



Introduction

Avec le développement de la concurrence dans le secteur cimentier, la réduction du coût de revient est devenu un très grand souci qui oblige une telle industrie à déployer tous les efforts pour mener un développement durable et pertinent à tous les niveaux,

Il s'avère donc nécessaire d'accentuer les efforts sur la résolution des problèmes techniques des équipements de production qui constitue un composant primordiale dans la disponibilité des installations et dans le coût de la maintenance en générale.

Etant conscientes de ces effets nous avons choisis l'équipement le plus critique et important au cours du processus de fabrication de ciment. Il 'est le broyeur cru qui présente 50% de la production, à pour objectif d'écraser la matière afin d'obtenir une finesse requise. Mais la durée de vie des coups de broyeur limite l'entretien à un relevé d'une garniture mécanique du galet qui présente des énormes problèmes au niveau du broyeur.

Ce projet portera donc sur quatre volets essentiels ainsi le plan du travail se présente comme suit :

- ❖ Processus de broyage du ciment à Lafarge.*
- ❖ Analyse des mécanismes d'endommagement de galet et reconstruction d'une nouvelle garniture mécanique.*
- ❖ Gamme opératoire du démontage et du montage de la garniture mécanique du galet.*
- ❖ Modification de système de lubrification de galet.*



CÂHIER DE CHARGES

Depuis l'installation du broyeur cru, des énormes opérations de maintenance de garniture mécanique s'effectuent contre les problèmes d'usures du galet.

Notre objectif est donc de concevoir une nouvelle garniture mécanique et de réduire radicalement le temps d'arrêt du broyeur de ciment en :

- changeant la garniture mécanique du galet suivant une gamme opératoire.
- Modifier le système de lubrification du galet



SOMMAIRE.

Chapitre I PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

- I. Présentation de l'entreprise**
- 1. Présentation
- 2. Présentation de Lafarge groupe.....
- 3. Fiche signalétique de Lafarge Meknès.....
- 4. Organigramme de l'entreprise
- 5. présentations des différents services
- 6. politique sécurité de Lafarge
- II. Procédés de fabrication**
- 1. Extraction des matières premières
- 2. Concassage et stockage des matières premières et matières d'ajout
- 3. Production stockage et homogénéisation de la farine.....
- 4. Production et stockage du clinker.....
- 5. Broyage, stockage et expédition du ciment

Chapitre II PROCESSUS DE BROYAGE DU CIMENT A LAFARGE.....

- I. Etude du fonctionnement du broyeur cru**
- 1. travail et fonctionnement de broyeur cru
- 1.1 Principe de broyage cru.....
- 2. présentation du galet de broyeur cru
- 2.1 Fonctionnement de meule
- 3. fonctionnements de galet.....

Chapitre III ANALYSE DES MECANISMES D'ENDOMMAGEMENT DU GALET ET RECONSTRUCTION DE SON GARNITURE MECANIQUE

- I. Analyse des mécanismes d'endommagement du GALET**.....
- 1. Présentation du galet du broyeur cru.....
- 2. Etat actuel de la garniture à anneau glissant du galet.....
- 3. Description des problèmes
- 4. Outils d'analyse
- II. les solutions proposées**
- 1. Chicane.....



2. Proposition et choix du joint d'étanchéité.....
 - 2.1 Définition
 - 2.2 Les contraintes d'utilisations
 - 2.3 La nature du fluide et des ambiances
 - 2.4 présentation général d'une bague.....
 - 2.5 le choix convenable
 - 2.6 joint d'étanchéité
 - 2.7 recherche des causes des défaillances

III. La conception de la nouvelle garniture mécanique du galet.....

1. Etude et construction des pièces de la nouvelle garniture mécanique.....
2. L'intérêt de la nouvelle garniture mécanique.....

CHAPITRE IV GAMME OPERATOIRE DU DEMONTAGE ET MONTAGE DU GARNITURE MECANIQUE DU GALE

I Gamme opérationnelle

1. phase d'opération.....
2. Article.....
3. descriptions des travaux réalisés
4. Types de montage
5. Tableau des pièces.....

II DESSIN CATIA.....

CHAPITRE V MODIFICATION DE SYSTEME DE LUBRIFICATION DE GALET

I Lubrification à l'huile

1. les fonctions qui doivent remplir le lubrifiant.....
2. le système de lubrification des roulements de galet
- 2.1 Lubrification par circulation d'huile
- 2.2 Fonctionnement des pompes d'aspiration et refoulement
- 2.3 les problèmes de lubrification par circulation forcée

II La solution proposée.....

1. l'impact du changement de garniture mécanique du galet sur le système de lubrification
2. lubrifications par projection d'huile
- 3.1 Le choix de qualité d'huile
- 3.2 L'huile synthétique
- 3.3 Les appareils de contrôles
3. les contraintes étudiées sur le système de lubrification par projection d'huile



Chapitre I

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I. PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

1) Présentation:

Lafarge, entreprise familiale née en Ardèche en France en 1833, est aujourd'hui le premier cimentier mondial.

Le groupe LAFARGE est un leader mondial des matériaux de construction, il est présent actuellement dans 75 pays et emploie 75.000 personnes, répartis comme suit:

- 11% en France.



- 37% en Europe.
- 40% du CA dans les « pays émergents »

2) *Organisation de LAFARGE groupe :*

Assurer la cohésion d'un grand groupe mondial présent dans 75 pays, favoriser les échanges de bonnes pratiques, tout en laissant aux unités opérationnelles une large autonomie : tels sont les objectifs de l'organisation du groupe Lafarge.

Actuellement, Lafarge est plus que jamais le leader mondial incontesté des matériaux de construction dans les quatre branches :

Le ciment : (47% du chiffre d'affaires et 38200 collaborateurs).

Les granulats et bétons : (38% du chiffre d'affaires et 20100 collaborateurs).

Toiture : (11% du chiffre d'affaires et 11700 collaborateurs).

Plâtre : (9% du chiffre d'affaires et 6000 collaborateurs).

3) Statut juridique de LAFARGE-MEKNES

• Fiche signalétique :

Type d'entreprise: Société anonyme.

Secteur d'activité: Bâtiment et matériaux de construction.

Activités principales : -fabrication, transport et vente de ciment.



-Etude, mise au point et réalisation des projets industriels, mine, Commerciaux et financiers se rattachant à la fabrication de ciment.

- **Chiffres Clés:**

Capacité de production:

- En Clinker: 965800tonnes/an.

-Equivalent en ciment: 1850000 tonnes /an.

Effectif : 180 personnes.

Nombre de collaborateurs : 770.

Production da ciment en 2011 :1 323 634 tonnes.

4) Historique:

Dénommée CADEM (ciments artificiels de Meknès), l'usine de Meknès démarre en 1953 avec une seule ligne de production de 400 tonnes/jour. Les années qui suivent ont connu plusieurs améliorations :

1971 : extension de la capacité du four à 650t/j ;

1985 : conversion du four en voie sèche ;

1993 : démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité 1200t/j

1995 : création de Lafarge Maroc ;

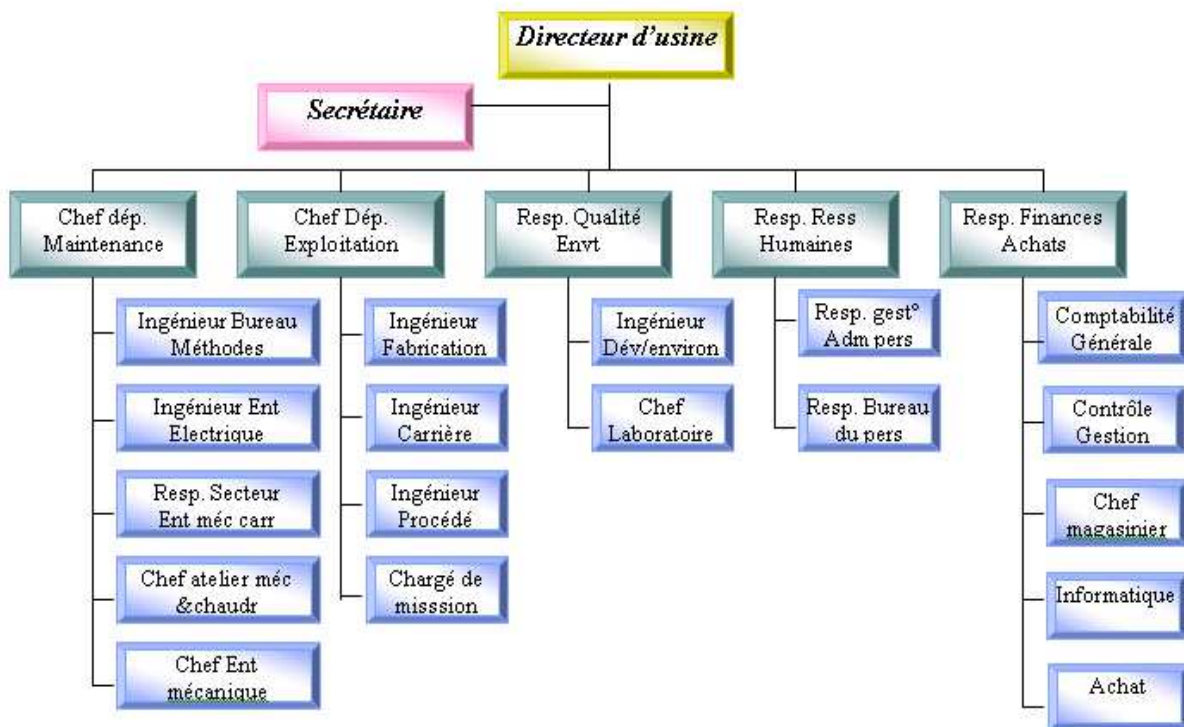
2002 : premier cimenterie au Maroc ISO14001 ;

2005 : certification ISO9001.

2008 : Démarrage d'un nouveau refroidisseur four1.

2010 : Démarrage d'une nouvelle carrière OULD RAHOU.

5) Organigramme de Lafarge Meknès :



6) Présentation des différents Services :

a - Service carrière :

Il permet l'approvisionnement des matières premières : Calcaire, argile de la carrière. Celles-ci sont extraites sur un site à 5km de l'usine et sont concassées sur un concasseur appelé l'HAZMAG. Les matières sont ensuite acheminées par transporteur de 5kw appelés curvoduc.

b - Service fabrication :

Les ateliers composant la fabrication du ciment (concassage de la matière première, pré homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) fonctionnant automatiquement, leur suivi se fait à partir d'une salle de contrôle. Le service fabrication est donc composé de chefs de postes, d'opérateurs et de rondiers qui assurent la production 24h/24h.

c - Service électrique et régulation :

Il intervient à la demande du service fabrication. Il occupe de tout ce qui est moteurs électriques, transformateurs, automates, variateurs de vitesses, instrument, régulation permettant de



contrôler et d'observer les différents paramètres rentrant en jeu dans la supervision tels que la température, les pressions, les débits...

d - Service commercial :

Ce service est le plus mouvant car il permet de fixer les objectifs de vente de ciments sur une clientèle bien identifiée. Leur travail se base sur la réception des bons de commande et des effets de commerce, la saisie des commandes et des bons de livraison.

e - Service magasin général :

Ce service a pour rôle de stocker les articles et matériels reçus par la société afin de les utiliser en cas de besoin. Le rôle du magasin est de déterminer Les biens physiques exercés par les magasiniers. Le magasin immobilise un capital important, il contient plus de 8000 articles soit une valeur de 8 milliards de DH. Les articles sont logés dans des casiers ou des endroits qui leur sont convenables.

f - La direction administrative :

Ce bureau s'occupe de la gestion du personnel pour répondre à un ensemble d'objectifs :

- Ajuster l'effectif des employés de façon à réaliser les objectifs fixés ;
- Motiver le personnel pour une organisation du travail au sein de l'entreprise

g - Service contrôle qualité :

LAFARGE CEMENTS, Usine de Meknès est dotée d'un laboratoire équipé de tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'aux expéditions du produit fini et ce conformément aux normes en vigueur et aux besoins de la clientèle. Le personnel de ce laboratoire ayant en charge le contrôle de la qualité est compétent et suit des formations continues en matière de contrôle de qualité et selon un planning de formation préétabli.





7) POLITIQUE SECURITE LAFARGE :

Toutes les personnes qui interviennent sur site ont le droit de travailler en sécurité et dans des conditions de travail saines, et doivent contribuer par un comportement responsable.

Tout accident est le reflet d'une situation inacceptable : c'est la conséquence de dysfonctionnement dans nos attitudes individuelle et collectives vis-à-vis des risques, soit d'une inadéquation entre nos procédures, nos équipement et à la nature de nos interventions, ou les deux à la fois.

• Début des travaux :

- Avant le début des travaux de chaque fournisseur une réunion préparatoire de sécurité rassemble, à l'initiative de LAFARGE ciment, son animateur de sécurité et le chef de chantier du fournisseur et de ses sous- traitants.

- L'animateur sécurité, désigné par le fournisseur, assiste à cette réunion.

- A cette réunion sont définies d'un commun accord et sous l'entière responsabilité du fournisseur, les consignes particuliers du chantier, les interdictions, consignations, condamnations nécessaires et leurs modalités d'application.

- A l'issue de cette réunion, un procès verbal doit être rédigé et affiché pour information général.

• Protection individuelle :

- Equipement de protection individuelle (EPI) obligatoire.

- Le port de casques, chaussures ou bottes de sécurité et d'une tenue de travail sont obligatoires.



II. PROCESSUS DE FABRICATION DE CIMENT

La figure ci-dessous nous donne une vue globale sur le processus de fabrication du ciment. Dans ce chapitre, on va expliquer chaque étape séparément.

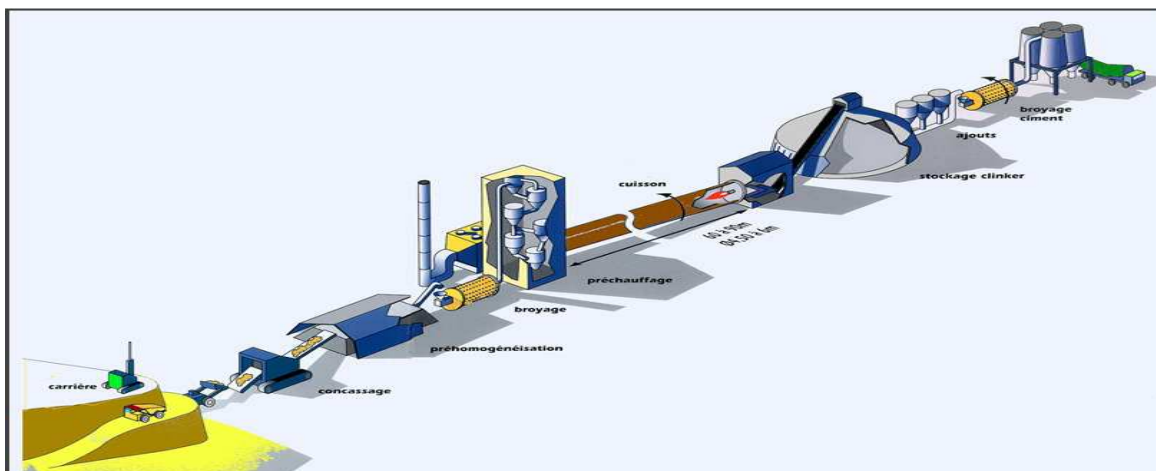


Figure : vue globale de procéder de fabrication

1) La carrière :

Lafarge dispose de deux carrières actuellement en cours d'exploitation :

- Une carrière jouxtant l'usine, d'une superficie exploitable de 50 hectares.
- Une carrière située à 5Km de l'usine d'une superficie de 100 hectares.

L'extraction se fait sur des fronts de hauteur de 8 à 15 mètres par abattage et tires de mines. La matière abattue est transportée par des dumpers de capacité de 50 tonnes ou par des camions de 40 tonnes et déversée dans le concasseur à mâchoire.





Figure : Vue de La carrière

2) Concassage :

C'est une opération qui consiste à réduire la granulométrie de la matière première en fragments de faibles dimensions. Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière (calcaire et schiste).

L'usine dispose d'un concasseur HAZMAG à double rotor, implanté à la carrière Zone 4. Le produit sortie concasseur à une granulométrie inférieure à 80mm, est amené par un convoyeur à bande (Curvodic) sur une longueur de 5Km vers les Halls de la pré homogénéisation.

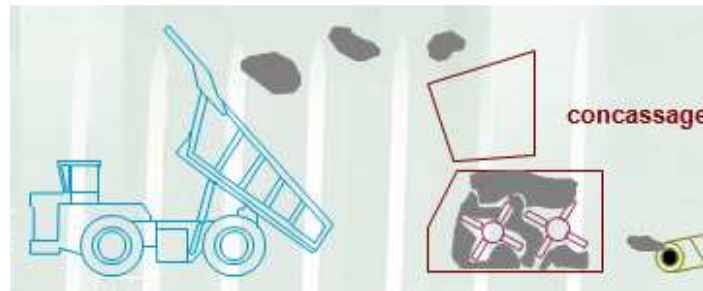


Figure : concasseur à double rotor

3) Pré homogénéisation :

Les matières de carrière sont souvent variables et il s'avère nécessaire de les mélanger pour éviter les variations.

Brusques qui ont un impact néfaste sur la cuisson. Le pré homogénéisation consiste à construire un tas par superposition de multiples couches, ce mélange sera repris perpendiculairement au sens du dépôt de façon à regrouper toutes les couches. Elle permet d'obtenir dans le produit final des quantités calcaires, argile, sable, minerais de fer donnant les performances recherchées.

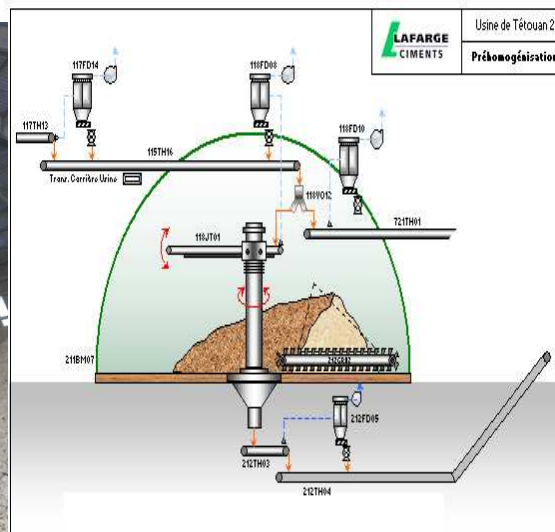


Figure: prehomogenisation avec deux navettes

4) Broyage cru :

Le broyage et séchage du cru sont réalisés dans un broyeur à galets pouvant débiter 120 tonnes par heure du cru séché.

Le cru broyé et séché est ensuite expédié vers un silo d'homogénéisation de 7500 tonnes de capacité. L'homogénéisation permet d'alimenter le four avec un cru dont la composition est constante dans le temps.

Homogénéisation :

Après broyage, le cru est expédié, à l'aide de deux élévateurs, vers deux silos d'homogénéisation de capacité :

-silo n°1 : 7500 tonnes.

-silo n°2 : 5000 tonnes.

Ces silos sont équipés de neufs aéroglisteurs qui fonctionnent par groupe de trois à la fois, pour alimenter les fours avec un cru de composition chimique constante dans le temps.

5) Cuisson :

La cuisson du cru est l'opération fondamentale de la préparation du ciment. Elle est effectuée dans deux fours rotatifs (inclinés de 5°) munis d'un pré chauffeur à 4 étages de cyclones et d'une pré-calcination.

Les étapes de la cuisson :



L'opération commence par l'évaporation de l'eau que le mélange cru contient et se poursuit par la décarbonatation. Le préchauffage se fait dans une série de cyclones, disposés verticalement sur plusieurs étages, appelée "préchauffeur". La matière froide, introduite dans la partie supérieure, se réchauffe au contact des gaz. D'étage en étage, elle arrive partiellement décarbonatée, jusqu'à l'étage inférieur, à la température d'environ 800°C.

La pré-calcination :

Elle se fait dans le précalcinateur placé entre le préchauffeur et le four. La décarbonatation commencée dans le préchauffeur se fait pour l'essentiel dans le précalcinateur et se termine dans le four. Cette opération, qui s'effectue à des températures entre 650 et 900°, permet de libérer le gaz carbonique pour obtenir la chaux nécessaire à la fabrication de clinker.



La

clinkérisation :

Cette opération a lieu dans le four. Porté à haute température, entre 1450 et 1550°, la rotation et l'inclinaison du four de 5° font progresser la matière.

La clinkérisation commence vers 1200 °C pour culminer à 1450 °C, nous y distinguerons deux grandes étapes :

- Les combinaisons avec formation de phase liquide
- Réactions à l'état solide



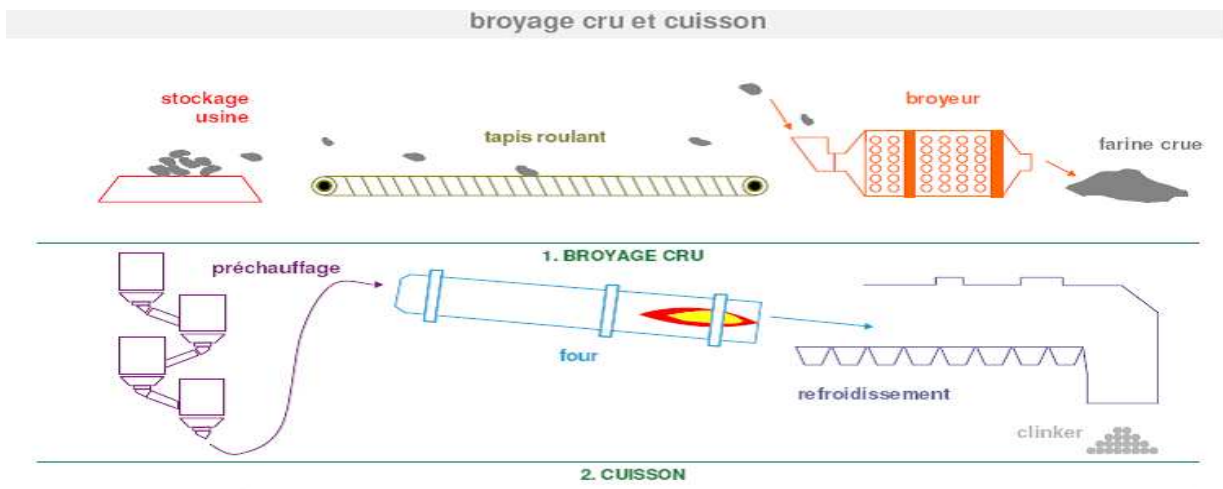
Figure : vue du four rotatif

Le refroidissement :

La première fonction du refroidisseur est d'assurer une trempe rapide des granules de clinker à fin de fixer les minéraux qui contribuent à ses propriétés hydrauliques. La deuxième fonction est le refroidissement du clinker est ceci dans le but de protéger les équipements en aval (broyeur clinker...). La récupération de l'énergie thermique du clinker est la troisième fonction demandée au refroidisseur.

Le refroidisseur four1 est a deux grilles. Par contre le refroidisseur four2 a une seule grille. La grille est munie d'un mouvement alternatif avant-arrière assurant l'avancement du clinker. Le soufflage de l'air de refroidissement est assuré par des ventilateurs, qui après passage au travers de la couche de clinker se répartit en deux flux :

- air secondaire chaud qui sert d'air de combustion au niveau du four rotatif.
- air tertiaire chaud acheminé au précalcinateur pour servir d'air de combustion.



6) Broyage cuit :

Une fois le clinker est refroidi, il est stocké dans un hall de capacité de 20000 t, équipé de deux ponts roulants.

Pour fabriquer le ciment, le clinker est broyé avec des matières d'ajouts qui sont le gypse et le calcaire. L'usine dispose de trois ateliers de broyage nommés BK3, BK4 et BK5.



Vue de l'intérieur du BK3 : broyeur à boulets

Le ciment est ensuite stocké dans six silos dont les capacités de stockage sont les suivantes :



- deux silos de 4800 t chacun.
- quatre silos de 1800 t chacun.

7) Ensachage :

Après la mise en stock de ciment, vient la dernière partie de tout ce grand cycle de production et qui est la mise en sac du produit.

L'ensachage du ciment est assuré par deux ensacheuses rotatives « HAVER » à huit becs de débit 80 t/h chacune, et par trois ensacheuses en ligne « BATER » en ligne de débit 40 t/h chacune.

L'expédition du ciment se fait par camion ou voie ferrée. Selon la qualité, le ciment est livré soit en vrac soit en sacs.



Figure : sac de ciment



Chapitre II

PROCESSUS DE BROYAGE CRU A LAFARGE

I-ETUDE DU FONCTIONNEMENT DU BROYEUR CRU

1) Travail et fonctionnement du Broyeur cru :

Le broyeur cru est l'une des machines les plus importantes au sein de LAFARGE qui présente une grande importance au cours du processus de fabrication de ciment, pour Lafarge il y a 5 broyeurs trois verticaux et deux broyeurs horizontaux, ils ont le même objectif c'est d'écraser la matière broyée .



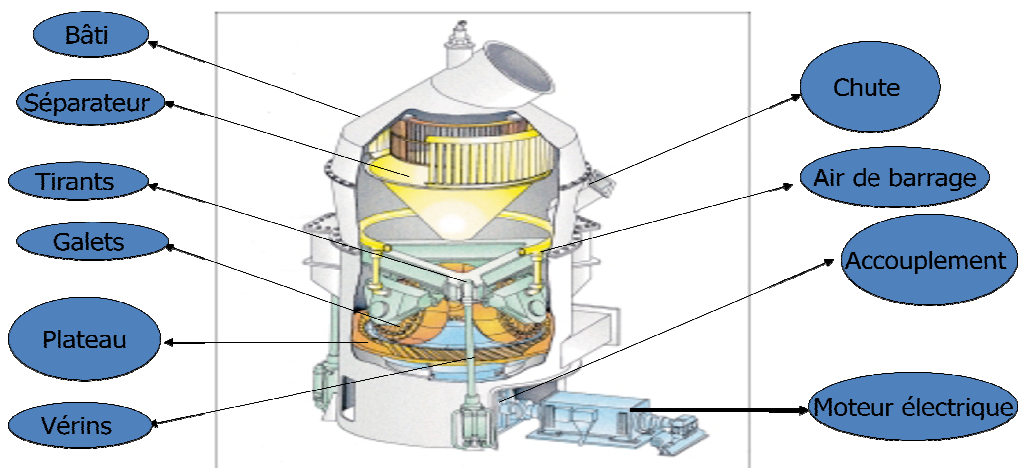
1 -1 Principe du broyage cru :

Les produits d'alimentation sont normalement jetés dans une goulotte d'alimentation du broyeur.

Le mouvement de rotation de cette table assure une répartition régulière du produit de broyage sur la piste horizontale de broyage ou ce produit est saisi par les rouleaux broyeurs coniques et qui roulent par-dessus ce produit. L'action de broyage s'effectue par pression et frottement sous l'effet du système hydropneumatique de suspension à ressort pour les rouleaux. Lorsque les rouleaux passent sur le produit broyer, le piston de travail de ce système à ressort est soulevé au moyen du balancier et des tiges élastiques et l'huile contenue dans le compartiment de la tige de piston est refoulée dans des accumulateurs hydrauliques remplis de gaz. La contenant de gaz est ainsi comprimé et agit donc en tant que ressort.

Le produit de broyage concassé est lancé depuis la table, grâce à la force centrifuge, vers la zone au-dessus de la couronne d'aube qui entoure la table. Ici ce produit est saisi par le courant de gaz chaud aspiré par la soufflante du broyeur et amené vers le haut, à l'intérieur du bâti supérieur, jusqu'au séparateur.

Par le contact intensif des petits grains avec le courant du gaz chaud l'humidité du produit broyé est évaporé immédiatement. Le produit qui n'est pas encore concassé à la finesse finale et refusé par le séparateur en fonction de sa valeur réglée. Le Produit de refus retombe, à l'intérieur du flux de retour de petits grains dans la table pour subir un nouveau cycle.



Broyeur cru

2) Présentation du galet du broyeur cru

Rapport-gratuit.com





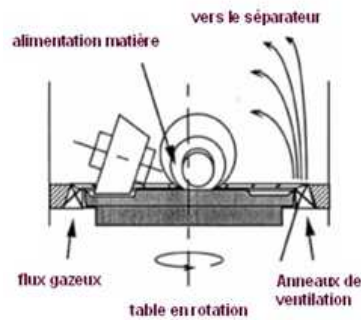
Le broyeur est équipé de trois meules, chacune étant fixée dans son propre levier oscillant. Les meules sont décalées régulièrement l'une par rapport à l'autre et sont supportées sur la table de broyage en position 0 avec une inclinaison de 15° par rapport à l'horizontale.

Chaque meule comprend pour l'essentiel le noyau de meule rotatif, le disque de recouvrement, l'étanchéité de palier, l'axe de meule, le bandage de meule comme bouclier d'usure, le couvercle de noyau de meule, la douille d'étanchéité et le système de lubrification.

2-1 Fonctionnement de meule.

Chaque meule tourne sur un palier à rouleaux cylindrique disposé du côté levier oscillant et dans un palier à rouleau conique à deux rangées cote couvercle de noyau de meule. Alors que le palier à rouleaux cylindriques ne transmet que les forces radiales, le palier à rouleaux coniques supporte les forces radiales et axiales. Les deux paliers sont soutenus l'un contre l'autre par les douilles d'écartement et sérés avec les vis du couvercle de noyau de meule et de la douille d'étanchéité.

Broyeur cru





Chapitre III

ANALYSE DES MECANISMES D'ENDOMMAGEMENT ET RECONSTRUCTION DE LA GARNITURE MECANIQUE DU GALET

I - ANALYSE DES MÉCANISMES D'ENDOMMAGEMENT DU GALET

1) Etat actuel de la garniture à anneau glissant du galet :

L'étanchéité est obtenue par frottement plan sur plan (métal-métal) d'une face annulaire tournante et d'une contre-face fixe. Un ressort applique ces deux surfaces l'une contre l'autre (rattrapage d'usure). Afin de réduire les conséquences du frottement (usure, échauffement, perte de puissance) il faut réunir les conditions pour que se forme entre les deux surfaces un film de fluide. L'état de surface doit être excellent trempé et poli.

Cette garniture est prévue pour conserver le lubrifiant dans le compartiment du palier à roulement de la meule de broyage.
Grace à la pression de ressort, il ne laisse échapper aucun lubrifiant.

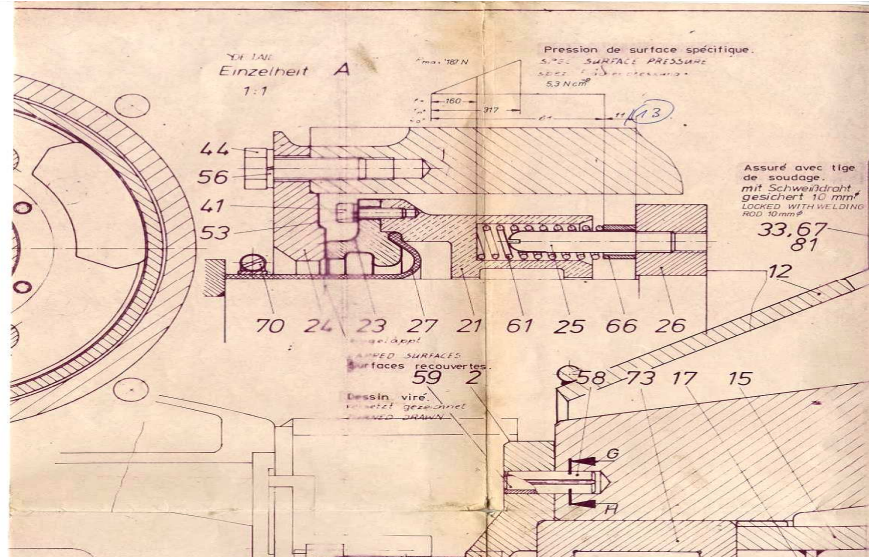


Figure : Plan d'anneau glissant

- Les composants de la garniture mécanique du galet.



Bague +manchette



Bague



Ressort

Mais cette garniture à anneau glissant n'est pas prévue à être utilisée comme étanchéité des paliers à roulement. Les forts encrassements dans le compartiment de palier à roulement, provenant de la matière broyée, indique toujours un fonctionnement défectueux du système d'étanchéité à cause de plusieurs problèmes que nous analyserons dans le prochain paragraphe.

2-Description des problèmes.



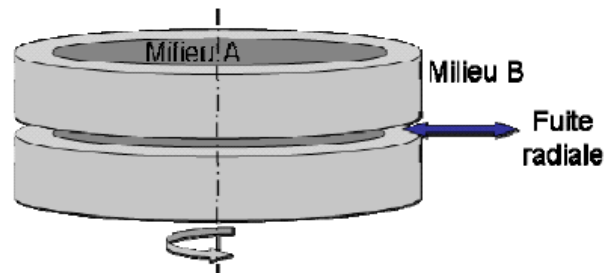
Le galet du broyeur cru subit plusieurs dégâts à cause de plusieurs problèmes au niveau de sa garniture mécanique qui n'assure pas la bonne étanchéité des roulements et indique toujours un fonctionnement défectueux du système.

D'abord la fuite d'huile provoquée par le déchirement de la manchette qui assure l'étanchéité et le jeu entre les deux surfaces de contact qui subissent une importante corrosion à cause du frottement.

Aussi la pénétration de la matière broyée qui bloque le fonctionnement des roulements et diminue leur durée de vie, et en plus en cas d'endommagement, les parties en rotation et fixes de l'anneau glissant doivent être changées avec la bague de support et la manchette et ce système doit être changé par le chef d'atelier au minimum trois fois par année et il coûte environ 41.167DH.

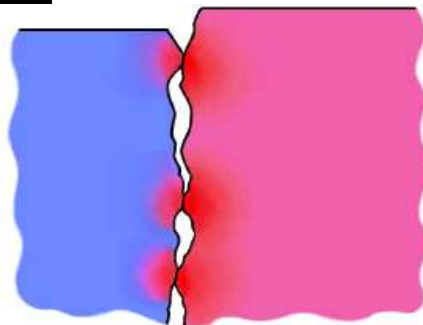


Déchirement de la manchette



description sommaire d'une garniture mécanique

Usure des deux surfaces de contact :





Si les faces ne sont pas planes, les contacts génèrent :

- De la chaleur.
- Une usure excessive.
- Un taux de fuite important.

Pénétration d'impuretés :



Afin d'analyser d'avantage le phénomène d'usure du système d'étanchéité du galet, nous allons faire appel à des méthodes de résolution des problèmes comme l'outil QQQQCP.

2) Outil d'analyse :

Le QQQQCP : Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Combien ? Pourquoi.

C'est une technique de recherche d'informations sur un problème et notamment sur ses causes. Elle sert à identifier le problème dans son ensemble à partir de 6 questions :

- ***Quoi ?***

De quoi s'agit-il ?

Changer la garniture mécanique du galet du broyeur cru.

Quel est l'état actuel de la situation ?

Le galet a subi plusieurs dégâts : Fuite d'huile.
Pénétration d'impuretés
Détérioration des roulements.

Quelles sont les conséquences ?

-Diminution de la capacité de la production.
-Détérioration du galet.

- ***Qui ?***

Qui est concerné ?

-Lafarge Meknès.

Qui est intéressé par le résultat ?

-Service production, service maintenance.



- **Où ?**
Où cela se produit-il et s'applique t-il ?
-Galet du broyeur cru.
- **Quand ?**
Depuis quand vous avez ce problème ?
-depuis l'installation de broyeur.
- **Comment ?**
Comment se produit le problème ?
-Fuite d'huile.
-Pénétration de la matière broyée.
-détérioration de système d'anneau glissant.
- **Pourquoi ?**
Pourquoi le problème doit être résolu ?
-Augmentation de la capacité de production.
-Protection des roulements du galet.
-Assurer une bonne lubrification.

II- LES SOLUTIONS PROPOSÉES :

1) Chicane :

- Présentation : un passage étroit retient la graisse et protège le mécanisme contre la pénétration d'impuretés.
- Données d'utilisation :
 - bonne tenue aux hautes températures
 - frottements très faibles ou nuls
 - pas d'usure

Mais cette solution reste insuffisante puisque les chicanes n'empêchent pas les fuites de lubrifiant.

2) Proposition et choix du joint d'étanchéité.



Réaliser une étanchéité dynamique sans joint, c'est accepter une fuite contrôlée et des usinages parfois coûteux.

2-1 Définition :

La fonction étanchéité consiste à empêcher ou à réduire le passage d'éléments liquides, solides ou gazeux entre deux milieux. Il peut s'agir aussi bien d'éviter la sortie de fluides que l'on souhaite confiner dans un espace donné que l'entrée d'éléments indésirables dans une enceinte.



2-2 Les contraintes d'utilisation :

Les éléments à prendre en compte sont nombreux :

Paramètre à prendre en compte pour le choix d'une étanchéité	
-Nature du fluide à étancher -Pression du fluide -Température et dilatation -Mouvement rotatif des surfaces a étanché -vitesse du mouvement -Dimension et tolérance -Etat de surface	Durée de vie souhaitée Tolérance d'une fuite Simplicité de la conception -Contrôle de l'étanchéité -Entretien, maintenance -Aspect commercial - Forme de surface à étancher

2-3 La nature des fluides et des ambiances :



-fluides : air, eau, vapeur d'eau, gaz, huile.

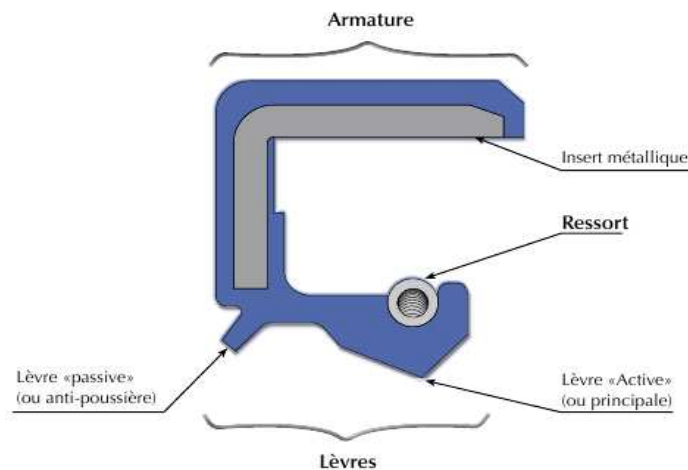
-éléments solides : poussières de charbon, ciment, sable.

-dangers particuliers dus à de nombreux produits chimiques qui peuvent être corrosifs, toxiques, inflammables, radioactifs, etc.

2-4 Présentation générale d'une bague :

Pour répondre à toutes les exigences d'étanchéité, une bague comporte trois éléments principaux : l'armature, le ressort, les lèvres actives (et/ou passives).

Suivant les conditions d'utilisation .



Le composant d'un joint d'étanchéité

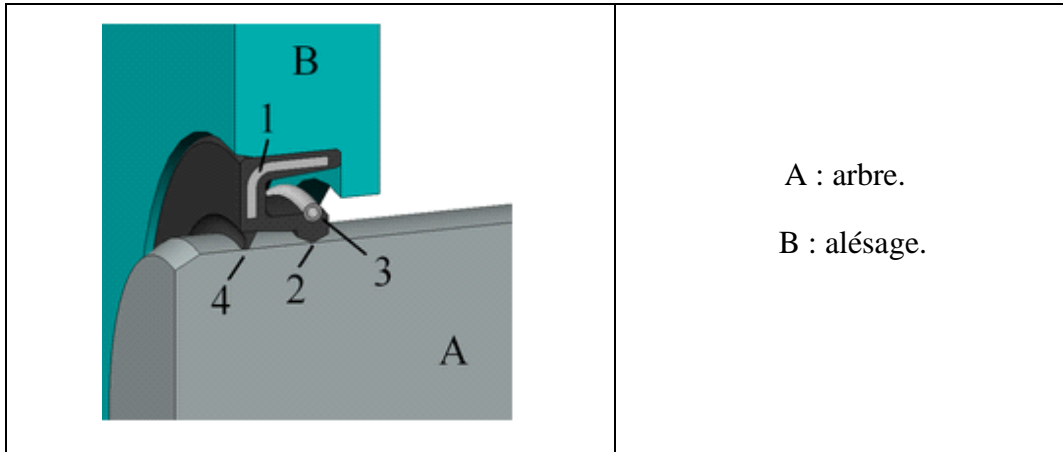
2-5 Le choix convenable de joint d'étanchéité :

Joint à deux lèvres à contact radial :

Ce sont des joints pour étanchéité dynamique, mouvement de rotation uniquement.

Ils sont essentiellement utilisés avec les huiles et les graisses compacts, ils se composent de deux lèvres en viton en forme de couteau, frottant radialement sur l'arbre. Un ressort standard, à spires jointives de forme torique, assure le maintien de contact lèvre/arbre.

Présentation : ce type de joint comporte en général :



A : arbre.

B : alésage.

- une armature métallique (1) qui lui confère une certaine rigidité,
- une lèvre intérieure (2) qui réalise l'étanchéité du fluide intérieur et frotte sur l'arbre,
- un ressort (3) qui assure le contact de cette lèvre sur l'arbre,
- une lèvre extérieure (4) anti-poussière,
- une enveloppe extérieure en élastomère qui assure une étanchéité statique avec le carter.

Données d'utilisation :

- les joints à lèvres sont généralement emmanchés ou collés dans le carter, beaucoup plus rarement sur l'arbre.
- pression de 3 à 10 bars.
- température de -80 à 200°C.
- vitesse linéaire $V = 20$ m/s maximum en l'absence de pression.
- rugosité de l'arbre $Ra < 0,3e$.

2-6 Les avantages des joints d'étanchéités :

Avantages d'un joint radial :

- Montage simple
- Forte tolérance thermique pour des vitesses élevées
- Résistance à l'usure grâce à un effet de pompage
- Excellente résistance au vieillissement



- Revêtement pour une protection contre la corrosion
- Disponible sur stock ou fabriqués à la demande
- Qualité des normes ISO type 1, type 2 ou type 3
- Retenir le lubrifiant,
- Protéger des particules de contamination et de l'humidité,
- Séparer deux substances différentes,
- Résister à la pression.

2-7 Recherche des causes de défaillance :

Les défaillances d'une bague se situent soit au niveau du diamètre extérieur (Contact avec le logement) soit au niveau de la lèvre d'étanchéité (contact avec l'arbre).

Cette liste de source de défaillances permettra à l'utilisateur de trouver les origines des fuites et de prendre les actions correctives.

Symptôme	cause	remède
la bague d'étanchéité se déplace le long de l'arbre	serrage insuffisant entre le diamètre extérieur de la bague et le diamètre intérieur du logement associé à la rotation de l'arbre et la pression interne	choisir la bonne dimension et remplacer la bague.
la bague installée n'assure pas sa	le diamètre intérieur de logement et	s'assurer que l'alésage du logement et



fonction d'étanchéité	trop petite lors du montage de la bague celle-ci s'est montée de travers	à la bonne dimension.
Déformation de l'armature de la bague.	Mauvaise outil de montage.	Utiliser le bon outil de montage.
Diamètre extérieur de la bague endommagé	Mauvaise finition de l'alésage du logement poussière sur le diamètre ext. de la bague ou sur le diamètre intérieur du logement	Nettoyer le montage Utiliser le bon outil de montage.
usure important de la lèvre.	Lubrification insuffisante. Mauvaise conception de l'ensemble qui ne permet pas de lubrifier la lèvre d'étanchéité. serrage excessif.	Assurer une lubrification suffisante. Modifier la conception pour assurer l'accès au lubrifiant sur la lèvre d'étanchéité
Usure très important et détérioration de la lèvre d'étanchéité. fissure au niveau de la partie flexible	Pression intérieur trop importante.	changer le type de la bague d'étanchéité pour un modèle haute pression
Usure irrégulière de la lèvre.	L'axe de la bague d'étanchéité n'est pas aligné avec celui de logement.	S'assurer que l'alésage le logement et bon
lèvre fissurée craquelée. Babélisation de la lèvre.	Haute température. Vitesse de rotation trop importante. Haute pression. Lubrification insuffisante. Présence d'ozone.	Choisir le bon modèle. Bonne lubrification
Gonflement de la lèvre.	Mauvaise choix du matériau	Choisir le bon matériau
La lèvre se retourne.	Mauvaise installation pression intérieur trop forte.	Lubrifier la lèvre et l'arbre avant le montage Utiliser une bague a haute pression
Le ressort sort de sa gorge.	le chanfrein de l'arbre n'est pas bon.	Bonne finitions de chanfrein Changer la conception de la bague

III-LA CONCEPTION DE LA NOUVELLE GARNITURE MÉCANIQUE DU GALET :

1) Etude et construction des pièces de la nouvelle garniture mécanique :



-Bague d'usure :

Pour des performances optimales des joints, l'état de la surface d'appui, la surface de l'arbre, est primordial. Si la surface d'appui est usée ou abîmée, les joints ne fonctionneront pas correctement ; ils ne retiendront pas les lubrifiants et n'excluront pas les contaminants correctement.

Pour résoudre facilement le problème de surfaces d'appui de joint usé. On les pousse simplement sur une bague d'usure ce qui permet aussi de protéger l'arbre du galet.

On donne ci-dessous le dessin des pièces de la nouvelle garniture mécanique du galet que nous conçu sous CATIA V5 R19 avec des dimensions très précises.

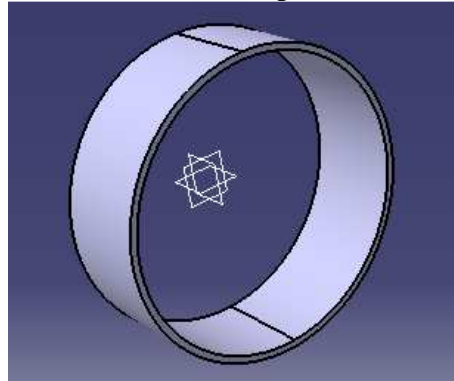


Figure : Bague d'usure

On peut aussi utiliser un manchon d'usure de grandes dimensions (LDSL) :

Manchons d'usure avec une section de 2,39 mm (0,094 in) pour des diamètres d'arbre supérieurs à 200 mm (8 in) et jusqu'à environ 1 150 mm (45 in).



Figure : Manchon d'usure

- La boîtier:

Une pièce cylindrique pour loger les arrêts d'huiles

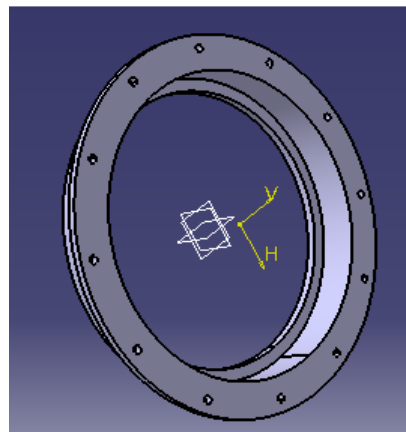




Figure : boîtier

- Les joints d'étanchéité:

Utilisation de trois joints à contact radiale à deux lèvres

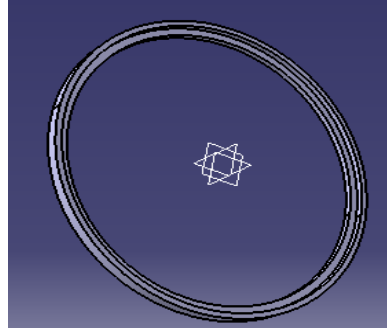
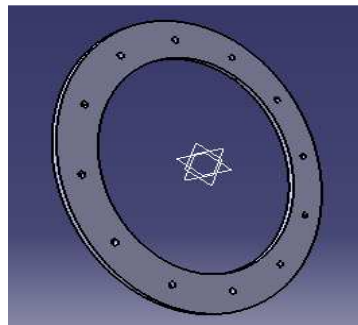


Figure : joint d'étanchéité radial à deux lèvres

- Rondelles plates avec 12 trous :

- Augmenter la surface d'appui de l'écrou ou de la vis.
- Protéger la surface de la pièce contre les marques laissées par écrou ou la vis.
- Freinage des joints d'étanchéités.



2) L'intérêt de la nouvelle garniture mécanique :

Cette nouvelle conception permet à Lafarge d'éviter beaucoup de problèmes au niveau du galet de broyeur cru :

- Empêcher la pénétration d'impureté grâce à la lèvre anti- poussière.
- Empêcher les fuites grâce à l'adhérence de ressort.
- Protéger l'arbre à l'aide de la bague d'usure.
- Éviter la détérioration de roulement.
- Garder la propriété d'huile.
- Élimination d'usure de deux surfaces d'anneau glissant.



CHAPITRE IV :

GAMME OPERATOIRE DU DEMONTAGE ET DU MONTAGE DU GALET DU BROYEUR CRU



I - Gamme opérationnelle :

Description : changement de garniture mécanique de galet

Corps de métier : conception Mécanique

Durée d'arrêt : 24 Heures

Emplacement: Broyeur cru

1) Phases d'opérations :

Phases	Descriptions
1	Démontage de galet
2	Démontage de garniture à anneau coulissant
3	Montage de nouvelle garniture
4	Remontage de galet

2) Article :

Phase N°	Description	Références	Nombre	Prix unitaire
2	Bague repo 21	81600050M	1	14000dh
	collier	45320119M	2	2*170 dh
	Manchette	81600057	1	4630 dh
	Bague rep 23	81600035M	1	16087 dh
	couvercle	81600042M	1	18810 dh

Phase N°	Description	Références	Nombre	Prix unitaire
3	Bague d'usure		1	1500dh
	Joint à 2 lèvres radiales	BECA 872TB	3	3*12 000 dh
	Boitier		1	5000dh
	Rondelle plat		1	1000dh
	vis hexagonale		12	-



3) Description des travaux réalisés :

- Sécurité:

- Respecter les règles de sécurité.
- Porter les équipements de protections Individuels (EPI).

-Préparation du chantier :

- Nettoyer l'aire d'interventions.
- Respecter la procédure de gestion des déchets solides et liquides.
- Préparer tous l'outillage nécessaire (voir la liste d'outillages ci-jointe).

- mode opératoire :

- Démontage de l'ensemble de la garniture mécanique :

- Dévisser le collier (rep70).
- Démonter le couvercle (rep24).
- Tirer l'ensemble de la garniture en tirant la manchette (rep27) vers le haut Après avoir tiré l'ensemble de la garniture mécanique démonter l'ensemble en démontant les vis rep 41.
- Retirer la manchette déchirée.
- Enlever les ressorts de compression (rep61).

- Montage de nouvelle garniture :

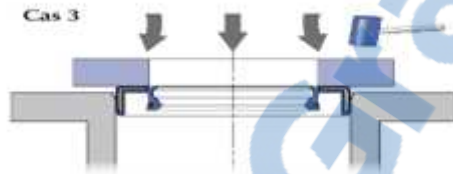
- Montage de bague d'usure :
 - nettoyage de l'arbre
 - chauffer la bague d'usure à l'aide de l'appareille de l'induction température 110°C.
 - remonter la bague.



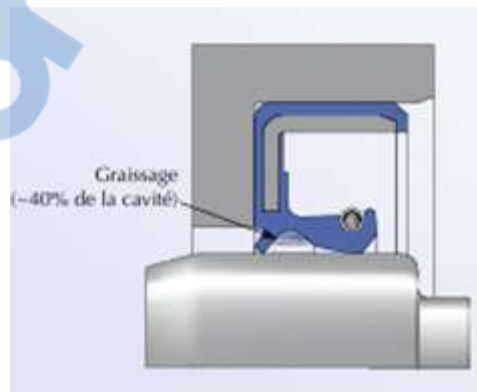
Figure : machine d'induction

- assembler les 3 joints à 2 lèvres radiaux dans le boîtier :

- monter le joint à l'aide d'un marteau. Dans ce cas, il faut absolument utiliser une rondelle épaisse de montage.



- graissage par point de l'espace entre les deux lèvres.



- lubrifier la bague d'usure.
- monter le boîtier.
- fixation de rondelle avec des vis hexagonales.



4) Types de montage :

	Type de montage	Jeux maximale	Jeux minimale	IT (intervention de tolérance)
Arber _bague d usure 410 H8 s7	Serrage	0,137	-0,031	0,168
Boitier jupe 510 H8 e7	Jeu moyen (glissant)	0,295	0,135	0,16
Arrêt d huile bague d'usure 430H7g6	Jeu faible	0,123	0,02	0,103
Arrêt d'huile_boitier 470H7s6	incertain	0,083	-0,02	0,103

J_{max} = diamètre maximal d'alésage – diamètre minimal de l'arbre.

J_{min} = diamètre minimal d'alésage – diamètre maximal de l'arbre.

$$IT = J_{max} - J_{min}$$

5) Tableau des pièces :

Le diamètre de l'arbre est 420 et puisque la garniture nécessite une bague d'usure de diamètre 410 on chariote l'arbre pour atteindre le diamètre de la bague d'usure

On donne ci-dessous le dessin définition de la nouvelle garniture mécanique du galet que nous conçu sous soldworks.

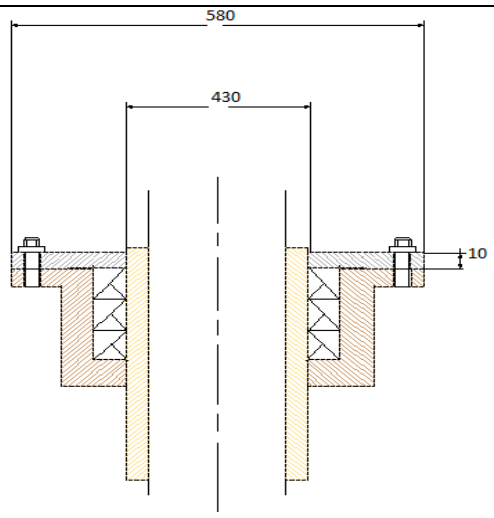
	Diamètre intérieur	Diamètre extérieur	Dessin définition
--	--------------------	--------------------	-------------------



Joint à 2 lèvres radiales	430	470	
Bague d usure	410 es+0,097 ei-0	430 es-20 ei-60	
Boitier (12 trou de diamètre 12,5 entraxe 139)	470 +-0,020	510 es+0,097 ei-0	





Rondelle (12 trou de diamètre 12,5)	430	580	
--	-----	-----	--

Pour le 2eme changement, les joints d'étanchéités disponibles au magasin de Lafarge sont de dimension 420-470-20, donc on peut les utiliser sans monter la bague d'usure.

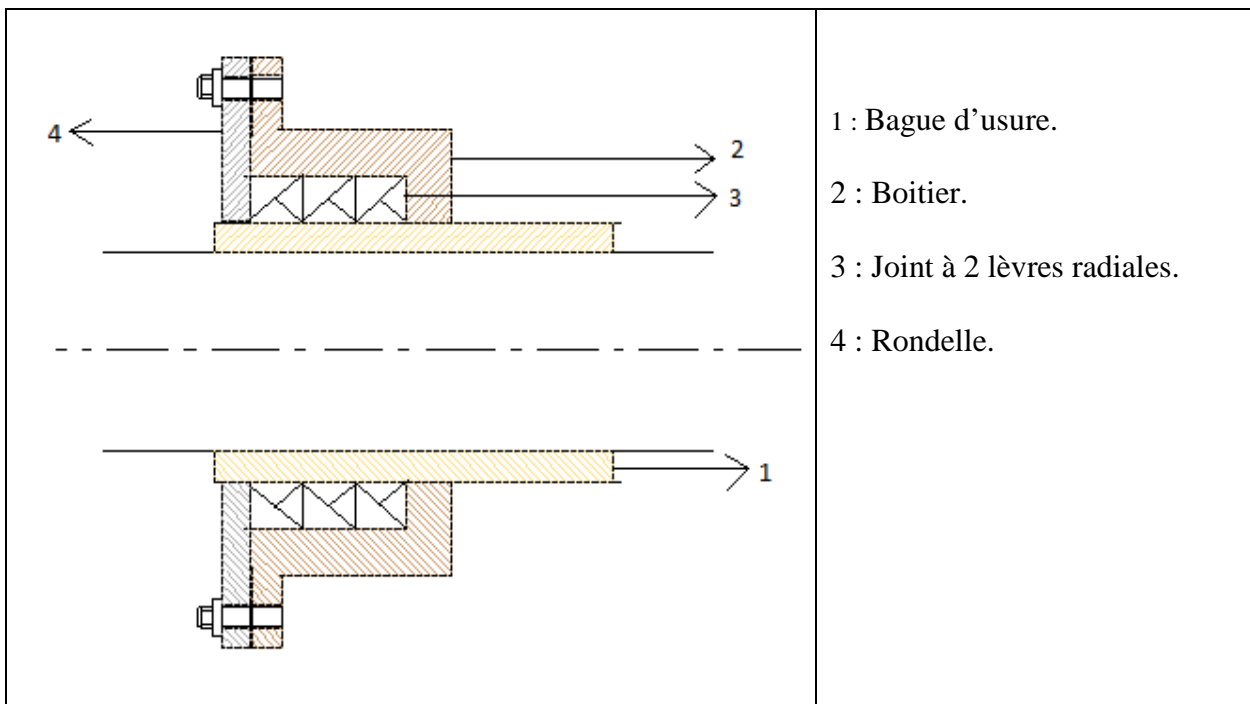
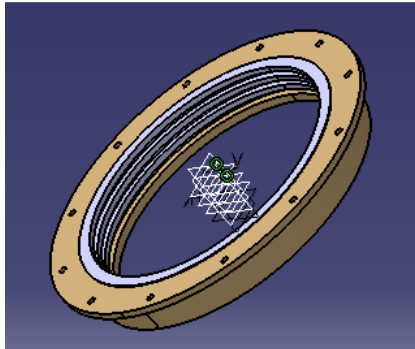


Figure : la garniture mécanique du galet

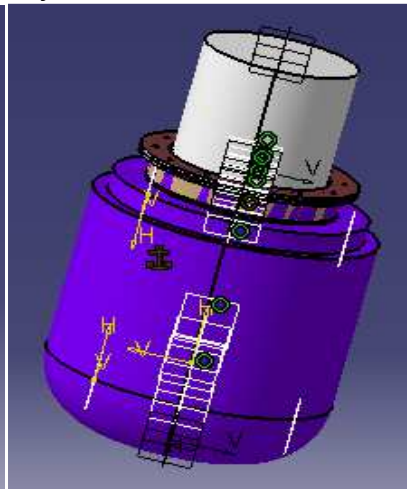
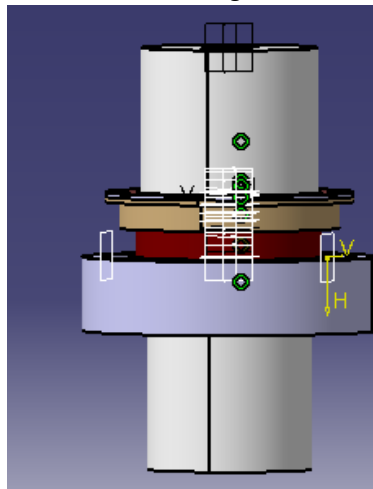
II-Dessin catia :



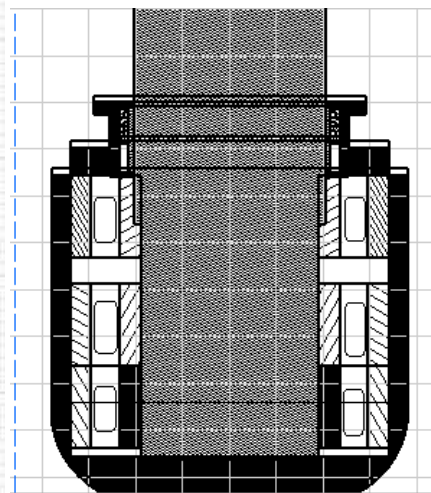
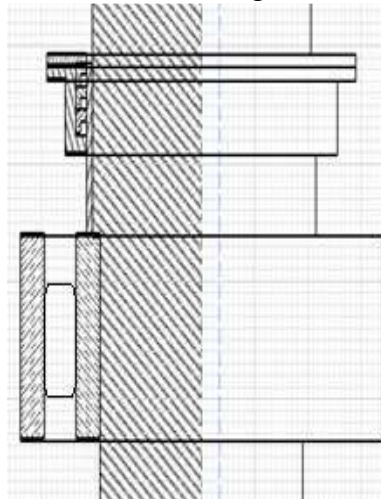
On donne ci-dessous le dessin d'ensemble de la nouvelle garniture mécanique du galet que nous conçu sous CATIA V5 R19.



Montage du boîtier avec trois joints d'étanchéités



Montage de nouvelle garniture mécanique.



La vue de face de nouvelle garniture.



CHAPITRE V: MODIFICATION DE SYSTEME DE LUBRIFICATION DU GALET

I-LUBRIFICATION À L'HUILE :

La lubrification à l'huile est recommandée pour un grand nombre d'applications et peut être adaptée aux conditions réelles de service et à la conception particulière de la machine. Méthodes de lubrification à l'huile les plus utilisées.

Le système de lubrification doit non seulement éviter tout contact direct des corps solides et réduire le coefficient de frottement, mais aussi refroidir les surfaces, éviter la corrosion, rendre inoffensives les substances susceptibles d'apparaître en cours de fonctionnement, et favoriser l'étanchéité entre les pièces en mouvement relatif. Il existe différents moyens permettant d'amener le lubrifiant au contact des parties en mouvement d'un ensemble mécanique.

1) les fonctions que doivent remplir les lubrifiants :



Le rôle d'une huile va se décliner selon les points suivants :

- **Réduire l'usure des pièces mécaniques** : l'huile va permettre de réduire le frottement des composants dans leurs mouvements les uns par rapport aux autres.
- **Protéger les composants** : l'huile, de par sa nature physique va créer une couche protectrice sur les surfaces des pièces en contact et empêcher le grippage des pièces en contact
- **Refroidir** : de par ses propriétés calorifiques, l'huile va permettre de disperser la chaleur créée par les frottements des pièces mécaniques entres-elles.
- **Nettoyer** : l'huile, tout au long de sa durée de vie dans les organes va circuler dans un circuit et va traverser des filtres. Elle va par conséquent entraîner les particules résiduelles et jouer un rôle de nettoyant des volumes dans lesquelles sont disposés les composants mécaniques.

2) Le système de lubrification des roulements de galet :

2-1 Lubrification par circulation d'huile :

Dans la lubrification par circulation d'huile, le lubrifiant est acheminé par les pompes de l'armoire hydraulique HSMS assurant l'alimentation. Un tube d'aspiration, placé au centre du noyau de galet, assure un niveau d'huile minimum constant de la meule, s'écoule à travers le roulement. Après son passage, l'huile est refroidie avant d'être renvoyé. Le refroidissement de l'huile permet de maintenir un bas niveau de température de fonctionnement du roulement.

La lubrification de machines ou d'installations exige souvent un débit continu, alimenté par des pompes à huile, et réparti ensuite aux différents points de lubrification selon leur besoin particulier en huile.

3) fonctionnement des pompes d'aspiration et refoulement :

Les deux pignons tournent en sens inverse l'un de l'autre, le pignon menant tourne le plus souvent en sens antihoraire. L'huile est « aspirée » par l'orifice d'admission, elle remplit les espaces compris entre les dents et le boîtier. L'huile débouche dans la chambre de refoulement, sa pression est d'autant plus élevée que la pompe sollicitée. La pression a tendance à se répercuter sur toute la périphérie des pignons, ce qui va échauffer l'huile, diminuer le rendement, mais surtout créer des pressions internes inverses sur les axes.

Afin de limiter ces phénomènes dangereux pour la survie de la pompe, les jeux étant de l'ordre du dixième de millimètre, différents canaux très fins sont creusés dans les couvercles par exemple pour équilibrer les éléments sur eux-mêmes.

1-tube d'aspiration.

2-carter.

3-tube de refoulement.

4-pignon.

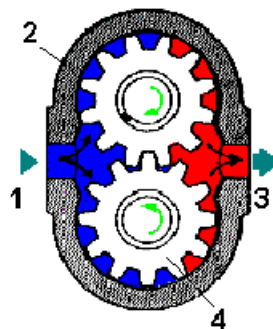


Figure : pompe à engrenage



6) Les problèmes de lubrification par circulation forcée :

- ✓ Coût de fabrication élevé.
- ✓ Besoin de bonne étanchéité.
- ✓ Endommagement de la pompe à huile.
- ✓ poche d'air dans les tuyaux d'aspiration.
- ✓ Fuite d'huile dans la conduite d'aspiration.
- ✓ Grande consommation d'électricité.
- ✓ Main d'œuvre.
- ✓ Pièces de rechange.

II-LA SOLUTION PROPOSÉE :

1) *L'impact du changement de garniture mécanique du galet sur le système de lubrification*

L'assurance d'une bonne étanchéité dans la première partie en utilisant les trois joints d'étanchéités qui élimineront d'une grande partie les fuites et la pénétration d'impuretés, nous permet de changer le système de lubrification de circuit forcé avec un système de lubrification par barbotage.

2) *Lubrification par projection d'huile :*

Des organes mécaniques en mouvement se chargent d'huile par « barbotage » dans un carter. Sous l'action de la force centrifuge, l'huile est projetée directement sur le réservoir de galet avec une pompe d'aspiration est retourné vers le réservoir une fois qu'il a transité par les points de lubrification, afin d'être réutilisée, et lubrifier les roulements.

3) *les contraintes étudiées sur le système de lubrification par projection d'huile:*

3-1 le choix de qualité d'huile :

La lubrification, et plus particulièrement l'utilisation des huiles fait partie intégrante de la maintenance préventive. Par son rôle protecteur, l'huile permet de maintenir en état de fonctionnement une grande majorité des composants mécaniques présents dans l'industrie. Mais le choix d'une huile ne se fait pas au hasard, les gammes de produit proposées par les fournisseurs sont extrêmement large et demandent quelques éléments techniques afin d'être mieux appréhendées.

Les principales caractéristiques des huiles vont être les suivantes :

❖ La viscosité :

- La viscosité cinématique, qui caractérise la résistance à l'écoulement de l'huile, et qui s'exprime en Stokes (ou centistokes).

-Le point éclair, qui correspond à la température à laquelle le fluide émet suffisamment de vapeur pour que celles-ci deviennent inflammables.

-Le point d'écoulement, qui correspond à la température à partir de laquelle le fluide s'écoule.

❖ La stabilité :



C'est la résistance du lubrifiant à la décomposition sous l'action des gaz brûlés et de la température.

❖ **L'onctuosité :**

C'est l'aptitude du lubrifiant à adhérer aux surfaces métalliques.

3-2 L'huile synthétique :

L'huile synthétique correspond à la qualité maximale pour la lubrification des machines.

Elle peut être utilisée à très basse ou haute température, peu sensible à la température : sa viscosité varie peu avec la température. Ses performances lubrifiantes sont conservées des très basses (jusqu'à -50 °C) aux très hautes températures.

Du fait de sa haute qualité intrinsèque, elle contient moins d'additifs que les autres types d'huile ; elle montre une meilleure stabilité d'origine et s'use moins vite qu'une huile minérale, dont la base est un mélange de milliers d'hydrocarbures de différentes tailles.

Son principal défaut est son prix, le plus élevé. Une huile semi-synthétique, mélange d'une minérale et d'une synthétique, offre un compromis entre qualité et coût.

3-3 Les appareils de contrôles :

❖ **Sondes de température et de niveau :**

Le contrôle de la température et le niveau d'huile joue un rôle essentiel pour contrôler et protéger l'équipement de galet. Des températures imprécises peuvent avoir des conséquences importantes, voire irrémédiables, comme la réduction de la durée de vie des roulements.

Il suffit parfois d'une simple surchauffe de quelques degrés pour tout perdre. Savoir le niveau d'huile est obligatoire pour assurer le contact de niveau d'huile avec les roulements d'où l'importance de disposer de mesures précises. La gamme comprend des sondes et des transmetteurs de température et de niveau minimum d'huile qui amélioreront ainsi votre rentabilité.

Ses capteurs de température et de niveau ont pour fonction d'informer au calculateur, l'état thermique et le niveau minimum d'huile du milieu dans lequel elles sont situées.



Conception :

Elles sont constituées d'un corps dans lequel est enfermée une résistance.
Elles sont plus précisément appelées thermistance faisant partie de la famille des semi conducteurs.



Sonde de température



Sonde de niveau



La maintenance d'huile sera journalier par des techniciens à l'aide des appareils de control.

3-4 Fréquence des vidanges :

L'intervalle entre deux vidanges est déterminé par le constructeur en fonction des performances techniques d'huile et les caractéristiques de la machine et le mode de fonctionnement.

-Une huile synthétique a une durée de vie supérieure à une huile minérale.

La fréquence des vidanges dépend de plusieurs facteurs : utilisation de la machine, mode de refroidissement d'huile, condensation d'eau pendant l'immobilisation qui arrive à se mélanger à l'huile.

Après une recherche que nous avons effectuée sur les types d'huiles suivant leurs caractéristiques. Nous avons trouvé que le PG680 est le plus convenable car il peut résister à une très grande température et pendant la duré d'une année.

4) comparaison entre les deux systèmes :

4-1 Estimation du cout de lubrification de circuit forcée :

La durée de fonctionnement : $8760h - 3\text{semaines} = 8256H / \text{an.}$

Consommation de chaque pompe : $8256 * 1,9 = 15686,4 \text{kw/h.}$

Coût de consommation d'une pompe: $15686,4 * 0,65 = 10196,16 \text{dh.}$

Coût de consommation de 6 pompes : $6 * 10196,16 = 61176,96 \text{dh.}$

Coût des composants : $6 * \text{cout d'un pompe} + \text{cout de réfrigérant} = 6 * 3000 + 3500 = 21500 \text{dh}$



Coût des composants par année : prix de pompe*nbr de changement=21500*2=43000dh

Coût d'huile par année : prix d'huile*nombre de vidange
18dh /l*500 l=9000dh *2=18000dh/an.

Coût totale par année : 61176,96+43000+18000=122176,96DH

❖ Coût de la réalisation de la solution retenue

Coût d'huile par année : prix d'huile*nombre de vidange
146dh/l*500 l*1=73000dh/an.

❖ Estimation du gain après le changement du système de lubrification

A partir du changement du système de lubrification, la société commencera à prendre bénéfice, elle gagnera :

122176,96-73000=49176,96 dh

- Augmentation de la MTBF d'huile.
- Diminution des temps d'arrêt.
- Diminution de la consommation d'énergie.
- Elimination de circuit de pompage.

CONCLUSION

Ce stage que nous avons effectué à Lafarge ciment usine de Meknès est le temps pendant lequel nous sommes astreints à un travail de conception et analyse mécanique. Pour découvrir le domaine industriel ainsi que de vivre une vie professionnelle et de connaître de près des différentes étapes du procédé de fabrication de ciment et les contraintes journalières de la société.

Le sujet de notre stage nous a donné l'occasion d'acquérir certaines techniques de fabrication, de construction mécanique et de bien maîtriser des logiciels de conception en particulier catia et SolidWorks afin d'adapter notre capacité à la pratique en présentant à la société une solution fructueuse suivant une gamme opératoire d'une



nouvelle garniture mécanique du galet qui pourrait être efficace pour la protection des engins du broyeur et surtout les roulements qui coûte trop chère et d'exploiter cette solution pour modifier son système de lubrification et le remplacer par un autre système moins cher et plus efficace.

Finalemment, les objectifs de ce stage sont atteints, on espère que ce simple aperçu sera à la hauteur pour ceux que s'y intéressent.

ANNEXE



Ajustements usuels – alésage H												
type	arbre	alésage						observations				
		H6	H7	H8	H9	H10	H11					
pièces mobiles	jeu élevé	c11							cas usuels de longues portées, mauvais alignements, dilatations...			
		c10										
		c9										
		d10										
	jeu moyen	d9							cas usuels pour guidage tournant ou glissant avec jeu (bon graissage assuré)			
		d8										
		e9										
		e8										
		e7										
		f8										
		f7										
	jeu faible	g6							pour guidage précis			
g5												
pièces immobiles	ajusté	h9						assemblage possible à la main	pour centrage et positionnement ne peut pas transmettre des efforts	pas de détérioration des pièces au démontage		
		h7										
		h6										
		h5										
	très ajusté	js7						assemblage au maillet				
		js6										
		js5										
	peu serré	k6						assemblage à la presse				
		k5										
		m7										
		m6										
	interférence	serré	p6					assemblage à la presse			pour transmission d'efforts	détérioration des pièces au démontage
			r6									
		fort serré	s7					assemblage à la presse lourde ou par dilatation (frettage)				
s6												
t6												
u6												
x7												

■ cas les plus utilisés



Extraits de tolérances ISO pour arbres (en microns : 1 μm = 0,001 mm)

dimensions nominales (en mm) NF EN 20286-2, ISO 286-2

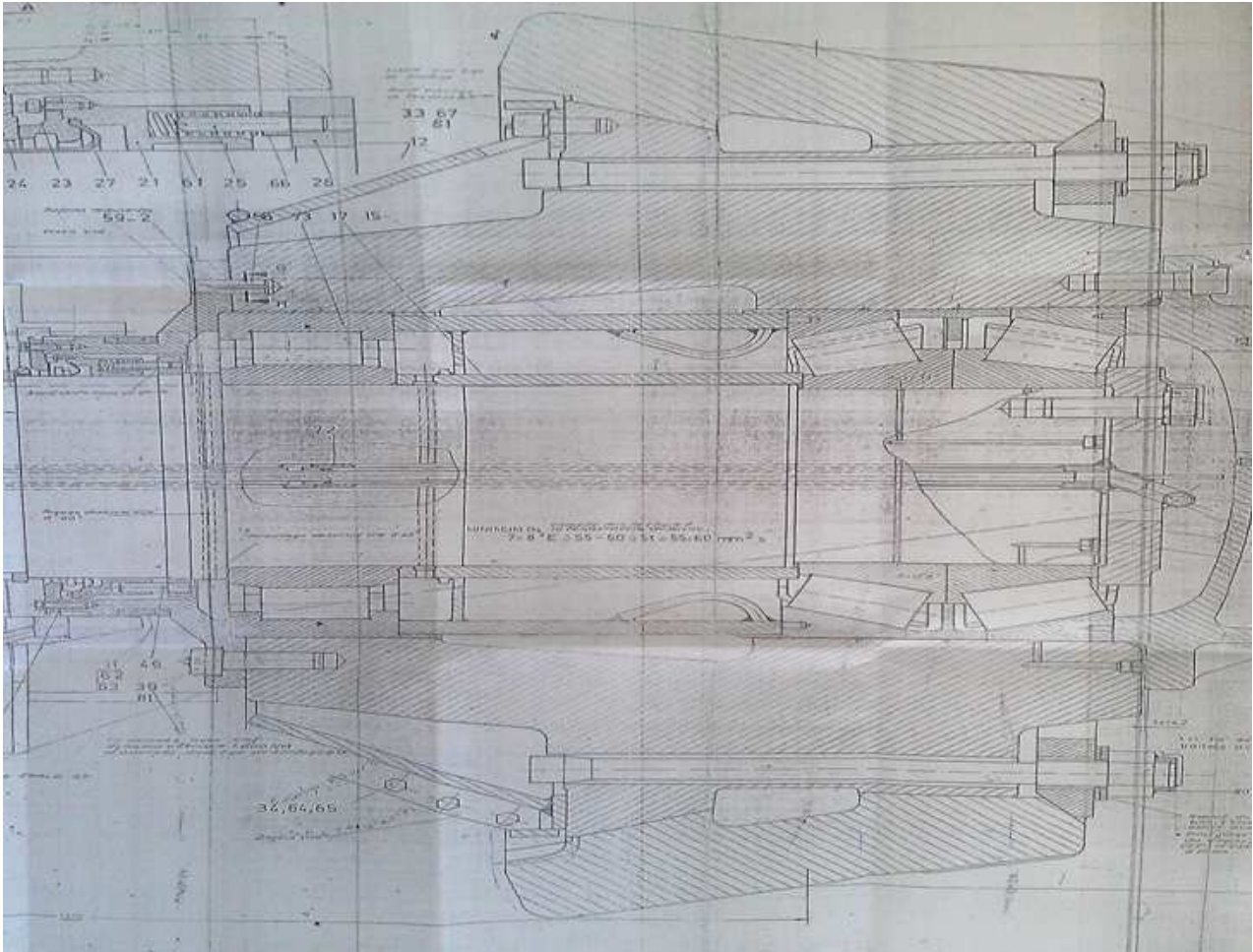
au-delà de à (inclus)	1 3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	
d9	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-230	
	ei	-45	-60	-76	-93	-117	-142	-174	-207	-245	-285	-320	-385	
d10	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-230	
	ei	-60	-78	-98	-120	-149	-180	-220	-260	-305	-355	-400	-480	
d11	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-230	
	ei	-80	-105	-130	-160	-195	-240	-290	-340	-395	-460	-510	-630	
e7	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-135	
	ei	-24	-32	-40	-50	-61	-75	-90	-107	-125	-146	-162	-198	
e8	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-135	
	ei	-28	-38	-47	-59	-73	-89	-106	-126	-148	-172	-191	-232	
e9	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-135	
	ei	-39	-50	-61	-75	-92	-112	-134	-159	-185	-215	-240	-290	
f6	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-68	
	ei	-12	-18	-22	-27	-33	-41	-49	-58	-68	-79	-88	-108	
f7	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-68	
	ei	-16	-22	-28	-34	-41	-50	-60	-71	-83	-96	-108	-131	
f8	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-68	
	ei	-20	-28	-35	-43	-53	-64	-76	-90	-106	-122	-137	-165	
g5	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-20	
	ei	-6	-9	-11	-14	-16	-20	-23	-27	-32	-35	-40	-47	
g6	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-20	
	ei	-8	-12	-14	-17	-20	-25	-29	-34	-39	-44	-49	-60	
h5	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-18	-20	-23	-27	
h6	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-6	-8	-9	-11	-13	-16	-19	-22	-25	-29	-32	-40	
h7	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-63	
h8	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-14	-18	-22	-27	-33	-39	-46	-54	-63	-72	-81	-97	
h9	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-25	-30	-36	-43	-52	-62	-74	-87	-100	-115	-130	-155	
h10	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-40	-48	-58	-70	-84	-100	-120	-160	-185	-210	-230	-250	
h11	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-60	-75	-90	-110	-130	-160	-190	-220	-250	-290	-320	-400	
h13	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ei	-140	-180	-220	-270	-330	-390	-460	-540	-630	-720	-810	-970	
j6	es	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+12	+13	+14	+16	+16	+20	
	ei	-2	-2	-2	-3	-4	-5	-7	-9	-11	-13	-16	-20	
j7	es	+6	+8	+10	+12	+13	+15	+18	+20	+22	+25	+26	+31	
	ei	-4	-4	-5	-6	-8	-10	-12	-15	-18	-21	-26	-32	
js5		± 2	$\pm 2,5$	± 3	± 4	$\pm 4,5$	$\pm 5,5$	$\pm 6,5$	$\pm 7,5$	± 9	± 10	$11,5$	$\pm 12,5$ $\pm 13,5$	
js6		± 3	± 4	$\pm 4,5$	$\pm 5,5$	$\pm 6,5$	± 8	$\pm 9,5$	± 11	$12,5$	$\pm 14,5$	± 16	± 18 ± 20	
js7		± 5	± 6	$\pm 7,5$	± 9	$\pm 10,5$	$\pm 12,5$	± 15	$\pm 17,5$	± 20	± 23	± 26	$\pm 28,5$ $\pm 31,5$	
js9		$\pm 12,5$	± 15	± 18	$\pm 21,5$	± 26	± 31	± 37	$\pm 43,5$	± 50	$\pm 57,5$	± 65	± 70 $\pm 77,5$	
js11		± 30	$\pm 37,5$	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180 ± 200	
js13		± 70	± 90	± 110	± 135	± 165	± 195	± 230	± 270	± 315	± 360	± 405	± 445 ± 485	
k5	es	+4	+6	+7	+9	+11	+13	+15	+18	+21	+24	+27	+29	+32
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4	+5
k6	es	+6	+9	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+28	+33	+36	+40	+45
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4	+5
m6	es	+8	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63
	ei	+2	+4	+6	+7	+9	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21	+23
m7	es	+12	+16	+21	+25	+29	+34	+41	+48	+55	+63	+72	+78	+86
	ei	+2	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21	+23
n5	es	+8	+12	+16	+20	+24	+28	+33	+38	+45	+51	+57	+62	+67
	ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27	+31	+34	+37	+40
n6	es	+10	+16	+19	+23	+28	+33	+39	+45	+52	+60	+66	+73	+80



Extraits de tolérances ISO pour alésage (en microns : 1 μm = 0,001 mm)

dimensions nominales (en mm)

au-delà de à (inclus)	dimensions nominales (en mm)													
	1 3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400		
D10	ES	+60	+78	+98	+120	+149	+180	+220	+260	+305	+355	+400	+440	+480
	EI	+20	+30	+40	+50	+65	+80	+100	+120	+145	+170	+190	+210	+230
E9	ES	+39	+50	+61	+75	+92	+112	+134	+159	+185	+215	+240	+265	+290
	EI	+14	+20	+25	+32	+40	+50	+60	+72	+85	+100	+110	+125	+135
F8	ES	+20	+28	+35	+43	+53	+64	+76	+90	+106	+122	+137	+151	+165
	EI	+6	+10	+13	+16	+20	+25	+30	+36	+43	+50	+56	+62	+68
G7	ES	+12	+16	+20	+24	+28	+34	+40	+47	+54	+61	+69	+75	+83
	EI	+2	+4	+5	+6	+7	+9	+10	+12	+14	+15	+17	+18	+20
H6	ES	+6	+8	+9	+11	+13	+16	+19	+22	+25	+29	+32	+36	+40
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H7	ES	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H8	ES	+14	+18	+22	+27	+33	+39	+46	+54	+63	+72	+81	+89	+97
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H9	ES	+25	+30	+36	+43	+52	+62	+74	+87	+100	+115	+130	+140	+155
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H10	ES	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	+185	+210	+230	+250
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H11	ES	+60	+75	+90	+110	+130	+160	+190	+220	+250	+290	+320	+360	+400
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H12	ES	100	+120	+150	+180	+210	+250	+300	+350	+400	+460	+520	+570	+630
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H13	ES	140	+180	+220	+270	+330	+390	+460	+540	+630	+720	+810	+890	+970
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J7	ES	+4	+6	+8	+10	+12	+14	+18	+22	+26	+30	+36	+39	+43
	EI	-6	-6	-7	-8	-9	-11	-12	-13	-14	-16	-16	-18	-20
JS13	$\pm E$	± 70	± 90	± 110	± 135	± 165	± 195	± 230	± 270	± 315	± 360	± 405	± 445	± 485
K6	ES	+0	+2	+2	+2	+2	+3	+4	+4	+4	+5	+5	+7	+8
	EI	-6	-6	-7	-9	-11	-13	-15	-18	-21	-24	-27	-29	-32
K7	ES	0	+3	+5	+6	+6	+7	+9	+10	+12	+13	+16	+17	+18
	EI	-10	-9	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-28	-33	-36	-40	-45
M7	ES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EI	-12	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-57	-63
N7	ES	-4	-4	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12	-14	-14	-16	-17
	EI	-14	-16	-19	-23	-28	-33	-39	-45	-52	-60	-66	-73	-80
P7	ES	-6	-8	-9	-11	-14	-17	-21	-24	-28	-33	-36	-41	-45
	EI	-16	-20	-24	-29	-35	-42	-51	-59	-68	-79	-88	-98	-108



Dessin d'ensemble du galet du broyeur cru

www.skf.com
[guide du destinateur industriel](#)
[guide chevalier](#)