



DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
FILIERE : LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUE EN GENIE ELECTRIQUE (LST GE)



PROJET DE FIN D'ETUDES

PRÉPARÉ PAR

NESRINE RTIMI

POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUE EN GENIE ELECTRIQUE

AMELIORATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DU BROEUR CIMENT

ENCADRÉ PAR :

M. ABDELALI EDDIB (LAFARGEHOLCIM)

PR. HICHAM GHENNIQUI (FSTF)

SOUTENU LE 7 JUILLET 2021, DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

PR. HICHAM GHENNIQUI

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE FES

PR. HASSAN EL MARKHI

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE FES

RESUME

Face à la hausse du prix de l'énergie et des dépenses énergétiques, la gestion de la consommation énergétique s'avère de plus en plus indispensable pour les entreprises. C'est le cas de "LafargeHolcim", qui a mis l'efficacité énergétique au cœur de ses préoccupations. Dans ce cadre, il nous a été proposé de faire une étude sur l'optimisation de la consommation d'énergie de l'usine sous le thème de la norme ISO 50001 qui concerne le management de l'énergie où je nous nous sommes concentrés sur l'énergie électrique.

Dans un premier temps, nous avons choisis le consommateur le plus principal d'énergie dans l'usine qui est le broyeur ciment. Ensuite, nous avons étudié et analysé les causes de sa surconsommation énergétique, et puis nous avons fourni des recommandations afin de remédier aux pertes énergétiques engendrées par les causes étudiées précédemment.

Finalement, des solutions proposés reste faible par rapport aux pertes énergétiques d'où l'intérêt du travail.

ABSTRACT

Faced to the rising of energy prices and energy expenditures, management of energy consumption is increasingly essential for companies. This is the case with "LafargeHolcim", which has put energy efficiency at the heart of its concerns. In this context, it was proposed to me to do a study on the optimization of the energy consumption within the plant under the theme of ISO 50001 which concerns management of energy where we focused on electrical energy.

First, we chose the plant's main energy consumer. Then we studied and analyzed the causes of its overconsumption of energy, and then we made recommendations to remedy the energy losses caused by the causes studied previously.

DEDICACES

Merci à Dieu, le tout puissant, qui a éclairci ma voie par le savoir, et qui m'a armé par la foi.
En témoignage de ma reconnaissance pour vos encouragements, j'ai le grand plaisir de dédier
ce travail :

Aux deux âmes les plus chères du monde : A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa
bonne éducation, ma précieuse MAMAN, source d'amour et de tendresse.

A celui qui m'a indiqué la bonne voie, mon très cher PERE, pour son affection, son amour,
son soutien moral et matériel et surtout ses consignes prodigieuses.
'Que dieu vous prête bonne santé et longue vie ! '

A mes frères : Mes frères et tous les membres de famille pour leur soutien et encouragement
durant mes études. Je vous aime très fort et je vous souhaite une longue vie pleine de réussite
et de bonheur.

A Tous mes professeurs :
Pour leurs soutiens et leurs directives au court de toute l'année universitaire.

A Toute l'équipe de LafargeHolcim :
Mes profonds respects à vous tous pour les efforts méritoires que vous avez consentis tout au
long de la période de mon stage.

A Tous mes amis :
Qu'avec eux, j'ai partagé les moments de souffrance et de joie.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin et que je ne trouve pas l'occasion de les
nommer.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail, en particulier Professeur Hicham Ghennioui qui m'a encadré et m'a porté conseil durant ma période de stage.

Je voudrai présenter mes vifs remerciements à tous les professeurs du département du génie électrique, et à ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à la réussite de mon parcours d'étude au sein de la faculté des sciences et techniques.

Je remercie aussi Mr. Hassan Arabi le Directeur de la cimenterie de Fès Ras-ELMA, de m'avoir accueilli et m'avoir donné l'opportunité d'effectuer un stage au sein de la société, ainsi que Mr Abdelali Eddib, pour tout le temps qu'il a pu me consacrer en dépit de leurs nombreux engagements professionnels, ainsi que pour tous leurs précieux conseils et avis.

Je remercie aussi tous les chefs d'équipes et tout le personnel de l'entreprise, qui ont contribué à l'élaboration de ce projet pendant mon stage, et qui m'ont donné toutes les facilités nécessaires pour conclure mon travail.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES ABREVIATIONS	7
INTRODUCTION.....	8
CHAPITRE 1-CONTEXTE GENERALE DU PROJET	9
1.1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	9
1.1.1 <i>Fiche technique</i>	<i>9</i>
1.1.2 <i>Mission principale de l'entreprise.....</i>	<i>9</i>
1.1.3 <i>Secteurs d'activités de l'entreprise.....</i>	<i>9</i>
1.1.4 <i>Les produits de l'entreprise.....</i>	<i>10</i>
1.1.5 <i>Organisation de l'entreprise.....</i>	<i>11</i>
1.1.6 <i>Le procédé de fabrication du ciment.....</i>	<i>11</i>
1.2 CONTEXTE DU PROJET	14
1.2.1 <i>Problématique.....</i>	<i>14</i>
1.2.2 <i>Objectifs du projet</i>	<i>14</i>
1.2.3 <i>Planification du projet.....</i>	<i>15</i>
CHAPITRE 2-ISO 50001 : MANAGEMENT D'ENERGIE.....	16
2.1 LA NORME ISO 50001	16
2.1.1 <i>Introduction à la norme ISO 5001.....</i>	<i>16</i>
2.1.2 <i>Domaines d'application d'ISO 5001.....</i>	<i>16</i>
2.1.3 <i>Avantages de la norme ISO 5001.....</i>	<i>16</i>
2.1.4 <i>Faiblesses de la norme ISO 5001.....</i>	<i>17</i>
2.2 MISE EN PLACE D'UN SYSTEME DE MANAGEMENT DE L'ENERGIE	18
2.2.1 <i>Elaboration d'une politique énergétique</i>	<i>18</i>
2.2.2 <i>Etablissement d'une planification énergétique</i>	<i>19</i>
2.2.3 <i>Mise en œuvre et fonctionnement du SMEn</i>	<i>19</i>
2.2.4 <i>Vérification de l'amélioration du SMEn</i>	<i>19</i>
2.2.5 <i>Ajustement du management : revue de management.....</i>	<i>20</i>
CHAPITRE 3 –GESTION ENERGETIQUE DU BROEUR CIMENT	21
3.1 PRESENTATION DU BROEUR CIMENT	21
3.1.1 <i>Introduction au broyeur BK4.....</i>	<i>21</i>
3.1.2 <i>Principe de fonctionnement du broyeur BK4.....</i>	<i>21</i>
3.2 AMELIORATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUE DU BK4.....	22
3.2.1 <i>Etude de la consommation électrique du BK4.....</i>	<i>22</i>
3.2.2 <i>Les causes de la surconsommation énergétique.....</i>	<i>27</i>
3.2.3 <i>Amélioration de l'efficacité énergétique du bk4.....</i>	<i>29</i>
CONCLUSION& PERSPECTIVES	33
BIBLIOGRAPHIE.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Organigramme de l'entreprise	11
Figure 1.2 Extraction calcaire	11
Figure 1.3 Concassage.....	12
Figure 1.4 Procédé de la fabrication du ciment	14
Figure 1.5 Diagramme de Gantt	15
Figure 2.1 Les étapes de la mise en place du SMEn	18
Figure 3.1 Broyeur bk4.....	21
Figure 3.2 Diagramme d'Ishikawa pour la surconsommation d'énergie	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Fiche technique de l'entreprise	9
Tableau 1.2 Les tâches du projet effectuées.....	15
Tableau 3.1 Consommation électrique du bk4 pour le CPJ 35	22
Tableau 3.2 Les tranches horaires relatives à la fabrication du CPJ 35	23
Tableau 3.3 Consommation électrique du bk4 pour le CPJ 45	24
Tableau 3.4 Les tranches horaires relatives à la fabrication du CPJ 45	25
Tableau 3.5 Consommation électrique du bk4 pour le CPJ 55	26
Tableau 3.6 Les tranches horaires relatives à la fabrication du CPJ 55	26

LISTE DES ABREVIATIONS

BK4 Broyeur Clinker (numéro 4)

BTP Bâtiment et Travaux Publics

CEE Coût d'Energie Electrique

CES Consommation Electrique Spécifique

CPJ Ciment Portland Composé avec Ajouts

D Débit

IPE Indicateur de Performance Energétique

ISO International Organization for Standardization

QSE Qualité Sécurité Environnement

RSE Responsabilité Sociale des Entreprises

SMEn Système de Management de l'Energie

INTRODUCTION

L'industrie cimentière est grosse consommatrice d'énergie électrique. Ces dernières années, les cimenteries ont fait d'importants efforts pour réduire cette consommation et alléger les coûts de production avec des équipements moins énergivores ainsi que des matières premières de substitution. Mais cette évolution a créé des contraintes qui doivent être maîtrisées pour satisfaire aux exigences de qualité et de productivité.

La fabrication du ciment est un procédé gourmand en énergie et l'étape la plus importante dans le procédé de fabrication est le broyage à l'aide du broyeur ciment qui a pour rôle de broyer le clinker avec des ajouts afin de produire le produit final qui est le ciment. Donc le broyeur BK4 exige une quantité d'énergie considérable quelle soit énergie électrique ou thermique.

Le but de ce projet est d'optimiser la consommation de l'énergie électrique de la ligne de broyage en tenant compte de tous les paramètres influençant cette énergie et d'essayer de trouver l'effet de chacun de ces paramètres sur la consommation électrique. Puis proposer des solutions pour diminuer cette dernière.

Afin d'atteindre ces objectifs, mon rapport sera organisé selon le plan suivant :

- Le premier chapitre consiste à présenter l'organisme d'accueil ; une description de son processus de fabrication, ainsi que les différentes qualités de ciment produites par LafargeHolcim.
- Le second sera réservé à l'introduction de la norme ISO 50001 qui a pour but d'améliorer les performances énergétiques à l'aide d'un système de management de l'énergie.
- Finalement, le troisième chapitre sera consacré à étudier et analyser les causes de surconsommation d'énergie. Pour cela, nous avons procédé à une étude basée sur l'analyse des 5M ou diagramme d'ISHIKAWA. Ensuite, nous avons fait des recommandations afin de remédier aux pertes énergétiques engendrés par les causes étudiées précédemment et puis nous avons proposé une solution d'optimisation de la consommation des heures de travail du broyeur BK4 selon les prix des tranches horaires et les différentes qualités de ciment produits.

CHAPITRE 1-CONTEXTE GENERALE DU PROJET

Dans le chapitre présent, nous allons présenter la société LafargeHolcim : sa fiche technique, ses missions principaux, ses secteurs d'activités, ses produits, son organisation ainsi que son procédé de fabrication du ciment. Nous allons également présenter la problématique, les objectifs et le planning de réalisation du projet.

1.1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1.1.1 FICHE TECHNIQUE

Raison sociale	LafargeHolcim Maroc
Forme juridique	Société anonyme de droit privé marocain
Date de création	1976
Activité principale	Production et commercialisation du ciment
Capital social	524 073 390 DH
Capacité de production	2 000 000 tonnes/an
Effectif	3000 personnes et sous-traitants

Tableau 1.1 Fiche technique de l'entreprise.

1.1.2 MISSION PRINCIPALE DE L'ENTREPRISE

La mission principale de LafargeHolcim consiste à apporter au marché des produits et des solutions reconnues, performantes et durables accompagnant le développement économique et social du Maroc dans les filières du BTP.

1.1.3 SECTEURS D'ACTIVITES DE L'ENTREPRISE

L'usine de Fès - Ras El Ma a été mise en service en 1993 et ne produit que du clinker pendant les trois premières années de son activité. Depuis 1996, Cette usine produit et commercialise différentes qualités de ciment.

L'unité de production de Fès - Ras El Ma utilise le procédé de fabrication à voie sèche intégrale.

L'usine comprend des ateliers de concassage, de broyage, d'homogénéisation et de stockage de la farine, de cuisson et stockage du clinker, de broyage du ciment et d'ensachage et expédition du ciment.

1.1.4 LES PRODUITS DE L'ENTREPRISE

L'entreprise offre trois types de ciments qui s'adaptent aux besoins des clients. Elle assure un service de transport adapté et respecte les délais de livraison. Les trois produits sont alors [1],

A. CPJ 35

Dans ce type de ciment le clinker est utilisé avec 63%, la pouzzolane et le calcaire sont utilisés à 30%, le gypse est utilisé à 7%. Il est utilisable dans le domaine routier pour la stabilisation des sols et des couches des chaussées.

B. CPJ 45

Dans ce type le clinker est utilisé avec 67%, la pouzzolane et le calcaire sont utilisés à 18%, les cendres volantes sont utilisées à 8%, le gypse est utilisé à 7%. On l'utilise dans la production des bétons armés courants et des bétons destinés aux travaux de masse.

C. CPJ 55

Ce type contient le clinker avec un pourcentage de 90%, le gypse de 7%, la pouzzolane + le calcaire de 3%. Les résistances élevées du CPJ 55 lui confèrent l'aptitude à être utilisé pour des applications spécifiques telles que les bétons armés fortement sollicités et les bétons à haute performance.

1.1.5 ORGANISATION DE L'ENTREPRISE

La structure générale de l'entreprise est définie comme suit :

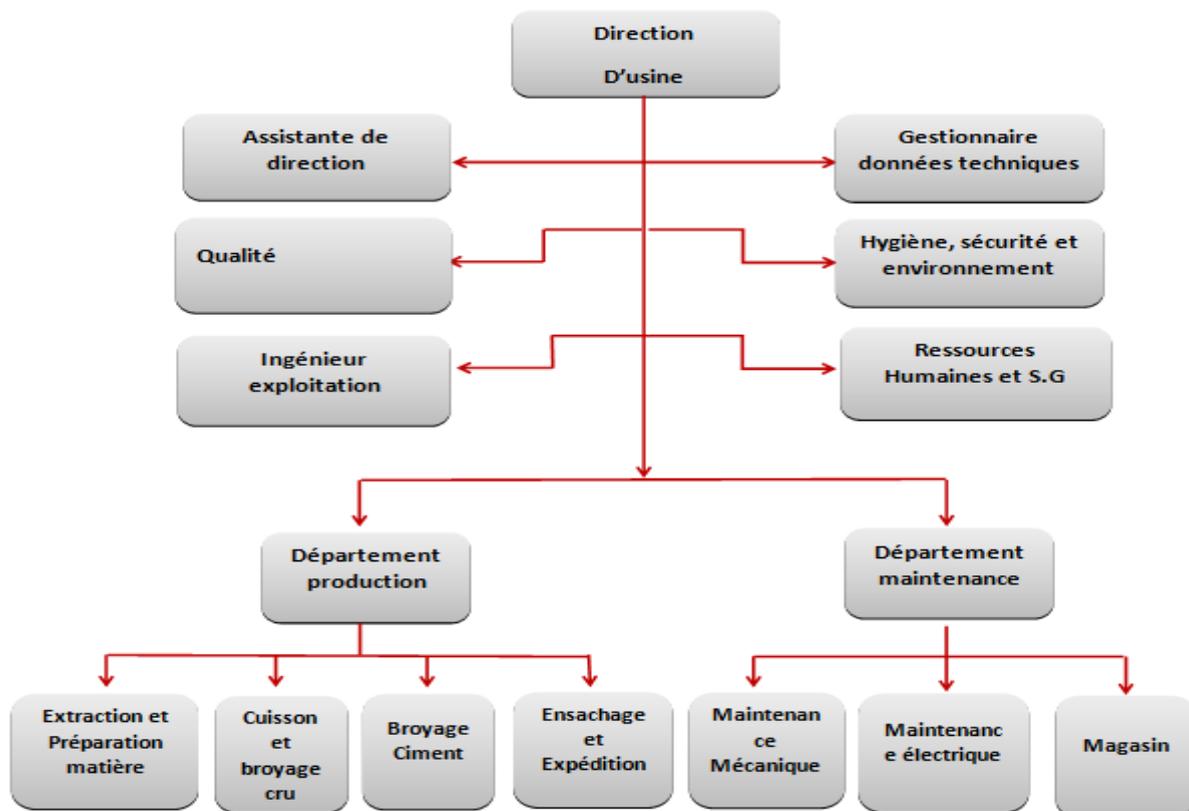


Figure 1.1 Organigramme de l'entreprise.

1.1.6 LE PROCEDE DE FABRICATION DU CIMENT

A. Préparation de la matière première

Carrière :

Les matières premières sont en général le calcaire qui se trouve au sein de l'usine et le schiste. Le calcaire est abattu à l'explosif et acheminé par dumper vers le hall de concassage, L'oxyde Fer et le sable sont aussi des matières premières importées de l'extérieur qui seront utilisées pour le dosage.



Figure 1.2 Extraction calcaire.

Concasseur :

Les matériaux sont réduits à une taille maximum de 80mm par un concasseur comportant deux moteurs à rotor bobinés qui tournent en sens opposé, la roche est ensuite échantillonnée en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaire (Sable, Schiste, Oxyde de Fer) et arriver ainsi à la composition chimique idéale. Après avoir mélangé les différentes matières premières, on forme ainsi ce que l'on appelle le tas de mélange, Ce dernier est ensuite stocké par l'intermédiaire du STACKER dans un hall de pré-homogénéisation. La reprise de la matière vers l'alimentation du broyeur se fait par le gratteur.



Figure 1.3 Concassage.

B. Transport de la matière première

Le transport de la matière à l'intérieur de l'usine se fait par Transporteur à bande.

Pré-homogénéisation :

La pré-homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique adéquate, des échantillons sont prélevés régulièrement pour être analysés dans le laboratoire de l'usine. Le résultat de ces analyses permet de définir les corrections nécessaires à apporter au mélange des matières premières, ce mélange est nommé le cru.

Broyage du cru :

Le broyage cru se fait par un broyeur qui est composé de deux balanciers contenant deux paires de galets, ce dernier nous permet d'obtenir de la farine qui va être stockée dans des silos d'homogénéisation. La farine sera ensuite introduite dans le four sous forme pulvérulente ou préalablement transformée en granules.

C. Production du clinker**Préchauffage :**

Le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique. Cette opération consiste à sécher, déshydrater et décarbonater la matière crue en réutilisant une partie de l'énergie calorifique évacuée par les gaz d'exhaure du four. La farine est chauffée à environ 800 °C dans un préchauffeur à grille ou à cyclones.

La cuisson :

La cuisson se fait dans un four rotatif où la température de la flamme avoisine 1450°C. Le combustible utilisé est le PETCOKE en marche normale et le gasoil au moment de chauffe. A la sortie du four, la matière appelée clinker passe dans un refroidisseur.

Le refroidisseur :

Le refroidisseur dit à ballonnets est constitué de tubes montés en parallèle au four, son rôle consiste à garantir la trempe du clinker pour avoir une structure minéralogique et des dimensions de cristaux favorables. Les refroidisseurs permettent aussi de baisser la température du clinker pour faciliter la manutention et le stockage.

D. Silos à clinker

Le clinker issu du four est stocké dans des silos qui d'une part, confèrent à l'atelier de broyage ciment (étape suivante) une autonomie de marche en cas d'arrêt intempestif du four et d'autre part, prémunissent le clinker d'une dégradation physico-chimique que causerait un stockage prolongé à l'air libre.

E. Broyage du ciment

L'atelier du broyage ciment est alimenté en clinker, gypse, calcaire et pouzzolane parfois à partir de silos de stockage de ces matières, par un ensemble de doseurs et transporteuses à bande. Le clinker et les ajouts, qui sont des matériaux grossiers par rapport à la granulométrie du ciment, sont introduits au niveau du broyeur dans des proportions prédéfinies pour subir des efforts mécaniques du broyage et produire ainsi le ciment qui est d'une finesse inférieure à 40 microns. L'atelier de broyage comprend le broyeur qui est constitué de deux paires de galets à suspension flottante (deux galets masters et deux galets esclaves), le séparateur (qui sélectionne les particules selon leur grosseur), le dépoussiéreur du broyeur et accessoirement la presse à rouleaux.

F. 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 comporte trois ensacheuses automatique.

G. 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 automatiquement par la caricamat et celui des wagons 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 stockages.

La figure ci-dessous résume les 4 étapes de fabrication de ciment déjà citées.



Figure 1.4 Procédé de la fabrication du ciment.

1.2 CONTEXTE DU PROJET

1.2.1 PROBLEMATIQUE

L'énergie joue un rôle très important dans l'industrie et pour cela nous cherchons toujours des moyens pour pouvoir améliorer la performance énergétique et réduire les coûts. Ce projet consiste alors à répondre à la question suivante :

Quelles sont les solutions favorables pour améliorer les performances énergétiques et donc réduire les consommations d'énergie ?

1.2.2 OBJECTIFS DU PROJET

Les objectifs de ce projet sont :

- Réaliser des économies d'énergie sur le long terme : une réduction de la consommation énergétique.
- Etre plus rentable : limiter l'impact de l'augmentation des coûts de l'énergie.

1.2.3 PLANIFICATION DU PROJET

Le planning de réalisation de ce projet est présenté dans la figure suivante :

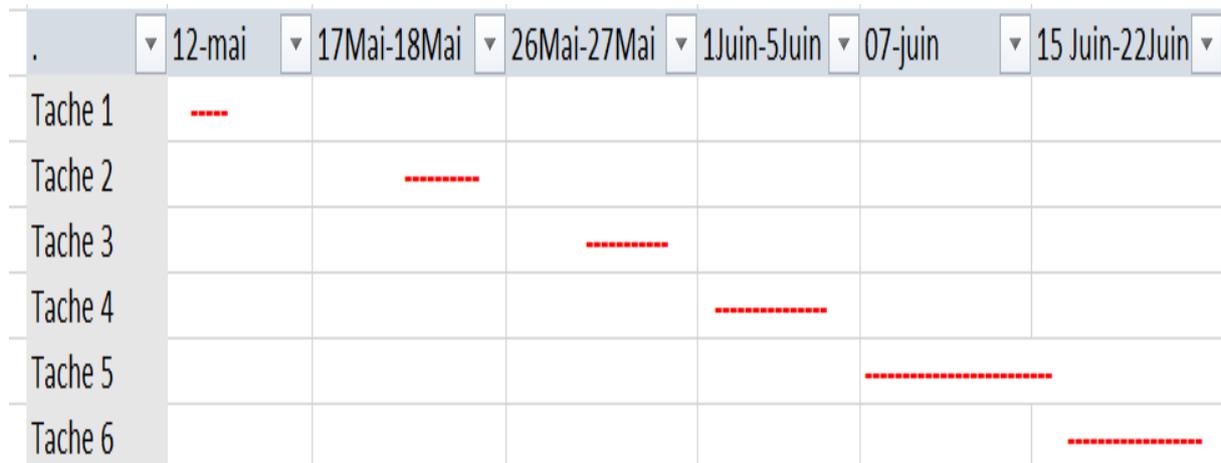


Figure 1.5 Diagramme de Gantt.

Les tâches effectuées sont réparties dans le tableau suivant :

Tache 1	Etude bibliographique sur le sujet proposé par l'encadrement du stage
Tache 2	Réunions avec le tuteur de stage et l'équipe du projet Visite de l'usine et familiarisation avec les processus de travail
Tache 3	Collecte des données concernant les consommations électriques du broyeur
Tache 4	Analyse des causes de la surconsommation du broyeur
Tache 5	Proposition des actions d'amélioration des performances énergétiques
Tache 6	Application d'une méthode d'optimisation des coûts d'énergie électrique

Tableau 1.2 Les tâches du projet effectuées.

Conclusion

Ce chapitre portait sur le contexte général du projet y compris la présentation de l'entreprise ainsi que la problématique, les objectifs et la planification du projet. Le chapitre suivant est consacré à l'introduction du système de management de l'énergie et l'explication des différentes étapes de la mise en place de ce système.

CHAPITRE 2-ISO 50001 : MANAGEMENT D'ENERGIE

Ce chapitre a pour but d'introduire la norme ISO 50001 qui concerne le management de l'énergie. Nous allons également présenter la mise en place du système de management de l'énergie.

2.1 LA NORME ISO 50001

2.1.1 INTRODUCTION A LA NORME ISO 5001

Publiée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) en 2011, la norme ISO 50001 propose aux organismes et entreprises du monde entier un cadre précis pour mettre en place un système de management de l'énergie opérationnel et pérenne. Par ses objectifs et sa méthodologie, elle est complémentaire des normes ISO 9001 et 14001 dévolues respectivement au management de la qualité et au management environnemental. Sur la base d'un diagnostic énergétique préalable, ISO 50001 offre les conditions et modalités d'une stratégie d'économie et de rationalisation conforme aux exigences du développement durable et de la RSE. Son but se résume en amélioration de l'efficacité énergétique [1].

2.1.2 DOMAINES D'APPLICATION D'ISO 5001

La norme ISO 50001 est applicable à tout organisme qui souhaite s'assurer qu'il se conforme à la politique énergétique qu'il s'est fixée et en apporter la preuve. L'auto-évaluation et l'auto-déclaration de conformité ou la certification du système de management de l'énergie par un organisme externe peuvent en attester.

2.1.3 AVANTAGES DE LA NORME ISO 5001

La norme ISO 50001 a plusieurs avantages parmi eux se classent les trois suivants [2] :

Une amélioration des résultats financiers :

Le SMEn permet de bien percevoir les avantages financiers qui en découlent : chaque optimisation de la performance énergétique se traduit par une baisse des coûts, plus ou moins irrémédiablement selon le temps de retour sur investissement.

Une réponse aux problèmes d'approvisionnement et de sécurité énergétique :

Plus la consommation énergétique est réduite, moins l'entreprise prend de risques. De cette façon, elle est moins dépendante en matière d'approvisionnement énergétique pour produire ses biens. Mais nous devons garder à l'esprit que l'énergie peut constituer un problème majeur dans certaines régions du monde. Dans ce cas, la mise en place d'un SMEn peut permettre d'optimiser l'utilisation de la ressource énergétique limitée, rien qu'en formant les individus à l'utiliser plus efficacement.

Une intégration facilitée aux systèmes de management QSE :

La structure de l'ISO 50001 permet d'intégrer directement plusieurs exigences aux systèmes existants (système documentaire, procédures d'audits internes, structure et organisation des revues de management).

2.1.4 FAIBLESSES DE LA NORME ISO 5001

Comme l'ISO 50001 a plusieurs avantages, elle a aussi des faiblesses à savoir :

La hiérarchisation dans les investissements :

La hiérarchisation dans les investissements est un frein, puisque le risque est de donner la priorité aux outils de production alors que des optimisations moins coûteuses et plus vite rentabilisées sont possibles, ou inversement, donner la priorité aux investissements moins onéreux au détriment d'investissements techniques plus énergivores.

Outils de suivi suffisamment robuste :

De même, en fonction de la complexité du site, les outils de mesure existants ne seront pas toujours adaptés au suivi de l'ensemble des données.

Une démarche longue à s'ancrer :

La mise en place des différentes étapes du système de management suggère beaucoup de temps, notamment la revue énergétique qui doit être sérieusement établie et la surveillance des données qui n'est effective que dans la durée.

2.2 MISE EN PLACE D'UN SYSTEME DE MANAGEMENT DE L'ENERGIE

La figure suivante schématise les étapes de la mise en place d'un SMEn [3] :

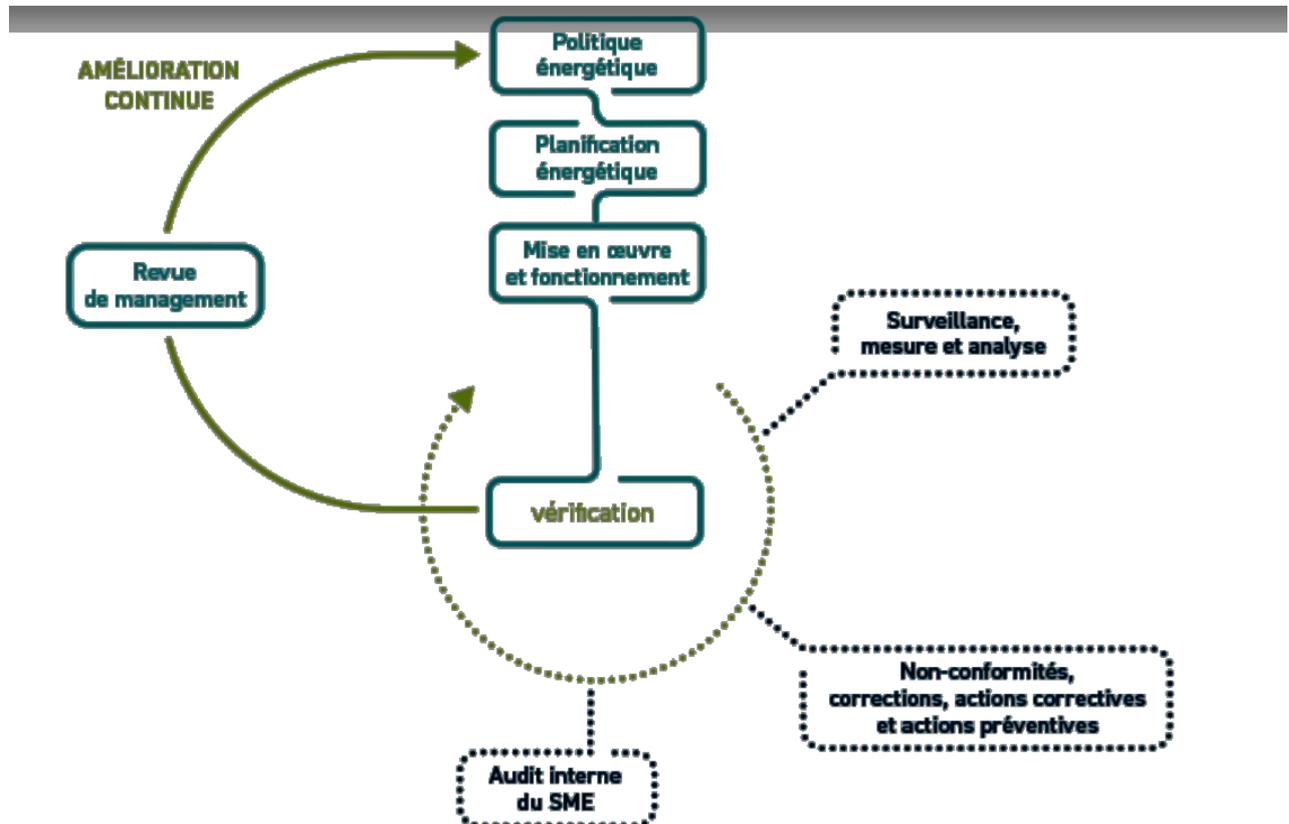


Figure 2.1 Les étapes de la mise en place du SMEn [3].

2.2.1 ELABORATION D'UNE POLITIQUE ENERGETIQUE

Portée par la direction de l'entreprise, la politique énergétique doit être définie clairement. La politique d'efficacité énergétique engage la direction dans une démarche de performance énergétique et d'amélioration continue. Elle doit fixer des objectifs et des cibles à court et long terme, engager à garantir la disponibilité des ressources nécessaires pour atteindre les objectifs, encourager l'achat de produits et services performants, impliquer les fournisseurs et prestataires dans cette démarche et réaliser un diagnostic organisationnel à travers des rencontres avec les différents interlocuteurs de l'entreprise afin d'analyser le fonctionnement actuel, les systèmes de management existants ou non, et le suivi de la performance énergétique. L'objectif est de faire un bilan d'écart à la norme ISO 50001 et donner une feuille de route jusqu'à la certification.

2.2.2 ETABLISSEMENT D'UNE PLANIFICATION ENERGETIQUE

L'étape de la planification énergétique consiste à définir le périmètre et le domaine d'action, de déterminer la situation de référence énergétique, se donner des cibles énergétiques cohérentes avec les objectifs de la politique énergétique et de mettre en place un plan d'action énergie sur la base des potentiels qui se base sur la répartition des rôles et informations à l'ensemble des collaborateurs de la date de début du plan d'action et définition des moyens de mesure et de vérification de la performance.

2.2.3 MISE EN ŒUVRE ET FONCTIONNEMENT DU SMEN

Cette étape consiste notamment à mettre en œuvre, documenter et enregistrer tous les éléments explicitant le fonctionnement du SMEn (procédures, manuel de management, processus internes, tableaux de bords à enregistrer...). La prise en compte de la maintenance, de la conception, de la production et des achats dans la performance énergétique est rendu obligatoire par la norme. Cette étape de déploiement du SMEn nécessite par ailleurs d'analyser les compétences du personnel et des prestataires extérieurs en lien avec les usages énergétiques ou le fonctionnement du SMEn pour identifier les potentiels besoins en formation et figer un plan de formation si nécessaire.

L'organisme doit par ailleurs former, sensibiliser et communiquer à propos de son SMEn. L'ensemble du personnel et les prestataires extérieurs concernés doivent connaître la démarche et certains résultats issus du SMEn. Comme pour les autres normes de systèmes de management, la gestion documentaire devra être parfaitement fonctionnelle.

2.2.4 VERIFICATION DE L'AMELIORATION DU SMEN

Le système de management de l'énergie doit être vérifié pour s'assurer du bon déroulement du plan d'action et des procédures. En analysant les indicateurs, en rencontrant les différents collaborateurs afin de collecter les retours et en comparant ces derniers avec les projections réalisées, une étude des résultats est établie à travers le temps :

Surveillance, mesure et analyse :

Il convient de mettre en œuvre un suivi de la performance énergétique avant de démarrer le déploiement des actions. Pour cela, les IPE proposés dans la phase de planification énergétique seront repris et un suivi régulier sera mis en œuvre. L'évolution du plan de comptage et de mesure est donc nécessaire à cette étape. L'objectif est de suivre des tableaux de bords énergétiques et de réaliser des analyses, en global et en détail, des IPE avec une régularité adaptée à votre organisme et à vos objectifs et cibles.

Actions correctives et préventives :

En fonction des analyses des non-conformités du SMEn ou de non-conformités énergie (dérives de consommations, non-atteintes de la performance après travaux...), des actions correctives et préventives devront être mises en œuvre. Il est important de définir avec précision dans la documentation du SMEn la méthodologie de déclenchement des actions correctives, préventives et de clôture des dysfonctionnements et ou dérives.

Audit interne de son SMEn :

Cette phase est obligatoire au sens de la norme, permet de réaliser de manière régulière et avant la revue de management un bilan complet de conformité de son SMEn vis-à-vis de la norme et des procédures en application au sein de votre organisme. Un plan d'action spécifique sera créé à la suite de cet audit.

2.2.5 AJUSTEMENT DU MANAGEMENT : REVUE DE MANAGEMENT

Une fois le SMEn est mis en place, un examen est régulièrement fait pour remettre en perspective les points d'amélioration et mener à nouveaux des actions correctives : changement et amélioration du SMEn, mise en place d'action correctives, retours et analyse des expériences, nouvel état des lieux de la situation : évolution économique, prix et disponibilité de l'énergie, position concurrentielle...Pour cela, une revue de management est réalisée avec la direction et l'équipe énergie au complet. Les données de sortie de cette revue serviront à alimenter les prochaines étapes du SMEn à savoir : la redéfinition de la politique énergétique et la mise à jour de la planification énergétique.

Conclusion :

Ce chapitre avait comme but de définir la norme ISO 50001 avec ses domaines d'application, ses avantages et ses faiblesses. Nous avons aussi montré dans ce chapitre comment mettre en place un système de management de l'énergie. Le chapitre suivant touchera la gestion énergétique du broyeur ciment qui est considéré parmi les plus consommateurs d'énergie.

CHAPITRE 3 – GESTION ENERGETIQUE DU BROYEUR CIMENT

Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur la gestion énergétique du broyeur ciment, dans lequel nous avons présenté le principe de fonctionnement du BK4 dans une première section. La deuxième section était consacrée à l'étude de la consommation électrique du broyeur ciment, dans laquelle nous avons analysé les causes de sa surconsommation puis nous avons proposé des solutions pour améliorer ses performances énergétiques.

3.1 PRESENTATION DU BROYEUR CIMENT

3.1.1 INTRODUCTION AU BROYEUR BK4

Le broyeur à galet de type vertical est un équipement adéquat pour le broyage. Il est constitué de deux paires de galets à suspension flottante, un séparateur et un dépoussiéreur du broyeur.

3.1.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU BROYEUR BK4

Trois galets de broyage stationnaires roulent sur une assiette de broyage en rotation. La matière à broyer est saisie entre les galets de broyage et la piste et est broyée par les forces de pression et de cisaillement. Les forces de pression nécessaires au broyage sont produites par un système de tension hydropneumatique. En raison de la rotation de l'assiette de broyage, la matière broyée est rejetée vers l'anneau à tuyères stationnaire. Les gaz entrant par l'anneau à tuyères, soit de l'air ou des gaz chauds, emportent la matière broyée et séchée vers le sélecteur où elle est séparée, par le rotor, en refus et fines. Les refus sont retournés dans le centre de la zone de broyage. Les fines sont évacuées du sélecteur par le flux gazeux et séparées de l'air dans des cyclones ou un filtre [4].



Figure 3.1 Broyeur BK4 [4].

2.2 AMELIORATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUE DU BK4

3.2.1 ETUDE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DU BK4

Les relations utilisées dans cette étude sont :

$$CES = \frac{\text{Energie électrique consommée (KWh)}}{\text{Production (t)}}, \quad \text{Eq. 1}$$

$$CEE = \frac{(\sum(h * \text{coût unitaire})) * D * C}{P}, \quad \text{Eq. 2}$$

$$D = \frac{\text{production (t)}}{\text{heures de marche (h)}} \quad \text{Eq. 3}$$

où,

H : le nombre d'heures pour chaque tranche horaire.

D : le débit du broyeur ciment.

C : la consommation électrique spécifique en KWh/t.

P : la quantité de ciment mensuelle produite en tonne.

Afin de mener une étude complète, nous avons fait un suivi de la consommation électrique pendant le mois de Mars 2021. La consommation électrique du BK4 selon chaque qualité du ciment sont données dans les tableaux suivants :

- **Pour le CPJ 35 :**

Dates	Moteur BK4	Ventilateur	Auxiliaires	Total CE(KWh)	de Production en t
05/03/2021	2129,63	626,36	375,81	3131,81	783
06/03/2021	2320,02	682,35	409,41	3411,79	853
09/03/2021	2706,23	795,95	477,57	3979,76	995
13/03/2021	1952,84	574,36	344,61	2871,82	718
14/03/2021	3492,26	1027,13	616,28	5135,69	1284
22/03/2021	1256,56	369,57	221,74	1847,88	462
25/03/2021	1697,17	499,16	299,50	2495,84	624
27/03/2021	2589,28	761,55	456,93	3807,77	952
29/03/2021	1988,20	584,76	350,85	2923,824	731
30/03/2021	2464,17	724,75	434,85	3623,78	906
Totale				33230	8308

Tableau 3.1 Consommation électrique du BK4 pour le CPJ 35.

L'énergie consommée en mois de Mars pour le CPJ 35 est donc **33,23MWh**

Avec une quantité de production de **8308Tonnes**

Donc la consommation électrique spécifique est de :

$$\mathbf{CES} = \frac{33,23 \cdot 1000}{8308} = 4 \text{ KWh/t} \quad \text{Eq. 4}$$

En se basant sur le tableau des tranches horaires suivant :

<i>Tranches horaires</i>		<i>Prix unitaire en MAD/KWh</i>
<i>Heures pleines</i>	38,07	0,55
<i>Heures de pointe</i>	14,13	1,07
<i>Heures creuses</i>	28,08	0,38
<i>Totale</i>	80,28	2

Tableau 03.2 Les tranches horaires relatives à la fabrication du CPJ 35.

Et avec un débit de production de ;

$$\mathbf{D} = \frac{8308}{80,28} \approx 103 \text{ t/h} \quad \text{Eq. 5}$$

Le coût d'énergie pour le CPJ 35 vaut :

$$\mathbf{CEE} = \frac{[(38,07 \cdot 0,55) + (14,13 \cdot 1,07) + (28,08 \cdot 0,38)] \cdot 113 \cdot 4}{8308} = 2,5 \text{ MAD/t} \quad \text{Eq. 6}$$

- Pour le CPJ 45

Dates	Moteur BK4	Ventilateur	Auxiliaires	Total de CE (KWh)	Production en t
01/03/2021	31339,16	9217,4	5530,44	46087	2711
02/03/2021	23721,12	6976,8	4186,08	34884	2052
03/03/2021	16380,52	4817,8	2890,68	24089	1417
04/03/2021	19143,36	5630,4	3378,24	28152	1656
05/03/2021	25686,32	7554,8	4532,88	37774	2222
06/03/2021	4415,92	1298,8	779,28	6494	382
07/03/2021	20426,52	6007,8	3604,68	30039	1767
08/03/2021	13224,64	3889,6	2333,76	19448	1144
09/03/2021	24218,2	7123	4273,8	35615	2095
10/03/2021	36090,32	10614,8	6368,88	53074	3122
11/03/2021	6323,32	1859,8	1115,88	9299	547
12/03/2021	29986,64	8819,6	5291,76	44098	2594
13/03/2021	22357,04	6575,6	3945,36	32878	1934
14/03/2021	15814,08	4651,2	2790,72	23256	1368
15/03/2021	705,16	207,4	124,44	1037	61
16/03/2021	6450,48	1897,2	1138,32	9486	558
17/03/2021	7733,64	2274,6	1364,76	11373	669
19/03/2021	5306,04	1560,6	936,36	7803	459
20/03/2021	7756,76	2281,4	1368,84	11407	671
21/03/2021	2057,68	605,2	363,12	3026	178
22/03/2021	3999,76	1176,4	705,84	5882	346
23/03/2021	25501,36	7500,4	4500,24	37502	2206
24/03/2021	5791,56	1703,4	1022,04	8517	501
26/03/2021	508,64	149,6	89,76	748	44
27/03/2021	9721,96	2859,4	1715,64	14297	841
28/03/2021	462,4	136	81,6	680	40
30/03/2021	7814,56	2298,4	1379,04	11492	676
31/03/2021	485,52	142,8	85,68	714	42
<i>Totale</i>				549151	32303

Tableau 3.3 Consommation électrique du BK4 pour le CPJ 45.

L'énergie consommée en mois de Mars pour le CPJ 45 est donc **549,15MWh**.

Et une quantité de Production de **32303 Tonnes**.

La Consommation électrique spécifique est de :

$$CES = \frac{549,15 \cdot 1000}{32303} = 17 \text{ KWh/t} \quad \text{Eq. 7}$$

En se basant sur le tableau des tranches horaires suivant :

<i>Tranches horaires</i>		<i>Prix unitaire en MAD/KWh</i>
<i>Heures pleines</i>	70,74	0,55
<i>Heures de pointe</i>	86,76	1,07
<i>Heures creuses</i>	154,62	0,38
<i>Totale</i>	312,12	2

Tableau 3.4 Les tranches horaires relatives à la fabrication du CPJ 45.

Avec un débit de production de :

$$D = \frac{32303}{312,12} \approx 103,4 \text{ t/h} \quad \text{Eq. 8}$$

Le coût d'énergie pour le CPJ 45 vaut :

$$CEE = \frac{[(70,74 \cdot 0,55) + (86,76 \cdot 1,07) + (154,62 \cdot 0,38)] \cdot 103,4 \cdot 17}{32303} = 10,36 \text{ MAD/t} \quad \text{Eq. 9}$$

- Pour le CPJ 55 :

Dates	Moteur BK4	Ventilateur	Auxiliaires	Total de CES (KWh)	Production en t
03/03/2020	2899,46	852,78	511,67	4263,91	164
06/03/2021	10660,83	3135,54	1881,32	15677,70	603
11/03/2021	10289,56	3026,34	1815,80	15131,71	582
13/03/2021	6223,24	1830,36	1098,21	9151,82	352
15/03/2021	12959,19	3811,52	2286,91	19057,64	733
16/03/2021	6046,44	1778,36	1067,01	8891,83	342
17/03/2021	14214,45	4180,72	2508,43	20903,60	804
18/03/2021	7619,93	2241,15	1344,69	11205,78	431
19/03/2021	7584,57	2230,75	1338,45	11153,79	429
20/03/2021	12075,21	3551,53	2130,91	17757,66	683
21/03/2021	5162,46	1518,37	911,02	7591,8	292
22/03/2021	2881,78	847,58	508,55	4237,92	163
24/03/2021	11810,01	3473,53	2084,12	17367,67	668
26/03/2021	9423,26	2771,54	1662,92	13857,73	533
28/03/2021	12870,79	3785,52	2271,31	18927,64	728
30/03/2021	5127,10	1507,97	904,78	7539,85	290
31/03/2021	6753,63	1986,36	1191,81758	9931,81	382
<i>Totale</i>				212650	8179

Tableau 3.5 Consommation électrique du BK4 pour le CPJ 55.

L'énergie consommée en mois de Mars pour le CPJ 55 est donc **212,65MWh**.

Et une quantité de Production de **8179 Tonnes**.

La consommation électrique spécifique est de :

$$\text{CES} = \frac{212,65 \times 1000}{8179} \approx 26 \text{KWh/t} \quad \text{Eq. 10}$$

En se basant sur le tableau des tranches horaires suivant :

Tranches horaires	Prix unitaire en MAD/KWh	
Heures pleines	44,37	0,55
Heures de pointe	30,36	1,07
Heures creuses	26,23	0,38
Totale	100,98	2

Tableau 03.6 Les tranches horaires relatives à la fabrication du CPJ 55.

Avec un débit de production de :

$$D = \frac{8179}{100,98} = 80,99 \text{ t/h} \quad \text{Eq. 11}$$

Le coût d'énergie pour le CPJ 55 vaut :

$$CEE = \frac{[(44,37 \cdot 0,55) + (30,36 \cdot 1,07) + (26,23 \cdot 0,38)] \cdot 80,99 \cdot 26}{8179} = 17,21 \text{ MAD/t} \quad \text{Eq. 12}$$

3.2.2 LES CAUSES DE LA SURCONSOMMATION ENERGETIQUE

A. Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme suivant exprime les causes de la surconsommation énergétique [5] :

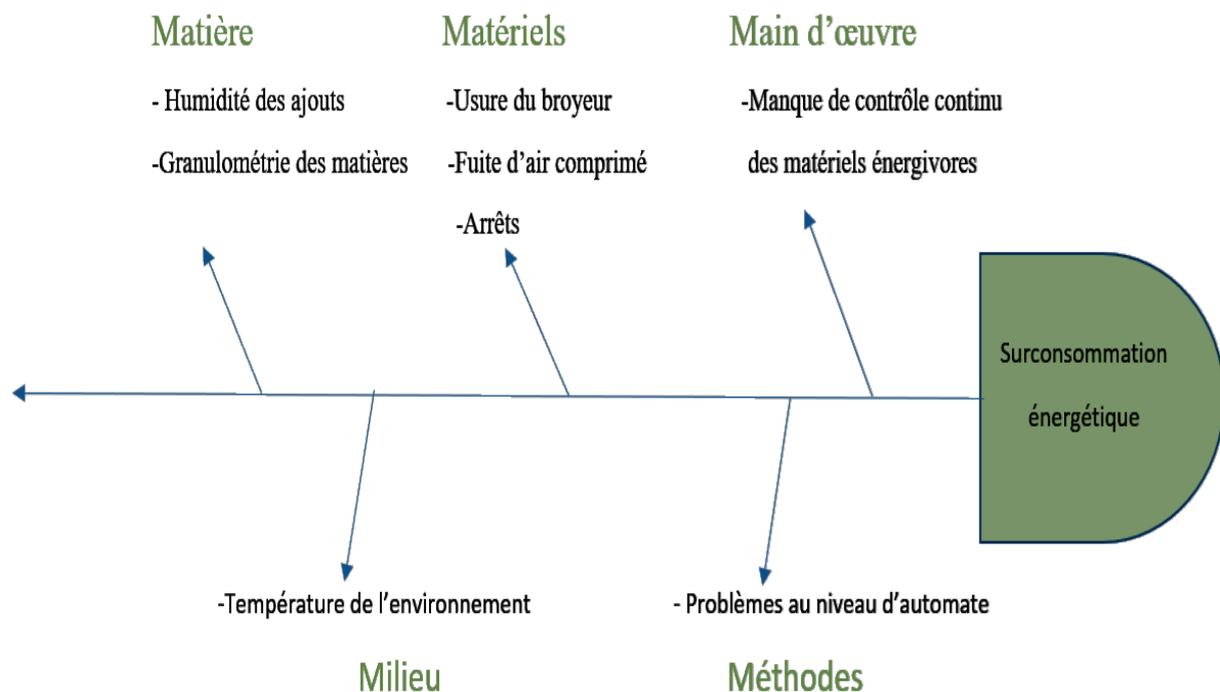


Figure 3.2 Diagramme d'Ishikawa pour la surconsommation d'énergie [5].

B. Analyse des causes

D'après le diagramme d'Ishikawa nous avons choisi l'ensemble des causes qui influencent sur la consommation d'énergie électrique :

Usure du broyeur :

L'usure désigne la dégradation d'un matériau sous l'effet de sollicitations répétées ou prolongées. Cette dégradation se manifeste au niveau des organes les plus importants dans le processus du broyage tels que les galets et la piste rotative.

Plusieurs causes engendrent l'usure du broyeur à savoir :

- **Les corps étrangers** : La matière contient, tout au long du processus, des corps étrangers qui ne font pas partie de la composition du ciment, dans la plupart des cas ce sont des corps métalliques.
- **L'injection d'eau** : L'eau injectée présente un facteur de dégradation des galets, des chemises et du blindage de la table si elle entre en contact direct avec ces éléments.

Les fuites d'air comprimé :

Les fuites d'air comprimé empêche le fonctionnement normal des compresseurs c.-à-d. les compresseurs n'oscillent plus entre les modes de fonctionnement en charge et à vide. Pour compenser ces pertes d'air comprimé dus aux fuites, les compresseurs est en charge de façon continue, ce qui engendre des pertes énergétiques considérables.

Les arrêts :

Il existe 2 types d'arrêts :

Arrêt programmé : L'arrêt programmé est un arrêt que l'équipe décide d'exécuter afin de réparer ou d'assurer le bon fonctionnement d'un équipement .Ce type d'arrêt ne cause pas de pertes d'énergie car il est bien planifié à l'avance.

Arrêt imprévu : Les arrêts imprévus sont l'un des plus grands soucis que peut affronter une société, ils engendrent une grande perte d'énergie au sein de l'usine. Ils peuvent être causés par un bris des machines.

L'humidité des ajouts :

Quand la matière est humide, elle devient de plus en plus difficile à broyer que lorsqu'elle est sèche et par conséquent elle exige plus d'énergie électrique. En effet, le grand pourcentage d'humidité est présent dans les ajouts : 5.78% est présente dans le calcaire, 6.12% dans le gypse et 9.73% dans la pouzzolane. Donc la matière humide entraîne une chute de débit qui augmente la consommation électrique spécifique ce qui résulte une surconsommation énergétique.

La granulométrie des matières :

La granulométrie des matières désigne la forme ou la taille de la matière, et dans le processus de fabrication du ciment une taille de matière est bien déterminée. Donc une grande granulométrie exige plus d'efforts de broyage ce qui augmente la consommation électrique ce qui donne une perte d'énergie.

3.2.3 AMELIORATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DU BK4

A. Solutions pour réduire les pertes énergétiques citées précédemment

Les causes de surconsommation étudiées précédemment engendrent d'importantes pertes énergétiques qui se traduisent par des dépenses considérables d'argent. C'est pour cela le but de mon stage était de chercher des moyens pour remédier à cette problématique.

Parmi les solutions qui peuvent réduire de façon significative les consommations électriques :

L'usure du broyeur :

Afin de réduire les pertes d'énergie électrique dues à l'usure du broyeur, il est recommandé de :

- Prévoir un système plus efficace pour la détection des pièces métalliques en amont du broyeur, En effet, dès que ce système détecte une pièce métallique, le rotor du broyeur est immédiatement stoppé.
- Veiller à ce que de l'eau n'entre pas en contact directe avec les galets et la table lors du fonctionnement du broyeur.

Les fuites d'air comprimé :

Les fuites d'air comprimé génèrent un terrible gaspillage d'énergie, c'est pour cela il est primordial de détecter et supprimer les fuites sur le circuit de distribution d'air comprimé.

La détection des fuites peut se faire par :

- Le détecteur à ultrasons permet de rechercher les fuites d'air en toutes conditions, même lorsque l'usine est en plein fonctionnement.
- Pratiquer la recherche des fuites d'air comprimé, à l'oreille, lorsque l'usine est à l'arrêt.

Les arrêts :

Optimisation de l'énergie grâce aux arrêts d'optimisation : L'énergie consommée durant les heures de pointes est plus coûteuse par rapport à celle consommée aux heures creuses, donc l'arrêt du processus de fabrication durant les heures de pointes représente une optimisation de l'énergie électrique, en revanche le processus de fabrication reprendra marche durant les heures pleines et les heures creuses.

Optimisation de l'énergie grâce aux luttes contre les arrêts imprévus : Un nettoyage fréquent, une maintenance adéquate du matériel technique et électrique ainsi que la formation continue des opérateurs sont autant de mesures qui aident à assurer la fiabilité des installations.

L'humidité :

Afin de diminuer le taux d'humidité des matières premières utilisées, il est conseillé d'installer un système de préchauffage afin de chauffer les différentes matières et alimenter le broyeur par la suite en étant à faible humidité ce qui réduirait le temps nécessaire au broyage de la matière.

La granulométrie des matières :

Ajouter des agents de moutures qui sont des produits destinés à faciliter le processus de broyage. Ils sont introduits soit à l'entrée du broyeur soit directement à l'intérieur. En agissant sur les matières la répartition granulométrique devient plus favorable pour obtenir un ciment de meilleure qualité.

B. Méthode d'optimisation des coûts d'énergie

Le but de cette méthode dans mon projet est de minimiser le coût d'énergie électrique en répartissant de façon optimal les tranches horaires selon chaque qualité de ciment sachant que la consommation électrique diffère d'une qualité à une autre et que chaque tranche horaire a un prix différent.

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 : 0,55 MAD, 1,07 MAD et 0.38 MAD. Ce qui nous donne la répartition mensuelle suivante :

- 341h pour les heures pleines,
- 155h pour les heures de pointe,
- 248h pour les heures creuses,

Le temps de marche selon le mois de Mars est réparti comme suit :

- 153,18h d'heures pleines.
- 131,25h d'heures de pointe.
- 208,93h des heures creuses.

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 selon le mois de Mars est :

- 80,28h pour le CPJ 35,
- 312,12h pour le CPJ 45,
- 100,98h pour le CPJ 55,

Posons les variables suivants :

X1 : nombre d'heures pleines nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 35.

X2 : nombre d'heures de pointes nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 35.

X3 : nombre d'heures creuses nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 35.

Y1 : nombre d'heures pleines nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ45.

Y2 : nombre d'heures de pointes nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 45

Y3 : nombre d'heures creuses nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 45

Z1 : nombre d'heures pleines nécessaires par mois pour fabriquer le CPJ 55.

Z2 : nombre d'heures de pointes nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 55.

Z3 : nombre d'heures creuses nécessaire par mois pour fabriquer le CPJ 55.

Nous devons chercher les X, les Y et les Z en considérant les contraintes suivantes :

$$X1+X2+X3 = 80.28h, \quad Y1+Y2+Y3 = 312.12h, \quad Z1+Z2+Z3 = 100.98h,$$

$$X1 + Y1 + Z1 = 153.18h, \quad X2 + Y2 + Z2 = 131,25h, \quad X3 + Y3 + Z3 = 208,93h,$$

En se basant sur les conditions données précédemment nous trouvons les résultats suivants :

$$X1 = 50,01$$

$$Y1 = 103,17$$

$$Z1 = 0$$

$$X2 = 30,27$$

$$Y2 = 0$$

$$Z2 = 100,98$$

$$X3 = 0$$

$$Y3 = 208,93$$

$$Z3 = 0$$

En remplaçant ces résultats dans la relation du coût d'énergie électrique ci-dessous :

$$\text{CEE} = [(0,55 \cdot X1) + (1,07 \cdot X2) + (0,38 \cdot X3)] \cdot 4 \cdot 103 + [(0,55 \cdot Y1) + (1,07 \cdot Y2) + (0,38 \cdot Y3)] \cdot 17 \cdot 103,4 + [(0,55 \cdot Z1) + (1,07 \cdot Z2) + (0,38 \cdot Z3)] \cdot 26 \cdot 80,99 \quad \text{Eq. 13}$$

Nous aurons un coût optimal de **491 508,95 MAD/mois**. Il aurait été donc souhaitable, de produire le CPJ 35 dans 50 heures pleines et 30,27 heures de pointe, le CPJ 45 dans 103,17 heures pleines et 208,93 heures creuses. Quant au CPJ 55, seules les 100,98 heures de pointes qui seraient choisies.

Le coût pour chaque qualité du ciment était de :

Pour le CPJ 35 :

$$CEE = [(38,07*0,55)+(14,13*1,07)+(28,08*0,38)]*103*4=19\ 251,93\ MAD \quad \text{Eq. 14}$$

Pour le CPJ 45 :

$$CEE = [(70,74*0,55) + (86,76*1,07)+(154,62*0,38)]*103,4*17=334\ 853,51\ MAD \quad \text{Eq. 15}$$

Pour le CPJ 55 :

$$CEE = [(44,37 *0,55)+(30,36*1,07)+(26,23*0,38)]*80,99*26=140\ 781,56\ MAD \quad \text{Eq. 16}$$

Donc le coût total de la consommation électrique avant l'optimisation était de,

$$CEE=494\ 887\ MAD/mois \quad \text{Eq. 17}$$

Ce programme d'optimisation permettra à LafargeHolcim de gagner :

$$494\ 887 - 491\ 508,95 =3378\ MAD/mois \quad \text{Eq. 18}$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié la consommation électrique du broyeur BK4 ainsi touché les causes principales de sa surconsommation énergétique, puis nous avons posé des solutions pour l'amélioration de ses performances énergétiques. Finalement une méthode d'optimisation des coûts d'énergie était une solution pour terminer le but de mon projet.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

Dans le cadre de mon projet de fin d'étude, l'enjeu crucial est la surconsommation énergétique dans l'industrie cimentière. Nous avons amené à faire un suivi de la consommation électrique au niveau du broyeur ciment selon chaque qualité du ciment, ensuite nous avons fait une analyse des données, cette analyse nous a permis de distinguer entre la qualité la plus consommatrice et la qualité la plus produite, ainsi nous avons présenté les principales causes de la surconsommation.

Dans mon stage technique, nous avons l'occasion d'exploiter un ensemble d'outils à savoir le diagramme d'Ishikawa. Nous avons utilisé une méthode d'optimisation des coûts d'énergie afin de réussir notre mission. Ainsi, nous avons proposé des recommandations afin d'améliorer l'efficacité énergétique.

C'était prévu d'élargir le périmètre d'amélioration de l'efficacité énergétique mais à cause de la contrainte de temps nous nous sommes limités au broyeur ciment seul puisqu'il est un gros consommateur d'énergie.

Finalement, ce stage m'a permis de vivre les problèmes réels de l'industrie et j'espère que mon modeste travail aura un apport bénéfique pour la société.

Fort de cette expérience et en réponse à ses enjeux, j'aimerais beaucoup par la suite essayer de m'orienter via un prochain stage, avec un nouveau défi et un important développement des compétences.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] <https://youmatter.world/fr/definition/definition-norme-iso50001-management-energie>
(Consulté le 12/05/2021).
- [2] <https://www.ubigreen.com/2015/09/14/avantages-iso-50001/> (Consulté le 13/05/2021).
- [3] https://www.geoplac.com/bureau-detudes-energetiques/iso-50001-accompagnement-smen/?fbclid=IwAR1Srxz04nbkwKLvMqY5CAnKjQqSbckVr_aJCNk6wdPEd9Bph4pDkiZs1nE (Consulté le 13/05/2021).
- [4] <https://www.gebr-pfeiffer.com/fr/produits/broyeur-a-galets-mps/> (consulté le 25/05/2021).
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_causes_et_effets (Consulté le 01/06/2021).