Liste des abréviations

CES : Consommation Electrique Spécifique.

CPJ : Ciment Portland Composé.

HC : Heures Creuses.

HPL : Heures Pleines.

HP : Heures de Pointe.

HSP : Heures de Super Pointe.

MAD : Dirham Marocain.

MTBF : Mean Time Between Failures.

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur.

5M : Matériel, Matière, Milieu, Méthode, Main d'œuvre.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fiche signalétique de LafargeHolcim-Maroc……..……...2

Tableau 2 : Répartition des tranches horaires à l'usine de Fès-Ras El Ma……12

Tableau 3 : Relevé de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 selon chaque tranche horaire…….....12

Tableau 4 : Relevé de la production, de l'énergie électrique consommée et de la CES du broyeur ciment durant le mois Mars 2018……..…14

Tableau 5 : Les arrêts imprévus intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018…….…..18

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des données pour l'élaboration du diagramme de Pareto des arrêts imprévus intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018……..….20

Tableau 7 : L'ensemble des arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 ……...…21

Tableau 8 : Valeurs des temps de fonctionnement du compresseur en charge..26

Tableau 9 : Plan d'action élaboré pour remédier aux arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018……..……29

Tableau 10 : Le prix du KWh pour chaque tranche horaire…….....…….30

Tableau 11 : Le coût des recommandations proposées……..……30

Tableau 12 : Relevé des consommations d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 avant l'optimisation……...…31

Tableau 13 : Relevé des consommations d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 après l'optimisation…….……..31

Liste des figures

Figure 1 : Usine de Fès-Ras El Ma……..……....……3

Figure 2 : Organigramme de l'usine de Fès-Ras El Ma……...3

Figure 3 : Présentation de l'atelier de broyage du clinker……..8

Figure 4 : Broyeur ciment……..…10

Figure 5 : Broyeur cru……...…….11

Figure 6 : Diagramme d'évolution de la CES journalière du broyeur ciment durant le mois Mars 2018……....15

Figure 7 : Diagramme d'Ishikawa des causes de la surconsommation d'énergie électrique du broyeur ciment……....……..16

Figure 8 : Diagramme de Pareto des arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018……20

Sommaire

Introduction générale ……..……...…1

Chapitre I : **Présentation de l'entreprise LafargeHolcim**

I. Présentation de LafargeHolcim…….....……..…2

1. Fiche signalétique de LafargeHolcim-Maroc ……..…....…2
2. Services d'activité de LafargeHolcim-Maroc……..….....2

II. Présentation de l'usine de Fès-Ras El Ma ……...……...2

1. Organigramme de l'usine de Fès-Ras El Ma…….....……3

III. Généralités sur le ciment…….……...……....4

1. Définition du ciment…….....…..…4
2. Composition du ciment……...……...……...4

IV. Description du processus de fabrication du ciment à LafargeHolcim.....4

1. Types de procédés de fabrication du ciment à LafargeHolcim……....4
2. Processus de fabrication du ciment à LafargeHolcim……..5

V. Conclusion…….....6

VI. Problématique et cahier des charges……..…..…....7

Chapitre II : **Etude énergétique du broyeur ciment**

I. Introduction…….....8

II. Description de l'atelier de broyage du clinker……..……8

1. Définition du broyage……...……..…8
2. Equipements de l'atelier de broyage du clinker……...……..…...…8
3. Types des broyeurs……..……9
   3.1. Broyeur vertical à galets ……...……9
   3.2. Broyeur horizontal à boulets…….....11

III. Etude énergétique du broyeur ciment……...……..…11

1. Etude de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment.…11

IV. Conclusion…….....15

<u>Chapitre III</u> : Analyse des causes de la surconsommation d'énergie électrique du broyeur ciment

I. Introduction……...……..……16

II. Analyse des causes de la surconsommation d'énergie électrique du broyeur ciment…….……...…….……..…16

1. Présentation du diagramme d'Ishikawa……...……....…16

2. Analyse des causes par le diagramme d'Ishikawa…….....……..…17

2.1. Granulométrie de la matière……....……17

2.2. Usure du broyeur ciment ……..…..…17

2.3. Arrêts…….....…17

2.3.1. Analyse Pareto.....….....19

2.3.2. Calcul du MTBF……...…21

2.4. Airs faux…….…….25

2.5. Fuites d'air comprimé……..……..……....25

III. Conclusion……..….…….26

<u>Chapitre IV</u> : Recommandations et solutions

I. Recommandations pour réduire les pertes énergétiques du broyeur ciment……...…28

1. Solutions……...….....28

1.1. Fuites d'air comprimé……...……...…..29

1.2. Granulométrie de la matière……..…….28

1.3. Arrêts…….....……28

1.4. Usure du broyeur ciment…….....…...29

2. Calcul du gain……..…….....30

<u>Conclusion générale</u>……...……33

<u>Bibliographie</u>……...…...…34

Introduction générale

L'énergie électrique représente une partie importante du coût de revient d'une cimenterie. Ces dernières années, les cimenteries ont fait d'importants efforts pour réduire leur consommation d'énergie électrique et alléger les coûts de production avec des équipements moins énergivores. Mais cette évolution a créé des contraintes qui doivent être maîtrisées pour satisfaire aux exigences de qualité et de productivité.

En fait, le broyage qui constitue une étape incontournable dans le processus de fabrication du ciment consomme près de 60% de l'énergie électrique dans une cimenterie.

C'est dans ce contexte et dans le cadre de mon projet de fin d'études que LafargeHolcim m'a accordé l'opportunité de contribuer à l'optimisation de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment qui joue un rôle très important dans la fabrication du ciment.

Ma démarche d'optimisation débute par effectuer un suivi de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment, recenser et analyser les causes de la surconsommation au niveau de ce dernier afin de trouver des solutions d'amélioration qui mènent à un résultat optimal.

Mon rapport contient les quatre chapitres suivants :

- **Le 1er chapitre :** décrit brièvement l'entreprise et son processus de fabrication du ciment et présente la problématique du sujet qui consiste à trouver des solutions pour remédier aux facteurs influant la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment dans l'objectif d'optimiser cette dernière.
- **Le 2ème chapitre :** présente d'une façon détaillée le circuit de broyage et particulièrement le broyeur ciment ainsi qu'une étude sur sa consommation d'énergie électrique.
- **Le 3ème chapitre :** est chargé de l'analyse des facteurs influant la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment et les traites d'une façon détaillée par le diagramme d'Ishikawa.
- **Le 4ème chapitre :** est réservé aux recommandations et solutions afin de remédier aux pertes d'énergie électrique engendrées par les causes étudiées dans le chapitre qui précède.

Chapitre I :

Présentation de LafargeHolcim

Rapport-Gratuit.com

I. Présentation de LafargeHolcim :

LafargeHolcim est une société anonyme à droit privé qui compte parmi les leaders au niveau mondial dans la production et la commercialisation des matériaux de construction et particulièrement le ciment.

Aujourd'hui LafargeHolcim est présente dans différentes régions du Maroc, elle exploite trois cimenteries à Oujda, Fès et Settat, un centre de broyage, d'ensachage et de distribution à Nador, ainsi qu'un centre de distribution à Casablanca.

1. Fiche signalétique de LafargeHolcim-Maroc :

Raison sociale	LafargeHolcim-Maroc
Activité	**production et commercialisation des matériaux de construction**
Capital social	**91.000.000 MAD**
Capacité de production	**4.500.000 t/an**
Nombre de personnel	**90.000 employés**

Tableau 1 : Fiche signalétique de LafargeHolcim-Maroc.

2. Services d'activité de LafargeHolcim-Maroc :

- Service de contrôle qualité.
- Service de sécurité et environnement.
- Service des ressources humaines.
- Service de comptabilité.
- Service de production.
- Service de maintenance.

II. Présentation de l'usine de Fès-Ras El Ma :

L'usine de Fès-Ras El Ma (figure 1), utilise le procédé de fabrication à voie sèche, il comporte des ateliers de : Concassage, broyage du cru, stockage de la farine, cuisson de la farine, stockage du clinker, broyage des combustibles, broyage du clinker, ensachage et expédition du ciment.

Sa capacité de production peut atteindre jusqu'au 50.000 t/mois de ciment.

Figure 1 : Usine de Fès-Ras El Ma.

1. Organigramme de l'usine de Fès-ras El Ma :

L'organigramme de l'usine de Fès-Ras-El Ma se présente sous la forme suivante (figure 2) :

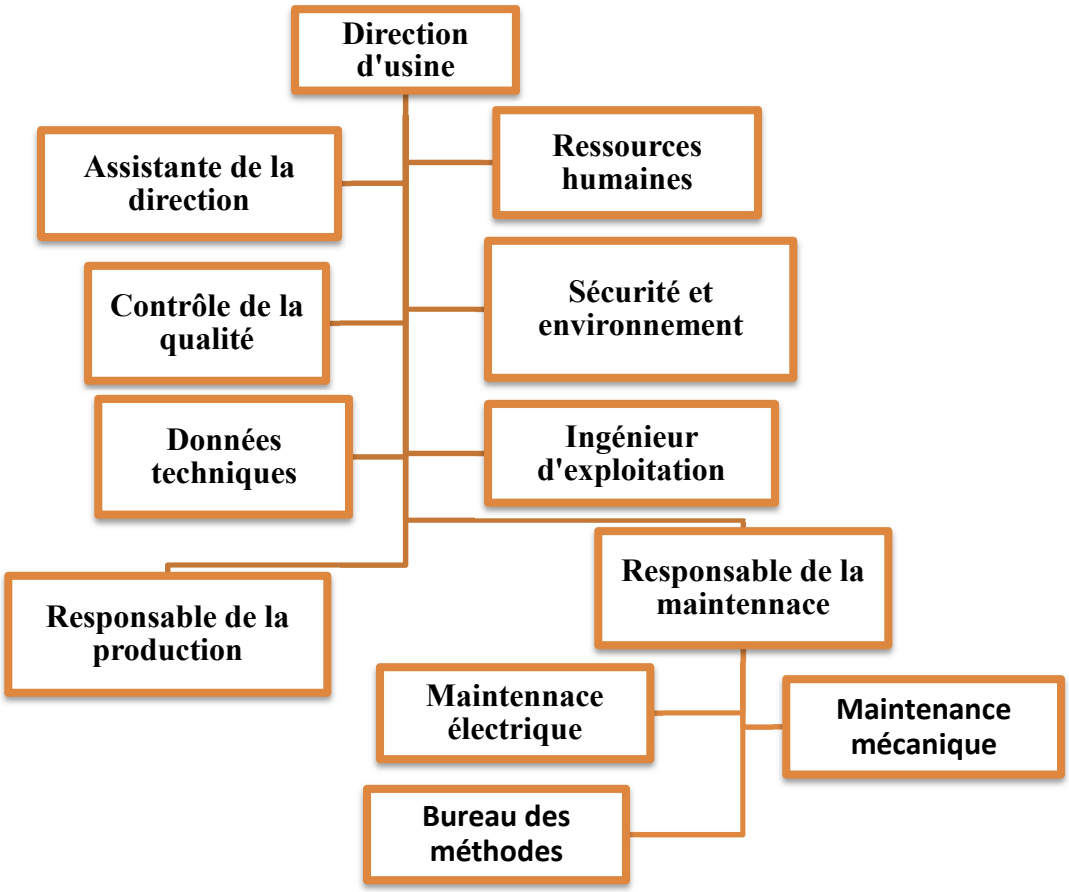

Figure 2 : Organigramme de l'usine de Fès-Ras El Ma.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

IV. Généralités sur le ciment :

1. Définition du ciment :

Le ciment est un liant hydraulique sous forme de poudre minérale finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

2. Composition du ciment :

Les matières premières principales qui composent le ciment sont les suivantes :

- Le calcaire.
- Le fer.
- Le schiste.
- Le gypse.
- La pouzzolane.
- Le sable.

Les types du ciment fabriqués par l'usine de Fès-Ras El Ma sont :

- **Perfecto :** ciment portland composé.
- **CPJ 45 :** ciment portland composé (60 % clinker, 11% calcaire et 5% gypse).
- **CPJ 55 :** ciment portland composé (76 % clinker, 19% calcaire et 5% gypse).
- **Prefa.**
- **LHR :** Liant Hydraulique Routier.

V. Description du processus de fabrication du ciment à LafargeHolcim :

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige une maîtrise des techniques de production accompagnée des contrôles continus de la qualité. Ainsi, la production du ciment consiste à deux étapes importantes :

- La production du clinker par cuisson de la matière première préalablement broyée et mélangée.
- La fabrication du ciment par broyage du clinker.

1. Types de procédés de fabrication du ciment à LafargeHolcim :

Ils existent quatre principaux procédés de fabrication du ciment :

- **La voie humide :** La matière première, après son concassage est délavée dans l'eau, puis broyée en humide. La farine obtenue est homogénéisée, puis alimente le four rotatif. Cette méthode est abandonnée pour des raisons d'économie d'énergie.

- **<u>La voie semi-humide</u> :** La matière première, après son concassage est délavée dans l'eau, puis broyée en humide. La farine obtenue est homogénéisée, puis séchée avant son entrée dans le four rotatif.
- **<u>La voie semi-sèche</u> :** La matière première, après son concassage est délavée dans l'eau, puis broyée en humide. La farine obtenue est homogénéisée, puis séchée. Elle passe d'abord dans un granulateur où elle est humidifiée avant son entrée dans le four rotatif.
- **<u>La voie sèche</u> :** C'est la plus utilisée et la plus économique. La matière première, une fois concassée, est broyée à sec, homogénéisée, et avant l'entrée au four rotatif, elle est chauffée à travers la tour de préchauffage contenant des cyclones. Cette voie est plus rentable et plus optimale au niveau énergétique.

2. Processus de fabrication du ciment à LafargeHolcim :

- **La carrière :** La carrière en cimenterie constitue la source en matières premières (calcaire, schiste, argile et matières de correction), qui sont extraites sous forme de blocs de dimensions très variées.
- **Le concassage :** En vue d'optimiser et faciliter le stockage et la manutention des matières premières, les blocs extraits au niveau de la carrière sont introduit au niveau du concasseur pour réduire leur dimension.
- **Le transport des matières premières.**
- **La pré-homogénéisation :** La pré-homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulière du mélange des matières premières. Des analyses sont faites dans le laboratoire sur des échantillons pris du mélange. Les résultats de ces analyses permettent de définir les corrections nécessaires à apporter au mélange (appelé cru) des matières premières.
- **Le broyage du cru :** Le broyage du cru est une opération qui consiste à préparer un mélange homogène (la farine). La farine obtenue est stockée dans un silo après avoir subi une opération d'homogénéisation pour obtenir une composition chimique régulière.
- **Le dépoussiérage :** Le transport de la farine par des aéroglissières risque de générer des poussières. Le système de dépoussiérage consiste à éliminer les émissions des poussières par l'utilisation des filtres à manches pour une meilleure protection de l'environnement.
- **Le préchauffage de la farine :** Le préchauffage de la farine se réalise dans une tour de préchauffage à 5 cyclones. En fait, la farine est introduite au pied de la tour de préchauffage. Par la suite, elle est manutentionnée jusqu'au cinquième étage. Cette étape consiste à sécher et déshydrater partiellement la farine.

- **La cuisson de la farine :** Le four rotatif est un cylindre en acier dans lequel la farine est transformée en clinker par la cuisson durant laquelle, le four rotatif est animé d'un mouvement de rotation ce qui permet à la farine de devenir clinkérisée à la température de 1450 °C. L'énergie thermique nécessaire pour assurer la cuisson de la farine dans le four rotatif, est produite par la combustion du pet coke qui est introduit dans le four par une tuyère spéciale. En plus du pet coke, on utilise les huiles usagées, les pneus déchiquetés,…etc.

- **Le refroidissement du clinker :** Le refroidisseur permet de baisser la température du clinker sortant du four rotatif jusqu'à 120 °C pour faciliter sa manutention jusqu'au broyeur ciment et son stockage dans le silo à clinker.
- **Le stockage du clinker :** Le clinker est stocké dans des silos à clinker qui d'une part, confèrent à l'atelier de broyage du clinker (étape suivante) une autonomie de fonctionnement en cas d'arrêt imprévu du four rotatif et d'autre part, protègent le clinker d'une dégradation physico-chimique que causerait le stockage prolongé à l'air libre.
- **Le broyage du clinker :** Le clinker et les ajouts (gypse, calcaire et pouzzolane) sont introduits au niveau du broyeur ciment par un système de dosage automatique, pour se broyer et produire ainsi le ciment.
- **L'expédition du ciment :** Les expéditions comprennent le stockage du ciment dans des silos à ciment pour alimenter par la suite les ateliers d'ensachage pour l'expédition du ciment.

V. Conclusion :

Tout cet enchainement d'ateliers entrainant le processus de fabrication du ciment au sein de l'usine de Fès-Ras El Ma ne serait entièrement effectif que si ce dernier est maîtrisé et géré dans un cadre garantissant la disponibilité et la performance des équipements tout en n'oubliant pas la qualité de ciment fabriqué.

VI. Problématique et cahier des charges :

La réduction de la consommation d'énergie électrique représente une priorité majeure de l'industrie cimentière.

En fait, le broyage qui constitue une étape très importante dans le processus de fabrication du ciment consomme près de 60% de l'énergie électrique dans une cimenterie.

C'est la raison pour laquelle mon encadrant à la société m'a proposé ce sujet qui consiste à optimiser la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment.

Afin d'assurer une bonne gestion énergétique, il est nécessaire que l'usine respecte l'objectif fixé en **CES** qui est de **29 KWh/t** pour limiter la surconsommation d'énergie électrique au niveau du broyeur ciment, ainsi elle doit respecter aussi l'objectif fixé en **MTBF** qui est de **225 h** pour réduire les marches à vide et l'indisponibilité des équipements constituant le broyeur ciment.

Pour mener à bien mon projet, mon travail consiste à réaliser :

- Une étude énergétique du broyeur ciment afin de calculer sa CES durant le mois Mars 2018. (Chapitre II)
- Une analyse à partir du diagramme d'Ishikawa des causes influent sur la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment, et particulièrement des cinq causes suivantes :
    - La granulométrie de la matière.
    - L'usure du broyeur ciment.
    - Les arrêts.
    - Les airs faux.
    - Les fuites d'air comprimé. (Chapitre III)
- Une étude des arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 à partir d'une analyse Pareto. (Chapitre III)
- Des recommandations et des solutions afin de réduire les pertes d'énergie électrique étudiées. (Chapitre IV)

Chapitre II :

Etude énergétique du broyeur ciment

I. Introduction :

Les étapes du processus de fabrication du ciment sont très énergivores, en particulier le broyage du clinker qui représente 40% de l'énergie électrique consommée dans une cimenterie.

Afin d'assurer une bonne gestion de l'énergie électrique consommée par le broyeur ciment, il est nécessaire d'effectuer une étude énergétique basée sur des données qui portent sur le mois Mars 2018.

II. Description de l'atelier de broyage du clinker :

1. Définition du broyage :

Le broyage est une opération qui consiste à exercer des forces de compression et de cisaillement sur le clinker et les ajouts afin de réduire leur dimension.

2. Equipements de l'atelier de broyage du clinker :

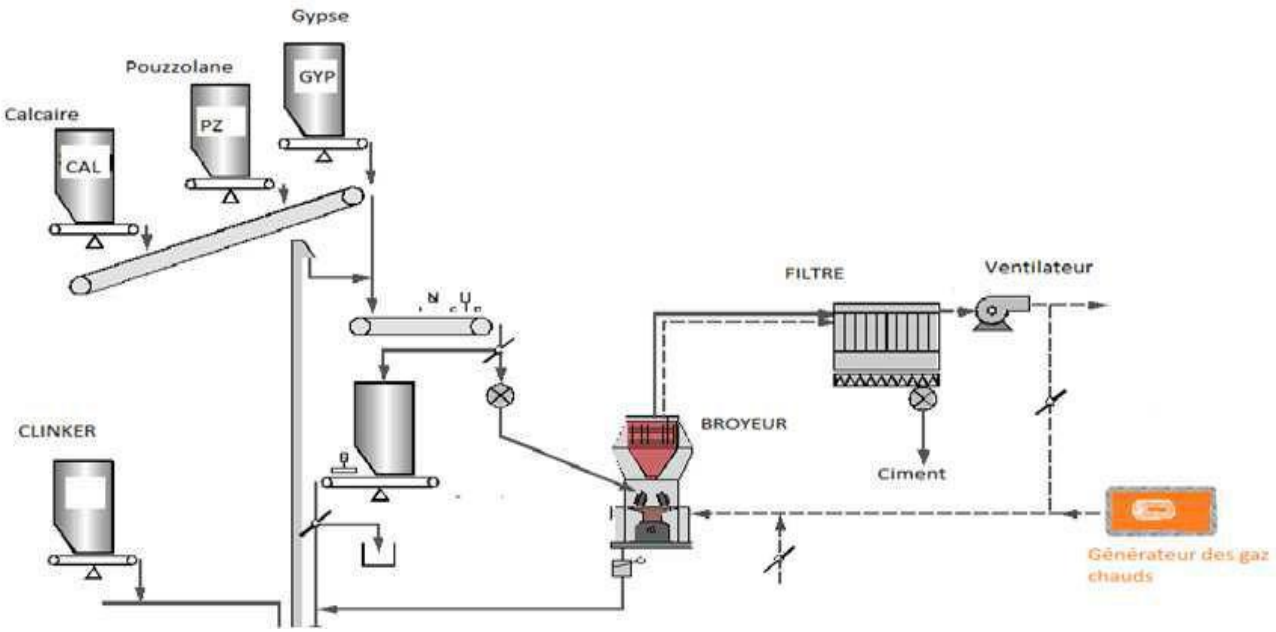

Figure 3 : Présentation de l'atelier de broyage du clinker.

L'atelier de broyage du clinker (figure 3) est composé successivement des équipements principaux suivants :

- Des doseurs pour le dosage des proportions nécessaires du clinker et des ajouts par un système automatique pour chaque type de ciment.
- Un broyeur ciment pour le broyage du clinker et des ajouts.
- Un filtre à manches pour le dépoussiérage.

- Un ventilateur qui assure le fonctionnement des filtres à manches par la génération d'air comprimé.
- Un générateur des gaz chauds qui est un foyer où le fuel est brûlé en produisant des gaz chauds pour le séchage du clinker et des ajouts.

3. Types des broyeurs :

3.1. Broyeur vertical à galets :

Le broyeur à galets est un équipement adéquat pour le broyage et le séchage des matériaux humides. Il est plus productif et dispose d'une haute force de broyage, pour des résultats très satisfaisants. Le broyeur à galets réalise trois fonctions principales dans une seule machine :

- Le broyage.
- Le séchage.
- La séparation.

On distingue deux types de broyeur à galets :

- **Broyeur ciment :** Il réalise le broyage du clinker et des ajouts (calcaire, gypse et pouzzolane) qui donnent au ciment les propriétés spécifiques correspondant aux différents types de ciment.

→ Les équipements composants le broyeur ciment sont les suivants :

- **Le séparateur :** Il sépare les particules fines des particules grossières. Les particules fines sont entraînées comme produit fini (ciment) par le flux des gaz chauds en-dehors du broyeur ciment, alors que les particules grosses sont renvoyées pour un broyage ultérieur.
- **Les galets :** Elles exercent des forces de compression et de cisaillement sur la matière à broyer.
- **Le moteur :** Il transforme l'énergie électrique en énergie mécanique.
- **La goulotte :** Elle transmet la matière à broyer vers le centre du plateau de broyage.

→ Description du fonctionnement du broyeur ciment :

La matière à broyer (clinker + ajouts) est introduite dans le broyeur ciment (figure 4) au moyen d'un SAS qui régule son débit. Cette dernière est dirigée par la goulotte vers le centre du plateau de broyage. Les corps étrangers transportés avec la matière sont extraits par séparation magnétique en amont du SAS et tombent dans la trémie des rejets. Dès que la matière à broyer se place sur le centre de broyage, son contenu en humidité s'évapore spontanément au contact avec le flux des gaz chauds produit par le générateur des gaz chauds et s'écrase par la force appliquée par les galets. Par la suite, la matière broyée se transporte à

l'aide du flux vertical des gaz chauds vers le séparateur. Ce dernier sépare les particules fines de celles grosses. Les particules fines sont séparées du flux des gaz chauds par un filtre procès et collectées comme produit fini en-dehors du broyeur ciment, par contre, les particules grosses retournent en recirculation vers le centre du plateau de broyage pour un broyage ultérieur.

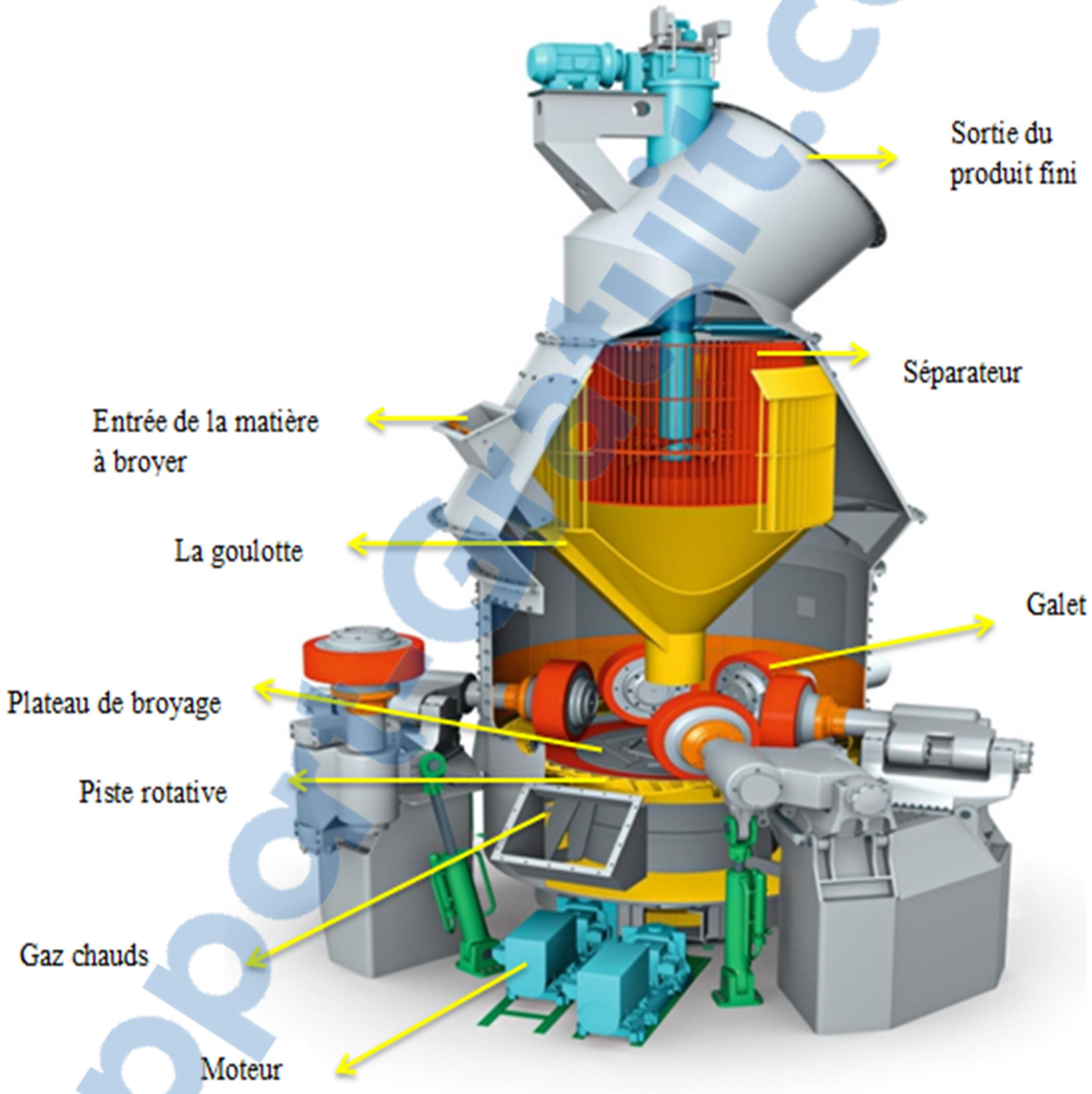

Figure 4: Broyeur ciment.

- **Broyeur cru :** Après le concassage des matières premières, le broyeur cru (figure 5) les réduit à l'état de la farine.

Figure 5 : Broyeur cru.

3.2. Broyeur horizontal à boulets :

Le broyeur à boulets a la forme d'un gros cylindre. Il est apte à fonctionner aux conditions sèches ou humides ; tel que le broyage primaire se fait dans la première chambre ensuite, la matière à broyer entre dans la deuxième chambre où elle est broyée profondément.

III. Etude énergétique du broyeur ciment :

1. Etude de la consommation électrique du broyeur ciment :

Définition de la CES : La CES est le rapport entre l'énergie électrique consommée par le broyeur ciment et la quantité de ciment produite. Son unité est le KWh/t.

Le calcul de la CES se fait suivant la formule suivante :

$$\mathbf{CES}\left(\mathbf{KWh}/\mathbf{t}\right) = \frac{\mathbf{Energie\ électrique\ consommée\ (KWh)}}{\mathbf{Production\ (t)}}$$

Le tableau suivant (tableau 3) représente les différentes tranches horaires à l'usine de Fès-Ras El Ma, ainsi que leur répartition horaire :

Tranches horaires	Répartition horaire
Heures creuses	**De 23h à 07h**
Heures pleines	**De 07h à 18h**
Heures de pointe	**De 18h à 19h et de 21h à 23h**
Heures de super pointe	**De 19h à 21h**

Tableau 2 : Répartition des tranches horaires à l'usine de Fès-Ras El Ma.

Afin de mener une étude énergétique complète, j'ai fait un suivi de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

Le tableau ci-dessous (tableau 3) regroupe la consommation d'énergie électrique journalière du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 pour chaque tranche horaire :

Date	Energie électrique consommée en (KWh)				
	HC	HPL	HP	HSP	Total d'énergie électrique consommée en (KWh)
01/03/2018	20047,58	25059,47	2505,95	2505,95	50118,95
02/03/2018	18286,33	22857,91	2285,79	2285,79	45715,83
03/03/2018	10284,98	12856,23	1285,62	1285,62	25712,46
04/03/2018	4470,33	5587,91	558,79	558,79	11175,83
05/03/2018	14719,35	18399,19	1839,92	1839,92	36798,37
06/03/2018	7042,64	8803,3	880,33	880,33	17606,59
07/03/2018	735,86	919,83	91,98	91,98	1839,66
08/03/2018	12843,58	16054,47	1605,45	1605,45	32108,94
09/03/2018	13810,77	17263,46	1726,35	1726,35	34526,92
10/03/2018	9378,83	11723,54	1172,35	1172,35	23447,08
11/03/2018	1687,26	2109,08	210,91	210,91	4218,16
12/03/2018	24846,22	31057,78	3105,78	3105,78	62115,56
13/03/2018	24325,21	30406,51	3040,65	3040,65	60813,02
14/03/2018	23509,46	29386,82	2938,68	2938,68	58773,65
15/03/2018	23934,87	29918,58	2991,86	2991,86	59837,16
16/03/2018	15908,31	19885,39	1988,54	1988,54	39770,78
17/03/2018	3029,81	3787,26	378,73	378,73	7574,52
18/03/2018	9909,15	12386,44	1238,64	1238,64	24772,88
19/03/2018	24540,64	30675,8	3067,58	3067,58	61351,6

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

20/03/2018	18387,61	22984,51	2298,45	2298,45	45969,02
21/03/2018	18005,4	22506,75	2250,68	2250,68	45013,51
22/03/2018	17631,24	22039,05	2203,9	2203,9	44078,09
23/03/2018	24057,22	30071,53	3007,15	3007,15	60143,06
24/03/2018	13938,47	17423,09	1742,31	1742,31	34846,17
25/03/2018	1191,24	1489,05	148,91	148,91	2978,1
26/03/2018	20138,58	25173,23	2517,32	2517,32	50346,46
27/03/2018	24869,23	31086,54	3108,65	3108,65	62173,09
28/03/2018	23772,35	29715,43	2971,54	2971,54	59430,86
29/03/2018	34572,58	43215,72	4321,57	4321,57	86431,44
30/03/2018	27274,78	34093,47	3409,35	3409,35	68186,94
31/03/2018	29186,86	36483,57	3648,36	3648,36	72967,14
Total	516336,75	645420,93	64542,09	64542,09	1290841,86

Tableau 3 : Relevé de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 selon chaque tranche horaire.

Le tableau suivant (tableau 4) représente la production du ciment, l'énergie électrique consommée et la CES du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 :

Date	Production en (t)	Energie électrique consommée en (KWh)	CES en (KWh/t)
01/03/2018	1420	50118,95	35,30
02/03/2018	1300	45715,83	35,17
03/03/2018	800	25712,46	32,14
04/03/2018	400	11175,83	27,94
05/03/2018	1091	36798,37	33,73
06/03/2018	1091	17606,59	16,14
07/03/2018	64	1839,66	28,74
08/03/2018	1166	32108,94	27,54
09/03/2018	1438	34526,92	24,01
10/03/2018	46	23447,08	509,72
11/03/2018	855	4218,16	4,93
12/03/2018	2271	62115,56	27,35
13/03/2018	2201	60813,02	27,63
14/03/2018	1982	58773,65	29,65

15/03/2018	2087	59837,16	28,67
16/03/2018	582	39770,78	68,33
17/03/2018	764	7574,52	9,91
18/03/2018	823	24772,88	30,10
19/03/2018	2125	61351,6	28,87
20/03/2018	715	45969,02	64,29
21/03/2018	1503	45013,51	29,95
22/03/2018	807	44078,09	54,62
23/03/2018	2222	60143,06	27,07
24/03/2018	421	34846,17	82,77
25/03/2018	178	2978,1	16,73
26/03/2018	2111	50346,46	23,85
27/03/2018	2281	62173,09	27,26
28/03/2018	2211	59430,86	26,88
29/03/2018	1708	86431,44	50,60
30/03/2018	569	68186,94	119,84
31/03/2018	2283	72967,14	31,96
Total	**39 515**	**1 290 841,86**	**32,66**

Tableau 4 : Relevé de la production, de l'énergie électrique consommée et de la CES du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

➔ La CES du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 pour une quantité de ciment produite de **39515 t** est alors :

CES = 1 290 841,86 KWh / 39 515 t = 32,66 KWh/t.

Le diagramme suivant (figure 6) comportera l'évolution de la CES journalière du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 calculée précédemment :

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

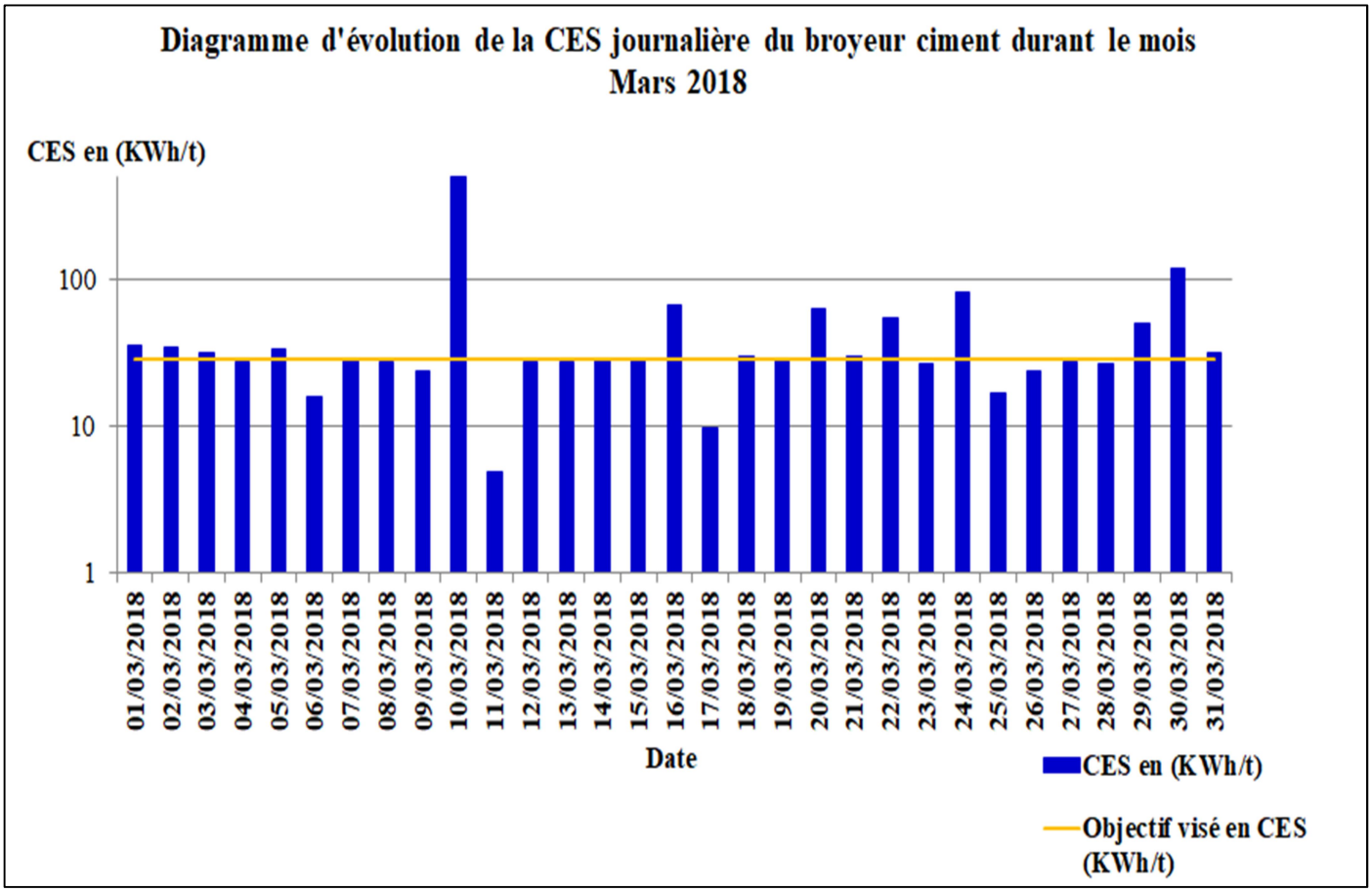

Figure 6 : Diagramme d'évolution de la CES journalière du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

➔ Interprétation du diagramme :

Le diagramme ci-dessus (figure 6) représente les fluctuations de la CES journalière calculée du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 en les comparants avec l'objectif visé en CES en un seul mois qui est de **29 KWh/t**. On remarque donc suite au diagramme que la CES dépasse l'objectif visé dans certains jours du mois Mars 2018. Cela se traduit par des pertes d'énergie électrique qui représentent **3,66 KWh/t** puisque la CES calculée est de **32,66 KWh/t**. Ces pertes sont dues à plusieurs facteurs qui vont être analysés par la suite.

IV. Conclusion :

Suite à cette étude énergétique qui a regroupé le suivi de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment ainsi que le calcul de sa CES du mois Mars 2018, on remarque qu'il y ait une surconsommation d'énergie électrique due à plusieurs causes qui vont être analysées dans le chapitre suivant.

Chapitre III :

Analyse des causes de la surconsommation d'énergie électrique du broyeur ciment

I. Introduction :

Plusieurs facteurs perturbent le fonctionnement normal du broyeur ciment, et par conséquent, causent une surconsommation d'énergie électrique au niveau de ce dernier. Pour cela, toute proposition ou solution ne doit être prise en considération qu'après une analyse bien détaillée des causes.

II. Analyse des causes de la surconsommation d'énergie électrique du broyeur ciment :

1. Présentation du diagramme d'Ishikawa :

Il est nécessaire de remonter aux causes de la surconsommation d'énergie électrique au niveau du broyeur ciment grâce à un diagramme d'Ishikawa qui illustre une représentation bien structurée de l'ensemble de ses causes qui seront étudiées par la suite.

Le diagramme suivant (figure 7) comprend des facteurs identifiés et catégorisés selon la règle des **5M** (**M**atière, **M**ilieu, **M**éthode, **M**ain d'œuvre, **M**achine) :

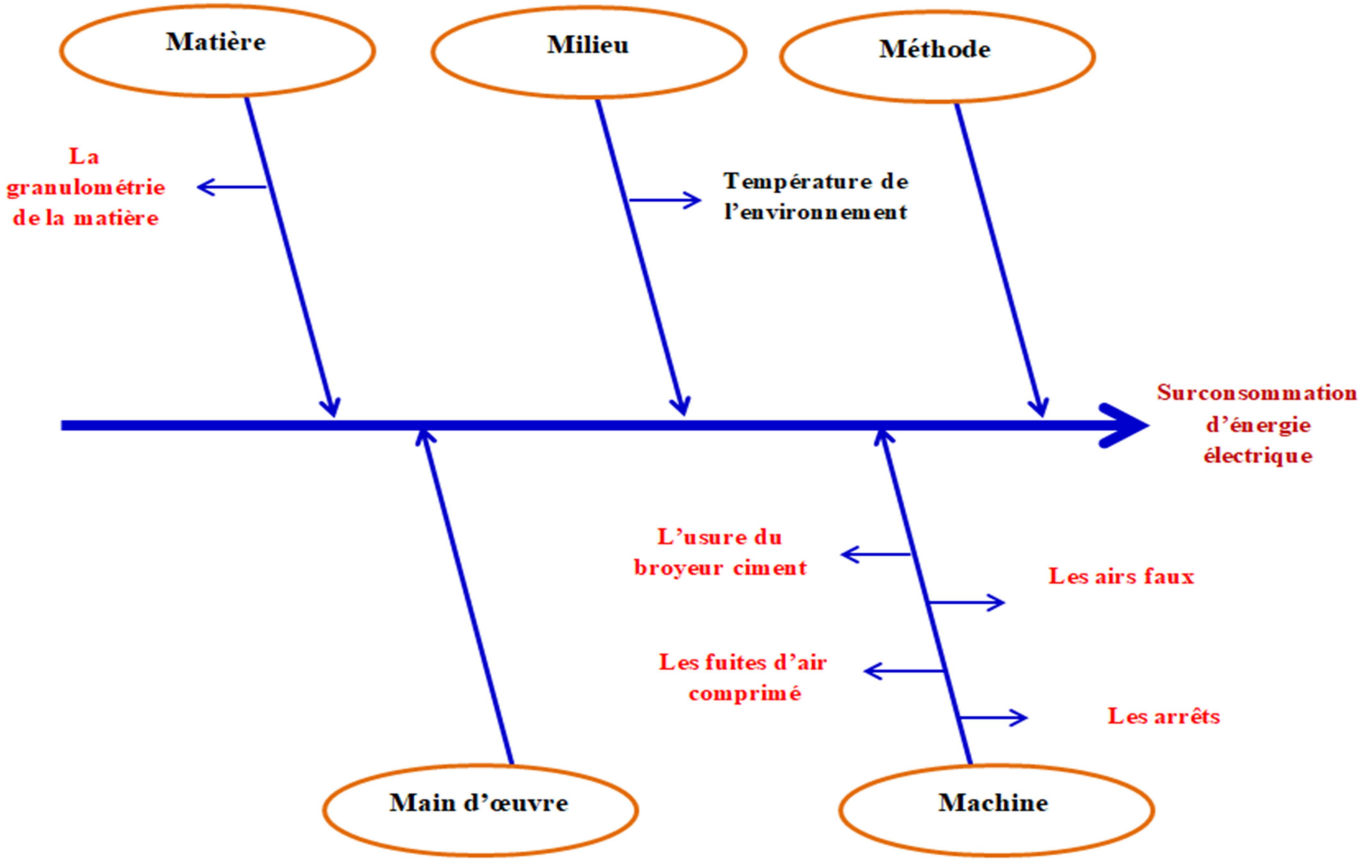

Figure 7 : Diagramme d'Ishikawa des causes de la surconsommation d'énergie électrique du broyeur ciment.

2. Analyse des causes par le diagramme d'Ishikawa :

Le diagramme d'Ishikawa (Figure 7) nous a donné une vision détaillée de l'ensemble des facteurs influent sur la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment, dont on cite :

2.1. Granulométrie de la matière :

Quand les particules de la matière à broyer (clinker + ajouts) sont de grande taille, elles nécessitent plus d'efforts et plus de temps pour se broyer, ce qui entraîne une surconsommation d'énergie électrique.

2.2. Usure du broyeur ciment :

C'est la détérioration progressive par compression ou cisaillement…etc. Cette déchéance se manifeste dans la plupart des cas au niveau des galets et la piste rotative. En fait, les galets plus ils sont usés plus ils demandent de temps pour broyer la matière et par conséquent, nécessitent plus d'énergie électrique pour le broyage.

Plusieurs causes engendrent la dégradation des galets et de la piste rotative du broyeur ciment à savoir :

- **La présence des corps étrangers :** La matière à broyer transporte des corps étrangers qui ne font pas partie de sa composition. Dans la plupart des cas ce sont des corps métalliques, ainsi on trouve des roches du mélange, solidifiés et plaqués contre la piste rotative.
- **La présence de l'eau :** L'eau injectée sert à stabiliser le lit de la matière à broyer sur la piste rotative ou le plateau de broyage. Puisque cette eau contient des ions de chlore, elle présente un facteur de dégradation des galets et de blindage de la piste rotative si elle entre en contact direct avec ces dernières.

  Ces deux facteurs entraînent l'élargissement de la distance qui sépare la piste rotative et les galets, ce qui cause une augmentation de la quantité de matière à broyer, par la suite une diminution de son débit ce qui demande plus de temps pour son broyage et par conséquent la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment augmente.

2.3. Arrêts :

L'impact des arrêts est aussi un facteur majeur influent sur la disponibilité du broyeur ciment. Le tableau suivant (tableau 5) regroupe les arrêts imprévus intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 :

Date	Equipement	Causes de l'arrêt	Durée de l'arrêt
05/03/2018	Broyeur	Vibration	4min
	Pompe hydraulique	Température de sortie du broyeur basse ; Débit du fuel bas ; La pompe ne débite pas	40min
07/03/2018	Démarreur	Disponibilité du démarreur du moteur	4h20
	Ventilateur	Ventilateur tirage	1h30
08/03/2018	Ventilateur	Ventilateur tirage	2h20
	Ventilateur	Ventilateur tirage	2h
	Doseur calcaire	Coinçement par un bloc	20min
	Broyeur	vibration	17min
	Pompe hydraulique	Pression du fuel basse	1h20
	Broyeur	Vibration	25min
	Elévateur silo	Problème de la bande d'élévateur silo (transporteur ciment)	15min
09/03/2018	Broyeur	Vibration	10min
12/03/2018	Bande 534-BT5	Contrôle de rotation de la bande 534-BT5	4min
	Broyeur	Vibration (delta P du filtre est élevé)	7min
13/03/2018	Broyeur	Vibration	8min
15/03/2018	Broyeur	Vibration (trémie des rejets pleine)	5min
	Broyeur	Vibration (colmatage du doseur gypse)	16min
	Pompe hydraulique	Problème de graissage des galets	6h50
18/03/2015	Broyeur	Vibration (colmatage du doseur gypse)	8min
	Broyeur	Vibration	15min
19/03/2018	Ventilateur	Défaut communication	25min
	Broyeur	Vibration	26min
	Démarreur	Erreur générale du démarreur du moteur	45min
21/03/2018	Doseur gypse	Problème de tarage du doseur gypse	3h10
25/03/2018	Moteur	Problème de la carte de vibration du moteur	16h
26/03/2018	Bande 534-BT2	Penchement de la bande 534-BT2	30min
	Bande 534-BT2	Penchement de la bande 534-BT2	30min
	Broyeur	Vibration	5min

27/03/2018	Elévateur ajouts	Relais de choc	25min
	Bande 534-BT4	Penchement de la bande 534-BT4	30min
	Broyeur	Vibration	15min
29/03/2018	Broyeur	Vibration (delta P du filtre est élevé)	13min
30/03/2018	Broyeur	Vibration	15min
	Elévateur ajouts	Moteur élévateur des ajouts grillé	2h30
			2h20
31/03/2018	Broyeur	Vibration	5min
	Redller	Bourrage	3h45
	Broyeur	Vibration	6min
	Filtre procès	Delta P du filtre est élevé	20min
	Bande 534-BT2	Penchement de la bande 534-BT2	20min
			10min

Tableau 5 : Les arrêts imprévus intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

Afin de compléter mon analyse sur les arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018, j'ai réalisé une analyse Pareto et j'ai fait un calcul du MTBF :

2.3.1. Analyse Pareto :

Définition du diagramme Pareto : Le diagramme Pareto est basé sur la loi des 20/80, autrement dit il met en évidence les 20% des causes sur lesquelles il faut agir pour résoudre 80% du problème.

Le pourcentage des arrêts est calculé par la relation suivante :

$$\% \, \mathbf{d'arrêt} = \frac{\mathbf{Durée\ de\ l'arrêt\ \times 100}}{\mathbf{Total\ des\ durées\ d'arrêts}}$$

Le tableau suivant (tableau 6) présente la durée d'arrêt, le pourcentage d'arrêt et le pourcentage d'arrêt cumulé intervenu au niveau de chaque équipement composant le broyeur ciment durant le mois Mars 2018 :

Rapport-Gratuit.com

Equipements	Durée d'arrêt (h)	% d'arrêt	% cumulé
Moteur	16	29,29%	29,29%
Pompe hydraulique	8,83	16,16%	45,45%
Ventilateur	6,25	11,44%	56,89%
Elévateur ajouts	5,25	9,61%	66,50%
Démarreur	5,08	9,30%	75,80%
Redller	3,75	6,87%	82,67%
Broyeur	3,33	6,10%	88,77%
Doseur gypse	3,16	5,79%	94,56%
Bande 534- BT2	1,5	2,75%	97,31%
Bande 534- BT4	0,5	0,92%	98,23%
Doseur calcaire	0,33	0,60%	98,83%
Filtre procès	0,33	0,60%	99,43%
Elévateur silo	0,25	0,46%	99,89%
Bande 534- BT5	0,06	0,11%	100,00%
Total	54,62	100,00%	

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des données pour l'élaboration du diagramme de Pareto des arrêts imprévus intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

Afin de tracer le diagramme de Pareto suivant (figure 8), j'ai exploité le calcul précédent du % d'arrêts et le % cumulé de chaque équipement du broyeur ciment :

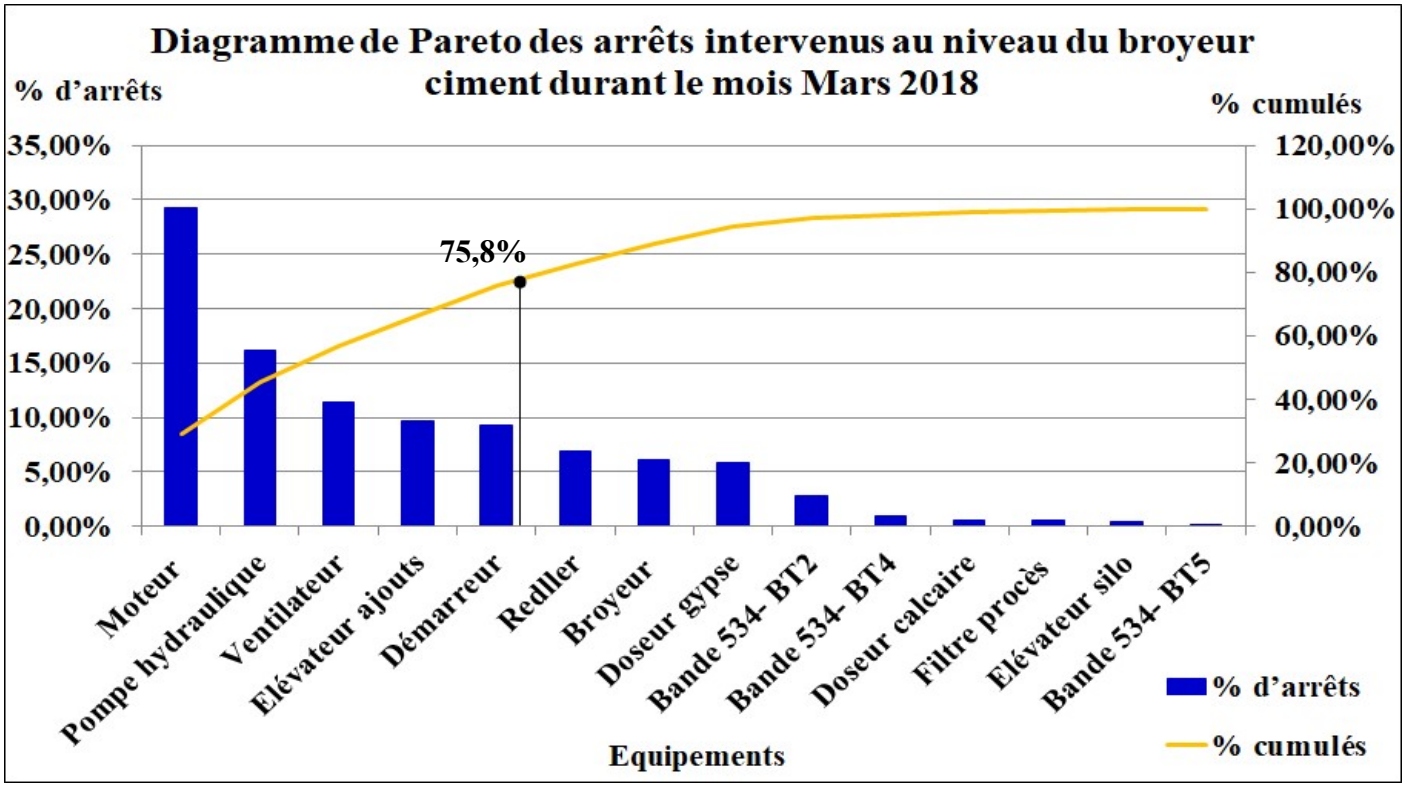

Figure 8 : Diagramme de Pareto des arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

➔ **Interprétation du diagramme :**

Nous remarquons selon le diagramme de Pareto (figure 8) que les pourcentages des arrêts intervenus au niveau du moteur, du ventilateur, de l'élévateur des ajouts, de la pompe hydraulique et du démarreur constituent **75,8%** de la totalité du pourcentage des arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

2.3.2. Calcul du MTBF :

Le MTBF est le temps moyen entre le début de la réparation et la panne suivante (Le temps moyen entre les pannes). Il est calculé depuis la formule suivante : **[1]**

$$\mathbf{MTBF} = \frac{(\mathbf{Durée\ de\ fonctionnement} - \mathbf{Durée\ des\ pannes}) \times \mathbf{Fréquence}}{\mathbf{Nombre\ de\ pannes}}$$

On note que la fréquence est le nombre de répétitions de la panne la plus fréquente. Dans ce cas, les vibrations sont les pannes les plus fréquentes au niveau du broyeur ciment.

Le tableau suivant (tableau 7) regroupe l'ensemble des causes des arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment et leur durée, ainsi que le temps de marche du broyeur ciment durant le mois Mars 2018:

Date	Les causes des arrêts	Durée des arrêts	Temps de marche du broyeur ciment (h)
05/03/2018	Vibration	4min	8,85h
	Température de sortie du broyeur basse ; Débit du fuel bas ; La pompe de débite pas	40min	
	Optimisation	8h	
	Niveau silo saturé + Optimisation	1h25min	
	Niveau silo saturé	4h10min	
	Niveau silo saturé	50min	
07/03/2018	Disponibilité démarreur du moteur	4h20min	2,16h
	Ventilateur tirage	1h30min	
	Optimisation	8h	
	Optimisation	8h	
	Ventilateur tirage	2h20min	9h
	Ventilateur tirage	2h	
	Coinçement du doseur calcaire par un bloc	20min	
	Vibration	17min	

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

08/03/2018	Pression du fuel basse	1h20min	
	Vibration	25min	
	Problème de la bande d'élévateur silo (transporteur du ciment)	15min	
	Optimisation	1h20min	
	Optimisation	5h36min	
09/03/2018	Vibration	10min	4h
	Niveau silo saturé	1h15min	
	Niveau silo saturé	4h	
	Niveau silo saturé	8h	
10/03/2018	Niveau silo saturé	7h40min	0,33h
	Niveau silo saturé + optimisation	8h	
	Niveau silo saturé + optimisation	8h	
11/03/2018	Niveau silo saturé	8h	6,5h
	Niveau silo saturé	8h	
	Optimisation	1h30min	
12/03/2018	Contrôle de rotation de la bande 534-BT5	4min	17h
	Vibration (delta P du filtre est élevé)	7min	
	Optimisation	5h30min	
	Optimisation	1h15min	
13/03/2018	Vibration	8min	17,45h
	Optimisation	5h30min	
	Optimisation	1h	
14/03/2018	Optimisation	7h	16,5h
	Optimisation	25min	
15/03/2018	Vibration (trémie des rejets pleine)	5min	16,31h
	Vibration (colmatage du doseur gypse)	16min	
	Optimisation	30min	
	Problème de graissage des galets + Optimisation	6h50min	
16/03/2018	Niveau silo saturé	3h	5h
	Niveau silo saturé	16h	
17/03/2018	Niveau silo saturé + optimisation	16h	7,41h
	Optimisation	15min	
	Niveau silo saturé	20min	

18/03/2015	Niveau silo saturé	16h	6,95h
	Optimisation	40min	
	Vibration (colmatage du doseur gypse)	8min	
	Vibration	15min	
19/03/2018	Optimisation	5h15min	17,23h
	Défaut communication (ventilateur)	25min	
	Vibration	26min	
	Erreur générale du démarreur du moteur + optimisation	45min	
20/03/2018	Niveau silo saturé	2h45min	12,78h
	Niveau silo saturé	8h	
	Optimisation	28min	
21/03/2018	Problème de tarage du doseur gypse + niveau silo saturé	3h10min	12,38h
	Niveau silo saturé + optimisation	8h	
	Optimisation	27min	
22/03/2018	Niveau silo saturé	2h	9,63h
	Niveau silo saturé	4h22min	
	Niveau silo saturé	8h	
23/03/2018	Optimisation	5h30min	17,83h
	Optimisation	40min	
24/03/2018	Optimisation	5h	3h
	Optimisation	8h	
	Optimisation	8h	
25/03/2018	Problème de la carte de la vibration du moteur + optimisation	16h	1,5h
		6h30min	
26/03/2018	Problème de la bande 534-BT2	30min	10,5h
		30min	
	Vibration	5min	
	Optimisation	5h30min	
	Optimisation	1h30min	
27/03/2018	Relais de choc de l'élévateur des ajouts	25min	17,91h
	Penchement de la bande 534-BT4	30min	
	Vibration	15min	
	Optimisation	1h25min	

	Optimisation	**4h30min**	
28/03/2018	**Optimisation**	**5h18min**	**17,2h**
	Optimisation	**1h30min**	
29/03/2018	**Vibration (delta P du filtre est élevé)**	**13min**	**23,78h**
30/03/2018	**Vibration**	**15min**	**4,33h**
	Moteur grillé de l'élévateur des ajouts	**2h30min**	
		2h20min	
31/03/2018	**Vibration**	**5min**	**19,4h**
	Bourrage de la bande Redller	**3h45min**	
	Vibration	**6min**	
	Delta P du filtre est élevé	**20min**	
	Penchement de la bande 534-BT2	**20min**	
		10min	
Total		**75,06h**	**284,93h**

Tableau 7 : L'**ensemble des arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.**

- La durée de fonctionnement du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 est de : **284,93h.**
- La durée des arrêts imprévus ou des pannes (sans inclure les arrêts d'optimisation) est de : **75,06h.**
- Le nombre de pannes est de : **21 pannes.**
- La fréquence est : **17 fois.**
- Le MTBF est alors : **MTBF = (284,93-75,06) × 17 / 21 = 169,89h.**

A noter que Le MTBF objectif visé par la société est de : **225h.**

➔ Interpretation du résultat :

La différence entre le MTBF calculé et l'objectif visé en MTBF est énorme et représente **55,11h**. Dans ces cas, l'entreprise se trouve obligée de remplir les différentes tranches horaires qui n'arrangent pas forcément son programme de production pour maintenir sa capacité de production. Le travail pendant ces heures entraine un accroissement de la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment et par suite, des coûts supplémentaires.

2.4. Airs faux :

Les airs faux sont des airs qui n'appartiennent pas à la composition du flux vertical des gaz chauds circulant à l'intérieur du broyeur ciment.

Les airs faux viennent de :

- **Certaines étanchéités d'air mal ajustées.**
- **L'entrée du broyeur ciment.**
- **Les joints de dilatation.**
- **Les trous dans les conduites.**
- **La sortie du broyeur ciment.**

La présence de ces airs faux dans le broyeur ciment entraine une variation de la température d'entrée des gaz chauds nécessaires pour sécher la matière à broyer et perturbe le fonctionnement normal du ventilateur, puisque ces airs faux limitent la capacité de tirage du ventilateur.

Afin d'évaluer le taux des airs faux entrant dans le broyeur ciment, il faut réaliser une mesure des concentrations en oxygène entrant et sortant du broyeur ciment.

Malheureusement je n'ai pas pu faire la mesure afin de calculer le pourcentage des airs faux entrant dans le broyeur ciment, à cause de l'indisponibilité de l'équipe spécialisée pour la réaliser.

2.5. Fuites d'air comprimé :

La production de l'air comprimé dans l'usine de Fès-Ras El Ma est assurée par une station composée de deux centrales d'air comprimé. Une première centrale pour satisfaire les besoins en air comprimé de l'ensemble des équipements de l'atelier de cuisson. La deuxième centrale, équipée de trois compresseurs est réservée exclusivement à l'atelier de broyage du clinker et l'expédition du ciment.

Les fuites d'air comprimé empêchent le fonctionnement normal du compresseur, car, pour compenser ces pertes d'air comprimé dues aux fuites, ce dernier se met en charge de façon continue pour alimenter le broyeur ciment en air comprimé, ce qui engendre des pertes d'énergie électrique considérables.

Le débit des fuites d'air comprimé est évalué par la relation suivante : **[2]**

$$\mathbf{Q}_f = \frac{\mathbf{Q}_r \times \mathbf{t}}{\mathbf{T}}$$

On note que :

Q_f : le débit des fuites (m^3/min).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

T : la durée de la mesure (min).

Q_r : le débit réel du compresseur (m^3/min).

t : la durée de fonctionnement en charge du compresseur de 7,2 bar à 8,5 bar (min).

On note que : $\mathbf{t} = \sum_{i=1}^{7} \mathbf{t_i}$ tel que : les $\mathbf{t_i}$ sont les temps pendant lesquels le compresseur fonctionne en charge. (Tableau 8)

Selon la dernière mesure qui a durée **T = 32,21 min**, voici les valeurs suivantes des $\mathbf{t_i}$:

t_i	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7
Valeur (min)	**1,67**	**1,67**	**1,67**	**1,71**	**1,6**	**1,83**	**1,5**

Tableau 8 : Valeurs des temps de fonctionnement du compresseur en charge.

Alors la durée de fonctionnement en charge du compresseur est :

t = 11,65 min avec **Q_r = 16,03 m^3/min**.

Le débit des fuites d'air comprimé calculé est donc le suivant : **Q_f = 5,8 m^3/min**.

Et sachant que le taux des fuites d'air comprimé se calcule par la relation suivante :

$$T_f = (Q_f / Q_r) \times 100.$$

Alors, il est égal à : $T_f = (5{,}8 / 16{,}03) \times 100 = 36{,}18\%$.

➔ Interprétation du résultat :

D'après le résultat précédent, on observe que le taux des fuites d'air comprimé au niveau du broyeur ciment est très élevé, alors **36,18%** de la consommation d'énergie électrique du compresseur est sous forme de pertes.

III. Conclusion :

Selon tous ces résultats obtenus de l'analyse des causes influentes sur la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment, il est nécessaire de trouver des solutions aptes à optimiser cette dernière.

Chapitre IV :

Recommandations et solutions

I. Recommandations et solutions pour réduire les pertes énergétiques du broyeur ciment :

1. Solutions :

1.1. Fuites d'air comprimé :

Les fuites d'air comprimé se remarquent souvent par le sifflement caractéristique qu'elles produisent et peuvent être détectées par :

- **L'utilisation des détecteurs à ultrasons :** C'est une méthode couteuse et consiste à l'utilisation des appareils à ultrasons qui détectent la moindre des fuites. On trouve dans le marché une multitude d'appareils standardisés avec des prix commençant de **7874,99 MAD.**

➔L'utilisation des détecteurs à ultrasons permet de réduire de 5% la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment. [2]

1.2. Granulométrie de la matière :

- **L'ajout des agents de mouture :** Les agents de mouture sont généralement un liquide organique obtenu à partir des bases chimiques basique qui est contenu dans un réservoir et pulvérisé à l'aide d'un dispositif spécial sur la bande d'alimentation de clinker. Ces agents de mouture neutralisent les charges des particules de ciment, afin de réduire la force d'attraction entre eux pour obtenir un ciment de grande finesse et résistance. Et comme le broyage est une étape qui consomme une part importante de l'énergie électrique, les agents de mouture permettent de réduire le temps de broyage et ainsi la consommation d'énergie électrique par tonne de ciment produite, et leurs prix est à partir de **9800 MAD** par tonne.

➔ L'utilisation des agents de mouture permet de réduire de 10% la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment selon certaines analyses. [3]

1.3. Arrêts :

Afin de gérer les équipements du broyeur ciment à l'arrêt, il faut :

- Contrôler à chaque arrêt les équipements du broyeur ciment et s'assurer qu'ils ne sont pas en marche pour qu'ils n'entraînent pas une surconsommation de l'énergie électrique afin d'éviter la marche à vide.

Le tableau suivant (tableau 9) présente le plan d'action élaboré pour remédier aux arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 :

Equipements	Causes d'arrêts	Actions
Pompe hydraulique	**Débit du fuel bas ➔ La pompe hydraulique de débite pas.**	**Maintenir un niveau élevé du réservoir du fuel / Utiliser un fuel avec un bon PCI.**
	Pression du fuel basse.	**Changement de la pompe.**
	Problème de graissage des galets.	**Vérification périodique du réservoir de graisse.**
Filtre procès	**Delta P élevé.**	**Contrôle régulier des manches du filtre procès / Vérification régulière de la pression d'air comprimé qui doit être maintenue entre 7,5 et 8 bar.**
Elévateur silo	**Problème de la bande d'élévateur silo.**	**Régulation du débit du ciment alimentant l'élévateur silo afin d'éviter les bourrages.**
Redller	**Bourrage.**	**Régulation du débit de ciment par l'installation d'un SAS.**
Doseur calcaire	**Coinçement par un bloc.**	**Vérifier la granulométrie du calcaire.**
Bande 534-BT5	**Contrôle de rotation de la bande 534-BT5.**	**Régulation du débit des ajouts et du clinker / Contrôle régulier des bandes.**
Bande 534-BT2	**Déport de la bande 534-BT2.**	
Bande 534-BT4	**Déport de la bande 534-BT4.**	

Tableau 9 : Plan d'action élaboré pour remédier aux arrêts intervenus au niveau du broyeur ciment durant le mois Mars 2018.

1.4. Usure du broyeur ciment :

Afin de réduire les pertes d'énergie électrique dues à l'usure du broyeur, il est incontournable de chercher des solutions qui visent à prolonger la durée de vie des équipements du broyeur ciment et réduire la vitesse de l'usure par rapport au temps. Dans ce cadre mes recommandations se résument comme suit :

Rapport-Gratuit.com

- Veiller à ce que l'eau n'entre pas en contact direct avec les galets et la piste rotative. Ainsi, pour diminuer le débit d'eau injectée afin de stabiliser le lit de matière à broyer sur la piste rotative, il est préférable qu'elle soit injectée dans le flux des gaz chauds entrant dans le broyeur ciment, c'est-à-dire installer des injecteurs d'eau au niveau de l'anneau de buse qui contrôle le débit des gaz chauds. Cela va permettre que cette eau ne touche pas directement la piste rotative.
- Enlever régulièrement les couches de ciment formées sur la piste rotative avant qu'elles atteignent des volumes importants.

1. Calcul du gain:

Le tableau ci-dessous (tableau 10) représente le prix du KWh pour chaque tranche horaire :

Tranches horaires	Prix du KWh
Heures creuses	**0,73 MAD**
Heures pleines	**0,66 MAD**
Heures de pointe	**0,90 MAD**
Heures de super pointe	**1,49 MAD**

Tableau 10 : Le prix du KWh pour chaque tranche horaire.

Les coûts des recommandations proposées sont les suivants (tableau 11) :

Les recommandations	Les coûts
Les détecteurs à ultrasons	**7874,99 MAD**
Les agents de mouture	**9800 MAD/t**
Le coût total des recommandations	**17.674,99 MAD**

Tableau 11 : Le coût des recommandations proposées.

A noter que les agents de mouture sont dosés d'une quantité de **280 g** par tonne de clinker, ce qui vaut pour une production de **39515 t** de ciment dans le mois de Mars 2018, un coût de **108.429,16 MAD** des agents de mouture nécessaires.

Donc le coût total des recommandations sera : **116.304,15 MAD.**

Les consommations d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 pour chaque tranche horaire sont regroupées dans le tableau suivant (tableau12) :

Avant l'optimisation		
Les tranches horaires	Energie électrique consommée en (KWh)	Coût d'énergie électrique consommée en (MAD)
Les heures creuses	516.336,75 KWh	376.925,82 MAD
Les heures pleines	645.420,93 KWh	425.977,81 MAD
Les heures de pointes	64.542,09 KWh	58.087,88 MAD
Les heures de super pointe	64.542,09 KWh	96.167,71 MAD
Total	1.290.841,86 KWh	957.159,22 MAD

Tableau 12 : Relevé des consommations d'énergie électrique du broyeur ciment avant l'optimisation.

Puisque les recommandations proposées permettent de réduire de **15%** la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment, on calcule alors les consommations d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018 pour chaque tranche horaire après l'optimisation, et on obtient :

Après l'optimisation		
Les tranches horaires	Energie électrique consommée en (KWh)	Coût d'énergie électrique consommée en (MAD)
Les heures creuses	438.886,23 KWh	320.386,94 MAD
Les heures pleines	548.607,79 KWh	362.081,14 MAD
Les heures de pointes	54.860,77 KWh	49.374,69 MAD
Les heures de super pointe	54.860,77 KWh	81.742,54 MAD
Total	1.097.215,56 KWh	813.585,31 MAD

Tableau 13: Relevé des consommations d'énergie électrique du broyeur ciment après l'optimisation.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Le gain est alors : **(957.159,22 - 813.585,31) MAD = 143.573,91 MAD.**

Ce qui revient à dire que l'usine de Fès-Ras El Ma aura **143.573,91 MAD** à gagner par mois de ces recommandations proposées.

II. Conclusion :

Les solutions que j'ai proposé sont efficaces pour réduire les pertes engendrées par les différents facteurs de surconsommation d'énergie électrique du broyeur ciment durant le mois Mars 2018. Ces solutions vont permettre d'économiser **143.573,91 MAD** du coût d'énergie électrique consommée par le broyeur ciment durant un mois.

Conclusion générale

Toute entreprise cherche à optimiser sa consommation énergétique, que ce soit thermique ou électrique.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, le problème que représente la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment dans l'industrie cimentière, m'a permis de réaliser un suivi de cette dernière et d'analyser les différents facteurs qui causent une surconsommation d'énergie électrique.

Durant la période de ce stage, j'ai eu l'opportunité d'exploiter un ensemble de méthodes et d'outils à savoir l'analyse Pareto et le diagramme d'Ishikawa afin d'analyser les différents facteurs influent sur la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment.

A l'étape d'optimisation mes recherches ont abouti aux propositions suivantes :

- L'utilisation des détecteurs à ultrasons pour detecter les fuites d'air comprimé au niveau du broyeur ciment régulièrement ce qui permet d'éviter les pertes d'énergie électrique, et donc une optimisation de cette dernière de **5%.**
- L'ajout des agents de mouture au clinker afin d'obtenir un ciment de grande finesse et résistance, et de réduire le temps de broyage du clinker et des ajouts, ce qui permet d'augmenter l'efficacité du broyage et d'optimiser la consommation d'énergie électrique du broyeur ciment de **10%.**

Ces solutions procurent un gain mensuel de : **143.573,91 MAD /mois**.

Finalement, je considère que la période de stage a été très bénéfique pour moi sur le plan professionnel et pratique puisqu'elle m'a permis de vivre les problèmes réels de l'industrie et de s'intégrer facilement avec l'équipe de travail.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Bibliographie

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Temps_moyen_entre_pannes

[2]http://aoueslati.unblog.fr/2011/07/02/etude-comparative-de-lefficacite-de-deux-agents-de-mouture-leucocem-1283-et-le-technochem-qc-fj2t-sur-le-broyage-de-clinker-avec-le-calcaire-et-le-gypse/

[3] https://vdocuments.site/documents/10-leckagenfrpdf.html

http://letest.groupe-hasnaoui.com/wp-content/uploads/2018/04/REVUE-BTPH-N%C2%B05.pdf

http://media.energie-industrie.com/Presentation/011_149_diag_energ_cimenterie_313507.pdf

http://www.materiaux-cimentaires.com/pdf/Charron.pdf

https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00012209/document

http://www.thecementgrindingoffice.com/fr/falseair1.html

http://www.thecementgrindingoffice.com/fr/typesofballmillsdry.html

https://www.lafargeholcim.ma/fr/ciment