / t.

Tranches horaires	Total	Coût unitaire (MAD)	Coût d'énergie (MAD)
Heures pleines (h)	78,60	1	**38,21**
Heures de pointe (h)	96,40	1,2	
Heures creuses (h)	171,80	0,8	
Total	**346,80**		

Avec un débit de 115 t/h, le coût d'énergie pour le CPJ 45 vaut :

$$c = \frac{[(78.60*1)+(96.40*1.2)+(171.80)]*39.95*115}{39882} = \mathbf{38.21\ MAD/\ t}.$$

Pour le CPJ 55 :

	Mot BK4			Mot vent			Auxiliaires		
Compteur d'énergie en MWh	24235,6	24214,6	21	19054,1	19053,7	0,4	2753,5	2753,4	0,1
	24282,9	24240,9	42	19083,4	19080,9	2,5	2762,4	2761,6	0,8
	24461,2	24312,9	148,3	19141,1	19132,5	8,6	2780	2777,2	2,8
	24718,9	24493,6	225,3	19282,6	19271,7	10,9	2838,6	2833,1	5,5
	24906,9	24899	7,9	19362,3	19361,6	0,7	2874,3	2873,7	0,6
	25046,4	25038	8,4	19423,4	19420,1	3,3	2901,2	2899,6	1,6
	25090,2	25088,4	1,8	19440,6	19439,8	0,8	2910,2	2909,8	0,4
	25265,6	25236,5	29,1	19509,5	19498,5	11	2942,9	2937,4	5,5
		Total	**483,8**		**Total**	**38,2**		**Total**	**17,3**

L'énergie consommée en mois d'avril pour le CPJ 55 est donc :
C = 484 + 38 + 17.3 = 539,3 MW h

	Tonnage	Energie consommée KWh/t
Compteur (Tonnage) (t)	789	53,4066152
	552	
	507	
	872	
	1276	
	648	
	972	
	955	
	802	
	1413	
	387	
	237	
	688	
Total	**10098**	

Pour une quantité de **10098 t** de CPJ55 produite, la consommation électrique était de 539.3 MW h, donc : C = 53.40 KW h / tonne.

Tranches horaires	Total	Coût unitaire (MAD)	Coût d'énergie (MAD)
Heures pleines	49,31	1	**53,84357839**
Heures de pointe	33,74	1,2	
Heures creuses	29,15	0,8	
Total	**112,20**		

Avec un débit de 90 t/h, le coût d'énergie pour le CPJ 55 vaut :

$$c = \frac{[\,(49.31*1) + (33.74*1.2) + (29.15*0.8)\,]*53.40*90}{10098} = \mathbf{53.84\ MAD/\ t}.$$

3. Calcul du coût d'énergie thermique (Fuel) pour une tonne de ciment :

Pour chaque CPJ, le coût d'énergie thermique consommée par tonne de ciment en mois d'avril est calculé de la manière suivante :

$$Coût\ d'énergie\ thermique = \frac{\text{Q} * \text{Coût unitaire}}{1000}$$

- **Q** étant la quantité de Fuel consommée en Kg / tonne (de ciment).

La formule est appliquée dans le tableau ci-dessous :

Fuel	Coût unitaire (MAD/Tonne)	3614
	Quantité (Kg / Tonne de ciment)	**Coût (MAD/ Tonne de ciment)**
CPJ 35	1,8	6,5052
CPJ 45	2,4	8,6736
CPJ 55	2,4	8,6736

On en déduit que :

Le coût d'énergie thermique pour une tonne de CPJ 35 est : 6.50 MAD/t

Le coût d'énergie thermique pour une tonne de CPJ 45 est : 8.67 MAD/t

Le coût d'énergie thermique pour une tonne de CPJ 55 est : 8.67 MAD/t

4. Le coût total d'une tonne de ciment pour chaque CPJ :

Coûts variables	Total cost per ton-Cem (DH)		
	CPJ 35	CPJ 45	CPJ 55
Matières premières	287,75	318,86	364,35
Energie électrique [variable]	33,24	38,21	53,84
Diesel / Essence	6,5052	8,6736	8,6736
Pièces d'usure	3,7		
Activités externalisées	15,8	17	18,2
Total var	346,9952	386,4436	448,7636
Coûts fixes			
Energie électrique [fixe]	17,02		
Salaires - Employés propres	28		
Autres dépenses du personnel	14		
Sous-traitance maintenance	14,63		
Maintenance propre	16,7		
Pièces de rechange	11		
Autres coûts (après production)	10,3		
Total fixe	111,65		
Coût total pour 1 tonne de ciment	458,6452	498,0936	560,4136

Contrairement aux coûts variables, qui varient par volume de production, et d'un type de ciment à un autre, les coûts fixes restent constants (par contrat).

D'après le tableau ci-dessus, le montant des coûts fixes obtenu est de 111.65 MAD/t. Quant aux coûts variables, le montant par type de ciment est :

- *346,99 MAD* pour le CPJ 35.
- *386,44 MAD* pour le CPJ 45.
- *448,76 MAD* pour le CPJ 55.

Le coût total par tonne de ciment pour chaque type de CPJ est la somme des coûts fixes et variables :

- *458,64 MAD* pour le CPJ 35.
- *498,09 MAD* pour le CPJ 45.
- *560,41MAD* pour le CPJ 55.

CHAPITRE III

Optimisation des coûts de production :

Les coûts de production ont deux caractéristiques opposées qui ne sont pas toujours bien comprises dans les pays en développement. La première est que pour produire il faut dépenser; cela veut dire produire à un certain coût. La seconde est qu'il faut maintenir les coûts à un niveau aussi bas que possible et les éliminer lorsqu'ils ne sont pas nécessaires. Cela ne veut pas dire qu'il faut réduire ou supprimer des coûts sans discernement.

Par exemple, il serait insensé de ne pas avoir un programme de maintenance approprié simplement pour éviter les coûts de maintenance. Il est plus conseillé d'adopter un plan de maintenance acceptable qui pourrait peut-être écarter 80-90% des risques de panne. De même, il n'est guère recommandé d'acheter de la pouzzolane de qualité incertaine pour réduire les coûts de matière première. La bonne approche est d'avoir un programme d'achat approprié en accord avec les spécifications du marché et les coûts.

Une bonne gestion énergétique, ainsi que des projets et des investissements d'efficacité énergétique peuvent assurer la réduction des coûts de production sur une période de retour précise. Dans ce chapitre, nous nous sommes résolues à deux projets qui pourraient être bénéfiques pour la compagnie :

I. Optimisation au niveau de :

1. L'énergie thermique:

a. *Principe :*

Dans le procédé de fabrication du ciment des matières minérales sont ajoutées au clinker (élément principal du ciment) pour avoir les spécifications finales du ciment demandé. Ces matières sont le gypse ; le calcaire et la pouzzolane. Ce sont des matières qui sont extraites des carrières et présentent une humidité allant de 8% à 18% en poids. Le broyage de ces matières nécessite leur séchage dans le circuit de broyage par l'apport de gaz chauds. Ces gaz sont produits par un générateur à fioul lourd qui génère un coût supplémentaire au coût de production. Notre objectif est d'optimiser ce dernier par le remplacement total ou partiel des gaz chauds du générateur par les gaz chauds résiduels du circuit de refroidissement du clinker dans une étape antérieure du processus global de fabrication du ciment.

b. *Etude de faisabilité :*

La faisabilité de ce projet est déterminée par l'étude des besoins en énergie thermique dans le circuit de broyage et l'énergie thermique disponible au niveau du refroidisseur à clinker et les pertes pendant l'acheminement de ces gaz vers le broyeur. Les gaz arrivant à l'entrée du broyeur doivent être suffisants en volume et en quantité de chaleur transportée.

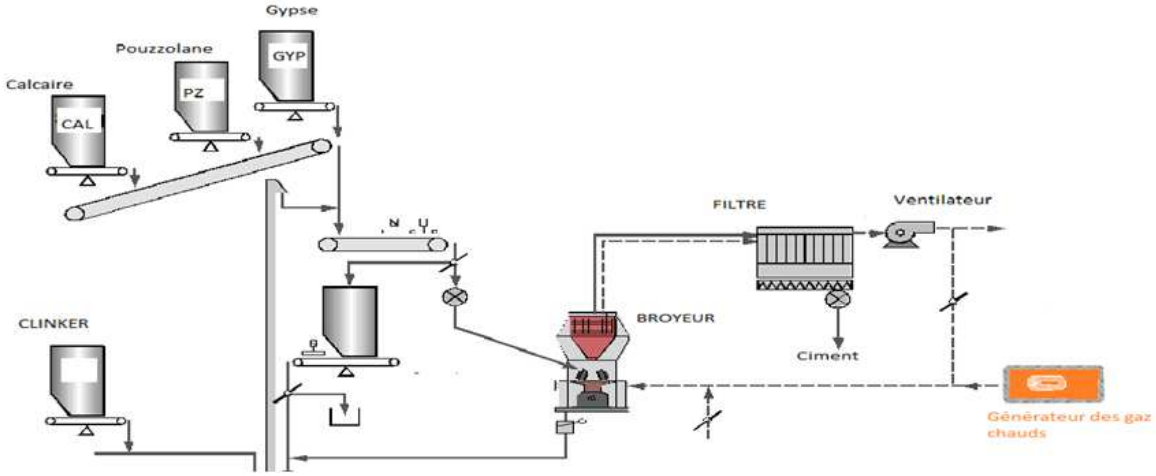

Figure 5 : Flow sheet du circuit de broyage de ciment

Le circuit de broyage est composé successivement des éléments principaux suivants :

1-des trémies recevant les matières à broyer (clinker; gypse; calcaire et pouzzolane)

2-des doseurs pour le dosage des proportions de matière qui vont composer le ciment spécifié (CPJ 35; CPJ45; CPJ55)

3-un broyeur vertical pour le broyage des matières entrantes

4-Un filtre pour la récupération du ciment

5-un ventilateur pour la génération d'air pour la circulation de la matière à l'intérieur du circuit du broyage

6-un générateur de gaz chaud pour le séchage des matières

Le générateur de gaz chauds est un foyer ou le fuel est brûlé en produisant des gaz chauds constitués des oxydes des différents éléments composant le fuel principalement le dioxyde de carbone et l'excès d'air alimentant le foyer.

Besoin en énergie thermique et en volume de gaz :

Dans la situation actuelle de l'usine la consommation de fuel nécessaire pour la production des ciments est :

-0.52kg /t cim pour un volume de gaz de 44 000 Nm^3/h

Le pouvoir calorifique du fuel lourd est de 955. 10^4 cal/Kg

Dans ce cas l'énergie thermique consommée par tonne de ciment dans le broyeur est de :

$$Q = 9550 * 0.52 = 4{,}97.10^3 \text{ kcal/t}$$

Pour un débit maximal de 115 t/h, l'énergie consommée par heure sera de :

$$Q = 4970 * 115 = 571\,550 \text{ kcal/h}$$

Cette énergie doit être apportée par les gaz récupérés à la sortie du refroidisseur du clinker.

Aperçu sur le refroidisseur de clinker :

Le refroidisseur de clinker est une installation fixée à la sortie du four. Il est composé d'une grande chambre dont le fond est une succession de deux grilles amovibles permettant la circulation du clinker ainsi que des ventilateurs d'air frais soufflant en dessous de ces grilles. Cet air de soufflage refroidit le clinker chaud qui provient du four avec une température de 1350 degrés Celsius et quitte le refroidisseur en transportant la chaleur.

L'air du refroidisseur est réparti en trois parties comme suit :

1-l'air secondaire retournant au four pour maintenir la stabilité de la température de la flamme du four ;

2-l'air tertiaire qui peut alimenter d'autres installations ;

3-de l'air résiduel émis dans l'atmosphère.

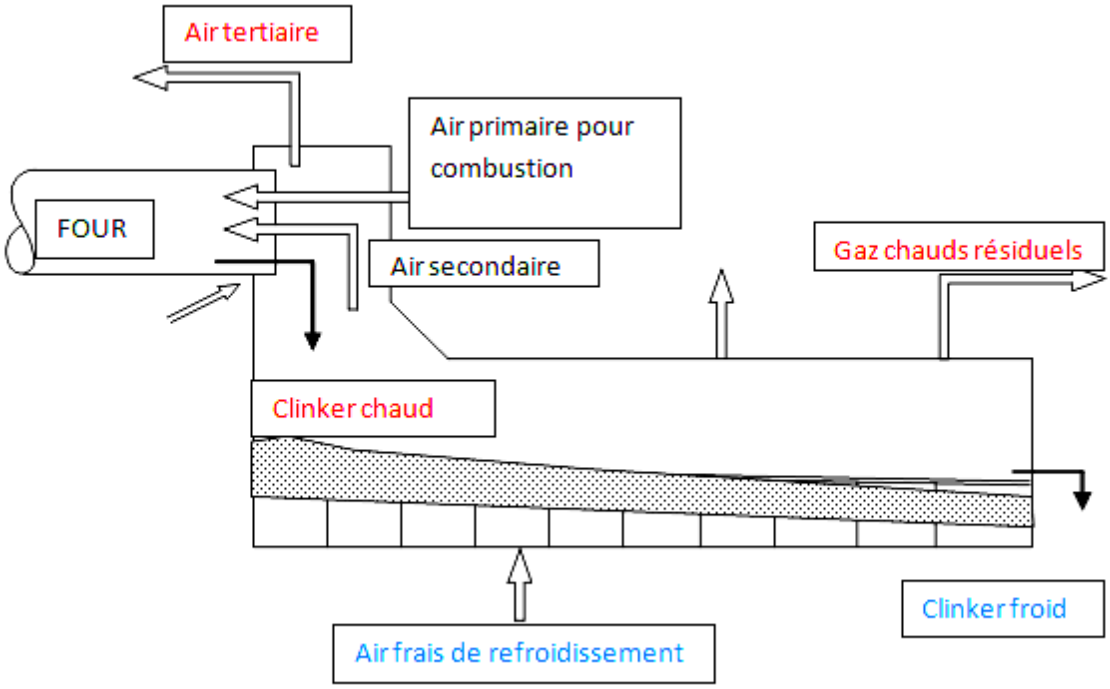

Figure 6 : Schéma synoptique du refroidisseur de clinker

Le calcul de l'énergie thermique et du volume de gaz chauds disponible est basé sur les bilans aérauliques et thermiques faits dans le passé par l'usine sous la supervision d'un département technique international de la compagnie. Les bilans nécessitent des ressources humaines et instrumentales appropriées pour leur achèvement. Les résultats se résument dans les tableaux suivants :

Bilan aéraulique du refroidisseur :

						Nm3/h
ENTREE						
Débit total des ventilateurs du refroidisseur						332 967,00
Air faux						671,00
TOTAL DES ENTREES						333 638,00
SORTIE						
Air secondaire						54 509,00
Air tertiaire						10 154,00
Air d'hexaure médian						98 403,00
Air d'hexaure						170 572,00
TOTAL DES SORTIES						333 638,00

Bilan thermique du refroidisseur :

SORTIES DE CHALEUR			**Température (°C)**	**Energie calorifique (kcal/h)**
Chaleur du clinker			64	462,7
Air secondaire			105,5	17178,1
Air tertiaire			105,5	
Air d'exhaure médian			465	114160,3
Air d'exhaure			272	466280,7
Radiation et convection			7,2	408,4
Evaporation d'eau				
Erreur du bilan	0,10009378	%	0,4	21,3
			TOTAL DES SORTIES	**598511,5**

D'après ces bilans, le volume des gaz récupérables qu'on peut utiliser dans le broyeur ciment est la somme de l'air d'exhaure médian et final qui est de 268 975 Nm^3 /h et qui transporte une énergie calorifique de 580 451 kcal/h.

Pour un besoin de 44 000 Nm^3/h de gaz transportant une énergie de 571 550 kcal/h, le projet s'impose déjà et promeut une étude plus poussée.

Le projet nécessitera le matériel suivant :

- *Calorifugeage :* Isolation des tuyaux de gaz chaud ou de chauffage permettant d'éviter les pertes d'énergie entre le refroidisseur et le broyeur.
- *Support gaine* : permet de bien maintenir la conduite en place
- *Compensateur:* Dispositif métallique étanche composé d'un ou plusieurs soufflets utilisés pour compenser des mouvements de tuyauteries ou d'élément d'appareils dus à des sollicitations thermiques
- *Ventilateur :* Pour aspirer les gaz chauds.
- *Cyclone :* Tourbillon d'air se déplaçant très rapidement en tournant sur lui-même. Il permet de dégager la poussière car cette dernière peut être nuisible au ventilateur.

Coût du projet :

Matériel utilisé	Coûts (MAD)
Conduite	411748.2
Calorifugeage	300000
Compensateur	500000
Ventilateur	206666
Cyclone	1000000
Autre coûts	400000
Total des coûts	5 817 414.2

- L'investissement entraine une dépense de 5817414.2 MAD.
- Le coût de fuel par tonne de ciment déjà calculé est de 7,58 MAD/t, c'est-à-dire 7,58 * 60 238 * 12 = 5 479 248,48 MAD/an pour une production de ciment de 60 238 t/mois. Ce qui revient à dire, que Holcim aura 5 479 248,48 MAD à gagner de cet investissement par an.
- Le temps de retour sera donc très étroit :

t = 5 817 414,2 / 5 479 248,48 = 1 an et un mois.

2. La maintenance (calcul MTBF) :

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines ainsi que la qualité des produits. C'est là, ou intervient le rôle de la maintenance à prévenir ou à corriger les dégradations d'un matériel afin de maintenir ou de rétablir sa conformité aux spécifications. Afin d'auditer l'état de la maintenance, pour évaluer les points d'amélioration sur lesquels travailler, il est nécessaire de la mesurer. C'est pourquoi nous allons consacrer cette partie au calcul de l' MTBF, un des indicateurs les plus pertinents de la maintenance.

Calcul MTBF :

Définition: le MTBF (Mean time between failure) est le temps moyen entre le début de la réparation et la panne suivante (temps moyen entre pannes).

Il est calculé depuis la formule suivante :

$$MTBF = \frac{\sum(\text{temps de fonctionnement} + \text{temps de panne})}{\text{nombre de pannes}}$$

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des arrêts, entre programmés et pannes, ainsi que leur durée, en mois d'Avril :

Broyeur BK 4			Avril – 12
Date	**Temps de marche (h)**	**Causes des arrêts**	
1	20,22	Optimisation (03h47min)	
		–	
		–	
		–	
		–	
2	9,27	Optimisation (14h44min)	
		–	
		–	
		–	
		–	
3	20,32	Optimisation (03h41min)	
		–	
		–	
		–	

4	19,03	Rotation alimentation broyeur (01h40min)
		Delta P élevée filtre process (03h18min)
		_
		_
		_
5	21,07	Intervention mécanique sur sas alimentation broyeur (02h56min)
		_
		_
		_
		_
6	14,58	Optimisation (06h15min)
		Coincement sas alimentation broyeur (00h43min)
		Vibration broyeur (02h30min)
		_
		_
7	18,75	Optimisation (05h15min)
		_
		_
		_
		_
8	16,17	Optimisation (07h50min)
		_
		_
		_
		_
9	14,67	Optimisation (09h20min)
		_
		_
		_
		_
10	21,08	Coincement sas alimentation broyeur (02h55min)
		_
		_
		_
		_
11	22,83	Contrôle de rotation sas alimentation broyeur (00h10min)
		Déport bande alimentation broyeur BT4 (01h00min)
		_
		_

12	24,00	RAS
		_
		_
		_
		_
13	15,88	_
		Optimisation (08h07min)
		_
		_
		_
14	17,92	Optimisation (13h05min)
		_
		_
		_
		_
15	18,42	_
		Optimisation (05h35min)
		_
		_
		_
16	15,18	_
		Arrêt programmé (08h49min)
		_
		_
		_
17	9,80	_
		Optimisation (11h45min)
		_
		_
		_
18	14,03	_
		Optimisation (09h58min)
		_
		_
		_
19	20,00	_
		Coincement sas alimentation broyeur (01h25min)
		Bourrage goulotte doseur clinker (03h30min)
		_

20	24,00	–
		RAS
		–
		–
		–
21	24,00	–
		RAS
		–
		–
		–
22	17,30	–
		Optimisation (06h42min)
		–
		–
		–
23	19,98	–
		Coincement bande alimentation broyeur BT5 (02h15min)
		Bourrage goulotte doseur clinker (00h20min)
		Déclenchement P9 (01h00min)
		Coincement sas alimentation broyeur (00h26min)
24	22,22	–
		Disponibilité ventilateur filtre circuit poussière (00h30min)
		Déport bande alimentation broyeur BT5 (00h12min)
		Coincement sas alimentation broyeur (01h05min)
		–
25	22,60	–
		Coincement by-pass vers trémie rejet (00h35min)
		Coincement sas alimentation broyeur (00h19min)
		Déport bande alimentation broyeur BT5 (00h30min)
		–
26	21,78	–
		Optimisation (12h13min)
		–
		–
		–
27	19,95	–
		Coincement sas alimentation broyeur (02h29min)
		Déport bande alimentation broyeur BT5 (01h50min)
		Coincement doseur clinker (00h11min)

28	23,05	–
		Coincement by-pass vers trémie rejet (00h25min)
		Bourrage goulotte bande BT1 (00h22min)
		–
		–
29	22,22	–
		Coincement sas alimentation broyeur (01h47min)
		–
		–
		–
30	7,82	–
		Optimisation (16h11min)
		–
		–
		–
31	0,00	–
		0
		0
		0
		0

Le temps de fonctionnement est de : 548.14h

Le temps de panne est de : 34.80h pour 12 pannes.

Le MTBF sera :

MTBF = (548.14+34.8) / 12

= **49 h**

Le MTBF objectif visé par la société est de : **89h.**

La Différence entre le MTBF calculé et le MTBF objectif est énorme. Cette défaillance est due au manque de vigilance chez le service maintenance dont le rôle est de remédier aux causes de défaillances et améliorer le matériel pour augmenter sa productivité.

Les arrêts non programmés engendrent une baisse de production. L'entreprise se trouve obligée de remplir les différentes tranches horaires qui n'arrangent pas forcément son programme de gestion de production pour maintenir sa capacité de production. Le travail pendant ces heures entraine un accroissement de consommation et par suite, des coûts supplémentaires.

Pour y palier nous proposons :

- un entretien approprié des équipements qui permettra de réduire la fréquence des interventions curatives et accroîtra la fiabilité et la durée de vie des équipements et par conséquent une meilleure efficacité énergétique.
- Contrôle de l'isolation thermique (calorifugeage des conduites et des vannes...) ;
- Entretien préventif des machines, ventilateurs, compresseurs, suppresseurs d'air, filtres et changement des courroies et roulements usés d'une façon périodique.
- Suivre en continu ou à intervalle régulier l'état des équipements, afin de déterminer les besoins d'intervention,
- Interpréter les résultats,
- Faire le reporting,
- Elaborer et suivre les plans d'actions avec les services des réalisations.

Ceci permet d'éviter les arrêts de production et aussi d'optimiser les coûts et ressources.

3. L'énergie électrique (économie d'énergie) :

Dans la cimenterie Holcim de Fès, les moteurs consomment plus de 80% de la consommation électrique globale. Ce sont des convertisseurs d'énergie électrique en énergie mécanique. Durant cette conversion, une bonne partie de l'énergie est perdue sous forme de chaleur, vibration et bruit.

C'est pour cette raison que les moteurs sont devenus la cible la plus importante de la lutte contre les pertes électriques. Il faut dire aussi que la surconsommation électrique est le fantôme aspirateur d'argent qui hante la majorité des plus grandes industries mondiales. C'est pourquoi, nous nous sommes résolues à l'étude d'un mini-projet dont notre travail ne sera basé malheureusement que sur des données et des mesures mensuelles, vu la durée de notre stage, mais dont l'idée peut toujours servir pour les responsables de production souhaitant faire une étude plus poussée afin d'arriver à réaliser une efficacité énergétique, et donc la réduction de leurs coûts de fabrication.

Le projet consiste à réaliser avant toute chose un audit énergétique de 3 mois basé sur des mesures annuelles, détecter les anomalies causant toute perte ou dégât, et enfin aboutir à des solutions optimisant le fonctionnement des équipements en installant une nouvelle technologie (Power Optimizer) qui permet de réaliser une économie de l'ordre de 5% à 8% sur la consommation électrique des charges traitées.

Le power optimizer™ utilise une technologie basée sur l'utilisation de semi conducteurs allant de pair avec un système révolutionnaire permettant l'application industrielle de ce concept. Au cœur de ce dernier, il y'a un chip électronique breveté. Ce chip utilise des ondes de lumière infra -rouges spéciales pour stabiliser les électrons et réduire leur vibration.

La stabilisation des électrons qui forment le courant électrique, réduit la collision qui est la cause d'émission de chaleur et de perte d'énergie et qui normalement existe lorsque le courant électrique se déplace de la source vers la charge. Réduire ces collisions va créer un courant électrique plus efficace.

Le Power Optimizer™ donc, réduit la chaleur et la vibration électrique en stabilisant le courant électrique et entraînant les électrons à circuler d'une manière plus efficace.

Ceci a pour résultat la concentration des électrons au centre du conducteur, permettant au courant électrique de rencontrer moins de résistance et délivrer le maximum de puissance à la charge.

Ce travail est normalement, effectué par une société dont le cœur de métier est l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables.

Limitées par la durée de notre stage, notre projet ne se basera que sur les mesures décelées en mois d'Avril, pour le broyeur ciment. Il portera sur l'efficacité et la rentabilité du projet en moyennant la consommation avant et après l'installation du matériel, ainsi que son amortissement.

Le Power Optimizer permet de :

- Réduire le total kWh utilisé tout en délivrant une tension correcte à la charge
- Réduire la consommation de 5-8%.
- Avoir un système électrique très efficace.

Mesures électriques :

Les mesures effectuées au niveau de la puissance appelée sont la base du calcul pour déterminer la dimension des unités d'optimisation proposées.

Les moteurs sélectionnés pour ce traitement sont les moteurs les plus énergivores de la basse tension uniquement, sauf les moteurs dont la puissance nominale dépasse 18 KW ont été pris en considération.

Les mesures ont donné ce qui suit :

BK4	Puissance nominale	Puissance appelée	Après optimisation	Investissement envisagé (MAD)
SEPARATEUR	200	160	152	192000
MOT.ELEV.1 ALIM.SILOS CIM	55	44	41,8	52800
MOT.ELEV.2 ALIM.SILOS CIM	55	42	39,9	50400
CLIMATISEUR POUR SALLE P09	30	23,14	21,98	27768
MOT.ELEV. CK.	30	24	22,8	28800
POMPE A CARBURANT	28	14,4	13,68	17280
BANDE TRANSP.AJOUTS.2	22	17,6	16,72	21120
VENT.FILTRE DEPOUSS.CK.3	18,5	14,9	14,15	17880
BANDE TRANSP.CK.2	18,5	13,7	13,01	16440
MOT.ELEV. AJOUTS	18,5	14	13,3	16800
MOT.ELEV. RECYCLAGE	18,5	14,7	13,9	17640
PMP.1. BP.RED.BRY.	18,5	14,2	13,49	17040
PMP.2. BP.RED.BRY.	18,5	14,1	13,39	16920
PMP.1 DEPOTAGE HUILE LOURDE	18,5	14,12	13,41	16944
PMP.2 DEPOTAGE HUILE LOURDE	18,5	14,11	13,4	16932
ARMOIRE COMPRESSEUR D'AIR.1	96,6	77,28	73,41	92736
ARMOIRE COMPRESSEUR D'AIR.2	96,6	77,28	73,41	92736
ARMOIRE COMPRESSEUR D'AIR.3	96,6	77,27	73,4	92724
COMPRESSEUR D'AIR.1	90	72	68,4	86400
COMPRESSEUR D'AIR.2	90	72,1	68,49	86520
COMPRESSEUR D'AIR.3	90	72,1	68,49	86520
PMP. 1 CIRCULATION EAU	18,5	14	13,3	16800
PMP. 2 CIRCULATION EAU	18,5	14	13,3	16800
PMP.EAU.1	18,5	14,1	13,39	16920
PMP.EAU.2	18,5	14,11	13,4	16932
PMP. A EAU	18,5	14	13,3	16800
Total	**1220,3**	**957,21**	**909,22**	**1148652**

Consommation projetée des moteurs sélectionnés de la section BK4

La puissance active appelée pour les moteurs sélectionnés de la section BK4 a été évalué à 957,21 kW en moyenne, la consommation des moteurs et le dimensionnement des modules d'optimisation ont été basé sur les appels réels et non pas sur les puissances nominales afin d'optimiser le traitement et réduire l'investissement.

- Puissance appelée : 957,21 kW
- Nombre d'heures de fonctionnement par an : 6697,68 h/an
- Energie active consommée : 957,21 kw x 6697,68 = 6 411 086,27 kWh/an
- Coût correspondant : 6 411 086,27 x 1 DH/kWh, soit 6 411 086,27 MAD.

Après l'installation du matériel, la consommation maximale sera :

- Puissance appelée : 909,22 kW
- Nombre d'heures de fonctionnement par an : 6697,68 h/an
- Energie active consommée : 909,22 kw x 6697,68 = 6 089 664.61 kWh/an
- Coût correspondant : 6 089 664.61 x 1 DH/kWh, soit 6 089 664.61 MAD.
- Le coût sera donc réduit d'au moins : 6 411 086,27 - 6 089 664.61 = 321 421.66 MAD/an.

Projet 1	Economie minimale	Investissement envisagé (MAD)	Economie projetée (MAD/an)	Temps de retour
Installation de modules d'optimisation Power optimizer	5%	1 148 652,00	321 421,60	**3 ans et 6 mois**

Le temps de retour à long terme sera de :

- $t = \frac{\textbf{Coûts de l'investissement}}{\textbf{Economie projetée}}$ = 1 148 652 / 321 421,60 = 3ans et 6mois.

4. Energie électrique (méthode du simplexe) :

Rappel :

La production de ciment par jour se fait suivant trois tranches horaires ; les heures pleines de 7h à 18h, les heures de pointe de 18h à 23h et les heures creuses de 23h à 7h dont le coût est respectivement : 1 MAD, 1.2 MAD et 0.8 MAD. Ce qui nous donne la répartition mensuelle suivante :

- 330h pour les heures pleines,
- 150h pour les heures de pointe,
- 240h pour les heures creuses,

Les arrêts se repartissent en : Arrêts programmés et arrêts non programmés qui sont les pannes.

Contrairement aux arrêts non programmés qui interviennent soudainement à n'importe quel moment, les arrêts programmés sont décidés et se déroulent durant les heures pleines.

La durée de la totalité des arrêts programmés intervenus en mois d'avril est de 137h.

La durée de la totalité des arrêts non programmés intervenus en mois d'avril est de 34.8h, Elle se repartit comme suit :

- 22.79h d'heures pleines.
- 4.16h d'heures de pointe.
- 7.85h d'heures creuses.

Le temps de marche est réparti comme suit :

- 232.15 d'heures creuses.
- 170.2 d'heures pleines.
- 145.84h des heures de pointe.

Le but est de minimiser le coût d'énergie électrique de façon à optimiser encore plus la répartition des heures de fonctionnement pour chaque type de ciment fabriqué à partir du modèle réel suivant :

Le temps de marche réel de chaque type de ciment est :

- 89.2h pour le CPJ 35,
- 346.8h pour le CPJ 45,
- 112.2h pour le CPJ 55,

Modélisation du programme :

Soient :

X_1 : nombre d'heures creuses nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 35.

X_2 : nombre d'heures pleines nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 35.

X_3 : nombre d'heures de pointes nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 35.

Y_1 : nombre d'heures creuses nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ45.

Y_2 : nombre d'heures pleines nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 45

Y_3 : nombre d'heures de pointes nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 45

Z_1 : nombre d'heures creuses nécessaires par mois pour fabriquer le CPJ 55.

Z_2 : nombre d'heures pleines nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 55.

Z_3 : nombre d'heures de pointes nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 55.

$X_1+X_2+X_3 = 89.2$

$Y_1+Y_2+Y_3 = 346.8$h.

$Z_1+Z_2+Z_3 = 112.2$.

$X_1 + Y_1 + Z_1 \leq 232.15$

$X_2 + Y_2 + Z_2 \leq 170.2$

$X_3 + Y_3 + Z_3 \leq 145.84$

MIN $[(0.8*X_1)+(1*X_2)+(1.2*X_3)]*34.43*115 + [(0.8*Y_1)+(1*Y_2)+(1.2*Y_3)]*39.95*115 + [(0.8*Z_1) + (1*Z_2) + (1.2*Z_3)]*53.4*90$

MIN $[\ 3167.56\ X_1 + 3959.45\ X_2 + 4751.31\ X_3\ ] + [\ 3675.4\ Y_1 + 4594.25\ Y_2 + 5513.1\ Y_3\ ] + [\ 3844.8\ Z_1 + 4806\ Z_2 + 5767.2\ Z_3\ ]$

Nous avons conçu le programme de résolution de ce problème dans un tableau excel et qui a donné la solution ci-dessous :

$X_1 = 0$; $Y_1 = 232.15$; $Z_1 = 0$,

$X_2 = 55.56$; $Y_3 = 114.64$; $Z_2 = 0$,

$X_3 = 33.64$; $Y_4 = 0$; $Z_3 = 112.2$,

Avec un coût optimal de 2 406 829.88 MAD/mois.

Il aurait été donc souhaitable, de produire le CPJ 35 dans 55.56 heures pleines et 33.64 heures de pointe, le CPJ 45 dans 232.15 heures creuses et 114.64 heures pleines. Quant au CPJ 55, seules les heures de pointes seraient choisies.

Le coût total de la consommation électrique avant optimisation était de :

CPJ	Coût total de la consommation (MAD) - Avril-12
35	**c** = **[** (42.30*1) + (15.70*1.2) + (31.20*0.8) **]** * 115 * 34.43 = **340 908.645**
45	**c** = **[** (78.60*1) + (96.40*1.2) + (171.80*0.8) **]** * 115 * 39.95 = **1 524 004.61**
55	**c** = **[** (49.31*1) + (33.74*1.2) + (29.15*0.8) **]** * 90 * 53.40 = **513 645.108**
Montant (MAD)	= **2 408 558.363**

Ce programme d'optimisation permettra à Holcim de gagner :

2 408 558.636 - 2 406 829.88 = 1 728.76 MAD / mois

= 1 728.76 * 12 = 20 745.12 MAD/an.

Conclusion:

Toute entreprise cherche à optimiser les coûts de production pour augmenter ses bénéfices.

Au cours de notre stage nous avons eu l'occasion d'optimiser les coûts de production qui ont constitué notre mission de stage. Pour réussir cette mission, nous avons commencé par le calcul des coûts de production (fixes et variables) à l'aide de la méthode ABC. Malgré la complexité de cette mission, vu l'ultime confidentialité des données indispensables à la réalisation de ce projet. Ceci a nécessité la collecte des informations de plusieurs services.

A l'étape d'optimisation nos efforts et recherches ont abouti aux propositions suivantes :

- Une gestion optimale des heures de fabrication à l'aide d'une modélisation linéaire résolue par la méthode du simplexe, de façon à minimiser le coût de la consommation électrique. Cette dernière nous a permis un gain de 20 745.12 MAD/an.

- Un projet thermique pour déblayer l'humidité des matières premières sans utilisation de fuel. Il a permis à la société de réaliser un gain de 321 421,60 MAD/an.

- Un projet électrique pour optimiser le fonctionnement des équipements en installant une nouvelle technologie (power optimizer) qui permet de réaliser une économie l'ordre de 5% sur la consommation électrique des charges traitées. Et par suite un gain de 321 421,60 MAD/an.

- Des propositions pour améliorer le service maintenance après avoir estimé l'ensemble des arrêts, et l'inducteur MTBF.

Ces solutions procurent un gain annuel d'au moins : 5 821 415.2 MAD/an.

Il faut noter que nous n'avons pas pu procéder à plusieurs études pour apporter des conclusions définitives car ces premières conclusions obtenues devaient faire l'objet de confirmation par d'autres études.

Nous souhaitons que la société continue le travail que nous avons entamé pour continuer à réaliser d'autres solutions permettant la réduction des coûts de production et l'augmentation de sa marge de bénéfice.

Bibliographie:

http://www.greentechenergy.ma/GTE/qui-sommes-nous.html

http://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique_(thermodynamique)

http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Logistique/Couts-complets.htm

http://fr.wikipedia.org/wiki/Activity-based_costing

http://fr.wikipedia.org/wiki/Temps_moyen_entre_pannes

Cours de programmation linéaire étudié en S5