

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB BLIDA 1

DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE PV 19

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES :

*Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat Spécialité : fabrication
mécanique et productique*

MASTER 2

THEME :

LE BROYEUR

Présentés par :

MELLOUK Mohamed Amine

AOUALI Mohamed Amine

promoteur :

M. ABADA Mourad

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

En second lieu, nous tenons à remercier le chef département Mr Temmar Mustapha, notre promoteur Mr Abada Mourad, son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail .à nos familles et à nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles
Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Ma très chère mère pour tout son amour et son dévouement, à mon père qui a toujours été là pour moi et qui m'a donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.

Mes chers frères et soeur pour leur encouragement indéfectible.

Mon cher binôme « Aouali Mohamed Amine » et à toute sa famille.

Et à tous mes amis d'USDB.

J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

Mellouk Mohamed Amine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs Années d'étude à :

Mes chers et respectueux parents en récompense de leurs sacrifices et leur clairvoyance qui m'a servi et me servirait tout au long de ma vie.

Mon cher binôme « Mellouk Mohamed Amine » et à toute sa famille.

Tous mes amis de USDB avec lesquels j'ai passé des années inoubliables, et en particulier.

Tous les enseignants qui ont participé à ma formation , sans les nommer, car la liste est longue et le risque est grand d'en oublier un

A toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment.

Aouali Mohamed Amine

ملخص

نكرس هذه المذكرة لتقديم شرح مفصل عن اجزاء وخصائص طاحونة الاسمنت والمصنع الذي اجرينا فيه هذه الدراسات وايضا نتكلم عن المشاكل التي تقع فيها طاحونة الاسمنت وكيفية متابعة هذه المشاكل وتقديم حلول.

Résume

Nous allons consacrer cette mémoire à une explication détaillée des pièces et des caractéristiques du broyeur à ciment et de l'usine où nous avons effectué ces études, ainsi qu'à un exposé des problèmes du broyeur à ciment et de la manière de les suivre et de proposer des solutions.

Summary:

We will devote this memory to a detailed explanation of the parts and characteristics of the cement mill and the factory where we carried out these studies, as well as a discussion of the problems of the cement mill and how to follow them to propose solutions.

Sommaire :

Chapitre 01 : presentation general

1.	Introduction.....	1
2.	presentation générale	1
2.1.	Présentation :	1
2.2.	Localisation:.....	3
1.	Assiette de l'Usine :	4
2.3.	Historique :	4
2.4.	Organisation du Travail:	5
2.5.	Infrastructures :	5
3.	Etude descriptive de la chaine de fabrication :	6
3.1	Définition:	6
3.2	Les composants du ciment :	6
3.3	Le processus de fabrication du ciment :	7
3.3.1	Zone I : Carrière calcaire :	9
3.3.2	Zone II : Cru :	11
3.3.3	Zone III : Cuisson :	13
3.3.4	Zone IV : Ciment :	14
3.3.5	Zone V : Expédition :	15
4	Conclusion :	17

Chapitre 02 : le broyeur

1.	Introduction générale :	18
1.1.	Fonctionnement normal.....	19
2.	Les différents types de broyeur :	19
2.1	Les broyeurs verticaux :	19
2.1.1	Le broyeur vertical à piste :	19
2.1.2	Le broyeur vertical à bille	21
2.2	Les broyeurs à boulets.....	23
	Le broyeur bi rotateur (ou broyeur à décharge centrale) :	23
	Le broyeur à attaque latérale :	23
3.	Présentation de sujet :	25
4.	Les caractéristiques principales.....	25
4.1.	Description de l'unité d'intervention :	25
4.2.	Dossier technique du broyeur à boulets :	26
4.3.	Caractéristique du moteur principale :	26

4.4.	Caractéristique du réducteur :	26
5.	Le principe de fonctionnement :	29
6.	Les conditions optimales de broyage sont :	30
6.1.	le taux de chargement.....	30
6.2.	l'échelonnement des corps broyant.....	30
6.3.	le diamètre des boulets.....	30
6.4.	La vitesse de rotation	30
6.5.	On distingue deux types de broyage :	30
	Le broyage en circuit fermé et le broyage en circuit ouvert :	30
6.5.1.	Le broyage en circuit fermé :	30
6.5.2.	Le broyage en circuit ouvert :	31
7.	Le passage de la matière dans ce broyeur:	32
8.	Les principaux composants du broyeur à boulets :	32
8.1	La Virole :	32
8.2	Fond d'entrée :	34
8.3	Les blindages :	34
8.3.1	Le blindage releveur :	35
8.3.2	Le blindage classant.....	36
8.4	La cloison :	37
8.4.1	La cloison intermédiaire :	37
8.4.2	La cloison des décharges :	37
8.5	TOURILLON :	43
8.5.1	Caractéristiques mécanique d'un tourillon est :	43
8.6	Palier :	45
8.7	Corps de broyage.....	45
8.7.1	Le premier compartiment :	45
8.7.2	Le deuxième compartiment :	46
8.7.3	Les avantages de ce type d'acier	47
8.7.5	degre de remplissage :	48
1.	Mode d'action de boulet dans un broyeur.....	48
8.7.6	Fonctionnement de la charge dans le broyeur :	48
9.	DEBIT DU BROEUR :	49
9.1	Calcul du débit :	49
10.	vitesse critique et mode d'action des boulets dans un broyeur :	50
10.1	vitesse critique :	50
10.2	LA VITESSE CRITIQUE MAXIMUM :	Erreur ! Signet non défini.

10.3	Calcul de vitesse critique maximum et la vitesse de rotation du broyeur :	54
10.4	MODE D’ACTION DES BOULETS DANS UN BROEUR :	54

Chapitre 03 : les problemes et l’inspection du broyeur

1.	Les Principaux problèmes du broyeur :	56
1.1.	Principaux problèmes des massifs:.....	56
1.2.	Principaux problèmes des paliers:	56
1.2.1.	Boulons d’ancrage desserrés ou cassés:	56
1.2.2.	Échauffement causé par :	56
1.3.	Principaux problèmes sur le tourillon:.....	56
1.4.	Principaux problèmes sur le fond d’entrée:	57
1.5.	Principaux problèmes sur la cloison.....	57
1.5.1.	Male fixation des plaques.....	57
1.5.2.	Usure sur les plaques.....	57
		57
1.6.	Principaux problèmes sur L’accouplement de vireur du broyeur.....	58
1.7.	Principaux problèmes sur le réducteur du broy	58
	☐ Boîte noire : visibilité réduite	58
	☐ Aucune analyse de vibration correcte possible.....	58
	☐ Usure sur les dents du satellite aussi sur les dents de couronne	58
	☐ Cisaillement les vis de fixation.....	58
1.8.	Principaux problèmes sur la virole	58
1.8.1.	Fissures:.....	58
1.8.2.	Déformations:.....	58
1.8.3.	Usure:	58
2.	L’inspection :	60
2.1.	Inspection mécanique premier niveau en marche, hebdo :.....	60
2.1.1	Sécurité et environnement :.....	60
2.1.2	Accouple moteur/réducteur principal :	60
2.1.3	Système de lubrification palier entrée et sortie :	60
2.1.4	Fond d'entrée/sortie et virole	60
2.2.	Inspection mécanique premier niveau à l'arrêt, mensuel :.....	60
2.2.1.	Accouplement élastique :	60
2.2.2.	Equipements intérieurs broyeur :	61
2.2.3.	Accouple moteur/réducteur principal.....	61
2.3.	Inspection mécanique 1er niveau en marche mensuelle :.....	61

2.3.1	Massifs :	61
2.3.2	Groupe lubrification réducteur :	61
2.3.3	Réducteur principal :	61
2.3.4	Paliers entrée et sortie :	61
2.4.	Inspection mécanique spécifique à l'arrêt tous les 3 mois :	61
2.4.1	Equipements intérieurs broyeurs :	61
Conclusion		66

Liste des figures :

Figure 1 : la vue du SCMI.....	2
Figure 2 : Localisation.....	3
Figure 3 : Réalisations de Ciment.....	4
Figure I4 : Les composants du ciment.....	6
Figure 5 : Schéma du processus de fabrication du ciment.....	7
Figure 6 : Schéma synoptique du processus de fabrication du ciment.....	8
Figure 7 : Carrière calcaire.....	9
Figure 8 : Extraction de la matière première.....	10
Figure 9 : Déchargement du calcaire dans le concasseur.....	10
Figure 10 : Concassage et transport.....	11
Figure 11 : Cuisson.....	13
Figure 12 : Four rotatif.....	14
Figure 13 : Broyage ciment.....	15
Figure 14 : Expédition en sac ou vrac.....	16
Figure 15 : Expédition en vrac.....	16
Figure 16 : Expédition en sac.....	16
Figure 17 : Vue de dessus assiette et galet de broyeur.....	20
Figure 18 : Le broyeur vertical à bille.....	22
Figure 19 : broyeur à décharge centrale.....	23
Figure 20 : Les composants du broyeur à attaque latérale.....	24
Figure 21 : broyeur a boulet.....	25
Figure 22 : Le réducteur de vitesse.....	27
Figure 23 : La nomenclature du broyeur à attaque centrale.....	28
Figure 24 : Tableau de nomenclature de broyeur.....	29

Figure 25 : Schéma du circuit fermé.....	30
Figure 26 :Schéma du circuit ouvert.....	31
Figure 27 : La virole.....	33
Figure 28 : Dessin technique d'un boulon de fixation (porte visite).....	33
Figure 29 : Fond d'entrée.....	34
Figure 30 : Dessin technique du boulon de fixation.....	34
Figure 31 : Blindage compartimen.....	35
Figure 32 : Blindage Compartiment 2.....	36
Figure 33 : Cloison intermédiaire.....	37
Figure 34 : Cloison des décharges.....	37
Figure 35. : Vu de face d'une cloison.....	38
Figure 36 : Vu de gauche d'une cloison.....	39
Figure 37 : tableau de nomenclature d'une cloison.....	41
Figure 38 : squelette de cloison.....	41
Figure 39 : plaque de cloison.....	42
Figure 40 : Dessin technique d'une vis de fixation grille avec cloison.....	42
Figure 41 : Dessin technique de grille centrale.....	43
Figure 42 : vu de face d'un tourillon.....	44
Figure 43 : vu de gauche d'un tourillon.....	44
Figure 44 : palier de sortie et d'entrée.....	45
Figure 45 : tableau 1.....	46
Figure 46 : massiques% vs diamètres.....	46
Figure 47 : tableau 2.....	46
Figure 48 : massiques% vs diamètres.....	47
Figure 49 : graphe de vitesse critique vs diamètre.....	53
Figure 50 : fissure de tourillon.....	57
Figure 51 : blindage.....	57
Figure 52 : font d'entrée.....	57
Figure 53 :plaque.....	57
Figure 54 : L'accouplement de vireur du broyeur.....	58
Figure 55 : satellite.....	58

Figure 56 : fissure apparue sur la virole d'une longueur de (375mm et 90mm).....	59
Figure 57 : les points de mesure épaisseur du fond d'entrée.....	62
Figure 58 : Tableau de références.....	62
Figure 59 : mesure de l'épaisseur des plaques de cloison cote C1.....	63
Figure 60 : Tableau de références.....	63
Figure 61 : mesure de l'épaisseur des plaques de cloison cote C2.....	63
Figure 62 : Tableau de références.....	64
Figure 63 : Mesure l'épaisseur du blindage.....	64
Figure 64: Tableau de références.....	65

1. Introduction :

Dans la fabrication du ciment il existe deux voies de production, la voie humide et la voie sèche. Dans la cimenterie de MEFTAH seule la voie sèche est utilisée. Le but de ce chapitre est de mieux comprendre le fonctionnement d'une cimenterie.

2. présentation générale :

2.1. Présentation :

La SCMI est une entreprise algérienne filiale du groupe GICA, spécialisée dans la fabrication de ciment. Le réseau national de la SCMI lui permet de fournir ses produits sur tout le territoire. Son procédé de fabrication spécifique procure à son ciment une excellente qualité respectant les normes internationales de fiabilité et de respect de l'environnement. La culture de SCMI repose sur les valeurs fondamentales de respect, de confiance, de responsabilité et d'autonomie.

L'usine possède une seule ligne de production, le procédé de fabrication est la voie sèche.



Figure 1 : la vue du SCMI.

- **Raison Sociale** : Société des Ciments de la Mitidja par Abréviation S.C.M.I.
- **Activités** : production et commercialisation des ciments ordinaires, spéciaux et tous autres matériaux de construction.
- **Forme Juridique** : Société Par Actions (S.P.A.)
- **Capital Social** : 1 400 000 000DA, détenu à 65% par le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (G.I.C.A.) et à 35% par le Groupe LAFARGE Financière.
- **Effectif au 30 juin 2016** : 400 employés.

2.2. Localization:

La Cimenterie de MEFTAH est localisée à proximité de la route nationale n°29, Reliant la commune de MEFTAH à celle de KHEMIS-EL-KHECHNA.

Elle est implantée dans la commune de MEFTAH, DAIRA de MEFTAH, Wilaya de Blida.

Elle est située à 27km
au sud est d'Alger.

Elle est à une dizaine de kilomètres de la gare de Oued SMAR et à une quinzaine de kilomètres de l'aéroport international d'Alger.



Figure 2 : Localisation.

1. Assiette de l'Usine : [1]

- ❖ La superficie de l'usine est de 356 811 m², dont :
 - ✓ Bâté : 72 708 m²
 - ✓ Bâtiments techniques: 42 457 m²
 - ✓ Autres bâtiments : 22 810 m²

2.3. Historique :

La cimenterie est implantée dans la commune de MEFTAH, daïra de MEFTAH, Wilaya de Blida. L'usine est située à 60 m au-dessous du niveau de la mer, la carrière à 150 m. Le projet s'est inscrit dans le cadre du plan quadriennal 1970-1973, il a été individualisé par décision n° 71-20 DI du 10 mars 1971, la formule de réalisation retenue est celle du lot par lot, par l'ingénieur conseil canadien SURVEYER NENNINGER et CHENEVERT (S.N.C).

Date de mise en service:

- ✓ 31 janvier 1975 : démarrage de l'atelier cru.
- ✓ 06 mai 1975: allumage du four.
- ✓ 01 septembre 1975 : production de ciment.
- ✓ Commercialisation du ciment : 06 novembre 1975.

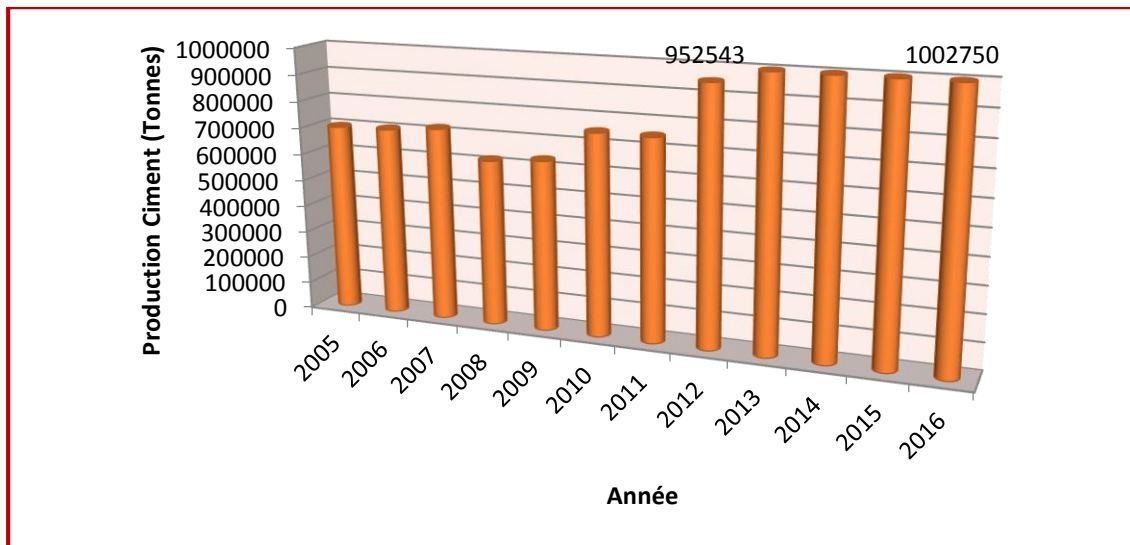


Figure 3 : Réalisations de Ciment.

2.4. Organisation du Travail:

*** Matières Premières :**

Cette structure fonctionne en deux postes par jour, du samedi au mercredi (de 6h:00 à 13h:00 et de 13h:00 à 21h:00) et un poste le jeudi (de 6h:00 à 13h:30)

*** Ligne de Fabrication :**

Les ateliers broyage cru et le broyage ciment fonctionnent 18 heures par jour, l'atelier cuisson fonctionne 24h/24h.

Ces ateliers sont organisés en deux postes de 12 heures, 7/7 jours.

*** Expédition :**

Cette structure fonctionne en heures normales, de 08h:00 à 16h:00

2.5. Infrastructures :

Eau :

D'un débit de 16 à 20 L/S

L'alimentation assurée par quatre forages d'un débit de 16 à 20 L/S chacun.

- Deux à l'intérieur de l'usine.
- Deux à HNAÏCHIA (à environ 3Km).

La consommation journalière pour le processus est d'environ 25m³/H soit 600m³/Jour.

Energie :

- Electricity :

L'alimentation en énergie électrique est assurée par deux lignes de 60KV et de puissance de 25 000KVA, l'une venant de l'ARBAA et l'autre d'Alger est.

La tension de sortie est de 5.5 KV.

En cas de coupure d'électricité, l'usine possède un groupe électrogène de 1500KVA, utilisé uniquement pour le vireur du four et l'éclairage du bâtiment de commande et pour ventilation de soufflage du refroidisseur.

- Gaz :

- ✓ Alimentée par station SONELGAZ.
- ✓ Pression d'arrivée gaz de 5 bars.

3. Etude descriptive de la chaîne de fabrication :

3.1 Définition:

Ciment est un liant hydraulique obtenu par cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile, puis broyage. La plupart des ciments sont à base de clinker et d'ajouts. Le ciment s'emploie le plus souvent sous forme de poudre : mélangé avec de l'eau, il fait prise et permet d'agglomérer entre eux des sables et des granulats (sable ou graviers), pour constituer de véritables roches artificielles, les bétons ou les mortiers.

3.2 Les composants du ciment :

Le ciment est fabriqué généralement à partir d'un mélange de :

- Calcaire (CaCO_3).
- Argile ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$).
- Sable.
- Minerai de fer.



Figure I4 : Les composants du ciment.

Le processus de fabrication du ciment consiste à « cuire » à haute température (1450 °C), un mélange de calcaire et d'argile, convenablement dosé et broyé sous la forme d'une « farine crue » pour le transformer en « clinker ». Le clinker est un produit granuleux qui après broyage fin avec des ajouts convenablement choisis (du gypse, tuf), devient le ciment bien connu de tous, pour les maçonneries, les travaux du bâtiment et les ouvrages d'art...

La majorité des cimenteries modernes utilisent le procédé dit « en voie sèche », qui est le plus économique en consommation d'énergie (environ 0,9 KWh, par kg de clinker). C'est le procédé que nous retiendrons pour la suite du travail.

3.3 Le processus de fabrication du ciment :

La figure (I.5) représente un schéma qui résume les différentes étapes du processus de fabrication du ciment.

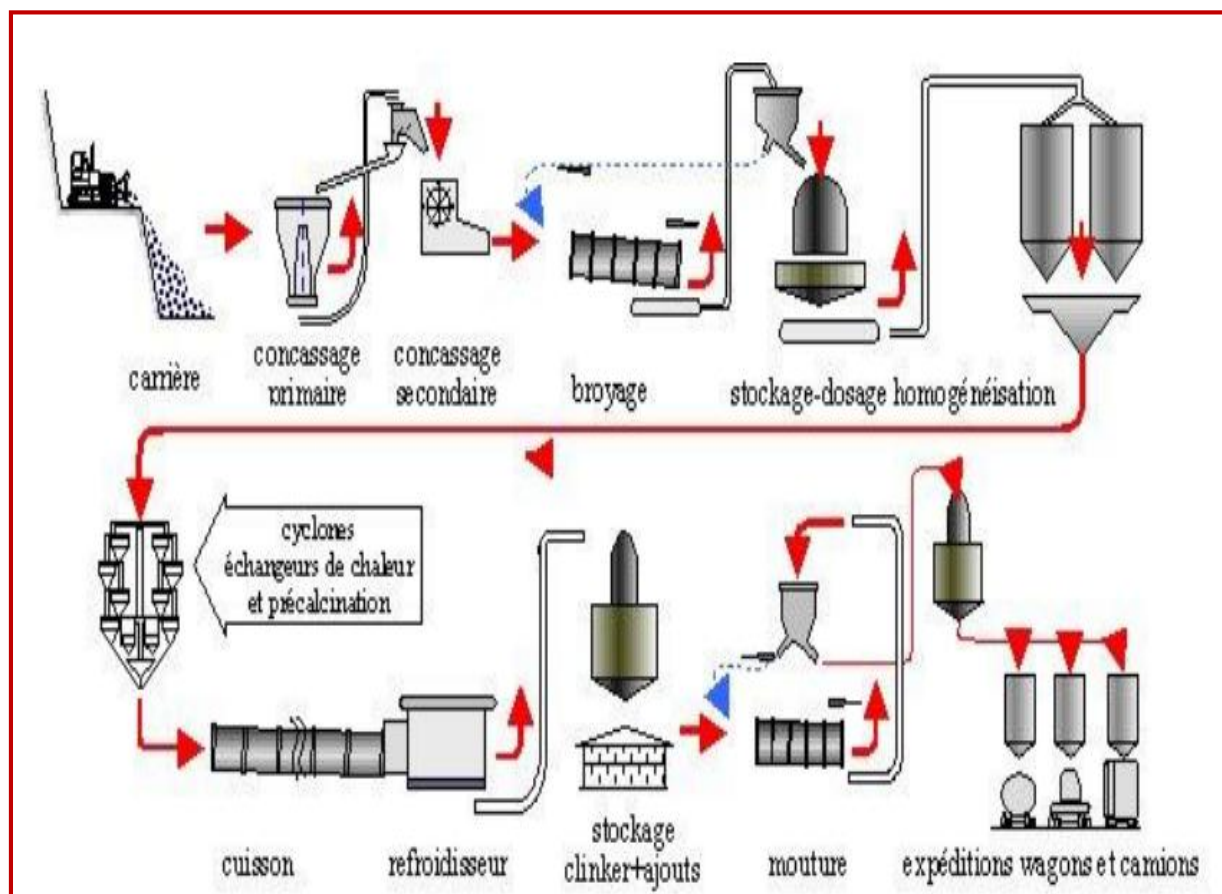


Figure 5 : Schéma du processus de fabrication du ciment.

Pour simplifier ce schéma, on peut voir sur la figure (I.6) le schéma synoptique du processus de fabrication du ciment au sein de la cimenterie de MEFTAH.

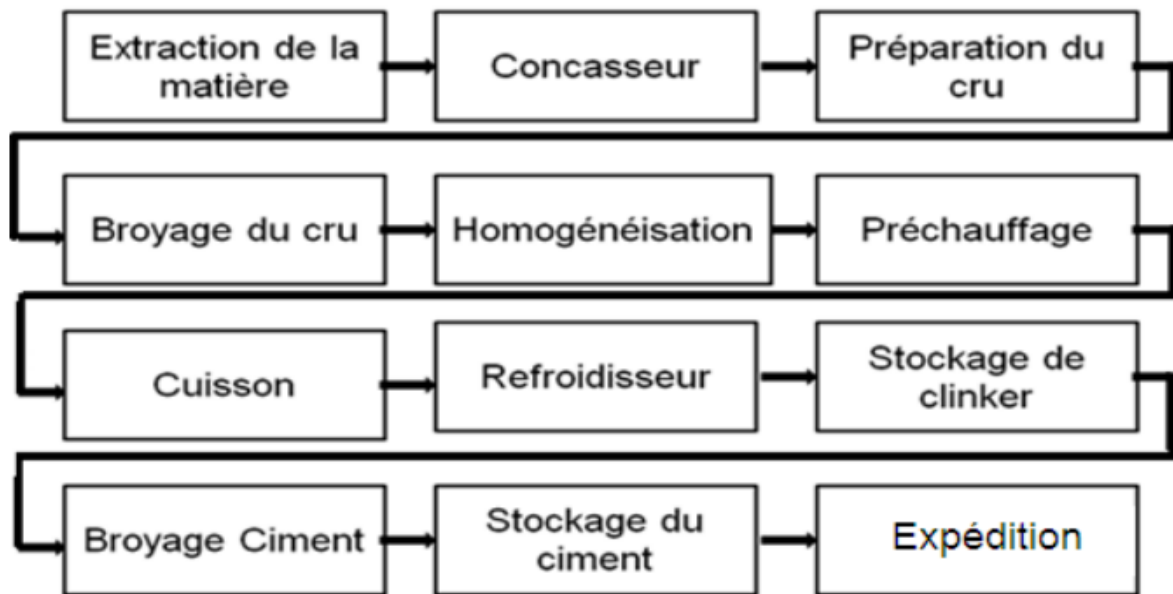


Figure 6 : Schéma synoptique du processus de fabrication du ciment.

Ce processus de fabrication du ciment est divisé en cinq zones :

- Zone I : Carrière calcaire.
- Zone II : Cru.
- Zone III : Cuisson.
- Zone IV : Ciment.
- Zone V : Expédition.

3.3.1 Zone I : Carrière calcaire :



Figure 7 : Carrière calcaire.

Dans la Zone I nous avons :

- **L'extraction de la matière :** Les matières premières sont extraites de la carrière

Généralement à ciel ouvert :

- Le calcaire est extrait par abattage en grande quantité au moyen d'explosifs
- L'argile est extraite à l'aide des pelles mécanique, elle est mélangée d'argile brune et d'argile rouge.

- **Le chargement :** est réalisé en utilisant des engins, comme l'illustre la figure (I.8).

Il existe deux types d'engins:

Le rôle du premier bulldozer (mini-chargeuse) est de rassembler le calcaire.

Le rôle du deuxième (chargeuse) est de charger le calcaire dans les camions (dumper).

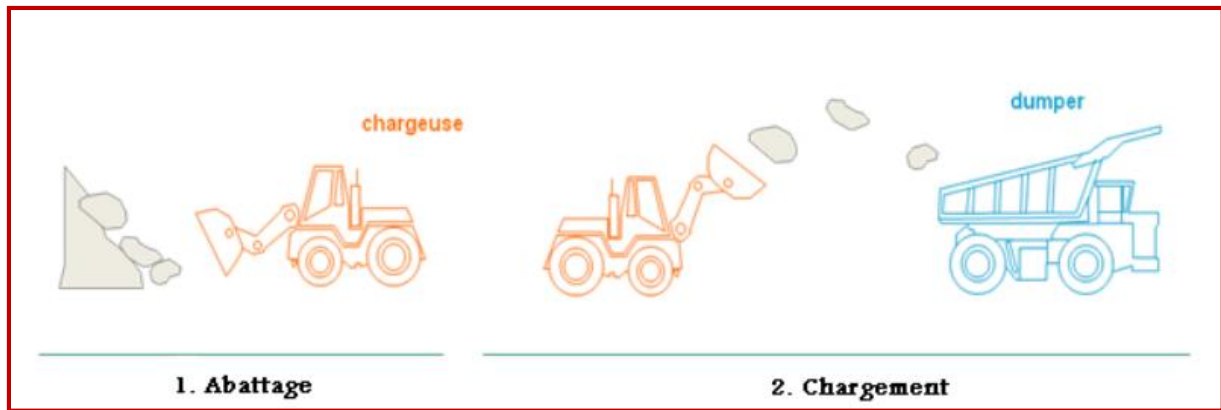


Figure 8 : Extraction de la matière première.

- **Le transport :** Les camions transportent le calcaire vers les concasseurs. Pour le décharger dans la chambre de concassage figure (I.9).



Figure 9 : Déchargement du calcaire dans le concasseur.

- **Le concassage :** Le concassage est une opération destinée à la réduction des blocs de calcaires qui sont obtenus pendant l'extraction figure (I.8). Le calcaire est acheminé vers le concasseur avec ATM (Alimentation Tablier Métallique).

On trouve deux concasseurs FCB 450T/H et KHD 1000 T/H. Le concassage est réalisé par un concasseur à battoirs qui est placé près de la carrière. Ce concasseur est constitué de deux rotors, primaire et secondaire.

Il comporte aussi une chaudière pour chauffer les écrans de chocs et les parois du concasseur afin d'éviter le colmatage. Les tapis T0, T1, T2, T2 bis, transportent le calcaire vers le hall de stockage calcaire dont la capacité est de 60 000 T.

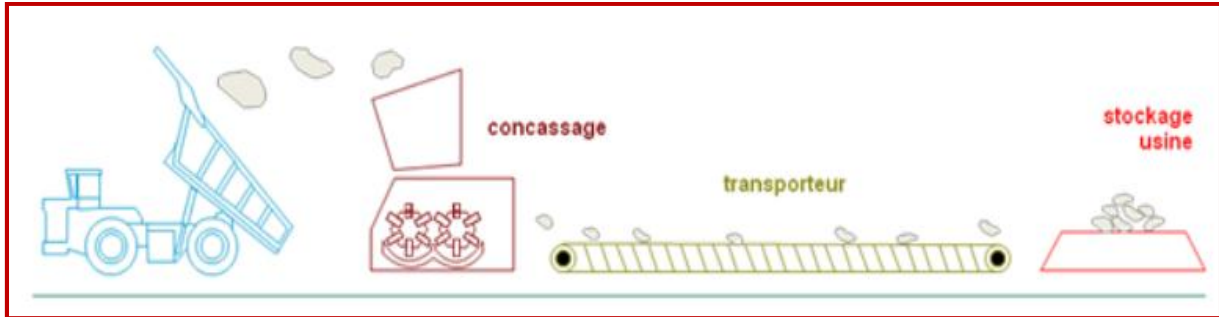


Figure 10 : Concassage et transport.

3.3.2 Zone II : Cru :

L'extraction des matières premières vierges (comme le calcaire et l'argile) se fait à partir de la carrière à ciel ouvert. Le cru va suivre différentes étapes de transformation lors de sa progression. Ces étapes sont :

- **Préparation de la matière :** On utilise deux constituants en général pour la préparation du cru qui sont le calcaire, et l'argile. Après le concassage de ces deux constituants de base on obtient une granulométrie de 0 à 25 mm. Une prise d'échantillon sera réalisée pour effectuer les analyses afin de déterminer la composition. Les constituants sont acheminés vers l'usine par des transporteurs couverts puis, ce mélange est stocké dans un hall de pré homogénéisation. Le stockeur forme deux tas l'un en constitution, l'autre en reprise. Une seconde correction est prévue juste avant le broyage cru. Cette correction se fait pour ajouter du calcaire, du minerai de fer et du sable. Après correction du cru, le mélange est acheminé à l'aide de transporteurs vers un concasseur sécheur qui réduira la granulométrie de 0 à 7 mm.

- **Hall calcaire :** Le grateur portique (à palette) sert à gratter le calcaire et se déplace en translation de tas en tas et jettent la matière sur le tapis 2MK 03 01 pour le transporter à la trémie calcaire.
- **Hall ajout :** Nous avons deux grateurs semi-portique (à palette) qui servent à gratter les ajouts (argile, sable, fer).

Il déverse les produits sur les bandes transporteuses jusqu'aux trémies. Il existe quatre (04) trémies (calcaire, fer, argile, sable). Le dosage des différents constituants du ciment sont comme suit :

- Calcaire 80%
- Argile 17%
- Sable 2%
- Fer 1%

Les ajouts sont acheminés par le transporteur T13 au broyeur à marteau.

- ✓ **Le broyeur à marteau :** Il sert à concasser la matière.
- ✓ **L'aspiration :** Aspiration de la matière et les gaz chauds par le ventilateur de tirage d'une puissance de 1600 KW.
- ✓ **Séparateur statique :** Le séparateur statique sépare la granulométrie (grosse particules et fines particules).
 - Les grosses particules passent vers les broyeurs à boulets.
 - Les fines particules partent vers le stockage (silos d'homogénéisation).
- ✓ **Le broyeur à boulets :** Tous les rejets du séparateur vont passer pour être broyés dans les deux compartiments du broyeur.
- ✓ **Elévateur à godets :** Il transporte le produit vers le séparateur dynamique. Le produit tombe sur un plateau qui tourne à vitesse continue. Les grosses particules tombent sur l'aéroglesseur (rejet) et retournent au broyeur pour être broyé de nouveau. Les petites particules vont vers les silos de stockage.
- ✓ **L'homogénéisation :** Le produit sera mélangé dans les silos H1, H2 pour être prêt au stockage. La farine crue expédiée par l'air lift est dégagée dans la boîte de récupération. La capacité de stockage de chaque silos est de 10 000T.

Chaque silos est équipé de deux sorties latérales pouvant assurer la totalité du débit farines vers le four. Il est donc possible de fonctionner avec un ou deux silos. Par ces étapes nous avons définies le cheminement des matières premières dans la zone cru. Le mélange est acheminé vers le four afin de permettre leurs cuissons.

3.3.3 Zone III : Cuisson :

La ligne de cuisson figure (I.11) est constituée :

- D'un pré chauffeur.
- D'un four rotatif.
- D'un refroidisseur.

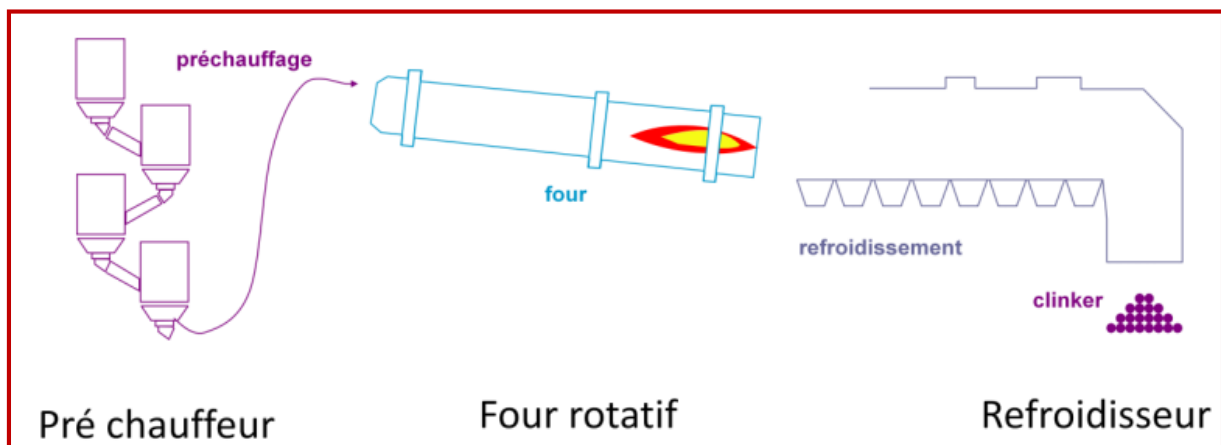


Figure 11 : Cuisson.

- ✓ **Préchauffeur ou cyclones :** Les gazes réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO_2) et son eau. C'est un échangeur à contre courant destiné à préchauffer la farine avant son entrée dans le four, en récupérant la chaleur de gaz sortant du four qui est environ égale à 100° C. Du fait que l'argile et le calcaire ont la même densité (2,70 g/cm³), un exhausteur monté sur les cyclones aspire les gazes de combustions et le mélange de la carrière.
- ✓ **Four rotatif :** Le four est constitué d'une virole cylindrique de 90m de long et de 5.6m de diamètre protégé par la brique réfractaire), incliné selon un angle de 1 à 4 degrés par rapport à l'horizontale. Le calcaire est chargé à l'extrémité supérieure. La figure (I.12) montre un four rotatif.



Figure 12 : Four rotatif.

- ✓ **Refroidisseur** : Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température du clinker tombant du four à une température d'environ 1135°C jusqu'à 80-100°C. Il est équipé d'une batterie de ventilateurs fournissant l'air de refroidissement.

3.3.4 Zone IV : Ciment :

Cet atelier est composé de deux lignes électriques avec un débit de production de 90T/H pour chacune.

Le remplissage des trémies (clinker gypse, tuf) :

- **Remplissage par la trémie de réception** : Le gypse et le tuf sont transporté vers la trémie de réception par des camions. Le gypse sera transporté sur le tapis T 19 qui déverse sur T 20. A l'aide d'un élévateur gypse, ce dernier sera stocké dans le silo de stockage gypse d'une capacité de 5000 T (silo spécial gypse). Les ajouts et gypse seront transportés du T 20 vers le tapis AMOUND et vers l'élévateur à godet qui alimente la chaîne TKF2 pour remplir la trémie tuf plus gypse.
- **Remplissage par T 16** : Le remplissage se fait soit directement de la zone cuisson à partir des chaînes transporteuses qui versent la matière (clinker) dans une goulotte, qui à son tour le verse sur le T16. Ce remplissage peut aussi se faire Par des silos de stockages. En effet, chaque silo à trois bouches, deux bouches manuelles et une motorisée. A travers ces silos la matière est versée sur T 16 qui l'achemine vers l'élévateur à godets et est envoyé vers la chaîne TKF1 pour remplir les trémies (clinker, gypse).

□ Broyages ciment : Après le dosage des matières (Clinker 80%, Gypse 5%, Tuf 15%). Elles sont transportées sur un tapis vers le broyeur ciment BK1-BK2 pour le broyage figure (I.10). La matière broyée sera transportée par élévateur à godets sortie broyeur, puis elle sera déversée dans un séparateur dynamique. Les rejets seront transportés par aéroglisseur rejets vers l'entrée broyeurs pour le ré-broyage. Le produit fini (ciment) sera acheminé par aéroglisseur principal vers les silos de stockage à l'aide des élévateurs à godets sur l'air lift.

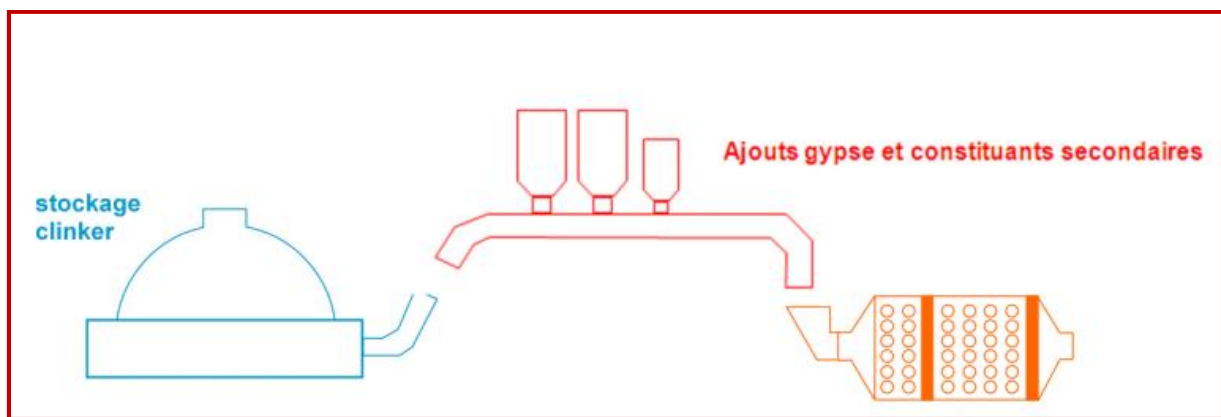


Figure 13 : Broyage ciment.

3.3.5 Zone V : Expédition :

Le ciment est stocké dans huit silos avec une capacité de 500T chacun, L'expédition du ciment se fait en sac ou en vrac.

- **Expédition en sac :** Elle est réalisée par quatre ensacheuses avec un débit de 90 T/h. Chacune possède huit becs pour le remplissage des sacs. Les sacs de 50 kg sont chargés sur des camions à bennes.
- **Expédition en vrac :** Le remplissage se fait par un flexible branché au font d'une trémie et qui est dirigé par l'opérateur pour le mettre à l'intérieur de la bouche de cocotte des camions pour les remplir. La figure I-9 résume la partie expédition

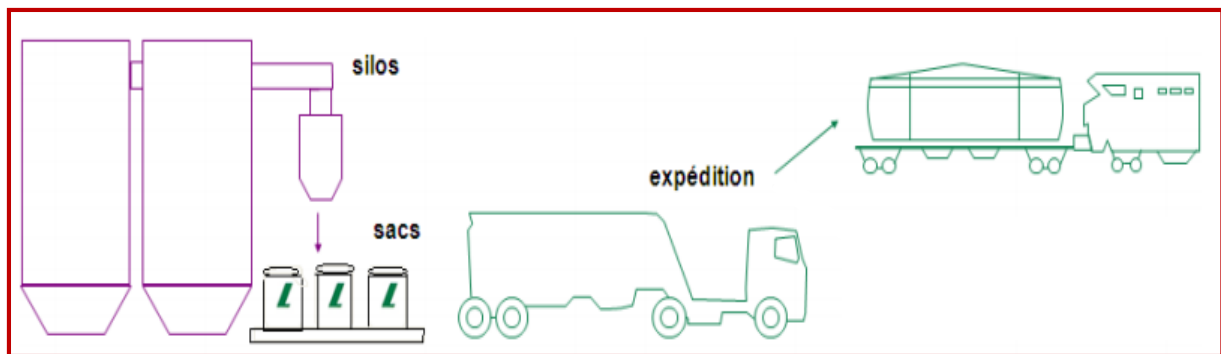


Figure 14 : Expédition en sac ou vrac



Figure 15 : Expédition en vrac.



Figure 16 : Expédition en sac.

4.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit le processus de fabrication du ciment qu'on a pu voir au sein de la cimenterie de MEFTAH.

Afin de mieux cerner ce processus nous l'avons divisé en Cinq (5) zones principales, en commençant par la partie qui nous intéresse le plus c la zone cru . C'est cette partie sur laquelle se basera notre travail de migration et de supervision. Pour ce faire nous étourdirons dans le chapitre suivant le fonctionnement de système.

1. Introduction générale :

Les systèmes de broyage avec des broyeurs à boulets sont utilisés à travers le monde depuis des dizaines d'années. De nombreuses améliorations ont été apportées comme l'utilisation des nouvelles technologies.

Tout système de broyage devrait être conduit de telle manière à obtenir la qualité de produit souhaitée et à atteindre la production maximum de broyeur. Dès qu'une chute de rendement est constatée, les raisons devraient alors être recherchées. Il existe bien des systèmes de broyage différents et chaque système fonctionne suivant ses propres conditions spécifiques. Il apparaît évident qu'une instruction standard ne peut être fournie pour toutes les possibilités et les cas existant. Ce rapport sert simplement de support pour un meilleur fonctionnement de broyeur et pour la procédure d'évaluation pratique du broyeur.

L'importance du broyage en cimenterie est considérable, au niveau du cru, il conditionne une bonne part de la cuisson et au niveau du clinker il conditionne la qualité du ciment que l'on désire obtenir.

Pour la préparation du clinker, le broyeur a pour fonction de le défracter jusqu'à obtenir une poudre très fine répondant à un certain nombre de critères.

Dans le domaine du broyage, il est bien difficile de dissocier la technologie du procédé. On ne sait pas où fini l'un et où commence l'autre. Cependant on peut considérer que la partie mécanique (dimensionnement, entraînement...etc.) appartient au domaine de la technologie, et que l'installation, le fonctionnement des ateliers appartiennent au domaine de procédé.

Le broyage du cuit (clinker) est une opération déterminante dans la phase finale de fabrication du ciment. Les propriétés de résistance d'un ciment ne sont pas déterminées seulement par sa teneur en divers minéraux de clinker mais surtout par sa finesse de broyage.

Dans une cimenterie, la majeure partie des coûts d'énergie électrique est liée au broyage du ciment. Chaque amélioration de rendement de broyage aboutit à des considérables économies. Les recommandations qui suivent, réfèrent en conséquence tout d'abord aux ateliers de broyage du ciment, sachant toutefois que les procédures appliquées aux broyeurs de cru leur sont similaires.

1.1. Fonctionnement normal :

On définit le fonctionnement normal comme le fonctionnement en continu du système du broyeur, avec une production du broyeur et une qualité de ciment constant. Toute perturbation ordinaire peut facilement être résolue par de simples actions sur la commande du broyeur en circuit fermé.

Les conditions préalables à un fonctionnement normal sont :

- ✓ Equipement de l'atelier broyeur bien entretenu, éléments de commande fonctionnant bien.
- ✓ Propriétés constantes et normales du matériau d'alimentation.
- ✓ Interruptions minimales dans le fonctionnement, dues à des facteurs extrêmes (manque de matériau d'alimentation, panne.....)
- ✓ Conducteurs de broyeurs bien formés et un circuit de commande automatique du broyeur approprié.

2. Les différents types de broyeur :

2.1 Les broyeurs verticaux :

2.1.1 Le broyeur vertical à piste :

Les broyeurs à piste ou à meules sont des appareils à axe vertical dont la hauteur atteint 8 à 10 mètres et le diamètre de table de 4 à 6 m. Il comporte un ensemble de 2 à 4 galets reposant sur une couche de matière déposée sur une piste ou un plateau circulaire en rotation autour de l'axe vertical.

Les broyeurs verticaux à piste sont des appareils qui effectuent 3 opérations en même temps: Broyage, Séchage, Séparation.

Ils sont particulièrement adaptés au broyage des matières crues.

A/ Procédés de broyage

A l'alimentation, la matière est déversée par une goulotte au centre du plateau de broyage qui par sa rotation l'entraîne sous les galets.

Sous l'effet de la force centrifuge, la matière broyée est refoulée vers l'extérieur, par-dessus le bord du plateau.

Les gaz sortant de l'anneau de ventilation entraînent tout ou partie de la matière vers le séparateur installé au-dessus du broyeur. Celui-ci trie la matière en produit fini ou en gruaux.

Ces derniers retombent au centre du plateau pour être rebroyés, alors que le produit fini est entraîné par les gaz vers le dépoussiérage et la pompe d'évacuation.

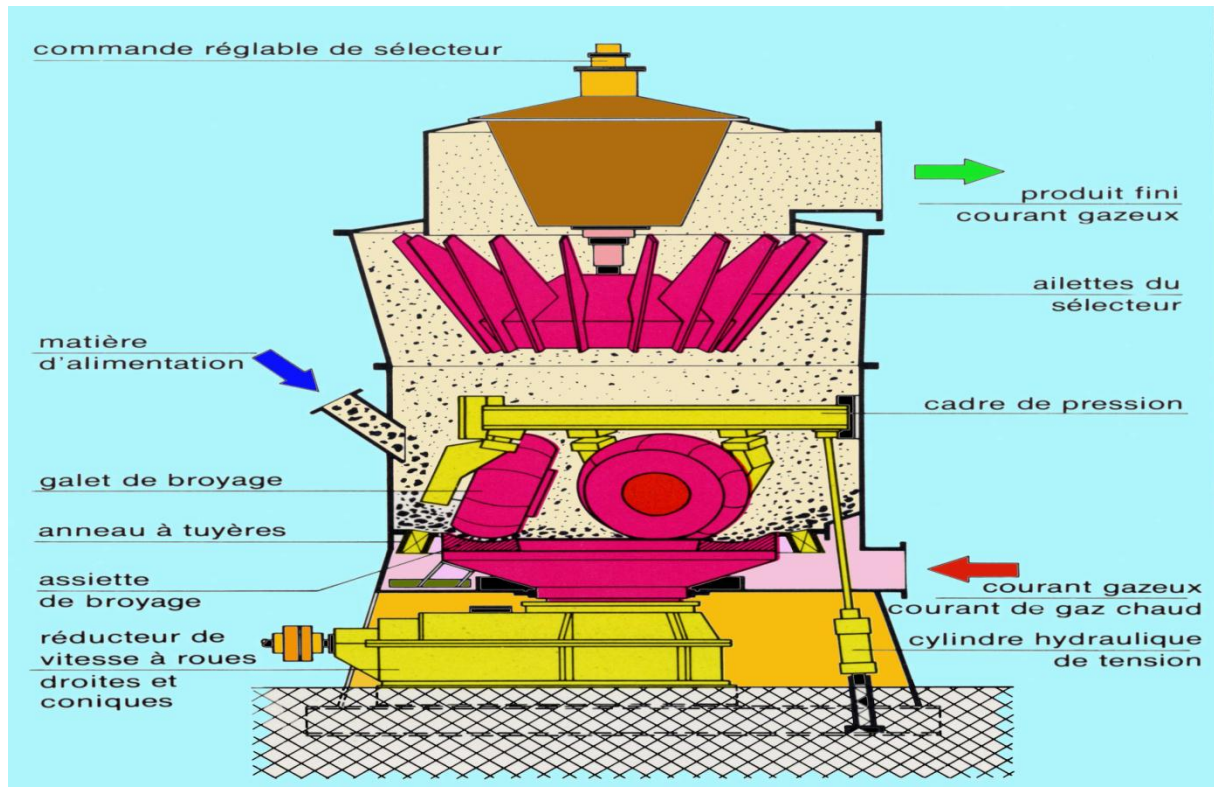


Figure 17 : Vue de dessus assiette et galet de broyeur

Avantages :

- Appareil mono corps (broyage et séchage avec le même appareil).
- Faible usure et coût d'exploitation réduits.
- Gros débits, conduite simple.
- permet un séchage plus efficace.

Inconvénients :

- Vibration importante sensibilité à la qualité de formation du lit de matière
- Sensibilité des pièces d'usures aux matériaux abrasifs (quartz).
- plus économiques en énergie.

2.1.2 Le broyeur vertical à bille

Le broyeur à billes est très répandu dans les ateliers de broyage charbon : les engins broyants sont sphériques et maintenus sur la piste par un anneau mis en pression (ressorts, vérins).

Le nombre et le diamètre des billes varient en fonction de la taille du broyeur. Ils sont généralement équipés d'un séparateur statique ou d'un séparateur de 3ème génération permettant ainsi d'accroître les performances en termes de débit, de finesse et de stabilité.

Avantage :

- Grande fiabilité d'utilisation et faible consommation spécifique.
- Possibilité de broyer des produits jusqu'à 20 % d'humidité.
- Faible temps de rétention du produit, faible niveau sonore.
- Grande durée des corps broyants et maintenance réduite.

Inconvénient :

- Forte sensibilité à la formation du lit de matière et aux « ferrailles ».

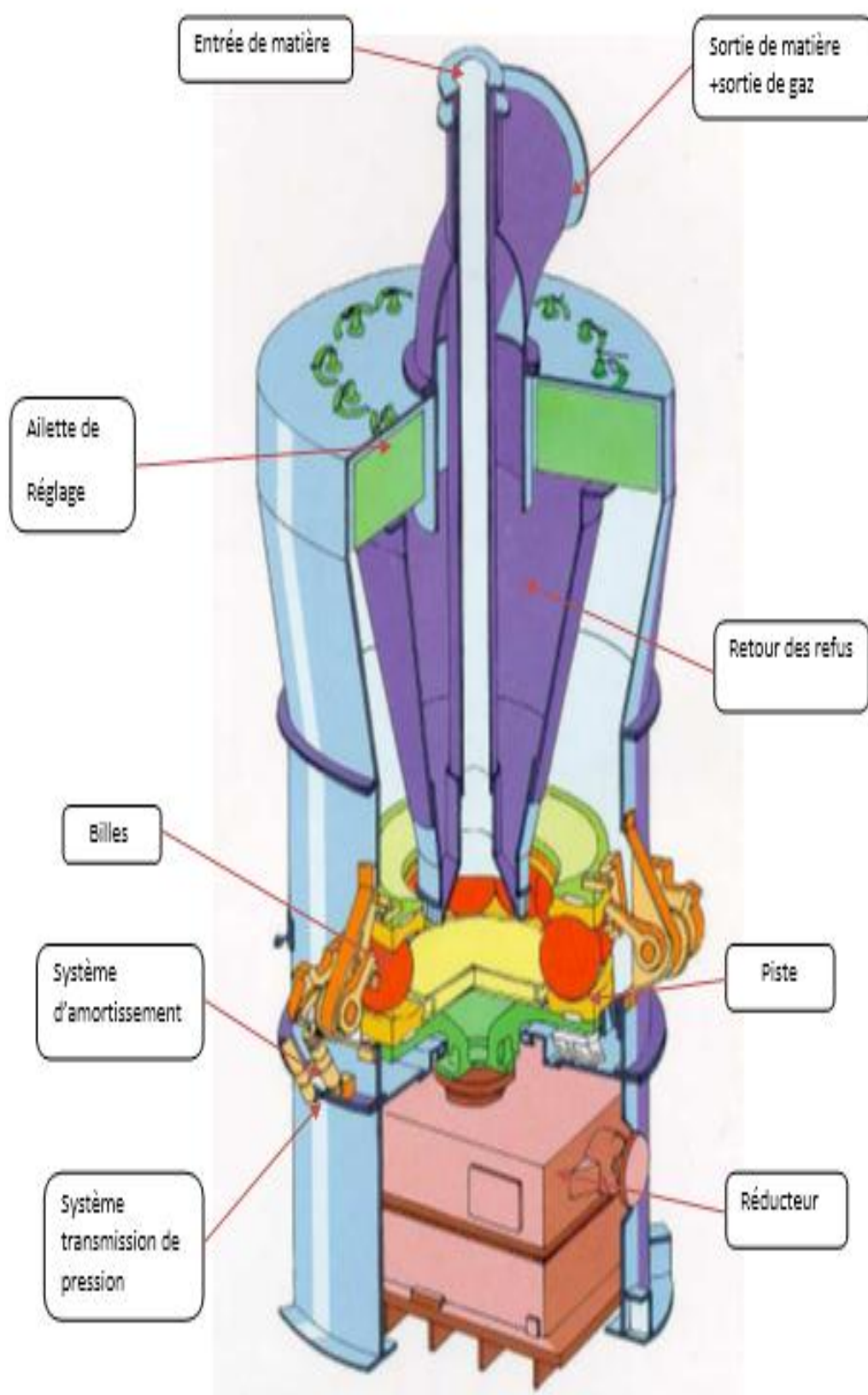


Figure 18 : Le broyeur vertical à bille

2.2 Les broyeurs à boulets

Broyeurs à boulets : son diamètre peut atteindre 5 m sa longueur 15m.

Le rapport longueur /diamètre est de l'ordre de 3 actuellement, et voisin de 6 dans le passé.

Le broyeur bi rotateur (ou broyeur à décharge centrale) :

Le broyeur bi rotateur comporte 3 chambres : 2 de concassages/broyage et 1 de finition, ou 1 de séchage, 1 de concassage, 1 de finition (au cru par exemple) Ce type de broyeur est particulièrement adapté pour le cru en raison de ces possibilités de grande ventilation, il permet également de sécher des constituants secondaires humides dans une Utilisation broyage clinker, mais beaucoup d'entrée d'air faux.

Synoptique atelier broyage cru en circuit fermé de Frangy 3 chambres : séchage (gaz entrée broyeur 400°C), concassage (boulets 20 à 60mm), finition (boulets 60 à 90mm).

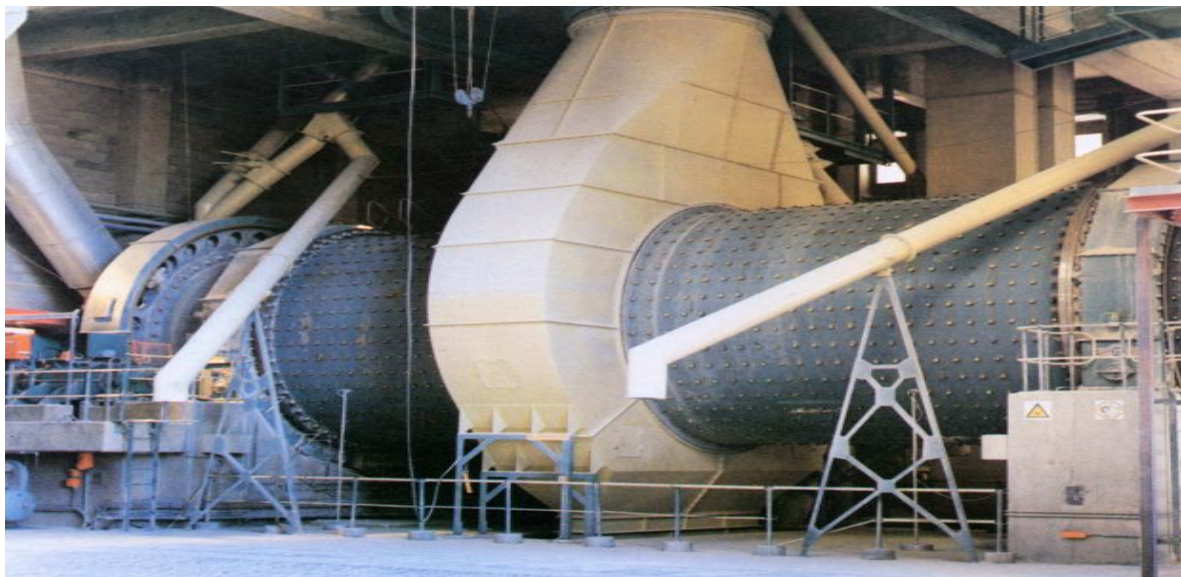


Figure 19 : broyeur à décharge centrale

Le broyeur à attaque latérale :

C'est le type d'attaque le plus ancien et le plus connu. Une couronne dentée, solidaire de la virole du broyeur, est attaquée par un pignon. La liaison entre ce pignon et le moteur est assurée par un réducteur de vitesse sous carter étanche.

Pour les puissances élevées, on utilise l'attaque duo. La couronne est attaquée par deux pignons opposés de part et d'autre du broyeur, deux réducteurs et deux moteurs.

On adopte généralement l'attaque duo au-delà de 2000KW. Un autre dispositif très répandu aux Etats-Unis consiste à supprimer le réducteur et à le remplacer par un moteur synchrone multipolaire à vitesse lente qui peut attaquer directement le pignon à des vitesses allant de 160 à 200 tr/min

Cette disposition, bien que d'un coût d'investissement élevé a pour principal avantage l'excellent rendement électrique en charge du moteur synchrone

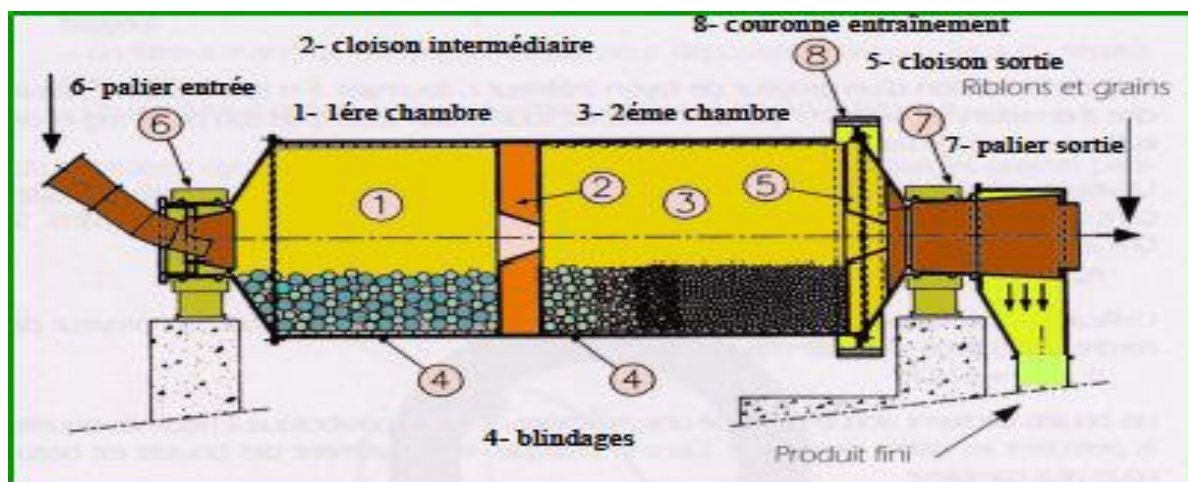
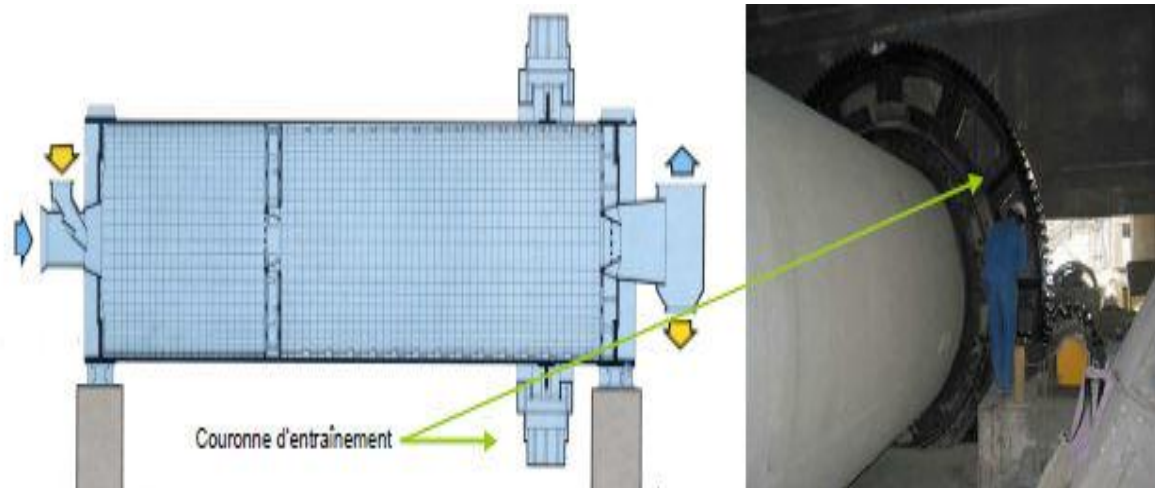


Figure 20 : Les composants du broyeur à attaque latérale

3. Présentation de sujet :

La zone qui nous intéresse est celle du cru (atelier de broyage cru) où le broyeur à boulets cru est logé. Le procédé de broyage a pour but de réduire la dimension des particules en obtenant un produit broyé.

Pour favoriser les réactions chimiques ultérieures les matières premières doivent être séchées et broyées très finement (quelques microns) dans les broyeurs à boulets (schémas ci-dessous) ou dans des broyeurs à meule verticaux. Ces derniers, plus récents, sont plus économiques en énergie et permettent un séchage plus efficace. La farine ainsi obtenue est ensuite extraite par le courant d'air chaud qui la sèche et l'achemine dans le silo d'homogénéisation en passant par le séparateur dynamique.

Le sujet qui nous a été proposé par la direction maintenance de la cimenterie de MEFTAH (S.C.M.I) consiste à faire une présentation d'un broyeur à boulet.

Le broyeur à boulets à attaque centrale est un équipement stratégique et très complexe, il est situé dans la zone Cru et ciment juste après le séparateur statique. Il fonctionne en parallèle avec le séparateur, Avec un mode de fonctionnement 24 heures par jour.

Le broyeur à boulets est un processus dans la chaîne de production du ciment. L'est constitué d'un cylindre en tôle forte, blindée à l'intérieur par des plaques en acier ou manganèse, reposant le plus souvent sur des tourillons. Le broyeur utilisé à MEFTAH est un broyeur à deux compartiments et à attaque centrale avec un seul réducteur assurant la liaison entre le broyeur lui-même et le moteur d'entraînement.



Figure 21 : broyeur à boulet

4. Les caractéristiques principales

4.1. Description de l'unité d'intervention :

- Désignation : broyeur à boulets type : R10

- Origine : Japon KAWASAKI.
- N° commande : CM71-14
- N° série : ML1238

4.2. Dossier technique du broyeur à boulets :

- Fournisseur : KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES (KHI)
- Système de broyage : circuit ferme
- Débit : 240t/h
- Longueur de la virole:12500
- Diamètre intérieur : 4600mm
- Epaisseur de la virole : 50mm
- Poids:889000 KG
- Vitesse de broyeur : 14.50 tr /min
- Nombre de compartiment : 2
- Corps bruyants nécessaire : 265 t (charge normale)

4.3. Caractéristique du moteur principale :

- Puissance : 4000 KW 5500V
- Vitesse de moteur : 750tr/min
- Puissance absorbée : 2700 KW (mesure en sous station)

4.4. Caractéristique du réducteur :

- Réducteur planétaire MAAG
- Type : CPU30. 2 étages, 3 planétaires par étage, porte planétaire rotatif.
- Puissance : 4000 kW
- Rapport de réduction entre deux vitesses de la réduction :
 - $R = n_2/n_1 = (14,7/742,5) = 0,019$
- Vitesse d'entrée : 742.5 tr/min
- Vitesse de sortie : 14.7 tr/min
- Dimensions : Longueur : 3598mm
 - Largeur : 3310mm
 - Diamètre extérieur 2eme étage : 3120mm
- Poids : Premier étage complet environ : 13000kg
 - Deuxième étage complet environ : 45000kg
- Poids total environ 58000kg

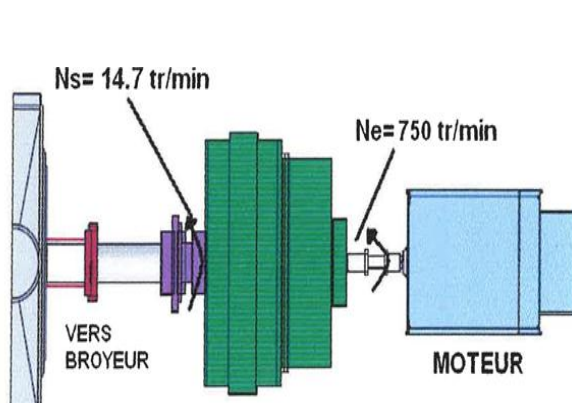


Figure 22 : Le réducteur de vitesse

Avantages

- Machine très compacte

Inconvénients

- Suivi des pignons satellites presque impossible
- Difficile d'effectuer les mesures pour la maintenance préventive
- Importante détérioration en cas de panne : risque de destruction totale des internes
- Arrêt de très longue durée en cas de panne

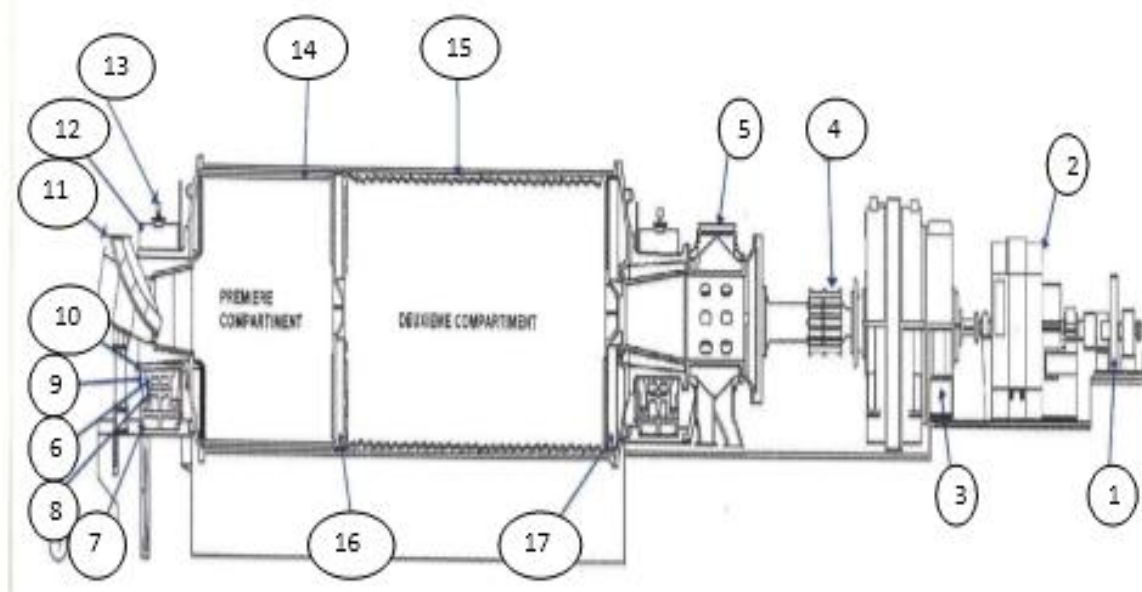


Figure 23 : La nomenclature du broyeur à attaque centrale

Nomenclature		
Repère	Nombre	Désignation
1	1	System de virage
2	1	Moteur
3	1	Réducteur
4	3	Accouplement rigide
5	1	Bâti d'évacuation
6	2	Coquille du palier inferieur
7	2	Embase du palier de tourillon
8	2	Siege sphérique pour palier de tourillon
9	2	palier du tourillon

10	2	portée du tourillon
11	1	chute d'alimentation
12	2	palier du tourillon du carter supérieur
13	2	Extracteur du gaz pour palier du tourillon
14	540	Blindage releveur
15	446	Blindage auto classant
16	1	Cloison intermédiaire
17	1	Cloison décharge

Figure 24 : Tableau de nomenclature de broyeur

5. Le principe de fonctionnement :

La force motrice du moteur électrique (2) est transmise par le réducteur (3) qui réduit la vitesse de moteur de 750 tr/min à 14.7 tr/min, cette vitesse est transmise jusqu'à l'arbre de transmission du broyeur par l'accouplement rigide (4), qui fait tourner la virole du broyeur.

Le broyeur tourne avec sa charge de boulets à une vitesse d'environ 70% la vitesse critique, qui est celle à laquelle les boulets commencent à rouler sur toute la circonférence du cylindre. De cette manière, les matériaux (c'est-à-dire le calcaire, le gypse et les ajouts) sont concassés et pré broyés entre les boulets et entre le revêtement et les boulets.

Dans le compartiment de broyage grossier, la granulométrie des matériaux passe de 25mm en moyenne à une taille qui (immédiatement avant leur arrivée sur la cloison de séparation) rend possible leur broyage par les boulets bien plus petits qui se trouvent dans le compartiment de broyage fin.

6. Les conditions optimales de broyage sont :

- 6.1. le taux de chargement
- 6.2. l'échelonnement des corps broyant
- 6.3. le diamètre des boulets
- 6.4. La vitesse de rotation
- 6.5. On distingue deux types de broyage :

Le broyage en circuit fermé et le broyage en circuit ouvert :

6.5.1. Le broyage en circuit fermé :

Principe de marche :

La matière pénètre dans la première chambre où elle est concassée, puis traverse une cloison et entre dans la deuxième chambre où elle est finement broyée. Sortie broyeur le produit passe par un séparateur qui trie les fines, envoyées au produit fini, le reste retourne dans le broyeur tant qu'il n'a pas la finesse désirée ,et le temps de séjour entre 4 et 5 minutes.

Ce type d'atelier se caractérise par :

- **un broyeur à 2 chambres**
- **un ventilateur**
- **un élévateur**
- **un séparateur**

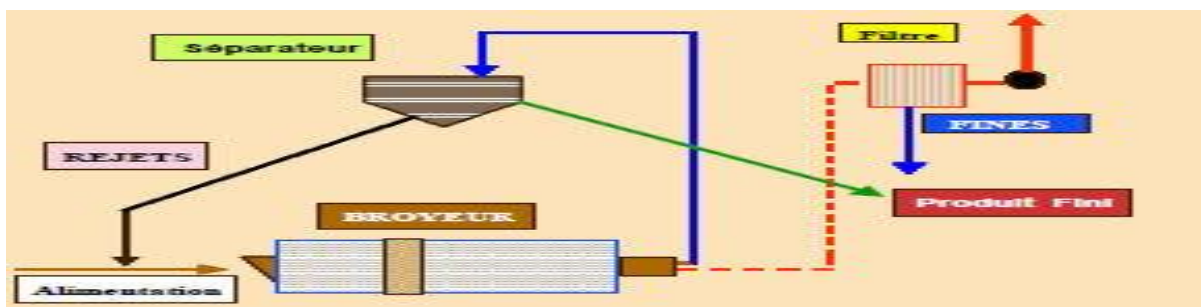


Figure 25 : Schéma du circuit fermé

Les avantages est :

- meilleure régularité car contrôle de la finesse.
- possibilité de finesse élevée ou limitation des rejets.

- plus grande flexibilité / possibilité d'optimiser pour chaque produit.
- possibilité d'avoir une ventilation plus importante dans le broyeur.
- refroidissement ou séchage possible aussi dans le circuit du séparateur.
- gain de production et d'efficacité.
- produit fini avec une étendue granulométrique plus étroite.
- abaissement température ciment.
- baisse de l'usure des engins broyant.
- temps de séjour plus court.

Les inconvénients est :

- investissement plus élevé.
- dépoussiérage conséquent.

6.5.2. Le broyage en circuit ouvert :

Principe de marche :

La matière entre dans le broyeur, tombe dans la première chambre où elle est préparée par concassage et attrition, puis elle est broyée le plus fin possible dans la deuxième chambre, et le temps de séjour est de 20 à 30 minutes.

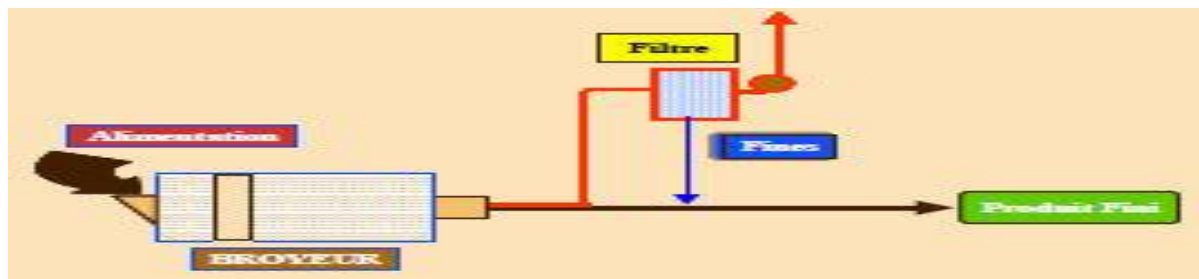


Figure 26 :Schéma du circuit ouvert

Les avantages est :

- procédé plus simple.
- investissement plus faible.

Les inconvénients est :

- peu ou pas de contrôle de la finesse,
- finesse élevée impossible,
- temps de séjour important.
- consommation d'énergie plus importante.

- rendement de broyage plus faible
- température des produits plus élevée.
- produit fini avec une large étendue granulométrique.

7. Le passage de la matière dans ce broyeur:

Le présent broyeur est destiné à l'utilisation selon le système de broyage en circuit fermé. Les matériaux mélangés en proportions appropriées sont acheminés au broyeur en vue de l'homogénéisation et du séchage et sont ensuite évacués sous forme de farine Cru.

Les matériaux parvenant par la goulotte d'alimentation sont acheminés par le cône d'alimentation à l'intérieur de la virole.

Celle-ci est divisée en deux compartiments par une cloison intermédiaire (16), et composée par des plaques de blindages (14) et (15) revêtent les surfaces en contact avec le corps broyant.

Les matières malaxées et mélangées par l'action du corps broyant. De par sa rotation de la virole. Passent successivement du premier compartiment au second puis sont évacués par le cône de décharge du caisson d'évacuation.

L'humidité de la matière est réduite de (2.4 % à 0.5) à travers le broyeur par un passage des gaz chauds par un générateur de gaz (300') et de débit de 450000 N m/h.

8. Les principaux composants du broyeur à boulets :

8.1 La Virole : [4]

La virole est une tôle d'acier laminée SM50 pour constructions soudées. Elle comporte des brides en acier coulé soudées à ses deux extrémités et servant à la fixation des tourillons. Chacun des deux compartiments est muni d'un trou d'homme (portes visite) permettent de remplacer aisément les plaques de blindage et les boulets de broyage. Ces portes sont de forme ovale et orientées à l'opposé l'un de l'autre, soit à 180 °.

Portes visite

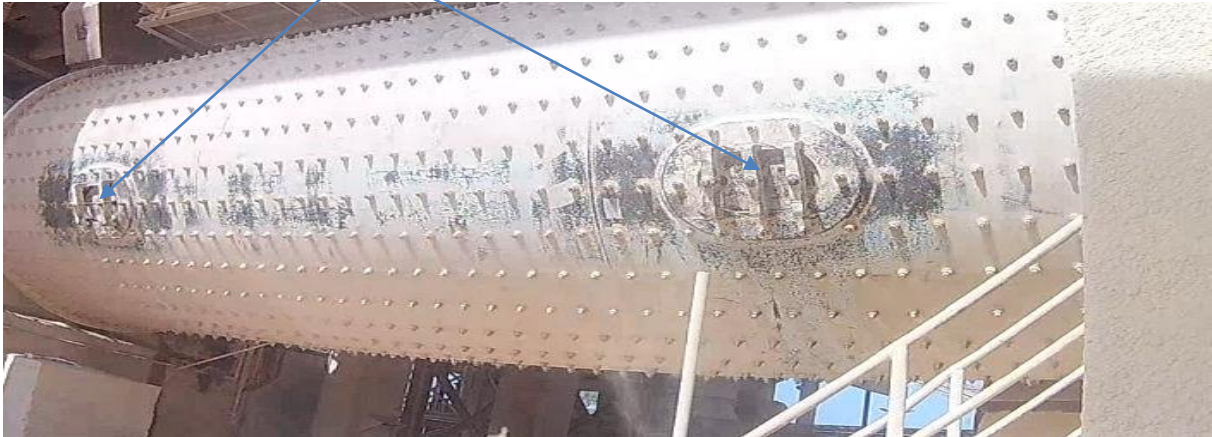


Figure 27 : La virole

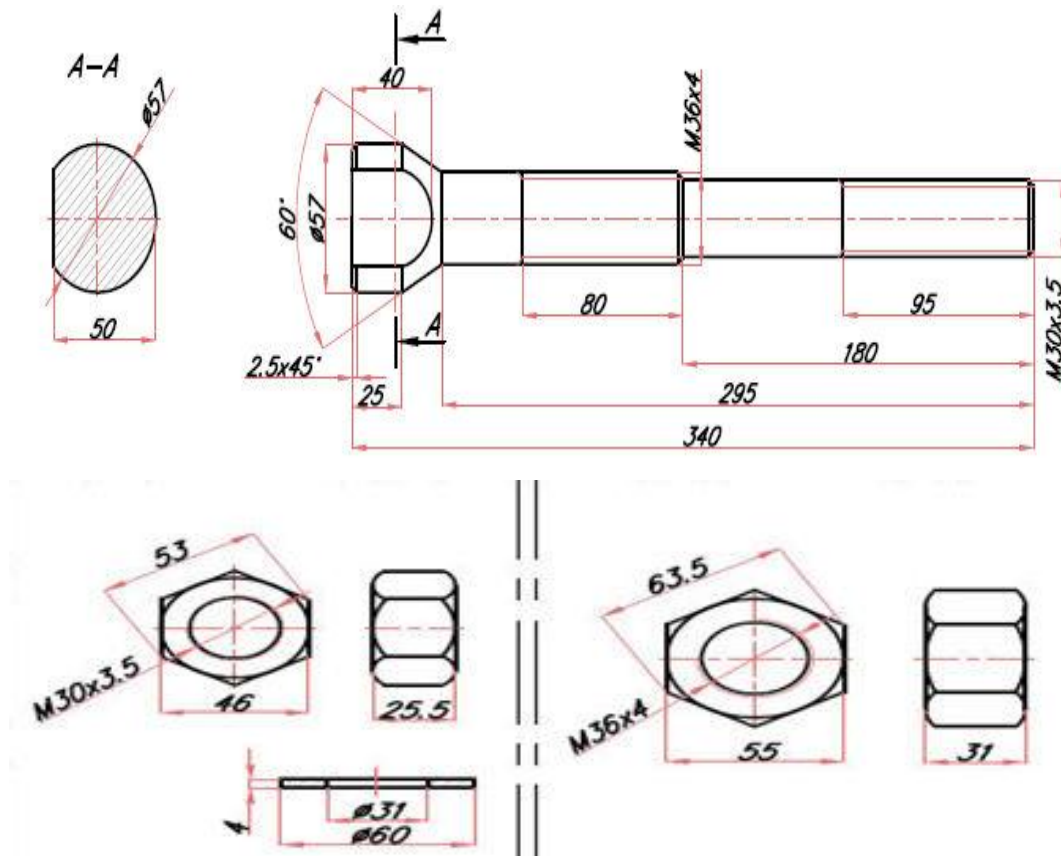


Figure 28 : Dessin technique d'un boulon de fixation (porte visite)

8.2 Fond d'entré :

il fixe avec la virole par des boulons de fixation.



Figure 29 : Fond d'entré

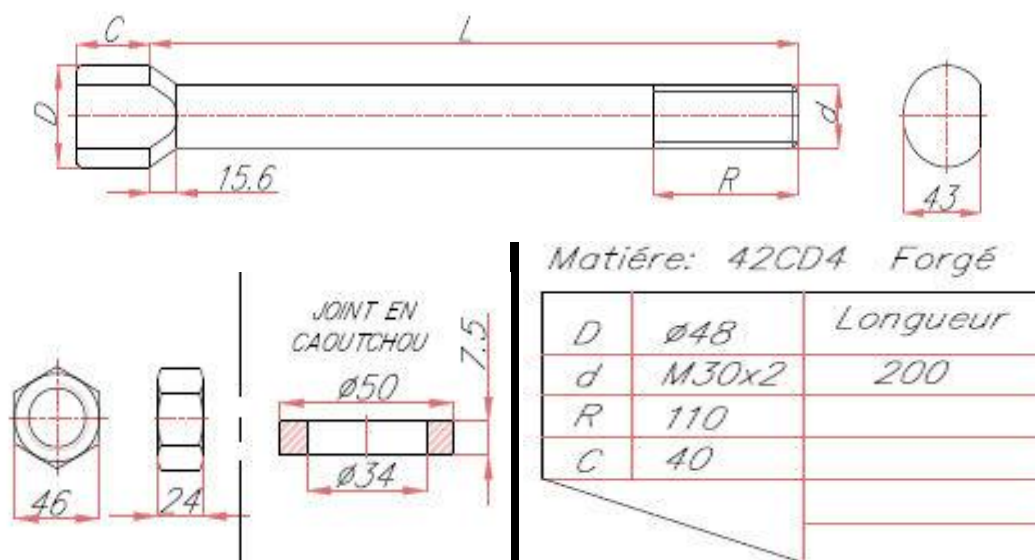


Figure 30 : Dessin technique du boulon de fixation

8.3 Les blindages : [2]

Ils sont destinés à protéger la virole et les fonds contre les impacts et l'usure. Selon les applications ils sont généralement constitués d'un alliage de chrome et de carbures de chrome. Ils sont de type **releveur** dans la première chambre et de type **classant** dans la seconde.

8.3.1 Le blindage releveur :

En première chambre il faut effectuer un travail de concassage, il faut que le blindage relève bien la charge broyant, et cela d'une manière régulière et continue.

La forme du blindage doit assurer :

- **un relevage suffisant** : La charge ne peut pas glisser sur le blindage et le blindage doit bien relever toutes les couches de boulets.
- **un relevage continu** : le blindage doit relever de la même façon tous les boulets. Dans le cas d'un blindage lisse muni de barres transversales releveuses par exemple. Les boulets se trouvant derrière les releveurs sont relevés trop énergiquement. Il s'ensuit des chocs métal sur métal, une usure plus forte, ainsi qu'une perte de puissance.
- **un relevage constant** : le pouvoir releveur du blindage doit rester constant dans le temps, c'est-à-dire pendant toute sa durée de vie.

Outre une forme correcte, il est évidemment nécessaire que les plaques aient une usure minimum, résistent aux chocs importants, ne se déforment pas et soient faciles à monter.

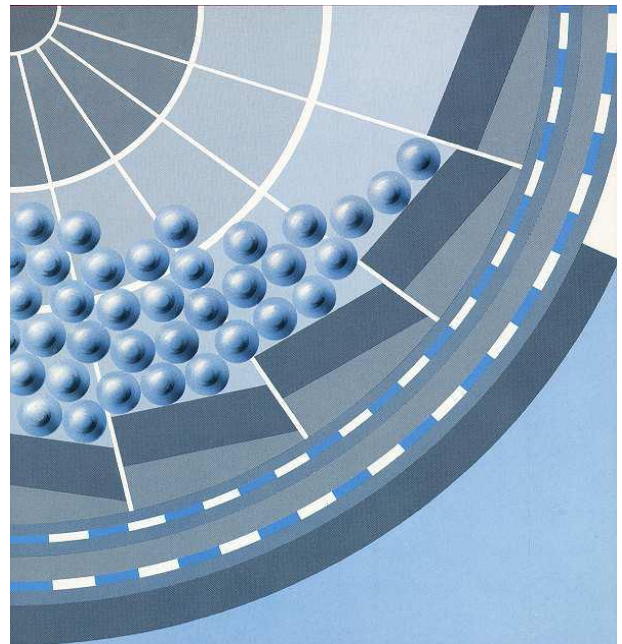


Figure 31 : Blindage compartiment

8.3.2 Le blindage classant :

Le classement de la charge est un paramètre important pour l'efficacité du second compartiment. En effet, pour réaliser la réduction granulométrique de la matière, il est nécessaire d'adapter la taille des boulets aux grains que l'on veut broyer.

Des boulets trop gros laissent filer la matière, des boulets trop petits ont une force d'impact trop faible.

Ainsi les gros grains (2 mm) nécessitent des boulets de 50 mm pour être broyés efficacement alors que le broyage des grains de 300 µm demande des boulets de 15mm.

Pour assurer ce classement, on utilise des blindages classant.

Le redent des blindages classants n'est pas un paramètre aussi sensible que dans le cas des blindages releveurs. Toutefois, il doit être suffisant pour assurer le classement.

Le classement est perturbé par :

- ✓ La présence de grains dans le C2 qui génèrent des vagues
- ✓ La présence de corps étrangers dans la charge
- ✓ La présence de deux types de blindage classant
- ✓ La taille des boulets
- ✓ Le taux de remplissage



Figure 32 : Blindage Compartiment 2

8.4 La cloison : [5]

8.4.1 La cloison intermédiaire :

La cloison intermédiaire doit d'abord permettre un passage suffisant à la matière broyée. Ensuite, elle doit fonctionner comme tamis pour retenir les grains non suffisamment broyés ainsi que les corps broyés.



Figure 33 : Cloison intermédiaire

8.4.2 La cloison des décharges :

Ces cloisons sont disposées de façon à Empêcher l'évacuation du corps broyant et des grains trop grands ou trop durs et le passage trop rapide de la matière brute par la virole.



Figure 34 : Cloison des décharges :

Les rôles de cloison sont :

- séparer 2 charges de granulométrie différente
- éviter le mélange des engins broyants
- réguler le niveau de charge des compartiments
- assurer une bonne ventilation du broyeur.

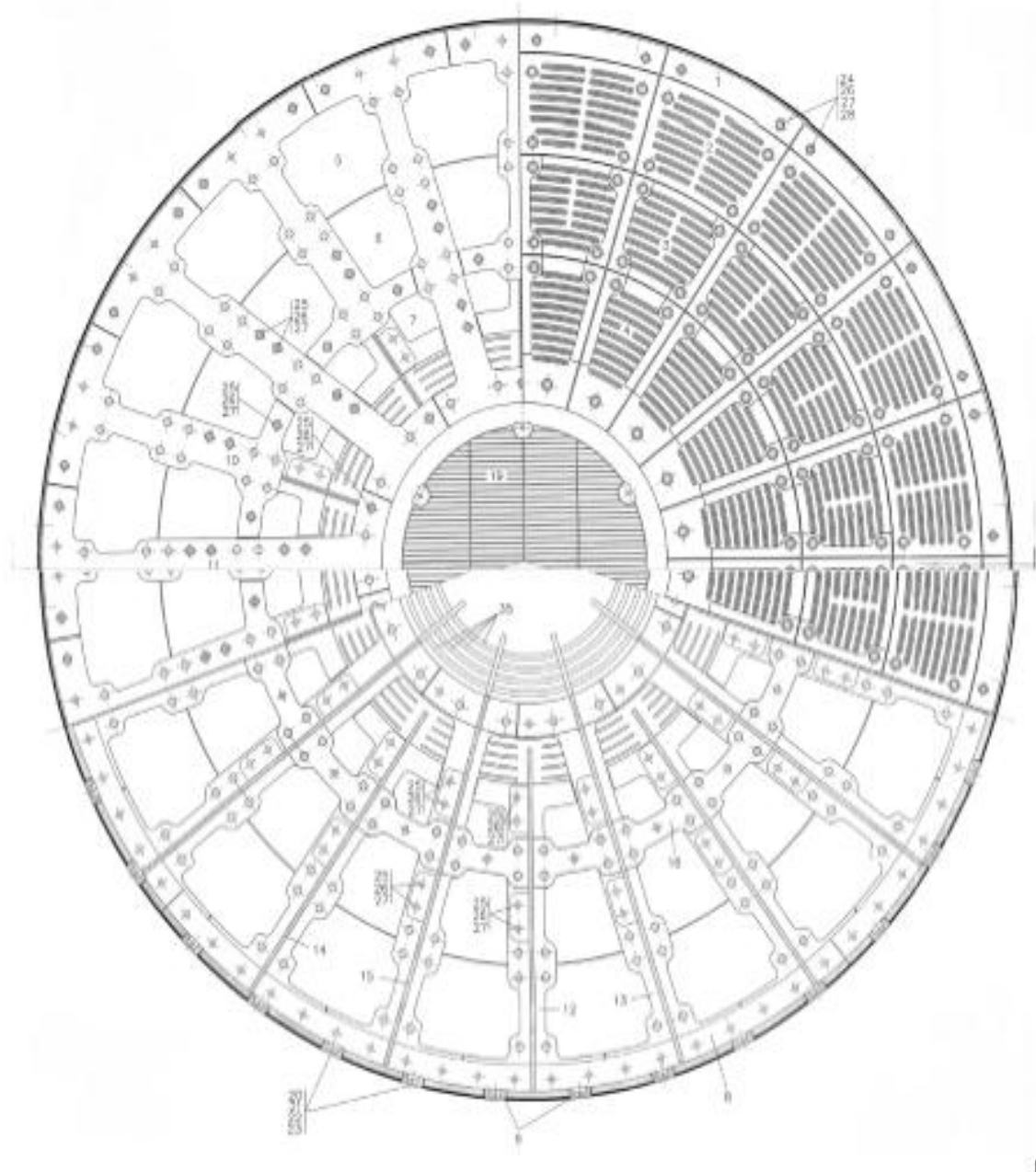


Figure 35. : Vu de face d'une cloison

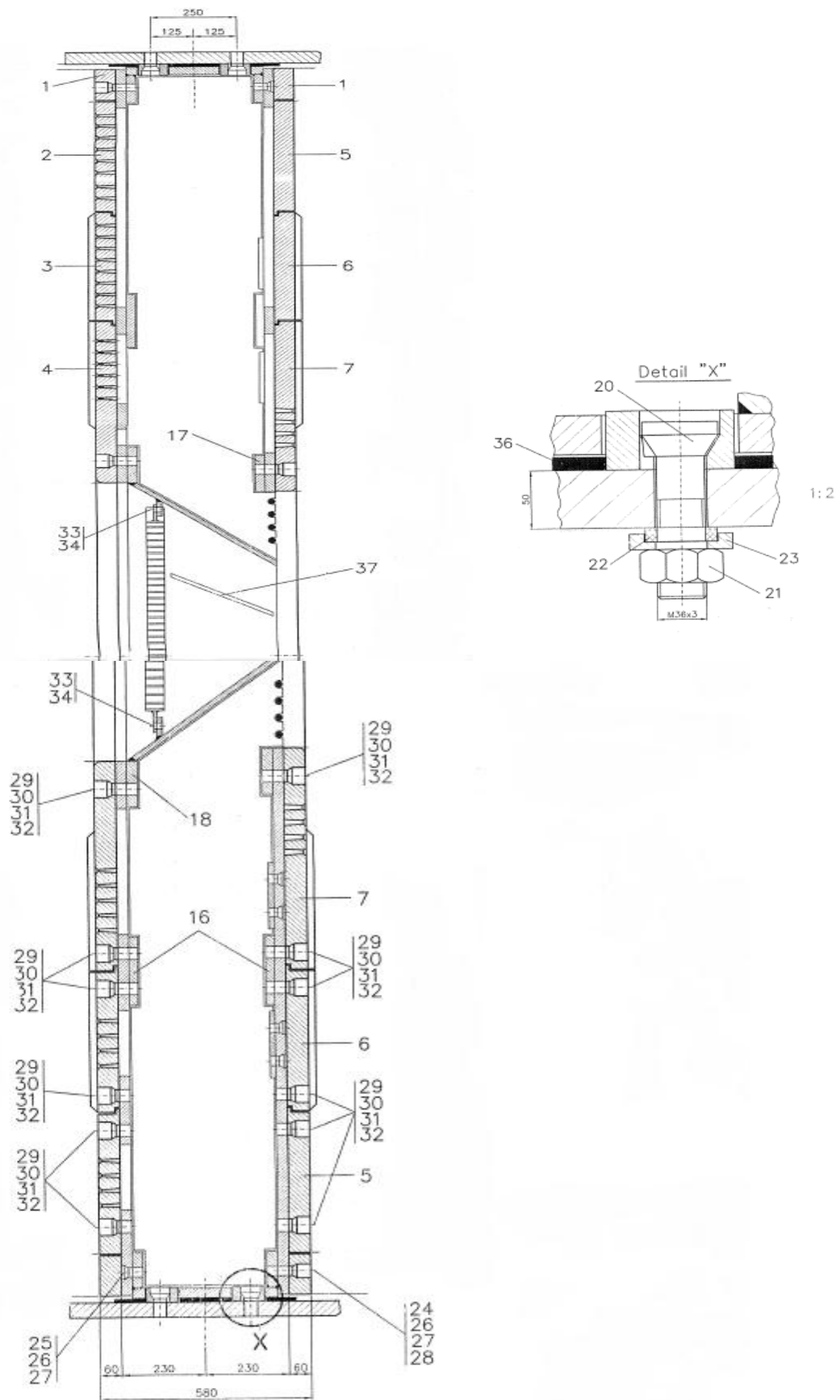


Figure 36 : Vu de gauche d'une cloison

position	quantité	Description	observation
1	40	Plaque de fermeture	/
2	20	Grille extérieure	/
3	20	Grille intermédiaire	/
4	20	grille intérieure	/
5	20	Plaque extérieure	/
6	20	Plaque intermédiaire	/
7	20	Grille intérieure.	/
8	4	Base	/
9	72	Cheville de fixation	/
10	10	Nervure courts	/
11	10	Nervure longs	/
12	10	Nervures courts	/
13	10	Nervures longues	/
14	10	Aubes courts	/
15	10	Aubes longs	/
16	4	Anneau d'union de nervures	/
17	2	Anneaux de fermeture	/
18	2	Cône de décharge	/
19	2	Maillon central	/
20	72	Boulon	M36 L=130
21	72	Ecrou	M36
22	72	Rondelle de caoutchouc	M36
23	72	Rondelle de boîte	M36
24	80	Boulon tête causeur	M24 L=110
25	280	Boulon tête causeur	M24 L=80
26	360	Ecrou	M24
27	360	Rondelle	M24
28	80	Cônes glissières	M24

29	440	Boulon	M30 L=110 mm
30	440	Ecrou	M30
31	440	Rondelle	M30
32	440	Cônes glissières	M30
33	6	/	/
34	6	/	/
35	8	Anneaux de fermeture	/
36	1	Silicone	16000 * 500 mm
37	4	Aubes	/
38	36	Plaque de fixation	/

Figure 37 : tableau de nomenclature d'une cloison

Le cadre ou bien le squelette :

est fixé dans la virole par des boulons

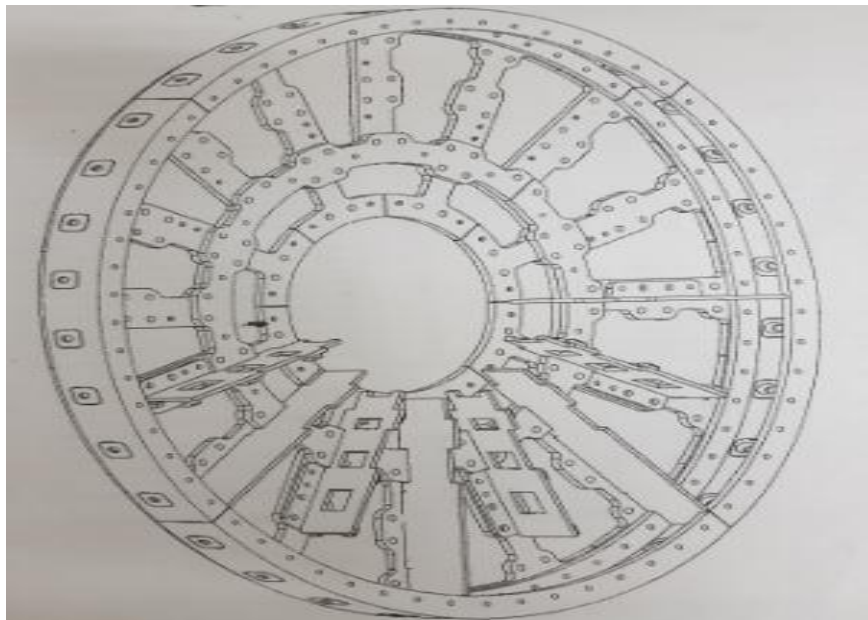


Figure 38 : squelette de cloison

les plaques :

Ils contiennent des trous pour les vis de fixation et des lumières pour le passage de la matière.

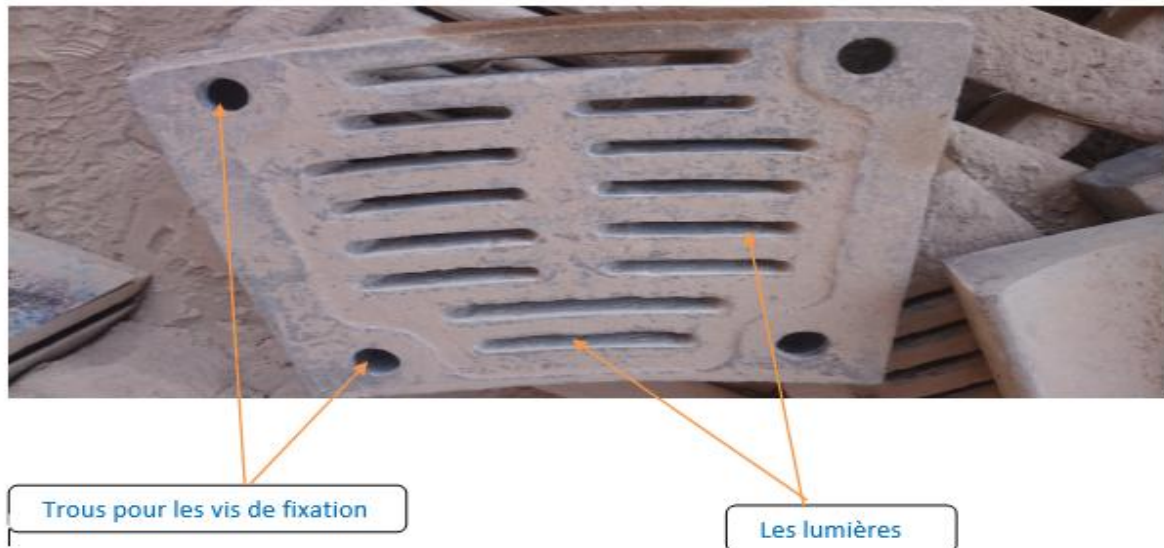


Figure 39 : plaque de cloison

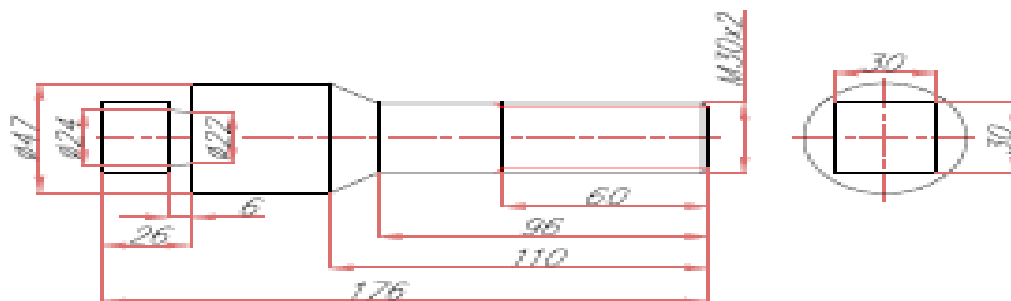


Figure 40 : Dessin technique d'une vis de fixation grille avec cloison.

La dimension des lumières dépend de :

- ✓ la nature de matériau à broyer.
- ✓ La taille des plus petits boulets.
- ✓ Niveau de ventilation du broyeur.

Ouverture typique des lumières :

- ✓ Cloison intermédiaire 10mm.
- ✓ Cloison de sortie 12mm.

Grille centrale :

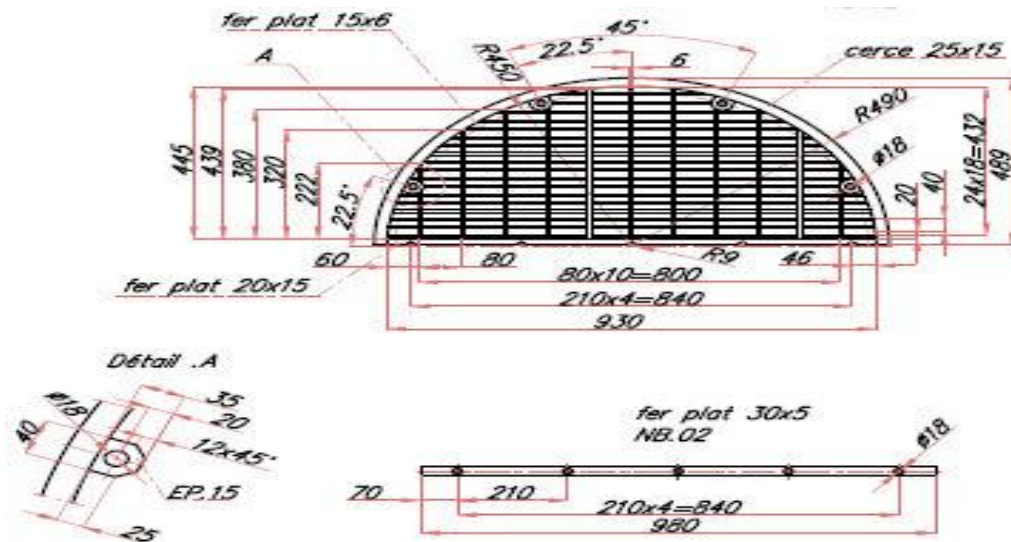


Figure 41 : Dessin technique de grille centrale

8.5 TOURILLON : [3]

Cylindre mobile dans un coussinet, à l'aide duquel un appareil quelconque peut recevoir un mouvement de rotation ; les tourillons sont toujours accouplés deux à deux, et ils ont le même axe qui est horizontal.

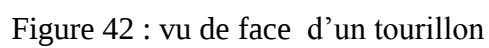
8.5.1 Caractéristiques mécanique d'un tourillon est :

Limite élastique (R_e) $\geq 260 \text{ N/mm}^2$

Résistance à la rupture (R_r) 480 a 630 N/mm^2

Allongement (A) $\geq 20\%$

Résilience (K_{cu}) $\geq 35 \text{ j/cm}^2$ à 20° c



8.6 Palier :

Est un support qui porte virole et qui est conduit par tourillon et il y a en deux parties :

Palier entre: celui à partir duquel entrer le produit premier à broyer à travers la Cuillère de broyeur

Palier sortir: est le corps qui sort du produit fini et adhère au tourillon



Figure 44 : palier de sortie et d'entrée

8.7 Corps de broyage : [6]

Ce sont en général des boulets moulés en alliage riche en chrome, ayant des tailles qui varient entre $\Phi 90$ et $\Phi 60$ mm (pour ceux qui sont destinés à la chambre 1) ou entre $\Phi 25$ et $\Phi 15$ (pour ceux qui sont destinés à la chambre 2). Ils occupent 30% du volume de broyeur.

8.7.1 Le premier compartiment :

Longueur : 4,27 m

Diamètre de C1 : 2,63 m

Densité des boulets : 7,8

Masse volumique apparente : 4,5 t/m³

Nombre de boulet : 18134

Poids moyen de boulet : 1,65 kg

Ø BOULETS (mm)	TONNAGE(t)	% massique
90 mm	08 t	26,7%
80 mm	10 t	33,3%
70 mm	07 t	23,3%
60 mm	05 t	16,7%

Figure 45 : tableau 1

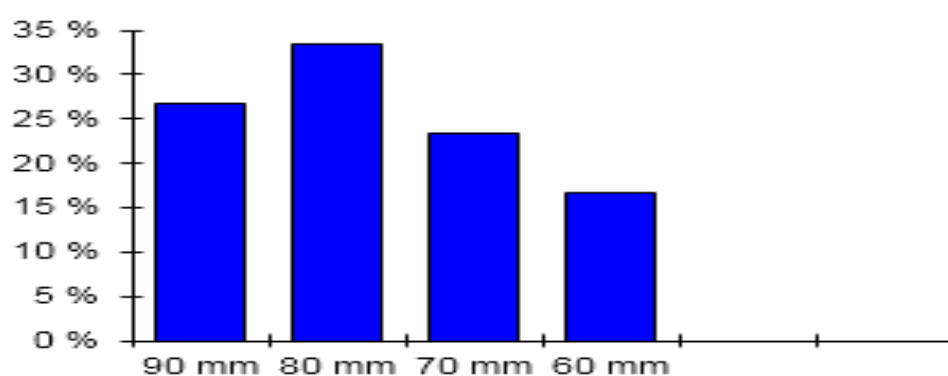


Figure 46 : massiques% vs diamètres

8.7.2 Le deuxième compartiment :

Longueur : 8,92m

Diamètre de C1 : 2,72 m

Densité des boulets : 7,8

Masse volumique apparente : 4,7 t/m³

Nombre de boulet : 2334338

Poids moyen de boulet : 28g

Ø BOULETS (mm)	TONNAGE(t)	% massique
40mm	05 t	7,7%
30 mm	10 t	15,5%
25 mm	07 t	10,8%
20 mm	18 t	27,8%
17 mm	11 t	16,9%
15 mm	14 t	21,5%

Figure 47 : tableau 2

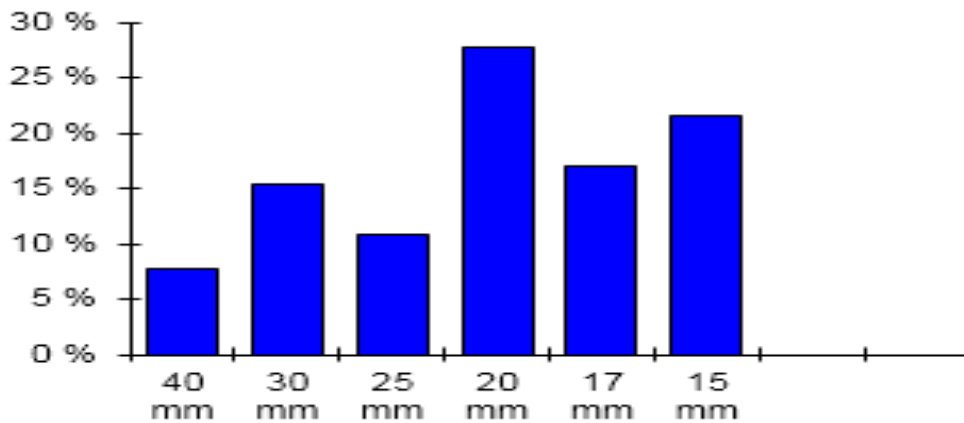


Figure 48 : massiques% vs diamètres

8.7.3 Les avantages de ce type d'acier

- ✓ Résistance aux impacts
- ✓ Résistance à l'abrasion
- ✓ Résistance à la corrosion

8.7.4 Le taux du remplissage

Le taux de remplissage est un paramètre qu'il faut mesurer régulièrement. En effet, un manque de boulets entraîne généralement une réduction de débit. Pour pallier à l'usure des boulets (surtout en C1) et ainsi conserver un taux de remplissage constant, des compléments réguliers doivent être réalisés.

Un fort taux de remplissage (supérieur à 34%) entraîne une consommation en kW élevée, une zone morte très importante et généralement une usure prématurée, par frottement, des tourillons et grillettes de ventilation.

Un taux de remplissage faible (inférieur à 28%) induit des débits limités et une usure des blindages prématurée car le pied de la charge disparaît et ne fait plus office de protection pour les plaques de blindage (surtout en C1).

Généralement, le taux de remplissage doit être compris entre 28% et 34%.

8.7.5 degré de remplissage :

Les conditions à respecter :

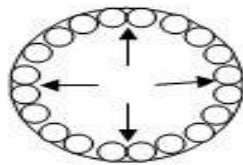
- 1-ne pas excéder la hauteur du tourillon d'entrée.
- 2-avoir en principe une hauteur décroissante d'un comportement à l'autre.
- 3-ne pas atteindre la limite de puissance imposée par le moteur du broyeur.

1. Mode d'action de boulet dans un broyeur

La vitesse de rotation est d'une très grande importance.

En règle générale, les broyeurs à boulets tournent plutôt lentement, leur vitesse étant limitée par la vitesse critique qui est celle où la force centripète est exactement composée par la force centrifugée.

Au de la de cette vitesse, il n'y a plus de broyage possible, les boulets restants collés aux parois.



8.7.6 Fonctionnement de la charge dans le broyeur :

A/ Fonctionnement dans le 1^{er} compartiment :

Ce type de fonctionnement est bon pour des matériaux durs à broyer, il est caractérisé par :

- ✓ Charge ouverte.
- ✓ La matière entre très rapidement.
- ✓ La ventilation influence l'avancement de la matière.
- ✓ Chocs nombreux, même trop puissants.
- ✓ Peu de fines produites.

B /Fonctionnement dans le 2^{ème} compartiment :

Ce type de fonctionnement est bon pour des matériaux tendres à broyer. Il est caractérisé par :

- ✓ Une charge compacte.
- ✓ La matière entre lentement.
- ✓ Peu d'influence de la ventilation.

- ✓ Peu de chocs mais modérés.
- ✓ Beaucoup de réduction par cisaillement et pression
- ✓ Production de fines.

9. DEBIT DU BROYEUR :

Le débit d'un broyeur pour la voie sèche peut être déterminé par la relation suivante :

$$Q = 6.45 V \sqrt{D} \left(\frac{G}{V} \right)^{0.8} q.K$$

Avec :

V : volume de travail du broyeur (m³).

D : diamètre intérieur du broyeur (m).

G : masse des corps broyants (tonnes).

q : débit spécifique qui dépend de matériau

Pour le clinker q = 0.03 à 0.04 tonnes/KWh.

K : coefficient qui dépend de la finesse de broyage, il varie entre 0.6 à 1.2

9.1 Calcul du débit : [7]

-volume de travail : $V = \pi D^2/4 L = 231.6 \text{ m}^3$

-masse des corps broyants : G = 288 tonnes

$$Q = 6.45 V \sqrt{D} \left(\frac{G}{V} \right)^{0.8} q.K$$

$$Q = 240 \text{ t/h}$$

10. vitesse critique et mode d'action des boulets dans un broyeur :

10.1 vitesse critique :

La vitesse critique étant la vitesse angulaire du broyeur en tr/min pour laquelle, théoriquement, les engins broyant resteraient plaqués à la virole au cours de la rotation.

$$V_c = \frac{K}{\sqrt{D}}$$

Si la force centrifuge est égale au poids du boulet, il y a centrifugation.

K : est en fonction du Φ du cercle sur lequel se situent les origines des paraboles décrites par les boulets.

$$K_{\min} = 29.4$$

$$K_{\max} = 42.3$$

En cimenterie K se situe entre 29 et 32.

Les engins broyants sont entraînés dans la rotation du broyeur à une vitesse de rotation voisine de 75% de la vitesse critique.

10.2 LA VITESSE CRITIQUE MAXIMUM :

Chaque boulet est soumis à 2 forces principales :

Si : « m » est la masse du boulet

« g » est l'accélérateur due à la pesanteur = 9.81 m/sec^2

« ω » la vitesse angulaire du broyeur, en radians/sec

« R » le rayon intérieur du broyeur en mètre

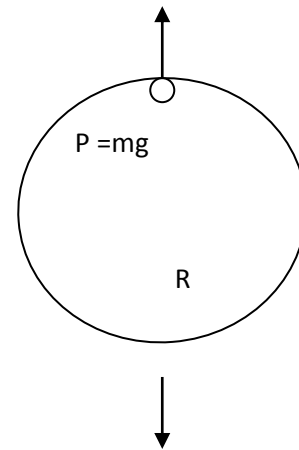
-une force due à l'accélération de la pesanteur : $P = mg$

-une force due à l'accélération centrifuge : $F_c = m \omega^2 R$

Cette accélération est variable avec la vitesse de rotation du broyeur, généralement mesurée en tours/min (N)

$$F_c = m\omega^2 R$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$



Un boulet en position haute, restera plaqué à la virole si :

$$m \omega^2 R \geq mg$$

$$\text{D'où } \frac{(2\pi N)^2}{60^2} R \geq g$$

$$N^2 \geq \frac{g}{R} \left(\frac{60}{2\pi} \right)^2$$

$$N^2 \geq 2 \frac{g}{D} \left(\frac{30}{\pi} \right)^2$$

$$N \geq \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{D}} \frac{\sqrt{g}}{\pi} 30$$

$$\text{Mais } \frac{\sqrt{g}}{\pi} = 1$$

$$\text{D'où } N \geq \frac{1.414 * 30}{\sqrt{D}}$$

$$N \geq \frac{42.5}{\sqrt{D}}$$

Le graphe ci-dessous montre la variation de la vitesse critique de rotation du broyeur en fonction de son diamètre intérieur.

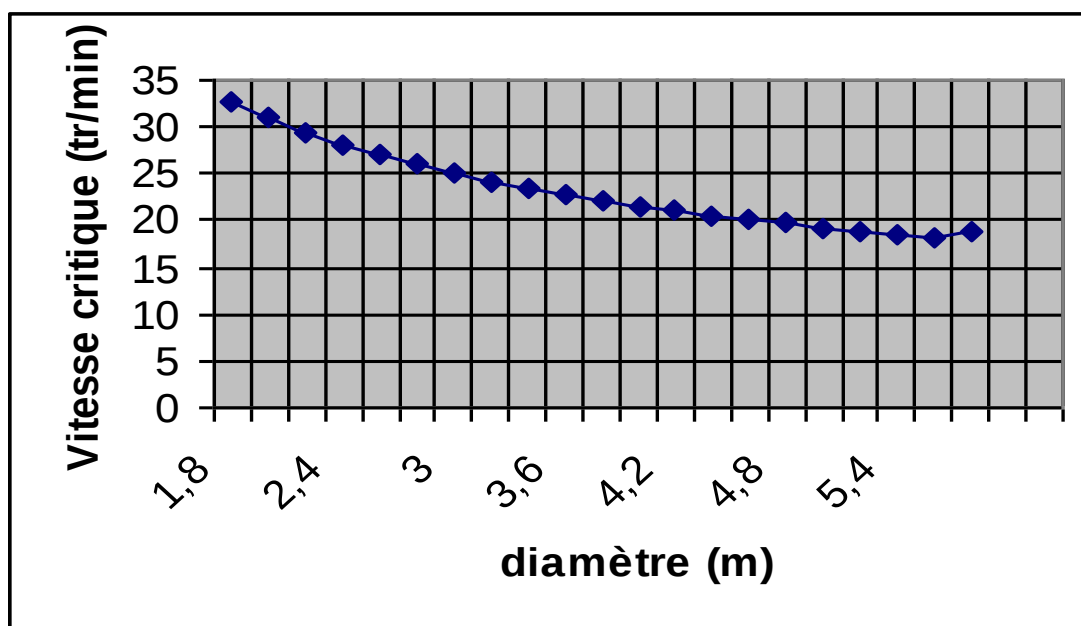


Figure 48 : graphe de vitesse critique vs diamètre

En pratique, ce qui nous intéresse c'est la vitesse de rotation (n). Celle-ci varie 65 et 90% de la vitesse critique, l'expérience montre que la valeur à retenir est 75%.

$$\omega = \frac{2.38}{\sqrt{R}} \text{ (rd/s)}$$

$$\omega_{\text{opt}} = \pi n / 30 \Rightarrow n = 30 \omega_{\text{opt}} / \pi$$

$$n = 9.55 \omega_{\text{opt}}$$

A cette vitesse, certains boulets seront entraînés et projetés sur les blindages, d'autres entraînés, tombant sous l'influence de leur poids : ils agiront par percussion.

D'autres, enfin, rouleront les uns les autres et glisseront le long du talus, ils agiront par frottement et écrasement et par trituration ou attrition.

10.3 Calcul de vitesse critique maximum et la vitesse de rotation du broyeur :

-la vitesse critique :

$$N = \frac{42.5}{\sqrt{D}} = \mathbf{19.99 \text{ tr/min}}$$

-la vitesse de rotation :

$$\omega_{\text{opt}} = \frac{2.38}{\sqrt{R}} = 1.58 \text{ (rd/s)}$$

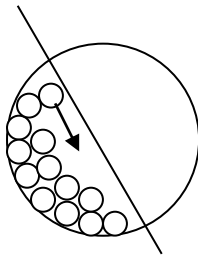
$$\omega_{\text{opt}} = \pi n / 30 \Rightarrow n = 30 \omega_{\text{opt}} / \pi$$

$$n = 9.55 \omega_{\text{opt}} = \mathbf{14.5 \text{ tr/min}}$$

10.4 MODE D'ACTION DES BOULETS DANS UN BROEUR :

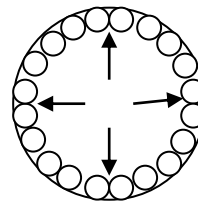
La vitesse de rotation est d'une très grande importance. En règle générale, les broyeurs à boulets tournent plutôt lentement, leur vitesse étant limitée par la vitesse critique qui est celle où la force centripète est exactement composée par

la force centrifuge. Au de là de cette vitesse, il n'y a plus de broyage possible, les boulets restants collées aux parois.



Vitesse normale

Entraînement des boulets
par la paroi, puis chute.



vitesse excessive

centrifugation des boulets
contre la paroi.

En marche normale, les boulets doivent suivre le tambour dans son mouvement ascendant et retomber les uns sur les autres suivant une courbe plus au moins parabolique. La vitesse optimale varie avec chaque appareil, elle est fonction du diamètre du cylindre tournant et du poids des boulets.

1. Les Principaux problèmes de broyeur :

Pendant une période de fonctionnement, on confrontés plusieurs problèmes qui provoquent des usures. ces dernière peuvent réduire la durée de vie de l'équipement,

1.1. Principaux problèmes des massifs:

1.1.1. Affaissement des fondations entraînant

- Un désalignement de la commande
- Une poussée axiale excessive sur les coussinets du broyeur

1.1.2. Fissures du béton causées par:

- Une infiltration d'huile (mauvaise étanchéité)
- Les vibrations
- La corrosion des ferrailages du béton armé (infiltration d'eau)

1.2. Principaux problèmes des paliers:

1.2.1. Boulons d'ancrage desserrés ou cassés:

- En raison des vibrations
- En raison d'un mauvais calage et de la qualité du béton

1.2.2. Échauffement causé par :

- Problème de géométrie (réparation de la fusée du tourillon)
- Déformation ou voile
- Jeu
- Mauvaise lubrification ou répartition de l'huile
- Mauvaise qualité de la surface (rugosité, rayures ...)
- Infiltration d'eau dans l'huile
- Mauvaise isolation thermique du tourillon

1.3. Principaux problèmes sur le tourillon:

- Fissures de tourillon causées par la vibration et les charges

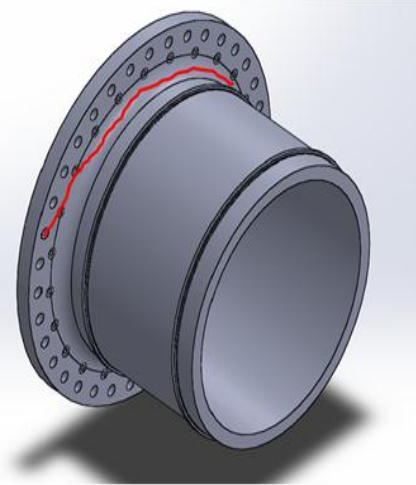
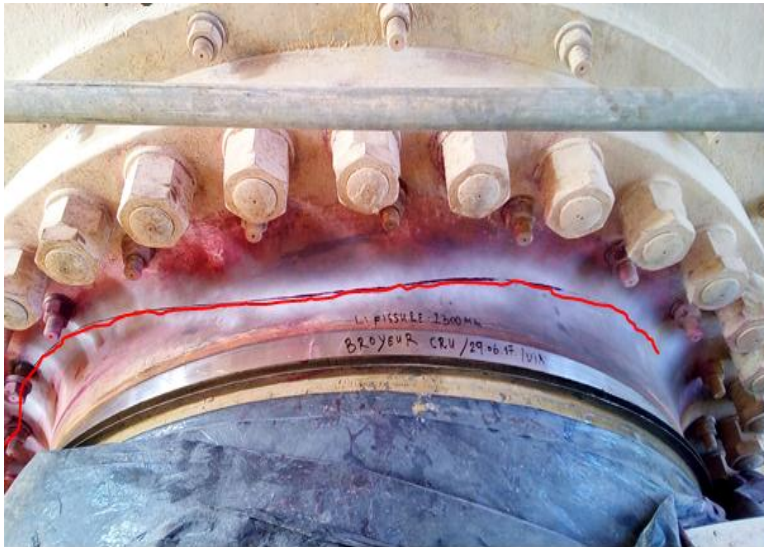


Figure 50 : fissure de tourillon

1.4. Principaux problèmes sur le fond d'entrée:

- usure sur l'épaisseur du blindage. Figure 51
- desserrage les plaques du blindage de fond d'entrée Figure 52



Figure 51 : blindage



Figure 52 : font d'entrée

1.5. Principaux problèmes sur la cloison

- Male fixation des plaques.
- Usure sur les plaques



Figure 53 : plaque

1.6. Principaux problèmes sur L'accouplement de vireur du broyeur

- Présence un jeu axial entre l'accouplement et la bague.

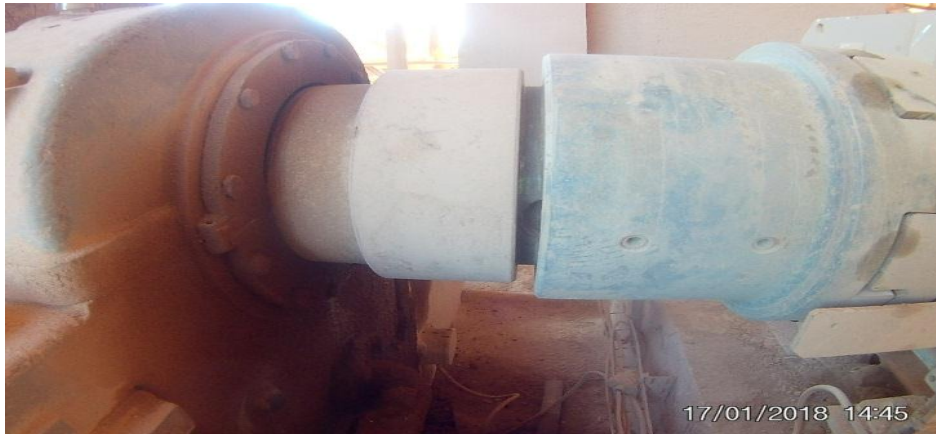


Figure 54 : L'accouplement de vireur du broyeur

1.7. Principaux problèmes sur le réducteur du broyeur

- Boîte noire : visibilité réduite
- Aucune analyse de vibration correcte possible
- Usure sur les dents du satellite aussi sur les dents de couronne
- Cisaillement les vis de fixation



Figure 55 : satellite

1.8. Principaux problèmes sur la virole

1.8.1. Fissures:

- Principalement circonférentielles (conception, fatigue)
- Au niveau des trous des boulons des blindages (fatigue, défauts locaux)

1.8.2. Déformations:

- Broyeur fonctionnant avec un blindage manquant
- Réparation de virole sur fissure circonférentielle

1.8.3. Usure:

- Surtout sur des points précis (cloisons, nouvelle forme de blindages)
- En cas de remplacement de cloison, il faut vérifier la virole de l'intérieur (épaisseur et défauts)

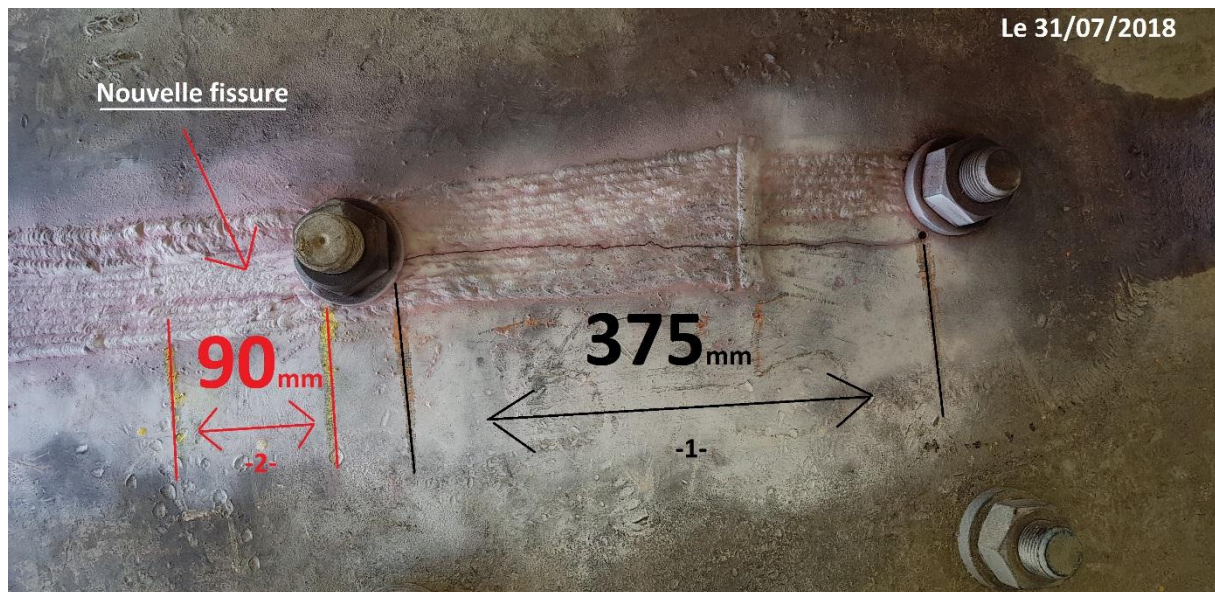


Figure 56 : fissure apparue sur la virole d'une longueur de (375mm et 90mm).

2. L'inspection :

On a deux types :

Inspection 1^{er} niveau

Inspection spécifique

2.1. Inspection mécanique premier niveau en marche, hebdo :

2.1.1 Sécurité et environnement :

- Contrôler garde-corps, échelles (endommagés, démontés)
- Contrôler l'éclairage (grillé/endommagé)
- Contrôler les passerelles, barrières de sécurité (propreté, encombrement)

2.1.2 Accouple moteur/réducteur principal :

- Contrôler les flasques (boulons desserrés)
- Contrôler les joints
- contrôler la fixation des deux moyeux

2.1.3 Système de lubrification palier entrée et sortie :

- Contrôler la pompe (pression, fuites, fixations)
- Contrôler efficacité refroidissement (température entrée et sortie)
- Contrôler niveau /débit / température huile
- Contrôler les réservoirs (niveau huile)

2.1.4 Fond d'entrée/sortie et virole

- contrôler les boulons de fond d'entrée (boulons desserrés)
- Contrôler virole et portes de visite (boulons desserrés)
- contrôler les boulons de fond de sortie (boulons desserrés)

2.2. Inspection mécanique premier niveau à l'arrêt, mensuel :

2.2.1. Accouplement élastique :

- Contrôler les fissures cisaillement des boulons des flasques
- contrôler les fuites de graisse (état joints d'étanchéité)

2.2.2. Equipements intérieurs broyeur :

- Contrôler le trommel d'introduction (usure/endommagée/fuite)
- Contrôler le blindage de fond d'entrée/fusée (fissures)

- Contrôler la cloison intermédiaire côté C2 (lumières colmatées/blindages fissurés/ boulons desserrés)

2.2.3. Accouple moteur/réducteur principal

- contrôler les fissures /cassure et cisaillement des dents de la couronne dentée

2.3. Inspection mécanique 1er niveau en marche mensuelle :

2.3.1 Massifs :

- 01 contrôler les fissures et la contamination par l'huile (coté commande et opposé commande)

2.3.2 Groupe lubrification réducteur :

- 01 contrôler les pompes de lubrification (echauffement/vibration et fixation,)
- 02 contrôler les filtres (indicateur de colmatage)

2.3.3 Réducteur principal :

- 01 contrôler les fixations de réducteur
- 02 contrôler les fuites d'huile et l'état des joints d'étanchéité
- 03 contrôler des fissures sur le carter

2.3.4 Paliers entrée et sortie :

- 01 contrôler les connections des flexibles et leurs états
- 02 contrôler les fuites d'huile et l'état des joints d'étanchéité

2.4. Inspection mécanique spécifique à l'arrêt tous les 3 mois :

2.4.1. Equipements intérieurs broyeurs :

- Mesure de l'épaisseur du fond d'entrée broyeur

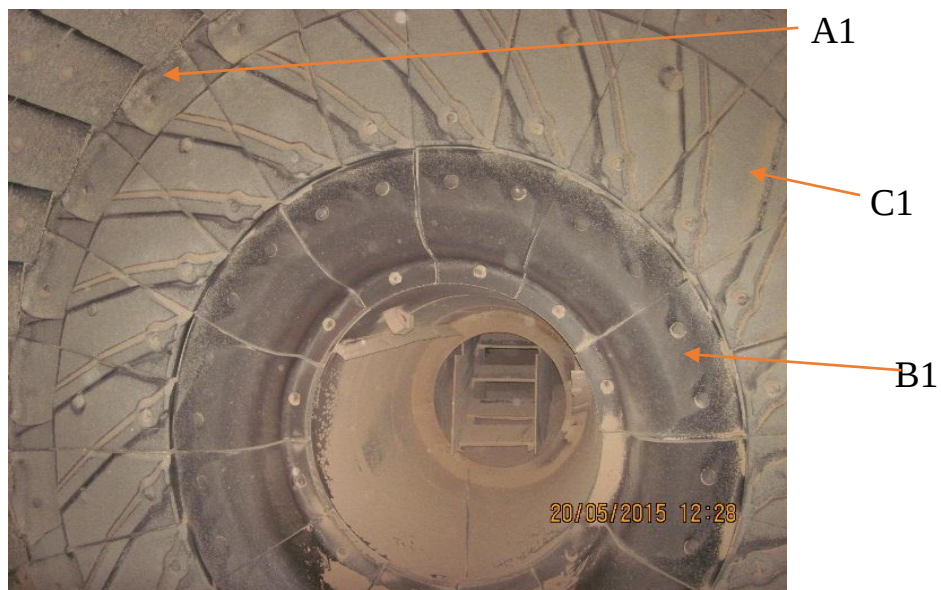


Figure 57 : les points de mesure épaisseur du fond d'entrée

Point	Valeur Initiale (mm)	Valeur Alarme (mm)	Valeur Action (mm)
A1	60	30	25
B1	60	30	25
C1	60	30	25

Figure 58 : Tableau de références

- Mesure de l'épaisseur des plaques de cloison intermédiaire

Cote C1

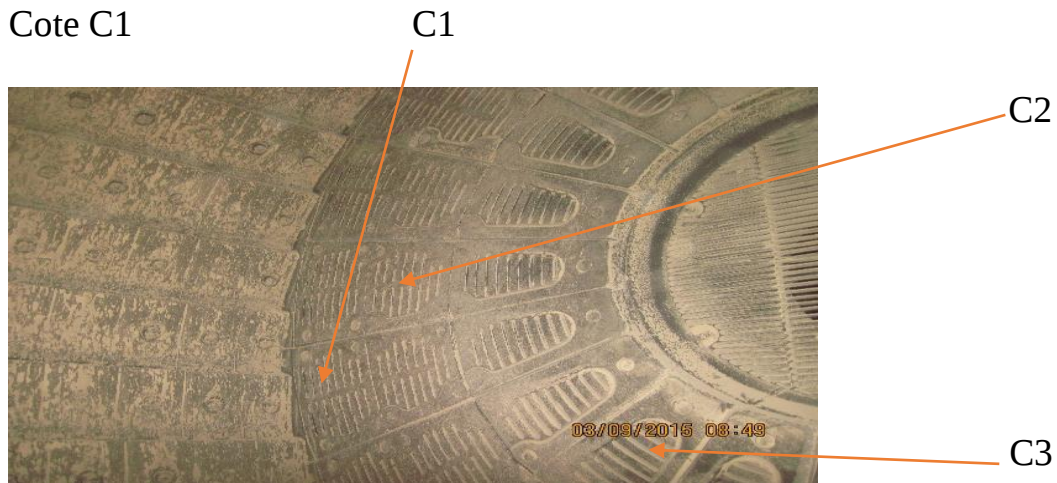


Figure 59 : mesure de l'épaisseur des plaques de cloison cote C1

Point	Valeur Initiale (mm)	Valeur Alarme (mm)	Valeur Action (mm)
C1	50	25	20
C2	50	25	20
C3	50	25	20

Figure 60 : Tableau de références

Coté c2



Figure 61 : mesure de l'épaisseur des plaques de cloison cote C2

Point	Valeur Initiale (mm)	Valeur Alarme (mm)	Valeur Action (mm)
C1	60	30	15
C2	60	30	15
C3	60	30	15

Figure 62 : Tableau de références

- Mesure l'épaisseur du blindage - 1ère chambre.

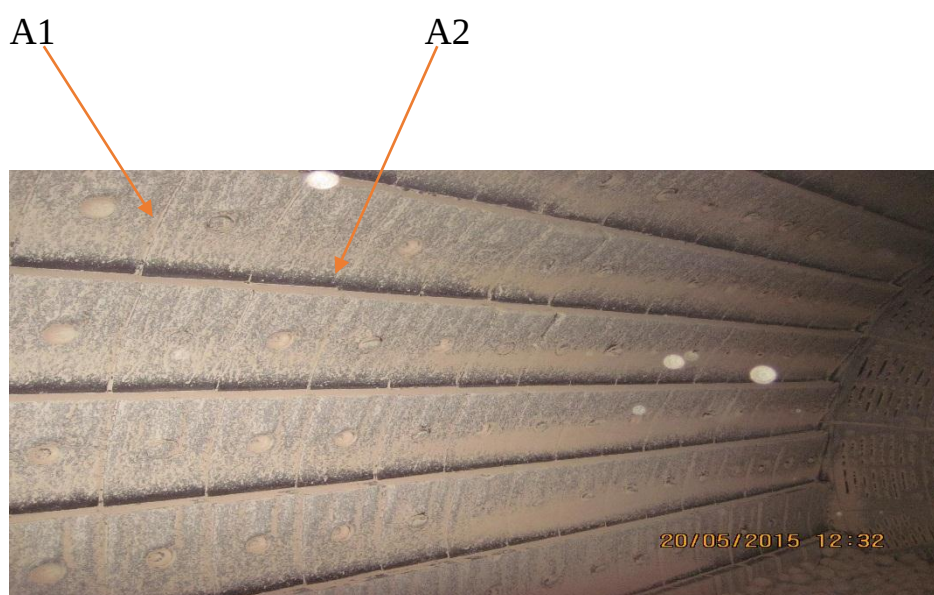
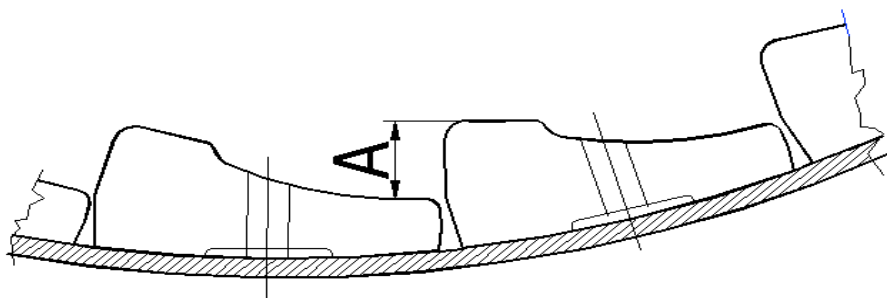


Figure 63 : Mesure l'épaisseur du blindage

Nom de point	Valeur Initiale (mm)	Valeur Alarme (mm)	Valeur Action (mm)
A1	90	45	30
A2	90	45	30

Figure 64: Tableau de références

Conclusion :

Au début, nous avons fait un résumé sur la société du ciment et puis nous avons recherché sur les types de broyeur qui peuvent être utilisés dans les ateliers de broyage et leurs méthodes de fonctionnement et ainsi leurs aspects positifs et leurs aspects négatifs, et après nous avons basé notre recherche sur le broyeur à boulet, ses propriétés et son fonctionnement.

En fin de compte, nous avons discuté sur ses problèmes les plus importants auxquels qui confronte au cours de son travail, causant parfois un arrêt soudain qui affecte négativement sur l'équipement lui-même.

Afin d'éviter l'interruption du broyeur, nous avons recherché sur les pièces qui sont fréquemment endommagées, ce qui nécessite une inspection périodique pour voir les changements qui surviennent, ce qui nous permet d'éviter des pannes soudaines et aussi pour augmenter la durée de vie de l'équipement.

CHAPITRE 01

CHAPITRE 02

CHAPITRE 03

Partie bibliographie

[1]

: <https://www.gica.dz/le-groupe-gica-participe-au-batimatec-2018/>

Le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie GICA

[2]

Johann JANES (COFELY INEO)

Direction Santé Sécurité 1, place Samuel de Champlain Faubourg de l'Arche 92930 Paris la Défense Cedex

[3]

(A. DAUDET, *Rois en exil*, 1879, p. 163).

[http://www.cnrtl.fr/tourillon d'un broyeur a boulet.](http://www.cnrtl.fr/tourillon_d'un_broyeur_a_boulet)

[4]

(PONSON DU TERR., *Rocambole*, t. 1, 1859, p. 738).

[http://www.cnrtl.fr/Virole d'un broyeur /virole.3](http://www.cnrtl.fr/Virole_d'un_broyeur/virole.3)

[5]

Vocab. de l'astronaut. Québec, 1972, p. 13. – GUERET (J.). La Constr. aéron. *Banque Mots*. 1972, n°4, p. 180. – Termes techn. fr. Paris, 1972, p. 54.

[6] :

HUGO, *Le Rhin*, 1842, p. 332

GOUVERNEMENT DU QUEBEC. Vocab. techn. des quilles. 1972, p. 20. – Rog. 1965, p. 94, 200. – SAIN. Arg. 1972 [1907], p. 104. – SAIN. Sources t. 2 1972 [1925], p. 190.

[7] :

Bruno WARIN

Maître de Conférences Université du Littoral Côte d'Opale

http://rb.ec-lille.fr/l/Projets/Planification_avancee.pdf