



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
PEOPL'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRY OF HIGH EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH  
جامعة العربي التبسي - تبسة  
LARBI TEBESSI UNIVERSITY - TEBESSA  
معهد المناجم  
INSTITUTE OF MINES  
قسم الإلكتروميكانيك  
ELECTROMECHANICAL DEPARTEMENT



## **MEMOIRE**

*Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master*

*Filière : Electromécanique*

*Option : Maintenance Industrielle*

# **Etude de l'impacte de l'usure sur la longévité des pièces**

Par

**HAMANA Ali**

**BERRAHAL Faraoula**

Devant le jury :

<b>FARES Nour Eddine</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Président</b>	<b>Université Larbi Tébessi Tébessa</b>
<b>KARA Mohammed</b>	<b>Professeur</b>	<b>Encadreur</b>	<b>Université Larbi Tébessi Tébessa</b>
<b>LOUAFI Messaoud</b>	<b>Professeur</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université Larbi Tébessi Tébessa</b>

***Promotion 2020 /2021***

# REMERCIEMENTS

*Nous remercions dieu tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté et de nous avoir bénie jusqu'à la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons aussi à remercier chaleureusement notre promoteur **KARA MOHAMMED** de savoir et d'expérience, pour son grand soutien au travail.*

*Nous n'oublierons pas de remercier nos enseignants du département **ELECTROMECHANIQUE** pour les efforts qu'ils ont fournis durant notre cursus afin de nous amener jusqu'au bout de la formation.*

*Et à tous les gens qui nous ont aidés au cours de notre stage pratique et spécialement mademoiselle **CHABBI AMEL** et **YOUNES LAYLA***

*Enfin, grands merci à nos familles respectives et nos amis qui nous ont aidés.*

*Nous profitant de l'occasion pour remercier tous ceux qui*

*Ont collaboré de près ou de loin à la réalisation*

*De ce mémoire.*

*HAMANA ALI*

*BERRAHAL FARAOUA*





# Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, Le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce modeste travail

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes frères et sœurs **MOHAMED R'AF, FIRAS.**

A ma grande famille qui porte le nom **HAMANA** : mes tantes, mes oncles ainsi que mes cousins et cousines.

A mes frères:

Une spéciale dédicace à **HOUSSEM, FATHI, ZIDANE, AKREM, ZOUBIR, KARIM, ASMA.** Que ce travail soit un témoignage de mon affection sincère. Pour tous les moments de joie et de taquineries qu'on a passés ensemble. Je prie dieu, le tout puissant de t'accorder santé, bonheur et succès.

**HAMANA ALI**





# Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, Le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes frères et sœurs*

*A ma grande famille qui porte le nom **BERRAHAL***

*A mes frères:*

*Une spéciale dédicace à **HOUSSEM, ABIR, Kamel**, Que ce travail soit un témoignage de mon affection sincère. Pour tous les moments de joie et de taquineries qu'on a passés ensemble. Je prie dieu, le tout puissant de t'accorder santé, bonheur et succès.*

***BERRAHAL FRAOULA***



## المخلص

تقدم هذه المذكرة دراسة حول التآكل الناتج عن تأثيرات الانزلاق المائلة المنخفضة المحملة قليلاً، وبشكل أكثر تحديداً عن التأثيرات المتكررة بين الكرات وألواح الدروع في المطحنة.

تظهر الدراسة التجريبية لديناميكيات التأثيرات المائلة اعتماداً قوياً جداً لخصائصها على زاوية الوقوع ، مع وجود نظامين احتكاكين متميزين ، يتميزان بالانزلاق أثناء التأثير الكامل لزوايا الرعي ومرحلة انزلاق تليها مرحلة الالتصاق للزوايا القريبة من الوضع الطبيعي.

حسب دراستنا نلاحظ في مصنع الاسمنت أنهم لم يطبقوا أنواع الصيانة الوقائية ، يتم الحصول على النتائج من التقنيات التالية: (تطبيق أنواع الصيانة الوقائية ، إعادة تعبئة الكرات بالكرات) معدن صلب مثل الفولاذ ، تغيير مادة الكرات بمواد صلبة ، اللحام (ألواح الدرع))

## Résumé

ce mémoire présente une étude sur l'usure générée par des impacts glissants obliques faiblement chargés, et plus particulièrement par les impacts répétés entre les boulets et les plaques de blindage dans le broyeur.

l'étude expérimentale de la dynamique des impacts obliques montre une très forte dépendance de leurs caractéristiques à l'angle d'incidence, avec l'existence de deux régimes de frottement distincts, caractérisés par du glissement pendant tout l'impact pour les angles rasants et par une phase de glissement suivi d'une phase d'adhérence pour les angles proches de la normale.

selon notre étude on remarque que dans la simontri de El-Ma-LABIOD nous avons constaté qu'ils ne appliqué pas les types de la maintenance préventive, les résultats sont obtenus à partir des techniques suivantes : (appliquée les types de la maintenance préventive, rechargement des boules avec un métal solide comme l'acier, changement de matière des boules avec une matière plus dure, soudage (les plaques de blindage))

## Abstract

this memoir presents a study on the wear generated by slightly loaded oblique sliding impacts, and more particularly by the repeated impacts between the balls and the armor plates in the mill.

the experimental study of the dynamics of oblique impacts shows a very strong dependence of their characteristics on the angle of incidence, with the existence of two distinct friction regimes, characterized by sliding during the entire impact for grazing angles and by a sliding phase followed by an adhesion phase for angles close to the normal.

according to our study we notice that in the simontri of El-Ma-LABIOD we found that they did not apply the types of preventive maintenance, the results are obtained from the following techniques: (applied the types of preventive maintenance, reloading the balls with a solid metal like steel, changing the material of the balls with a harder material, welding (the armor plates))

# TABLE DES MATIERE

---

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre 1: état actuel de la maintenance et son rôle dans les entreprises.</b>	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Généralité sur la maintenance .....	4
1.3 Présentation de la maintenance.....	4
1.3.1 Définition de la maintenance .....	4
1.3.2 Objectifs de la maintenance.....	4
1.3.3 Missions de la maintenance.....	5
1.3.4 Types de maintenance.....	6
1.3.4.1 La maintenance préventive.....	6
1.3.4.2 La maintenance corrective .....	8
1.3.5 Le rôle de la maintenance.....	9
1.3.6 Opérations de maintenance.....	11
1.3.6.1 Opérations de maintenance préventive.....	11
1.3.6.2 Opérations de maintenance corrective.....	11
1.3.7 Autres activités liées à la maintenance.....	12
1.3.8 Niveaux de maintenance.....	13
1.3.9 Etat actuel de la maintenance.....	13
1.3.10 types de pièce usée rencontrées souvent.....	14
Conclusion.....	25

# TABLE DES MATIERE

---

## Chapitre 2: analyse de l'usure

2.1 Introduction.....	26
2.2 Définition d'usure.....	27
2.3 Défaillances progressives et défaillances subits.....	27
2.3.1 Défaillance subite.....	27
2.3.1.1 Cassure ductile .....	27
2.3.1.2 Cassure fragile.....	28
2.3.1.3 Cassure de fatigue .....	28
2.3.2 Défaillance progressive.....	29
2.4 Nature de l'usure.....	30
2.4.1 Usure mécanique.....	30
2.4.1.1 L'usure par abrasion.....	30
2.4.1.2 L'usure par érosion.....	32
2.4.1.3 Usure par cavitation.....	32
2.4.1.4 L'usure de fatigue.....	33
2.4.2 Usure moléculaire-mécanique.....	34
2.4.3 L'usure corrosive-mécanique.....	36
2.4.3.1 La corrosion chimique.....	36
2.4.3.2 La corrosion électrochimique.....	36
2.4.3.3 Les contacts électriques.....	37
2.4.3.3.1 Les différents types de contacts électriques.....	37
2.4.3.3.2 Les métaux conducteurs.....	37
2.4.3.4 Etude de la résistance de raccords électriques.....	41
2.4.3.4.1 Objectif.....	41
2.4.3.4.2 Contexte.....	41
2.4.3.5 Corrosion des contacts électriques.....	42

## TABLE DES MATIERE

---

2.4.3.6 Application .....	44
2.4.3.6.1 Collecte des données.....	44
2.4.3.6.2 Solution analytique.....	45
2.4.3.6.3 Commentaire sur le résultat.....	46
2.5 Caractère de l'usure des pièces.....	46
2.6 Symptômes d'usure.....	49
2.7 Unités de mesure de l'usure.....	50
2.8 Courbe typique de l'usure des pièces.....	51
2.9 Limites de l'usure.....	53
Conclusion.....	55

### **Chapitre 3: Station de broyage**

3.1 Introduction.....	56
3.2 Définition d'un broyeur.....	57
3.3. Les différents types de broyeur.....	57
3. 3.1 Les broyeurs verticaux.....	57
3.3.2 Les broyeur à boulets.....	60
3.4 Les Principe de fonctionnement.....	61
3.5 Les principaux composants du broyeur a boulets.....	62
3.5.1 La Virole.....	62
3.5.2 Fond d'entré.....	62
3.5.3 Les blindages.....	63
3.5.4 La cloison.....	65
3.5.5 La cloison des décharges.....	66
3.5.6 Le cadre ou bien le squelette.....	66
3.6 Les plaque.....	67

## TABLE DES MATIERE

---

3.7 Palier.....	68
3.8 Broyeurs à boulets.....	68
3.9 Dimension des corps broyant.....	70
3.10 Charge de boulets dans le broyeur.....	71
3.11 Les Principaux problèmes de broyeur.....	72
3.11.1 Principaux problèmes des massifs.....	72
3.11.2 Principaux problèmes des paliers.....	73
3.11.3 Principaux problèmes sur le tourillon.....	73
3.11.4 Principaux problèmes sur le fond d'entrée.....	73
3.11.5 Principaux problèmes sur la cloison.....	73
3.11.6 Principaux problèmes sur L'accouplement de vireur du broyeur.....	74
3.11.7 Principaux problèmes sur le réducteur du broyé.....	74
3.11.8 Principaux problèmes sur la Virole.....	74
Conclusion.....	75

### **Chapitre 4: Partie expérimentale**

4.1 Les caractéristiques principales de broyeur à boulets.....	76
4.1.1 Description de l'unité d'intervention.....	76
4.1.2 Dossier technique du broyeur à boulets.....	76
4.1.3 Caractéristique du moteur principal.....	76
4.1.4 Caractéristique du réducteur.....	76
4.1.5 Les caractéristiques principales des boulets.....	77
4.1.6 Stock et logistique.....	78
4.1.7 Calcul des charges.....	78
4.2 Le blindage.....	81
4.2.1 La fonction des plaques de blindages.....	82

## TABLE DES MATIERE

---

4.3 Calcul de la vitesse de l'usure des boulets du broyeur cru.....83

**Conclusion générale**.....85

Bibliographie

## LISTE DES TABLEAU

---

### Chapitre 2 :

**Tableau 2.1 :** Usures tolères dans les ensembles arbres-paliers n'impliquant pas de travaux de réparation.....53

**Tableau 2.2 :** Quelques valeurs de l'usure limite pour certaines pièces.....54

### Chapitre 4 :

**Tableau 4.1 :** massiques des boulets (90-60).....79

**Tableau 4.2 :** Massiques des boulets (40-15) .....80

## Liste des figures

---

### Chapitre 1:

<b>Fig.1.1</b> Les types de la maintenance.....	6
<b>Fig.1.2</b> Concepts et stratégies de la maintenance préventive conditionnelle.....	7
<b>Fig.1.3</b> Concepts et stratégies de la maintenance préventive prévisionnelle.....	7
<b>Fig.1.4</b> Comparaison entre la maintenance préventive conditionnelle et maintenance préventive prévisionnelle.....	8
<b>Fig. 1.5.</b> Synthèse – actions de maintenance.....	12
<b>Fig.1.6.</b> Les niveaux de la maintenance.....	13
<b>Fig.1.7.</b> Des revêtements purgatifs et curatifs (réparation).....	15
<b>Fig.1.8 :</b> Pelle à godet en butte.....	15
<b>Fig.1.9:</b> Les dents de godets.....	16
<b>Fig.1.10 :</b> Rechargement du couteau de bord d'attaque du godet de l'excavateur.....	16
<b>Fig.1.11 :</b> Changement de la lame du godet du bulldozer à l'aide du soudage.....	17
<b>Fig.1.12 :</b> La réparation des dents du godet qui se fait d'une façon similaire à une pelle à godet en butent.....	17
<b>Fig.1.13</b> Revêtement préventif effectué dans des gorges avec l'électrode manuelle.....	18
<b>Fig.1.14:</b> La reconstitution des parties usées des mâchoires à l'aide d'électrodes.....	18
<b>Fig.1. 15a :</b> Brise – mottes.....	19
<b>Fig.1.15b :</b> Broyeur à meules.....	19
<b>Fig.1.16 :</b> La reconstitution se fait par rechargement si l'usure dépasse 2cm.....	19
<b>Fig.1.17a :</b> Hélice de sortie ayant fonctionnée sans protection préalable .....	20
<b>Fig.1.17b :</b> Un exemple à ne pas suivre !!.....	20
<b>Fig.1.18 :</b> Convoyeurs à plateau métalliques.....	21
<b>Fig.1.19 :</b> Les galets de transport.....	21
<b>Fig.1.20:</b> Elévateurs à godets.....	22
<b>Fig.1.21 :</b> Manchonne d'accouplement.....	22
<b>Fig.1.22a :</b> pignons on fente et en acier.....	23
<b>Fig.1.22b :</b> Réparation des pignons.....	23

## Liste des figures

---

### Chapitre 2 :

<b>Fig.2.1</b> : L'aspect de la cassure ductile est en général fibreux, sans états cristallins.....	28
<b>Fig.2.2</b> : L'aspect de la cassure fragile est cristallin.....	28
<b>Fig.2.3</b> : Cassure de fatigue.....	29
<b>Fig.2.4</b> : L'usure par abrasion.....	31
<b>Fig.2.5</b> : La destruction des surfaces de contact de deux pièces par les particules dures du métal de l'une des deux pièces.....	31
<b>Fig.2.6</b> : Usure par cavitation.....	32
<b>Fig.2.7</b> : L'usure de fatigue .....	33
<b>Fig.2.8</b> : Les arbres et les ressorts casse à cause de la fatigue qui apparait dans une section transversale.....	34
<b>Fig.2.9</b> : Usure moléculaire-mécanique.....	35
<b>Fig.2.10</b> : Sur les surfaces des dents du 1er pignon on remarque des creux (cavités) et sur celles du 2ème pignon, qui bien sur travaille avec le l'er, des monticules.....	35
<b>Fig.2.11</b> : La corrosion électrochimique .....	36
<b>Fig.2.12</b> : Surface de contact des conducteurs électriques.....	39
<b>Fig.2.13</b> : (1), (2), (3) attaque de la surface de contact.....	40
<b>Fig.2.14</b> : Câble d'aluminium endommagé suite à la corrosion par l'eau.....	42
<b>Fig.2.15a</b> : Raccords en cuivre servant à relier des câbles à âme en cuivre.....	43
<b>Fig.2.15b</b> : situation provisoire « départs non préparés » .....	44
<b>Fig.2.16</b> : Relation entre l'épaisseur de la couche d'oxyde à l'interface du contact des conducteurs électrique, le temps de service et les différentes températures du réseau.....	46
<b>Fig.2.17</b> : Caractère de l'usure des pièces (a à u) .....	48
<b>Fig.2.18</b> : Usure des roulements (a à d) .....	49
<b>Fig.2.19</b> : Courbe typique de l'usure des pièces.....	52

### Chapitre 3 :

<b>Fig.3.1</b> : Vue de dessus assiette et galet de broyeur.....	58
<b>Fig.3.2</b> : Le broyeur vertical à bille.....	59
<b>Fig.3.3</b> : Broyeur à décharge centrale.....	60

## Liste des figures

---

<b>Fig.3.4</b> : Les composants du broyeur à attaque latérale.....	61
<b>Fig.3.5</b> : La virole.....	62
<b>Fig.3.6</b> : Dessin technique d'un boulon de fixation (porte visite).....	62
<b>Fig.3.7</b> : Fond d'entrée.....	63
<b>Fig.3.8</b> : Dessin technique du boulon de fixation.....	64
<b>Fig.3.9</b> : Blindage compartiment.....	65
<b>Fig.3.10</b> : Blindage Compartiment 2.....	65
<b>Fig.3.11</b> : Cloison intermédiaire.....	66
<b>Fig.3.12</b> : Cloison des décharges .....	66
<b>Fig.3.13</b> : Squelette de cloison.....	67
<b>Fig.3.14</b> : Plaque de cloison.....	67
<b>Fig.3.15</b> : Dessin technique de grille centrale.....	68
<b>Fig.3.16</b> : Palier de sortie et d'entrée.....	69
<b>Fig.3.17</b> . Schéma simplifié d'un broyeur à boulets (Bouchard, 2001).....	71
<b>Fig.3.18</b> Puissance consommée en fonction du degré de remplissage (Bouchard, 2001).....	73

### Chapitre 4 :

<b>Fig.4.1</b> : Boulets de broyage : 10 à 90 mm.....	77
<b>Fig.4.2</b> : Massiques% vs diamètres (90 à 60mm).....	80
<b>Fig.4.3</b> : Massiques% vs diamètres (40 à 15mm).....	81
<b>Fig.4.4</b> : Des plaques de blindage après l'usure.....	81
<b>Fig.4.5</b> : Des plaques de blindage avant l'usure.....	82
<b>Fig.4.6</b> : Une boule (90mm) avant et Après l'usure.....	83
<b>Fig.4.7</b> : Une boule (80mm) avant et Après l'usure.....	83
<b>Fig.4.8</b> : Une boule (40 mm) avant et Après l'usure.....	84

# DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE

---

## 1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### 1.1 Présentation générale sur la société des ciments Tébessa (s c t) :

#### 1.1.1 Situation géographique :



La société des ciments de Tébessa, entreprise publique économique, SPA est une filiale de l'entreprise régionale des ciments et dérivée de l'est (E.R.C.E), prometteur initial du projet, située à 26km au sud du chef-lieu de la wilaya créée le 29/11/993 à un capital social de 1200.000.000DA, son actionnaire E.R.C.E 100% avec montage mécanique de E.N.C.C/ET TERKIB et un montage électrique (MERLIN GERIN France).

La cimenterie pratique actuellement à l'emploi de 380 travailleurs et renforce le marché national de plus de 500.000 tonnes de ciments gris par ans.

## 2 PROCESSUS TECHNOLOGIQUE DE FABRICATION DU CIMENT

Le ciment est fabriqué, principalement des roches calcaires qui représentent les 75% de la totalité du mélange, des roches argiles qui représentent les 21% et 4% qui restent représente d'autres matériaux apparentés (fer + gypse +sable). Ces matériaux sont extraits des carrières et concassés si nécessaire, puis mélangés dans un rapport préétabli dans le broyeur a cru, après le broyage, le broyé appeler farine crue est acheminé vers le four rotatif pour y être cuit à une température d'environ 1450°.

Les matériaux transformés, quittent le broyeur sous forme de clinker qui est broyé dans le broyeur à ciment avec 3-4% de gypses.

Le produit fini de broyage, qui se présente sous forme de poudre grise, est le ciment. Il est stocké dans les silos d'où il est extrait et expédié vers l'extérieur. Plus clairement voir schéma des étapes de fabrication du ciment figure 1 ci- dessous.

---

## DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE

---

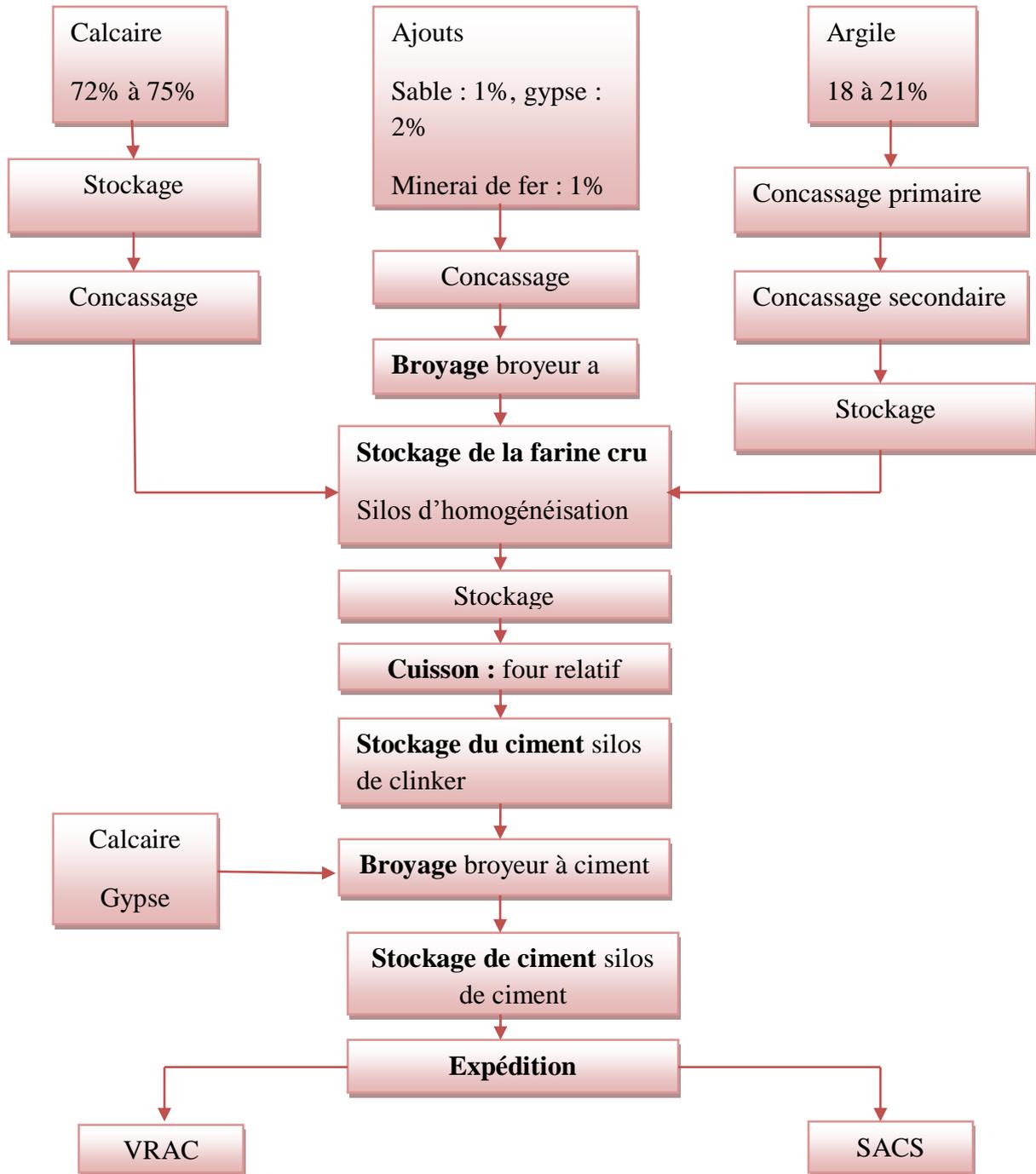


Figure 1 : schéma des étapes de fabrication du ciment

---

# DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE

---

## 3 ORGANISATION DU PROCESSUS DE FABRICATION DE CIMENT

- **Matières premières :**

- Calcaire : carrière 230 Ha (à 2 km de la cimenterie) ;
- Argile : carrière 70 Ha (à 10 km de la cimenterie) ;
- Sable : carrière 21 Ha (à 6 km de la cimenterie) ;
- Gypse : carrière Medaourouche (à 90 km de la cimenterie) et carrière Ain m'lila (à 100 km) ;
- Fer : mine de Boukhadra (à 50 km de la cimenterie).

- **Planning de réalisation :**

- Mise en vigueur du contact : 15 aout 1990 ;
- Date allumage du four : 11 octobre 1994 ;

Date de production clinker : 14 octobre 1994 ;

- Date de la réception provisoire : 15 décembre 1994 ;
- Date du premier sac expier : 22 mars 1995 ;
- Date de la réception définitive : 21 novembre 1996.

- **Perspectives :**

Les études du projet dans sa phase initiale ont été menées dans le sens de réaliser une cimenterie d'une capacité de 1 million, t/an, par la suite, pour insuffisance de financement, le projet à été revu à la baisse, ou seul une ligne de 500.000 t/an à été retenue l'extension de la cimenterie en réalisant la deuxième ligne technologique s'est affairée nécessaire pour :

- **Rentabilité :**

- ✓ Réalisation d'économie d'échelle qui se traduit par la baisse du cout moyen de production ;
  - ✓ Etalement des couts fixés sur un volume de production plus élevé et croissance du rendement ;
  - ✓ Cash-flow plus important permettant l'autofinancement partiel de la société de la part dinar et facilitant. Le renouvellement des équipements de carrières et le matériel roulant ;
  - ✓ Le remboursement des crédits consentis ;
  - ✓ Une indépendance financière.
-

## DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE

---

### ➤ Satisfaction des besoins locaux et régionaux :

Bon profil à l'économie nationale : par une substitution à l'importation et valorisation des ressources locales.

## 4 ELECTRIFICATION DE LA CIMENTERIE D'EL-MA-LABIOD

### 4.1 Alimentation de la cimenterie en énergie électrique

La cimenterie de EL-MA-LABIOD, reçoit deux (02) lignes de haute tension (90 KV) de l'entreprise SO.N.EL.GAZ (respectivement départ ANABIB et départ EL-HAMMAMET). En deux barres d'aluminium, qui sont protégées par deux disjoncteurs (HT) départ et arrivée, des sectionneurs contre les surcharges, les courts-circuits et les fuites de courant à la terre.

Ces lignes alimentent la sous-station principale. Cette sous-station est équipée par deux transformateurs de puissance 30MVA dont l'un en service et l'autre en réserve.

- **La protection du poste est assurée par :**
  - Relais pour l'alarme et le déclenchement ;
  - Thermomètre ;
  - Protection différentielle ;
  - Niveau d'huile.

Les deux lignes sont raccordées aux jeux de barres coté haute tension des transformateurs (90 KV), à son tour le poste alimente les différents départs de moyen tension de différents atelier (5.5KV) et chaque poste de différent atelier alimente à son tour les différents consommateurs.

Voir schéma de distribution de l'énergie électrique de la cimenterie d'EL-MA-LABIOD figure.2. Ci-dessous.



# DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE

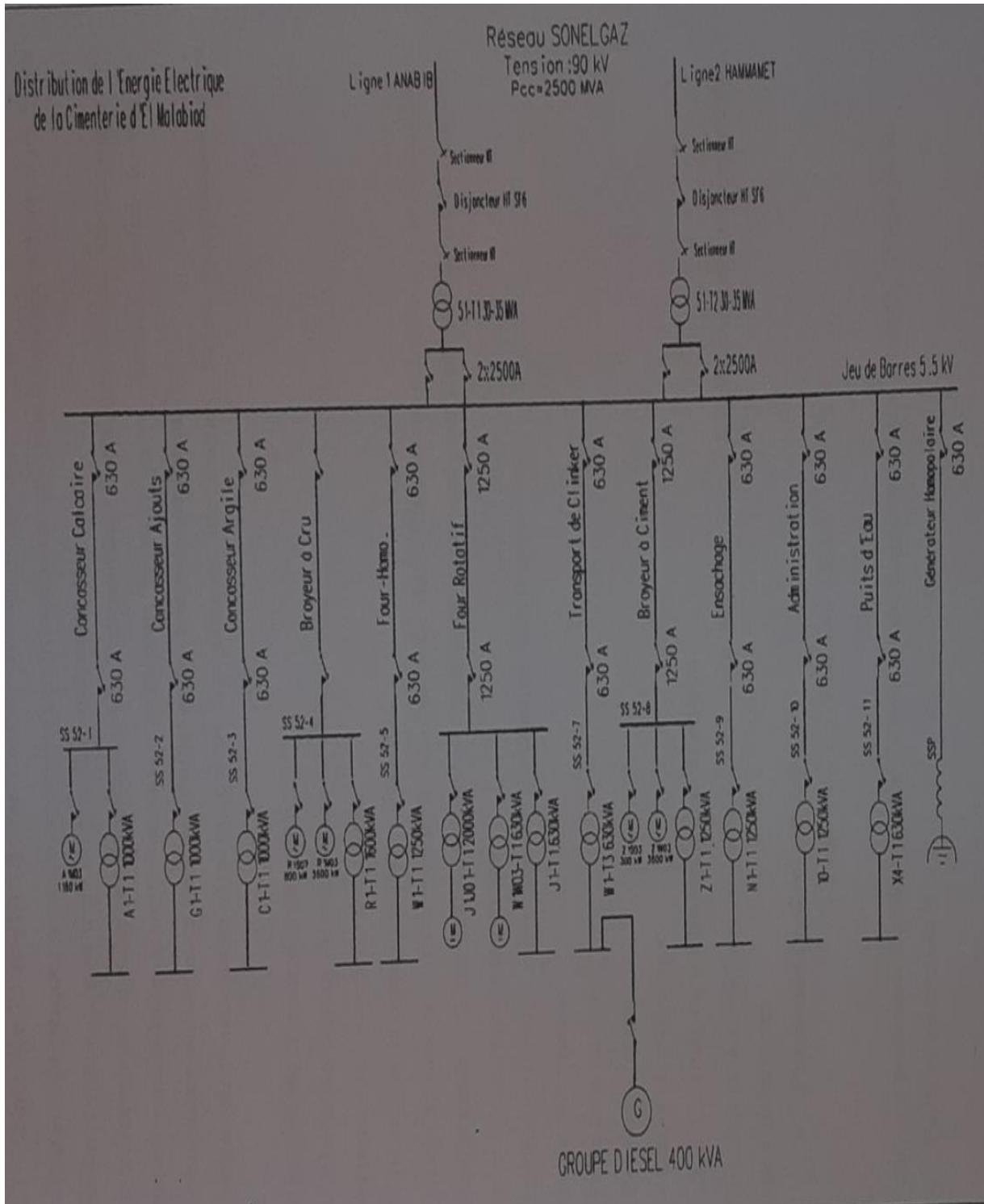


Figure 2. Schéma de distribution de l'énergie électrique de la cimenterie de EL-MA- LABIOD

Introduction

générale

# INTRODUCTION GENERAL

---

La tribologie est une science qui se concentre sur les surfaces en interaction dans mouvement relatif. Des interactions telles que la friction, l'usure et la lubrification ont lieu et sont les principaux facteurs d'un tribosystème complet.

L'usure est un phénomène causé par les surfaces en mouvement et leur interaction, qui provoquent une perte de matière de la surface.

Il existe de nombreux facteurs d'influence dans un système tribologique et la gestion de tous ou même la plupart d'entre eux est très difficile. Lois théoriques de la tribologie et de l'usure sont continuellement remises en cause par la recherche scientifique.

Cette étude se concentre sur des types d'usure spécifiques, qui sont liés aux minéraux En traitement. L'usure par impact, l'abrasion et leurs combinaisons sont les plus importants facteurs de coûts dans les domaines de l'exploitation minière et du traitement des minéraux.

L'objectif principal de cette étude est de trouver les matériaux métallurgiques des poudres optimaux pour la pro-casing, en particulier pour les broyeurs et leurs systèmes de revêtement. L'usure de la doublure à un une grande influence sur les performances du broyeur et la maximisation de la durée de vie du revêtement est important pour les opérateurs et les fabricants.

Le matériau choisi doit avoir bonne résistance à l'usure par impact et à d'autres éléments mécaniques adéquats Propriétés. Un autre objectif est d'optimiser le traitement thermique du matériau choisi et de développer davantage sa résistance à l'usure.

Le broyage est la dernière étape du processus de communion. Les particules de minerai sont réduites en taille par une combinaison d'impact et d'abrasion.

Le broyage est le plus gros consommateur d'énergie de l'industrie minérale. Broyage en boule les usines représentent jusqu'à 40 pour cent des coûts d'exploitation d'une usine de transformation.

Environnement à l'intérieur un broyeur se compose essentiellement d'air, d'eau et de poussière. Les médias de broyage sont considérés ici comme le contre-corps, ce qui crée une usure par impact sur le corps solide.

L'élément interfacial est une grande quantité de particules de minerai, qui agissent comme un abrasif composant de ce tribosystème. Les chemises d'un broyeur sont les éléments qui sont affectés par l'usure.

Pour obtenir plus d'informations dans ce domaine, il faut effectuer une tribosimulation tests, qui imitent au mieux le processus réel. La tribosimulation est un test, dont le but est d'imiter les conditions et l'environnement d'un composant de la machine. Lors de la conception d'une tribosimulation, la question principale est de trouver les mécanismes d'usure les plus importants et concevoir un dispositif de test, qui produit le même type de réponse à l'usure.

## INTRODUCTION GENERAL

---

Les ingénieurs critiquent souvent la tribosimulation, car les résultats des analyses de laboratoire et les tests se sont avérés inutiles dans de nombreuses applications pratiques. Cette critique est souvent en raison d'une surestimation et d'une mauvaise interprétation des taux d'usure publiés et coefficients de frottement.

Systemes tribologiques et mecanismes d'usure et leurs details sont facilement sous-estimes lorsque les ingenieurs se concentrent sur les proprietes des materiaux, en ignorant les proprietes de l'ensemble du systeme.

# Chapitre 1 :

ANALYSE DE L'USURE

## **1.1 INTRODUCTION**

La maintenance est l'une des fonctions de l'entreprise, mais elle n'est pas une fin en soi. A ce titre, elle est peu lisible et parfois méconnue des décideurs qui sous-estiment son impact. Et pourtant, elle devient une composante de plus en plus sensible de la performance de l'entreprise. Il est donc important de la faire mieux connaître.

Concevoir, produire et commercialiser sont des fonctions « naturelles » facilement identifiables et rarement négligées, à juste titre. Par contre, la maintenance n'est qu'un soutien à la production, son principal client. C'est donc une fonction « masquée », agissant comme prestataire de service interne et, de plus, fortement évolutive.

Bien organisée, elle est un facteur important de qualité, de sécurité, de respect des délais et de productivité, donc de compétitivité d'une entreprise évoluée : c'est incontestable après expérience, mais ce n'est pas évident de prime abord. C'est souvent « par défaut » que preuve est faite : le coût des conséquences d'une panne majeure, sa médiatisation parfois, joue un rôle moteur dans la prise de conscience qu'on ne peut pas faire l'économie d'une maintenance efficace.

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif de cet ouvrage, dans lequel nous décollerons au fil des chapitres l'enjeu que représente le maintien efficace des équipements, aussi bien pour la qualité que pour la productivité. Après avoir abordé les méthodes qui permettent le maintien des équipements, nous exposerons les organisations les plus évoluées qui cherchent à optimiser leur usage.

## **1.2. GENERALITE SUR LA MAINTENANCE**

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines ‘manus’ et ‘tenere’, est apparu dans la langue française au XIIIe siècle. L’étymologiste « Wace » a trouvé la forme ‘mainteneor’ (celui qui soutient), utilisée en 1169 : c’est une forme archaïque de « Mainteneur ». Les utilisations anglo-saxonnes du terme sont donc postérieures. À l’époque moderne, le mot est réapparu dans le vocabulaire militaire : « Maintien dans des unités de combat, de l’effectif et du matériel à un niveau constant ». Définition intéressante, puisque l’industrie l’a repris à son compte en l’adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique »

## **1.3. PRESENTATION DE LA MAINTENANCE**

### **1.3.1 Définition de la maintenance**

C’est l’ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d’un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Bien maintenir, c’est assurer l’ensemble de ces opérations au coût optimal.

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- **Maintenir** qui suppose un suivi et une surveillance
- **Rétablir** qui sous-entend l’idée d’une correction de défaut
- **Etat** qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance
- **Coût optimal** qui conditionne l’ensemble des opérations dans un souci d’efficacité économique

### **1.3.2 Objectifs de la maintenance**

#### **❖ Maîtriser les équipements**

- Connaître les technologies utilisées
- Connaître les modes de défaillance de chaque équipement
- Connaître les moyens et outils nécessaires pour leur entretien

#### **❖ Assurer une disponibilité maximale des moyens de production**

- Réduire le nombre des pannes
- Réduire les temps d’intervention

#### **❖ Optimiser les coûts**

- Réduire les coûts des stocks
- Optimiser les ressources humaines et matérielles
- Réduire les coûts de gestion

❖ **Contribuer à la qualité et la sécurité dans l'entreprise**

- Faire des interventions « propres » n'affectant pas la qualité des produits
- Faire des interventions « sûres » respectant la sécurité de tous

❖ **Être un acteur influant pour la pérennité de l'entreprise**

- Coopérer avec les autres services opérationnels de l'entreprise
- S'intégrer à un processus d'amélioration continue

❖ **Préserver l'environnement**

- Lutter contre les pollutions et les nuisances
- Appliquer une politique pour l'économie d'énergie

❖ **Travailler dans des conditions de travail motivantes**

- Gestion des carrières
- Programmes de formations

### **1.3.3 Missions de la maintenance**

Les principales missions de la maintenance sont :

• **Assurer la maintenance des équipements de production**

- ✓ Maintenance corrective : dépannage et réparation.
- ✓ Maintenance préventive, conditionnelle ou systématique.
- ✓ Opérations de surveillance diverses : visite, contrôle, inspections.
- ✓ Révisions partielles ou générales.
- ✓ Approvisionnement en pièces de rechange et consommables.

• **Améliorer l'équipement de production**

- ✓ Augmentation des capacités ou de la qualité de production.
- ✓ Amélioration de la maintenabilité ou de la fiabilité d'un équipement.
- ✓ Amélioration des méthodes d'entretien ou de surveillance.

• **Prendre en charge les travaux neufs ou les travaux de démontage**

- ✓ Construction, installation, démarrage et mise au point des nouveaux équipements.
- ✓ Débranchement, démontage et mise en rebuts des équipements à leur fin de vie.

### 1.3.4. Types de la maintenance

La maintenance des équipements constitue une contrainte réglementaire pour les entreprises possédant des matériels sur lesquels travaillent des salariés. (Article R. 4322-1 et suivants du code du travail du Décret n° 2008-244 du 7 mars 2008). L'entreprise a le choix pour la mise en œuvre de cette maintenance (interne ou externe, planifiée ou non). Ce choix est à la fois technique, organisationnel et économique. Il doit répondre aux besoins des utilisateurs des équipements (de production en général). Le diagramme suivant montre les différents types de maintenance accessibles à une entreprise. Des types différents peuvent être appliqués à des équipements différents. [1]

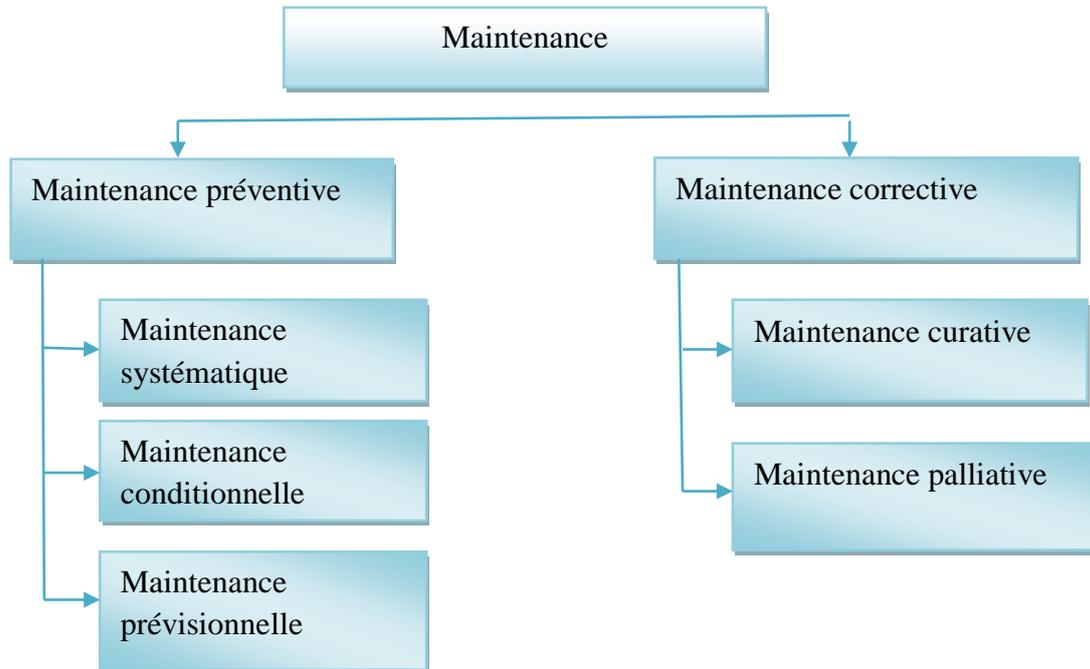


Figure 1.1 : les types de la maintenance

#### 1.3.4.1 Maintenance préventive [2]

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en :

- **Maintenance systématique :**

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

➤ **Maintenance conditionnelle :**

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

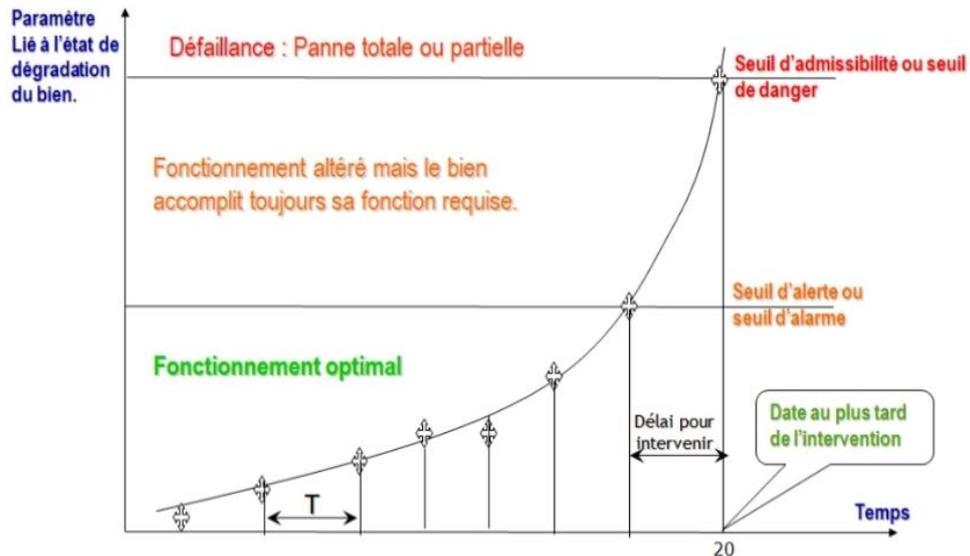


Figure 1.2. Concepts et stratégies de la maintenance préventive conditionnelle [3]

➤ **Maintenance prévisionnelle :**

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

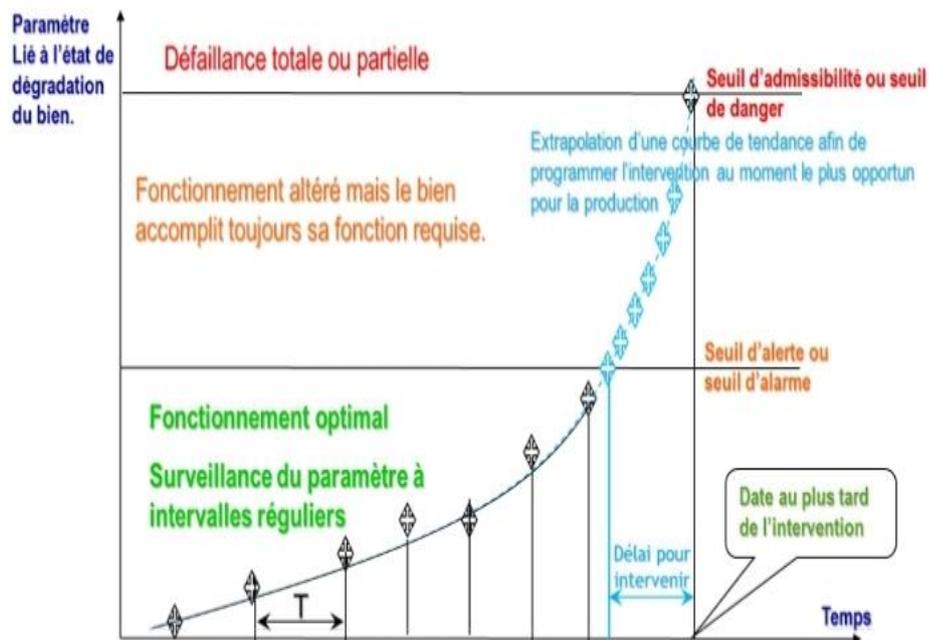
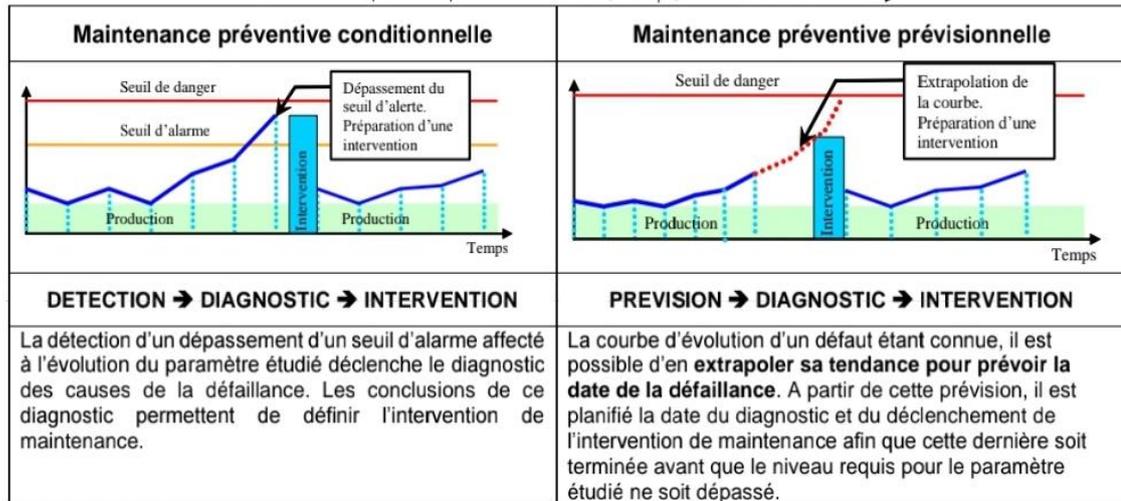


Figure 1.3. Concepts et stratégies de la maintenance préventive prévisionnelle [3]



**Figure.1.4** Comparaison entre la maintenance préventive conditionnelle et maintenance préventive prévisionnelle [3]

### 1.3.4.2 La maintenance corrective [2]

Les opérations de maintenance corrective ont lieu une fois que la défaillance est repérée. Il s'agit en somme d'un dépannage puisque la maintenance corrective est exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

➤ **La maintenance curative :**

Cette forme de maintenance est appliquée lorsqu'un dysfonctionnement est détecté. Elle a pour objet de réparer cette anomalie. Contrairement au palliatif qui agit dans l'urgence, il s'agit là d'une véritable restauration à long terme, de manière définitive. La maintenance curative est un dépannage prioritaire car les arrêts de production provoquent des pertes lourdes pour les entreprises.

Cette intervention apporte une amélioration des performances et des conditions de production. Elle permet la réparation du matériel endommagé sur site ou en atelier ou l'installation d'un parc de machines neuves. Cette maintenance corrective intervient aussi dans la mise en conformité de l'outil de production après le passage d'un organisme de contrôle qui veille au respect de la législation en vigueur. [2]

- **La maintenance palliative**

Elle a pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifié : cela ne signifie pas nécessairement son état initial. Par exemple, si une fuite dans une tuyauterie industrielle ou une cuve de stockage survient, l'opération de maintenance palliative devra faire en sorte que

ces outils retrouvent leur fonction requise, sans pour autant qu'ils retrouvent leur aspect d'origine. Il s'agit d'une action destinée à permettre à un bien de fonctionner provisoirement.

### **1.3.5 Le rôle de la maintenance**

Lorsque l'on s'adresse à un auditoire de responsables de maintenance dans l'industrie, on ne manque pas de faire sourire l'assistance en déclarant que la fonction maintenance revêt dans la vie de tous les jours une importance majeure.

C'est une évidence pour une usine, c'est également vrai pour la vie de tous les jours dans l'existence moderne.

Il nous a paru en effet importante de faire ressortir qu'il s'agissait là d'un phénomène moderne et nouveau. Plus on utilise de moyens moderne et sophistiqués, plus la fonction maintenance prend de l'importance.

A l'heure actuelle, la fonction maintenance est devenue une véritable technique, affaire de spécialistes.

L'équipement minier, comme tous équipement industriel sont conçus et réalisés pour accomplir une performance donnée, on exige maintenant en plus que cet équipement atteigne une endurance donnée. Obtenir les performances données, c'est demander à l'équipement de remplir effectivement les fonctions spécifiées.

Obtenir une endurance donnée, c'est faire en sorte que l'équipement ne tombe pas en panne en cours de fonctionnement.

C'est le rôle de la maintenance au sens large du terme.

On comprend sous le terme "maintenance" la source des opérations ayant pour but d'assurer le fonctionnement normal de la machine pendant sa durée de vie.

La notion de la maintenance se déclare à partir de la conception même du projet. Il y'a toujours plusieurs façons de concevoir un équipement industriel satisfaisant à des performances spécifiées, mais le choix se retient lorsqu'il s'agit de tenir compte de la qualité d'endurance.

La maintenance se trouve aussi au niveau de la fabrication de la machine ou de l'équipement. L'endurance future de la machine est largement conditionnée par la qualité de fabrication.

Les études réalisées ont montré que les défauts de fabrication des organes des machines (état de surfaces médiocres, effets d'entaille, non-respect du tracé de la pièce, mauvais traitement thermique, etc....) sont responsables de près d'un tiers de toutes les ruptures d'éléments.

La maintenance finalement est présente constamment au niveau de l'utilisation de l'équipement.

Ici la maintenance s'oppose à toutes les dégradations de pourrait appeler l'entropie du système et qui se manifeste par l'usure, les défaillances, l'obsolescence, l'erreur, etc....cette maintenance intervient pendant la période de la vie utile, et son but ultime est la disponibilité de l'équipement.

En vertu de ce qui a été dit, plusieurs attitudes ont été mises en place en fonction des objectifs assignés au service maintenance.

En réalité il est difficile de conclure que telle politique est le meilleur, mais généralement elles ont le même principe.

**a) Attitude offensive**

Le service entretien s'efforce les performances du matériel, de diminuer les pannes par une série de mesures. Le cout des arrêts de production est important, ils peuvent rapidement transformer une production rentable en une production déficitaire. Les objectifs de cette attitude sont :

- La diminution du cout d'exploitation.
- L'amélioration du rendement qualitatif et quantitatif.

Remarquons immédiatement que cette attitude (politique) doit être orientée par la direction générale pour éviter par exemple que : l'entretien entreprenne des modifications sur du matériel sous garantie, ou sur du matériel qui va être reformé.

**b) Attitude “défense active”**

Le service entretien va au-devant des défaillances du matériel. Cette attitude est d'une importance majeure. Ses objectifs sont multiples :

- Limiter l'usure du matériel et prévenir en particulier les catastrophes en chaines (la rupture d'une pièce d'importance secondaire provoque elle-même la mise hors d'usage de la machine).
- Maintenir un bon niveau de qualité de la production.
- Limiter les défaillances intempestives du matériel.
- Permettre la prévision des interventions.
- Limiter la consommation énergétique. [4]

### **1.3.6 Operations de maintenance**

#### **1.3.6.1 Opérations de maintenance préventive**

##### **a) Inspections**

Activités de surveillance consistant à relever périodiquement les anomalies et exécuter des réglages ne nécessitant pas des outillages spécifiques, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

##### **b) Visites**

Opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste des opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages des organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

##### **c) Contrôles**

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies et suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information.
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement.
- Les visites sur des opérations de maintenance corrective.

La maintenance palliative n'est pas une action prévue et ne fait donc pas partie d'une politique de maintenance. Ces actions de dépannage provisoire sont à distinguer de la réparation qui caractérise la maintenance curative. La maintenance palliative peut être dangereuse. Le technicien doit donc, en accord avec la direction de la société, faire la balance entre le danger que pourrait représenter l'arrêt de la production et celui inhérent à toute maintenance palliative. [1]

#### **1.3.6.2 Opérations de maintenance corrective**

##### **a) Dépannage**

C'est une action en vue de remettre le matériel en état de fonctionnement. Compte tenu de son objectif, c'est une action de dépannage s'accommodant avec les résultats provisoires (maintenance palliative) et avec des conditions de réalisation, elle sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation est à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps. Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux

d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant de façon continue dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

**b) Réparation**

C'est une intervention définitive et limitée de la maintenance corrective après une panne ou une défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique. [1]

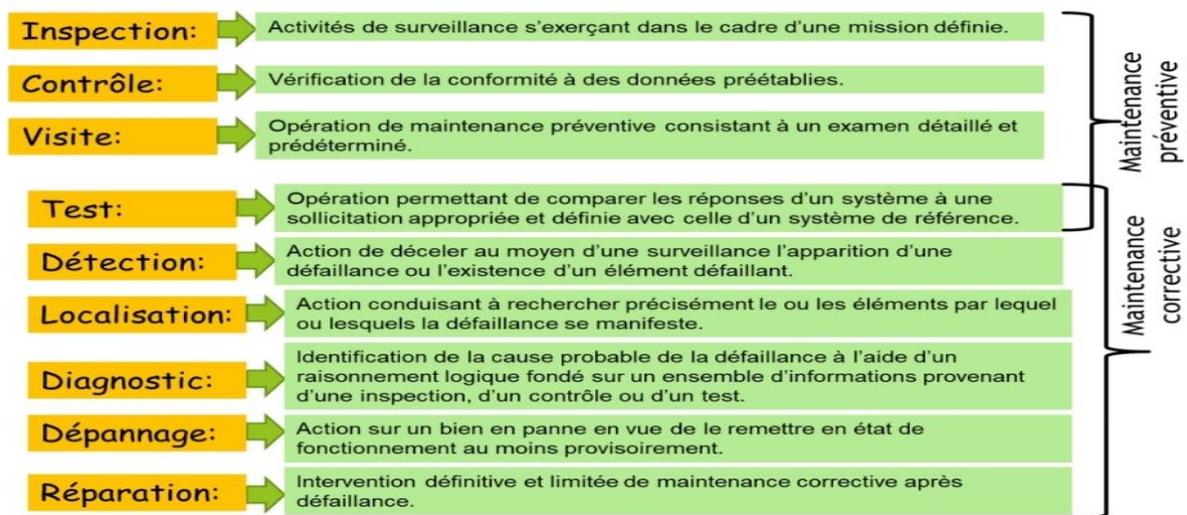
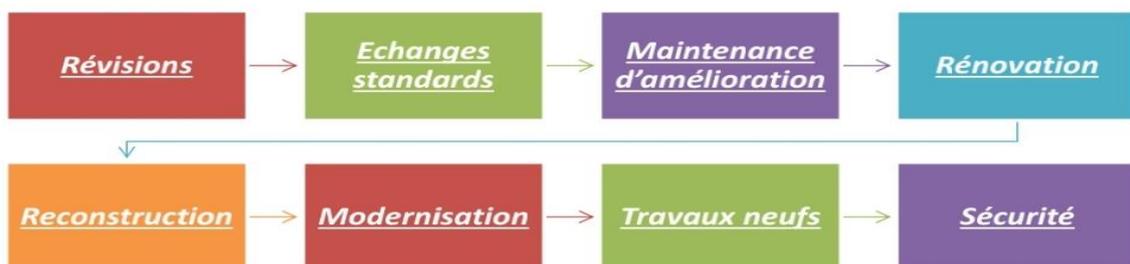


Figure. 1.5. Synthèse – actions de maintenance [3]

**1.3.7 Autres activités liées à la maintenance**



### 1.3.8 Niveaux de maintenance

Niveau 1	Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité. Par l'exploitant sur place / Personnel de production Avec de l'outillage léger défini dans des procédures.
Niveau 2	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventives (rondes) Par un technicien habilité, sur place Avec de l'outillage léger défini dans des procédures, ainsi que des pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
Niveau 3	Identification et diagnostic de panne, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures. Par un technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance. Avec l'outillage prévu plus appareil de mesure, banc d'essai, contrôle...
Niveau 4	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Par une équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central. Avec de l'outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle...
Niveau 5	Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central. Par une équipe complète, polyvalente, en atelier central. Avec des moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Figure.1.6. Les niveaux de la maintenance [3]

### 1.3.9 Etat actuel de la maintenance

Dans certaines entreprises minières visitées (cimenterie de El-Ma-LABIOD, Mine de l'Ouenza, Mine de Boukhadra etc...) et d'après le travail du chercheur Kallouche, ces dernières représentaient quelques anomalies, tant du point de vue état que de la manière dont elles sont exploitées.

En effet, il a été constaté dans certaines carrières d'Algérie un laissé aller presque total dans le maintien en bon état de marche des équipements d'une part et d'autre part l'inexistence d'une gestion optimale pour le suivi de ces derniers dans le domaine de la maintenance, ce qui explique l'absence de rôle de la maintenance dans ces dites entreprises.

Ces faits sont argumentés par les remarques suivantes :

- Une fiabilité moyenne
- Un vieillissement accéléré des équipements.
- Une assez grande consommation de lubrifiants et d'huile hydraulique à cause des fuites devenues fréquentes.
- Un taux assez élevé des immobilisations.
- L'inexistante presque totale d'un appui technique en logistique des services après-vente.
- Manque de programme de la maintenance.
- L'entretien se fait par le personnel de production.
- Les réparations d'urgence.

- Les arts fréquents des machines.
- L'entretien préventif est insuffisant.
- La mauvaise sélection des cadres responsables de l'entretien.
- Un programme inadéquat de formation du personnel.
- Mauvais équipement des ateliers d'entretien.
- Le graissage se réalise d'une façon arbitraire et non en conformité avec la carte de graissage.
- L'équipement des stocks de pièces de rechange. [5]

### **1.3.10 Types de pièce usées rencontrées souvent**

D'après nos visites sur place, plusieurs types de pièce s'usent :

Certaines se réparent et d'autres se changent. Bien entendu on ne peut citer toutes les pièces, mais on se résume à l'essentiel.

Les pièces qui se changent sont généralement des pièces de précision de petites dimensions et qui ne coutent pas cher, ou bien des pièces dont la récupération est quasiment impossible, ou des pièces qui leur récupération prend beaucoup de temps et par conséquent leur prix de rénovation devient égal ou supérieur à une pièce neuve.

Les pièces qui ne sont pas récupérables et se changent directement, en générale sont :

- Les roulements.
- Les roues dentées de petites dimensions.
- Les filtres (à air, à l'huile, etc...).
- Les éléments des moteurs (chemises et pistons, bielles, etc...).
- Les joints d'étanchéité.
- Les boulons.
- Les pneus.

Dans les entreprises minières visitée, les pièces récupérables sont généralement de grand gabarit et ne demandent pas une très grande précision, parmi ces pièces on cite :

#### **1) Pelle rétro :**

- **Dents :** on fait des revêtements purgatifs et curatifs (réparation).  
Fig. 1.7
- **Axes d'articulation et tiges :** on les répare en éliminant le métal fatigué et en faisant le revêtement.

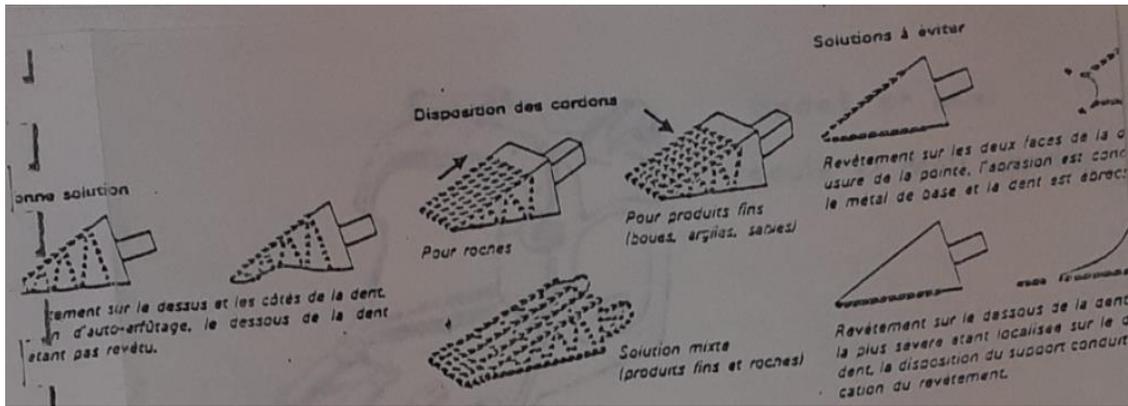


Figure. 1.7. Des revêtements purgatifs et curatifs (réparation).

2) Pelle à godet en butte :

- Chariot inférieur (patins de chenilles). Fig. 1.8
  - Usure des axes de tourillons.
  - Ovalisation des alésages.
  - Usure des bandes de roulement.

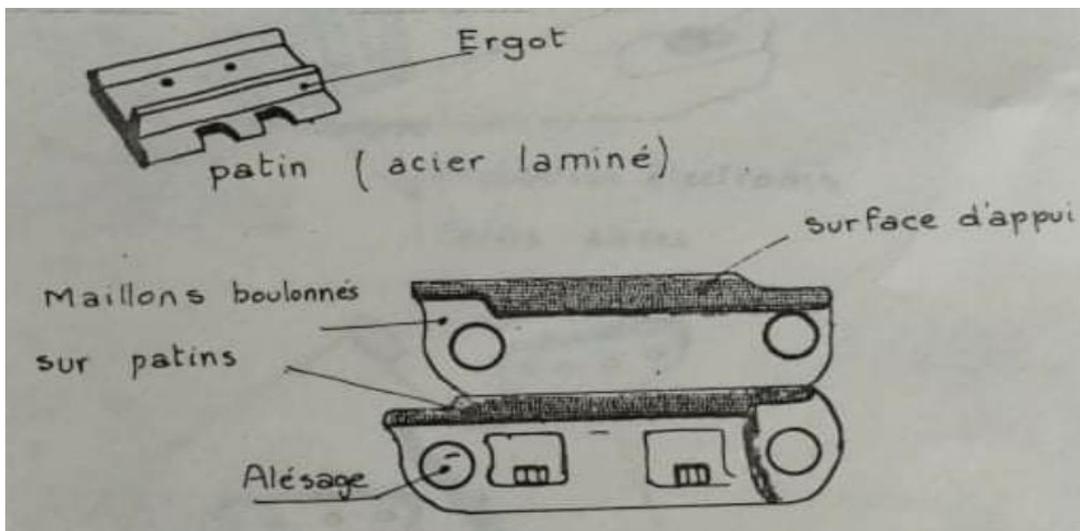


Figure .1.8 : pelle à godet en butte

La réparation des alésages se fait par pose d'une bague et le rechargement de la surface d'appui.

- Les dents de godets. Fig.1.9
 

Ici aussi on procède au rechargement des dents usées et à la protection préventive (anti – abrasion).

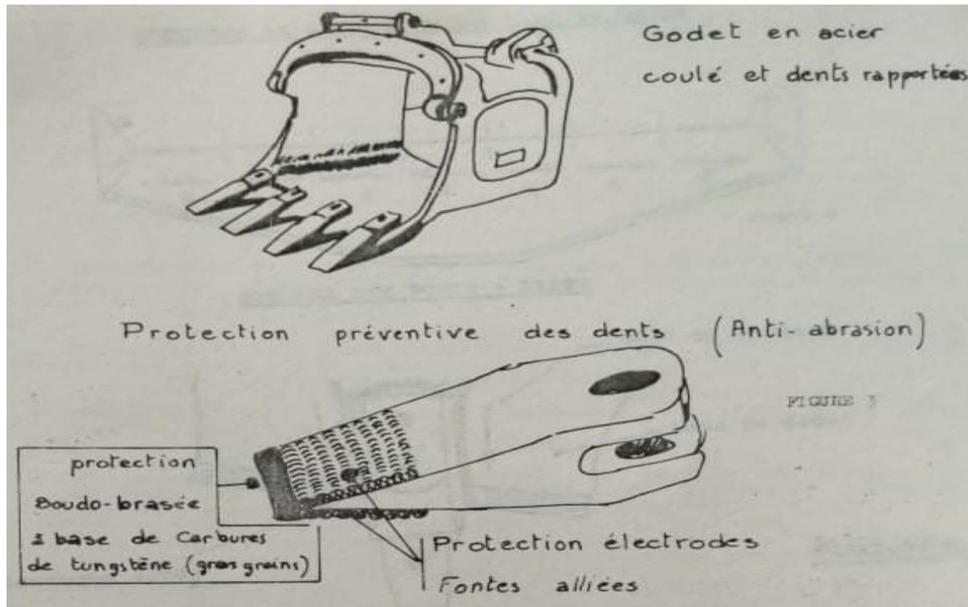


Figure.1.9 : les dents de godets

### 3) Bulldozer et excavateur :

Généralement, ici on procède au rechargement du couteau de bord d'attaque du godet de l'excavateur (Fig.1.10), et au changement de la lame du godet du bulldozer à l'aide du soudage (Fig.1.11).

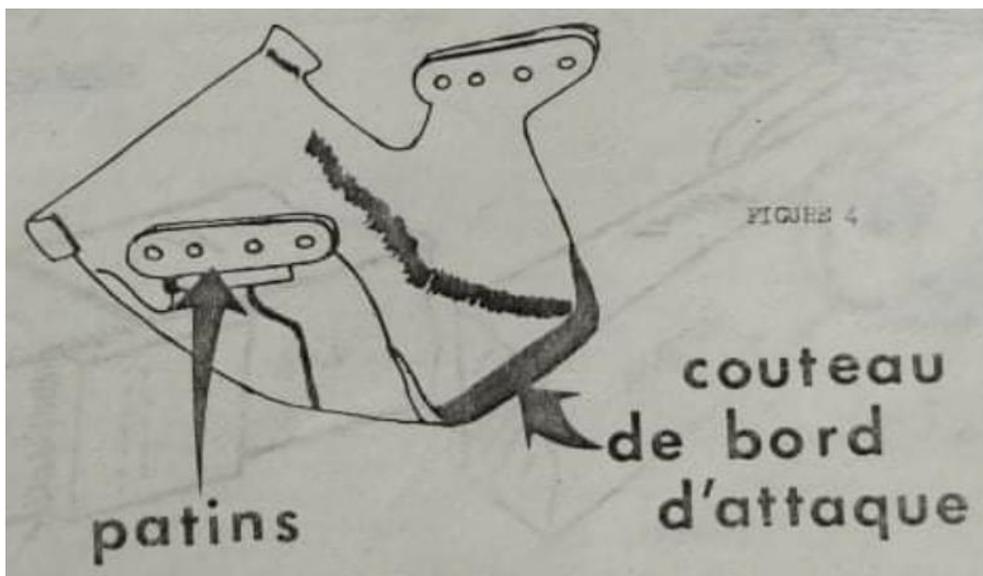


Figure.1.10 : rechargement du couteau de bord d'attaque du godet de l'excavateur

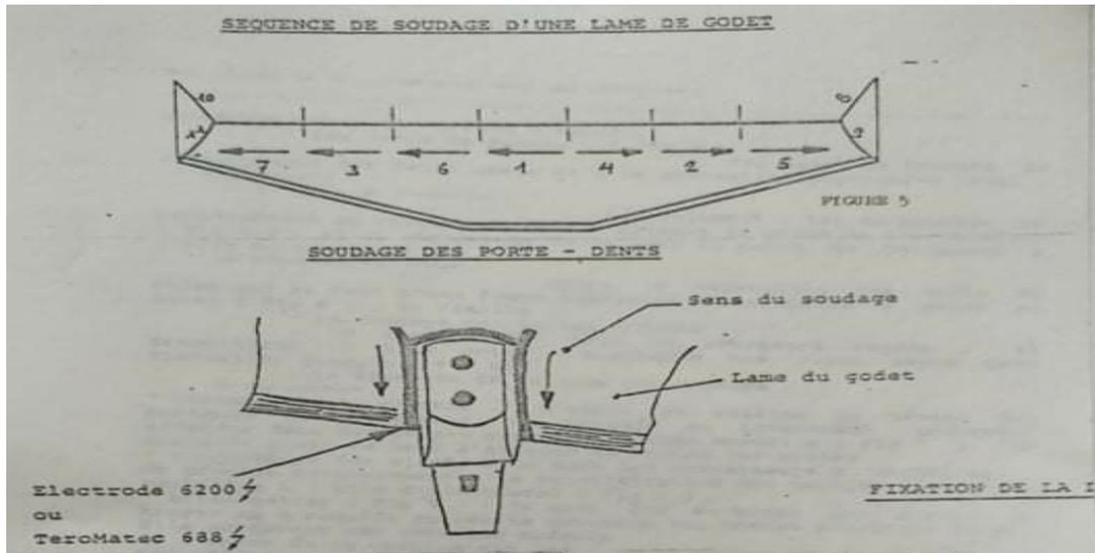


Figure.1.11 : changement de la lame du godet du bulldozer à l'aide du soudage

#### 4) Chargeurs sur pneus :

Outre la réparation des dents du godet qui se fait d'une façon similaire à une pelle à godet en butent (Fig.1.12), on réalise :

- Le soudage des portes – dents.
- Le soudage des bras de chargeurs cassés. Ils travaillent 1.5 à 2 mois, tan disque une pièce neuve peut travailler jusqu'à 5 – 6 ans.
- La fixation de la lame par soudage.

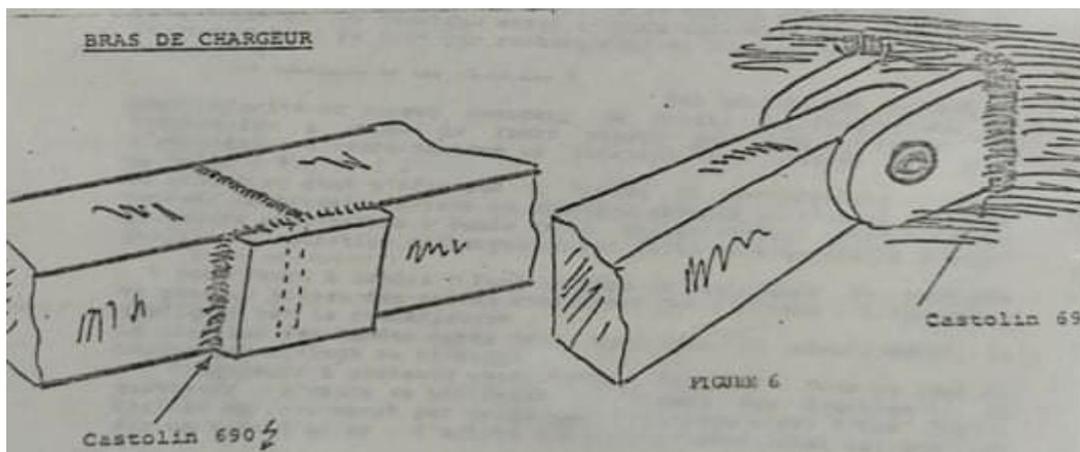
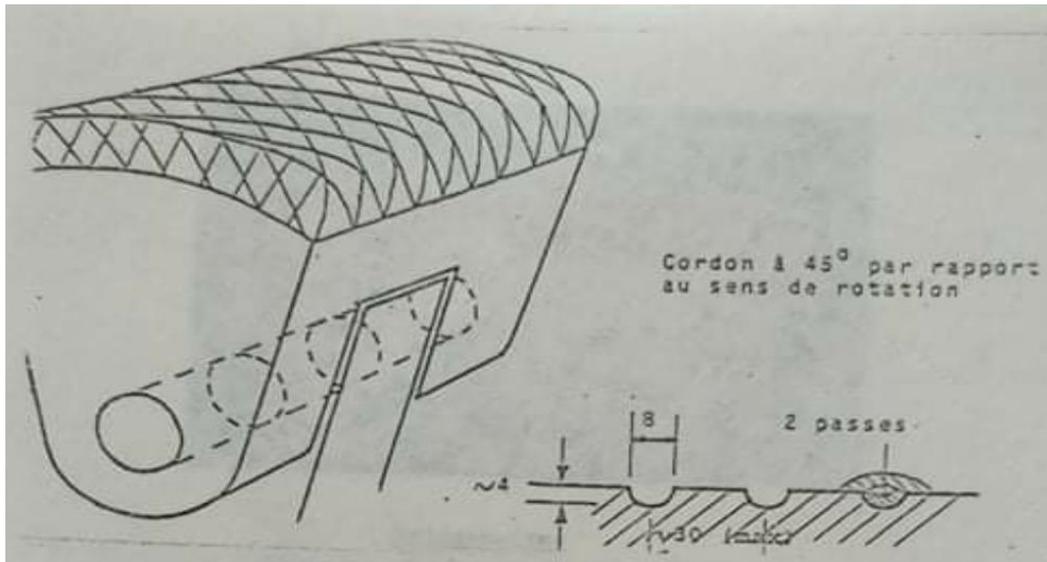


Figure.1.12 : la réparation des dents du godet qui se fait d'une façon similaire à une pelle à godet en butent

#### 5) Concasseur :

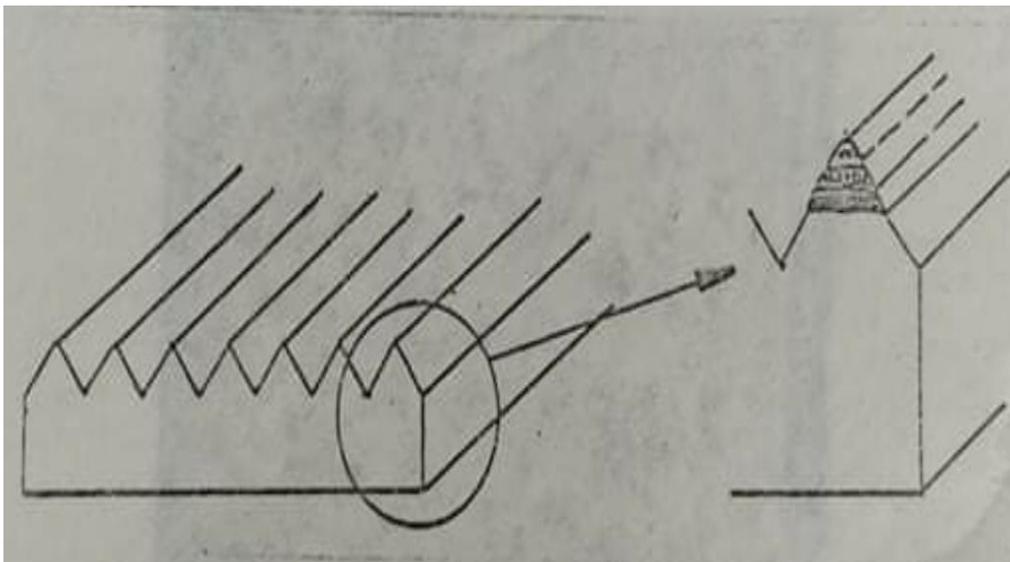
- **Concasseur à clinker** : l'usure se réalise au niveau des marteaux du concasseur. On procède au revêtement préventif effectué dans des gorges avec

l'électrode manuelle (Fig.1.13). On renforce aussi le bord d'attaque et toutes les arêtes.



**Figure.1.13** revêtement préventif effectué dans des gorges avec l'électrode manuelle

- **Concasseur des ajouts :** ce sont concasseurs à mâchoires. On procède généralement à la reconstitution des parties usées des mâchoires à l'aide d'électrodes (Fig.1.14).



**Figure.1.14 :** la reconstitution des parties usées des mâchoires à l'aide d'électrodes

- **Brise mottes (Fig.1.15a et fig.1.15b) :** ce sont des machines qui servent à broyer et à réduire en petits morceaux les mottes d'argiles dures. Elle subit une abrasion modérée.



Figure.1.15a : Brise - mottes



Figure.1.15b : Broyeur à meules

Si l'arbre de la machine est usé, on le répare par le procédé de métallisation. On remarque aussi l'usure des dents de broyage. La reconstitution se fait par rechargement si l'usure dépasse 2cm (Fig.1.16)

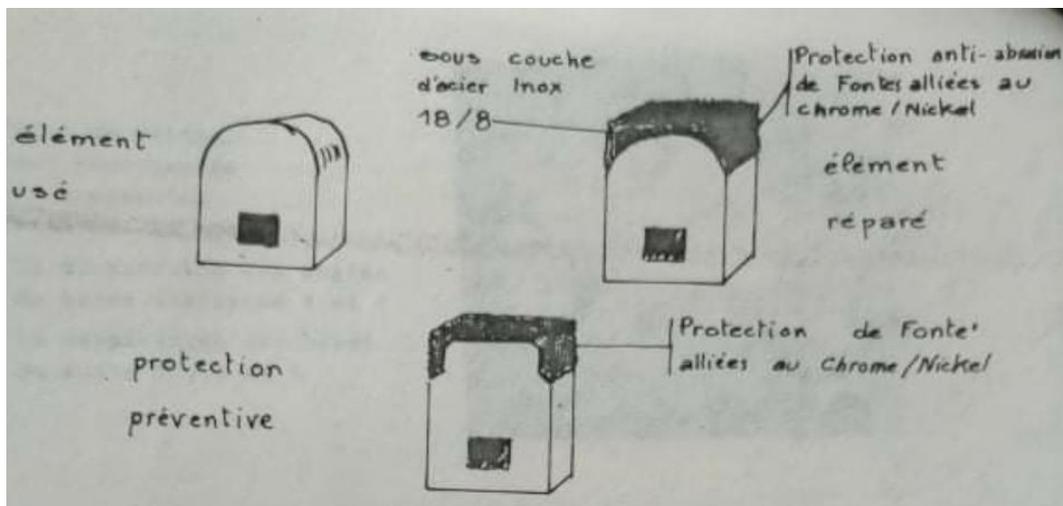
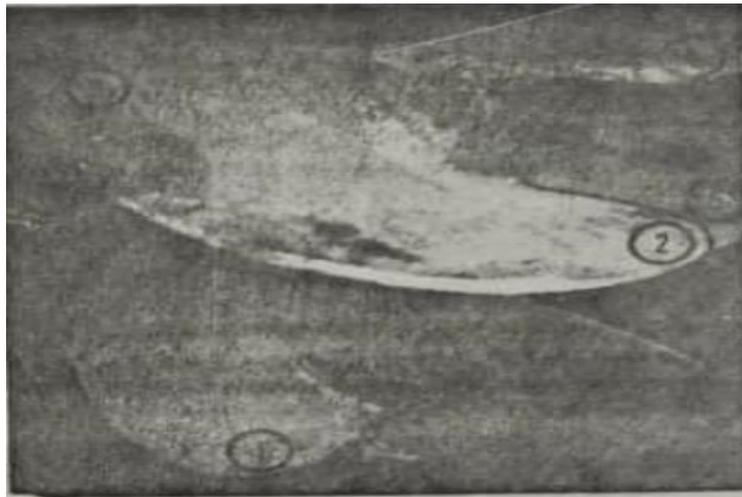


Figure.1.16 : La reconstitution se fait par rechargement si l'usure dépasse 2cm

**6) Les malaxeurs et les mouleuses :**

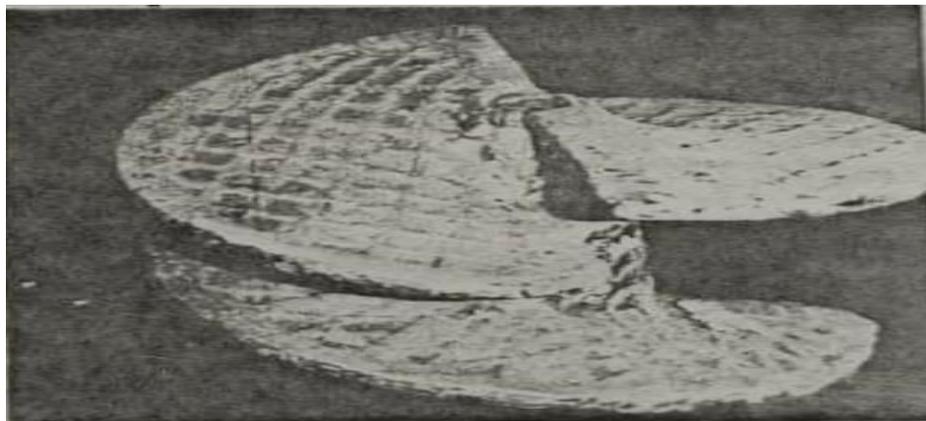
Ces machines ont souvent la particularité de causer beaucoup de soucis au responsable de l'entretien à cause de leurs pièces qui sont soumises à l'abrasion. L'usure maximum se localise aux hélices des deux machines (Fig.1.17 a et b).

La remise en état s'effectue à l'aide du rechargement, mais souvent ce travail devient un problème sérieux si l'usure atteint plusieurs centimètres à cause de la reconstitution difficile du profil. L'opération de rechargement est faite presque chaque 3 mois.



**Figure.1.17a :** Position latérale. Hélice de sortie ayant fonctionné sans protection préalable.

- La disparition des angles de bords d'attaque 1 et 2
- La disparition des bords de fuite 3, 4 et 5.



**Figure.1.17b :** Position frontale. Hélice de sortie ayant fonctionné sans protection préalable.

7) Les convoyeurs :

- **Convoyeur à bandes** : pour ce type de convoyeurs le problème se pose au niveau des portes roulements des rouleaux. L'opération appliquée est le rechargement.  
Le problème des bandes après usure partielle ou cisaillement se résout par coulage ou rivetage.
- **Convoyeurs à plateau métalliques (Fig.1.18)** : pour ce type de convoyeur, l'usure se manifeste au niveau des douilles. On réalise un revêtement par projection d'alliage suivi d'une fusion sur un tube d'acier. D'autres éléments s'usent aussi tel que les tourteaux d'entraînement et de renvoi (Fig.1.19) ainsi que les galets de transport.  
Pour les tourteaux, la remise en état se fait par rechargement avec électrode après l'élimination du métal écroui.  
Pour les galets de petites dimensions, les rechargements se font à l'aide des électrodes manuelles.

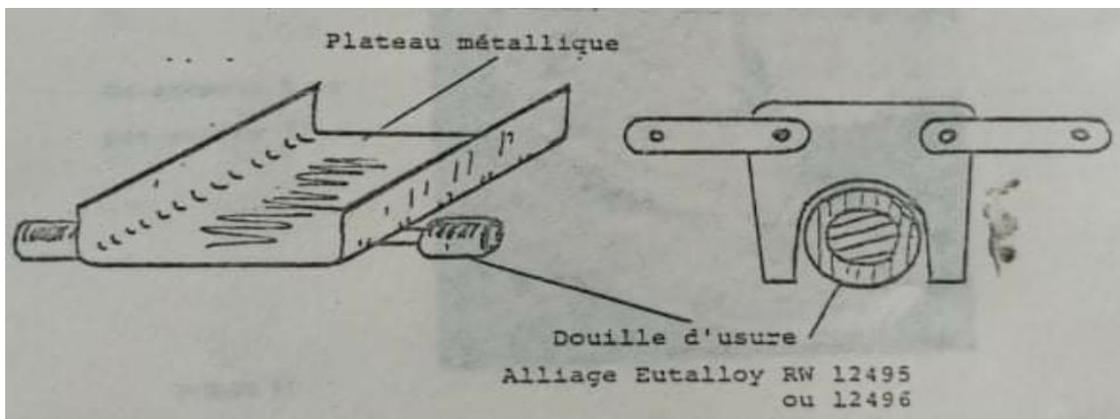


Figure.1.18 : Convoyeurs à plateau métalliques

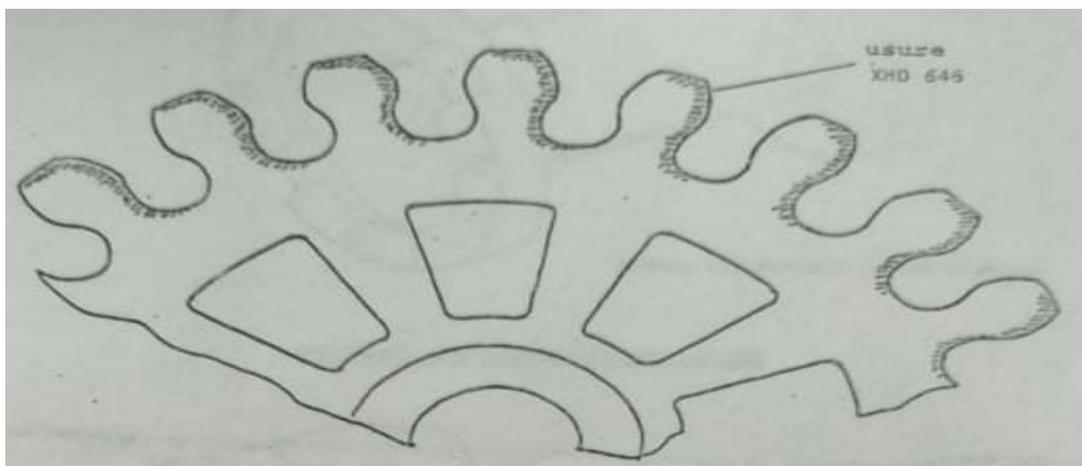


Figure.1.19 : les galets de transport.

- **Elévateurs à godets (Fig.1.20) :** A' part les tourteaux d'entraînement, on applique des revêtements préventifs sur les lèvres des godets par dépôts de cordons parallèles aux bords des lèvres et par croisillons espacés de 20 mm sur les flancs.

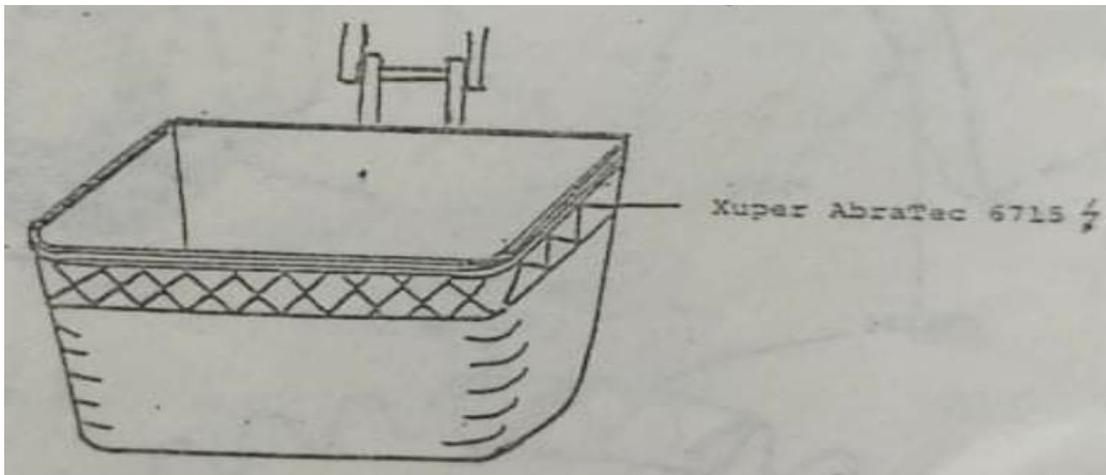


Figure.1.20 : Elévateurs à godets

**8) Manchonne d'accouplement(Fig.1.21) :**

On pratique pour ce genre de pièce des revêtements préventifs ou des opérations de reconstitution. La remise en état se réalise par procédé automatiquement et fusion sans ou avec usinage si nécessaire.

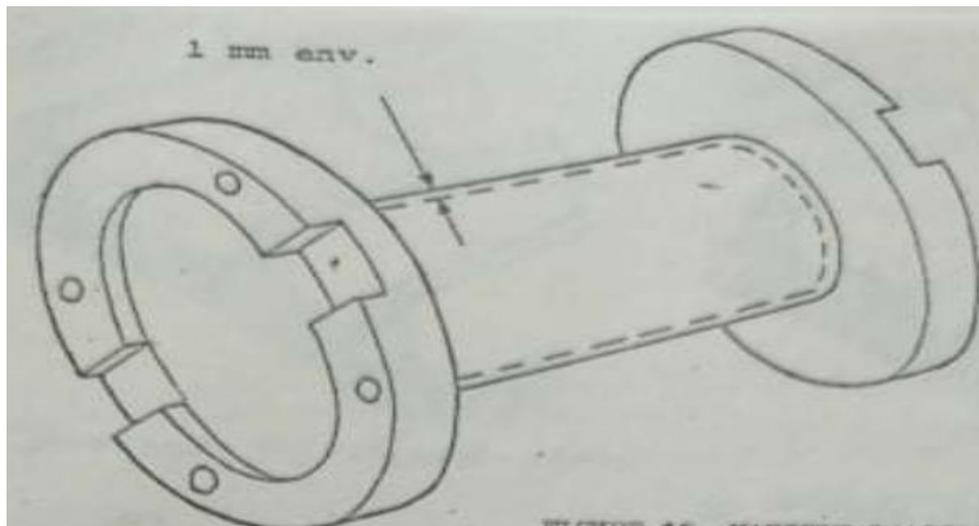


Figure.1.21 : Manchonne d'accouplement

9) Les pignons (Fig.1.22 a et b) :

Les pignons remise en état sont des pignons qui tournent à une vitesse faible. On répare des pignons en fonte et en acier. Les différents types répare sont :

- Les pignons ayant des dents usées.
- Les pignons ayant des dents cassées partiellement ou complètement.

Le remise en état se fait à l'aide de l'arc manuel, du chalumeau ou par dépôt d'alliage avec ou sans le bloc de graphite.

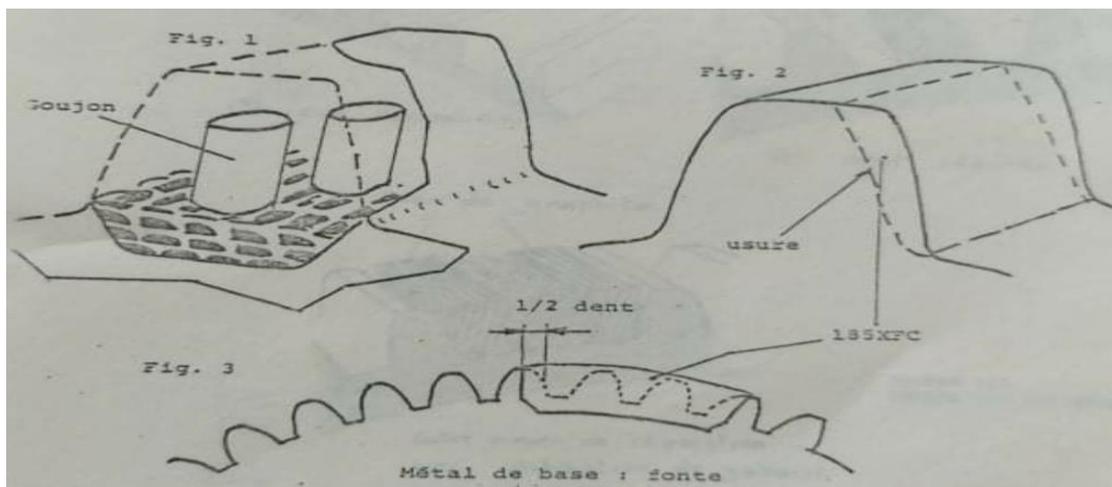


Figure.1.22a : pignons on fonte et en acier

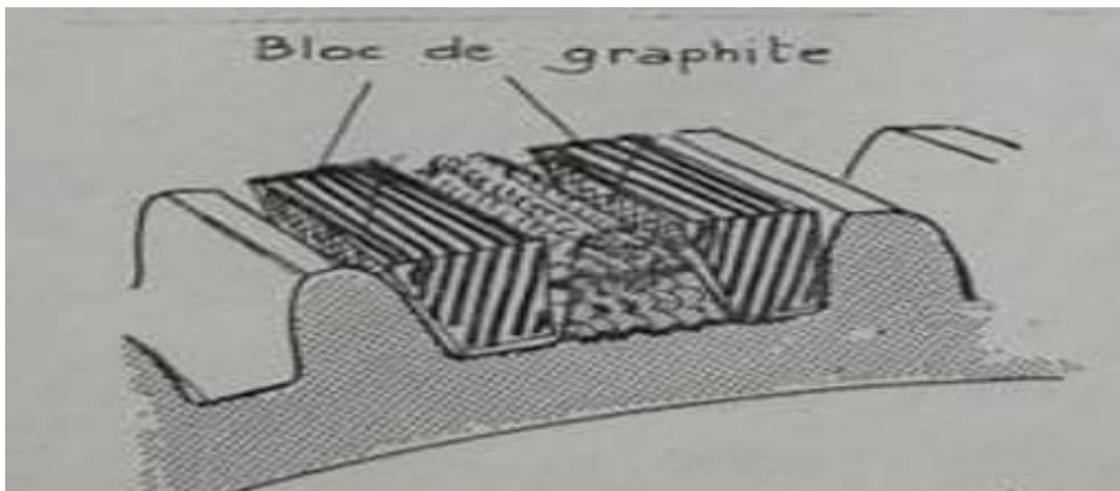


Figure.1.22b : réparation des pignons.

**10) Les arbres :**

Dans presque toutes les unités visitées, on procède à la reconstitution des arbres.

Les arbres reconstitués sont des arbres usés partiellement (à l'endroit des paliers par exemple) et qui ont des dimensions allant jusqu'à 3 m de longueur et 300 mm de diamètre. Le procédé utilisé est le rechargement.

Les arbres de petites dimensions sont généralement changés (fabriqués) si le métal de base est disponible. [6]

## **CONCLUSION**

D'après ce chapitre nous constatons que les pièces de rechange représentent un des grands soucis des exploitants d'installations industriels et d'équipements.

Il a été constaté qu'au moins 50% des raisons d'indisponibilité des équipements en Algérie est due à un manque de pièce. De-ci est dû essentiellement aux facteurs suivants :

- L'ignorance de la maintenance dans les entreprises.
- La grande diversité de constructeurs d'équipement et le peu d'effort réalisé en matière de standardisation des machines et des composants.
- Mauvais choix de pièce à mettre en stock.

Pour remédier à ce problème, et à cause de la crise économique, les exploitants ont à choisir entre deux solutions : la fabrication de la pièce de rechange ou sa rénovation.

La 1<sup>ère</sup> solution est insoutenable à cause de problèmes d'ordre technique et économiques. Alors on opte pour la 2<sup>ème</sup> solution, mais là aussi on se heurte à plusieurs problèmes qui limitent le domaine de rénovation, permis ces problèmes :

- Mauvaise organisation des ateliers.
- Manque d'équipements.
- Mauvaise qualification du personnel.

Alors tous ces problèmes ont limité le domaine de rénovation aux pièces mécano-soudées.

# CHAPITRE 2 :

## ANALYSE DE L'USURE



**2.1. INTRODUCTION**

En technologie, on différencie entre l'usure morale et l'usure physique. On caractérise les machines, appareils, équipements, etc., comme usure morale, si elles sont posées extérieurement des ateliers de fabrication, elles peuvent être encore fonctionnelles à cause :

- Du développement technique, et par suite, elles seront remplacées ;
- De manque de productivité ;
- Par manque de maintenance technique.

L'usure physique dans le sens technique, est défini comme un processus caractérisé par une attaque mécanique, en première ligne par un frottement conduisant à une perte progressive de matière en surface d'un corps solide par séparation de petites particules, donc c'est un changement de forme non voulue de la surface.

L'usure peut avoir lieu dans un mouvement relatif entre un objet et son milieu gazeux liquide ou solide. Le plus souvent l'usure est accompagnée par des phénomènes de corrosion où ces derniers ne sont pas clairs à séparer de l'usure. Même les connaissances et résultats obtenus pour les phénomènes d'usure n'ont pas une validité générale pour simplifier le danger de ce phénomène

Les pertes occasionnées par l'usure dans l'industrie mondiale s'élèvent annuellement à plusieurs millions de tonnes de métaux. A cause de l'usure, beaucoup de machines et équipements sont remplacés, le plus souvent, avec d'énormes dépenses. Par exemple, aux Etats Unis, on estime ces pertes à 2,3 kg d'acier pour chaque tonne de minerais traitée.

Il n'est pas possible d'indiquer par l'intermédiaire d'une certaine valeur caractéristique la tenue à l'usure d'un métal vis-à-vis des différentes contraintes ou sollicitations d'usure. L'utilisation économique d'un métal est défini seulement par les différents essais d'usure et pour des sollicitations bien déterminées.

Une analyse du processus indique que la tenue à l'usure ou le phénomène d'usure sont influencés par :

- Les métaux accouplés ;
- La rugosité des couches limites (surface, lubrification) ;
- Le type de mouvement (glissement, roulement, écoulement, chocs, etc.) ;
- La vitesse du mouvement ;
- L'enlèvement des particules solides.

Les principaux types d'usure sont classés d'après les phases de contact, les interactions mécaniques et l'importance relative des effets mécaniques et chimiques.

On distingue deux catégories principales d'usure :

- L'usure due aux frottements entre corps solides ;
- L'usure due aux impacts et aux fluides (érosion)

**2.2 DEFINITION D'USURE.**

L'usure est un processus irréversible qui entraîne une diminution progressive de la cote, accompagnée d'une déformation plus ou moins marquée du profil au cours de l'utilisation de la machine. Habituellement, cela provoque la déformation des pièces et l'altération de leurs surfaces de travail.

Quand les changements intervenus atteignent un certain degré, on assiste à une baisse brusque des pièces isolées, des mécanismes et de l'ensemble tout entier et la réparation devient inévitable.

L'usure des éléments de machines n'est pas uniforme ; différentes pièces étant plus ou moins touchées en fonction des conditions d'utilisation. [7]

**2.3 DEFAILLANCES PROGRESSIVES ET DEFAILLANCES SUBITS****2.3.1 Défaillance subite [8]**

Les défaillances subites sont provoquées par une usure des pièces qui se développe à un rythme accéléré pour atteindre dans un court laps de temps des valeurs interdisant l'utilisation ultérieure de la machine.

Les défaillances subites peuvent apparaître par suite d'un entretien de mauvaise qualité (en particulier, par le non respect du régime de graissage) d'une surcharge de la machine durant sans utilisation ou d'une réparation de mauvaise importante qualité effectuée de plus avec un certain retard.

Dans certain cas défaillances de ce genre mettent l'équipement hors de service pour une long période et la remise en état nécessitant des moyens importants.

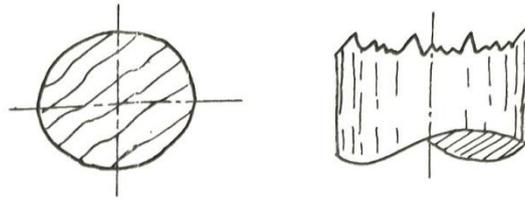
Le plus souvent, la cause de ces défaillances est la cassure des pièces à cause du mauvais fonctionnement des éléments de la machine, des fautes de la projection de la machine, des fautes d'usinage et de l'assemblage des pièces, ainsi que la mauvaise exploitation de la machine. Les différents types de cassure sont les suivantes:

- Cassure ductile ;
- Cassure fragile ;
- Cassure de fatigue (d'endurance).

**2.3.1.1 Cassure ductile**

Elle est liée à la qualité basse des matériaux des pièces, à la surcharge de la machine et quelques fois aux erreurs de projection.

L'aspect de la cassure ductile est en général fibreux, sans états cristallins (Fig.3.1). La cassure ductile accompagne toujours les déformations plastiques des matériaux des pièces.



**Fig. 2.1 :** L'aspect de la cassure ductile est en général fibreux, sans états cristallins

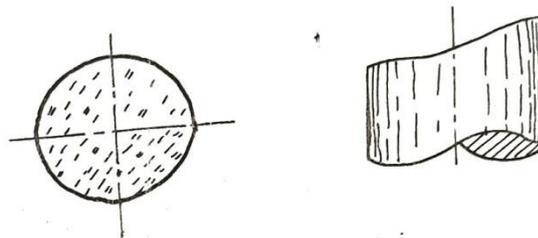
A l'endroit de la rupture (cassure), la surface de la section transversale de la pièce peut être un peu plus petite par rapport à celle initiale, surtout dans le cas lorsque la pièce subit une extension.

Il est possible assez souvent de détecter le commencement de la destruction ductile. Elle provoque le changement des paramètres de travail de la machine (changement de la vitesse et de la puissance, présence d'un bruit élevé, changement de la position de certaines pièces ou sous ensembles, etc....).

### 2.3.1.2 Cassure fragile :

Elle se réalise intensément, sans une déformation plastique créable de métal de la pièce. C'est pourquoi, il est difficile d'amorcer la probabilité de la destruction de ce type. L'aspect de la cassure fragile est cristallin (Figure 2.2).

La cassure fragile des pièces peut avoir lieu lorsque la machine travaille dans les conditions de base température.



**Fig.2.2 :** L'aspect de la cassure fragile est cristallin

### 2.3.1.3. Cassure de fatigue : [9]

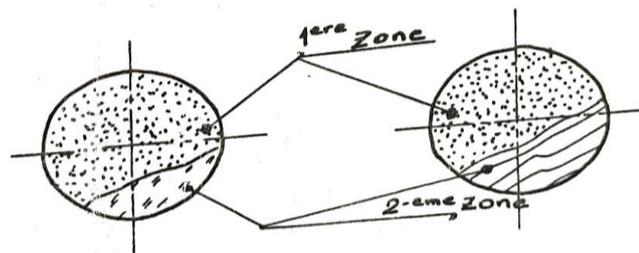
Elle se produit seulement après une longue période de travail normale de la machine (pièce). Sur la section de cassure de ce type (Fig.2.3), on peut distinguer deux zones :

- 1<sup>er</sup> zone de développement lent de la fissure.
- 2<sup>em</sup> zone de destruction brusque de reste de la section de la pièce.

L'aspect de la 1<sup>er</sup> zone est lisse et mate. La 2eme zone peut être soit fibreuse soit éclats cristallines comme pour le cas de la cassure ductile, soit cristallines comme pour la cassure fragile.

Ce la dépend du caractère de la destruction finale de la pièce.

D'après la rugosité de la 1<sup>ère</sup> zone on peut déterminer la vitesse de développement de la fissure : la surface de la zone étant plus polie la fissure se développe plus lentement.



**Fig.2.3 : Cassure de fatigue**

**2.3.2 Défaillance progressive : [8]**

Les défaillance progressive comme leur nom l'indiquent, se font sentir petit à petit à la suite d'un fonctionnement de longue durée de la machine dans des conditions normales, sans entrainer une baisse sensible de ses performances.

Pour certaines pièces, on a fixé l'usure limite admissible qu'une fois atteinte, interdit l'utilisation de l'élément intéressé.

Habituellement, on établit les usures limite des pièces en se guidant par les critères suivants :

- Abaissement de la résistance et de la fiabilité des pièces ;
- Altération du caractère de l'assemblage ;
- Influence exercée par la pièce usée sur le fonctionnement des autres éléments constitutifs de l'ensemble.

L'intensité (rapidité de développement) de l'usure des éléments des machines est déterminée principalement par les facteurs suivants :

- Conditions et régimes de fonctionnement.
- Matériaux utilisés pour leur fabrication.
- Graissage des pièces frottantes.
- Sollicitation spécifique et vitesse de glissement.
- Température dans la zone de contact et milieu ambiant (empoussiérage, etc.....)

**2.4 NATURE DE L'USURE :**

Lors de leur utilisation, les pièces des machines non seulement se cassent, mais aussi perdent leurs dimensions initiales ; alors les jeux d'assemblage des pièces augmentent tandis que les valeurs de serrage diminuent. La cause principale de tout cela est l'usure des pièces.

En fonction du caractère des phénomènes essentiels conditionnant le facteur de l'usure, tous les types de ce dernier sont classés en trois groupes :

- Usure mécanique.
- Usure moléculaire-mécanique.
- Usure corrosive-mécanique.

**2.4.1 Usure mécanique :**

L'usure mécanique apparaît lors du fonctionnement des pièces très répandues qui forment paire, comme, par exemple, les couples arbre-palier, bâti-table, piston-cylindre, etc. Elle se manifeste également lorsqu'il s'agit du frottement de roulement. Dans ce cas aussi le frottement de glissement est inévitable mais l'usure qui en résulte est insignifiante.

L'usure mécanique peut également être causée par suite d'un entretien de mauvaise qualité des pièces constitutives de l'équipement. L'usure est accélérée par la perturbation du fonctionnement du système de graissage par une réparation tardivement effectuée et qui de plus, laisse à désirer, et par une forte surcharge des machines.

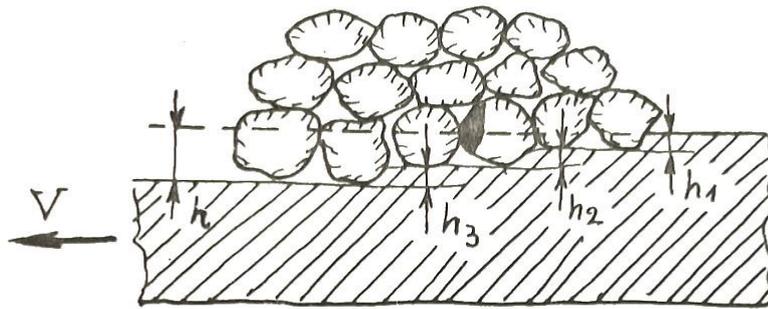
L'importance et le caractère de l'usure des pièces sont fonction des propriétés physiques et mécaniques des couches superficielles du métal des conditions de fonctionnement des surfaces conjuguées, de la pression exercée de la vitesse relative de déplacement, des conditions de graissage des surfaces flottantes. De l'état de celles-ci, etc...

A son tour l'usure mécanique se subdivise en :

- Usure par abrasion.
- Usure par érosion.
- Usure par cavitation.
- Usure de fatigue.

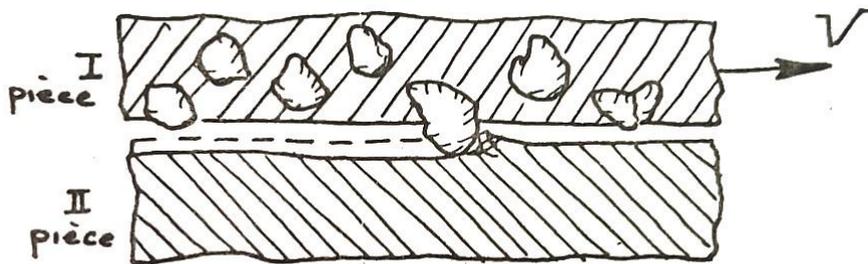
**2.4.1.1 L'usure par abrasion**

Elle résulte de l'action exercée par les forces de frottement qui naissent lors du glissement de deux pièces l'une sur l'autre sous l'action des particules dures ayant le contact mobile avec la pièce et coupant la matière de sa surface (Fig.2.4).



**Fig.2.4 : L'usure par abrasion**

Cette usure provoque l'abrasion (enlèvement) de la couche superficielle du métal des pièces conjuguées ce qui se traduit par une modification des cotes initiales de celles-ci. Comme usure par abrasion on considère aussi la destruction des surfaces de contact de deux pièces par les particules dures du métal de l'une des deux pièces (Fig.2.5).



**Fig.2.5 : la destruction des surfaces de contact de deux pièces par les particules dures du métal de l'une des deux pièces**

La particule dure de la 1<sup>ère</sup> pièce laboure d'abord un sillon sur la surface de la 2<sup>ème</sup> pièce fabriquée de métal plus doux que celui de la 1<sup>ère</sup> pièce.

Mais à cause de la compression du métal coupé devant la particule dure cette dernière à un certain moment s'arrache de la surface maternelle et commence à couper la surface de la 1<sup>ère</sup> pièce.

Ainsi les deux surfaces des deux pièces en contact s'usent simultanément avec une intensité plus basse de la pièce dure par rapport à celle douce.

La détérioration des pièces est plus rapide et plus prononcée si ces dernières sont soumises à l'usure abrasive qui a lieu lorsque des particules abrasives et métalliques s'infiltrèrent entre les surfaces flottantes. Habituellement cette infiltration se produit sur les machines-outils affectées à l'usinage des ébauches venues de fonderie, ou bien comme indiqué ci-dessus elle résulte de l'usure des surfaces frottées elles-mêmes ou de la pénétration des poussières ou d'autres corps étrangers. Ces particules conservant pour longtemps leurs propriétés coupantes, Ces portent des rayures et des guipures sur les surfaces frottées et

forment avec la crasse qui les entoure une pate abrasive qui provoque un rodage intensif et usure accélérée des pièces conjuguées.

L'usure par abrasion est le cas pour les machines minières dont les différentes pièces se trouvent constamment ou périodiquement en contact avec la roche abrasive. Les pièces des machines minières qui subissent largement l'usure par abrasion sont entre autres :

L'outil de forage des sondeuses et des foreuses, les godets des excavateurs des chargeuses et des scrapers, les lames des bulldozers, les chenilles des mécanismes de translation, etc.

La poussière abrasive en pénétrant dans les canters à l'huile provoque l'usure rapide des dents de pignons, des roulements. Des paliers de glissement des arbres, etc.

#### **2.4.1.2 L'usure par érosion :**

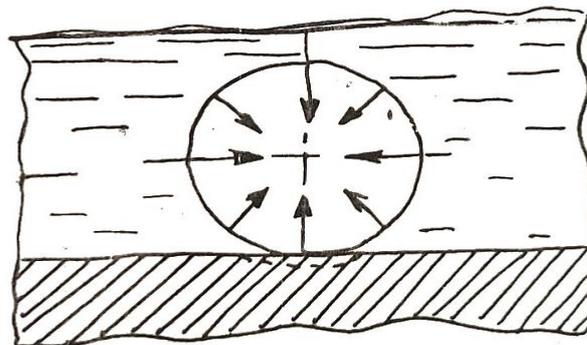
C'est la perte de matières d'une surface de la pièce due au contact avec un fluide en mouvement relatif contenant des particules dures.

L'usure par érosion augmente avec l'augmentation de la vitesse de déplacement du courant de fluide, avec l'augmentation de la quantité, de la dureté et des dimensions des particules abrasives dans le courant.

Les pièces soumises à l'usure par érosion sont les tuyauteries et les éléments de construction des pompes destinées à pomper l'eau sale. Outre cela on peut nommer les différents équipements qu'on utilise pour l'enrichissement des minéraux utiles : Pompes à déblais, cyclons hydrauliques, classificateurs à spirales, moulins à billes, broyeurs à barres, etc.

#### **2.4.1.3 Usure par cavitation :**

Elle est due à l'action du changement local de la pression du liquide. Ce type d'usure est engendrée à la surface des pièces en mouvement dans un liquide, telles que les pales de turbines, les hélices, les éléments des pompes des installations d'exhaure (Fig.2.6).



**Fig.2.6 : Usure par cavitation**

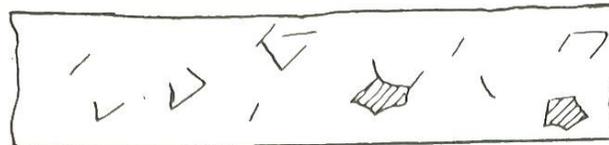
Le phénomène de cette usure est le suivant : Au niveau des raccourcissements locaux et des raccords courbes de la conduite d'aspiration de l'installation de pompage, il se produit un changement de pression dans le liquide jusqu'à ce que se produisent, par dégazage ou formation de vapeur, des bulles qui sont entraînées par le courant du liquide à l'intérieur de la pompe, où elles sont implosées. Les particules liquides se précipitent vers le centre de la cavité des bulles implosées ce qui entraîne ce qu'on appelle en milieu hydraulique le coup de bélier, ce qui provoque une déformation élastique du métal de la pièce puis la fatigue et l'effondrement par arrachement de cette partie du métal.

Ce type d'usure, est le plus souvent lié à la conception et à la forme des pièces qui la subissent.

#### 2.4.1.4 L'usure de fatigue :

Elle est due à l'action d'une variation cyclique (alternative) des charges (contraintes) appliquées à une certaine partie de la pièce.

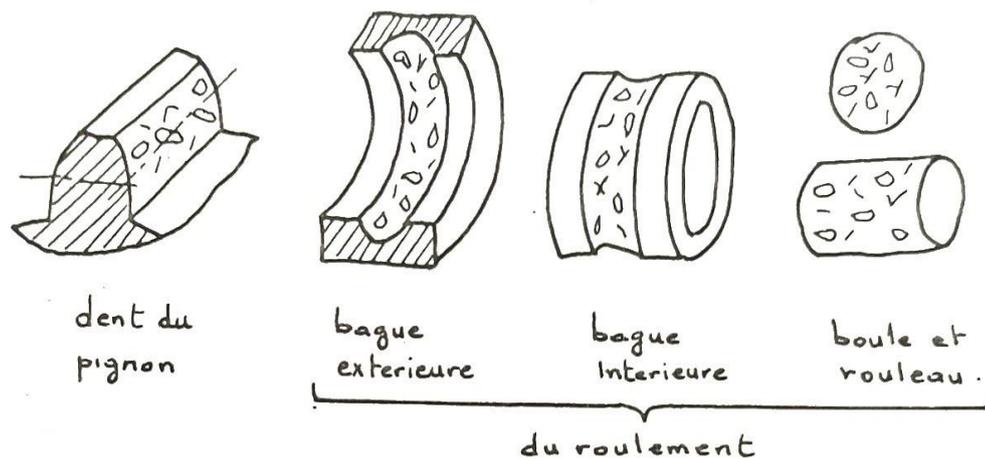
La fatigue se manifeste à la suite d'un processus de vieillissement superficiel de la matière elle-même après une longue période de travail de la pièce dans des conditions normales par une déformation élastique de la surface de contact plusieurs fois, suivie de l'apparition de piqures de craquelures en surfaces et de microfissures non visibles à l'œil au (Fig.2.7).



**Fig.2.7 :** L'usure de fatigue

Les microfissures s'agrandissent et se réunissent entre elles la détérioration brutale de la pièce deviennent inévitable à cause de la cavité formée sur sa surface à la suite d'un détachement des particules du métal. On remarque qu'après l'apparition des premières fissures, l'intensité de l'usure augmente considérablement.

Les dents des pignons les bagues et les éléments roulants du roulement, ainsi que les arbres et les ressorts casse à cause de la fatigue qui apparait dans une section transversale (Fig. 2.8). L'aspect de ces cassures est montré au paragraphe 1A.



**Fig. 2.8 :** les arbres et les ressorts casse à cause de la fatigue qui apparait dans une section transversale

### 2.4.2 Usure moléculaire-mécanique

Cette usure se traduit par le collage d'une surface à l'autre .Ce phénomène à lieu en présence d'un graissage insuffisant et d'une pression spécifique importante. Cette usure. Est caractérisée par l'adhérence moléculaire sur les différentes parties des surfaces de frottement des pièces sous l'action des charges importantes avec la rupture consécutive de ces liaisons. On appelle ce type d'usure aussi l'usure par grippage.

Cette usure est caractéristique pour les pièces nouvelles dont les surfaces de contact sont petites et les pressions spécifiques aux points de contact sont grandes. Alors, lors du mouvement relatif des pièces la température du métal au contact augmente considérablement les films d'huile ou d'oxyde couvrant les surfaces des pièces s'écrasent et il se réalise l'adhérence moléculaire (soudage froid) qui provoque la destruction des surfaces en contact.

Lorsqu'une jonction cède lors du glissement elle peut être cisailée de l'une des cartes façons suivantes (Fig.2.9) :

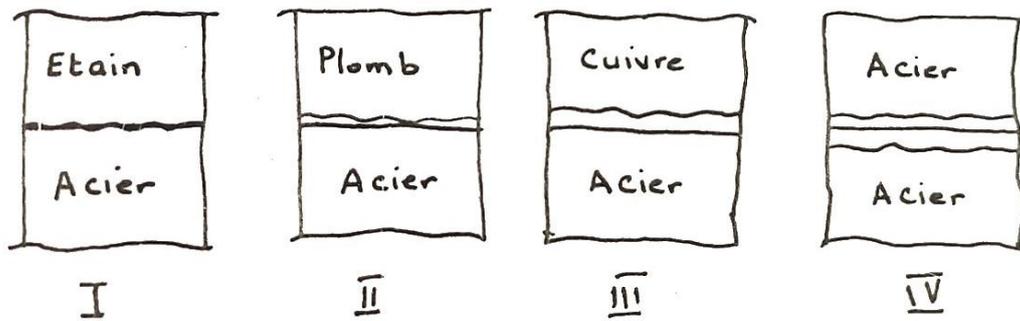


Fig.2.9 : Usure moléculaire-mécanique

- 1- Si la jonction est plus faible que les éléments situés de chaque cote le cisaillement apparaîtra dans la région même du contact. C'est le cas d'un alliage antifriction à base d'étain glissant sur l'acier.
- 2- Si la jonction est plus résistante que l'un des métaux mais plus faible que l'autre le cisaillement apparaîtra non pas dans l'inter-surface de contact mais à une petite distance dans le métal le plus doux. C'est le cas d'un alliage à base de plomb glissant sur l'acier.
- 3- Si la jonction est plus résistante que les deux métaux le cisaillement ne se produira pas dans la zone de contact mais en grande majorité dans le métal le plus doux. C'est le cas du cuivre qui glisse sur l'acier.
- 4- Dans le cas de deux métaux identiques les jonctions sont de même nature que les éléments en présence et le cisaillement n'apparaîtront que rarement dans la zone de contact mais plutôt dans la masse des constituants.

En pratique l'usure par grippage est rencontrée souvent sur les surfaces des dents de pignons surtout lorsqu'ils sont fabriqués en acier à faible carbone et transmettent des moments de rotation importants. Sur les surfaces des dents du 1er pignon on remarque des creux (cavités) et sur celles du 2ème pignon, qui bien sur travaille avec le 1er, des monticules

(Fig.2.10). Pour éviter l'usure par grippage on utilise le procédé dit: rodage.

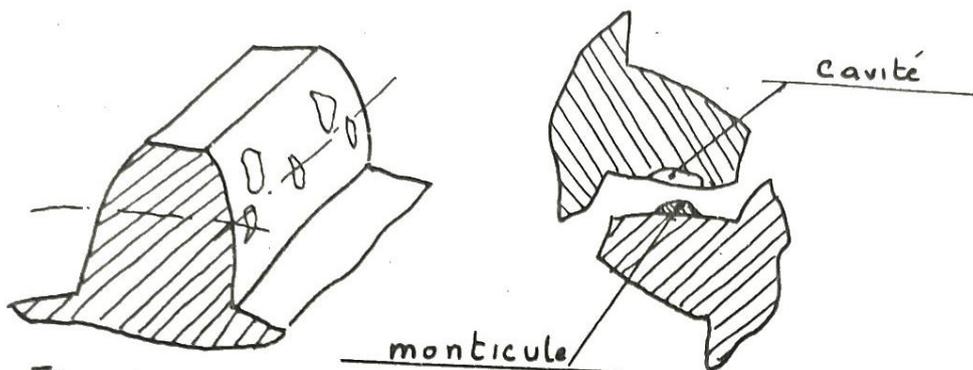


Fig.2.10 : Sur les surfaces des dents du 1er pignon on remarque des creux (cavités) et sur celles du 2ème pignon, qui bien sur travaille avec le 1er, des monticules

### 2.4.3 L'usure corrosive-mécanique [12]

La corrosion se manifeste par une oxydation d'abord superficielle d'origine chimique ou électrochimique se développant en profondeur ensuite. Mais il existe également un phénomène de corrosion dû à des changements rapides de régime des sollicitations entre deux surfaces en contact. Celles-ci, animées de mouvements ou de vibrations désordonnées engendrent la formation de débits dont l'accumulation entraîne une dégradation des surfaces.

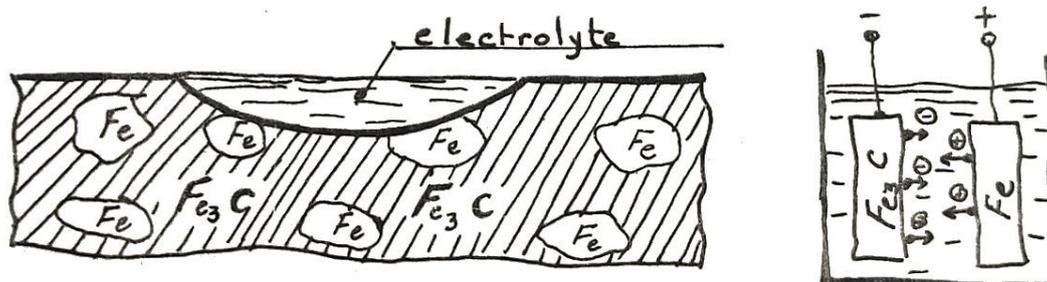
#### 2.4.3.1 La corrosion chimique

Elle est due à l'oxydation du métal de la pièce sous l'action de l'oxygène d'air, du gaz carbonique, du gaz sulfureux, etc..... Comme exemple on a la formation d'écaillés de fer sur la surface de la pièce réchauffée à une grande température. Au bien si la température de l'air ambiant dans un local de production n'est pas stable ; les variations qu'elles subissent dans le sens d'augmentation provoquent la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère sur les pièces métalliques qui sont plus froides. Cela entraîne la rouille de ces dernières, c'est à dire leur oxydation.

#### 2.4.3.2 La corrosion électrochimique :

Elle est due à l'action des microéléments galvaniques se formant sur la surface de la pièce. Dans ce cas l'électrolyte c'est l'eau atmosphérique contenant des différents gaz ou bien les différentes solutions alcalines et acides.

Comme électrode on peut considérer les points à potentiel électrique différent sur la surface de la pièce. Pour l'acier au carbone par exemple, on a déterminé que la cathode (électrode négative) c'est la cémentite ( $Fe^2 c$ ), et l'anode (électrode positive) c'est les grains du fer pur ( $Fe$ ) (Fig.2.11).



**Fig. 2.11** : La corrosion électrochimique

Le matériau atteint par la corrosion se couvre d'ulcérations profondes, devient spongieux et sa résistance mécanique diminue. Ce phénomène peut être observé sur les éléments constitutifs des presses hydrauliques, les marteaux pilons à vapeur et les machines minières travaillant dans un milieu humide ou chargé de vapeur d'eau contenant des acides et des alcalins.

L'usure corrosive est d'ordinaire accompagnée de l'usure mécanique étant donné que les pièces sont conjuguées l'une à l'autre. Dans ce cas on affaire à une usure corrosive et mécanique c'est à dire à une usure complexe.

### **2.4.3.3 les contacts électriques [13]**

Que ce soit pour de très faible de l'ordre du watt ou de très fortes puissances de l'ordre de 1000 MW, la fermeture ou l'ouverture d'un circuit peut être assurée mécaniquement par le déplacement de pièces métalliques conductrices. Ces pièces métalliques qui assurent la continuité ou la discontinuité d'un circuit électrique sont appelées «contacts électriques» ces pièces de contact subissent des contraintes physico-chimiques permanentes ou transitoires selon les régimes de fonctionnement des récepteurs pour les microcontacts qui doivent faire passer des microampères sous quelque millivolts, les phénomènes de corrosion auront beaucoup d'importance, et on prendra également soin d'éviter le phénomènes de thermocouple (circuit formé par deux métaux différents entre les soudures desquels on a établi une différence de température qui se traduit par l'apparition d'une force électromotrice) ou de réaction électrochimique entre deux corps de natures différentes. Par contre. Pour conduire des milliers d'ampères sous des centaines de kilovolts, on cherchera des matériaux à faible soudabilité.

#### **2.4.3.3.1 Les différents types de contacts électriques**

On peut considérer trois types de contacts:

- Les contacts fixes qui assurent une continuité électrique permanente entre deux pièces en immobilité relative;
- Le contact glissant qui assure la continuité électrique entre deux pièces en mouvement relatif:
- Les contacts de coupure d'arc qui assurent l'établissement et la coupure du courant.

#### **2.4.3.3.2 Les métaux conducteurs**

##### **A. Les métaux pour conducteurs électriques.**

Les matériaux les plus utilisés pour faire des conducteurs électriques sont le cuivre et ses alliages, l'aluminium et ses alliages.

##### **B. Les alliages pour soudure des contacts électriques**

Les alliages de soudure sont principalement constitués d'étain et de plomb et d'autres éléments additionnels (argent, indium, antimoine, etc.).

Si la soudure est une technique facile à mettre en œuvre, c'est dans la plupart des cas la méthode de raccordement la moins faible, et c'est pour cette raison qu'elle est pratiquement bannie dans l'aéronautique, car il est impossible de connaître la qualité d'une soudure par contrôle visuel.

**C. les métaux pour contacts**

-L'argent est le meilleur conducteur, mais à cause de son coût élevé par rapport au cuivre et à l'aluminium, il n'est pas employé pour faire des conducteurs. Par contre, on le retrouvera au niveau des contacts électriques, utilisé sous forme de pastilles comme dans les contacteurs, ou recouvrant les pièces en cuivre au niveau des connexions comme pour les systèmes embrochés;

- Le mercure était utilisé pour établir le contact électrique à l'intérieur d'une ampoule en fonction d'une position mécanique par rapport au vertical. Son utilisation est progressivement abandonnée à cause de sa toxicité.

**D. contacts et raccordements électriques**

D'une façon très générale, la mise bout à bout de deux pièces métalliques distinctes constitue un contact électrique. Dans le cas de borne de raccordement par exemple, le contact est réalisé par l'association de la borne elle-même et du conducteur qui lui est raccordé.

La fonction contact électrique est essentielle dans tout matériel Son rôle est d'assurer dans les meilleures conditions le passage du courant électrique en subissant des contraintes physiques et chimiques permanentes ou transitoires.

C'est dans l'interface de contact, zone active siège du courant d'une pièce à l'autre, que réside la résistance de contact, source d'échauffement par effet joule, et s'exerce le vieillissement par corrosion due au milieu ambiant.

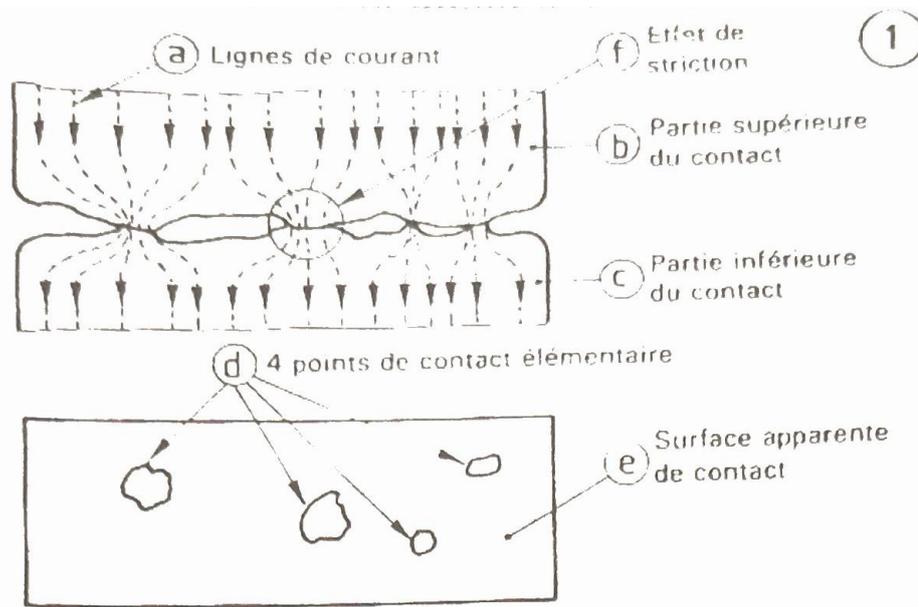
**E. Structure d'un contact**

Le contact ne s'effectue pas sur toute la surface apparente mais seulement en un certain nombre de points appelés «contacts élémentaires » : c'est la somme des sections élémentaires qui constitue la surface d'appui.

**E1. La surface de contact**

L'application de deux surfaces métalliques l'une contre l'autre forme le contact électrique. Mais ces pièces, de par leurs dimensions géométriques (planimétrie, rugosité), ne sont réellement en contact que par quelques points qui forment la surface réelle de contact voir figure 2.12

- La surface réelle est toujours inférieure à la surface apparente de contact. Les surfaces des contacts peuvent évoluer et se modifier dans le temps en fonction des contraintes subies:
  - L'arc électrique,
  - Les efforts appliqués et le ramollissement dû à l'échauffement,
  - La corrosion.



**Figure2.12** : Surface de contact des conducteurs électriques

### **E2. Les types de corrosion dans les conducteurs électriques [14]**

Il existe principalement trois types de corrosion:

- la corrosion sèche c'est la création en l'absence d'humidité, entre un gaz et un solide.
- la corrosion électrochimique: c'est la plus fréquente, la réaction se produit entre un électrolyte et un solide.
- la corrosion par érosion : les courants alternatifs créent des efforts entre conducteurs et des efforts de répulsion des contacts également variables.

Ces efforts variables créent des déplacements de l'ordre du micron qui par abrasion des deux métaux l'un sur l'autre arrachent de fines particules cette poudre métallique se transforme en oxyde, sulfure ou chlorure au contact de l'air. Ce phénomène peut s'emballer car la corrosion augmente la résistance.

### **E3. Action de la corrosion de contact et donc l'échauffement, ce qui active d'autre plus les réactions chimiques.**

C'est au niveau des points de contact élémentaire que les mécanismes de corrosion vont agir selon deux processus combinés ou non:

- Attaque des surfaces latérales des points de contact élémentaire, diminution de la surface d'appui voir figure 2.13
- Accroissement de la couche d'oxyde à l'interface de contact, c'est-à-dire augmentation de ce qui entraîne une la résistivité superficielle d'effet tunnel.

Ces deux phénomènes se traduisent globalement par une augmentation de la résistance du contact.

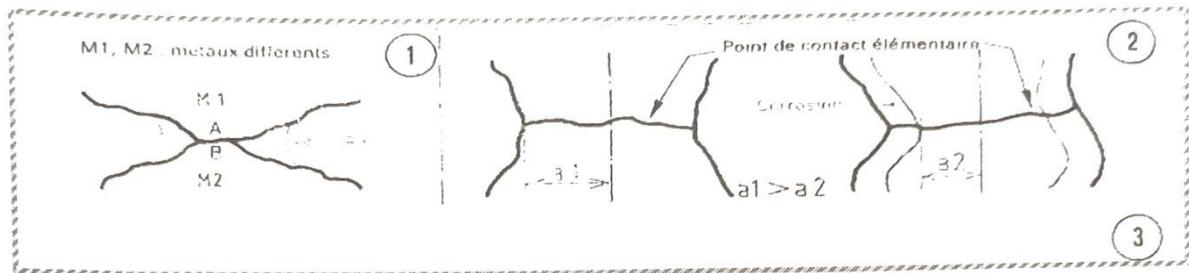


Figure.2.13 : (1), (2), (3) attaque de la surface de contact

**E4. Influence de l'échauffement**

L'échauffement d'un métal diminue sa dureté, et permet une plus grande déformation avec moins d'efforts ce qui entraîne une dégradation accélérée du métal.

Un contact ou une borne verra sa durée de vie réduite de moitié si:

Son échauffement augmente de  $\Delta i$  et le coefficient de vieillissement peut être caractérisé par la relation suivante qui dépend de l'augmentation simultanée de l'échauffement du contact et de la température ambiante:

$$K = 2^{(\Delta Ti1 - \Delta Ti2) / \Delta i} + (Te1 - Te2) / \Delta e \tag{2.1}$$

Où:

$\Delta i = 5$ , constante de doublement de la température du conducteur

$\Delta e = 7.5$ , constante de doublement de la température du milieu ambiant

$Ti1$ : Température initial du conducteur K°;

$Ti2$ : Température final du conducteur K°;

$Te1$ : Température initial du milieu ambiant K;

$Te2$ : Température final du milieu ambiant K°

### E5. Calcul de l'épaisseur de la couche d'oxyde formée à l'interface des contacts électrique

L'épaisseur de la couche d'oxyde formée à l'interface du contact électrique peut être déterminée en utilisant la relation suivante établie par le chercheur Ronnquist:

$$e = [e^2_{0+t} \cdot \exp(34.31 - 11700/K)]^{0.5}, A^\circ \quad (2.2)$$

Ou:

$e$ : Épaisseur de la couche d'oxyde formée,  $A^\circ$

$e_0$ : Épaisseur de la couche d'oxyde formée immédiatement sur le métal,  $A^\circ$

$t$ : Temps de service, Heures

$K$ : Température,  $k^\circ$

#### 2.4.3.4 Etude de la résistance de raccords électriques [15,28]

##### 2.4.3.4.1 Objectif

Les essais effectués visaient à comparer la performance des raccords sous des conditions environnementales extrêmes. Les raccords soumis aux essais étaient :

- des raccords en cuivre servant à relier des câbles à âmes en cuivre;
- des raccords en aluminium servant à relier des câbles à âmes en cuivre,
- des raccords en aluminium servant à relier des câbles à âmes en aluminium.

##### 2.4.3.4.2 Contexte

1- L'aluminium s'oxyde facilement au contact de l'air. Une couche d'oxyde isolant très dur se forme rapidement autour du métal. Voilà pourquoi les raccords d'aluminium sont souvent revêtus d'une couche d'étain empêchant l'oxydation des surfaces. Les raccords sertis en aluminium sont remplis d'un inhibiteur (substance) servant à réduire l'oxydation au point de contact du câble et du raccord pendant le service. Il faut toujours passer les raccords en aluminium à la brosse métallique pour faire disparaître la couche d'oxyde et appliquer immédiatement l'inhibiteur pour réduire l'oxydation.

- Les alliages d'aluminium constituent des métaux plus actifs que le cuivre et ils corrodent en présence d'humidité (d'eau). Cette susceptibilité à la corrosion raccourcit la durée de vie

D'un câble voir figure 2.14 ci-dessous.



**Figure 2.14** : câble d'aluminium endommagé suite à la corrosion par l'eau

- L'eau peut pénétrer dans un câble lors de l'expédition, de la manutention, de l'entreposage extérieur, ou en cas de dommage accidentel ou de défaillance des jonctions ou des extrémités de câble.

De l'eau dans un câble de cuivre ne provoquera aucune sérieuse corrosion. Toutefois, de l'eau en contact avec un conducteur d'aluminium recouvert d'une enveloppe isolante donnera lieu à une importante corrosion puisque l'aluminium se transformera en hydroxyde et en gaz d'hydrogène. L'hydrogène occupant un volume plus grand que celui du métal du conducteur, entraînera un renflement de l'isolation du conducteur et, éventuellement, la destruction du câble. L'hydrogène produit peut souvent atteindre de hautes pressions qui provoqueront des dommages.

**2-** Le cuivre s'oxyde aussi au contact de l'air. Mais la couche d'oxyde se formant autour du métal est relativement molle et conductrice, sans pour autant être aussi conductrice que le cuivre lui-même. Voilà pourquoi on utilise souvent les raccords en cuivre sans inhibiteur d'oxyde. Bien que recommandé, le passage à la brosse métallique n'est pas aussi essentiel que pour les raccords en aluminium. Les raccords en cuivre sont souvent revêtus d'une couche d'étain empêchant les surfaces de s'oxyder et de se décolorer. Mais on en trouve aussi sans un revêtement d'étain.

**3-** Le cuivre et l'aluminium n'ayant pas les mêmes propriétés, le contact des deux métaux en présence d'humidité déclenche une vive réaction galvanique. On ne peut donc pas utiliser des raccords en aluminium avec des câbles ou fils à âme en cuivre à moins d'avoir recours à un matériau d'interface plus compatible avec le cuivre et l'aluminium, comme l'étain par exemple. Cependant, l'étain est aussi susceptible de s'oxyder; s'il est attaqué, de la corrosion galvanique risque de se former entre les métaux de base.

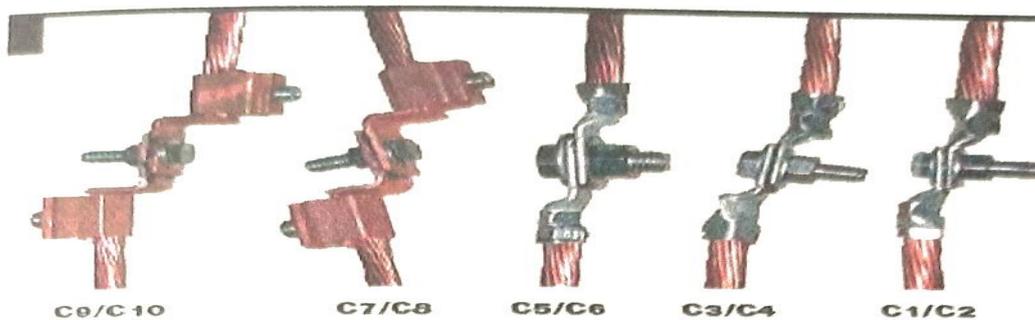
Le cuivre et l'aluminium ayant des propriétés différentes, le rendement des divers types de raccords électriques peut grandement varier à long terme.

#### **2.4.3.5 Corrosion Des Contacts Electriques :**

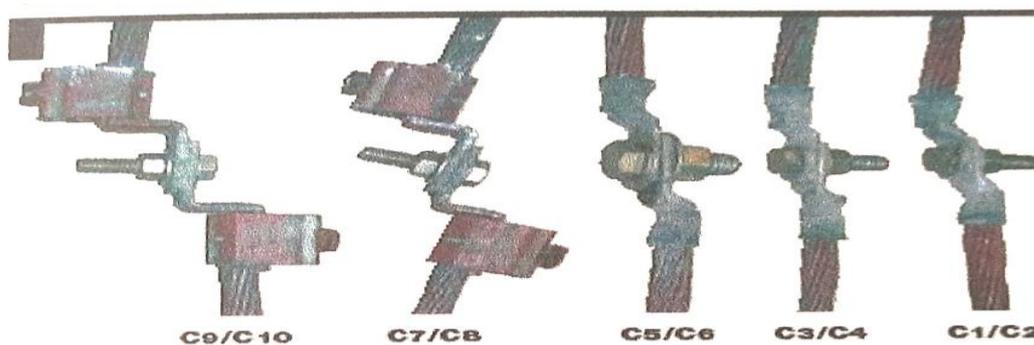
Que ce soit pour de très faible puissance de l'ordre du watt ou de très fortes puissances de l'ordre de 1000 MW, la fermeture ou l'ouverture d'un circuit peut être assurée mécaniquement par le déplacement de pièces métalliques conductrices. Ces pièces métalliques qui assurent la continuité ou la discontinuité d'un circuit électrique sont appelées «contacts électriques ». ces pièces de contact subissent des contraintes physico-chimiques

permanentes ou transitoires selon les régimes de fonctionnement des récepteurs pour les microcontacts qui doivent faire passer des microampères sous quelque millivolts, les phénomènes de corrosion auront beaucoup d'importance, et on prendra également soin d'éviter le phénomène thermocouple (circuit formé par deux métaux différents entre les soudures desquels on a établi une différence de température qui se traduit par l'apparition d'une force électromotrice) ou de réaction électrochimique entre deux corps de natures différentes. Par contre. Pour conduire des milliers d'ampères sous des centaines de kilovolts, on cherchera des matériaux à faible soudabilité.

#### Raccords de cuivre servent à relier des câbles à âme en cuivre avant l'essai



#### Raccords de cuivre servent à relier des câbles à âme en cuivre après 2000 heures d'essai



**Fig.2.15a** : raccords en cuivre servant à relier des câbles à âme en cuivre

#### ✓ Installation indisponible :

- Installation hors tension mais dont les départs ne sont pas préparés et qui peut être
  - Remise sous tension,
  - Retirée de l'exploitation.

Que par ordre du Chef d'Exploitation ou par application de consignes générales.

- Une installation est notamment indisponible lorsque son matériel est supposé avarié après un incident.



**Figure2.15b** : situation provisoire « départs non préparés »

✓ **Conditions d'essai :**

$t = 2000$  Heures : temps d'exposition dans le milieu corrosif ;

$I = 1800$  A courant électrique de forte intensité (maintenue constante pendant la période d'essai.

$T = 250$  C° : Température d'éclatement atteinte pendant environ 50 secondes à un câble à température ambiante.

### 2.4.3.6 applications [16]

#### 2.4.3.6.1 Collecte des données

Sachant les données sur les contacts électriques cuivre-cuivre de la ligne alimentant le moteur du broyeur cru de la cimenterie de El-Ma-Labioud et le milieu environnant où se trouve ces contacts, qui sont :

- La puissance du moteur  $P_n = 3600$  KW
- La tension d'alimentation  $U = 5500$  V  $E = 0$  A°
- La durée de service  $t = 25$  ans (100.000 h)
- température limite de fonctionnement en permanence pour les câbles des mines,  
 $T_{max} = 70^\circ\text{C}$
- température augmentée de  $10^\circ\text{C}$  par rapport au régime normale devient  $80^\circ\text{C}$
- La température de régime de court-circuit pour les câbles des mines  $T_{cc} = 160^\circ\text{C}$ .

2.4.3.6.2 Solution analytique

L'épaisseur de la couche d'oxyde formée à l'interface du contact selon la formule établie par le chercheur Ronnquist [2.3] est:

$$e = [e_0^2 + t \cdot \exp(34.31 - 11700/k)]^{0.5} \tag{2.3}$$

$e_0$ : épaisseur de la Couche dioxyde former à d'état initial  $e_0 = 0$

$$e = [0 + 100000 \cdot \exp(34.31 - 11700/343)]^{0.5}$$

$$\begin{aligned} e_{max} &= 349.93A^\circ, \\ e_{max80} &= 566 A^\circ \\ e_{cc} &= 12101.34 A^\circ. \end{aligned}$$

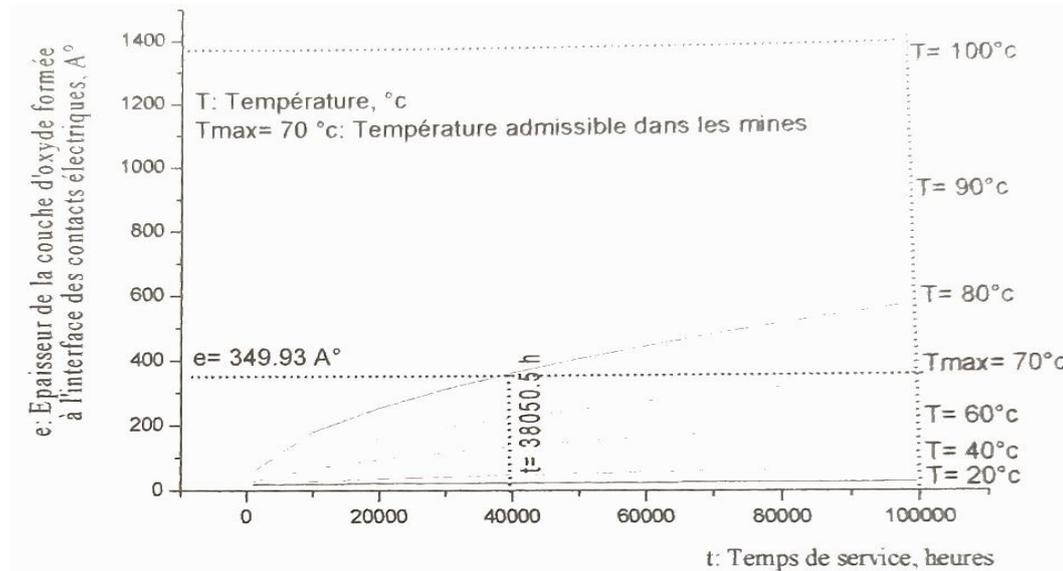
Si la température de service augmenté de 10°C , alors la durée de vie diminue de 50 % tout en gardant la même épaisseur de la couche d'oxyde

$$\begin{aligned} e=349.93 &\rightarrow T^\circ= 70^\circ C &\rightarrow t = 1000000h \\ e= 349.93 &\rightarrow T^\circ= 80^\circ C &\rightarrow t = 400047h \\ e=349.93 &\rightarrow T^\circ= 160^\circ C &\rightarrow t = 89.10h \end{aligned}$$

Et si la température augmente à 80 C°, alors la durée de vie t sera tirée de l'expression [2.3] dont la forme est la suivante :

$$t = e^2 + e_0^2 / \exp(34.31 - 11700/K)$$

T = 40.000 h pour la même épaisseur de la couche d'oxyde fermée à l'interface du contact cuivre à la température (70°C) et plus clairement, voir la solution graphique fig3.16.



**Figure 2.16.** Relation entre l'épaisseur de la couche d'oxyde à l'interface du contact des conducteurs électrique, le temps de service et les différentes températures du réseau

#### 2.4.3.6.3 Commentaire sur le résultat

Si la température du régime de fonctionnement atteint la température maximale en permanence ( $T_{max}=70^{\circ}\text{C}$  pour les câbles des mines), la couche d'oxyde formée à l'interface des contacts électriques cuivre cuivre atteint sa valeur ( $e_{max} = 349.93 \text{ A}^{\circ}$ ) dans un délai de service ( $t= 25$  ans où  $t=100000 \text{ h}$ ). Mais l'on constate avec l'augmentation de la température de  $10^{\circ}\text{C}$  ( $T=80^{\circ}\text{C}$ ), la couche d'oxyde atteint sa valeur ( $e= 349.93 \text{ A}^{\circ}$ ) un peu plus tôt que précédemment dans un délai qui n'excède pas ( $t= 40000 \text{ h}$  où  $t= 10$  ans) c'est à dire que l'augmentation de la température de  $10^{\circ}\text{C}$  entraîne une diminution de la durée de vie de ( $15/25=60\%$ ). Et si la température atteint la température de court-circuit ( $T_{cc} = 160^{\circ}\text{C}$ ), alors la valeur de la couche d'oxyde atteint la valeur ( $e_{cc} = 12101.34 \text{ A}^{\circ}$ ). Il s'ensuit que l'augmentation de la température augmente rapidement la couche d'oxyde et par la suite les problèmes commencent à ce manifesté dans le réseau

## 2.5 CARACTERE DE L'USURE DES PIECES : [19]

L'usure mécanique des éléments présentant des plans de guidage ne se répartit pas habituellement d'une façon uniforme sur toute leur longueur. L'usure affecte la planéité, la rectitude et le parallélisme des guides, entraînant dans certains cas la dégradation de la perpendicularité de ceux-ci par rapport à tel ou tel plan. L'usure non uniforme U résulte de l'action exercée par des charges d'intensités différentes suivant la longueur des guides.

Comme exemple, les charges locales importantes appliquées dans la partie centrale des glissières rectilignes d'une machine-outil déterminent la concavité de celle-ci, tandis que les glissières courtes de la table qui leur sont conjuguées deviennent convexes (Fig. 3.17a), ce qui se traduit par l'apparition de traces de grippages.

Pour les cylindres et les chemises de cylindre des moteurs, l'usure non uniforme affecte la portion où se déplacent les segments de pistons où elle se manifeste par l'abrasion des parois intérieures du cylindre ou de la chemise (Fig. 2.17b).

La configuration de la cavité du cylindre est déformée (défaut de cylindricité, de circularité ou configuration en tonneau) et l'on assiste à l'apparition des traces de grippage et d'autres défauts (Fig.2.17j).

La partie supérieure des cylindres équipant les moteurs à combustion interne est soumise à une usure plus intense, car c'est là que se manifeste les pressions et les températures les plus élevées. L'usure du piston (Fig.2.17c) se manifeste par l'abrasion et la formation des traces de grippage sur la jupe 3, par la cassure des cordons 4 entre les gorges, par l'apparition des fissures dans le fond 5 et les tourillons des arbres, il apparaît aussi des traces de grippage.

Les tourillons initialement cylindriques prenant une configuration conique, en tonneau ou ovale.

Les alésages cylindriques des paliers lisses et des douilles deviennent également conique. La section des alésages s'écarte de la forme circulaire qu'elle doit avoir.

Si au cours de la rotation de l'arbre, celui-ci n'est soumis qu'à l'action de son propre poids, c'est la partie inférieure du palier qui s'use (Fig.2.17d, de gauche).

Les dentures d'engrenages s'usent (Fig.2.17e), se couvrent de traces de grippage se déforment, perdent leurs côtes initiales, s'ébrèchent ou cassent (Fig.2.17i).

La cassure des dents d'engrenage l'apparition des fissures dans les bras, la jointe et le moyeu des roues et l'usure des alésages d'ajustement et des clavettes sont principalement dues :

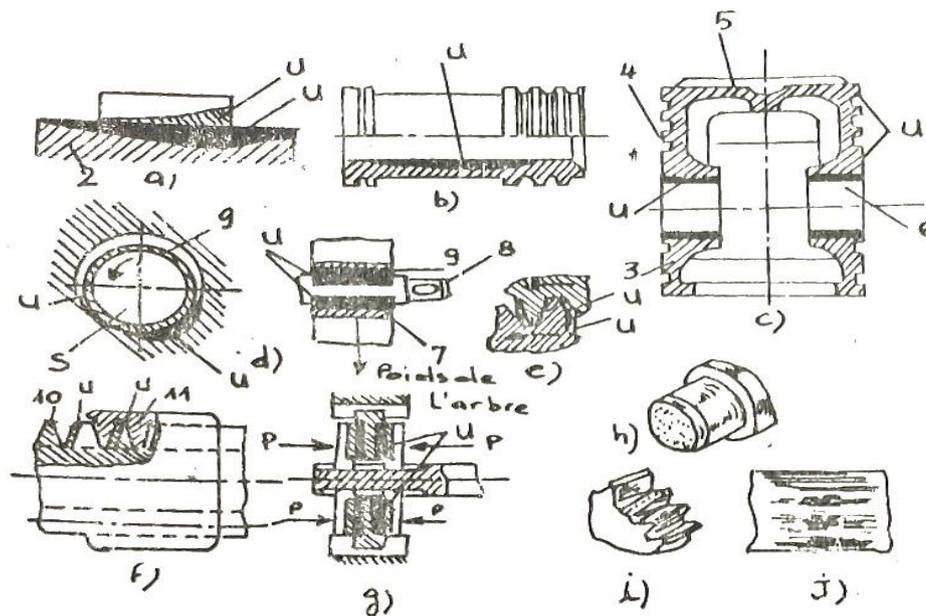
- A la surcharge des engrenages.
- A la pénétration des corps étrangers dans l'engrenage.
- A un montage défectueux (emmanchement incorrect avec désaxage des roues dentées sur l'arbre).

L'usure de la vis-mère et de son écrou touche leurs filetages dont les filets s'amincissent (Fig.2.17f). Le plus souvent l'usure des filetages des vis n'est pas uniforme, car la plupart des pièces usinées sur les machines-outils sont plus courtes que la vis-mère elle-même. La portion du filetage qui est la plus chargée subit évidemment une usure plus intense.

Les écrous des vis-mères (écrous-mères) s'usent plus rapidement que les vis à cause de leur filetage mal protégé contre l'encrassement, de son nettoyage difficile, de son graissage insuffisant et de l'activité de toutes ses spires.

Dans les assemblages filètes on remarque le même caractère d'usure que celui des vis-mères, mais cela est due à un serrage insuffisant ou, au contraire très fort des vis et des écrous. À des charges importantes ou alternatives.

Dans les embrayages disques de friction, les forces de frottement déterminent une usure plus importante des faces planes des disques (Fig.2.17g) qui sont soumises à l'abrasion et se couvrent de traces de grippage.



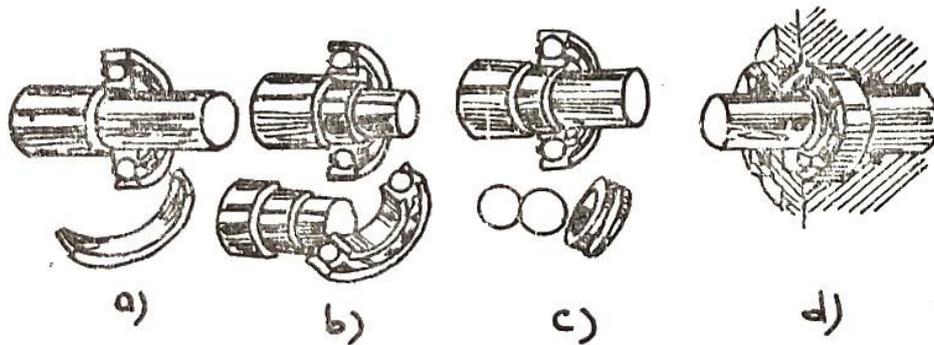
- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| a) Des glissières de la table ;   | f) Du filtrage de la vise et l'écrou ;         |
| b) Des parois du cylindre ;       | g) Des disques de l'embrayage à friction ;     |
| c) Du piston ;                    | h) Rupture de fatigue de l'arbre ;             |
| d) De l'arbre ;                   | i) Cassure de la dent ;                        |
| e) Des dentures ;                 | j) Traces de grippage visible sur la surface ; |
| u) Endroits touchés par l'usure ; |  |

- |          |            |                      |           |
|----------|------------|----------------------|-----------|
| 1- Table | 4- Cordon  | 7- Palier            | 10- Vise  |
| 2- Bâti  | 5- Fond    | 8- Tourillon d'arbre | 11- Ecrou |
| 3- Jupe  | 6- Alésage | 9- Jeu               |           |

**Fig.2.17 :** Caractère de l'usure des pièces (a à u)

Dans les roulements (Fig.2.18 a à d), ce sont les surfaces de travail qui s'usent. Sur les surfaces de roulement, il apparaît des ulcérations, des piqures et l'on assiste à l'écaillage des chemins de roulement et des billes qui étant soumises à l'action des charges dynamiques subissent une détérioration de fatigue.

Un ajustement trop serré des roulements sur l'arbre et dans le corps de la machine entraîne le coincement des billes et des rouleaux entre les bagues, ce qui peut provoquer des gauchissements des bagues lors du montage ou d'autres inconvénients.



- a) Par suite d'un gauchissement,
- b) Provoquée par le patinage de la bague intérieure sur l'arbre,
- c) à cause d'un serrage excessif,
- d) due à un joint d'étanchéité d'affectueux,

**Fig.2.18** : usure des roulements (a à d)

## 2.6 SYMPTOMES D'USURE :

On peut juger de l'usure des pièces d'une machine d'après certains symptômes caractéristiques de leur fonctionnement.

Dans les machines équipées de vilebrequins à bielles (moteurs à combustion interne machines à vapeur compresseurs presses a excentrique pompes, etc..) l'usure est signalée par un cognement sourd aux endroits d'assemblage des pièces, l'intensité de ce cognement étant proportionnelle au degré d'usure.

L'usure du profil des dents des engrenages se traduit par un bruit émis lors du fonctionnement de ceux-ci. L'usure des pièces de clavetage et des assemblages par cannelures engendre des secousses sourdes et brusques toutes les fois qu'il se produit le changement du sens de rotation ou du sens de déplacement d'une pièce qui effectue un mouvement rectiligne.

L'usure des ensembles constitutifs d'une machine-outil peut être établie non seulement à l'écoute mais aussi selon l'aspect des surfaces des pièces qui viennent d'être usinées sur cette machine.

Par exemple, si la surface d'une pièce usinée au tour n'est pas lisse, mais présente des saillies et des rayures circulaires, cela veut dire que les dents de la roue de crémaillère elle-même sont usées.

Si une pièce usinée sur tour est de configuration conique au lieu d'être cylindrique comme prescrit, cela signifie que les paliers (principalement le palier avant) de la broche et les glissières du banc sont usées.

Par la course morte (mouvement perdu) d'un levier on entend l'angle de pivotement libre de celui-ci avant qu'il ne mette en mouvement la pièce à laquelle il est lié.

L'usure des éléments de machines est souvent indiquée par des rayures, des sillons et des matages visibles sur leurs faces, de même que par le changement que subit leur configuration. Les fissures fines qui pourrait provoquer une cassure sont dépiquées au moyen d'un verre grossissant ou d'un marteau appliqué sur la pièce ; Si cette dernière émet un son tremblotant, on conclut qu'il y'a présence de fissures importantes.

La vérification des ensembles à roulements se fait au moyen de l'écoute de son bruit à l'aide d'un stéthoscope ou d'une tige métallique dont l'extrémité arrondie est tenue près de l'oreille et l'extrémité pointue, fixée à l'endroit de l'emplacement du roulement. Si on entend un bourdonnement régulier de faible intensité, alors le fonctionnement est normal, dans le cas contraire le roulement est usé.

Un sifflement ou un bruit aigu (sonore) indique le manque de graisse dans le roulement, le coincement des billes ou des rouleaux entre les chemins de roulement des bagues intérieures et extérieures. Les cliquetis (cognements sonores répétés) veulent dire qu'il y'a des ulcérations sur les billes, les rouleaux ou les bagues, que des particules abrasives ou de la crasse se sont infiltrées dans le roulement.

La surchauffe d'un roulement causée par le coincement des billes ou des rouleaux entre les chemins de roulement d'un défaut d'alignement des paliers ou de l'absence de graisse peut être vérifiée au toucher du dos de la main. La main supporte aisément des températures allant jusqu'à 60 °C.

Une lubrification trop abondante ou une viscosité élevée du lubrifiant peuvent provoquer une surchauffe des roulements surtout ceux des arbres tournants grande vitesse. Une surchauffe excessive accélère l'usure des roulements. Un arbre non aligne sur son palier ou l'ajustement de ce dernier sur l'arbre ou dans le corps est trop dur est détecté par la difficulté de rotation de l'arbre.

Un cognement tremblotant dans le cylindre d'un compresseur indique une usure excessive ou la casse des segments de piston. L'usure du piston ou du cylindre lui-même est accompagnée d'un cognement sourd.

Une pression au-dessous de la normale dans le système pneumatique peut être causée par une fuite d'air comprimé à travers les raccordements des tuyauteries par le patinage des courroies d'entraînement ou par l'usure du cylindre, du piston et d'autres pièces du compresseur.

## **2.7 UNITES DE MESURE DE L'USURE : [20]**

L'usure est mesurée ou évaluée à l'aide de paramètres absolus et relatifs.

Comme paramètre-t-on utilisé :

- 1- La dimension linéaire de la pièce,  $l$ .
- 2- Le poids de la pièce  $P$ .
- 3- Le volume de la pièce  $V$

La dimension linéaire de l'usure  $\Delta l$  est le changement des paramètres linéaires de la pièce après une certaine période de travail. Elle est utilisée largement pour évaluer l'état des différentes pièces de machines (outil de forage, dents des godets des excavateurs, tourillon d'arbre, cylindre et piston de vérin hydraulique, etc.).

Les changements du poids  $\Delta p$  et du volume  $\Delta v$  de la pièce sont utilisés comme paramètres de mesure de l'usure afin d'évaluer l'usure au cours de l'essai de la machine, des travaux scientifiques ou bien lorsqu'il n'est pas commode de mesurer les paramètres linéaires de la pièce (blindage des concasseurs et celui des moulins).

Comme paramètres relatifs, on utilise :

**1- La vitesse de l'usure, v.**

$$v = \frac{\Delta l}{t} \quad ; \quad v = \frac{\Delta p}{t} \quad ; \quad v = \frac{\Delta V}{t} \quad (2.4)$$

Ou :

$t$  : Temps de fonctionnement de la pièce

**2- Intensité de l'usure I.**

$$I = \frac{\Delta l}{l} \quad ; \quad I = \frac{\Delta p}{p} \quad ; \quad I = \frac{\Delta V}{V} \quad (2.5)$$

Ou bien :

$$I = \frac{\Delta l}{A} \quad ; \quad I = \frac{\Delta p}{A} \quad ; \quad I = \frac{\Delta V}{A} \quad (2.5)$$

Ou :

$l$  : Distance de frottement, (m).

$A$  : Age de la pièce, (h, t, m<sup>3</sup>, km).

**2.8. COURBE TYPIQUE DE L'USURE DES PIÈCES [21]**

L'usure des pièces formant un assemblage mobile n'est régulière pendant leurs durées de vie. La régularité de l'usure d'une pièce représentée par la figure 2.19.

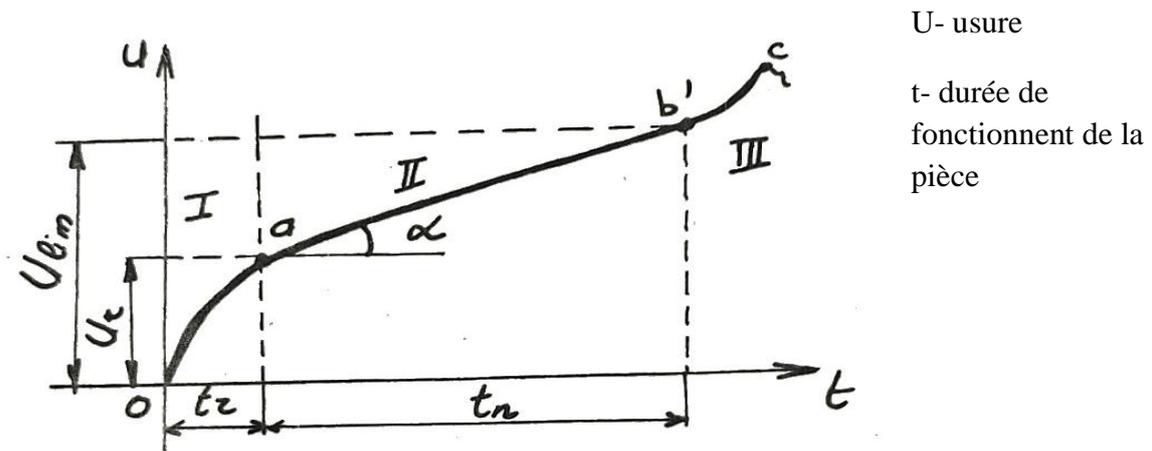


Fig.2.19 : courbe typique de l'usure des pièces.

D'après le diagramme, on distingue trois périodes de fonctionnement de la pièce.

- 1<sup>ère</sup> période (o-a) : C'est la période de rodage. Elle est caractérisée par la vitesse élevée de l'usure, s'explique par le fait que les surfaces de frottement des pièces nouvelles ont la rugosité élevée et la présence sur les surfaces des pièces des couches de métal détériorés lors de l'usinage.
- 2<sup>ème</sup> période (a-b) : C'est la période du fonctionnement normal. Elle est caractérisée par une vitesse d'usure constante ( $\alpha = Cte$ ).
- 3<sup>ème</sup> période (bc) : C'est la période de l'usure d'avarie. Elle est caractérisée par l'augmentation brusque de la vitesse d'usure, ce qui s'explique par le changement du régime de frottement (frottement sec ou médiateur au lieu du frottement humide) ou bien par la fatigue du métal.

La 3<sup>ème</sup> période de travail de la pièce mène toujours la machine à la panne. C'est pourquoi la pièce usée doit être remplacée opportunément par celle nouvelle.

D'après la courbe d'usure, on peut déterminer la durée de fonctionnement normal de la pièce ( $t_n$ ) sans tenir compte de la durée de rodage ( $t_r$ ) par la formule suivante :

$$t_n = \frac{U_{lim} - U_r}{tg\alpha} , \quad h \quad (2.6)$$

Ou :

$U_{lim}$  : Usure limite de la pièce. mm

$U_r$  : Usure de la pièce après la période de rodage, mm

$tg\alpha$  : Intensité de l'usure.

On détermine l'intensité de l'usure  $tg\alpha$  par la voie d'essai directe de la machine dans l'usine de fabrication. L'essai se fait après la période de rodage pendant une certaine période

de travail ( $t_{\text{essai}} = 50 / 70$  heures), ensuite on mesure l'usure ( $U_{\text{essai}}$ ) de la pièce et on calcule l'intensité de l'usure d'après la formule suivante :

$$tg\alpha = \frac{U_{\text{essai}} - U_r}{tg\alpha} \quad , mm/h \quad (2.7)$$

Ou :

$U_{\text{essai}}$ : Usure de la pièce pendant l'essai, mm

$t_{\text{essai}}$ : Temps de la période d'essai, h

**2.9 LIMITES DE L'USURE [7]**

La durée de vie d'un équipement dépend beaucoup de la limite d'usure de ses pièces constitutives qu'il ne faut pas dépasser.

Il est difficile d'établir avec précision la valeur de l'usure limite pour la grande variété de pièces constitutives des machines qui diffèrent entre elles par leurs types et destination, en partant des exigences spécifiques qui doivent être satisfaites.

En qualité d'exemple, on cite ci-dessous les normes d'usure recommandées pour certaines pièces par les services de réparation d'avant-garde des entreprises modernes.

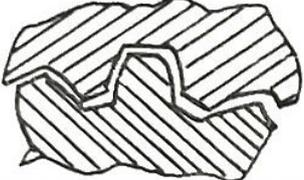
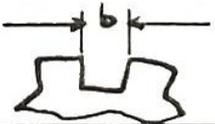
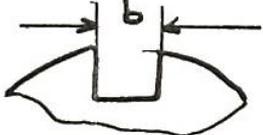
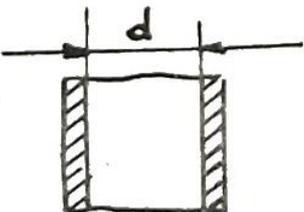
Pour les glissières, l'usure est limitée à 0.02/ 0.03 mm sur une longueur de 1mm pour les équipements de précision élevée et à 0.1/ 0.2 mm sur la même longueur pour les équipements de précision normale .L'usure tolérée des tourillons de broches est de 0.01/ 0.05 mm, elle est déterminée par le degré de précision que doit assurer la machine-outil.

L'usure des tourillons d'arbres portant des roulements ne doit pas dépasser 0.03 à 0.04 mm, alors que l'usure des cannelures dans le sens de la largeur doit se situer entre 0.1 et 0.15 mm

**Tableau (2.1) : usures tolères dans les ensembles arbres-paliers n'impliquant pas de travaux de réparation.**

Diamètre de l'arbre mm	Mécanisme d'importance mineure	Mécanismes vitaux dont l'arbre tourne à une vitesse de (tr/min)			
		1000 max		1000 min	
		La charge spécifique étant de (kgf/cm <sup>2</sup> )			
		30 max	30 min	30 max	30 min
50 à 80	0.5	0.20	0.10	0.30	0.15
80 à 120	0.8	0.25	0.15	0.35	0.20
120 à 180	1.2	0.30	0.20	0.40	0.25
180 à 260	1.6	0.40	0.25	0.60	0.35
260 à 360	2	0.50	0.30	0.70	0.45

Tableau (2.2) : quelques valeurs de l'usure limite pour certaines pièces.

N°	Pièce	Usure limite, $U_{lim}$	Observations
1	Dents des engrenages à développant 	$U_{lim} = (0.75/0.8) h$ h : épaisseur de la couchée	Roue dentée cémentée ; traitement par le courant de haute fréquence.
		$U_{lim} = (0.1/0.24)m$ m : module de la roue dentée	Roues dentées améliorées (tempe à 830/850+ Revenu à 550/500), HB 270-300.
2	Cannelures à flancs en développante. 	$U_{lim} = 0.06 m$	Pour engrenage de réducteurs
		$U_{lim} = 0.1 m$	Pour engrenage des organes de travail
3	Cannelures à flancs parallèles 	$U_{lim} = (0.2-0.4) h$ h : épaisseur de la couche cémentée	Cannelures cémentées
		$U_{lim} = (0.03 - 0.05) b$ 	Cannelures améliorée
4	Rainures de clavetage 	$U_{lim} = 0.06 b$	
5	Cylindres 	$U_{lim} = cd$ d : diamètre intérieur du cylindre. C : coefficient de l'usure	C= 0.01 – 0.02 pour l'analité ; c= 0.001 pour conicité c= 0.02-0.03 pour l'usure de la circonférence.

**CONCLUSION**

D'après ce chapitre, on remarque que l'usure est un phénomène inévitable pendant le fonctionnement des un pièces de machines. Le but de l'étude et de l'analyse du phénomène d'usure est sa limitation par le biais de la construction et de la conception, ou par des procédés utilisés en maintenance.

Malheureusement, la majorité des phénomènes d'usure se terminent par des pannes ou avaries qui nécessitent des réparations ou par des perturbations des régimes de fonctionnement des équipements qui sont sanctionnées par une mauvaise qualité des produits finis de ces équipements.

La majorité des pannes ou avaries des pièces causées par ces types d'usures nécessitent une remise en état.

L'analyse des causes d'usure montre que ces dernières sont rarement uniques, elles sont le plus fréquemment multiples d'où le très grand nombre de solutions de remise en état. Le procédé le plus répondu est le rechargement.

# Chapitre 3

Station de broyage

### 3.1 INTRODUCTION :

Le broyage constitue une étape clé et essentielle du processus d'extraction des minerais. De toutes les activités d'exploitation minière, le broyage est le processus consommant le plus d'énergie en moyenne.

Pour garantir la rentabilité de l'exploitation, il convient de mettre en place un circuit de broyage efficace, surtout à l'heure actuelle, face à l'épuisement des ressources mondiales en minerais et à la nécessité grandissante d'exploiter des gisements à faible teneur.

Ces évolutions nous ont poussés à élaborer de nouvelles technologies adaptées à des machines plus imposantes tout en augmentant leur rendement. Si les broyeurs à simples pignons suffisaient auparavant pour le traitement de toutes sortes de matériaux, les broyeurs à doubles pignons ou sans engrenages sont désormais indispensables.

Nous avons, d'une part, adapté les équipements de broyage afin de repousser leurs limites en termes de technique et de performance.

D'autre part, notre solution d'entraînement a également fait l'objet d'un développement continu, inspiré des dernières tendances, permettant d'atteindre de nouvelles frontières en matière de broyage.

De nos jours, le nombre d'usines alimentées par des systèmes de convertisseur de fréquence ne cesse d'augmenter, ceux-ci améliorant les performances et la souplesse d'utilisation.

C'est-à-dire réduire la matière en petits fragments ou en poudre. Pour cela il faut la soumettre à des forces de contraintes supérieures à sa résistivité et on appelle ces actions dans la RDM dépasser le domaine d'élasticité et critique de matière et la ramener à son domaine de rupture.

Dans la nature il existe quatre types d'actions principales qui nous permettent de solliciter une matière à savoir ; compression, traction, cisaillement, flexion ou la torsion .

Mais aussi on peut la solliciter à une combinaison de ces actions.

Le broyage constitue la deuxième étape de fragmentation. Il prend en charge des matières déjà réduites (< 10 mm) et porte les granulométries jusqu'à des dimensions micrométriques. Il s'opère en voie sèche ou humide (pulpe).

Différentes techniques mettent en œuvre à divers degrés des principes tels que l'écrasement, l'impact, l'attrition et l'abrasion. Cette opération, poussée jusqu'à la micronisation, peut mener à l'extrême une amorphisation des structures cristallines mise à profit au travers de mécano chimie pour fonctionnaliser les matières (fabrication de nouveaux liants, activation...).

**3.2 DEFINITION D'UN BROYEUR :**

Un broyeur est une machine de broyage des matériaux qui est réalisé par un mariage De deux parties suivante :

Partie mécanique ; qui comporte une trémie, des axes, des utiles de broyage (Couteaux, lames, marteaux...etc.), un réducteur de vitesse, et une carcasse qui assure l'assemblage de tous ces éléments...etc.

Partie électrique ; qui contienne un circuit de commande (tableau de commande), Et un circuit de puissance (moteur électrique ou thermique).

Le broyeur est une machine utilisée pour le broyage des matériaux, soit faciles à traiter ou difficiles (le plastique, le papier, le ciment...etc.). Il représente dans l'industrie une solution pour l'abattement des frais de gestion des déchets en général. Le broyeur peut parfois être considéré comme un véritable moyen de production notamment dans les cas suivants lorsque les déchets de fabrication sont réutilisés directement dans le cycle de production.

Lors de la mise en place de processus de production utilisent comme matière première des déchets d'autres processus industriel (concept et recyclage). [22]

**3.3. LES DEFERENTS TYPES DE BROYEUR : [23]****3. 3.1 Les broyeurs verticaux :****a) Le broyeur vertical à piste :**

Les broyeurs à piste ou à meules sont des appareils à axe vertical dont la hauteur atteint 8 à10 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.

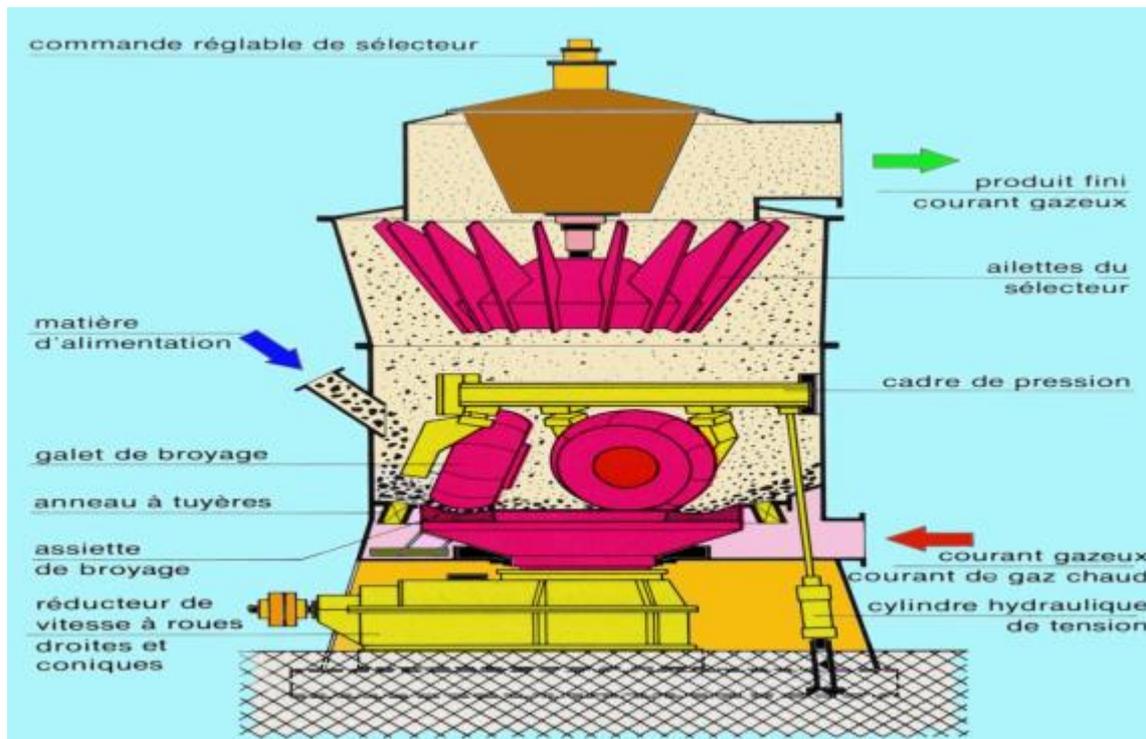
Les broyeurs verticaux à piste sont des appareils qui effectuent 3 opérations en même temps : Broyage, Séchage, Séparation .Ils sont particulièrement adaptés au broyage des matières crues.

- **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 réparateur 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.



**Figure3.1 :** Vue de dessus assiette et galet de broyeur

### Avantage:

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

### b) Le broyeur vertical à bill

Le broyeur à billes est très répandu dans les ateliers de broyage charbon : les engin (ressorts, vérins).

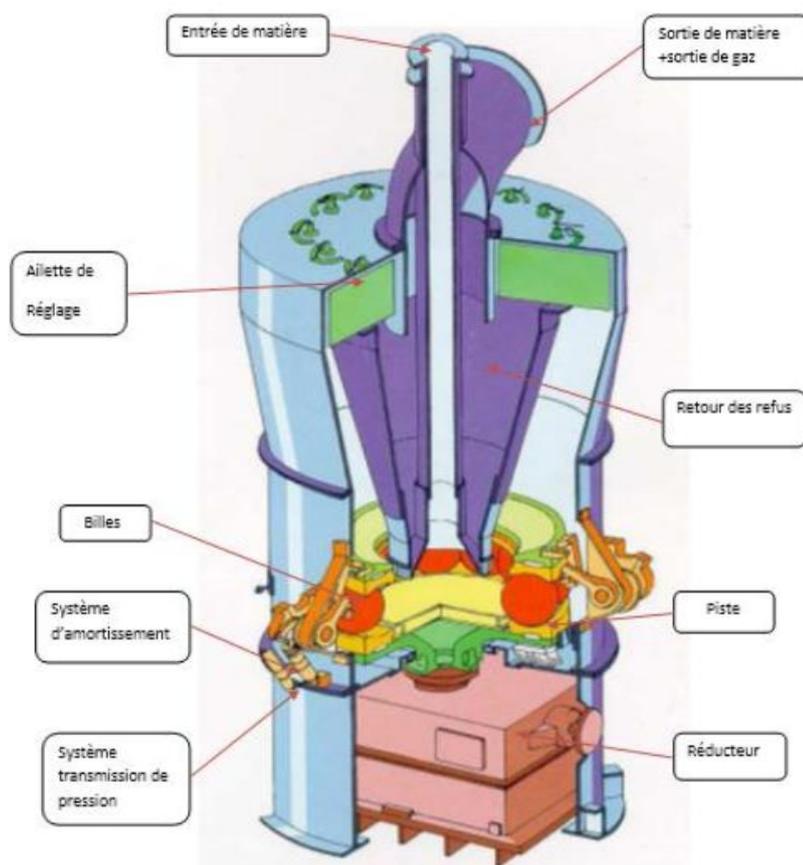
Le nombre et le diamètre des billes varient en fonction de la taille du broyeur. Ils sont généralement équipés d'un séparateur statique ou d'un séparateur de 3ème génération permettant ainsi d'accroître les performances en termes de débit, de finesse et de stabilité.

#### 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 broyant et maintenance réduite.

#### Inconvénient :

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



**Figure 3.2 : Le broyeur vertical à bille**

**3.3.2 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 3.3 :** 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.

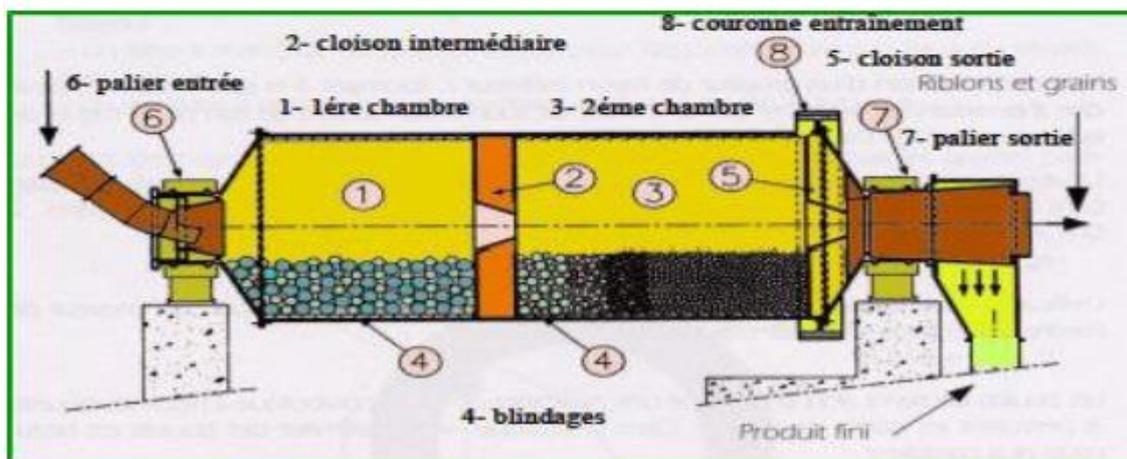
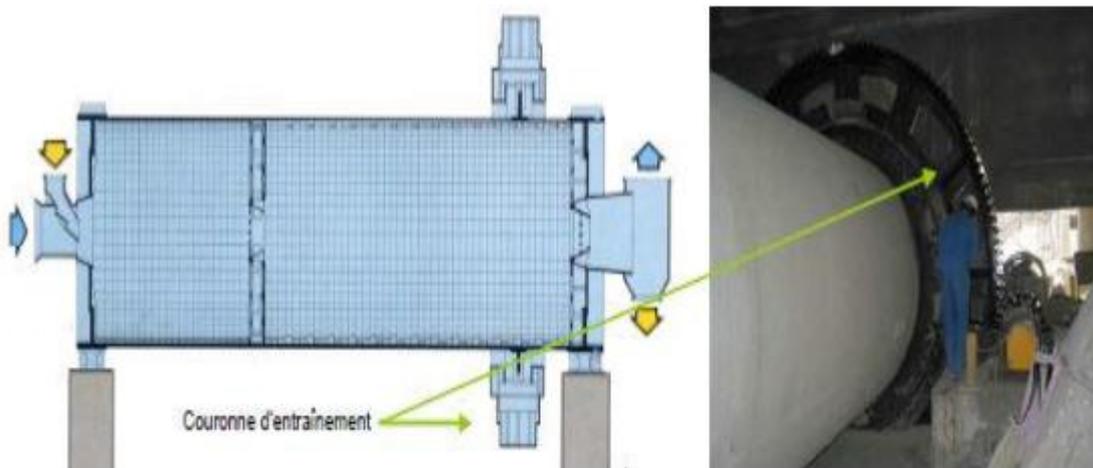


Figure 3.4 : Les composants du broyeur à attaque latérale

3.4 LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT : [24]

La force motrice du moteur électrique est transmise par le réducteur 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, 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.

### **3.5. LES PRINCIPAUX COMPOSANTS DU BROYEUR A BOULETS : [25]**

#### **3.5.1 La Virole :**

La virole est une tôle d'acier laminée SM50 pour constructions soudées. Elle comporte des brides en acier coule 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 orientés à l'opposé l'un de l'autre, soit à 180 °.



**Figure.3.5 : La virole**

#### **3.5.2 Fond d'entrée :**

Il fixe avec la virole par des boulons de fixation.



**Figure .3.6 : Fond d'entrée**

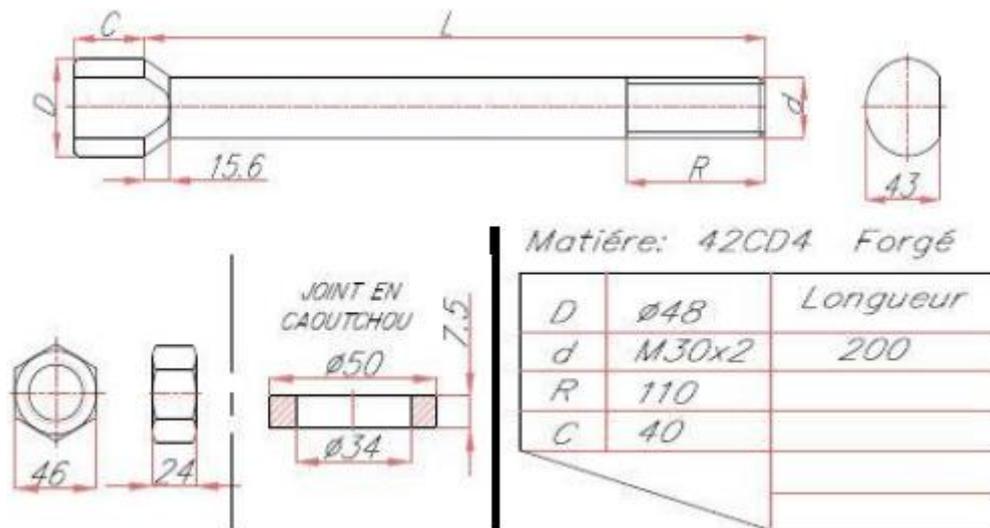


Figure.3.7 : Dessin technique du boulon de fixation

3.5.3 Les blindages :

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.

a) 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.3.8 :** Blindage compartiment

**b) 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  $\mu\text{m}$  demande des boulets de 15mm. Pour assurer ce classement, on utilise des blindages classant.

Le redent des blindages classant 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.3.9** : Blindage Compartiment2

### 3.5.4 La cloison :

#### a) 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.



**Figure3.10** : Cloison intermédiaire

**3.5.5. 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.



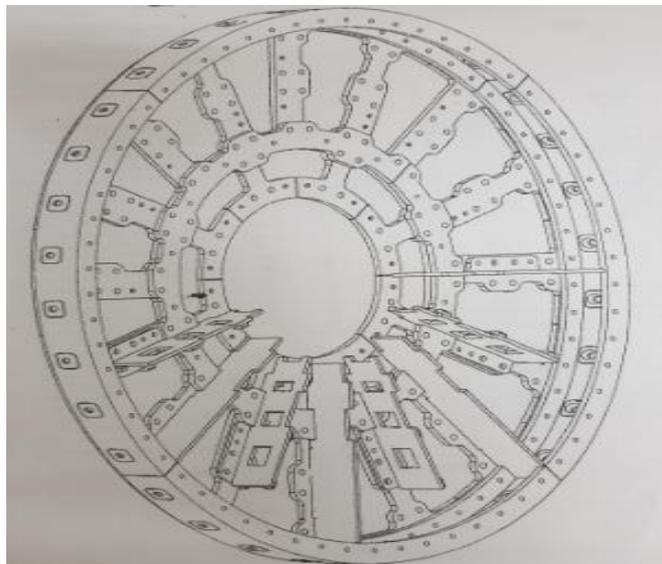
**Figure3.11 :** Cloison des décharges :

Les rôles de cloison sont :

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

**3.5.6. Le cadre ou bien le squelette :**

Est fixé dans la virole par des boulons



**Figure.3.12:** squelette de cloison

3.6. LES PLAQUES :

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

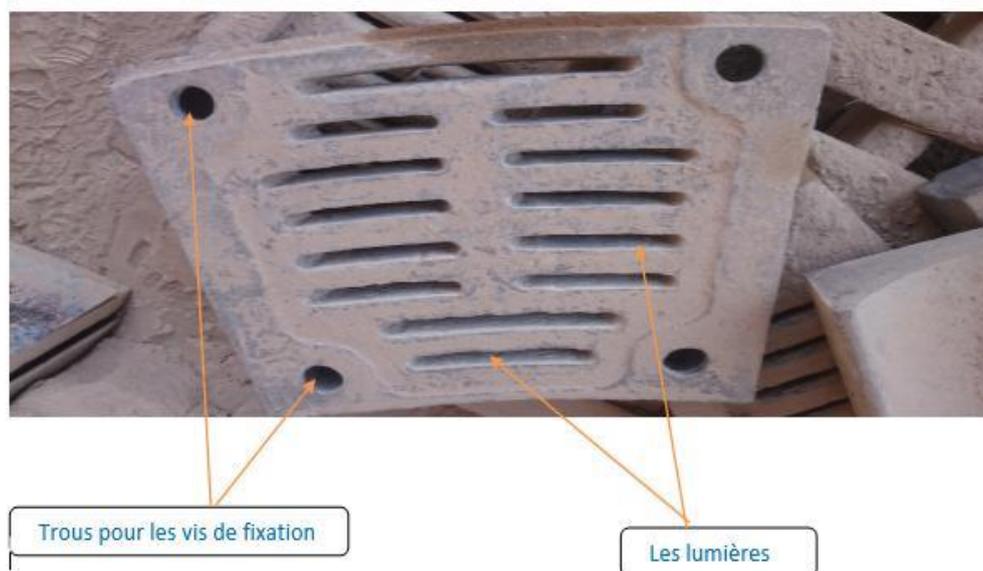


Figure.3.13 : plaque de cloison

La dimension des lumières dépend de :

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

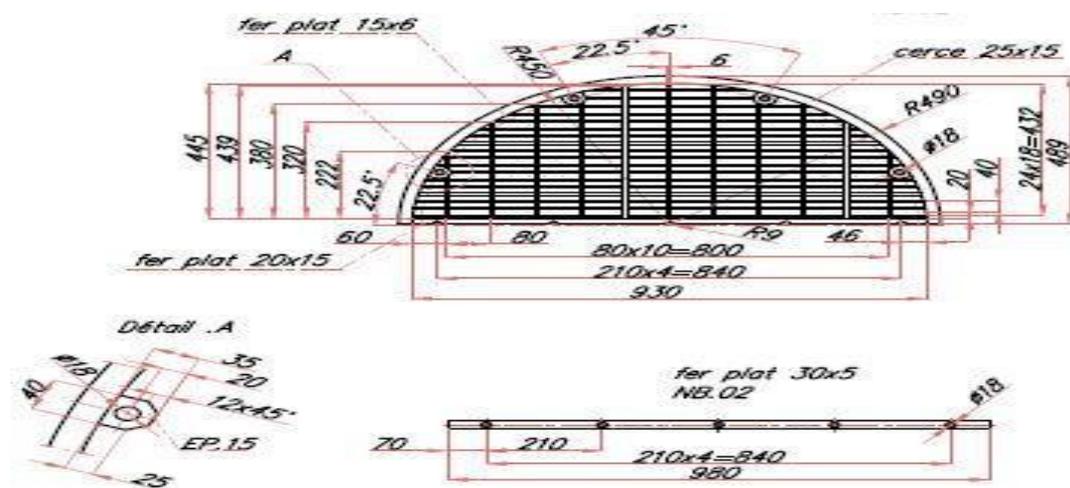


Figure.3.14 : Dessin technique de grille centrale

**3.7. 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.3.15** : palier de sortie et d'entrée

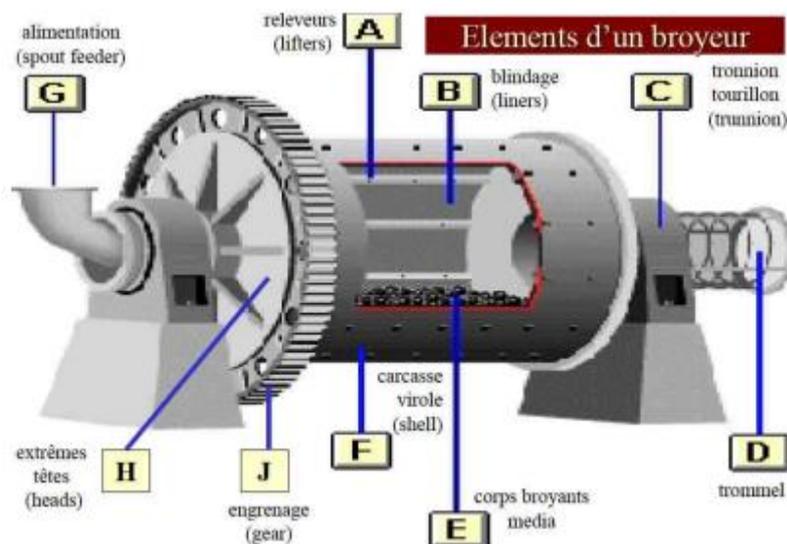
**3.8. Broyeurs à boulets : [26]**

La fragmentation du minerai a pour but de réduire la taille de fragments de minerai pour libérer les minéraux de valeur afin de pouvoir, par la suite, les séparer des minéraux de gangue. La fragmentation débute habituellement par des opérations de concassage et de broyage primaire, qui peuvent être effectuées dans des broyeurs autogènes, semi-autogène, à barres ou à boulets (Mular, 1978).

Le produit broyé est en général rebroyés dans des circuits de broyages secondaire et tertiaire pour arriver à la finesse requise pour la séparation. Puisque le projet de recherche porte sur le broyage à boulets, cette section rappelle brièvement les caractéristiques de ces équipements.

Un broyeur à boulets est un cylindre fermé à chaque extrémité similaire à celui montré à la figure.3.16. Des ouvertures aux deux extrémités permettent à la matière d'entrer et de sortir du broyeur. L'alimentation des broyeurs à boulets peut être sèche, mais est habituellement composée d'un mélange d'eau et de particules appelé pulpe minérale. Le broyeur est chargé de corps broyant, à environ 30 à 40% de son volume, habituellement des boulets d'acier ou de fonte, dont les dimensions sont ajustées en fonction des caractéristiques de l'alimentation du broyeur. Un moteur entraîne le broyeur en rotation provoquant des cascades et des cataractes

de corps broyant sur les particules du minerai. Les particules de minerai sont brisées par impact et abrasion par les corps broyant (Mular, 1978). Les broyeurs à boulets industriels sont tous opérés en continu, c.-à-d. que la pulpe d'alimentation entre et sort en continu pendant la rotation du broyeur. Ce projet de maîtrise étudie les conditions qui favorisent la rétention des corps broyant de petite taille dans un broyeur opéré en continu et alimenté par une pulpe minérale.



**Figure.3.16** Schéma simplifié d'un broyeur à boulets (Bouchard, 2001)

Les variables importantes régissant l'opération des broyeurs à boulets sont :

- la géométrie du broyeur, c.-à-d. la longueur et le diamètre;
- la vitesse de rotation;
- les caractéristiques et l'usure des releveurs;
- le mode décharge de la pulpe;
- la charge de corps broyant;
- la taille des corps broyant;
- les caractéristiques de la pulpe d'alimentation.

Le diamètre et la longueur d'un broyeur définissent en général la capacité du broyeur, c.-à-d. la masse de matière qui peut être traitée par unité de temps. La vitesse de rotation varie entre 70 et 80% de la vitesse de rotation critique, qui correspond à la vitesse requise pour centrifuger la charge (Mular, 1978). Pour un broyeur de 4,5 m (15 pi) de diamètre la vitesse critique de rotation correspond à 20 RPM. La vitesse de rotation est habituellement fixée par le choix du pignon lors de l'installation du broyeur. Les releveurs sont des blocs de caoutchouc ou de métal qui protègent la surface interne du broyeur et favorisent le relevage des boulets. Les deux principaux modes de décharge de la pulpe des broyeurs sont le débordement ou le relevage à travers une grille de décharge.

La décharge par débordement implique que le niveau de pulpe dans le broyeur soit supérieur à l'ouverture de la buse de décharge du broyeur.

La pulpe qui déborde passe alors dans un tamis cylindrique, appelé «trommel», fixé à la décharge du broyeur. Ce tamis est muni d'une vis sans fin qui recycle les gros morceaux d'acier dans le broyeur alors que la pulpe passe à travers le trommel et avance vers les procédés en aval du broyeur.

Dans un broyeur à grille, une grille à la décharge du broyeur relève la pulpe, et les particules de taille inférieure à celle des mailles passent au travers de la grille et sont évacuées par la buse de décharge. Ces caractéristiques de conception des broyeurs sont documentées par différents auteurs (Mular, 1978; Sepulveda, 1986; Gupta et Yan, 2006) et ne font pas l'objet de ce travail de recherche. Toutefois, lors des travaux réalisés avec un broyeur de 40x40 cm nous avons observé que la rétention de corps broyant de petite taille (moins de 12 mm) dans un broyeur à grille est très faible.

Par conséquent, les corps broyant de petite taille ne devraient pas être utilisés dans des broyeurs à grille à moins que le diamètre de ces boulets soit supérieur à la maille de la grille.

### 3.9. DIMENSION DES CORPS BROYANT : [27]

Le choix de la dimension des boulets dépend de la distribution granulométrique du minerai alimenté, de la dimension désirée du produit de broyage et de la dureté du minerai. Les coûts de l'énergie et des corps broyant sont aussi à prendre en considération lors de la sélection de la taille des corps broyant. La règle développée par Allis Chalmers pour la sélection du diamètre des boulets à ajouter dans un broyeur est donnée par Rowland et Kjos (1978) :

$$B = 25.5 \left( \frac{F_{80}}{K} \right) \left[ \frac{w_i \rho_s}{100 C_s (3.281 D)^{0.5}} \right]^{0.5} \quad (3.1)$$

Où :

- B : Diamètre de boulets, [mm];
- Wi : Works index, [ $kW - h/tc$ ];
- F80 : Dimension de 80% passant de l'alimentation, [ $\mu m$ ]
- $\rho_s$  : Masse volumique du minerai, [ $t/m^3$ ]
- Cs : Fraction de la vitesse critique (vitesse de rotation)
- D : Diamètre intérieur du broyeur, [m]
- K : Un facteur ajustable qui prend une valeur entre 335 à 350.

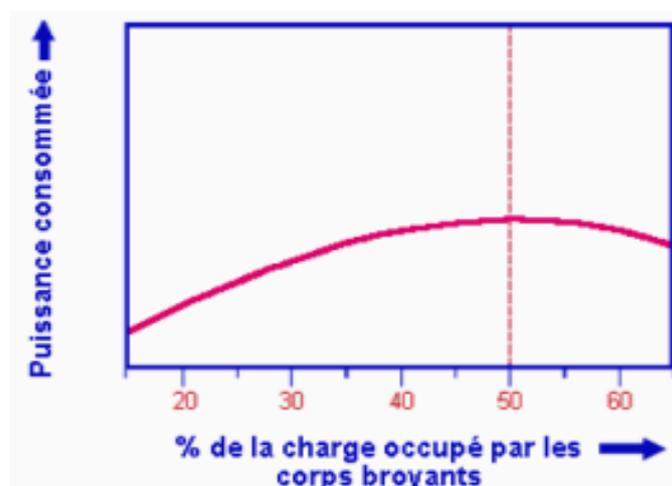
Les corps broyant habituellement utilisés en usine pour les broyeurs à boulets ont des dimensions qui varient entre 2,5 et 7,5 cm (1 et 3 po). Quelques exemples de broyeurs industriels et de dimensions de boulets. Le boulet de 3,8 cm (1,5 po) est utilisé dans beaucoup de concentrateurs pour des raisons de disponibilité de ces dimensions sur le marché et de coût d'achat. Toutefois, l'utilisation de corps broyant de 25 mm dans des broyeurs pour lesquels le D80 de l'alimentation est souvent inférieur à 0,04 mm a été remise en question dans les

dernières décennies et il a été possible de démontrer l'avantage du point de vue finesse du produit de broyage et rendement énergétique d'utiliser des corps broyant de moins de 0,7 cm pour les opérations de broyage fin (Brissette, 2012).

### 3.10. CHARGE DE BOULETS DANS LE BROEUR :

La charge de boulets dans un broyeur occupe habituellement entre 30 et 40% du volume interne du broyeur (Wills, 2006). Environ 40% du volume de la charge de boulets est vide, c.-à-d. est formé d'interstices.

Une augmentation du niveau de charge de boulets favorise la fragmentation du minerai, mais entraîne aussi une augmentation de la puissance consommée par le broyeur comme il est possible. Ces aspects sont discutés par plusieurs auteurs et ne sont pas couverts ici (Wills, 2006 ; Bouchard 2001).



**Figure.3.17.** Puissance consommée en fonction du degré de remplissage (Bouchard, 2001)

Le niveau de la charge de boulets dans un broyeur peut être mesuré de deux façons :

- Indirectement par la puissance soutirée par le moteur qui entraîne le broyeur en rotation. Dans des conditions normales d'opération, les opérateurs chargent les corps broyant pour maintenir une puissance cible d'opération du broyeur. Cette pratique pourrait cependant être responsable de l'évacuation de corps broyant lors d'un chargement du broyeur avec des corps broyant de petite taille. Cette hypothèse est discutée plus loin;
- En entrant dans le broyeur à l'arrêt et en mesurant la distance entre le sommet de la charge et le point interne culminant du broyeur. Habituellement, la mesure est prise à différentes positions et une hauteur moyenne est utilisée pour le calcul du volume de la charge. La fraction du volume interne du broyeur occupée par les boulets correspond à :

$$J_B = \frac{\frac{\theta}{2}R^2 - (H-R)R\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\pi R^2} \quad (3.2)$$

Où

$J_B$ : Est la proportion du volume occupé par la charge de boulets,

H : la distance moyenne entre le sommet de la charge et le point culminant interne du broyeur

R : le rayon interne du broyeur.

L'angle  $\theta$  : qui sous-tend la charge correspond à :

$$\theta = 2A \cos\left(\frac{H-R}{R}\right) \quad (3.3)$$

La notation est définie à la figure 4.5. La masse de corps broyant est finalement déduite en supposant une fraction volumique d'interstices de  $\phi_1$  (0,4) en utilisant:

$$M_b = \pi R^2 L J_B (1 - \phi_1) \rho_b \quad (3.4)$$

Avec

$\rho_b$ : La masse volumique des boulets et L la longueur du broyeur.

### **3.11 Les Principaux problèmes de broyeur : [23]**

Pendant une période de fonctionnement, on confrontés plusieurs problèmes que des usures. Ces dernières peuvent réduire la durée de vie de l'équipement.

#### **3.11.1 Principaux problèmes des massifs :**

- a. Affaissement des fondations entraînant
  - Un désalignement de la commande
  - Une poussée axiale excessive sur les coussinets du broyeur
  
- b. Fissures du béton causées par :
  - Une infiltration d'huile (mauvaise étanchéité)
  - Les vibrations
  - La corrosion des ferrailages du béton armé (infiltration d'eau)

**3.11.2 Principaux problèmes des paliers:**

a. Boulons d'ancrage desserrés ou cassés:

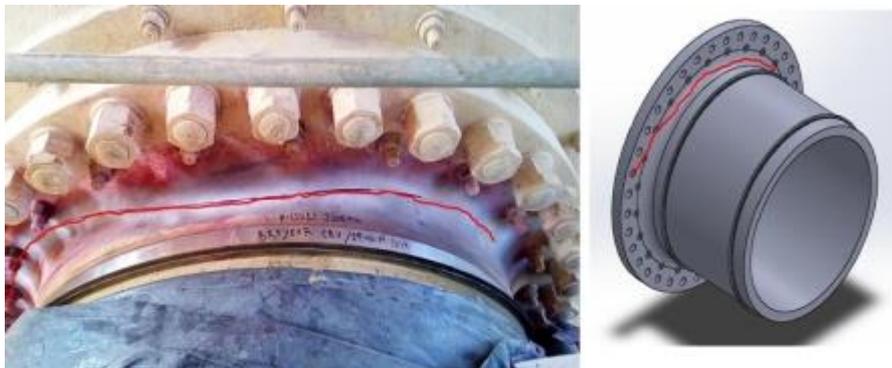
- En raison des vibrations
- En raison d'un mauvais calage et de la qualité du béta

b. 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

**3.11.3. Principaux problèmes sur le tourillon:**

- Fissures de tourillon causées par la vibration et les charges



**Figure.3.18:** fissure de tourillon

**3.11.4. Principaux problèmes sur le fond d'entrée:**

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

**3.11.5. Principaux problèmes sur la cloison**

- Male fixation des plaques.
- Usure sur les plaques

**3.11.6. Principaux problèmes sur L'accouplement de vireur du broyeur**

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

**3.11.7. Principaux problèmes sur le réducteur du broyé**

- 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

**3.11.8. Principaux problèmes sur la virole****a. Fissure:**

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

**b. Déformations:**

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

**c. 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).

**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 4

Partie expérimentale

**4.1 LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE BROYEUR A BOULETS****4.1.1 Description de l'unité d'intervention :**

- Désignation : broyeur à boulets type : R10
- Origine : Japon KAWASAKI.
- N° commande : CM71-14
- N° série : ML1238

**4.1.2 Dossier technique du broyeur à boulets :**

- Fournisseur : KAWASAKI HEAVY INDUSTRIE
- 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)

**4.1.3 Caractéristique du moteur principale :**

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

**4.1.4 Caractéristique du réducteur :**

- Réducteur planétaire MAAG
- Type : CPU30. 2 étages, 3 planétaires par étage, porte plan
- 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 : 312
  - Poids : Premier étage complet environ : 13000kg
  
- Deuxième étage complet environ : 45000kg
  - Poids total environ 58000kg

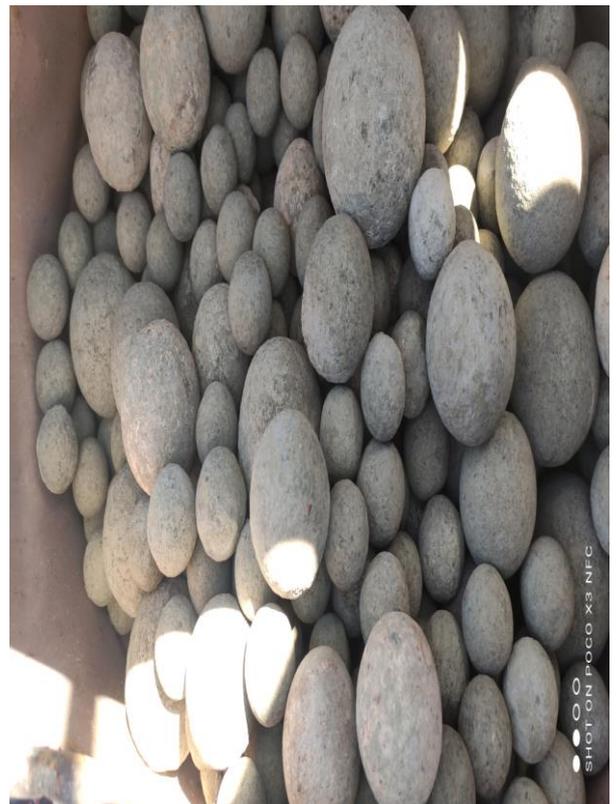
#### 4.1.5 Les caractéristiques principales des boulets :

Les activités minières nécessitent des **boulets pour le broyage** des minerais ou des extraits de roche pour permettre leur séparation et l'obtention de poudres pures. Ce broyage se fait par contact entre les boulets et les minerais qui sont placés ensemble dans de grands mélangeurs : les boulets concassent le minerai par leur poids et par l'énergie créée par la vitesse de rotation du mélangeur.



**Avant**

**Fig.4.1:** Boulets de broyage : 10 à 90 mm



**Après**

**4.1.6 Stock et logistique :**

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,52-0,6	0,5-0,8	0,17-0,37	0,04	0,035	0,25	0,3	0,3

Nous disposons d'un stock régulier de boulets diamètre (10, 20,30...90 mm). Des tests de dureté sont réalisés sur chaque lot de production en surface et à cœur afin de vérifier l'adéquation de la bille avec l'application broyage. Nous pouvons ainsi organiser des transports par containers pleins ou via groupage sur l'ensemble de vos sites miniers ou à destination d'un port à proximité.

**Composition matière (valeurs courantes en %) :**

Les avantages de ce type d'acier

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

**4.1.7 CALCUL DES CHARGES :****➤ Charge 1ère chambre**

En 1ère chambre, il faut un mélange de boulets qui donne une charge plus compacte qu'une charge d'une seule dimension.

Il y a évidemment une infinité de charges composées d'un mélange de boulets.

Une charge s'est avérée être au moins aussi bonne que toutes les autres, c'est celle où on a le même nombre de boulets de chaque diamètre.

Une telle charge à le grand avantage que pour la garder constante dans le temps il suffit d'ajouter le Ø maximum.

**✓ Le premier compartiment :**

- Longueur : 4,27 m
- Diamètre de C1 : 2,63 m
- Densité des boulets : 7,8
- Masse volumique apparente : 4,5 t/m<sup>3</sup>
- Nombre de boulet : 18134
- Poids moyen de boulet : 1,65 kg

**Exemple :** supposons un volume intérieur du broyeur (V utile) de 20 m<sup>3</sup>.

Remplissage Δ = 30%

$$1 \text{ m}^3 \text{ boulets en 1ère ch.} = 4,5 \text{ T/m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ boulets en 2ème ch} = 4,65 \text{ T/m}^3$$

$$30\% \text{ de } 20 \text{ m}^3 = 6 \text{ m}^3 \text{ de boulets}$$

**Charge:** 6 x 4,5= 27 tonnes de boulets tonnage

1 boulet de	- 90 pèse	2,980 kg.
	- 80	2,090
	- 70	1,400
	- 60	0,882
		-----
		$\Sigma = 7,352 \text{ kg}$

Il faut donc  $27000/7,352= 3670$  boulets de chaque dimension

<b>Tonnage</b>	3670 x 2,963	=	11,00 t
	3670 x 2,692	=	7,75 t
	3670 x 2,224	=	5,00 t
	3670 x 1,842	=	3,25 t
			-----
			$\Sigma = 27,00 \text{ tonnes}$

**Tableau 4.1 :** massiques des boulets (90-60)

boulets (mm)	tonnage (t)	% massique
90	11	40,74
80	7,75	28,7
70	5	18,52
60	3,25	12,04

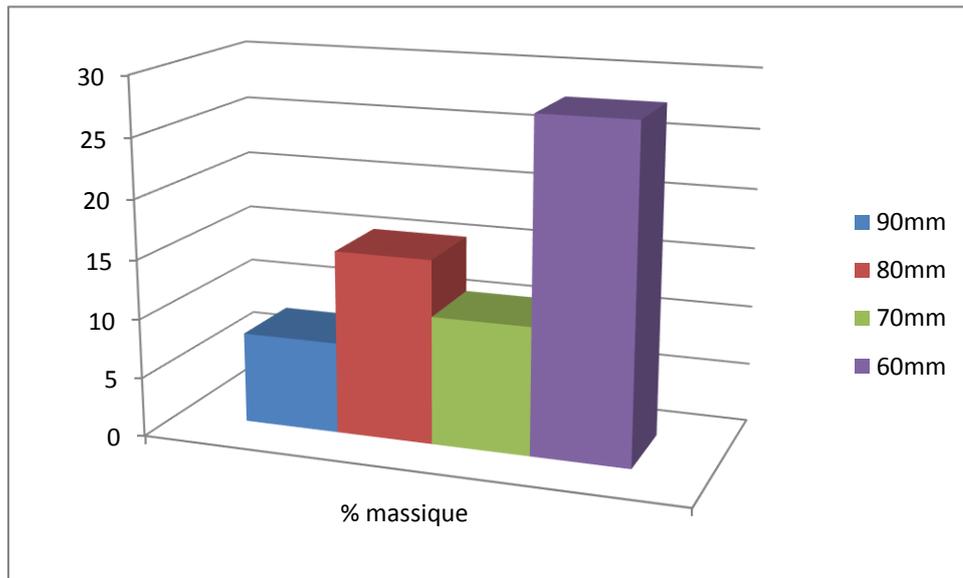


Figure.4.2 : massiques% vs diamètres (90 à 60mm)

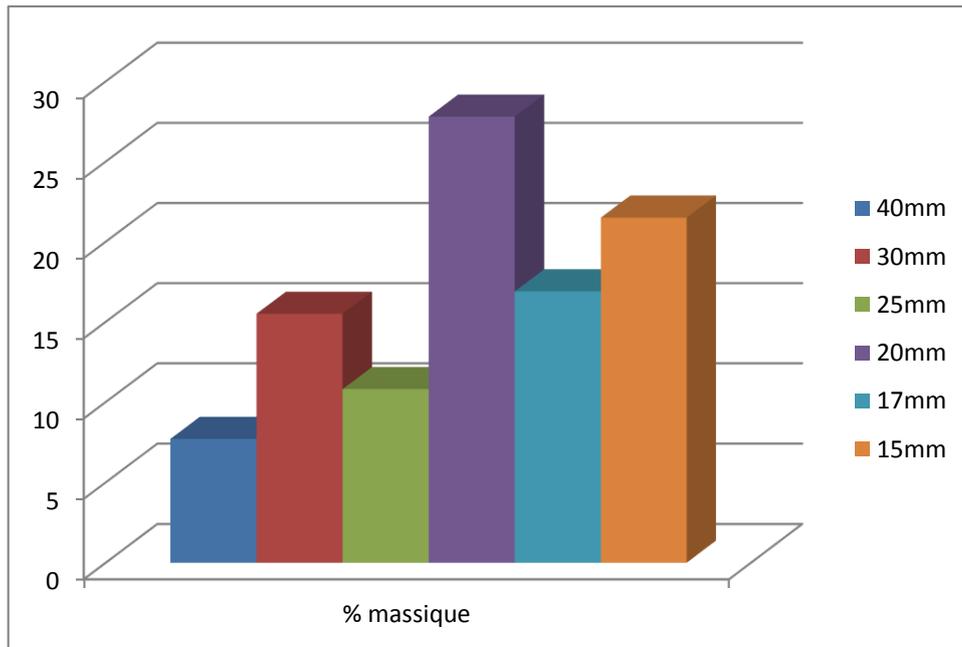
✓ **Le deuxième compartiment :**

- Longueur : 8,92m
- Diamètre de C1 : 2,72 m
- Densité des boulets : 7,8
- Masse volumique apparente : 4,7 t/m<sup>3</sup>
- Nombre de boulet : 2334338
- Poids moyen de boulet : 28g

On utilise la même méthode de calcul pour la 2<sup>em</sup> chambre, on conclut le résultat dans le tableau suivant :

**Tableau 4.2 :** Massiques des boulets(40-15)

boulets (mm)	tonnage (t)	% massique
40	5	7,7
30	10	15,5
25	7	10,8
20	18	27,8
17	11	16,9
15	14	21,5



**Figure.4.3 :** massiques% vs diamètres (40 à 15mm)

**4.2LE BLINDAGE :**

Du point de vue qualité, épaisseur et forme, le blindage répond au problème de broyage donné, le blindage est choisi en fonction du système de broyage, du diamètre et de la longueur du compartiment du broyage, du produit à broyer ainsi que la nature et de la grandeur des corps de broyage. Comme matière on utilise l'acier moulé électrique de tous degrés habituels d'alliage, de trempe et de revenu, la fonte trempée en coquille et l'acier austénitique au manganèse. La préférence est donnée aux plaques de dimension standard à surface très profilée, ondulée ou lisse. Dans le cas où le procédé de broyage l'exige, le compartiment finisseur d'un tube broyeur a deux compartiments est garni d'un blindage formé de plaques classeuses. Voir les figure.4.4 et figure.4.5



**Figure.4.4 :** Des plaques de blindage après l'usure



**Figure.4.5** : Des plaques de blindage avant l'usure

En vue d'une meilleure utilisation de l'énergie de broyage, en particulier dans le cas de produits difficiles à broyer, on peut prévoir un blindage spécial dont les plaques sont exécutées et disposées de façon qu'à n'importe quel endroit la section du compartiment de broyage se présente sous forme d'un carré à coins arrondis. Ces carrés, déposés l'un à la suite de l'autre dans l'axe de la virole, sont décalés d'un certain angle l'un par rapport à l'autre, les blindages formés de poutres ou de barres ou les blindages d'ébonite conviennent particulièrement au broyage humide en raison de leur fixation par un nombre réduit de boulons ou sans l'aide de boulons, pour le broyage en milieu non ferreux, par exemple de sable siliceux, de ciment blanc, de pigments etc. la virole est revêtue de silex ou de basalte fondu.

#### **4.2.1 La fonction des plaques de blindages :**

Elles ne sont pas limitées à la protection de la virole du broyeur seulement mais elles favorisent ainsi le classement de la charge dans le compartiment finisseur et le relevage de la matière dans le compartiment préparateur. Les blindages classant dans le compartiment finisseur se traduisent par une amélioration de 10 à 15 % concernant la consommation spécifique d'énergie.

4.3 CALCUL LA VITESSE DE L'USURE, V :



Figure.4.6: Une boule (90mm) avant et Après l'usure



Figure.4.7 : Une boule (80mm) avant et Après l'usure



**Figure.4.8** : Une boule (40 mm) avant et Après l’usure

En utilisant la relation 2.4, on détermine la vitesse de l’usure

Formule ; 
$$V = \frac{\Delta p}{t} \quad \text{kg/h} \quad (1.4)$$

OU 
$$V = \frac{P_{\text{initiel}} - P_{\text{final}}}{6 \times 30 \times 24}$$

$$V = \frac{2,9663 - 27,593}{4320}$$

$$V = 4,79 \times 10^{-5} \text{ kg/h}$$

V : vitesse de l’usure

$P_{\text{initiel}}$  : Le poids initial

$P_{\text{final}}$  : Le poids final

Pendant la période de stage, nous concluons que l’absence de la maintenance préventive est la cause principale des défaillances, (corrosion de plaque des blindages et les boules)

On propose les solutions suivantes :

- Appliquée les types de maintenance préventive.
- Rechargements des boules avec un métal solide comme l’acier.
- Changement de matière des boules avec une matière plus dure.

Conclusion

générale

## CONCLUSION GENERALE

---

Un broyeur existant a été modifié pour créer une abrasion par impact et conditions d'usure par impact à trois corps.

Plusieurs matériaux ont été testés, notamment des matériaux PM et des matériaux de référence commerciaux. Propriétés de la sélection le matériau a été mesuré et la résistance à différentes conditions d'usure par impact a été caractérisée.

Les matériaux de référence ont donné de bons points de départ pour les comparaisons en raison de la de grandes différences dans leurs propriétés mécaniques et leur usure différente comportement. Les meilleurs matériaux PM ont montré qu'ils ont une usure compétitive résistance dans les conditions testées.

Les tests d'usure par impact ont prouvé qu'une dureté élevée n'est pas nécessairement suffisante pour offrent une bonne résistance aux chocs. La résistance aux chocs joue un rôle clé dans éviter les comportements cassants. Les meilleurs résultats de résistance à l'usure ont été obtenus lorsqu'un matériau convenablement traité avait une dureté élevée combinée à une résistance aux chocs et microstructure homogène. Ces propriétés étaient obtenues dans certains matériaux PM, étudiés dans cette étude.

Les résultats des tests sur le terrain ont été comparés aux résultats des tests en laboratoire. Surfaces d'usure ont montré un comportement à l'usure très similaire entre les échantillons de broyeur à marteaux et les vraies surfaces usées de la barre de levage. Selon cela, dispositif de type broyeur à marteaux peut être utilisé dans les tests d'usure, simulant l'environnement réel dans un broyeur

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] : systèmes d'entraînement de broyeur à couronne fonctionnement souple et adaptable aux besoins du broyage ( $p_2$ ).
- [3] : organisation-de-maintenance-cours-Etudiant-a-Remplir
- [4] : la+maintenance,+une+fonction+stratégique+dans+'entreprise.pdf
- [5] : maintenance Méthodes Et Organisations- François Monchy & Jean-Pierre vernier-dunod – 2000.pdf
- [7] Gautier LIST, Étude des mécanismes d'endommagement des outils carbure wc-co par la caractérisation de l'interface outil copeau application a l'usinage a sec de l'alliage d'aluminium Aéronautique AA2024 T351. Thèse de Mécanique et Matériaux, (décembre 2004),P156 paris.
- [8] G.Podzniakov, Cours théoriques pièces de machines, magistère Electromécanique minière, 1989.
- [9] C.Chipovsky, Cours théoriques de maintenance, magistère Electromécanique minière, 1989.
- [10] M. Kara, Optimisation de la consommation de l'énergie électrique « cas de la cimenterie de Ain-Touta, Algérie, Thèse de Doctorat d'état en Electromécanique, Université de Annaba, Algérie, 2007
- [11] E. FELDER, Modes d'usure et d'endommagement des cylindres de laminage à chaud. Relations avec les caractéristiques thermomécaniques des calamines (12/1984), Revue de Mmétallurgie – CIT, pp. 931- 942
- [12] Dr.S.Bensaada cours de corrosion université biskra mohammed khaidher.
- [13] conférence I.E.E.E ,comparaison de la corrosion et de résistance à l'éclatement des raccords en cuivre en aluminium,2005,canada .
- [14] Firelli trificable, cables électrique appareillage, filial française, paris, 1985
- [15] P.Lagonotte, Les installations électriques, Ed, Hermès Science, Paris, 2000
- [16] M.Belyi, et al, Electrotechnique minière, Ed, Université d'Annaba Algérie, Institut de Mine et Métallurgie, 1978
- [17] C.C.B.D.A, Publication N° 42 F, Etude de la résistance de raccords électrique, Canada, 2005
- [18] J.J.Lamoureux, Précis de corrosion, Ed, Masson, Paris, 1994
- [19] M. I. Petrescu, M. Pasare, True hardness of Ni-P/SiC coatings derived by a mathematical model. Revue Roumaine de Chimie, 2008. 53(8): p. 643 - 646.
- [21] LIM S.C., ASHBY M.F. Wear mechanism maps. Acta Metall., 1987, vol. 35, n° 1, pp. 1-24.
- [22] G.BERANGER;j.croletetp cunat.Technique de l'ingenieur.
- [23] MELLOUK Mohamed Amine Mémoire de projet de fin d'études université.saad.sahlab Blida 1 département de mécanique PV 19 2018/2019.

[25] Vocab. De l'astronaut. Québec, 1972, p. 13. - GUERET (J.). La Constr. aéron. Banque Mots.1972, no4, p. 180. - Termes techn. fr. Paris, 1972, p. 54.

[26]Ball Mills - an overview | Science DirectTopics 2021/06/04 15 :54

[27] université Laval Effets des conditions d'opération d'un broyeur à boulets 40x40 cm sur la rétention des corps broyant de petite taille

[28] Carnet de prescription « électricité au personnel » réalisé en collaboration entre les services de SONELGAZ et EDF, 1971.

[2] : [http:// www.legarrec.com/entreprise/type-maintenance industrielle.html](http://www.legarrec.com/entreprise/type-maintenance-industrielle.html)

[6] : [Usinage de Pièces : Différents Types de Matériaux Utilisés en Atelier \(braidwoodgear.com\)](http://www.braidwoodgear.com)  
06/06/2021 14 :43.

[20]<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/frottement-et-usure-42464210> 05/06/2021 23:35 .

[24] <https://www.lessine.com/fr/solutions/broyage/broyeur-boulets-batch?> 2021/06/04 15:38