



Département de Génie Industriel



LST de Génie Industriel

Projet de Fin d'Etudes

AMDEC d'un broyeur vertical à galets

Lieu : Cimenterie LafargeHolcim Fès

Référence : 03/17GI

Préparé par :

- SAGHROUCHNI Nour El Houda
- LAMRANI Nisrine

Soutenu le 10 juin 2017 devant le jury composé de :

- Pr. L'H. Hamedi (Encadrant FST)
- Mr. H. Hmidouch (Encadrant société)
- Pr. M. Hassani Cherkani (Examineur)
- Pr. F. Belmajdoub (Examineur)

Dédicaces

On dédie ce travail à :

- *Nos chers parents*

Qui ont toujours été là pour nous, on vous remercie pour votre soutien et pour vos encouragements et pour tous vos sacrifices.

On vous offre en guide de connaissance, ce modeste travail, en vous souhaitant santé, bonheur et longue vie qu'on puisse combler à nos tours. Que dieu vous protège.

- *Nos chers frères*

On vous dédie ce travail en témoignage des liens solides et intimes qui nous unissent et pour vos soutiens, on vous souhaite des avenir pleins de succès et de bonheur.

- *Tous nos collègues et nos meilleurs amis.*
- *Tous ceux qui nous ont apporté du soutien durant nos études universitaires.*
- *Tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

Remerciements

Au terme de notre formation à la faculté des sciences et techniques de Fès, nous adressons nos remerciements au corps administratif et professoral pour leur compréhension et leur patience au long de notre parcours des études universitaires, spécialement le département du Génie Industriel.

Nos vifs remerciements à notre encadrant académique Mr. HAMED L'Habib pour ses conseils, ses remarques, sa disponibilité et son soutien tout au long de la période du stage.

On remercie le Directeur de LafargeHolcim de Fès, Mr RIBBI Najib, ainsi que Mr ABDELAOUI Mounir, le responsable du service de maintenance pour nous avoir donné la chance d'effectuer ce stage au sein du service maintenance.

On remercie infiniment notre encadrant Mr. HMIDOUCH Hamid, le superviseur du bureau de méthodes, ainsi que le personnel affecté dans ce bureau; les préparateurs Mr BOUREZZAK Noureddine et ERRABIE Omar, et les visiteurs Mr RAYA Hamid et Mr EL AZRI Abdelali pour leur accueil chaleureux, leur aide et leurs précieux conseils qui nous ont facilité l'élaboration de ce travail.

Nos sincères remerciements à Mr KASSAOUI, le responsable du broyeur de ciment qui a contribué à notre encadrement pour l'ensemble de connaissances qu'il nous a apporté au cours de ce stage, ainsi que tout le personnel du centre qui nous ont apporté leurs aides et leurs connaissances dans ce travail.

On remercie enfin tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce stage.

Table des matières :

Introduction générale.....

Chapitre I : Présentation de l'entreprise et aperçus sur la cimenterie LafargeHolcim Maroc

I.	Historique Holcim Maroc et fusion avec LaFarge :	1
II.	Présentation de Holcim MAROC (Avant fusion):	3
1.	Fiche signalétique :	3
2.	Sites d'activités :	3
3.	Organigramme de l'entreprise :	4
III.	Présentation de LafargeHolcim de Fès et sa situation dans le marché :	4
IV.	La politique qualité, santé, sécurité et environnement :	5
1.	Qualité et certificats :	5
2.	Santé, sécurité :	5
3.	Environnement :	5
V.	Services :	6
VI.	Produits.....	6
1.	Matières premières :	6
2.	Type :	6
VII.	Les unités de l'usine :	6
1.	Laboratoire :	6
2.	Salle de contrôle :	7
3.	Bureau de méthodes :	7
4.	Magasin :	7
5.	Service commercial :	8
6.	Service Ressources Humaines :	8

Chapitre II : Procédé de fabrication de ciment

I.	Qu'est-ce que le ciment ?	9
II.	Les différentes voies de production du ciment :	9
III.	Procédé de fabrication de ciment :	10
1.	Extraction :	10
2.	Concassage :	10
3.	Stockage concasseur :	10

4.	Dosage cru :.....	10
5.	Broyage cru :	11
6.	Dépoussiérage :	11
7.	Silo Homogénéisation :	11
8.	Préchauffage :.....	11
9.	Cuisson (Four rotatif) :.....	12
10.	Refroidissement :.....	12
11.	Stockage et expédition clinker :.....	13
12.	Broyeur ciment :.....	13
13.	Stock ciment :.....	13
14.	Ensachage et expédition :	13
IV.	Cadre du projet :.....	14
1.	Introduction :	14
2.	Cahier de charges :	14
3.	Objectifs du projet :.....	14

Chapitre III : Etude AMDEC d'un broyeur vertical (Broyeur cru)

I.	Présentation de l'analyse AMDEC :.....	15
1.	Définition :	15
2.	Démarche :	15
3.	Principe de la démarche :	15
4.	L'échelle de cotation :	16
5.	Intérêt de la démarche	17
6.	Raison d'application de cette démarche :	17
II.	Description du fonctionnement du broyeur cru :.....	18
III.	Etude AMDEC du broyeur cru :.....	19
1.	Découpage fonctionnel du système :.....	19
2.	AMDEC Broyeur :	20
3.	AMDEC Séparateur :	34
4.	AMDEC SAS :	36
IV.	Résultats de l'étude AMDEC:.....	38

Conclusion générale 41

Liste des figures :

<i>Figure 1 : Situation des cimenteries dans le marche</i>	-----	3
<i>Figure 2 : Répartition du capital social de Holcim Maroc</i>	-----	3
<i>Figure 3 : Vue panoramique de la cimenterie de Fès</i>	-----	4
<i>Figure 4 : Schéma du principe de l'AMDEC</i>	-----	16
<i>Figure 5 : Principe du broyage</i>	-----	18
<i>Figure 6 : Schéma du principe de l'écoulement de la matière dans le broyeur</i>	-----	19
<i>Figure 7 : Découpage fonctionnel du broyeur cru</i>	-----	20
<i>Figure 8 : Bête à cornes du broyeur</i>	-----	20
<i>Figure 9 : Diagramme pieuvre du broyeur</i>	-----	20
<i>Figure 10 : Accouplement entre le moteur et le réducteur</i>	-----	21
<i>Figure 11 : Circulation d'huile depuis le système de lubrification vers les points de lubrification</i>	-----	21
<i>Figure 12 : Système de lubrification du réducteur et de la table</i>	-----	22
<i>Figure 13 : Meule complète</i>	-----	25
<i>Figure 14 : Composantes d'un accumulateur</i>	-----	25
<i>Figure 15 : Vérin hydraulique</i>	-----	26
<i>Figure 16 : Coupe d'un levier oscillant complet</i>	-----	26
<i>Figure 17 : Lubrification galet HSMS</i>	-----	29
<i>Figure 18 : Alimentation des vérins HSML</i>	-----	29
<i>Figure 19 : Arrosage du plateau de broyage</i>	-----	32
<i>Figure 20 : Bête à cornes du séparateur</i>	-----	34
<i>Figure 21 : Diagramme pieuvre du séparateur</i>	-----	34
<i>Figure 22 : Passage de la matière dans le séparateur</i>	-----	34
<i>Figure 24 : Bête à cornes du SAS</i>	-----	36
<i>Figure 23 : Diagramme pieuvre du SAS</i>	-----	36
<i>Figure 25 : Usure de la piste</i>	-----	38
<i>Figure 26 : Cisaillement du racleur</i>	-----	38
<i>Figure 27 : Bouchage des buses d'une conduite d'injection d'eau</i>	-----	38
<i>Figure 28 : Usure du ventilateur</i>	-----	38

<i>Figure 30 : Usure de la tôle du déflecteur du cône</i>	39
<i>Figure 29: Cisaillement des boulons</i>	39
<i>Figure 31 : Contrôle du broyeur cru par logiciel ABB</i>	40

Liste des tableaux :

<i>Tableau 1 : Indices des critères de criticité</i>	17
<i>Tableau 2 : Tolérances autorisées de l'accouplement moteur réducteur</i>	21
<i>Tableau 3 : AMDEC de la commande du broyeur</i>	24
<i>Tableau 4 : AMDEC du galet</i>	28
<i>Tableau 5 : Abréviations des centrales hydrauliques</i>	29
<i>Tableau 6 : AMDEC de la centrale hydraulique</i>	31
<i>Tableau 7 : AMDEC du plateau de broyage</i>	33
<i>Tableau 8 : AMDEC du séparateur</i>	35
<i>Tableau 9 : AMDEC du SAS</i>	37

Introduction générale:

Dans le cadre de son amélioration continue, la cimenterie LafargeHolcim a lancé un projet qui s'inscrit dans le cadre de la mise en place de la maintenance préventive au niveau de l'usine, ainsi, notre sujet du projet de fin d'études au sein de cette usine, s'inscrit dans l'optique de contribuer à atteindre les objectifs de ce projet.

Nous avons eu l'opportunité de passer deux mois de stage au sein de LafargeHolcim de Fès au niveau du département de maintenance et qui était une meilleure occasion pour mieux se familiariser avec le monde industriel et une bonne opportunité pour appliquer ce que nous avons acquis pendant nos études.

LafargeHolcim est la première société mondiale de matériaux et de solutions de construction. L'activité du groupe est de produire du ciment, des granulats et du béton prêt à l'emploi; qui sont utilisés dans la construction de projets.

Notre sujet s'articule autour de l'AMDEC (*Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticités*) des équipements mécaniques du broyeur cru qui va permettre de déterminer les éléments les plus critiques et pour minimiser les arrêts de production dus aux pannes au niveau de ce broyeur qui a pour fonction de réduire et sécher la matière concassée et assurer la finesse requise pour la cuisson.

Le présent rapport sera divisé en trois chapitres, le chapitre I sera consacré à la présentation de l'entreprise ainsi que ses services, le chapitre II comportera des généralités sur le ciment, son procédé de fabrication ainsi que le cahier de charge, et dans le chapitre III on va appliquer l'étude AMDEC sur le broyeur cru, qu'on va traiter suivant quatre axes principaux, nous allons tout d'abord réaliser un découpage et une analyse fonctionnelle pour chaque sous équipement, suivis d'une identification et étude rationnelle des défaillances, puis nous allons étudier et calculer la criticité et finalement nous allons proposer des actions préventives pour la diminuer, suivi des résultats d'étude et une conclusion.

**Chapitre I : Présentation de l'entreprise et
aperçus sur la cimenterie LafargeHolcim
Maroc**

I. Historique Holcim Maroc et fusion avec LaFarge :

Holcim (anciennement **Holderbank** ou **Holderbank Financiere Glaris Ltd.**) est un cimentier, entreprise familiale (famille Schmidheiny) devenue multinationale au cours du XX^e siècle et qui compte parmi les plus grands producteurs mondiaux de ciment. Son siège principal est en Suisse, à Zurich. Elle est fondée en 1912 sous le nom de « Financière Glaris » dans le village d'Holderbank du canton d'Argovie.

- **1972** : Les gouvernements marocain et algérien décident de construire une cimenterie à Oujda, sous le nom de la Cimenterie Maghrébine (CIMA). Son capital social est de 75 millions de dirhams, réparti à égalité entre l'Office pour le Développement Industriel (ODI) et la SNMC, organismes représentant respectivement le Maroc et l'Algérie. Le projet CIMA fut placé sous administration provisoire à cause du retrait algérien de l'opération en 1975.
- **1976** : L'ODI crée une société nouvelle dénommée Cimenterie de l'Oriental (CIOR) qui reprend les actifs de la CIMA avec pour objet la réalisation d'une cimenterie dans la région d'Oujda.
- **1979** : Holcim Maroc, 30 ans au service de la construction du Maroc. AR Mise en service de l'usine d'Oujda qui démarre avec une capacité de production de 1,2 millions de tonnes par an.
- **1980** : Installation à Fès d'un centre d'ensachage d'une capacité de 500 000 tonnes par an.
- **1982** : Installation à Casablanca d'un centre d'ensachage d'une capacité de 350 000 t par an.
- **1985** : Création de Ciments Blanc du Maroc à Casablanca.
- **1989** : Installation d'un centre de broyage à Fès d'une capacité de 350 000 tonnes par an.
- **1990** : Début des travaux pour la réalisation d'une ligne complète de production de clinker à Fès et lancement de l'activité BPE avec l'installation d'une première centrale à béton à Fès.
- **1993** : Démarrage de l'unité de Fès portant la capacité de production globale à 1,9 million de tonnes par an. Prise de contrôle majoritaire du capital de la CIOR par Holcim Ltd dans le cadre du programme de privatisation.
- **1997** : Installation d'une centrale à béton à Rabat et d'une autre à Casablanca.
- **1999** : Construction d'une seconde centrale à béton à Casablanca. Mise en service d'un centre de broyage et d'ensachage à Nador. Mise en service des installations de valorisation de combustibles de substitution à l'usine de Fès Ras El Ma, d'une troisième centrale à béton à Casablanca et d'une autre à Nador.
- **2001** : Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 de la cimenterie de Fès.
- **2002** : Changement de l'identité visuelle: CIOR devient Holcim Maroc. Démarrage de la nouvelle activité granulats (Benslimane). Début des investissements relatifs à la rationalisation du dispositif industriel de Fès. / Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 de la cimenterie d'Oujda.

- **2004** : Extension de la cimenterie de Fès.
- **2005** : Démarrage du centre d'ensachage et de distribution de Settat.
- **2006** : Extension du centre de Nador.
- **2007** : Démarrage de la cimenterie de Settat et de la plateforme Ecoval.
- **2008** : Lancement du projet de doublement de capacité de production de l'usine de Fès. Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 du centre de Nador.
- **2009** : Création du premier réseau de distribution des matériaux de construction au Maroc: BATIPRO Distribution. / Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 du centre de distribution de Casablanca, de la cimenterie de Settat et de la plateforme de traitement de déchets Ecoval.
- **2010** : Lancement du projet de doublement de la capacité de production clinker à Fès.
- **2012** : Doublement de la capacité de production clinker de l'usine de Fès.
- **2015** : Holcim fusionne avec le n° 1 mondial du secteur, le groupe français Lafarge dont le nouvel ensemble prend le nom de LafargeHolcim.

Déroulement de la fusion :

Le 7 avril 2014, Holcim et Lafarge annoncent leur projet de fusion au taux d'une action Holcim pour une action Lafarge. Le 7 juillet 2014, les deux groupes annoncent une liste d'actifs proposés pour désinvestissement afin de permettre la fusion. En mars 2015, sous la pression des actionnaires d'Holcim, le conseil d'administration envoie un courrier au groupe Lafarge faisant part de nouvelles exigences dans le cadre du projet de fusion. Un accord final se met en place pour une nouvelle parité d'échange : 9 actions Holcim pour 10 actions Lafarge. Cependant un mouvement anti-Lafarge semble se dessiner. Par ailleurs des actionnaires individuels se sont réunis et appellent, sur un site internet créé pour l'occasion (Holcimshareholders.ch), à voter contre le projet de fusion qui est présenté à l'assemblée générale du 8 mai 2015.

Le 10 juillet 2015, la fusion de Lafarge et d'Holcim est effective et comporte trois changements par rapport au projet de fusion entre égaux initial :

- le changement de parité en faveur des actionnaires d'Holcim,
- le renoncement du PDG français de Lafarge, Bruno Lafont, à un poste de direction générale au profit d'Eric Olsen, ancien de chez Lafarge.
- le choix de la Suisse comme siège du nouveau groupe.

Le nouvel ensemble est officiellement lancé le 15 juillet 2015 et prend le nom de **LafargeHolcim**.

II. Présentation de Holcim MAROC (Avant fusion) :

Holcim occupait 22% du marché alors que LaFarge occupait 42%. D'ici vient l'idée de la fusion qui leurs a permis d'enregistrer les plus fortes hausses de vente et d'être le leader dans son domaine « Matériaux de construction ».

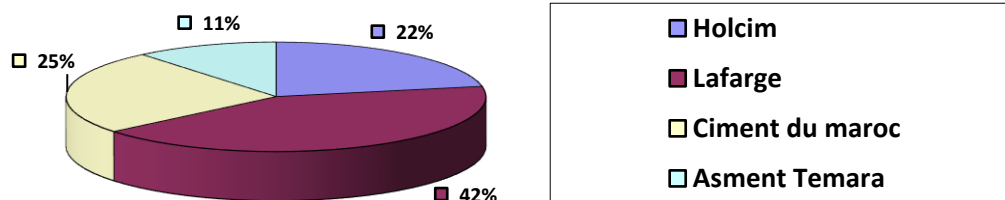


Figure 1 : Situation des cimenteries dans le marche

1. Fiche signalétique :



Figure 2 : Répartition du capital social de Holcim Maroc

Date de création : 1976 (pour une durée de 100 ans).

Activités : Production et commercialisation du ciment et matériaux de construction.

Capitale social : 910 millions MAD

Registre commercial : 2471133.

Affiliations à la CNSS : 15151223.

Capacité de production : 2.2 MT/an.

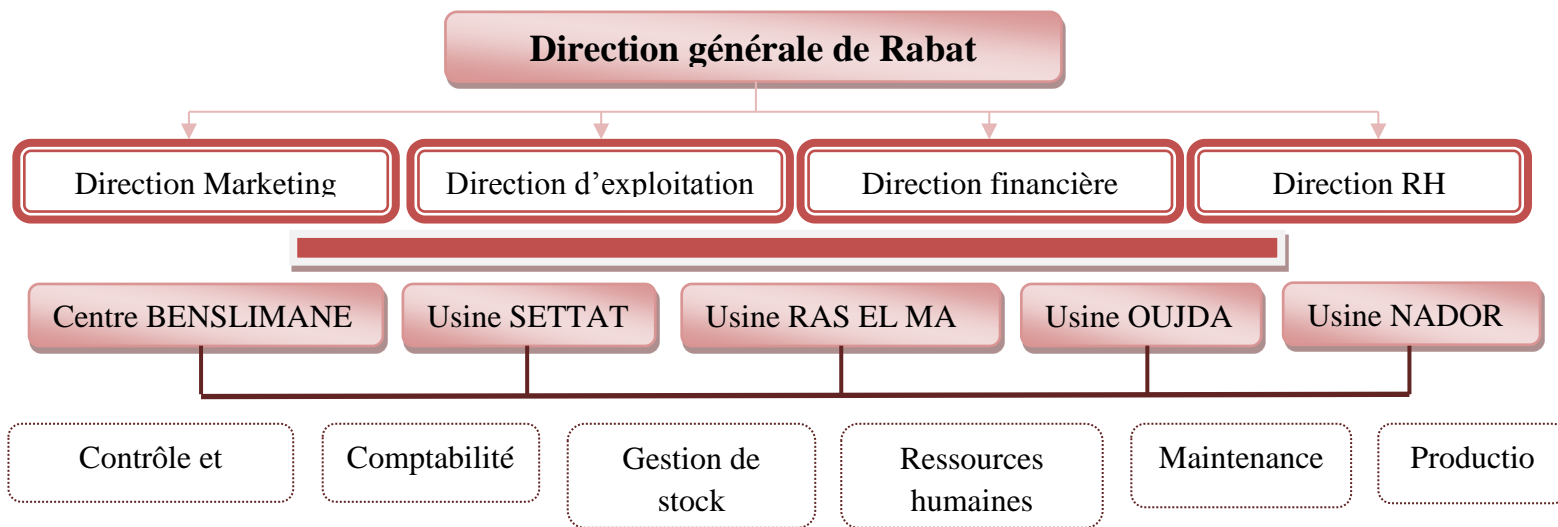
2. Sites d'activités :

Les usines Holcim Maroc sont réparties comme suit :

- **Oujda** : cimenterie intégrée créée en 1979 et produit 1500000 t/an.
- **Fès** : usine de production de ciment à Ras El Ma réalisant d'excellents résultats en matière de productivité. Elle est automatisée grâce à un laboratoire de contrôle automatique.
- **Casablanca** : centre d'ensachage. Il reçoit du ciment par voie ferrée et assure sa distribution sur la zone rabat-Casablanca.
- **Nador** : centre de broyage et d'ensachage qui utilise un nouveau procédé de fabrication appelé broyage séparé.
- **Atlacim** : une nouvelle usine créée à Settat.

- **Benslimane** : usine avec une carrière située sur les gisements calcaires de l'Oued Cherrat, à proximité des marchés de Rabat et de Casablanca.

3. Organigramme de l'entreprise :



III. Présentation de LafargeHolcim de Fès et sa situation dans le marché :

LafargeHolcim de Fès enregistre les plus fortes hausses de vente et se hisse à la première place au Maroc et en Afrique, et la 7^{ème} place sur le plan mondiale. Les ventes des produits sont réalisées au niveau global, régional et local. L'usine a été mise en service en 1993 et utilise le procédé de la fabrication à voie sèche intégrale. Cette unité est construite selon les technologies les plus récentes dans le domaine de l'industrie de ciment ainsi qu'elle est dotée d'un système de management intégré. Cette unité a enregistré d'excellentes performances depuis son récent démarrage notamment en matière de consommation calorifique et productivité.



Figure 3 : Vue panoramique de la cimenterie de Fès

Situé à 25 km au sud de Fès, L'usine s'étend sur 230 Hectare et produit actuellement 4 types de ciment : CPJ35, CPJ45, CPA55 et CPJ65.

Le site bénéficie de plusieurs avantages, entre autres :

- La disponibilité des matières premières en quantité et en qualité.
- La possibilité d'alimentation en eau et en énergie électrique.

- La qualité des terrains de point de vue fondation et écoulement de la production et l'approvisionnement de la cimenterie.
- Un accès à la route et à la voie ferrée.

IV. La politique qualité, santé, sécurité et environnement :

À mesure que l'urbanisation affecte de plus en plus les gens et la planète, le Groupe propose des produits innovants et des solutions de construction avec un engagement clair en matière de durabilité sociale et environnementale.

1. Qualité et certificats :

- Holcim Maroc établit des relations de partenariat avec ses fournisseurs. Ces relations sont le garant de la qualité élevée et régulière de ses produits et services qui sont conformes à la norme Marocaine NM 10.01.004.
- Le système d'assurance qualité à Holcim Maroc consiste à conjuguer le système de contrôle interne par les laboratoires des usines avec des contrôles et des audits externes effectués par le laboratoire officiel désigné par le ministère du commerce et d'industrie.

Le site de Fès Ras El Ma, d'Oujda et le siège de Rabat sont dotés d'un **système de management** intégré, et certifiés ISO 9001 et ISO 14001.

2. Santé, sécurité :

- La santé et la sécurité du personnel représentent une préoccupation majeure pour la direction et l'encadrement de LafargeHolcim Maroc. Ainsi, ils s'engagent dans le cadre de la politique à garantir des conditions de travail qui répondent aux normes requises d'hygiène et de sécurité.
- Pour se conformer à cet engagement ils ont nommé un cadre responsable de la sécurité dans chacune des usines et ont mis en place, depuis 1999, une démarche sécurité.
- Afin de continuer à améliorer la sécurité du personnel, ils travaillent toujours à la mise en place des bases d'une certification du système de gestion de la sécurité.

3. Environnement :

A l'instar des autres filiales du groupe, LafargeHolcim développe une politique environnementale basée sur les principes du développement durable. Afin de respecter l'environnement, ils s'engagent à plusieurs opérations concrètes, on peut citer :

- Optimiser l'utilisation et la consommation des ressources naturelles et énergétiques en organisant les procédés de fabrication de manière efficiente et efficace;
- Assurer la prévention des pollutions en élaborant les procédures relatives à la maîtrise des situations d'urgence et en veillant à leur bonne application ;
- Veiller au respect des règles de gestion des déchets générés par ses activités ; etc.

V. Services :

Ecoval - 1ère plateforme de prétraitement et valorisation de déchets au Maroc :

Cette plateforme comprend de différents ateliers de prétraitement de reconditionnement des déchets industriels en fonction de leurs caractéristiques et de leur nature.

Batipro - Distribution de matériaux de construction : Le Groupe Holcim Maroc a initié le premier réseau de distribution de matériaux de construction au Maroc sous l'enseigne "BATIPRO". Son ambition est d'être le premier réseau de référence dans ce secteur d'activité.

Mateen – Promotion immobilière : Holcim Maroc a lancé en 2007 une société de promotion immobilière. Mateen a pour vocation de développer un projet pilote dans le segment du logement et de définir les bases du développement de cette activité.

VI. Produits

1. Matières premières :

Le calcaire est majoritaire dans la constitution du clinker, il peut atteindre 80%, le schiste peut aller jusqu'à 4% tandis que le sable et le minerai de fer (dites de correction) sont utilisés à hauteur de 4% et 1,8% respectivement.

2. Type :

La cimenterie de Fès fabrique 4 types de ciment :

- **Le CPJ 35 :** est un ciment portland constitué de 56% de clinker, 5% de gypse et 39% de calcaire. Sa classe de résistance de 35 MPA en fait un produit particulièrement adapté à la fabrication des mortiers et enduits pour la maçonnerie, ainsi que des bétons non armés peu sollicités à résistances mécaniques peu élevées.
- **Le CPJ 45 :** est un ciment portland constitué de 63% de clinker, de 5% de gypse et de 32% de calcaire. Sa classe de résistance de 45 MPA lui confère l'aptitude à être utilisé pour les bétons armés fortement sollicités et à résistance mécanique élevée.
- **Le CPA 55 :** est un ciment artificiel constitué de 71,5% de clinker, de 5,5% de gypse et de 22 % de calcaire. Sa teneur en filler est limitée à 3%. Sa classe de résistance de 55 MPA lui confère l'aptitude à être utilisé pour des applications spécifiques telles que les bétons armés.
- **Le CPJ 65 :** constitué de 91% de clinker, de 6 % de gypse et de 3% de calcaire.

VII. Les unités de l'usine :

1. Laboratoire :

Le rôle du laboratoire est très important, son but est de **contrôler la qualité des échantillons** prélevés de façon régulière tout au long du procédé de la fabrication depuis les matières premières jusqu'au produit fini par des procédures chimiques et physiques nécessaires afin de

connaître leur teneur en différents composés et de pouvoir ainsi les doser. Les résultats de ces tests sont envoyés vers la salle de contrôle. Les contrôles effectués sont :

- Contrôle des matières premières chaque semaine.
- Contrôle de sortie broyeur cru chaque heure.
- Contrôle de la farine chaude 3 fois par jour.
- Contrôle de clinker chaque heure.
- Contrôle de ciment chaque 2 heures.

2. Salle de contrôle :

De la salle de contrôle, les techniciens supervisent l'ensemble des phases de la production 24h/24 et 7j/7 par les données transmises en permanence par les capteurs disposés en différents points de l'unité de production. Ainsi, Les ordinateurs analysent rectifie automatiquement les consignes des doseurs, selon les résultats de contrôles faits par le laboratoire.

3. Bureau de méthodes :

Le rôle du bureau des méthodes consiste à planifier, organiser et assurer la bonne marche des travaux de maintenance, par des entretiens préventifs qui permettent de maintenir ou de rétablir un ensemble des équipements pour assurer la production, réduire la probabilité de défaillance, et pour assurer un bon état de marche des équipements et les performances requises au moindre coût. Le bureau de méthode de LafargeHolcim utilise le progiciel SAP comme base de données. **SAP** est un système dans lequel les différentes fonctions de l'entreprise sont reliées entre elles par l'utilisation d'un système d'information centralisé sur la base d'une configuration client/serveur.

4. Magasin :

Le magasin est un bâtiment composé d'une salle aménagée et destinée à recevoir des marchandises. Il sert de lieu de stockage des outillages et des pièces dont la consommation ou l'utilisation n'est pas immédiate. Les principaux buts d'un magasin sont :

-**But économique** : Il permet d'accomplir la politique d'optimisation des coûts.

-**But logistique** : Il permet de maintenir des articles disponibles et à proximité de l'utilisateur.

-**But de régulation** : C'est un point de base qui permet de maintenir une circulation mesurée et constante des flux d'articles en amont et en aval de la chaîne.

-**But de sécurité** : Un lieu où l'on range le matériel dans des conditions de stockage spécifiques. L'accès y est limité à certaines personnes et les mouvements des articles sont contrôlés.

Le magasin est divisé en 5 zones :

- **Zone Self-service** : Contient les pièces pas chère, et dont le changement est fréquent.
- **Local N** : Contient des pièces électriques, la température de cette chambre est maintenue à 25°C, car ces pièces doivent rester dans un endroit frais.

- **Zone S :** Contient des roulements, des paliers et des moteurs électriques.
 - **Parc :** dédiée pour les grands stockages, contient : des grands moteurs, des bouteilles de gaz, les pièces stratégiques, des rouleaux et des bandes, des câbles électriques, les huiles (Rangées selon la notion First In First Out) ainsi que des profils (charpentes, ...), etc.
 - **Local des produits dangereux :** Il contient le RC fioul, le désoxal, les colles ...
- La gestion du magasin se fait par stock min/max ; Le MRP donne la liste des articles qui ont un stock min, puis le responsable du magasin postule une demande d'achat, le service fait des consultations pour choisir le meilleur fournisseur, et finalement on réalise un bon de commande.

5. Service commercial :

Au sein de l'entreprise, les commerciaux jouent un rôle important. En effet, ils constituent une véritable force vivante qu'il appartient au manager de bien encadrer, en assignant aux commerciaux plusieurs tâches sous forme d'objectifs réalisables, compréhensibles et motivants. Les différentes missions d'un commercial sont :

- La prospection, qui est sa tâche première et qui consiste à ramener de nouveaux clients.
- La communication, qui lui permet de transmettre des informations concernant le produit ou le service aux clients ciblés.
- Le service, qui doit intervenir avant et après la vente en se mettant à la disposition du client et en écoutant ses remarques.
- La fidélisation des clients, en leur proposant des offres complémentaires et des promotions.

Pour ce faire, les commerciaux doivent tenir compte des spécificités du marché ciblé et du positionnement recherché par l'entreprise sur chaque marché.

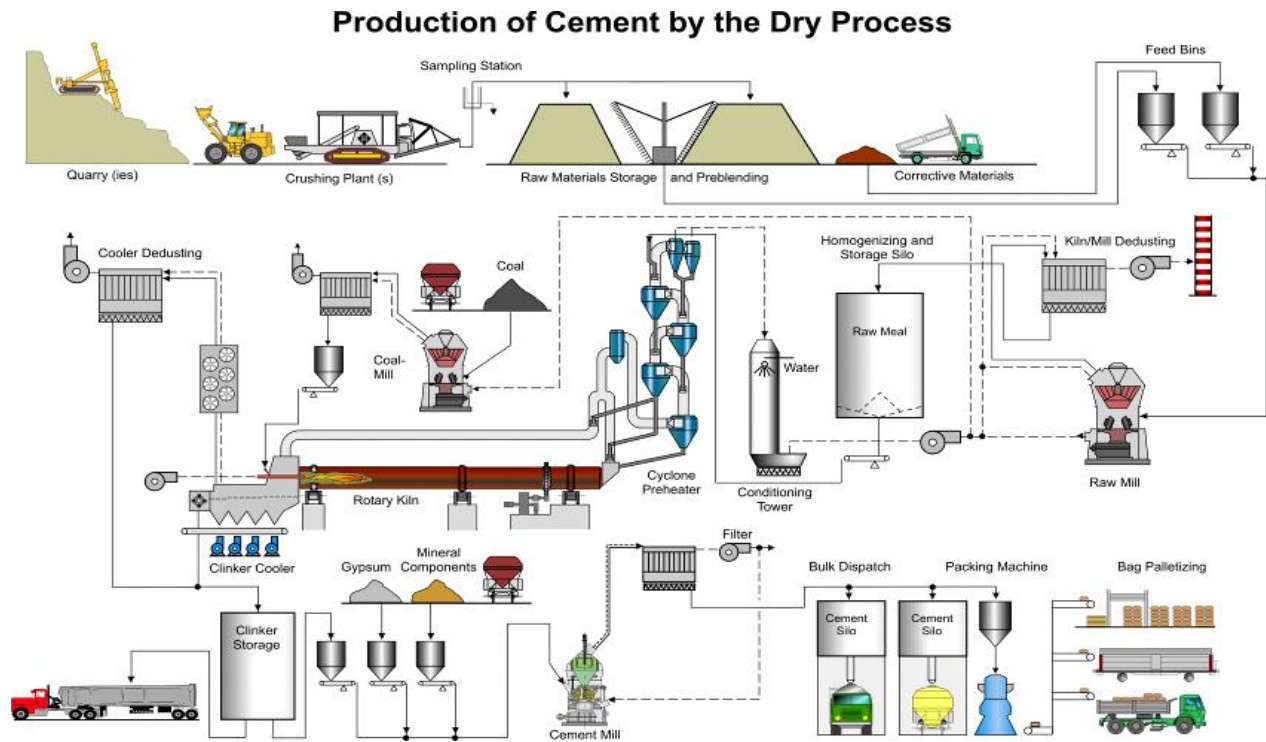
6. Service Ressources Humaines :

S'occupe des fonctions classiques à savoir : le recrutement, le suivi des carrières, la gestion social, la gestion des congés, la paie, les avances et crédits accordés aux salariés.

Dans une société telle LafargeHolcim opérant dans un secteur où la concurrence pousse à être à la pointe de la technologie, elle doit disposer d'un staff regroupant d'excellentes compétences ayant un haut niveau de formation. Pour cela, le service RH est exigeant au niveau du recrutement et programme régulièrement des programmes de formation qui concernent les différentes catégories de salariés et touche des domaines variés aussi bien techniques qu'administratifs.

L'une des tâches classiques du service est la gestion de la paie. Ainsi, le salaire le plus bas dépasse largement le SMIG ce qui constitue un important facteur de motivation pour les salariés. D'autre part, l'ensemble du personnel de LafargeHolcim est inscrit à la caisse nationale de sécurité sociale bénéficiant ainsi de ses multiples services.

Chapitre II : Procédé de fabrication de ciment



I. Qu'est-ce que le ciment ?

Le ciment est invention du XIX^{ème} siècle. C'est un liant, une matière pulvérulente et une gangue hydraulique formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte homogène et plastique, capable d'agglomérer, en durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Il est composé de calcaire et d'argile; Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre, mélangée à de l'eau, pour agréger du sable fin, des graviers, pour produire du mortier, de véritables roches artificielles, ou encore du béton.

La fabrication du ciment est énergivore, et la production du clinker son principal constituant, est responsable d'approximativement 5% des émissions de gaz à effet de serre anthropiques, responsables du réchauffement climatique.

Un ciment est dit **naturel** lorsqu'il résulte de la simple cuisson à température modérée (500 °C à 1 200 °C) d'une marne ou d'un calcaire argileux (Ciment prompt, ciment romain, et le premier ciment Portland sont des ciments naturels). Il est dit **artificiel** (Ciment moderne, appelé Ciment Portland) lorsqu'il résulte de la cuisson à plus haute température (1 450 °C) d'un mélange moulu de calcaire, de marne ou d'argile.

II. Les différentes voies de production du ciment :

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production ainsi que des contrôles rigoureux et continus de la fabrication. Il existe 4 principaux procédés de fabrication de ciment qui diffèrent entre eux par la nature du traitement thermique utilisé :

- **La voie humide :** la matière première, après son concassage est délavée dans l'eau, puis broyée en humide. La pâte obtenue est homogénéisée, puis alimente le four. Cette méthode est abandonnée pour des raisons d'économie d'énergie.
- **La voie semi – humide :** la matière est préparée en voie humide, puis séchée avant le four.
- **La voie semi – sèche :** la farine crue, sèche, passe d'abord dans un gradateur où elle est humidifiée.
- **La voie sèche :** 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, elle se chauffe à travers des cyclones. A l'entrée du four rotatif, la farine est sur une température de 900 à 1000°C. Autrement dit, cette voie est plus rentable et plus optimale au niveau énergétique.

➔ **Le procédé de fabrication du ciment utilisé à l'usine de RAS EL MA de FES est la voie sèche.**

III. Procédé de fabrication de ciment :

1. Extraction :

Une cimenterie doit se situer près d'une carrière de calcaire d'une grande durée de vie car c'est l'un des composants principales du ciment, pour cela l'emplacement de la cimenterie est choisi soigneusement selon des études précises de l'entourage.

Le calcaire est extrait par minage du front de taille, aménagé en gradins. A cette fin, on pratique des trous profonds dans le roc que l'on remplit d'explosifs, suivant un plan de tirs et d'allumage précis, tendant à obtenir le profil final de la réhabilitation de la carrière.

Les autres matières premières (l'argile, le sable, le schiste, le minerai de fer, ...etc.) sont transportées par voie ferroviaire.

2. Concassage :

Le concassage est le processus d'application d'une force, amplifiée par avantage mécanique, à l'aide d'un matériau dont les molécules sont liées plus solidement et résistent mieux à la déformation que celles du matériau à concasser. Cependant, Le matériel à être broyé doit avoir une caractéristique semi dure car la machine peut supporter le concassage de matériaux qui ont une résistance maximum de compression de 150MPa.

Le concasseur utilisé dans LafargeHolcim de Fès est un concasseur à marteaux, il dispose de 3 entrées; La 1^{ère} pour le calcaire, la 2^{ème} pour l'argile et la 3^{ème} pour des ajouts différents selon le besoin (Fer, sable ...). Les camions déplacent la matière première du stock vers les entrées du concasseur, ses dernières sont transportées par des bandes navettes vers l'emplacement du concassage par des vitesses différentes pour assurer un bon dosage. La matière passe entre deux rotors qui tournent en sens inverse où les matières sont accrochées et percutent les blocs. La matière première est donc soumise à des efforts d'impact, de cisaillement ou de compression.

3. Stockage concasseur :

La granulométrie est transportée par des convoyeurs vers un hall de stockage qui est rempli par les stackers reliés à la bande venante du concasseur. Pour transporter la matière vers le broyeur cru, le reclaimer gratte sur la matière, puis les racleurs qui sont actionnés par des supports de guidage la poussent pour tomber sur la bande pour la faire circuler vers le broyage.

4. Dosage cru :

On dispose de 4 trémies qui assurent le stockage et de 2 bandes navettes, chaque bande navette alimente 2 trémies selon son sens de rotation, la première remplit la trémie de calcaire ou de schiste, et la deuxième remplit la trémie de sable ou de minerai de fer. La matière passe par une chambre où se fait l'équilibre par des rayons gamma pour savoir le pourcentage des matières

premières, et une fois le dosage est terminé, la matière est conduite vers le broyeur par une bande transporteuse.

5. Broyage cru :

Un **broyeur cru** réduit et sèche la matière concassée, et assure la finesse requise pour la cuisson. Il est constitué de deux paires de galets qui écrasent la matière contre une piste rotative par l'effet d'une force centrifuge, ainsi les particules fines entraînées par le ventilateur sont acheminées vers le séparateur, les autres sont recyclées dans le broyeur. Ces paires de galets sont entraînées par le plateau de broyage et reçoivent leurs pressions par un système de vérins hydrauliques. La matière obtenue « Farine » est ensuite emportée par le gaz chaud provenant du four vers le dépoussiéreur à manches.

6. Dépoussiérage :

Les particules fines entraînées par le flux de gaz sont dirigées vers le séparateur qui les dirige vers les filtres de dépoussiérage. Le dépoussiéreur retient les particules de farine sur les manches et libère la matière des gaz dépourvue de poussière par la cheminée. La farine retenue est ensuite transportée vers le silo d'homogénéisation.

Remarque : on trouve des filtres dans toutes les unités de production pour une raison environnementale.

7. Silo Homogénéisation :

La farine, produit sec obtenu suite au broyage et à la séparation, est transportée à travers des aéroglistisseurs vers un silo de stockage dont la capacité est de 6000t et dont le rôle est d'homogénéiser la farine. Il est équipé d'un système de fluidisation et d'extraction qui contient des conduites à l'intérieur desquelles de l'air sous pression est soufflé.

8. Préchauffage :

Avant d'introduire la matière dans le four elle passe par les tours DOPOL. A la sortie d'homogénéisation, la farine est transportée par un élévateur à godets en tête de la tour, chaque tour est constituée de 5 cyclones et d'un ventilateur qui sert à tirer les gaz chauds du four vers les cyclones. La farine circule par gravité à contrecourant avec les gaz chauds ascendants du four le long de la tour, puis, elle passe par un **pré-calcinateur** qui a pour rôle de calciner la farine à presque 90%. Une fois calcinée, la farine sera prête pour la cuisson.

Décarbonatation : Le cru étant séché s'échauffe sans grande réaction chimique jusqu'à une température de 900°C dans la tour DOPOL où intervient la décarbonatation de la phase calcaire.



De cette réaction endothermique résulte la formation de CaO naissante indispensable pour la formation de différentes phases du clinker. L'échange thermique s'accompagne de :

- Evaporation de l'eau libre.
- Dégagement de l'eau de constitution des argiles.
- Décarbonatation partielle de la farine.

9. Cuisson (Four rotatif) :

Le four rotatif est le noyau de l'usine, il est en acier et il est de forme cylindrique de 3.6m de diamètre et de 62m de longueur, la pente d'inclinaison est de 3.5%. Sa vitesse de rotation peut atteindre 2.5 tr/min et sa température intérieure peut atteindre 1450°C (Température de clinkerisation). Pour cela, une isolation thermique est nécessaire, et à l'aide des ventilateurs installés près du four, la température extérieure ne dépasse pas 50°C. Sa disposition en pente permet le transport de la matière introduite à l'autre extrémité par rapport aux flammes.

Le four fonctionne en voie sèche et repose sur 3 stations :

- **Station 1** : contient une couronne et un pignon d'attaque qui assurent le mouvement de rotation du four, 2 galets et 4 paliers. Pour éliminer le croustage au niveau du four, on utilise la fluorine au lieu des cardox qui existent sur la première zone et qui ont été utilisés pour le même but auparavant.
- **Station 2** : elle contient 2 galets et 4 paliers, et elle supporte la charge du four. Pour cela on remarque la présence de plusieurs soudures sur cette station à cause des anciennes fissures.
- **Station 3** : elle contient 2 galets et 4 paliers, elle se trouve avant le capot de chauffe. Au moment de chauffe, le four est alimenté par le gasoil. Après une certaine durée, on injecte du charbon (et parfois les grignons d'olives) petit à petit et on diminue le gasoil jusqu'à l'arrêt de son utilisation.

Le charbon nécessaire à la production de l'énergie calorifique injecté dans le four vient du **broyeur de charbon** qui fait partie de la catégorie des broyeurs horizontaux à boulets (BK3), il est séparé en deux chambres munies de blindage par une cloison intermédiaire de séparation. La 1^{ère} chambre contient des boulets de diamètre variant entre 90 et 60 mm, et la 2^{ème} entre 50 et 14 mm, pour mieux broyer le charbon et pour avoir une meilleure combustion.

10. Refroidissement :

Le clinker sortant du four est réparti sur 7 ballonnets fixés à la périphérie de l'extrémité du four et refroidi par la grille vibrante du refroidisseur, où il est trompé rapidement par l'air froid soufflé par le bas de la grille. Le refroidisseur est équipé par 8 ventilateurs qui propulsent de l'air en vue de refroidir le clinker progressivement. ce processus permet la récupération d'une partie de la chaleur sensible du clinker, utilisée comme air secondaire de la combustion.

Après refroidissement dans les ballonnets, le clinker ayant une granulométrie supérieure à 30 mm, est concassé dans deux concasseurs à marteaux, puis il est transporté jusqu'au silo de stockage.

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

11. Stockage et expédition clinker :

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

12. Broyeur ciment :

Avant le broyage de la matière cuite, on ajoute du gypse et d'autres constituants secondaires qui donnent au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités. 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. Ce broyage se fait dans un broyeur vertical à galets (BK4) constitué d'une piste rotative et 4 galets, avec un débit nominal de 120 tonnes/heure. L'atelier de broyage comprend le broyeur, le séparateur, le dépoussiéreur du broyeur et accessoirement la presse à rouleaux.

13. Stock ciment :

Après sa fabrication, le ciment est acheminé par voie pneumatique ou mécanique vers des silos de stockage dont la capacité est de plusieurs milliers de tonnes, pour alimenter par la suite les ateliers d'ensachage pour les livraisons en sac, ou les dispositifs de chargement en vrac.

14. Ensachage et expédition :

C'est l'interface de l'usine avec le client. L'extraction du ciment se fait par fluidisation à l'aide de suppresseurs au niveau des silos de stockage. Le ciment est ensuite transporté par des aéroglistisseurs et des élévateurs à godets puis passe par des cribles pour l'élimination des corps étrangers. L'expédition des différents types se fait en sac de 50 kg et en vrac soit par route ou par voie ferrée.

Ensachage : L'ensachage du ciment se fait dans des sacs en papier KRAFT ou du papier poreux qui sont perforés pour permettre la sortie d'air seulement lors de leur remplissage en ciment.

L'installation d'ensachage a été rénovée récemment et comporte 3 ensacheuses automatiques.

Pour les livraisons en sac, le chargement des camions et des wagons se fait par des chargeurs automatiques répondant aux normes environnementales.

Vrac : L'expédition de ciment en vrac par camion ou wagon citerne se fait directement à partir des silos de stockage.

IV. Cadre du projet :

1. Introduction :

Il nous a été confié de réaliser l'AMDEC du broyeur cru car c'est une machine critique qui joue un rôle important dans le processus de fabrication du ciment; donc l'arrêt de ce broyeur cause l'arrêt de production et par conséquent une perte financière importante.

Le travail portera sur le diagnostic et la proposition d'actions préventives afin de garantir un fonctionnement continu (pas d'arrêt de production).

2. Cahier de charges :

Le cahier de charges est défini comme suit :

- Description du fonctionnement du broyeur cru.
- Découpage fonctionnel du système.
- Analyse fonctionnelle et description de chaque sous équipement.
- Etude de l'historique des pannes au niveau de chaque élément de l'ensemble.
- Identification des défaillances.
- Etude et analyse rationnelles des modes de défaillances.
- Etude et calcul de la criticité.
- Proposition des actions préventives.

3. Objectifs du projet :

Ce projet a pour but d'atteindre les objectifs suivants :

- Réduire les arrêts de production dus aux pannes au niveau de ce broyeur.
- Augmenter le taux de production.
- Augmenter le chiffre d'affaires.
- Réduire le temps des réparations.
- Mise en place des actions préventives pour éviter les arrêts soudains.

Chapitre III : Etude AMDEC d'un broyeur vertical (Broyeur cru)

I. Présentation de l'analyse AMDEC :

1. Définition :

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est un outil de sûreté de fonctionnement et de gestion de la qualité. AMDEC est la traduction de l'anglais FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), désignation d'une méthode élaborée par l'armée américaine dans les années 1940. Cette méthode est aujourd'hui souvent présente dans les projets d'innovation, lorsqu'il s'agit d'identifier les risques d'un projet et les mesures à prendre pour les réduire. Son **but** est de hiérarchiser les actions d'amélioration à conduire sur un processus, un produit ou un système en travaillant par ordre de criticité décroissante. Il existe cinq principaux types d'AMDEC :

- l'AMDEC **fonctionnelle**, permet, à partir de l'analyse fonctionnelle (conception), de déterminer les modes de défaillances ou causes amenant à un événement redouté ;
- l'AMDEC **produit**, permet de vérifier la viabilité d'un produit développé par rapport aux exigences du client ou de l'application ;
- l'AMDEC **processus**, permet d'identifier les risques potentiels liés à un procédé de fabrication conduisant à des produits non conformes ou des pertes de cadence ;
- l'AMDEC **moyen de production**, permet d'anticiper les risques liés au non-fonctionnement ou au fonctionnement anormal d'un équipement, d'une machine ;
- l'AMDEC **flux**, permet d'anticiper les risques liés aux ruptures de flux matière ou d'informations, les délais de réaction et correction, les coûts inhérents au retour à la normale.

2. Démarche :

L'élaboration d'une analyse AMDEC consiste à la mise en place d'une analyse qualitative et d'une analyse quantitative des défaillances ;

- L'**aspect qualitatif** de l'analyse consiste à recenser les défaillances potentielles inhérentes aux fonctions du système étudié, à rechercher et à identifier les causes de ces défaillances ainsi que leurs effets sur les clients, les utilisateurs, l'environnement interne ou externe du système
- L'**aspect quantitatif** consiste à évaluer les défaillances potentielles afin de les hiérarchiser. L'évaluation des défaillances s'effectue en calculant la criticité selon plusieurs critères: la gravité des effets, la fréquence d'apparition des causes, la capacité de détection des défaillances.

3. Principe de la démarche :

Dans un projet, il s'agit de réaliser un découpage fonctionnel pour déterminer tous les équipements et les sous équipements d'un système pour pouvoir identifier là où il y a un risque de défaillance et effectuer une étude rationnelle des modes de ces défaillances.

Ce premier travail aboutit généralement à une liste en vrac, qu'il s'agira de classer ensuite par ordre de priorité selon la notion de criticité qui se détermine généralement par le produit :

(Indice de fréquence) × (Indice de gravité) × (Indice de non détection). **C = F x G x N**

Pour chaque mode de défaillance, On identifie et évalue :

- sa (ses) cause(s) et l'indice de fréquence (classe d'occurrence),
- ses effets et l'indice de gravité (classe de sévérité),
- les mesures mises en place pour détecter la défaillance et l'indice de détection (classe de probabilité de détection).

. Une fois les problèmes les plus critiques identifiés, des mesures correctives ou préventives doivent être identifiées pour réduire la gravité ou bien la fréquence des problèmes.



Figure 4 : Schéma du principe de l'AMDEC

4. L'échelle de cotation :

Les risques sont classés par une échelle commune les uns par rapport aux autres, on trouve ci-dessus le tableau des indices des 3 critères qui permettent le calcul de la criticité dont la valeur maximale est 80 et qui évolue avec le temps selon la durée de vie de l'équipement.

Indice de Fréquence	Critère F
1	Défaillance exceptionnelle : possibilité pratiquement inexistante
2	Défaillance rare : Occasionnelle, s'est déjà produite ou pourrait se produire
3	Défaillance certaine : apparue traditionnellement dans le passé
4	Défaillance très fréquente : se produit souvent

Indice de Gravite	Critère G
1	Défaillance mineure ne provoque pas un arrêt de production et aucune dégradation notable du matériel
2	Défaillance moyenne provoque un arrêt de production et nécessite une petite intervention
3	Défaillance majeure provoque un arrêt significatif et nécessite une intervention importante
4	Défaillance catastrophique provoque un arrêt impliquant des problèmes graves
5	Sécurité /Qualité : Accident pouvant provoquer des problèmes de sécurité des personnes
Indice de la non-Détection	Critère D
1	Signes avant-coureurs : l'opérateur pourra détecter facilement la défaillance
2	Peu de signes : la défaillance est décelable avec une certaine recherche
3	Aucun signe : la recherche de la défaillance n'est pas facile
4	Expertise nécessaire : La localisation de la défaillance nécessite un arrêt pour être détecté

Tableau 1 : Indices des critères de criticité

5. Intérêt de la démarche

Au sein d'une entreprise, l'utilisation de l'AMDEC se traduit par :

- Une production optimisée, le bon produit du premier coup.
- Une amélioration permanente des moyens de production afin de limiter les défaillances.
- Une amélioration constante de l'organisation.
- La fixation d'un seuil de qualité à obtenir, la mise en place des moyens pour y parvenir.
- Une analyse de chacun des défauts de production.
- La rédaction de recommandations en cas de défaillances.
- L'amélioration et la stabilité du système étudié, par la hiérarchisation des risques et le traitement prioritaire des risques critiques.
- La réduction des coûts, par la réduction des effets négatifs internes et externes et par l'obtention d'un niveau de qualité optimal.
- La diminution des risques inhérents au système par la mise en œuvre d'un plan d'action.
- L'optimisation des contrôles, par la détermination d'un plan de surveillance des actions préventives et correctives décidées.

6. Raison d'application de cette démarche :

Une analyse AMDEC permet d'**identifier** les risques qui représentent des événements indésirables dont l'apparition n'est pas certaine, ayant pour conséquence la possibilité que le projet n'aboutisse pas conformément aux objectifs de date d'achèvement, de coûts ou de spécifications; les **analyser**, puis **proposer des solutions** à mettre en place, en se basant sur l'historique des pannes des éléments du système étudié.

II. Description du fonctionnement du broyeur cru :

Au cours de l'année 2012, Holcim Fès a changé le broyeur cru en choisissant un nouveau constructeur « Loesche » pour sa réputation et son succès généralisé dans l'industrie du ciment, et qui s'explique par les avantages et les caractéristiques suivantes :

- Faible consommation spécifique en énergie.
- Pertes de charge réduites par suite des grandes sections de passage dans ses broyeurs.
- Emissions sonores minimales, aucune mesure de protection acoustique n'est nécessaire.
- Adaptation rapide aux changements de qualité de production.
- Utilisation des gaz de rejet du four pour le broyage/séchage et comme gaz de transport du produit fini vers les séparateurs de poussières.

Principe du broyage :

Dans le broyeur Loesche, la matière à broyer est chargée sur le plateau de broyage horizontal par le cône, puis écrasée entre le plateau en rotation et les meules de broyage stationnaires coniques (dont les axes de rotation sont inclinés de 15° par rapport au plateau de broyage horizontal) sous l'action des forces produites par les suspensions hydropneumatiques des galets. Le broyage est effectué en premier lieu par les forces de compression.

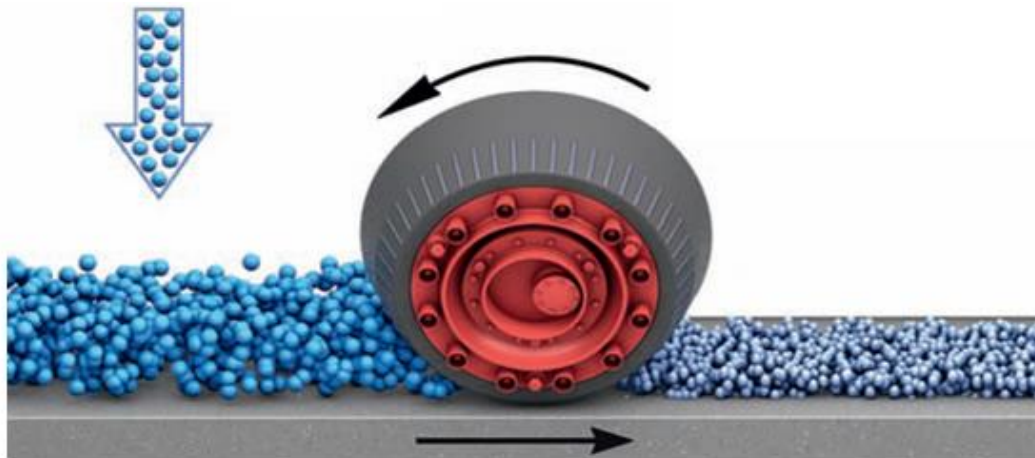


Figure 5 : Principe du broyage

Des forces de cisaillement, beaucoup moins importantes, aident au décollage de couches cristallines dans la matière à broyer. Lorsque les galets sont soulevés par la matière à broyer se trouvant sur la piste de broyage, les bras balanciers et les tiges ressorts déplacent les pistons des vérins hydrauliques et l'huile contenue dans les chambres supérieures des vérins est refoulée dans des accumulateurs sous pression gaz.

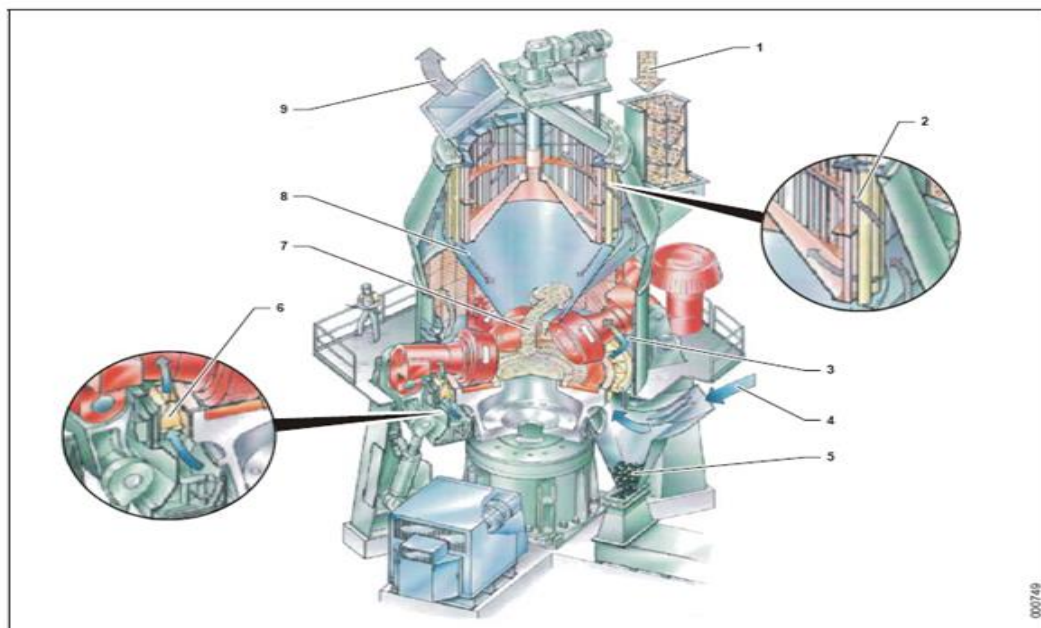
Des essais comparatifs effectués déjà ont montré que cette configuration produit un effet de broyage optimal tout en réduisant l'usure au minimum.

Des gaz chauds sont utilisés pour l'évaporation de l'humidité contenue dans la matière à broyer pour avoir une matière sèche, et produisent à l'intérieur du broyeur le niveau de

température de sortie souhaité et qui se situe dans une plage de 70°C jusqu'à 130°C. Les principales sources de gaz chauds sont les rejets des fours tournants, des échangeurs de chaleur et des refroidisseurs de clinker. Aux cas où ce gaz de rejet ne sont pas disponibles ou que leur contenu en chaleur est insuffisant, des générateurs de gaz chaud d'origine Loesche sont utilisés.

Le séparateur installé au-dessus de la chambre de broyage du broyeur élimine les particules de taille trop importante du flux gazeux entraînant les particules fines en-dehors du broyeur et les renvoie sur la table de broyage pour être broyées une nouvelle fois, alors que les particules fines sont entraînées par le flux gazeux et quittent l'enceinte du broyeur.

Le broyeur est entraîné par un moteur standardisé moyennant un réducteur. Les forces de broyage sont reprises par des paliers de butée à segments. Avant le démarrage du moteur, les galets sont relevés à l'aide du système hydraulique, par inversion de la pression de l'huile dans le vérin du système de suspension. Ainsi, le broyeur peut être démarré à vide ou à charge avec un faible moment de démarrage (Environ 40% du couple nominal).



Légende

- | | |
|--|---|
| 1 Entrée de matière broyée | 6 Du gaz chaud traverse la couronne d'aubes |
| 2 Séparation du matériau dans le séparateur | 7 La matière brute tombe sur le centre de la cuve |
| 3 Le matériau est transporté par le gaz chaud vers le séparateur | 8 Matériau rejeté par le séparateur |
| 4 Entrée du gaz chaud | 9 Sortie du produit fini |
| 5 Matière rejetée | |

Figure 6 : Schéma du principe de l'écoulement de la matière dans le broyeur

III. Etude AMDEC du broyeur cru :

1. Découpage fonctionnel du système :

On découpe en blocs fonctionnels l'équipement comme sur le schéma, sous une forme arborescente, selon autant de niveaux que nécessaire. Ce découpage permet de situer les éléments étudiés dans la structure générale du système.

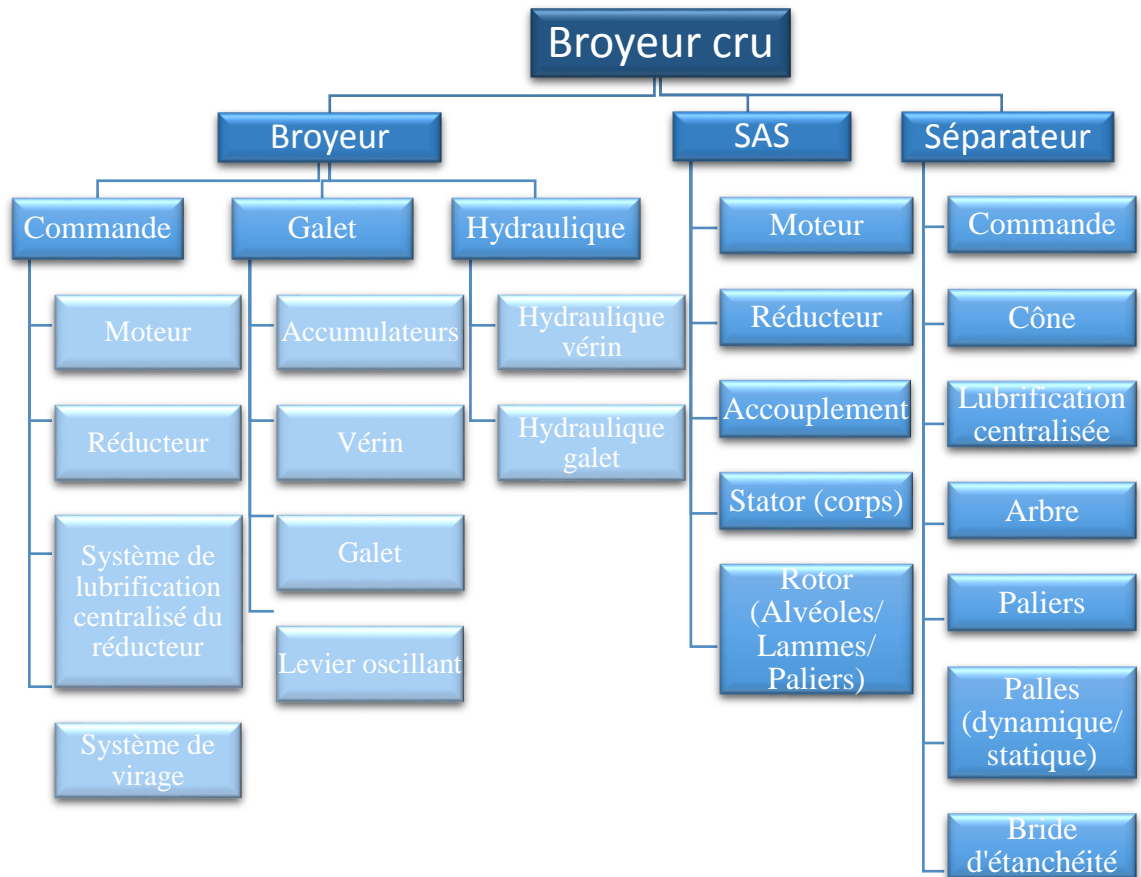


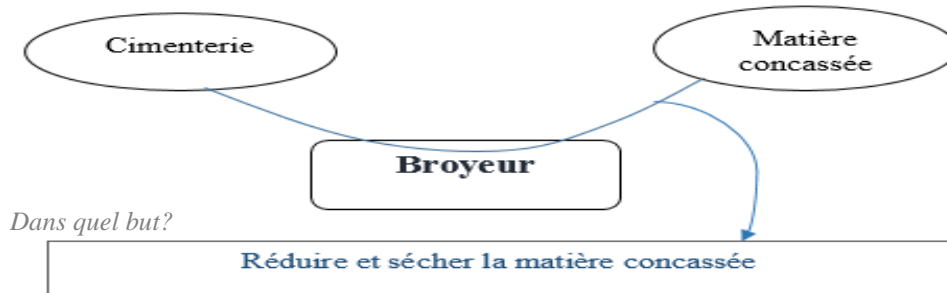
Figure 7 : Découpage fonctionnel du broyeur cru

2. AMDEC Broyeur :

- Analyse fonctionnelle :

A qui rend-il service ?

Sur quoi agit-il ?



Dans quel but ?

Réduire et sécher la matière concassée

Figure 8 : Bête à cornes du broyeur

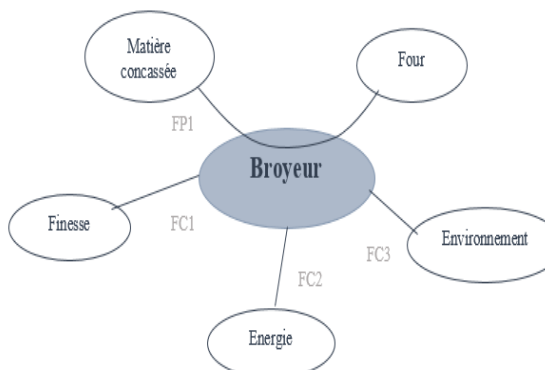


Figure 9 : Diagramme pieuvre du broyeur

FP1 : broyer la matière concassée pour alimenter le four.

FC1 : Avoir une bonne finesse.

FC2 : Utiliser les énergies disponibles. Ne pas consommer trop.

FC3 : Contribuer au respect de l'environnement.

- Description de l'équipement :

a. Commande :

Le broyeur est entraîné par un moteur standardisé asynchrone à courant triphasé sans convertisseur de fréquence moyennant un réducteur à engrenages cylindro-coniques avec accouplement élastique en torsion côté moteur. Ce moteur génère la puissance d'entraînement, pour les processus de broyage dans le broyeur cru, qui est transférée aux organes par l'intermédiaire de l'accouplement et du réducteur.

Le réducteur doit être monté sur des fondations solides, sans vibration et planes (Un cadre de base fermement ancré dans du béton et doté d'une surface d'appui usinée est approprié.)

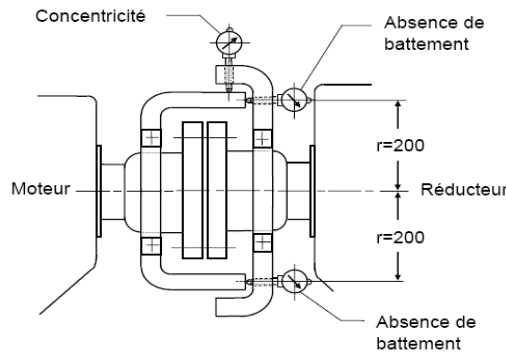


Figure 10 : Accouplement entre le moteur et le réducteur

Tableau 2 : Tolérances autorisées de l'accouplement moteur réducteur

Type d'accouplement	Concentricité	Absence de battement axial
Accouplement flexible	0,1mm	0,1mm

Avec $r \neq 200$ mm la tolérance au battement axial augmente proportionnellement au rayon de mesure r.

Une fréquence de base de 1,5Hz est activée par la vitesse de rotation, et la vitesse d'action des meules de broyage et d'oscillation au niveau du moteur ne doit pas être supérieure à 4,5mm/s.

Lubrification du réducteur :

LafargeHolcim utilise la lubrification par circulation d'huile. La lubrification ou le graissage est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement et l'usure entre 2 éléments en contact et en mouvement l'un par rapport à l'autre.

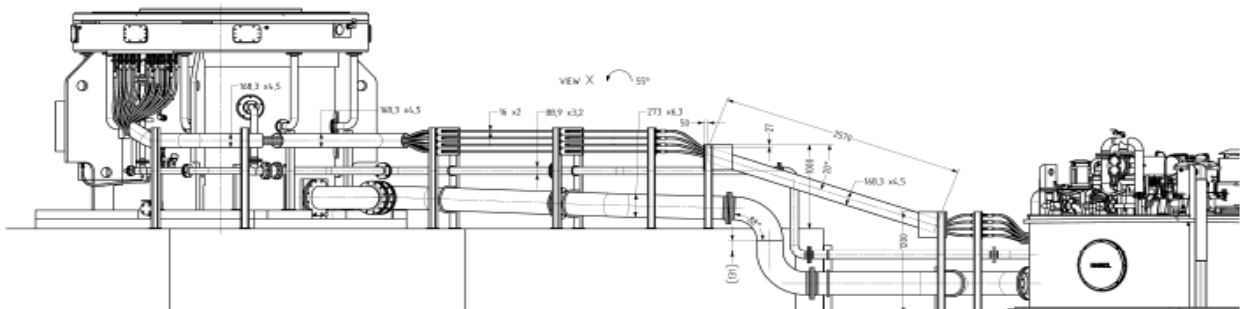


Figure 11 : Circulation d'huile depuis le système de lubrification vers les points de lubrification

Les réducteurs lourdement chargés requièrent une attention spéciale. Pour cela, l'installation est munie d'un système de lubrification à circulation d'huile qui contrôle la température du

réducteur, sépare les particules de saleté, les bulles d'air ou l'eau de l'huile. Il se compose d'unités compactes qui fournissent aux points de lubrification la bonne quantité d'huile tempérée. Cette installation contient 4 pompes Haute pression et chaque pompe a 4 sorties (Pour la lubrification des patins) et 2 pompes Basse pression (Pour la lubrification du réducteur) qui aspirent l'huile depuis le réservoir et qui servent aussi à alimenter un réseau de canalisations reliées aux points de lubrification au moyen de tuyauteries et flexibles. Chaque pompe est munie de son propre moteur, le débit des pompes est réparti au moyen d'un distributeur qui contrôle la circulation des fluides sous pression vers le réducteur. Le débit d'huile arrivant en chaque point à lubrifier peut être réglé par une soupape. Le système contient aussi des filtres, un refroidisseur, des entrées d'eau, des tuyaux qui font passer l'huile vers le broyeur, manomètre et un capteur qui donne la température de l'huile dans le réservoir à huile.

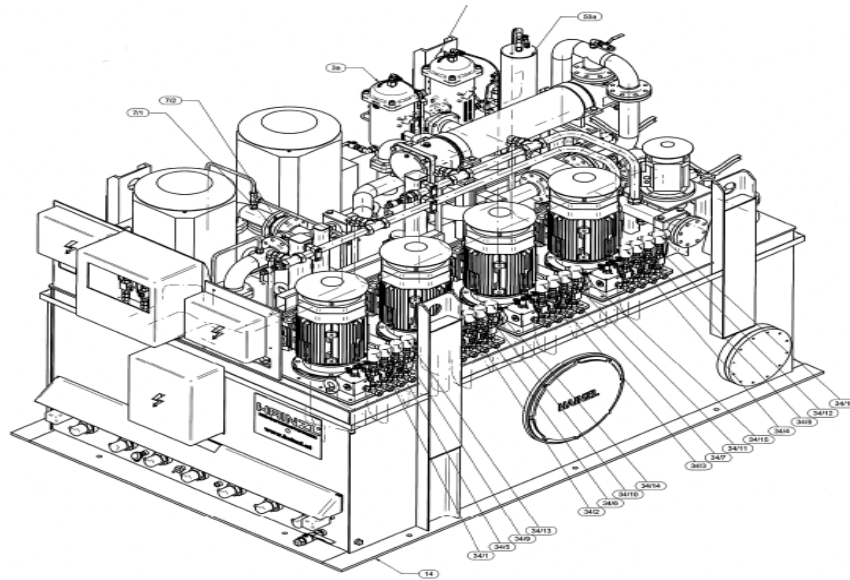


Figure 12 : Système de lubrification du réducteur et de la table

Une mise en marche de l'installation d'huile quelques heures avant la mise en service du réducteur est obligatoire pour assurer la température minimale de l'huile au moment de démarrage souhaité.

Système de virage ou commande de positionnement :

Pour pouvoir faire tourner l'auge de broyage à basse vitesse dans chaque position souhaitée, une commande de positionnement est posée sur le réducteur. La transmission de force entre la cette commande et le réducteur principal a lieu par le biais d'une chaîne à rouleaux. Le pignon de chaîne est enfiché sur l'arbre de sortie du motoréducteur et le disque de roue dentée à chaîne est posé sur l'axe de l'arbre d'entraînement du réducteur.

Pendant le fonctionnement normal, un blocage de chaîne ou une protection d'accouplement empêche que la chaîne ne soit posée. Simultanément, la commande de positionnement est bloquée par un interrupteur de sécurité.

Date de l'analyse : 01/05/2017	AMDEC Machine - Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité					Phase de fonctionnement : Normal				Page : 1/6
	Système : Broyeur cru		sous - ensemble : Commande broyeur							Nom : N.N
Matériel		Caractéristiques de la défaillance				Criticité				Résultats d'études
Organe	Fonction	Mode de défaillance	cause de défaillance	Effet sur système	Détection	F	G	N	C	Actions préventives
Moteur	Source de la puissance de la table									
Roulement	guider un assemblage en rotation	- usure - grippage -corrosion -écaillage	- lubrification inadéquate - vibration -blocage -charge axiale excessive	arrêt du broyeur	- bruit -Température	1	4 3	3 2	12 6	- Graissage systématique - installation instrument de mesure vibration
Accouplement	dispositif de liaison entre deux arbres en rotation	- usure doigts - fissure - casse	-vibration	arrêt du broyeur	-vibration	1	4 3	3 2	12 6	-contrôle systématique doigts plus contrôle alignement -Mesure systématique de vibration
Stator - Rotor	créer un couple électromécanique	- grillage	- surcharge thermique - Vieillesse	arrêt du broyeur	-déséquilibre de phase -Température	1	4	3 2	12 8	- entretien systématique - installation instrument de mesure vibration
Réducteur	Réduction de la vitesse									
Roulement	guider un assemblage en rotation	- usure - grippage -corrosion -écaillage	- lubrification inadéquate - vibration -blocage -charge axiale excessive	arrêt du broyeur	- bruit -vibration - température	1	4 3	3 2	12 6	- Graissage systématique - système de fixation des roulements - installation instrument de mesure vibration
Accouplement	dispositif de liaison entre deux arbres en rotation	- usure doigts - fissure / -casse	-vibration	arrêt du broyeur	- vibration - bruit	1	4 3	3 2	12 6	-contrôle systématique doigts plus contrôle alignement - installation instrument de mesure vibration
Engrenage	Transmission du mouvement de rotation	- fissure - usure -casse -grippage	-rupture du film lubrifiant -dépassement de la limite élastique -torque dynamique élevé	arrêt du broyeur	- bruit - vibration -échantillonnage d'huile	3 2	3 2	3	27 12	- Analyse vibratoire de l'état des roulements et des engrenages - Analyse systématique d'huile -prise d'empreinte
Système de lubrification	Lubrifier le réducteur et la table									
Pompe HP	Injection d'un film d'huile dans les patins du réducteur	- Cavitation - surpression -température excessive	-rupture accouplement -usure interne -lubrifiant non conforme -impuretés dues à l'usure	arrêt du broyeur	-bruit -Visuel (manomètre) -sonde de température -sonde de pression	2 1	3	2	12 6	- vérifier montée en pression - Contrôler les raccords, joints et tuyaux - alignement pompe
Pompe BP	Lubrifier le réducteur	- surpression -température excessive -cavitation	-état joint d'étanchéité -viscosité trop élevé	- apparence laiteuse au fluide - température élevé	-bruit -Visuel (manomètre) -sonde de température	2 1	3	2	12 6	- vérifier montée en pression - Contrôler les raccords, joints et tuyaux

					- sonde de pression - débitmètre					
Accoup. pompe	dispositif de liaison entre deux arbres en rotation	- usure doigtiers - fissure - casse	-vibration	arrêt du broyeur	-vibration	2	3	3 2	18 12	-contrôle doigtiers plus contrôle alignement -Installation sonde de temp
Moteur	Source de la puissance de la pompe	- moteur brulé -problème de surcharge - augmentation température	-alimentation inadéquate -usure	arrêt du broyeur	- bruit -température élevé -arrêt	2	3	3 2	18 12	- contrôle et relevés des paramètres de fonctionnement -indicateur du régime du moteur -Sonde temp. + vibration -contrôle sécurité de moteur
Filtre	filtration d'huile	- Colmatage - Mauvais filtrage - fissure	- Présence d'impuretés	arrêt du broyeur	- Indicateur de décolmatage	3 2	3 2	2	18 8	- Changer le filtre - Placer une grille sur le bouchon de remplissage -nettoyage à intervalles réguliers
Distributeur	Commuter et contrôler la circulation des fluides sous pression	-blocage -fuite	- bobine grillé - mauvaise connexion -usure des joints	arrêt du broyeur	- Indicateur de pression	1	3	3 2	9 6	-Mise en place d'alarmes automatiques -vérifier montée en pression -resserrer les raccords -rechange des joints (entretien)
Réfrigérant	Refroidir l'huile	- perçage faisceaux -Blocage (Calcaire)	- Dureté de l'eau - Fatigue	arrêt du broyeur	- Indicateur de température	3 2	3	2	18 12	-Nettoyage et entretien -Détartrage
Limiteur de pression	Protège le système de lubrification centralisé contre la surpression	-blocage -fuite	-bobine grillé -mauvaise connexion -usure des joints	- rupture des composants du système	- Indicateur de pression	1	2	2	4	- Equiper la pompe par un disque de rupture
Système de virage	Commander le positionnement du plateau de broyage									
Moteur	Source de la puissance	- moteur brulé -problème de surcharge - augmentation température	-alimentation inadéquate -usure	_____	- bruit -vibration -arrêt	1	1	3	3	- contrôle et relevés des paramètres de fonctionnement -indicateur du régime du moteur -alignement moteur -contrôle sécurité de moteur
Réducteur	Réduction de la vitesse entre entrée moteur et sortie récepteur	- vibration -impureté d'huile	-désalignement de la machine -usure des dents d'engrenages et des roulements	_____	-vitesse non stable et non désirée	1	1	3	3	-changement d'huile -analyse vibratoire
Pignon	Transmettre la puissance à travers un mécanisme	- usure -casse	- choc - surtension de la chaîne	_____	-visuel	1	1	2	2	-graissage systématique
Chaîne	Assure une transmission mécanique	-casse -rupture	-usure	_____	-visuel	1	1	2	2	-graissage systématique

Tableau 3 : AMDEC de la commande du broyeur

b. Galet (meule):

Le broyeur cru est équipé de 4 meules, chacune fixée individuellement dans un levier oscillant. Ils sont décalées de manière équidistante les unes par rapport aux autres et, en position zéro, sont maintenues avec une légère inclinaison d'essieu par rapport au tracé de broyage horizontal.

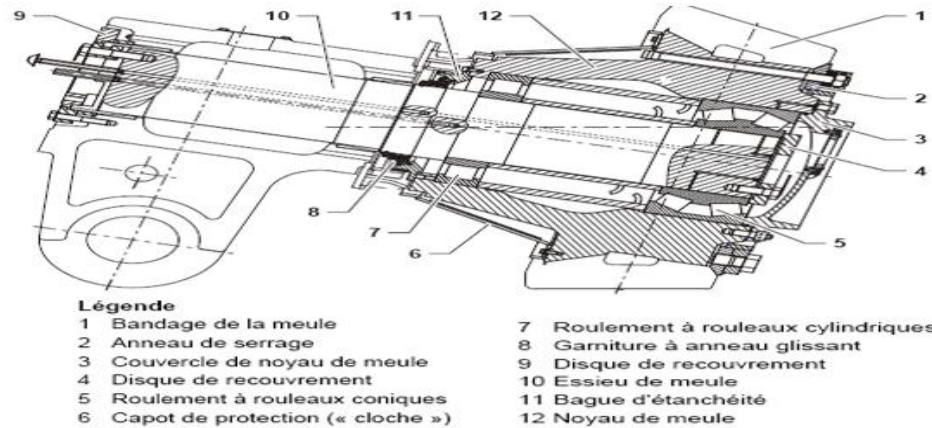
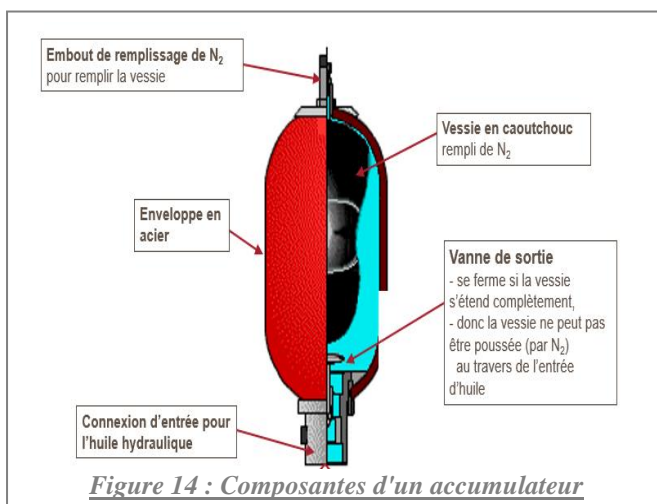


Figure 13 : Meule complète

Chaque meule tourne dans un roulement à rouleaux cylindriques disposé côté levier oscillant et dans un roulement à rouleaux sur rotule à double rangée du côté du couvercle du moyeu de meule. Alors que ce roulement à rouleaux cylindriques n'absorbe que les forces radiales, le roulement à rouleaux coniques absorbe aussi bien les forces radiales qu'axiales. Les deux paliers sont supportés l'un par rapport à l'autre par des douilles d'écartement et serrés avec les vis du couvercle du noyau de meule et la bague d'étanchéité. Chaque meule dispose de différents joints : Joint du gaz de barrage et Garnitures d'étanchéité mécaniques.

Accumulateur :



Dans les accumulateurs hydro-pneumatiques, on utilise les propriétés des compressibilités de l'Azote qui communique son élasticité au fluide hydraulique. Ces accumulateurs se composent d'une partie hydraulique et d'une partie gazeuse et utilisent une vessie comme élément séparateur étanche. La partie hydraulique extérieure à la vessie est reliée au circuit hydraulique de l'installation, de sorte que, lors du démarrage de celle-ci,

l'accumulateur soit directement chargé et les gaz mis sous pression.

Lors du broyage, les pistons des cylindres hydrauliques se déplacent vers le haut et repoussent l'huile du système de pression de travail dans les accumulateurs. La vessie est comprimée par l'huile entrante. Simultanément, côté piston du cylindre hydraulique, le système de contre-

pression est en action. Au même moment, l'huile est repoussée par la pression de l'azote hors de l'accumulateur en direction du côté piston du cylindre hydraulique.

Vérin :

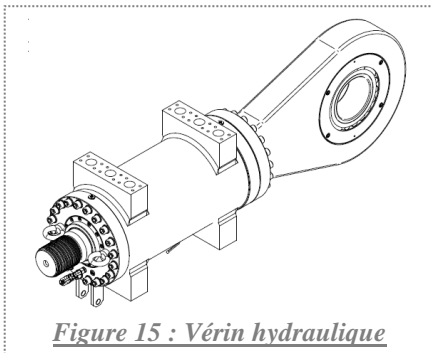


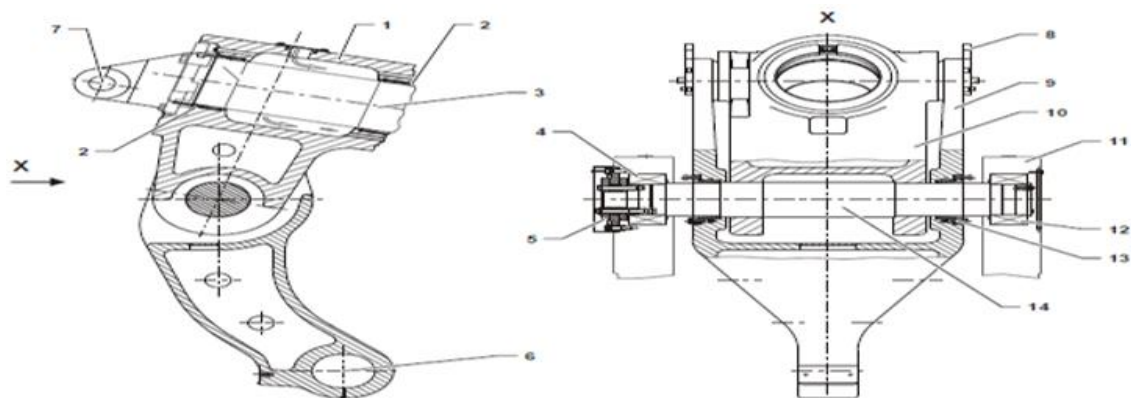
Figure 15 : Vérin hydraulique

Un vérin hydraulique sert à créer un mouvement mécanique, et consiste en un tube cylindrique dans lequel une pièce mobile (le piston) sépare le volume du cylindre en deux chambres isolées l'une de l'autre. Un ou plusieurs orifices permettent d'introduire ou d'évacuer un fluide dans l'une ou l'autre des chambres et ainsi déplacer le piston.

L'accumulateur donne une force au vérin hydraulique composé d'un corps, d'une tige rigide, d'un piston et de joint d'étanchéité, et en fonction de la surface utile du vérin et de la pression qu'il reçoit du groupe, donne la puissance de poussée aux galets.

Levier oscillant :

Le broyeur est équipé de 4 leviers oscillants respectivement articulés dans un bouchon de palier du bâti inférieur du broyeur et disposés de manière symétrique par rapport au centre du broyeur. Chaque levier oscillant se compose d'un levier central emmanché sur l'axe, d'une fourche, d'un axe et d'appuis radiaux et axiaux dans le bouchon de palier. Dans la partie supérieure du levier se trouve, transversalement à l'axe du levier, l'orifice de logement de l'essieu de meule qui est fixé avec des douilles coniques. La fourche agrippe le levier des deux côtés. Elle est également fixée à l'aide de douilles de centrage coniques sur l'axe. Des jonctions visées et boulonnées transfèrent les couples de rotation générés. Le levier oscillant transfère les forces générées par les cylindres hydrauliques à double effet sur la meule et le plateau de broyage. Les cylindres hydrauliques sont reliés par le boulon d'articulation à l'extrémité inférieure du levier oscillant.



Légende

- | | |
|---|---|
| 1 Levier central | 8 Cœillet de transport |
| 2 Douilles de serrage | 9 Fourche |
| 3 Essieu de meule | 10 Levier central |
| 4 Roulement à rouleaux cylindriques (paliers fixes) | 11 Bouchon de palier sur le montant |
| 5 Anneau | 12 Roulement à rouleaux cylindriques (paliers libres) |
| 6 Point d'articulation du cylindre de suspension | 13 Douille de centrage de bride |
| 7 Point d'articulation du dispositif de pivotement | 14 Axe du levier oscillant |

Figure 16 : Coupe d'un levier oscillant complet

Date de l'analyse : 01/05/2017	AMDEC Machine - Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité					Phase de fonctionnement: Normal				Page : 2/6	
	Système : Broyeur cru		sous - ensemble : Galet							Nom : N.N	
Matériel		Caractéristiques de la défaillance					Criticité				Résultats d'études
Organe	Fonction	Mode de défaillance	cause de défaillance	Effet sur système	Détection	F	G	N	C	Actions préventives	
Accumulateurs	un réservoir d'huile sous pression.										
Valve de gaz	système de régulation du courant du gaz	-casse -fuite	-la poussière -mauvaise manipulation de la vis de remplissage	-pas d'amortissement -vibration -manque maintien de pression	-Vibration -manomètre	2 1	2	3	12 6	-protection -contrôle de la valve après chaque remplissage (mousse)	
Vessie	chambre d'Azote	-déchirure -déformation	- débit d'azote fort - vieillissement - stockage de longue durée	arrêt du broyeur	-fuite d'huile au niveau de la valve -pas d'amortissement -bruit conduites	1	4 3	3	12 9	-entretien annuel - ne pas dépasser 80% de pression de travail - réduire la pression de gonflage	
Soupape	protéger la vessie contre les surpressions	-corrosion -casse -dérèglage	- Blocage	- Pas d'indications	-Visuel (p=0)	2 1	3	2	12 6	-entretien et contrôle	
Joints	assurer l'étanchéité	-déchirure -jeu	- Durée de vie	-fuite	-Visuel	2	3	2	12	-Changement périodique réglementaire	
Vérin	créer un mouvement mécanique										
Corps	joue le rôle d'un réservoir	-usure	-entrée impuretés dans l'huile	arrêt du broyeur	-Visuel	2 1	4	2	16 8	-vidange d'huile	
Piston	Assurer le mouvement du vérin	-usure	-entrée impuretés dans l'huile	arrêt du broyeur	-Oscillation galet	2 1	4	3	24 12	-graissage - vidange d'huile	
Tige de piston	Assurer le mouvement du vérin	-usure	-entrée impuretés dans l'huile	arrêt du broyeur	-Oscillation galet	2 1	4	3	24 12	-graissage -vidange d'huile	
Tube de vérin	Réservoir	-usure	-entrée impuretés dans l'huile	arrêt du broyeur		2 1	4	3	24 12	- vidange d'huile	
Raccord	le passage du fluide sans fuite.	-usure des joints	- mauvais serrage	-fuite	- visuel	2 1	3	2	12 6	- changement des joints	

Joint	assurer l'étanchéité	-usure	-les impuretés -fatigue	-fuite d'huile -diminution force	-visuel -diminution force	2 1	3	2	12 6	-entretien -contrôle
Meule	permet le broyage de la matière									
Arbre	le support des roulements et chemise	-usure	-blocage des roulements	arrêt du broyeur	-Non	1	4 3	4	16 12	-contrôle systématique
Essieu de meule	support du meule	- desserrage des boulons	-vibration	arrêt du broyeur	- visuel	1	4 3	4	16 12	-contrôle des boulons -entretien
bandage (chemise)	Broyage	-usure -fissure	- entrée de la ferraille - choc thermique	-arrêt (grande fissure) -Diminution débit broyage -Augmentation de la consommation électrique	-visuel	1	3 2	4	12 8	-rechargement -entretien et observation
Couvercle noyau meule	protéger le meule	-usure -fissure	- flux d'air / matière	- Usure arbre	- visuel	1	2	4	8	- observation
Bague d'étanchéité	assurer l'étanchéité	-usure -fissure	- flux d'air / matière	- Usure arbre / Roulements	- visuel	2 1	3	4	24 16	- contrôle - changement systématique
Roulements à rouleaux	Mouvement de galet	-casse -coincement -usure	- manque de lubrification - problème de filtrage	arrêt du broyeur	- visuel -détecteur filtre	1	4 3	4	16 12	-contrôle de lubrification -air de barrage
Graissage centralisé	Lubrification des roulements des bras oscillants	-Chauffage des roulements -Grippage	-Mauvais graissage	-Usure paliers	-Visuel - bruit	1	3	3 2	9 6	-Installation des sondes de niveau
Levier oscillant	assurer la rotation du galet	-Usure -Casse	-Détérioration des protections -Usure par tirage -Mauvais graissage des roulements	arrêt du broyeur	-Non	1	4 3	4	16	-Contrôle hebdomadaire des équipements internes du broyeur

Tableau 4 : AMDEC du galet

c. Centrale hydraulique:

La centrale hydraulique, ou groupe hydraulique, en hydromécanique, est l'ensemble des composants hydrauliques permettant d'alimenter un réseau ou un système hydraulique en huile à un débit choisi. Elle est compatible avec toutes les commandes et sécurités conformes aux différentes normes en vigueur et renferme tous les accessoires permettant tous les réglages de vitesse, puissance, décalage des vantaux et réouverture manuelle.

Pour le groupe motopompe, avec pompe à engrenages, en général, la pompe est noyée dans l'huile et fixée sur le couvercle par la lanterne d'accouplement, ce qui réduit l'encombrement et surtout le bruit.

Le niveau d'huile au réservoir est destiné au contrôle visuel min max, le couvercle doit être étanche pour protéger de la pollution et comportera un rebord pour éviter les coulures.

La centrale hydraulique fournit et contrôle le liquide sous pression qui alimente les vérins ou qui lubrifie les galets. Pour cela, la centrale hydraulique se décompose en deux parties suivantes :

Abréviation	signifie
HSLM	Hydraulik-Schrank LOESCHE Mühle (Armoire hydraulique du broyeur)
HSMS	Hydraulik-Schrank Mahlwalzen-Schmierung (Armoire hydraulique graissage de la meule de broyage)

Tableau 5 : Abréviations des centrales hydrauliques

- **Centrale hydraulique galet (HSMS) :** se compose de deux armoires identiques, la 1^{ère} lubrifie les galets 1 et 3 et la 2^{ème} lubrifie les galets 2 et 4. Chaque armoire contient deux installations identiques. La pompe aspire l'huile du réservoir et la refoule vers le galet en passant par un filtre, un manomètre, et un échangeur de chaleur. L'huile retourne depuis le galet vers l'armoire par un autre circuit en passant par un thermomètre, un verre indicateur où on peut voir l'huile, un manomètre, et une pompe qui refoule l'huile vers le réservoir.

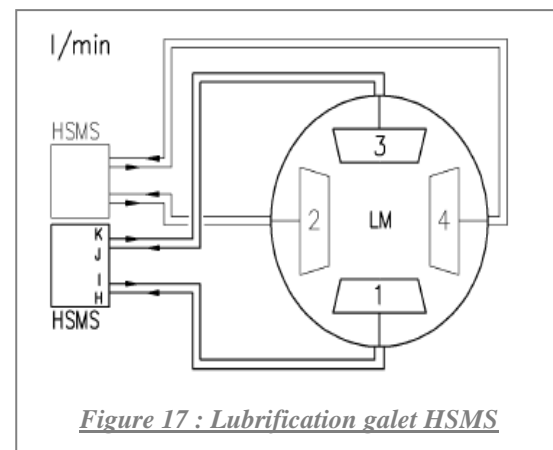


Figure 17 : Lubrification galet HSMS

- **Centrale hydraulique vérin (HSLM) :** se compose de deux armoires, chacune alimente quatre vérins. La pompe aspire l'huile du réservoir et la refoule vers les vérins en passant par un filtre, un distributeur électrique, un étrangleur, une valve à clapet. La pompe est sécurisée par un limiteur de pression.

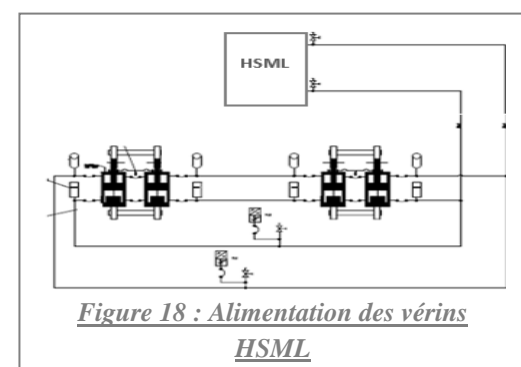


Figure 18 : Alimentation des vérins HSLM

Date de l'analyse : 01/05/2017	AMDEC Machine - Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité					Phase de fonctionnement: Normal				Page : 3/6
	Système : Broyeur cru			sous - ensemble : Hydraulique						Nom : N.N
Matériel		Caractéristiques de la défaillance				Criticité				Résultats d'études
Organe	Fonction	Mode de défaillance	cause de défaillance	Effet sur système	Détection	F	G	N	C	Actions préventives
Hydraulique vérin	effectuer un travail mécanique en utilisant de l'huile									
Moteur	source de la puissance de la pompe	- moteur brulé -problème de surcharge - augmentation de température	- alimentation inadéquate	arrêt du broyeur	- bruit -vibration -température élevé	2	4 3	2	16 12	- contrôle et relevés des paramètres de fonctionnement -indicateur du régime du moteur. -alignement moteur -contrôle sécurité de moteur
Pompe	aspirer et refouler l'huile	- Aération - surpression -température excessive -cavitation	-état joint d'étanchéité -viscosité trop élevé	arrêt du broyeur	-bruit -Visuel (manomètre) -sonde de température - sonde de pression	2	4	1	8	- Equiper la pompe en interne par un disque de rupture - vérifier montée en pression - Contrôler les raccords, joints et tuyaux - alignement pompe
Accouplement	dispositif de liaison entre deux arbres en rotation	- usure des doigts - fissure - casse	-vibration	arrêt du broyeur	- vibration - bruit	2 1	4	2	16 8	-contrôle systématique doigts -contrôle alignement
Distributeur	commuter et contrôler la circulation des fluides sous pression	- pas de transfert -fuite -obturation	- impureté -bobine grillé -usure des joints -raccords desserrés	arrêt du broyeur	- Indicateur de pression	1	3	2	6	-Mise en place d'alarmes automates -vérifier montée en pression -resserrer les raccords -rechange des joints (entretien)
Filtre aération (Reniflard)	retirer les particules indésirables d'un flux d'air	- ne laisse pas passer l'air -limitation du débit d'air -pas de filtration	- bouché -filtre déchiré	- passage des particules indésirables	- Indicateur de décolmatage	1	3	2	6	- Placer une grille sur le bouchon de remplissage -nettoyage à intervalles réguliers

Filtre	Protéger contre la pollution	- Colmatage - Mauvais filtrage - fissure	- Présence d'impuretés	arrêt du broyeur	- Indicateur de décolmatage	2 1	3	2	12 6	- Changer le filtre - Placer une grille sur le bouchon de remplissage -nettoyage à intervalles réguliers
Limiteur de pression	limiter la pression interne du circuit hydraulique	-fuite	- fatigue des ressorts -casse des ressorts	arrêt du broyeur	- manomètre	1	2	2	4	-entretien et contrôle
Etrangleur	contrôler le débit	- dérèglage	- défaut interne	-mouvement anormale du vérin	- visuel	1	2	3	6	-entretien et contrôle
Alimentation électrique + Câbles	alimentation du système	- Grillage - déchirure des câbles	- alimentation inadéquate	arrêt du broyeur	-Pas d'alimentation	1	4	2	8	- contrôle et relevés des paramètres de fonctionnement -indicateur du régime du système d'alimentation
Résistance chauffante	augmenter la température d'un fluide	-Grillage	-Durée de vie	-Température basse au démarrage	-Thermomètre	1	2	2	4	- contrôle et relevés de la température du fluide
Echangeur thermique huile	transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger.	-fuite interne -diminution du rendement de l'échangeur	-usure des joints -bouchage ou colmatage des circuits d'eau	arrêt du broyeur	-température élevée -mélange eau et huile	1	2	2	4	- Entretien des circuits d'eau - Analyse de l'huile
Anti retour	Sens du fluide	-Coincement	-Impuretés	arrêt système hydraulique	- manomètre	1	2	2	4	- Vidange + Rinçage systématique
Tuyauterie	transport du fluide	-fuite	-fissuration -mauvais sertissage -mauvaise fixation	-chute du niveau d'huile	-visuel -indicateur de niveau	1	2	3	6	-Introduire le contrôle état tuyauterie dans la check-list des visites
Thermomètre	mesure de température	-indication erronée	-vieillessement	-température élevé	-visuel	1	1	3	3	-entretien et contrôle
Manomètre	mesure de pression	-indication erronée	-vieillessement	-pression élevé	-visuel	1	1	3	3	-entretien et contrôle

Remarque : Les composantes de la centrale hydraulique galet sont identiques à ceux citées sur le tableau ci-dessus, donc ils nécessitent les mêmes analyses et mêmes actions préventives.

Tableau 6 : AMDEC de la centrale hydraulique

d. Plateau de broyage :

Table :

Le matériau à broyer est introduit dans le broyeur par l'intermédiaire d'un cône et tombe sur la partie centrale du plateau de broyage en rotation (piste). Sur le plateau de broyage, le matériau à broyer est entraîné en direction du bord du plateau sous l'effet de la force centrifuge et passe sous les galets. Le matériau rejeté est recueilli dans le canal circulaire de réparation des gaz chauds, enlevé par des racleurs et tombe dans un convoyeur d'évacuation. Le matériau broyé est entraîné au-delà du bord extérieur du plateau de broyage sous l'effet de la rotation. Le flux de gaz chauds ascendant, répartie sur le pourtour du plateau de broyage par un anneau à aube, transporte l'ensemble du matériau, particules fines et grosses particules, dans le séparateur.

Conduite injection eau :

L'arrosage du plateau de broyage est un accessoire qui permet d'influer sur les propriétés du plateau de broyage. Dans de nombreuses installations de broyage de clinker et de sable de laitier granulé, il s'est avéré qu'un arrosage à l'eau contribue grandement à la stabilisation du plateau de broyage et permet ainsi au broyeur d'être plus stable.

Ainsi, avant chaque meule de broyage, de l'eau est ajoutée le plus près possible au-dessus du plateau de broyage. La

quantité d'eau est tellement faible qu'elle influe peu sur le bilan thermique du broyeur et ne présente aucune importance du point de vue technique. Plus l'ajout d'eau s'effectue juste avant les meules de broyage, plus l'effet de l'arrosage du plateau de broyage est important.

D'autre part, il y a un risque de destruction des meules de broyage chaudes si elles entrent directement en contact avec l'eau froide.

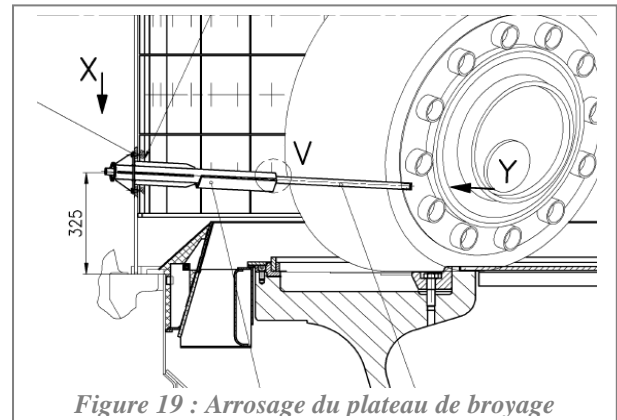


Figure 19 : Arrosage du plateau de broyage

Date de l'analyse : 01/05/2017	AMDEC Machine - Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité					Phase de fonctionnement: Normal				Page : 4/6
	Système : Broyeur cru		sous - ensemble : Plateau de broyage							Nom : N.N
Matériel		Caractéristiques de la défaillance				Criticité				Résultats d'études
Organe	Fonction	Mode de défaillance	cause de défaillance	Effet sur système	Détection	F	G	N	C	Actions préventives
Table	support de la piste									
anneau de retenu	Constitue le lit de matière	-cisaillement des boulons de fixation	-mauvais serrage -durée de vie des boulons -couple de serrage non respecté	-Echappement de la matière	- Détecteur de vibration	1	4	2	8	- Etablir un suivi d'usure des galets + piste
Piste	plateau de broyage	-usure -fissure	-la matière abrasive -passage de corps étrangers -vibration	-diminuer le débit de production -augmentation de la consommation électrique	- contrôle visuel (ressuage) - mesure	2 1	3	4	24 12	-Etablir un suivi d'usure des galets + piste (pour définir le taux d'usure) -rechargement annuel
Racleurs	récupération de la matière non broyé	-usure -Casse -déformation des axes de fixation	- présence de ferraille -débit de l'écoulement de la matière très élevé -détachement d'un racleur -Frottement	- arrêt de broyeur	-vibration -bruit	3 2	3	3	27 18	- remplacement du racleur -remplacement de l'axe de fixation
Redlear	Transport rejet	-usure -cisaillement -desserrage	- présence de ferraille -débit de l'écoulement de la matière très élevé -détachement d'un racleur -Frottement	arrêt broyeur	-bruit -vibration	3 2	4 3	3	36 18	-remplacement -serrage
Conduite injection eau	Stabiliser le lit de matière	-usure -bouchage des buses	-tirage -gaz chaud -colmatage	-vibration	-contrôle débit pompe	2	3	3	18	-débouchages -retapage d'usure
Groupe Moto-Pompe	alimentation en eau du système	-grillage du moteur -coincement de la pompe	-alimentation inadéquate -coincage roulement -formation du calcaire	-vibration	- vibration - température	2 1	3	3	18 9	- Indicateur du régime du moteur - Contrôle doigtiers accoup. - Equiper la pompe en interne par un disque de rupture - Vérifier montée en pression

Tableau 7 : AMDEC du plateau de broyage

3. AMDEC Séparateur :

- Analyse fonctionnelle :

A qui rend-il service ?

Sur quoi agit-il ?

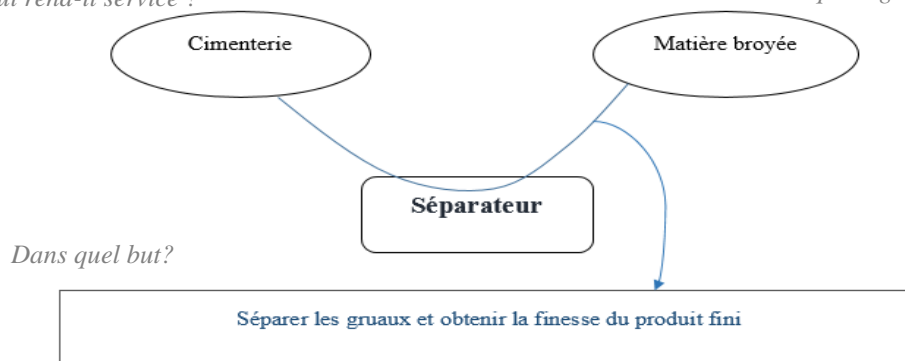


Figure 20 : Bête à cornes du séparateur

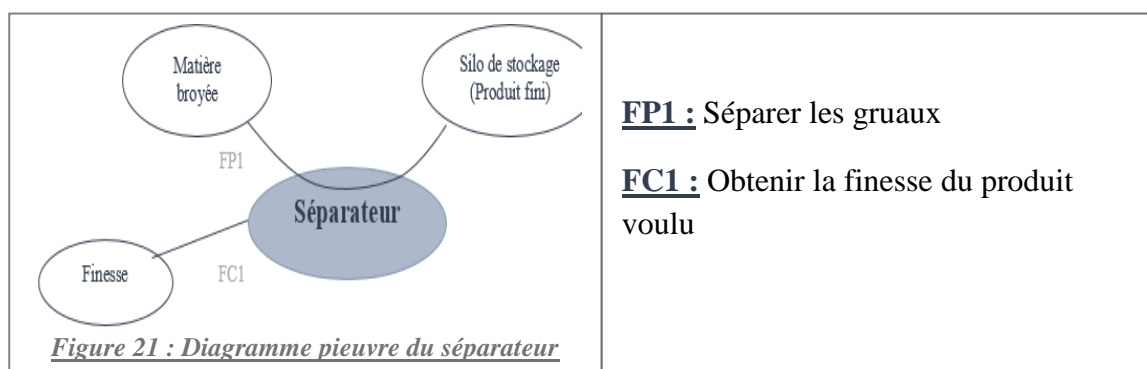


Figure 21 : Diagramme pieuvre du séparateur

- Description de l'équipement :

Le séparateur LOESCHE à cage à barres est un séparateur par courant d'air. La matière broyée et séchée est acheminée par l'air de transport pour accéder au séparateur par en dessous (5). Les tôles de guidage intégrées au séparateur permettent de convertir le courant ascensionnel du mélange poussière/air en un courant tangential (3). Le rotor à barres du séparateur tourne dans le même sens que ce courant tangential. Ce qui génère dans l'espace (2) entre les tôles de guidage et les barres de séparation du rotor un champ de force centrifuge dans lequel s'effectue la séparation du mélange poussière/air. Les particules de plus grande taille sont éjectées vers l'extérieur et chutent par gravité vers le bas (4). Après la sortie de l'espace, ces fines sont collectées dans un cône à gruaux et retournées pour rebroyage dans le broyeur commuté en amont. Le produit fini traverse le rotor à barres en même temps que le courant de gaz et quitte le séparateur via les tubulures de sortie du bâti supérieur du séparateur (1).

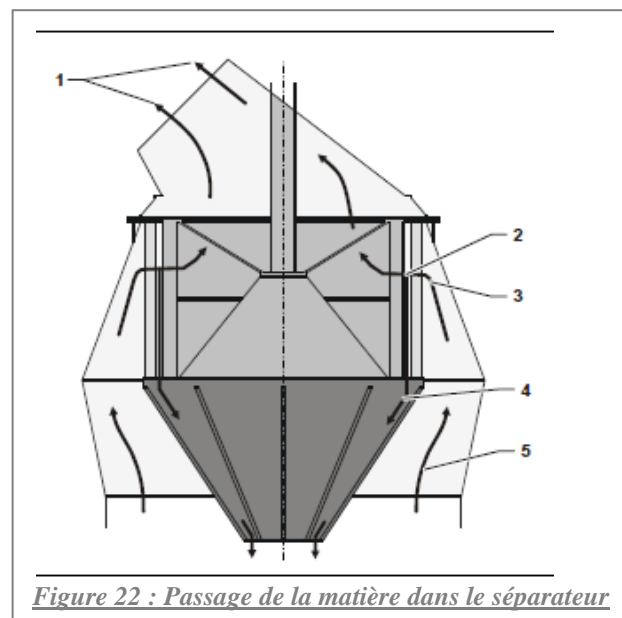


Figure 22 : Passage de la matière dans le séparateur

Date de l'analyse : 01/05/2017	AMDEC Machine - Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité					Phase de fonctionnement: Normal				Page : 5/6
	Système : Broyeur cru		sous - ensemble : Séparateur							Nom : N.N
Matériel		Caractéristiques de la défaillance				Criticité				Résultats d'études
Organe	Fonction	Mode de défaillance	cause de défaillance	Effet sur système	Détection	F	G	N	C	Actions préventives
Cône	alimentation du broyeur + rejet du séparateur	-usure de la tôle -usure des barres de fixation	-Frottement par matière	-Déséquilibre de l'alimentation	-contrôle visuel	2 1	2	4	16 8	-Contrôle de l'épaisseur -Contrôle des éléments de fixation du cône -retapage
sonde de température	mesure de température des paliers	-dérèglage	-vieillissement	-risque sur l'installation -Temp. élevée	-indication erronée	1	1	2	2	-entretien et contrôle
Lubrification centralisée	Lubrification des roulements des bras oscillants	-Chauffage des roulements -Grippage	-Mauvais graissage	-Usure paliers	-Visuel -bruit	1	3	2	6	-Installation des sondes de niveau
rotor (arbre)	Assurer la finesse du produit	-colmatage -coincement -usure	- surcharge thermique - Vieillissement -air chargé de poussière	arrêt du broyeur	- bruit -vibration	1	4	2	8	- Contrôle d'épaisseur des ailettes
tirant	Fixation de la partie fixe du séparateur	-usure -desserrage des boulons	- matière abrasive	-déséquilibre du rotor	-visuel	1	2	3	6	- Protection par une tôle rechargée
paliers		-usure roulement	-mauvais graissage	arrêt du broyeur	- bruit	1	4	2	8	- contrôle graissage
palles dynamiques	Assurer la finesse du produit	-usure lame -détachement lame	-matière abrasive	-la finesse augmente	-visuel - la finesse (laboratoire)	1	3	2	6	-contrôle -changement des palles
joint dynamique (Bride d'étanchéité)	assurer l'étanchéité pour une bonne finesse	-usure	-matière abrasive	-augmentation finesse -augmentation du jeu entre le dynamique et statique	-visuel	3 2	2	2	12 8	-retapage
palles statiques	Assurer la finesse du produit	-usure	-matière abrasive	-augmentation finesse -augmentation du jeu entre rotor et stator	-visuel - la finesse (laboratoire)	1	2	2	4	-contrôle -changement des palles
casing (Carter)	une trémie	-usure des tôles de protection internes	-matière abrasive	-entrée d'air faux	-Visuel	1	3	2	6	-Contrôle et entretien des tôles de protection

Remarque : Le séparateur est commandé par un moteur relié à un réducteur par un accouplement (Analyse réalisé dans le tableau de la commande du broyeur page 1/6).

Tableau 8 : AMDEC du séparateur

4. AMDEC SAS :

- Analyse fonctionnelle :

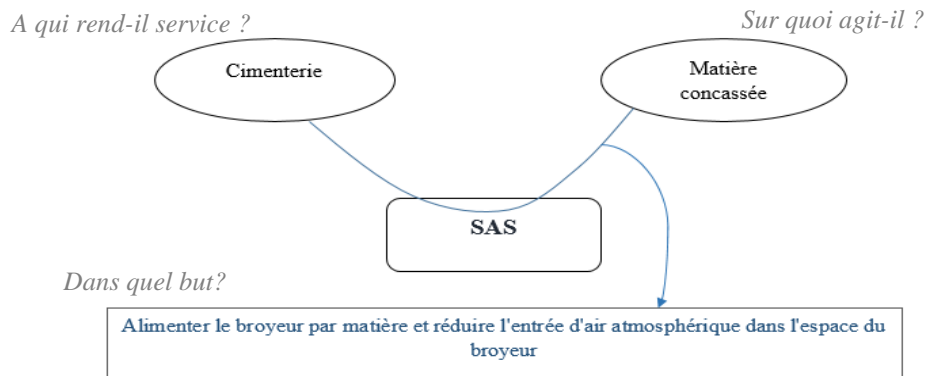


Figure 24 : Bête à cornes du SAS

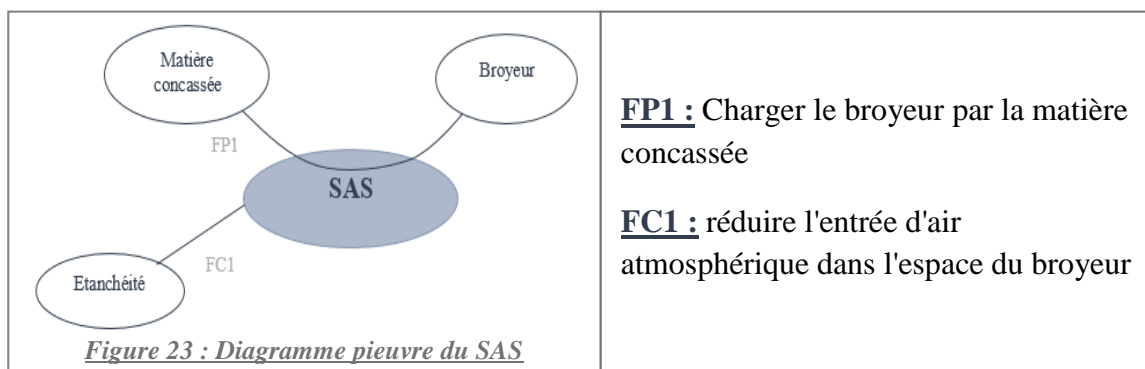


Figure 23 : Diagramme pieuvre du SAS

- Description de l'équipement :

Le SAS est une construction soudée dotée de 8 poches et de deux surfaces frontales. Pour l'étanchéité par rapport au carter, chaque poche est équipée d'une baguette d'étanchéité réglable. L'espace intérieur de la roue cellulaire peut être chauffé par des gaz chauds traversant. La roue cellulaire est reliée à l'arbre de roue cellulaire par l'intermédiaire d'un set de serrage.

Les alimentateurs à roue cellulaire servent à l'alimentation de la matière à broyer dans les broyeurs à rouleaux LOESCHE. Ils travaillent comme écluses à air afin de réduire l'entrée d'air atmosphérique dans l'espace du broyeur, placé sous pression négative. La roue cellulaire tourne dans un carter cylindrique. Les baguettes d'étanchéité d'au moins deux poches de roue cellulaire par moitié de carter sont actives.

Les alimentateurs à roue cellulaire sont utilisés comme chargeurs de broyeur et écluses à air. Ils sont particulièrement utiles là où de la matière à broyer doit être transportée et où des pannes dues à la formation de voûtes du matériau doivent être exclues.

La possibilité de chauffer la roue cellulaire permet d'empêcher l'accumulation de la matière à broyer dans l'alimentateur à roue cellulaire et ce, même en cas de teneur en humidité élevée.

Date de l'analyse : 01/05/2017	AMDEC Machine - Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité					Phase de fonctionnement: Normal				Page : 6/6
	Système : Broyeur cru		sous - ensemble : SAS							Nom : N.N
Matériel		Caractéristiques de la défaillance				Criticité				Résultats d'études
Organe	Fonction	Mode de défaillance	cause de défaillance	Effet sur système	Détection	F	G	N	C	Actions préventives
moteur	commande du SAS	-mauvais transmission de l'énergie	-pas d'alimentation	arrêt du broyeur	- Température	2 1	4	2	16 8	- Systématiser le graissage - Installer un système de mesure de vibration
Réducteur	augmenter le rapport de réduction	- casse - coincement - Usure - rouille	- Présence d'eau dans l'huile - qualité d'huile - surcharge	arrêt du broyeur	- Température	2 1	4	2	16 8	-changement d'huile -analyse vibratoire
accouplement	Assure la transmission du mouvement entre le réducteur et le rotor	- usure doigtiers -desserrage boulons -cisaillement	-blocage SAS -coincement SAS	arrêt du broyeur	- Ampérage faible et constant	2 1	4	3	24 12	-air de barrage -Chauffage des alvéoles -contrôle systématique accoup et doigtier
Corps du sas (stator)	Assurer l'étanchéité	-usure	-matière abrasive	arrêt du broyeur	-Visuel	1	4	3	12	-Contrôle et entretien
les alvéoles (rotor)	transport de la matière + assurer l'étanchéité	-déformation -fuite -usure -colmatage -coincement	-matière abrasive - manque de nettoyage par air de barrage	arrêt du broyeur	-bruit - Détecteur de proximité (salle de contrôle)	2 1	2	3	12 6	-contrôle systématique des jeux (Alvéoles/corps) -entretien des conduites d'air de barrage - contrôle d'humidité de la matière
paliers	Facilite le mouvement de rotation	-usure -casse	-frottement	arrêt du broyeur	- vibration -température	1	4	2	8	- l'air comprimé
les lames	régler le jeu entre alvéoles et corps	-Déformation -usure -desserrage	-cisaillement des boulons -matière abrasive	fuite gaz chaud	bruit	2 1	3	4	24 12	-contrôle systématique des jeux (Alvéoles/corps)

Tableau 9 : AMDEC du SAS

IV. Résultats de l'étude AMDEC:

A partir des tableaux réalisés, nous avons pu définir les causes des pannes pertinentes qui peuvent arriver dans chaque organe du broyeur cru et que nous avons classé selon leurs criticités en fixant un seuil de criticité supérieur ou égal à 12, au-delà duquel nous caractérisons les défaillances dangereuses.

Pour chaque défaillance nous avons suggéré quelques actions préventives pour diminuer les temps d'arrêt et augmenter la durée de vie des matériaux.

Les défaillances qui ont déjà apparues dans ce broyeur :



Figure 25 : Usure de la piste

Due à la matière abrasive et nécessite un rechargement pour garder la même épaisseur de la piste et pour assurer une bonne finesse.



Figure 26 : Cisaillement du racleur

Due à la matière ou au frottement et nécessite une fixation ou un remplacement de l'axe de fixation.



Figure 28 : Usure du ventilateur

Due à la température et nécessite un retapage.



Figure 27 : Bouchage des buses d'une conduite d'injection d'eau

Due au colmatage et nécessite un débouchage ou un changement.



Figure 30: Cisaillement des boulons

Due au colmatage et nécessite un débouchage ou un changement.



Figure 29 : Usure de la tôle du déflecteur du cône

Due à la matière abrasive et nécessite un retapage ou un changement.

D'autres défaillances :

- Fuite accumulateur.
- Usure tôle de protection galet.
- Problème graissage.
- Défaillance de deux distributeurs graissage d'articulation galet.
- Fuites goulotte.
- Coincement SAS.
- Desserrage des boulons de fixation de toiles des galets.
- Manque étanchéité.
- Changement compensateur.
- Usure tôles protection anneau. (Soudure)
- Détachement axe chaîne Redlear sortie broyeur.
- Fixation de deux conduites d'air pour éviter le colmatage sur les parois du SAS.
- Renforcement des conduites d'air (tôle de protection).

Pour diminuer ces problèmes, il faut mettre un plan d'actions préventives et il faut respecter les instructions de la maintenance systématique telles que les remplacements des pièces défectueuses selon les périodicités recommandées par le constructeur pour éviter des pannes qui nécessitent des arrêts et des actions correctives. Car une panne peut causer une perte des millions de Dirham selon le temps d'arrêt.

Il faut appliquer des actions palliatives en cas de pannes pour éviter des arrêts importants, et attendre le temps des arrêts programmés pour mettre en place des actions correctives. Pour cela, il faut garder en stock de sécurité les pièces de rechange de 1ère nécessité.

La plupart des équipements du broyeur sont fabriqués en fer, donc, des contrôles systématiques sont recommandés lors de chaque arrêt, ainsi, un graissage systématique est recommandé pour les équipements qui en nécessitent.

Il faut aussi former les techniciens maintenance sur l'équipement pour faciliter la détection des anomalies en cas d'un bruit anormal ou d'une vibration pour les équipements qui ne disposent pas des sondes ou des capteurs et assurer des contrôles et des entretiens systématiques pour chaque élément du broyeur, car tous les éléments sont importants et peuvent causer la détérioration des autres sous équipements.

Exiger la mise en place d'alarmes automatiques dans chaque équipement ou sous équipement du système pour faciliter la détection d'anomalies. En effet, le broyeur cru dispose de plusieurs alarmes automatiques liées à la salle de contrôle et qui donne des informations concernant la température, la pression ou la vibration 24h/24, par un logiciel ABB (figure 31).

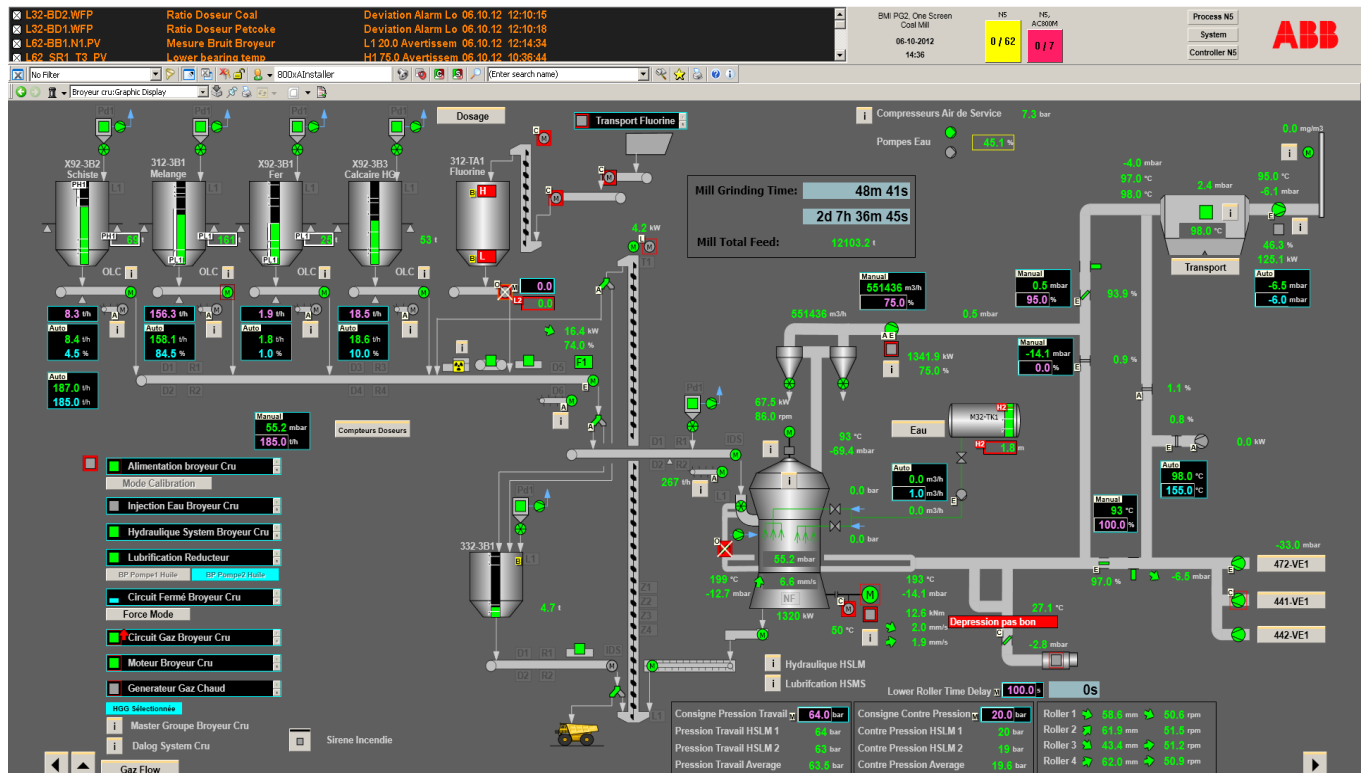


Figure 31 : Contrôle du broyeur cru par logiciel ABB

En fin de compte, pour avoir une maintenance préventive efficace, il faut former le personnel du service maintenance à l'AMDEC pour pouvoir refaire cette étude systématiquement, car elle améliore le préventif de la cimenterie tout en projetant la lumière sur les défaillances qui peuvent arriver en les classant selon leurs importances et en proposant des actions préventives, palliatives ou correctives en cas de panne.

Conclusion générale :

Durant notre stage qui s'est déroulé dans le bureau de méthodes, notre travail s'est inscrit dans le but d'augmenter la durée de vie des matériaux et de diminuer la probabilité des défaillances par une étude AMDEC du broyeur cru.

Le sujet a été traité suivant quatre axes principaux :

- Description et analyse du fonctionnement du broyeur cru.
- La décomposition fonctionnelle des éléments et des sous éléments.
- L'analyse AMDEC de tous les éléments.
- Proposition des actions préventives.

Cette analyse nous a permis de faire une étude globale de toute l'installation et de proposer plusieurs actions préventives qui participeront à l'amélioration du rendement de l'installation et qui diminueront le temps des arrêts, et qui consistent généralement sur des contrôles et des entretiens systématiques, ainsi que le graissage systématique de la plupart des sous-équipements.

La mise en place de ces actions préventives permettra la diminution du temps d'arrêt et par la suite l'augmentation du chiffre d'affaire.

Vu que le broyeur étudié est installé récemment, les fréquences des défaillances sont très faibles. Il en résulte que les valeurs de criticité soient aussi basses. Par conséquent, cette étude n'était pas fiable à 100% concernant les valeurs des criticités.

Notre valeur ajoutée à LafargeHolcim était de participer avec les opérateurs du bureau de méthode à l'amélioration de la maintenance préventive par la proposition des solutions et actions préventives découlées depuis l'étude réalisée pour augmenter la durée de vie des équipements et diminuer la probabilité des défaillances et des arrêts.

Bibliographie et Webographie :

- Documentation LOESCHE « *Fes RM* » de référence 2010 ; No d'ordre P09248 ; Software version : LDMS2010 (v4.5.2)
- Document constructeur RENK « *Instructions de service réducteur et moteur* »
- Document LafargeHolcim: « *02 Basics of VRM Process F2013.07.17 NEW LH* »
« *03 Basics of VRM Designs F2013.07.18 NEW LH* »
« *04 Basics of VRM Hydraulics F2013.01.31 NEW LH* »
- www.Wikipedia.org
- www.LafargeHolcim.com
- www.youtube.com/watch?v=4fJ7f1wvZGk « *Broyeurs Loesche pour Ciment et Laitier de Haut Fourneau Granulé* »

Annexes :

1. DEFINITIONS :

Définition de la défaillance selon la norme NF X 60 – 011 : altération ou cessation d'un bien à accomplir sa fonction requise.

Synonymes usuels non normalisés : « failure » (anglais), dysfonctionnement, dommages, dégâts, anomalies, avaries, incidents, défauts, pannes, détériorations.

- Cause de défaillance : circonstances liées à la conception, à la fabrication, à l'installation, à l'utilisation et à la maintenance qui ont conduit à la défaillance.

- Mécanisme de défaillance : processus physiques, chimiques ou autres qui conduisent ou ont conduit à une défaillance.

- Mode de défaillance : effet par lequel une défaillance se manifeste.

- Panne : état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise.

- Dégradation : évolution irréversible des caractéristiques d'un bien liée au temps ou à la durée d'utilisation.

La norme NF X 60-011 propose plusieurs mises en famille des défaillances :

- Suivant leur cause :
 - **Défaillances de causes intrinsèques** : défaillances dues à une mauvaise conception du bien, à une fabrication non conforme du bien ou à une mauvaise installation du bien. Les défaillances par usure (liées à la durée de vie d'utilisation) et par vieillissement (liées au cours du temps) sont des défaillances intrinsèques.
 - **Défaillance de causes extrinsèques** : défaillances de mauvais emploi, par fausses manœuvres, dues à la maintenance, conséquences d'une autre défaillance.
- Suivant leur degré : défaillance complète, partielle, permanente, fugitive, intermittente, etc.
- Suivant leur vitesse d'apparition : soudaine ou progressive

2. LES MODES DE DEFAILLANCE :

- **Usure** : enlèvement progressif de matière à la surface des pièces d'un couple cinématique en glissement relatif. Ce mode de défaillance est inexorable dès lors que 2 surfaces en contact ont un mouvement relatif.

- **Corrosion** : usure particulière apparaissant au contact de 2 pièces statiques, mais soumises à de petits mouvements oscillants (vibrations). C'est le cas des pièces frettées ou des clavetages.
- **L'écaillage** : enlèvement de grosses écailles de matière.
- **Grippage** : soudure de larges zones de surface de contact, avec arrachement massif de matière
- **Abrasion** : action d'impuretés ou de déchets (poussières, sable, etc.)
- **Erosion** : enlèvement de matière par l'impact d'un fluide ou de particules solides en suspension, ou de phénomènes électriques (arcs)
- **Rayage** : trace laissée par le passage d'un corps dur

Roulement et fatigue de contact : roulements à billes et à aiguilles se détériorent intrinsèquement par fatigue de contact. La pression de Hertz au contact bille / chemin de roulement fait apparaître des contraintes de cisaillement sur les bagues entraînant des fissures en surface puis débouchantes (piqûres).

- **La cavitation** : elle se manifeste sur des pièces en contact avec une zone de turbulence liquide. Des bulles se forment dans la masse du liquide en écoulement turbulent. Sous l'effet de la pression externe, ces bulles implosent, générant une onde de choc accompagnée d'une température ponctuelle élevée. Ainsi s'explique la dégradation des turbines, d'hélices, de chemises de moteurs, etc.

3. Causes possibles de pannes et les vérifications correspondantes :

CAUSES POSSIBLES DES PANNES	VERIFICATION POUR DETECTER CES CAUSES
<p>1) Pannes provoquées par le grippage d'un organe en mouvement, ce grippage pouvant provenir lui-même:</p> <ul style="list-style-type: none"> -d'un manque de graisse. -d'un lubrifiant mal adapté. -d'un lubrifiant sale. -d'une fuite. -d'une charge exagérée. -d'un mauvais fonctionnement du refroidissement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier les divers points à graisser. - Vérifier les pleins à faire. - Vérifier les échauffements des paliers. - Contrôler les caractéristiques des lubrifiants employés. - Effectuer les vidanges nécessaires. - Nettoyer les filtres à huile. - Nettoyer les réservoirs à lubrifiants. - Effectuer des prélèvements à fin d'analyse. - Vérifier les excès de graissage. - Rechercher les fuites éventuelles. - Contrôler les pressions d'huile. - Contrôler les charges accidentelles sur les paliers. - Vérifier les pompes de circulation. - Contrôler l'entartrage.

<p>2) Pannes provoquées par le desserrage des pièces d'assemblage des organes mécaniques et électriques (boulons, clavettes, coins, attaches de courroie,....)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Resserrer les écrous et les vis. - Remettre en place coins et clavettes. - Ausculter le bruit et les vibrations. - Vérifier les attaches de courroie.
<p>3) Pannes provoquées par:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'usure. - l'érosion. - l'oxydation. - les coups de feu. - la corrosion chimique. - l'amorçage d'un arc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier les cônes d'embrayages. - Vérifier les ferodo. - Contrôler les plaques d'usure. - Vérifier l'usure des galets. - Vérifier l'usure des rails ou chemins de roulements. - Vérifier l'usure des bagues et coussinets. - Contrôler l'usure des arbres. - Vérifier l'usure des coulisseaux. - Contrôler les pignons, barbotins et crémaillères. - Vérifier l'usure des fourchettes et doigts. - Vérifier l'usure des chaînes de transmission. - Vérifier les cardans. - Vérifier les manchons d'accouplement. - Contrôler l'usure des clavettes coulissantes. - Contrôler l'usure des bandes transporteuses. - Exécuter les contrôles géométriques nécessaires. - Rattraper les jeux des organes de réglage. - Contrôler l'état de la peinture et de la corrosion.
<p>4) Pannes provenant du vieillissement de certains matériaux, comme les isolants électriques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier les pièces isolantes des contacteurs. - Vérifier les revêtements des câbles. - Faire les contrôles d'isolement.
<p>5) Dérailements, renversements ou autres accidents provenant d'un défaut des chemins de roulements.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier l'écartement des rails. - Vérifier le niveau des chemins de roulement. - Vérifier les butoirs de fin de course. - Vérifier l'ancrage aux rails. - Vérifier le calage. - Vérifier l'observation des consignes.
<p>6) Pannes provoquées par la flexion, l'allongement ou la rupture intempestive d'un organe soit par:</p> <ul style="list-style-type: none"> - mauvaise utilisation du matériel. - fatigue de matériaux. - défaut de conception. - accident prévisible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Examiner les pièces fragiles. - Vérifier les pièces flexibles. - Contrôler l'emploi correct des machines. - Vérifier les câbles et chaînes de levage. - Contrôler les crochets et leurs sécurités. - Vérifier les manilles. - Exécuter les contrôles statiques et dynamiques. - Retendre les courroies et les chaînes.

<p>7) Pannes provoquées par des défauts d'alimentation tels que surtension ou sous-tension.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exécuter les contrôles de puissance. - Exécuter les contrôles de vitesse.
<p>8) Détérioration des systèmes de commande:</p> <ul style="list-style-type: none"> - électrique. - pneumatique. - hydraulique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier l'état des contacts électriques. - Vérifier les ressorts de contact. - Vérifier la mise à la terre. - Vérifier la protection des transformateurs. - Contrôler les jeux de roulements des moteurs. - Contrôler l'empoussiérage des moteurs. - Faire fonctionner les électro-freins. - Faire fonctionner les diverses sécurités. - Vérifier l'état des fils d'alimentation. - Contrôler le serrage des bornes. - Vérifier l'état des balais des bagues collecteurs. - Vérifier l'état diélectrique de l'huile du transformateur. - Vérifier les bougies. - Vérifier les vis platinées. - Vérifier les pleins d'huile de commande. - Vérifier les fuites éventuelles de fluide. - Vérifier le fonctionnement des clapets. - Nettoyer les carters d'huile de commande.
<p>9) Pannes provoquées par l'eau, l'humidité ou l'introduction d'un corps étranger, ce qui peut entraîner:</p> <ul style="list-style-type: none"> - court-circuit. - encrassement de butées. - filtres inefficaces. - embrayages gras. - freins gras ou humides. - blocage des sécurités. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyer les butées. - Nettoyer les glissières. - Nettoyer les arbres. - Signaler les machines sales. - Vérifier les soupapes de sécurité. - Vérifier les arrêts automatiques. - Faire fonctionner les limiteurs de couple. - Vérifier les parachutes. - Contrôler les freins. - Contrôler les protections thermiques.