

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Parcours : Master

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Diagnostic et analyse des défaillances
dans un broyeur à boulets

Préparé par :

BAKLOUCH YAZID
BOUBEKEUR SOUFYANE

Soutenu publiquement le : 15 / 07 / 2021, devant le jury composé de :

Mr.SASSI AHMED	Maître Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
Mme.MAKHFI SOUAD	Maître Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
Mr.MADANI AHMED	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
Mr. AISSAT SAHRAOUI	Maître Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur

Année universitaire : 2020 - 2021

Remerciements

À l'issue de cette fin d'étude, nous adressons nos sincères remerciements
premièrement à « Allah » tout puissant qui nous a donné la santé, la patience.
Et je tien a remercié également mon prophète « Mohamed » pour nous guider à
la bonne voie.

Nous remercions sincèrement Monsieur le président, pour le grand honneur
d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Ensuite, on tient à adresser nos plus vifs remerciements à notre encadreur
Mr : SAHRAOUI AISSAT pour nous avoir encadré, suivi et encouragé.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury, d'avoir accepté
d'examiner notre travail.

On remercie également, tous les membres du jury de bien vouloir juger ce travail.
Ainsi que tous nos enseignants du département de GM.

On n'exclue pas de ces remerciements toutes les personnes qui ont aidé de près ou
de loin dans la réalisation de cette PFE.

Enfin, on remercie tout particulièrement nos parents, pour leur soutien
inconditionnel tout au long de nos longues années d'études.

On veut également remercier nos familles et nos amis pour leur soutien moral.

Les discussions, les remarques et les commentaires de nos collègues ont été
sources d'idées et ont contribué au développement et à l'amélioration de cette
étude.

Merci à tous

Dédicaces

Je dédie ce travail :

*Ma chère mère m'a soutenu et m'a toujours
encouragé à continuer mes études.*

*Pour mon cher père qui n'a jamais cessé de m'aider et
de me conseiller, Que Dieu ait pitié de lui.*

A mes frères.

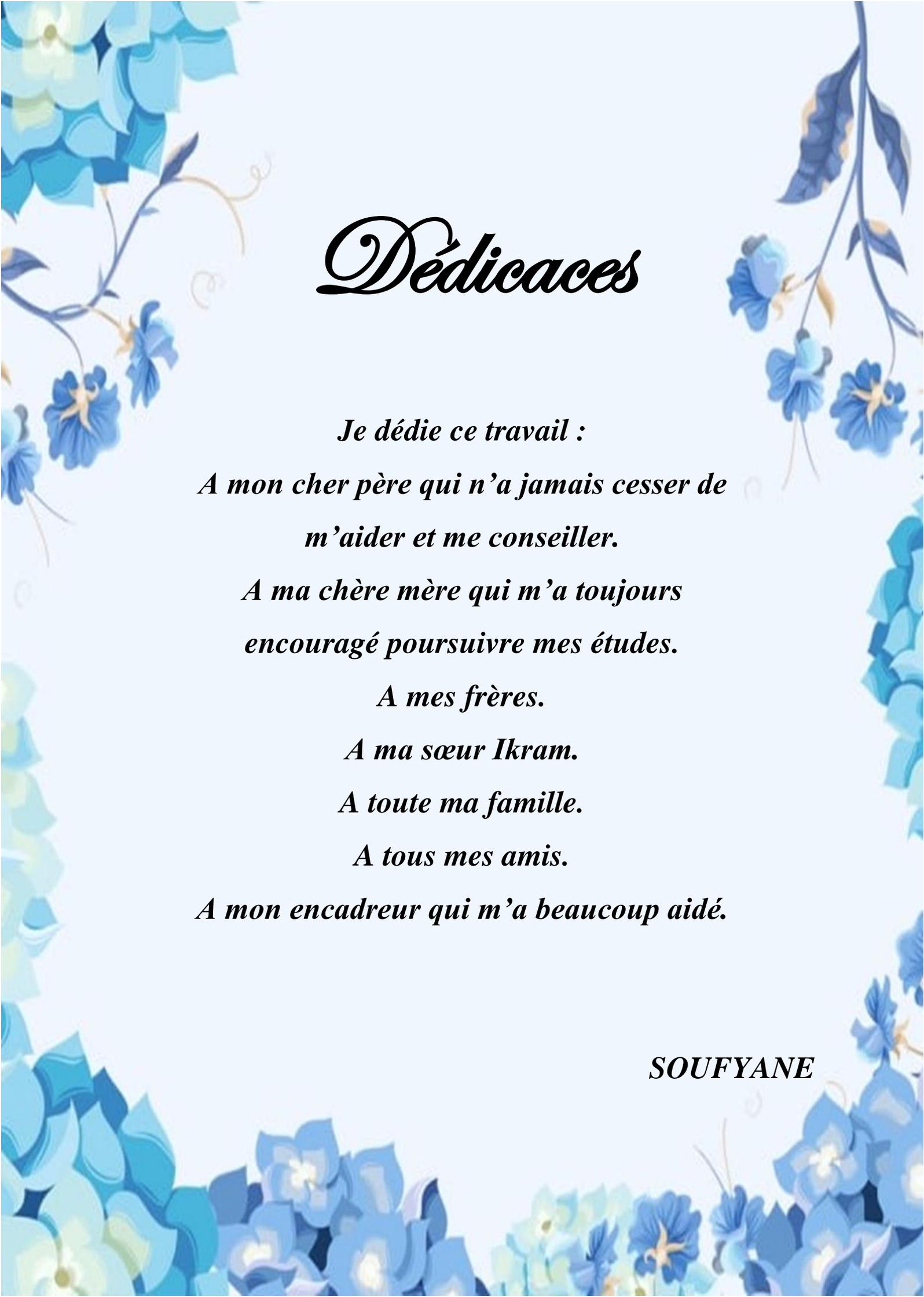
A toute ma famille.

À tous mes amis.

Pour mon entraîneur qui m'a tant aidé.

Pour la Nation Islamique.

YAZID



Dédicaces

Je dédie ce travail :

*A mon cher père qui n'a jamais cessé de
m'aider et me conseiller.*

*A ma chère mère qui m'a toujours
encouragé poursuivre mes études.*

A mes frères.

A ma sœur Ikram.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A mon encadreur qui m'a beaucoup aidé.

SOUFYANE

SOMMAIRE

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralités sur la fragmentation et la production du ciment

I.1- Introduction..... 4

I.2- Fragmentation 4

I.2.1- Objectif de la fragmentation 4

I.2.2- Mode de fragmentation..... 4

I.2.2.1- Fragmentation par écrasement..... 4

I.2.2.2- Fragmentation par cisaillement 5

I.2.2.3- Fragmentation par frottement 5

I.2.2.4- Fragmentation par choc 6

I.2.3- Caractéristiques de fragmentation 6

I.3- Fragmentation grossière 7

I.3.1- Appareil de fragmentation grossière 7

I.3.1.1- Concasseurs à mâchoires 7

I.3.1.2- Concasseurs giratoires 8

I.3.1.3- Concasseurs à cylindres..... 9

I.3.1.4- Concasseurs à rotor..... 10

I.3.1.5- Désintégrateurs 10

I.3.1.6- Concasseurs à marteaux..... 11

I.3.2- Caractéristiques de fragmentation grossière..... 12

I.4- Fragmentation fine et ultrafine 13

I.4.1- Appareil de fragmentation fine et ultrafine 13

I.4.1.1- Broyeurs à barres	13
I.4.1.2- Broyeurs à boulets	14
I.4.1.3- Broyeurs à semi-autogènes.....	14
I.4.1.4- Broyeurs à galets	15
I.4.1.5- Broyeurs à rouleaux ou cylindres	16
I.4.2- Caractéristiques de fragmentation fine et ultrafine	17
I.5- Utilisation des broyeurs à boulets dans la production du ciment.....	18
I.6- Conclusion	19

Chapitre II : Etude bibliographique sur les broyeurs à boulets

II.1-Introduction	21
II.2- Généralités sur les broyeurs	21
II.3- Les principaux composants du broyeur à boulets	22
II.3.1- La virole	22
II.3.2- Blindages	23
II.3.3- Les cloisons	25
II.3.4- Paliers de broyeur.....	26
II.3.5- Grilles de décharge.....	27
II.3.6- La goulotte d'entrée	27
II.3.7- Les tourillons.....	28
II.3.8- Commande.....	28
II.4- Etudes analytiques sur Broyeur à boulets	29
II.4.1- Caractéristique technique	29
II.4.2- L'installation du broyeur	29

II.4.2.1- Le broyeur en circuit ouvert	29
II.4.2.2- Le broyage en circuit fermé	29
II.4.3- Le principe de fonctionnement.....	30
II.4.3.1- Rotation à vitesse lente.....	30
II.4.3.2- Rotation à vitesse élevée	31
II.4.4- Taux de remplissage.....	32
II.5- Les Principaux défaillances de broyeur	32
II.5.1- Principaux défaillances des paliers	32
II.5.2- Principaux défaillances sur le tourillon.....	32
II.5.3- Principaux défaillances sur le fond d'entrée	33
II.5.4- Principaux défaillances sur la cloison	33
II.5.5- Principaux défaillances sur la virole	34
II.5.6- Principaux défaillances sur le réducteur du broyeur.....	35
II.6- Présentation de la maintenance	36
II.6.1- Définition de la maintenance.....	36
II.6.2- Objectifs de la maintenance	36
II.6.3- Types de la maintenance	37
II.6.3.1- Maintenance préventive	38
II.6.3.2- Maintenance corrective	39
II.7- Conclusion.....	39

Chapitre III : Diagnostic et analyse des défaillances dans un broyeur de cimenterie

III.1- Introduction.....	41
--------------------------	----

III.2- Diagnostic	41
III.2.1- Terminologies	41
III.2.2- Classification des défauts.....	41
III.3- Généralités sur diagramme de "PARETO"	42
III.3.1- Historique.....	42
III.3.2- Définition	42
III.3.3- L'objectif de l'analyse "PARETO"	42
III.4- Diagramme de "PARETO" et analyse ABC.....	43
III.4.1- Principe du diagramme de "PARETO"	43
III.4.2-Principe de l'analyse ABC	43
III.4.3- Critères d'analyse	43
III.5- Historiques des pannes dans un broyeur à boulet.....	44
III.5.1- Présentation direct des pannes	44
III.5.2-Pourcentage des pannes dans le broyeur à boulet.....	46
III.6- Analyse des temps d'arrêt dans le broyeur à boulet	47
III.6.1- Les pannes mécaniques.....	47
III.6.1.1- Diagramme de "PARETO"	47
III.6.1.2- Analyse ABC	48
III.6.2- Les pannes hydrauliques	49
III.6.2.1- Diagramme de "PARETO"	49
III.6.2.2- Analyse ABC	50
III.6.3- Les pannes électriques	51
III.6.3.1- Diagramme de "PARETO"	51

III.6.3.2- Analyse ABC	52
III.6.4- Différentes pannes dans le broyeur à boulet.....	53
III.6.4.1- Diagramme de "PARETO"	53
III.6.3.2- Analyse ABC	54
III.7- Arbre de défaillances	55
III.7.1- Définition	55
III.7.2- Historique et domaine d'application.....	56
III.7.3- Principe de base	56
III.7.4- Définitions des termes utilisés	56
III.7.5- Représentation des symboles	58
III.8- Arbre de défaillances des pannes mécaniques d'un broyeur a boules... 60	
III.8.1- Arbres de défaillances des paliers du broyeur	61
III.8.1.1- Usure et fissuration des tourillons	62
III.8.1.2- Usure et rayure des coussinets	62
III.8.1.3- Boulons d'ancrage desserrés ou cassés.....	64
III.8.2- Arbres de défaillances des plaques de blindage	65
III.8.2.1- Détachement des plaques de blindage	66
III.8.2.2- Usure des plaques de blindage.....	67
III.8.3- Arbres de défaillances des cloisons	68
III.9- Action proposée	69
III.9.1- Types de maintenance.....	69
III.9.2- Solutions proposées	69
III.10- Conclusion	70
Conclusion générale	72

Annexes	74
Bibliographies	78
Résumé	80

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur la fragmentation et la production du ciment

Fig. I-1 : Fragmentation par écrasement	5
Fig. I-2 : Fragmentation par cisaillement	5
Fig. I-3 : Fragmentation par frottement	6
Fig. I-4 : Fragmentation par choc	6
Fig. I-5 : Concasseur à mâchoire	8
Fig. I-6 : Concasseur giratoire	9
Fig. I-7 : Concasseur à deux cylindres	9
Fig. I-8 : Concasseurs à rotor	10
Fig. I-9 : Désintégrateurs	11
Fig. I-10 : Concasseurs à marteaux	11
Fig. I-11 : Broyeurs à barres	13
Fig. I-12 : Broyeurs à boulets	14
Fig. I-13 : Broyeurs à semi-autogènes.....	15
Fig. I-14 : Broyeurs à galets	15
Fig. I-15 : Broyeur à cylindres	16
Fig. I-16 : Atelier de broyage ciment	18

Chapitre II : Etude bibliographique sur les broyeurs à boulets

Fig. II-1 : Vue générale d'un broyeur à boulets	22
Fig. II-2 : Virole d'un broyeur à boulets	22
Fig. II-3 : Plaques du blindage releveur	23
Fig. II-4 : Plaques du blindage classant.....	24
Fig. II-5 : Cloison intermédiaire placée entre les deux compartiments	25
Fig. II-6 : Cadre de la cloison des décharges	25
Fig. II-7 : Plaque fixée sur le cadre de la cloison des décharges	26
Fig. II-8 : Dimensions de la grille centrale	26
Fig. II-9 : Palier d'un broyeur	27

Fig. II-10 : Grille de décharge.....	27
Fig. II-11 : Montage d'un tourillon sur son palier	28
Fig. II-12 : Composants électriques et mécaniques d'un broyeur	28
Fig. II-13 : Broyage en circuit ouvert.....	29
Fig. II-14 : Broyage en circuit fermé.....	30
Fig. II-15 : Marche en cascade : Le point M est immobile	31
Fig. II-16 : Marche en CATARACTE : Au-delà du point C la gravité est prépondérante	31
Fig. II-17 : Fissuration des tourillons	33
Fig. II-18 : Fissuration du blindage.....	33
Fig. II-19 : Desserrage des plaques du blindage du fond d'entrée.....	33
Fig. II-20 : Usure des plaques de la cloison	34
Fig. II-21 : Fissuration de la virole.....	34
Fig. II-22 : Blindage manquant	35
Fig. II-23 : Usure des dents du réducteur et cisaillement des vis de fixation	35
Fig. II-24 : Objectifs de la maintenance	37
Fig. II-25 : Différents types de maintenance.....	38

Chapitre III : Diagnostic et analyse des défaillances dans un broyeur de cimenterie

Fig. III-1 : Exemple de diagramme de PARETO	43
Fig. III-2 : Pourcentage des pannes dans le broyeur à boulet.....	46
Fig. III-3 : Diagramme de PARETO des pannes mécaniques	47
Fig. III-4 : Représentation des zones ABC des pannes mécaniques.....	49
Fig. III-5 : Diagramme de PARETO des pannes hydrauliques	50
Fig. III-6 : Représentation des zones ABC des pannes hydrauliques.....	51
Fig. III-7 : Diagramme de PARETO des pannes électriques.....	52
Fig. III-8 : Représentation des zones ABC des pannes électriques	52
Fig. III-9 : Diagramme de PARETO des Différentes pannes	54
Fig. III-10 : Représentation des zones ABC des Différentes pannes	55
Fig. III-11 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances	57

Fig. III-12 : Évènements causant des pannes dans les paliers	61
Fig. III-13 : Arbre des causes de l'évènement usure et fissuration des tourillons	62
Fig. III-14 : Arbre des causes de l'évènement usure et rayure des coussinets ..	63
Fig. III-15 : Arbre des causes de l'évènement boulons d'ancrage desserrés ou cassés	64
Fig. III-16 : Évènements intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage	65
Fig. III-17 : Évènements intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage	66
Fig. III-18 : Évènement intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage	67
Fig. III-19 : Évènement intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage	68

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur la fragmentation et la production du ciment

Tableau I.1: Caractéristiques des appareils de fragmentation grossière	12
Tableau I.2: Caractéristiques des appareils de broyage fin et ultrafin	17

Chapitre III : Diagnostic et analyse des défaillances dans un broyeur de cimenterie

Tableau III.1: Historique des pannes dans le broyeur	46
Tableau III.2: Temps d'arrêt des pannes mécaniques.....	47
Tableau III.3: Zones ABC des pannes mécaniques	48
Tableau III.4: Temps d'arrêt des pannes hydrauliques.....	49
Tableau III.5: Zones ABC des pannes hydrauliques	50
Tableau III.6: Temps d'arrêt des pannes électriques	51
Tableau III.7: Zones ABC des pannes électriques.....	52
Tableau III.8: Temps d'arrêt des Différentes pannes	53
Tableau III.9: Zones ABC des Différentes pannes	55
Tableau III.10: Représentation des événements	58
Tableau III.11: Représentation des portes logiques	59
Tableau III.12: Représentation des transferts ou renvois.....	60
Tableau III.13: Types d'interventions sur les éléments du broyeur	69
Tableau III.14: Solutions proposées pour remédier aux pannes du broyeur ...	69

Introduction Générale

Introduction générale

Les broyeurs à boulets sont le principal équipement de broyage dans l'industrie de la transformation des minéraux. Des tonnages de l'ordre de 40 000 à 100 000 tonnes / jour sont traités. Ces broyeurs consomment d'énormes quantités d'énergie électrique et, par conséquent, le coût de l'énergie peut atteindre la moitié du coût total de traitement.

Ils sont employés au cours de fabrication dans plusieurs industries, tels que les industries chimiques, pharmaceutiques et des matériaux. Leur utilisation s'avère encore plus intéressante dans les domaines des nanotechnologies et des nanomatériaux.

Les broyeurs sont généralement, à deux chambres : subdivision de concassage ou broyage grossier et subdivision de finition ou broyage fin. Le broyage peut être une opération principale ou préparatoire. Elle est principale lorsqu'on passe directement au produit final (production de ciment).

La fiabilité et la durée de vie des équipements d'un broyeur sont entravées par le nombre important de défaillances affectant le bon fonctionnement et les performances d'un tel système. Ces défaillances sont généralement de type mécanique. Le mode de défaillance des broyeurs est principalement l'usure des plaques de blindage, des cloisons, des tourillons, des paliers et des systèmes de transmission.

Nous avons appliqué l'analyse de Pareto et ABC en se basant sur l'historique des défaillances du broyeur à boulets type Unidan, procuré du mémoire de la référence [9]. Dont le but de déterminer les défaillances les plus importantes affectant ce broyeur. Cette première étape est suivie par une analyse et un diagnostic de ces défaillances en utilisant la méthode de l'arbre de défaillances, afin de cerner les événements de base causant ces défaillances.

L'étude menée dans ce mémoire sera subdivisée en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous allons évoquer les principales caractéristiques techniques des appareils de fragmentation, donner quelques caractéristiques concernant les boulets de broyage ainsi que l'utilisation des broyeurs à boulet dans la production du ciment, avec quelques indications sur la production du ciment.

Ensuite, nous exposons les composantes d'un broyeur à boulet, et une description des différents éléments du broyeur.

Dans le dernier chapitre, nous présentons une analyse approfondie et un diagnostic réfléchi par la méthode de l'arbre de défaillances avec des définitions sur les termes utilisés et la représentation des symboles.

Une conclusion générale et des perspectives sont données à la fin de ce travail.

Chapitre I : Généralités sur la fragmentation et la production du ciment

I.1- Introduction

Les appareils de fragmentation sont adaptés à des besoins industriels spécifiques ; leurs technologies diffèrent selon le domaine d'utilisation. Ainsi, on ne peut imaginer un même appareil capable à la fois de diviser la matière en gros blocs et de la réduire en grains fins. De même, un appareil, conçu pour concasser ou broyer des matériaux rocheux caractérisés par une rupture fragile, ne conviendra pas pour déchiqueter des métaux ou pour défibrer et broyer des végétaux. Cependant, pour toutes les industries, la préoccupation commune à laquelle devra répondre l'appareil de fragmentation et son intégration dans un ensemble de production, sera la valeur d'usage du matériau fragmenté. à cette préoccupation s'ajouteront d'autres préoccupations plus spécifiques à l'industrie considérée.

Le broyage en cimenterie fait appel à des technologies permettant d'éviter une très grande usure et une dépense énergétique élevée, tout en réalisant des débits de matières importants.

I.2- Fragmentation

La fragmentation est une opération importante qui apparaît au cours de fabrication dans plusieurs industries, la méthode consiste à soumettre le solide (roche) à fragmenter à une contrainte créée par des forces de contact, ces forces de contact sont appliquées selon quatre modes pour réduire les dimensions du matériau.

I.2.1- Objectif de la fragmentation

Les opérations de fragmentation ont pour but :

- ❖ Soit d'obtenir une réduction de la dimension des corps solides en vue faciliter leur conditionnement
- ❖ Soit par cette réduction, de faciliter des opérations purement physique, telle que triages, mélanges, dosage, dissolution
- ❖ Soit de permettre ou de faciliter des réactions physicochimiques ou chimiques, dont la rapidité est normalement fonction de l'importance des surfaces exposées, c'est-à-dire du degré de division des matières solides.

Une connaissance complète et exacte des buts à atteindre est naturellement la condition première pour la détermination des procédés et des appareils [1].

I.2.2- Mode de fragmentation

I.2.2.1- Fragmentation par écrasement

La force destructive F est appliquée progressivement (figure I.1).

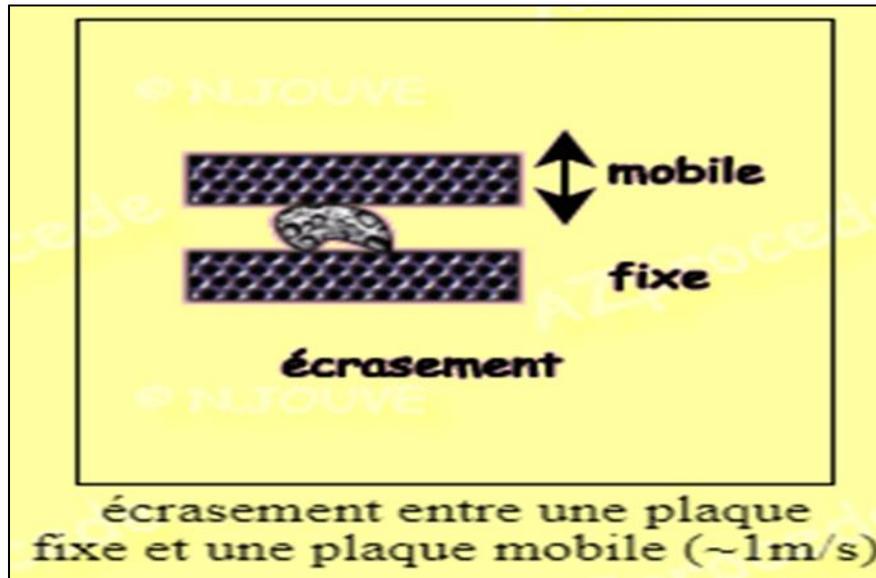


Fig. I-1 : Fragmentation par écrasement

I.2.2.2- Fragmentation par cisaillement

La force destructive est appliquée progressivement, mais les surfaces actives provoquent un cisaillement (figure I.2).



Fig. I-2 : Fragmentation par cisaillement

I.2.2.3- Fragmentation par frottement

Usure par frottement obtenue par glissement relatif de deux corps broyants entre lesquels sont placés les particules à broyer (figure I.3).

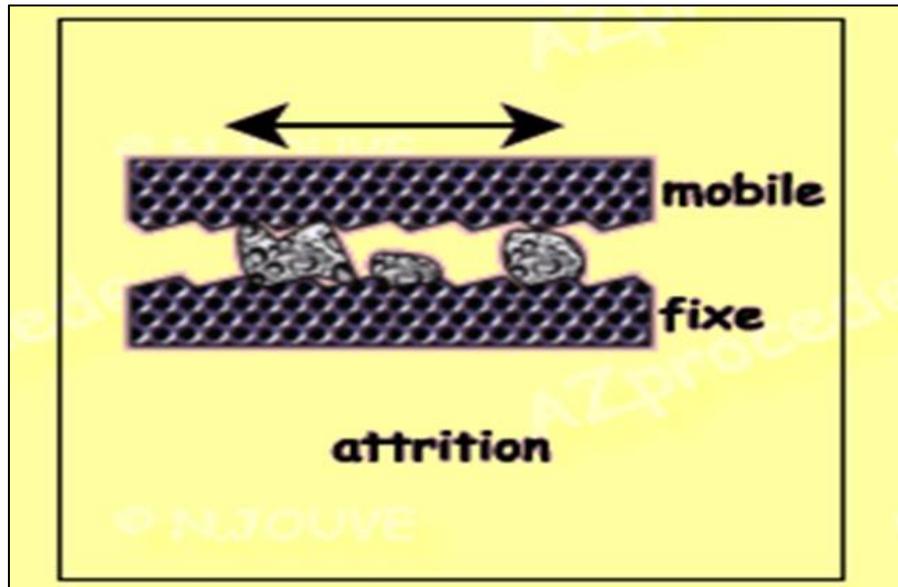


Fig. I-3 : Fragmentation par frottement

I.2.2.4- Fragmentation par choc

L'énergie cinétique de l'élément actif en mouvement est transmise, au moment du choc à la pierre en provoquant sa destruction (figure I.4).

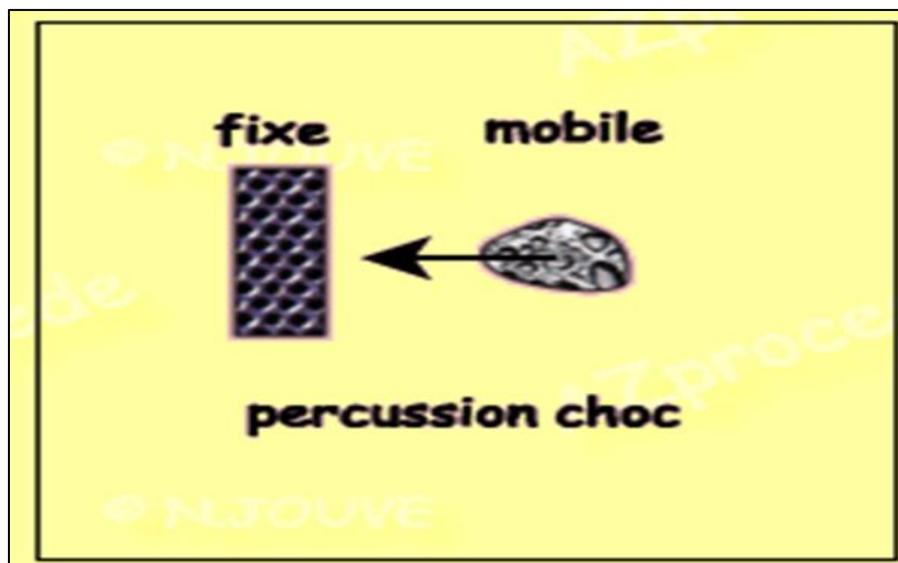


Fig. I-4 : Fragmentation par choc

I.2.3- Caractéristiques de fragmentation

Dans les industries quel que soit le broyeur utilisé pour telle matière on peut toujours différencier les fragments de ses déchets selon leurs diamètres, donc il est préférable de les classer en se basant sur ce critère et on distingue trois familles des broyeurs

❖ Broyeur à fragmentation grossière (particules de l'ordre de mm) :

Dans ce type on rencontre habituellement :

- Broyeur à couteaux : ils sont utilisés généralement pour broyer du plastique ou du papier
- Broyeur à marteaux : sont utilisés pour broyer les matières dures tel que la pierre, la roche ou le verre

❖ Broyeur à fragmentation fine (1000 à 10 μ m) :

Les technologies ont été pratiquement restreintes à un seul mode d'action consistant à la mise en œuvre de forces d'impact (les particules sont comprimées entre les corps broyant, projetées violemment contre une paroi, qui peut être fixe ou mobile, ou les unes contre les autres dans ce cas-là on parlera d'auto broyage).

❖ Broyeur à fragmentation ultrafine :

Dans le domaine de l'ultrafin (particules de tailles comprises entre 5 et 10 μ m), les forces mises en œuvre sont du type compression, cisaillement, et impact.

L'énergie théorique nécessaire pour la réduction ultrafine des grains est toujours inférieure de 1% de l'énergie réelle dépensée [2].

I.3- Fragmentation grossière

La fragmentation grossière inclut les opérations de pré concassage et de concassage proprement dites pour les matériaux rocheux. On lui rattache également les opérations de d'émottage, de tranchage et de déchiquetage.

Les technologies des appareils de fragmentation grossière reposent sur la mise en œuvre de forces externes qui peuvent se rattacher à des actions de compression, de cisaillement et d'impact. La classification des appareils tient compte du mode d'action principal. Il est souvent difficile de faire la part exacte de chaque type de force externe agissante, car on n'observe que le résultat global.

I.3.1- Appareil de fragmentation grossière

I.3.1.1- Concasseurs à mâchoires

Il est constitué par une mâchoire fixe et une mâchoire mobile animée d'un mouvement de valet vient autour d'un axe horizontal. Le produit à traiter est introduit à la partie supérieure de l'appareil. Lorsque la mâchoire mobile se rapproche de la mâchoire fixe elle écrase les fragments solides. Lorsqu'elle s'écarte ceux-ci descendent dans une partie plus étroite ou ils sont à nouveau écrasés et ainsi de suite jusqu'à ce qu'ils atteignent l'orifice de sortie (figure I.5) [3].

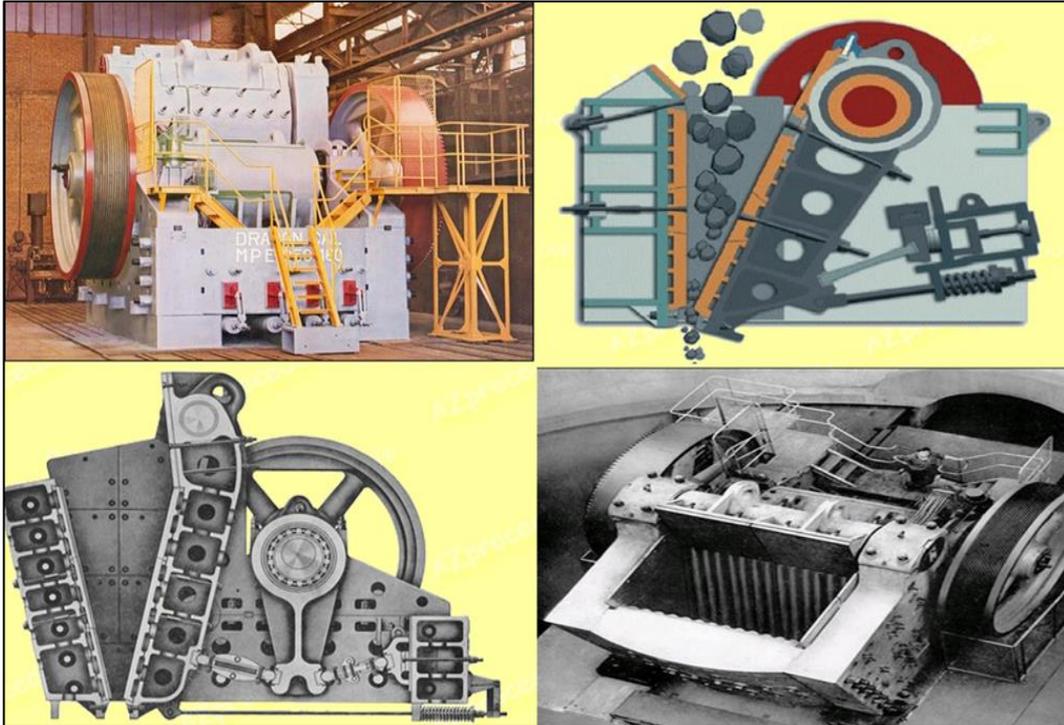


Fig. I-5 : Concasseur à mâchoire

I.3.1.2- Concasseurs giratoires

Le principe du concasseur giratoire est semblable à celui du concasseur à mâchoire mais avec le phénomène d'attrition bien plus présent. Il se compose d'une surface concave et d'une tête conique en mouvement. Le cône interne a un léger mouvement circulaire, mais ne tourne pas, le mouvement est généré par un excentrique ; ce dernier transforme un mouvement de rotation en un mouvement d'oscillation. La tête excentrée tournante est couverte par un blindage résistant à l'usure (figure I.6) [5].

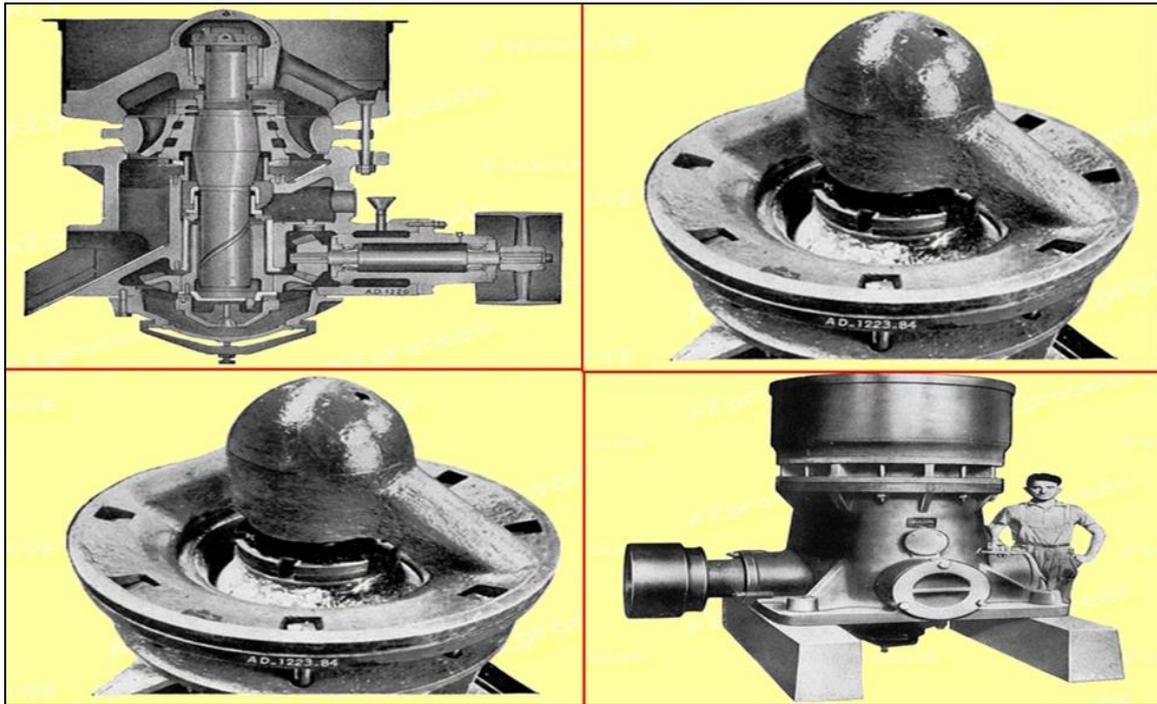


Fig. I-6 : Concasseur giratoire

I.3.1.3- Concasseurs à cylindres

Le concassage s'effectue par écrasement ininterrompu avec la trituration partielle par les cylindres lisses rotatifs ou par spallation avec cassure partielle des morceaux de minerai par les cylindres dentés rotatifs tournant dans les sens inverses (figure I.7) [4].

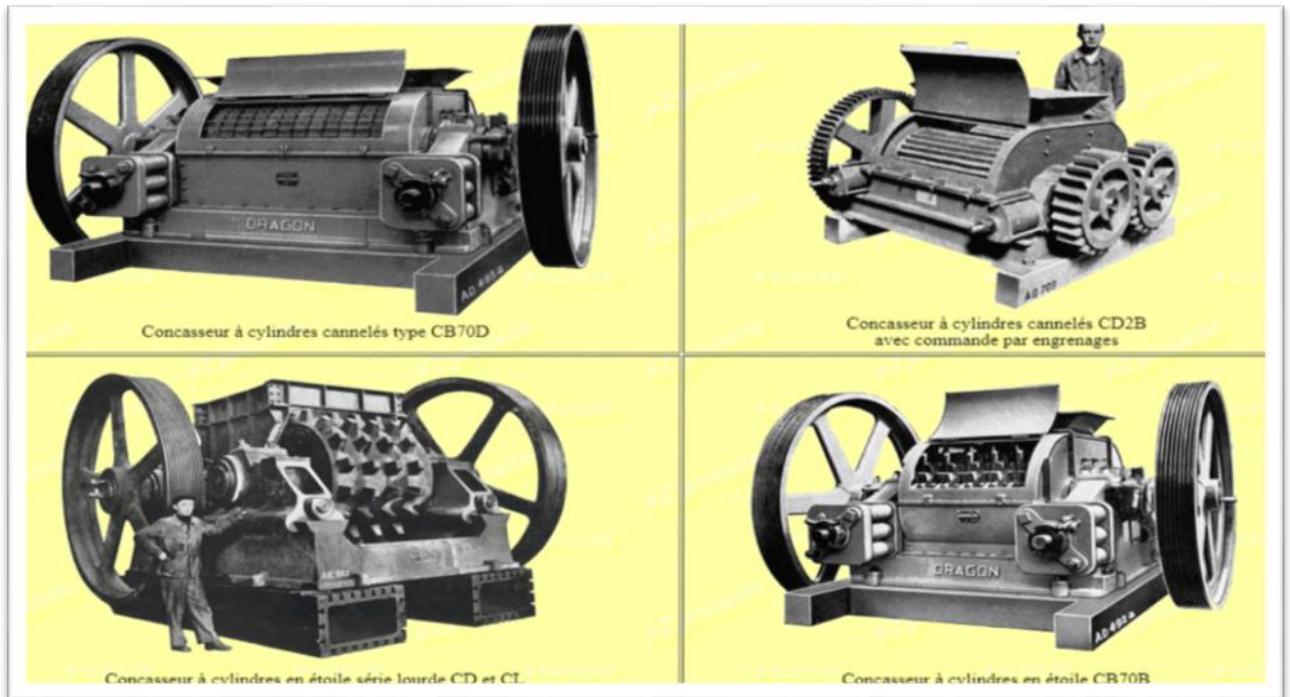


Fig. I-7 : Concasseur à deux cylindres

I.3.1.4- Concasseurs à rotor

Le concassage s'effectue par action dynamique du rotor par coups des marteaux ou des battes fixés sur le rotor ou bien par lancement des morceaux par la force centrifuge-les rejetant contre un blindage fixe (figure I.8) [4].

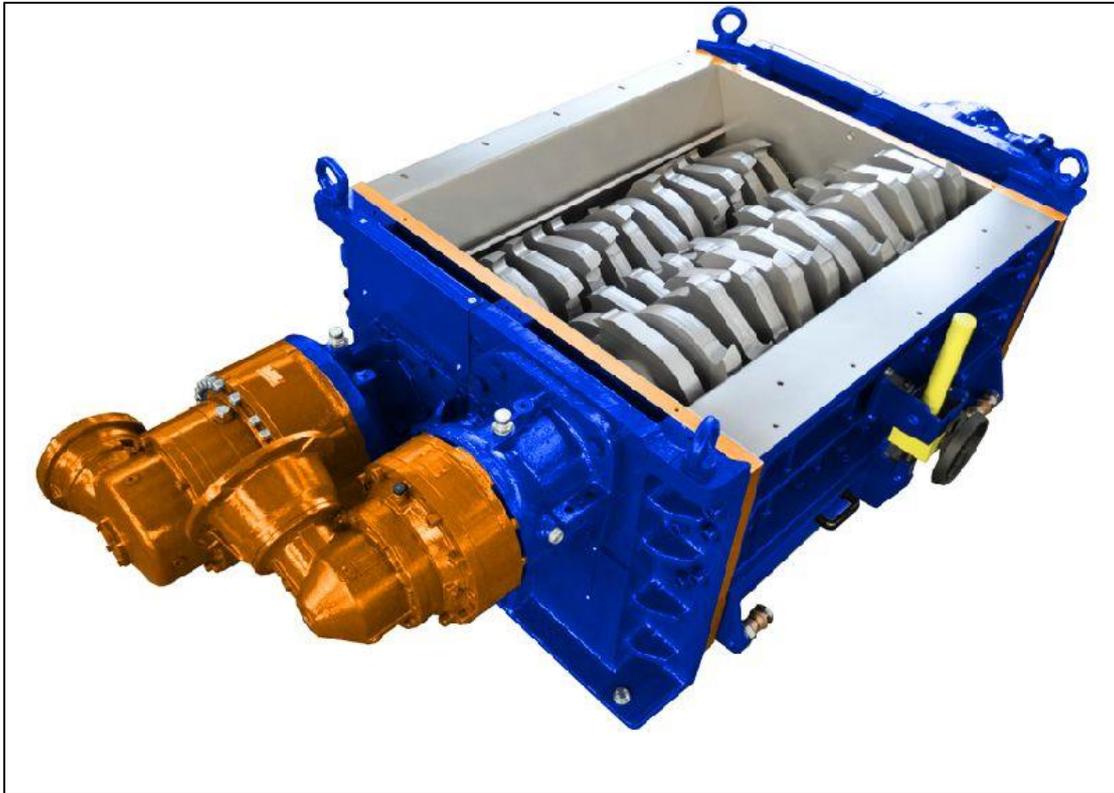


Fig. I-8 : Concasseurs à rotor

I.3.1.5- Désintégrateurs

La désintégration des morceaux est atteinte par coups de deux ou quelques rangs de barres qui sont fixés rigidement sur les anneaux et disques étant en mouvement en sens inverses (figureI.9) [4].



Fig. I-9 : Désintégrateurs

I.3.1.6- Concasseurs à marteaux

Le concasseur ou broyeur à marteaux est constitué d'une cuve dont la paroi est épaisse et résistante. Dans cette paroi sont pratiquées des ouvertures à travers lesquelles passe le produit broyé. A l'intérieur de la cuve tourne un rotor muni de marteaux. La vitesse de rotation est élevée pour assurer une vitesse périphérique des marteaux allant de 20 à 100 m.s-1.

Ce type de broyeur n'est pas utilisé pour des matériaux durs et abrasifs, qui provoqueraient une usure trop importante (figure I.10) [3].

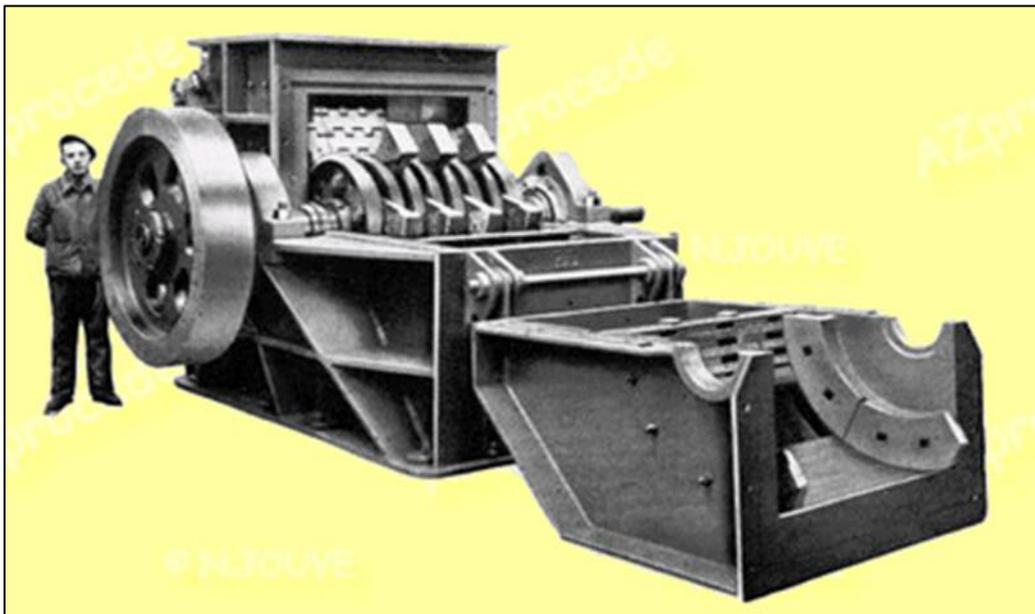


Fig. I-10 : Concasseurs à marteaux

I.3.2- Caractéristiques de fragmentation grossière

Les principales caractéristiques techniques des appareils de fragmentation décrites ci-après sont données dans le tableau.I.1 pour la fragmentation grossière.

Appareils	Dimension maximale admise (mm)	Rapports de réduction normaux	Capacité maximale (t/h)	Énergie consommée par tonne de matière traitée (kWh)
Concasseurs à mâchoires	2500	4/1 à 6/1	4000	0,4 à 2
Concasseurs giratoires primaires	1600	4/1 à 5/1	7000	0,25 à 0,75
Concasseurs giratoires secondaires	750	5/1 à 8/1	1000	0,5 à 1
Concasseurs à cône tête standard	450	5/1 à 8/1	3000	0,75 à 1,5
Concasseurs à cône tête courte	175	4/1 à 7/1	1500	1,5 à 2
Concasseurs à cylindres cannelés	0,05 à 0,60 ϕ_c	3/1 à 4/1	2000	0,3 à 0,75
Concasseurs à percussion (percuteurs rigides)	2000	8/1 à 15/1	1200	0,2 à 0,6
Concasseurs à marteaux articulés	0,10 à 0,80 ϕ_r	10/1 à 30/1	1200	0,3 à 1
Émetteurs à fléaux et à chaînes.	250	10/1 à 15/1	50	0,3 à 0,8
Trommels Concasseurs	0,1 à 0,5 ϕ_c	25/1	400	0,1 à 0,3
Coupeuses et trancheuses	300	10/1 à 15/1	60	0,5 à 20
Déchiqueteuses	1200	2/1 à 10/1	200	0,1 à 50

(1) Les valeurs indiquées sont des ordres de grandeur destinés à cerner les possibilités d'emploi des appareils.
 ϕ_c diamètre (en mm) du (ou des) cylindre(s) ; ϕ_r diamètre (en mm) des rotors.

Tableau I.1: Caractéristiques des appareils de fragmentation grossière

I.4- Fragmentation fine et ultrafine

Si le domaine de la fragmentation fine est largement étendu sur le plan des granularités, les technologies ont été pratiquement restreintes à un seul mode d'action mettant en œuvre des forces d'impact. Un regain de faveur est apparu pour des procédés utilisant la compression ; les exemples se limitent préférentiellement à des matériaux tendres. On est à présent amené à distinguer un domaine fin d'un domaine ultrafin. La limite entre les deux domaines correspond à un d80 de l'ordre de 20 à 30 μm .

La consommation énergétique de la fragmentation fine est de 5 à 6 kWh/t pour le broyage grossier et peut atteindre 20 à 30 kWh/t pour le broyage fin.

Rappelons que le poste de broyage fin est le plus coûteux sur le plan de l'investissement et sur le plan des coûts opératoires, non seulement au niveau de la fragmentation, mais encore lorsqu'il s'agit de matériaux rocheux, au niveau de l'ensemble des opérations de préparation-concentration.

I.4.1- Appareil de fragmentation fine et ultrafine

I.4.1.1- Broyeurs à barres

Le broyeur à barres repose sur le même principe que le broyeur à boulets. La différence vient simplement de l'utilisation de barre plutôt que de boulet. Les barres sont généralement faites en acier très résistant (Haut %Carbone) [5].

Vu la forme géométrique du corps broyant, le broyeur à barres permet d'obtenir des granulats globalement plus gros et plus hétérogènes (figure I.11)

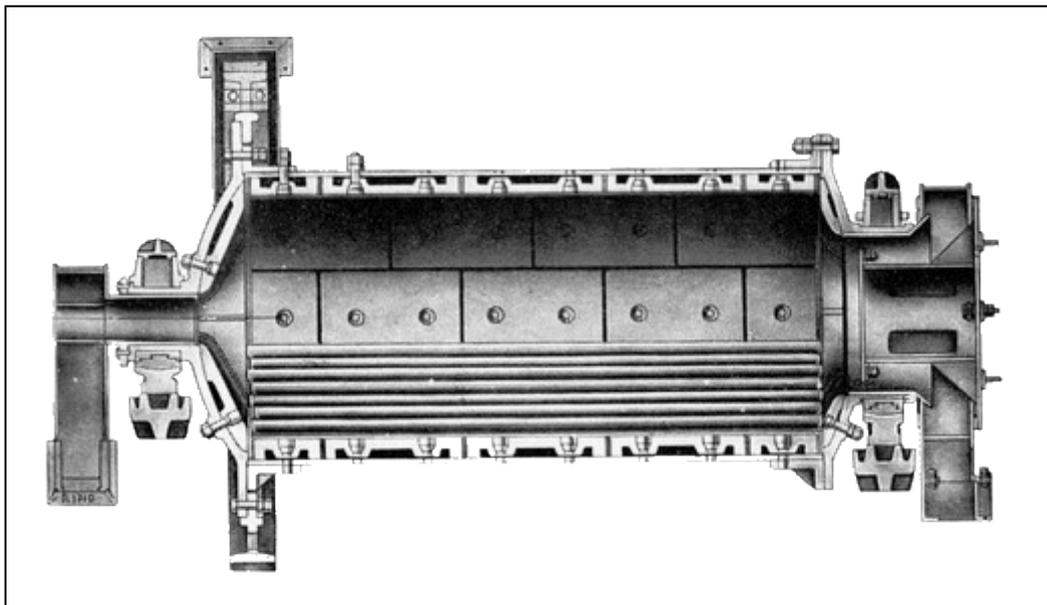


Fig. I-11 : Broyeurs à barres

I.4.1.2- Broyeurs à boulets

Les broyeurs à boulets sont destinés à moudre des solides en poudres très fines. Ils sont donc habituellement très prisés pour le broyage fin (ex. ciment).

Le broyeur à boulets se compose d'un tambour horizontal partiellement rempli du produit à moudre et des éléments de broyage. Sa paroi intérieure est équipée de barres releveuses qui, comme le nom l'indique, relèvent les boulets afin qu'ils retombent sur le produit à broyer. Les corps broyants sont des boulets d'acier inoxydable ou de fonte blanche (figure I.12).

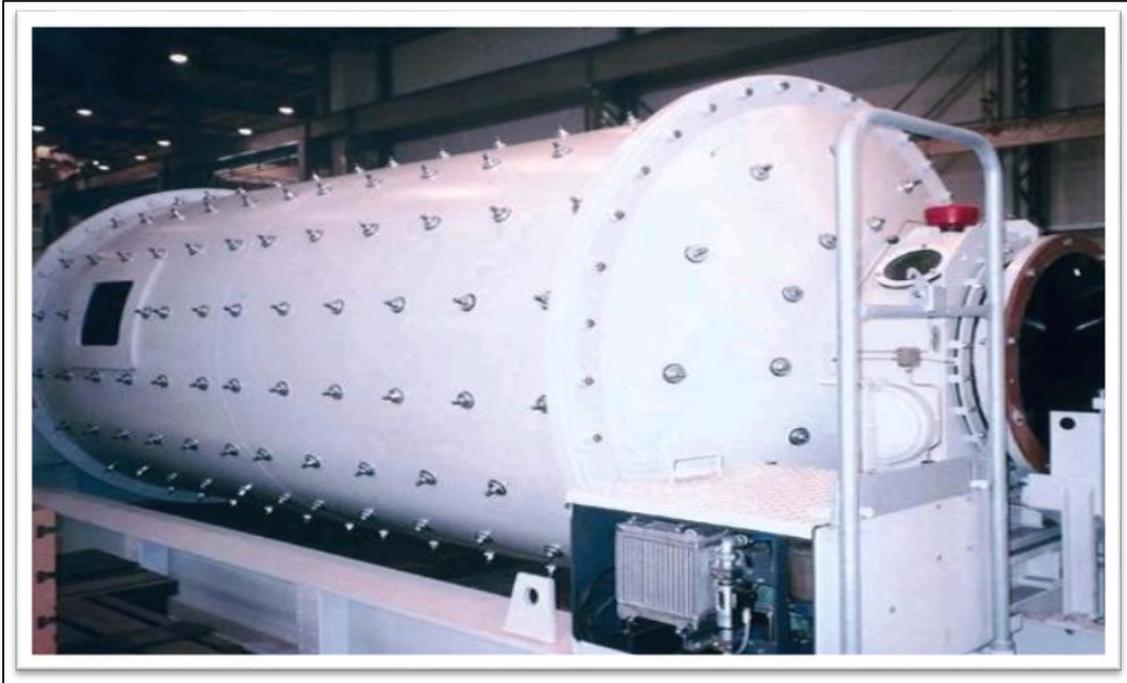


Fig. I-12 : Broyeurs à boulets

I.4.1.3- Broyeurs à semi-autogènes

L'utilisation d'un broyeur à barres ou d'un broyeur boulets se justifie par le fait que les granulats ne sont généralement pas suffisamment solides (durs) que pour obtenir un produit broyé simplement par leurs entrechoquements. De ce fait, des corps broyant sont généralement ajoutés. Néanmoins, il se peut que les granulats soient suffisamment solides, et qu'on puisse épargner l'utilisation de corps broyant. Les systèmes fonctionnant de la sorte sont dit autogène (« Self grinding »). Des systèmes semi-autogènes (SAG) sont également envisageables. Dans ce cas, le remplissage du tambour avec les corps broyants sont généralement compris entre 8 et 20% (figure I.13) [5].



Fig. I-13 : Broyeurs à semi-autogènes

I.4.1.4- Broyeurs à galets

Galets de broyage stationnaires roulent sur une assiette de broyage en rotation. La matière à broyer est saisie entre les galets de broyage et la piste et est broyée par les forces de pression et de cisaillement. Les forces de pression nécessaires au broyage sont produites par un système de tension hydropneumatique. En raison de la rotation de l'assiette de broyage, la matière broyée est rejetée vers l'anneau à tuyères stationnaire (figure I.14).

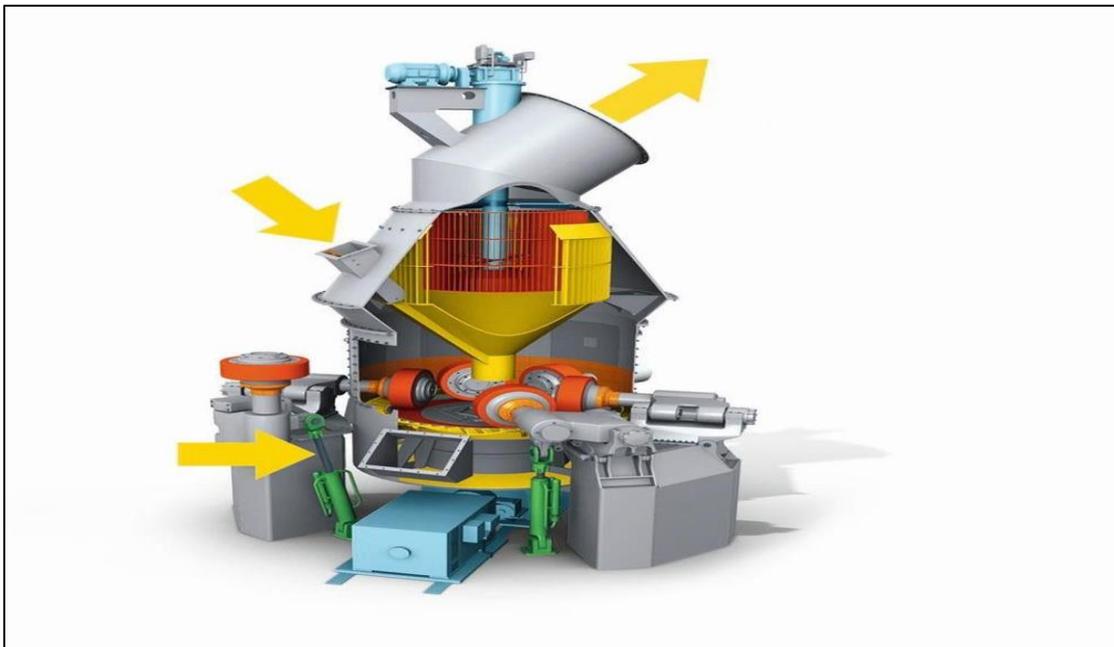


Fig. I-14 : Broyeurs à galets

I.4.1.5- Broyeurs à rouleaux ou cylindres

Les broyeurs à cylindres lisses à grande vitesse « DRAGON » sont montés sur de robustes châssis en acier profilé, soudés à l'arc électrique, avec glissières rabotées supportant 4 paliers étanches en acier, garnis de roulements à rouleaux, série forte. Les cylindres sont garnis de frettes amovibles en acier spécial extra-dur. L'écartement des cylindres est réglable par cales, et de puissants ressorts permettent d'amortir les efforts en cas de passage accidentel d'un corps imbroyable (figure I.15) [3].

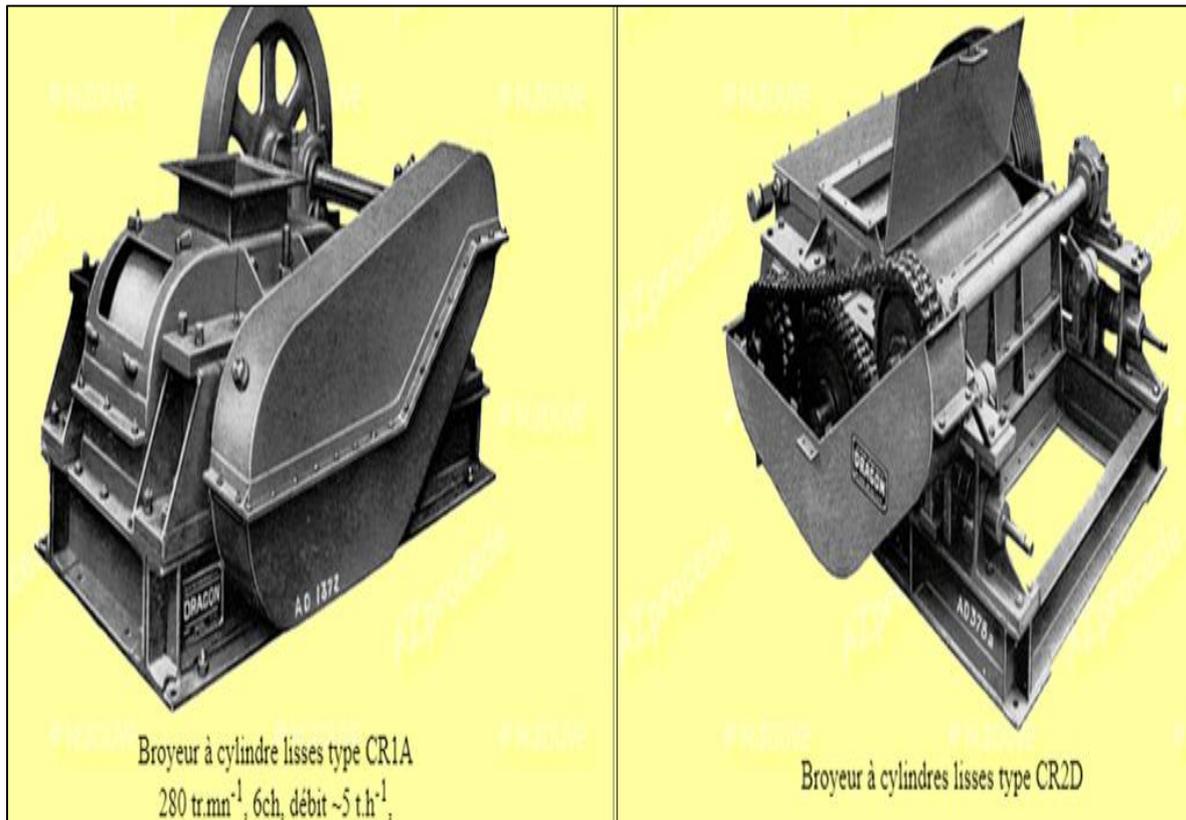


Fig. I-15 : Broyeur à cylindres

I.4.2- Caractéristiques de fragmentation fine et ultrafine

Les principales caractéristiques techniques des appareils de fragmentation décrites ci-après sont données dans le tableau.I.2 pour la fragmentation fine et ultrafine.

Appareils	Granulométrie (1) en (μm)		Capacité maximale (t/h)	Puissance installée (kW)
	Entrée	Sortie		
Broyeurs à barres	40000	300	300	5 à 1500
Broyeurs à boulets	25000	100	300	5 à 3000
Tubes broyeurs	25000	40	400	5 à 8200
Broyeurs à galets	10000	100	350	15 à 1800
Broyeurs semi-autogènes	150000	100	350	15 à 6000
Broyeurs autogènes	300000	200	350	15 à 9600
Tubes vibrants	5000	74	4	3.5 à 70
Broyeurs à cylindres	5000	500	250	2 à 300
Presses à rouleaux	5000	40	700	220 à 1800
Broyeurs à percussion	20000	200	800	6 à 600
Broyeurs verticaux à meules ou à billes	25000	100	60	90 à 900
Broyeurs pendulaires	20000	60	120	7.5 à 700
Broyeurs à meules de corindon	500	20	0.45	0.75 à 75
Broyeurs à agitateur	300	1	2	2.5 à 200
Broyeurs à impact (ou à broches)	100	20	2	5.5 à 315
Broyeurs vibrants	250	3	2000 (2)	0.2 à 35
Broyeurs à billes, à circulation forcée	100	5	4	1 à 700
Broyeurs à billes à cuve et rotor coniques	100	10	2	2.2 à 225
Broyeurs à jets d'air	1000	10	3	1 à 500
(1) Les valeurs indiquées sont des ordres de grandeur, elles varient très largement en fonction des dimensions d'admission, de la nature des produits, du temps de séjour dans l'appareil, ... etc.				
(2) Fonctionnement en discontinu				

Tableau I.2: Caractéristiques des appareils de broyage fin et ultrafin

I.5- Utilisation des broyeurs à boulets dans la production du ciment

Les cimenteries utilisent essentiellement des broyeurs à boulets disposés selon les deux lignes de production de ciment, comme le montre la figure I.16.

Ces broyeurs ont un faible rendement, car une grande partie de l'énergie fournie est transformée en chaleur. Le reste sert à la fragmentation des matériaux, mais aussi à leur réagglomération. Les grains sont traités collectivement à l'intérieur du broyeur par des boulets qui opèrent par chocs [4]. Leur utilisation est basée sur plusieurs propriétés :

- ❖ Une augmentation de la production lors du broyage pour une même consommation d'énergie et une même finesse.
- ❖ Une augmentation de la finesse pour une même consommation d'énergie.

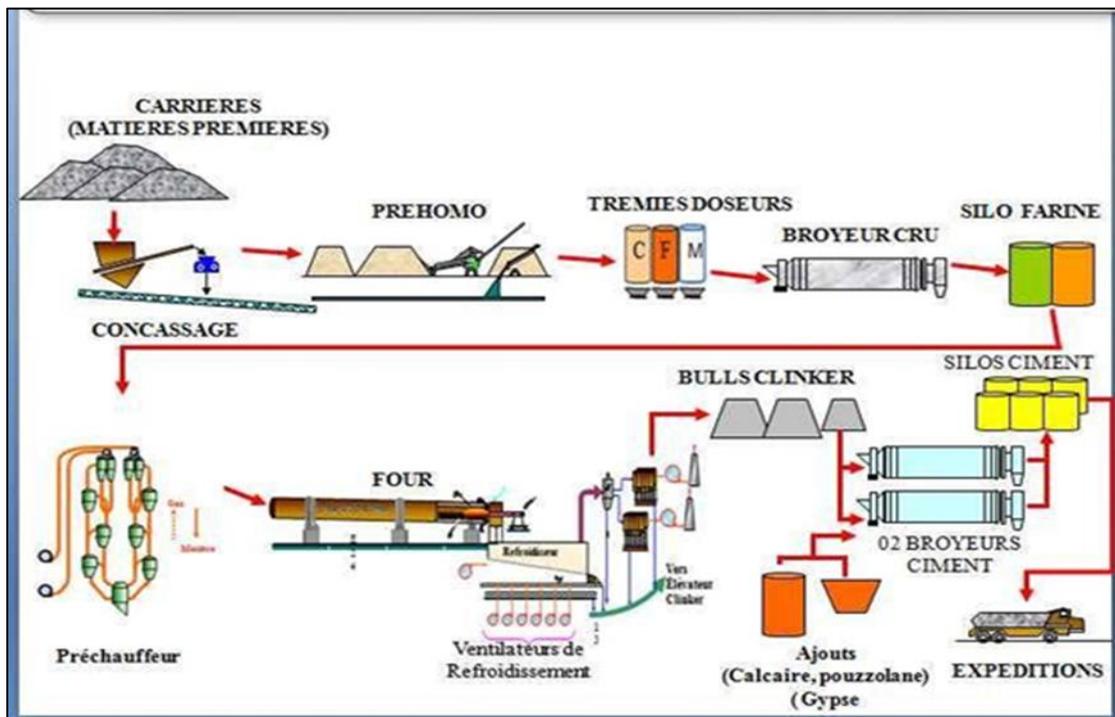


Fig. I-16 : Atelier de broyage ciment

Le contrôle des broyeurs consiste à la maximisation de la capacité de production et la minimisation de la consommation énergétique pour une production respectant les normes de qualité, de l'environnement et de la sécurité du personnel. L'atelier de broyage a constamment besoin d'optimisation car de nombreux facteurs peuvent conduire à des variations et affectent l'opération de broyage :

- ❖ Variation de la granulométrie de l'alimentation.
- ❖ Variation de l'humidité et de la température.
- ❖ Usure (charge des boulets, équipements).

I.6- Conclusion

Le broyage est une opération de mise en forme des solides, elle vise à diminuer et à maîtriser la granularité des solides. C'est une opération d'une grande importance et largement utilisée dans le domaine industriel et particulièrement dans les domaines métallurgique, chimique, pharmaceutique et agroalimentaire, etc.

Les appareils de broyage de la roche en masse, sont utilisés dans la fragmentation grossière et fine. Le choix du type de broyeur dépend des propriétés des matériaux à broyer.

Chapitre II : Etude bibliographique sur les broyeurs à boulets

II.1-Introduction

Le Broyeur à boulets est largement utilisé dans le broyage du ciment, du silicate, dans le traitement et la production des réfractaires. Il existe deux méthodes de broyage pour les broyeurs à boulets : la méthode sèche et la méthode humide. Il peut être divisé en broyeur de type treillis et broyeur à débordement en fonction de la purification différente rencontrée.

Dans ce chapitre nous présenterons la structure et les caractéristiques d'un broyeur à boulet avec des généralités sur la maintenance.

II.2- Généralités sur les broyeurs

Le broyeur à boulets est un appareil qui entre dans la chaîne de production du ciment, il est destiné à réduire un matériau (matière crue, clinker et combustibles solides) en poudre fine ou en très petits éléments en voie sèche ou humide. Il est rempli partiellement de minerai concassé à un calibre défini issu d'un premier concassage réalisé soit avec un concasseur à mâchoire, à marteau ou à cône.

Le broyeur à boulets est constitué d'un cylindre métallique dont l'axe principal est à l'horizontale et dont le diamètre peut varier selon des spécifications données. Ce cylindre est habituellement entraîné, en rotation, par un groupe motoréducteur ou des moteurs armillaires autour de son axe longitudinal. Lors de son fonctionnement, nous retrouvons à l'intérieur de ce dernier, les boulets ainsi que la matière destinée au broyage. La combinaison de ces éléments est appelée charge.

L'intérieur du corps cylindrique est blindé à l'aide d'un revêtement fait d'acier à haute résistance. Ce dernier, a pour objectif, d'augmenter la quantité d'énergie qui est transmise de la paroi à la charge lors du procédé de broyage et de protéger le cylindre contre l'usure. Puisque le mouvement de la charge dépend de la quantité d'énergie qu'elle possède.

L'entrée du broyeur accueille des particules dont la taille peut atteindre plusieurs centimètres de diamètre, alors que la sortie libère des corpuscules dont la taille est de quelques micromètres. Pour effectuer cette réduction considérable de grosseur, les particules doivent franchir une suite de compartiments délimités par des grilles de séparation. Ces grilles ont le même rôle que des tamis et assurent que les particules ne peuvent passer au compartiment suivant que si elles ont atteint une taille inférieure ou égale aux mailles de la grille. Les particules qui excèdent cette grosseur retombent alors dans le même compartiment et sont de nouveau assujetties au broyage. Chaque compartiment effectue alors une certaine réduction de taille des particules et les boulets qui y sont présents doivent posséder la taille nécessaire pour parvenir à réaliser cette

fragmentation. Les particules sont donc broyées par des boulets de plus en plus petits alors qu'elles se rapprochent de la sortie du broyeur afin d'acquérir la finesse désirée [6].

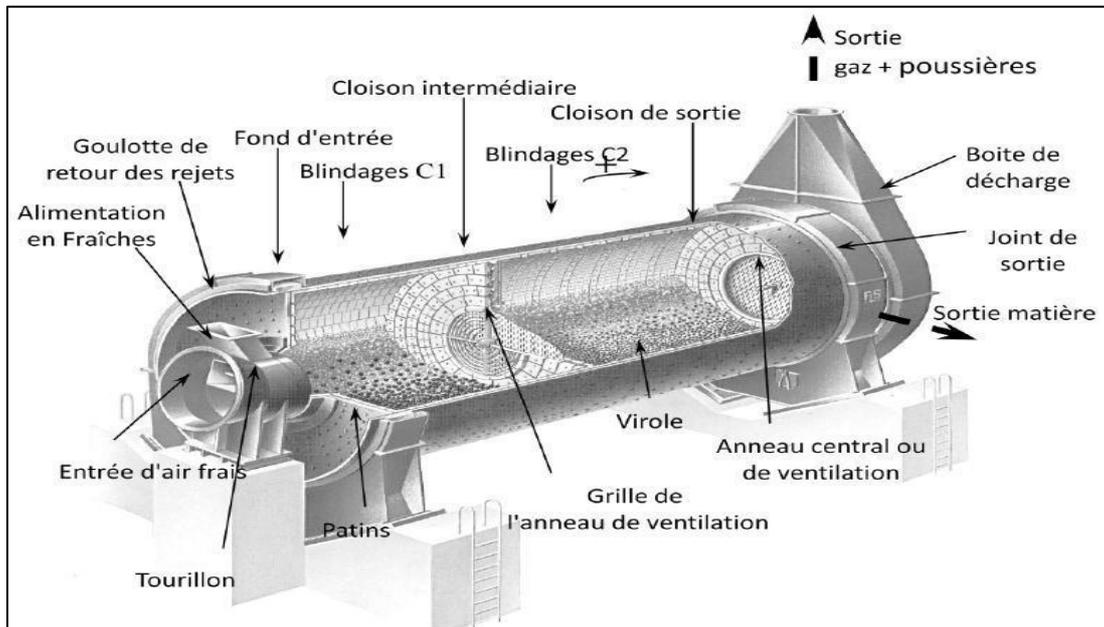


Fig. II-1 : Vue générale d'un broyeur à boulets

II.3- Les principaux composants du broyeur à boulets

II.3.1- La virole

La virole est la structure supportant les éléments internes comme les blindages et la cloison et la couronne externe, les trous percés dans la virole servent à fixer les blindages et la cloison.

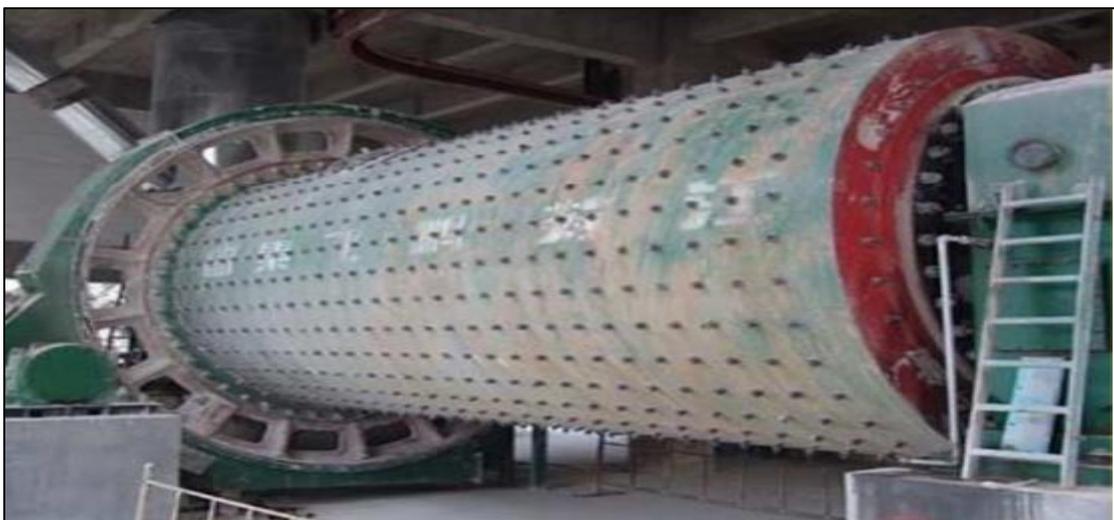


Fig. II-2 : Virole d'un broyeur à boulets

II.3.2- 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.

❖ 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 [7].

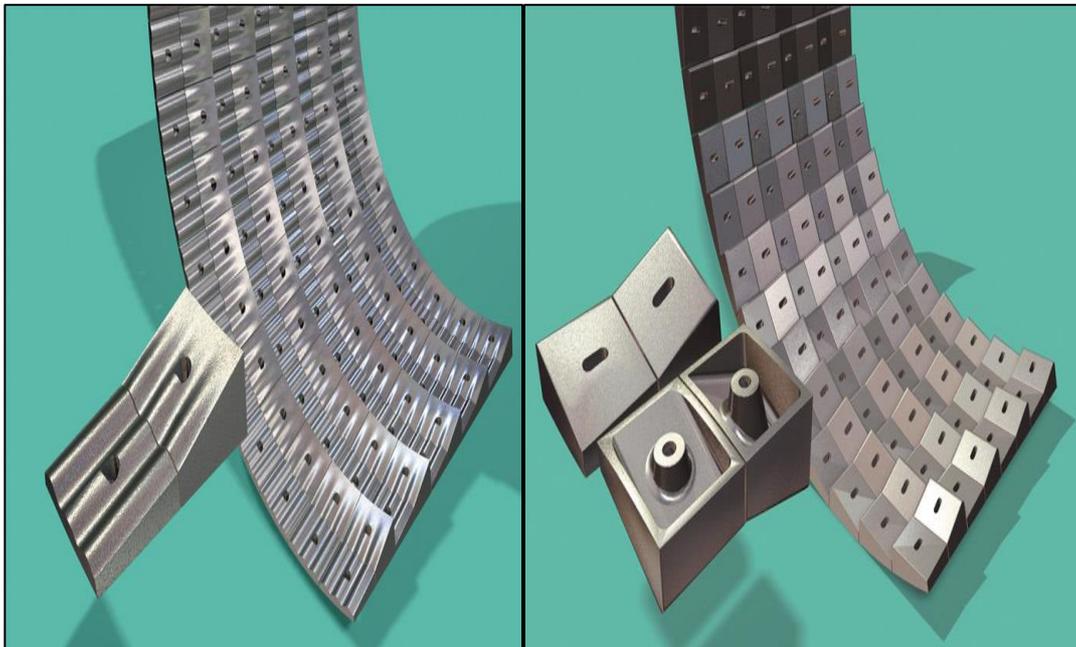


Fig. II-3 : Plaques du blindage releveur

❖ Le blindage classant :

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

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

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

Pour assurer ce classement, on utilise des blindages classants. Le redent des blindages classants n'est pas un paramètre aussi sensible que dans le cas des blindages releveurs. Toutefois, il doit être suffisant pour assurer le classement [7].

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

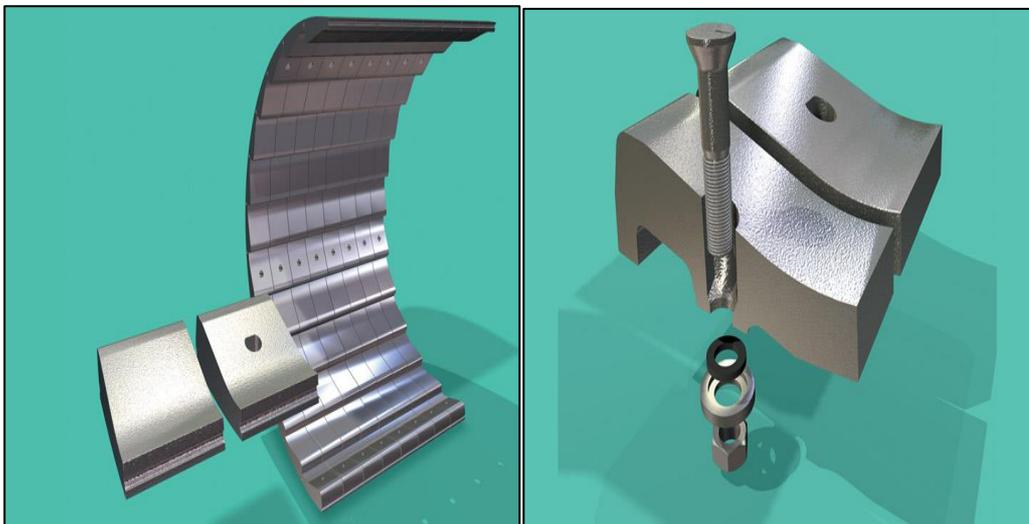


Fig. II-4 : Plaques du blindage classant

Les plaques de blindage 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

II.3.3- Les cloisons

❖ 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 [7].

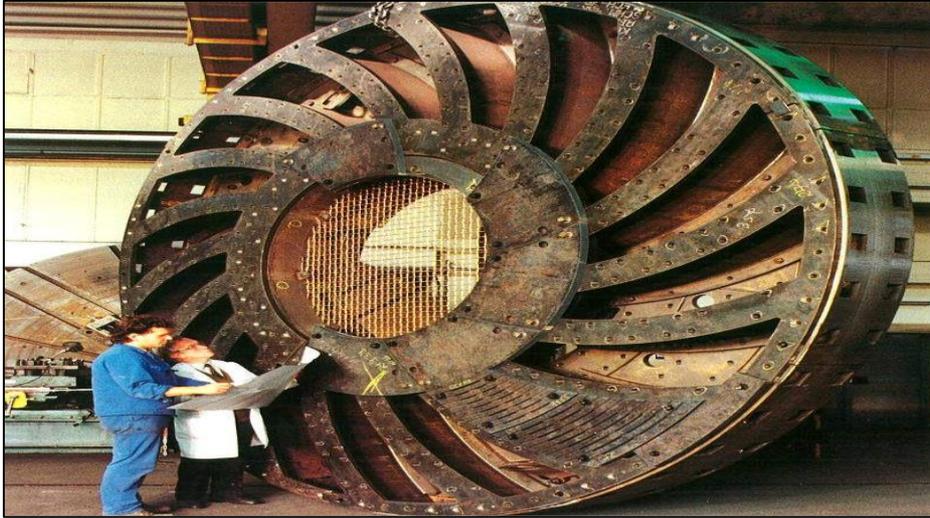


Fig. II-5 : Cloison intermédiaire placée entre les deux compartiments

❖ La cloison des décharges :(placée à la sortie du compartiment finisseur)

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. Elle est constituée :

1. D'un cadre ou bien squelette : Est fixé dans la virole par des boulons.

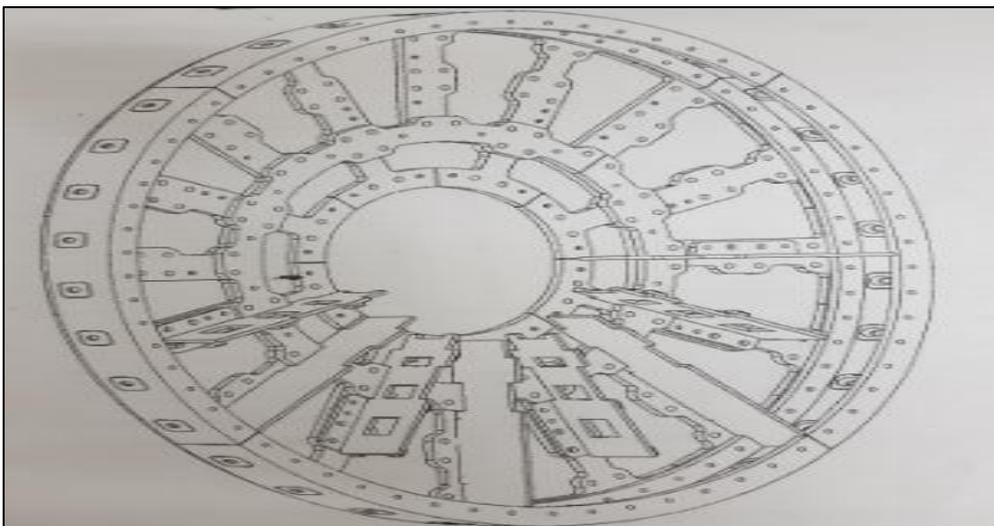


Fig. II-6 : Cadre de la cloison des décharges

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



Fig. II-7 : Plaque fixée sur le cadre de la cloison des décharges

3. D'une grille centrale Les dimensions de la grille centrale sont données à la figure II.8.

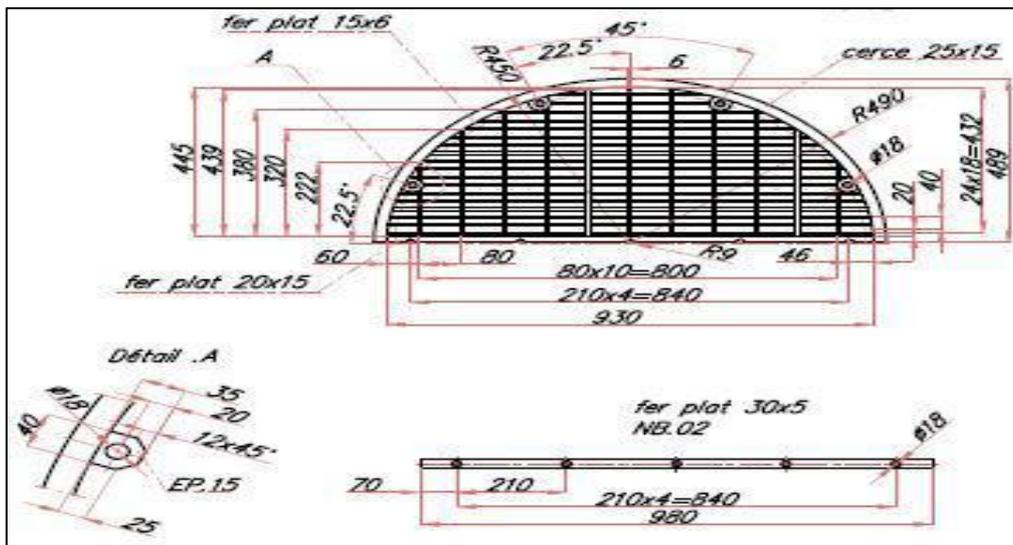


Fig. II-8 : Dimensions de la grille centrale

II.3.4- Paliers de broyeur

Est un support qui porte la virole et qui est conduit par des tourillons (figure II.9), on distingue :

- ❖ **Palier entre** : A partir duquel entre la matière première,
- ❖ **Palier sortir** : Par lequel sort le produit fini.

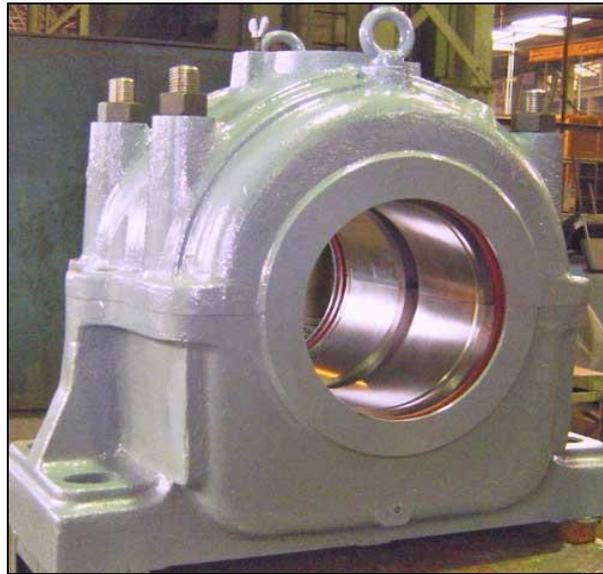


Fig. II-9 : Palier d'un broyeur

II.3.5- Grilles de décharge

Elles possèdent des blindages amovibles résistants à l'usure avec des lumières retenant la matière dans le compartiment jusqu'à ce qu'elle soit assez fin pour passer au travers (figure II.10).

Les lumières se caractérisent par leur double forme évasée (les particules et les fragments de matière ne resteront pas coincés).

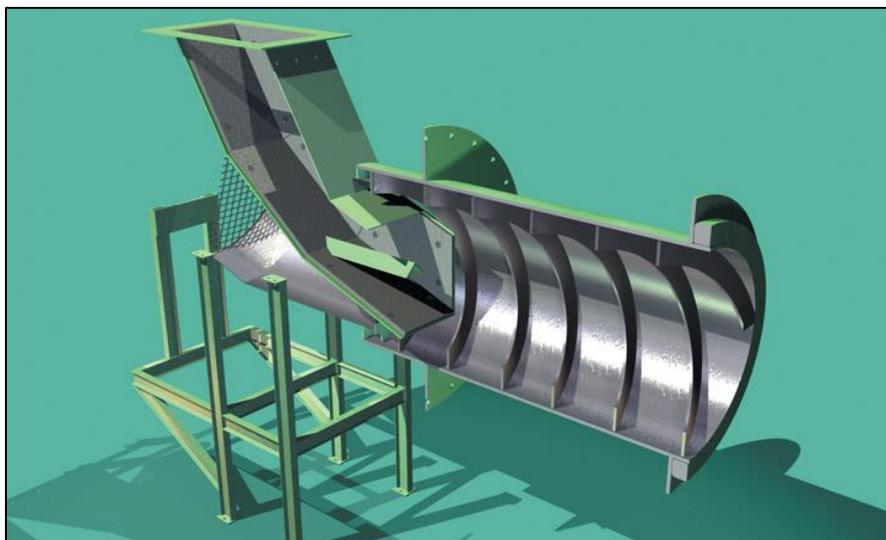


Fig. II-10 : Grille de décharge

II.3.6- La goulotte d'entrée

Elle dirige la matière (et les rejets du séparateur) dans le 1er compartiment du broyeur. Elle est équipée pour résister à l'usure.

II.3.7- Les tourillons

Cylindre mobile dans un coussinet, à l'aide duquel un appareil quelconque peut recevoir un mouvement de rotation ; les tourillons sont toujours accouplés deux à deux, et ils ont le même axe qui est horizontal (figure II.11).



Fig. II-11 : Montage d'un tourillon sur son palier

II.3.8- Commande

Ensemble des éléments électriques et mécaniques nécessaires pour fournir la force motrice au broyeur (figure II.12).

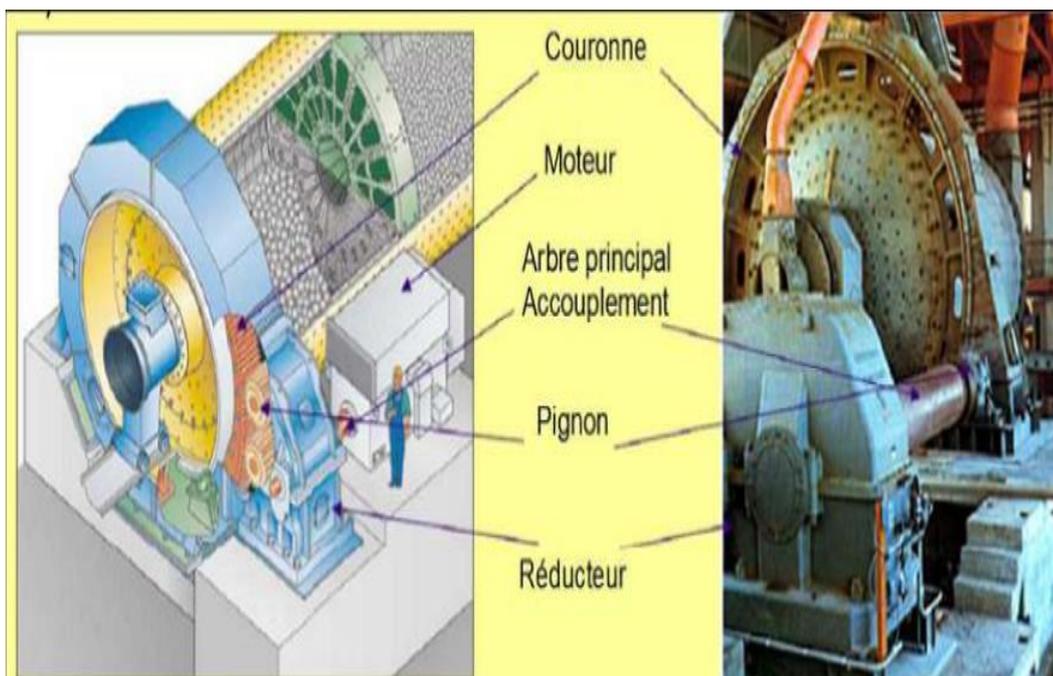


Fig. II-12 : Composants électriques et mécaniques d'un broyeur

II.4- Etudes analytiques sur Broyeur à boulets

II.4.1- Caractéristique technique

Ce critère réunit les caractéristiques physiques de broyeur désiré, ainsi que sa fiche technique qui englobe les critères suivants :

- ❖ La taille et le gabarit de notre broyeur (dimensions)
- ❖ La puissance électrique du moteur
- ❖ La puissance mécanique sur les outils de broyage
- ❖ Vitesse de rotation
- ❖ Capacité de charge et le volume de la trémie
- ❖ Le débit massique
- ❖ La nature du produit.
- ❖ La distribution granulométrique.
- ❖ Le taux d'humidité

II.4.2- L'installation du broyeur

II.4.2.1- Le broyeur en circuit ouvert

Le matériau entre dans le concasseur et tombe dans la première chambre, où il est préparé par concassage et broyage, puis broyé le plus fin possible dans la deuxième chambre (figure II.13), avec un temps de séjour de 20 à 30 minutes [7].

Cette barre permet de gérer votre travail (ouverture, sauvegarde, impression, mode d'affichage).

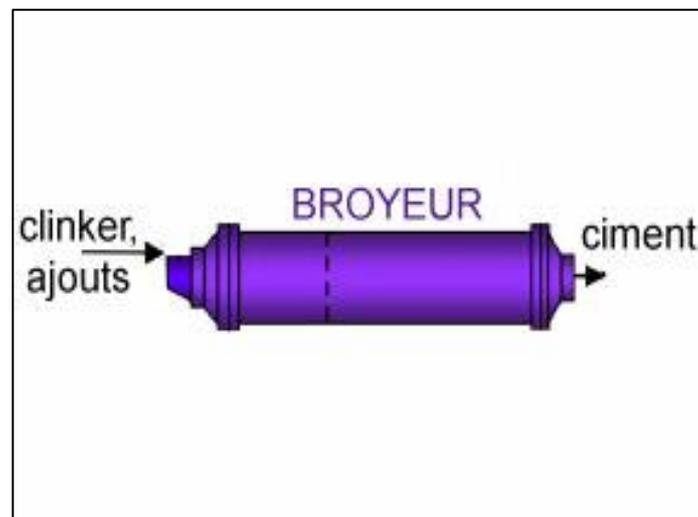


Fig. II-13 : Broyage en circuit ouvert

II.4.2.2- Le broyage en circuit fermé

Le matériau entre dans la première chambre, y est écrasé, puis passe à travers la cloison et entre dans la deuxième chambre, où il est finement broyé. A la sortie de la deuxième chambre

le matériau broyé passe dans un séparateur (figure II.14). Ce dernier classe les fines comme produit fini, et le reste est renvoyé au broyeur jusqu'à ce que la finesse requise soit atteinte. Le temps de séjour est de 4 à 5 minutes [7].

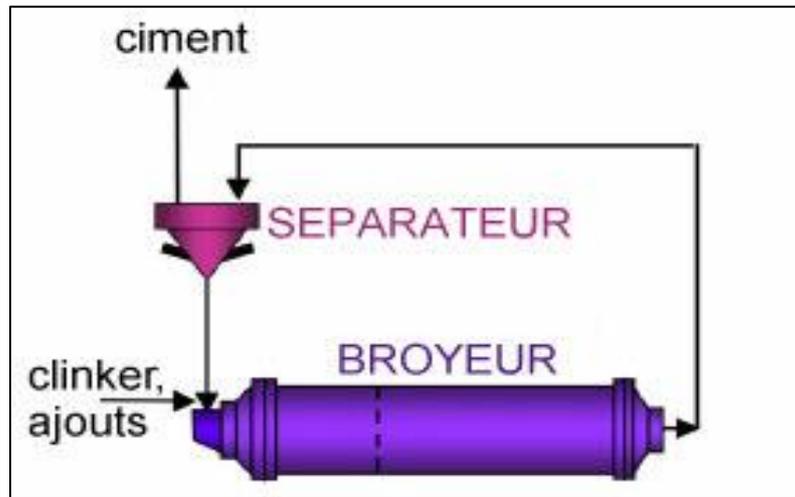


Fig. II-14 : Broyage en circuit fermé

II.4.3- Le principe de fonctionnement

Sous l'action du mouvement de rotation du corps de broyage (corps de cylindre, corps tubulaire), la bille métallique et le matériau à broyer sont entraînés, roulés et lâchés. Le matériau à broyer est soumis à différentes pressions. De l'usure (ou frottement) et des vibrations se produiront entre les billes et entre la balle et la paroi de blindage du cylindre. Le broyeur à boulets peut fonctionner dans deux états différents selon la vitesse de rotation.

II.4.3.1- Rotation à vitesse lente

La charge (boulets et matériau à broyer) à un mouvement de rotation général autour d'une petite zone M appelée "zone morte" qui reste immobile en théorie (figure II.15).

Ces corps broyants s'élèvent en suivant des trajectoires approximativement circulaires et concentriques dont le centre est parallèle de l'axe du broyeur, puis retombent en roulant les uns sur les autres. Le broyage s'opère par attrition en faisant intervenir essentiellement des forces de cisaillement. On appelle cette marche « La marche en CASCADE » [8].

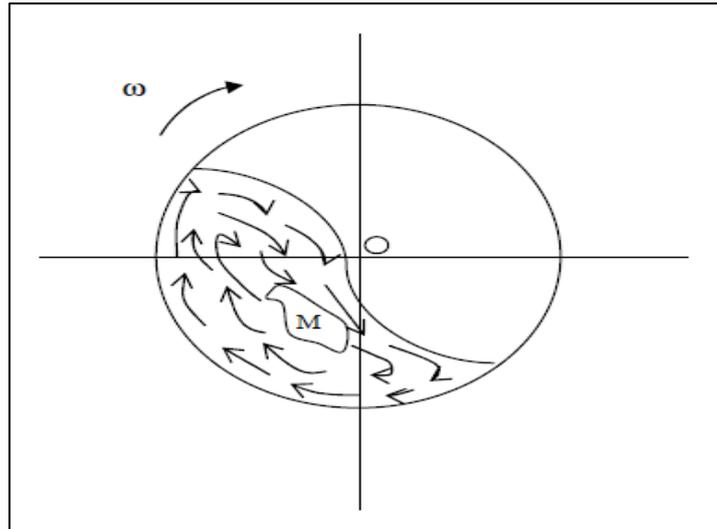


Fig. II-15 : Marche en cascade : Le point M est immobile

II.4.3.2- Rotation à vitesse élevée

Dans le second cas, on voit que la trajectoire des corps broyants comprend une partie de la chute libre, qui se termine au pied de la charge. Les boulets sont tirés vers le haut par la force centrifuge à une hauteur qui est fonction de la vitesse de rotation du broyeur. Au-delà de ce point, le poids des boulets dépasse la force centrifuge, et la chute se produit au bas de la charge. Ensuite, cette chute produira un impact au lieu d'un frottement, car le frottement généré par la rotation des boulets est relativement faible sauf aux points inférieurs (la masse de la charge est plus importante et fournit une accélération circonférentielle pour le dispositif). Cette façon de marcher s'appelle "CATARACT" (figure II.16). Il s'agit d'un procédé fréquemment utilisé car le procédé en cascade ne permet pas le broyage de gros minéraux de plus de quelques millimètres [8].

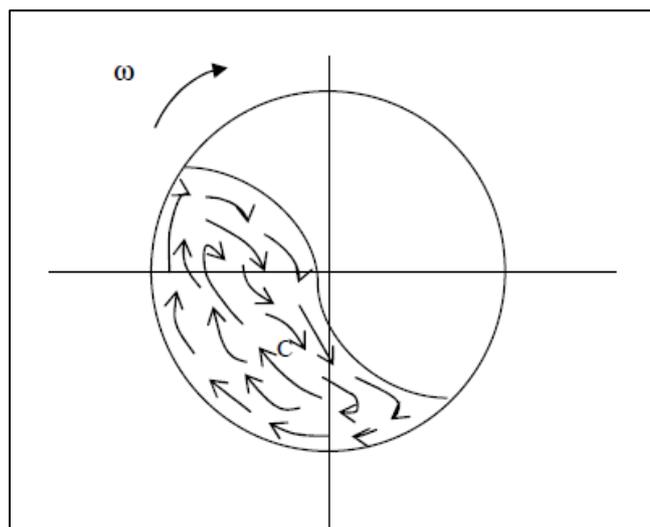


Fig. II-16 : Marche en CATARACTE : Au-delà du point C la gravité est prépondérante

II.4.4- Taux de remplissage

En général, le volume de la matière à broyer présent dans l'appareil ne doit pas excéder le volume des vides susceptibles d'exister entre les corps broyants, soit au maximum 35 à 40% du volume total de la charge.

Le degré de remplissage est le rapport entre le volume apparent de charge en boulets et le volume total intérieur du broyeur.

$$\tau = \frac{\text{Volume apparent de la charge en boulets}}{\text{Volume total intérieur du broyeur}}$$

II.5- Les Principaux défaillances de broyeur

II.5.1- Principaux défaillances des paliers

- ❖ **Boulons d'ancrage desserrés ou cassés :**
 - ✓ En raison des vibrations,
 - ✓ En raison d'un mauvais calage et de la qualité du béton.
- ❖ **Échauffement causé par :**
 - ✓ Problème de géométrie (réparation de la fusée du tourillon),
 - ✓ Déformation ou voilement,
 - ✓ Jeu excessif,
 - ✓ 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.

II.5.2- Principaux défaillances sur le tourillon

- ✓ Fissuration des tourillons causée par les vibrations et les charges supportées par les tourillons (figure II.17).

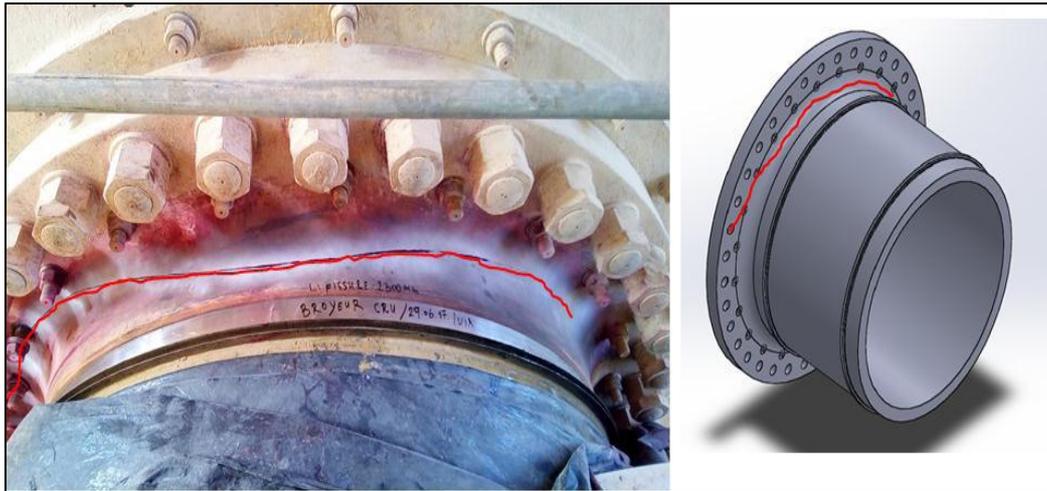


Fig. II-17 : Fissuration des tourillons

II.5.3- Principaux défauts sur le fond d'entrée

- ✓ Fissuration (usure) du blindage du fond d'entrée (figure II.18),
- ✓ Desserrage des plaques du blindage du fond d'entrée (figure II.19).



Fig. II-18 : Fissuration du blindage du fond d'entrée



Fig. II-19 : Desserrage des plaques du blindage fond d'entrée

II.5.4- Principaux défauts sur la cloison

- ✓ Mauvaise fixation des plaques,
- ✓ Usure des plaques de la cloison (figure II.20).



Fig. II-20 : Usure des plaques de la cloison

II.5.5- Principaux défaillances sur la virole

- ❖ Fissures : (fissure II.21)
 - ✓ Principalement circonférentielles (conception, fatigue)
 - ✓ Au niveau des trous des boulons des blindages (fatigue, défauts locaux)

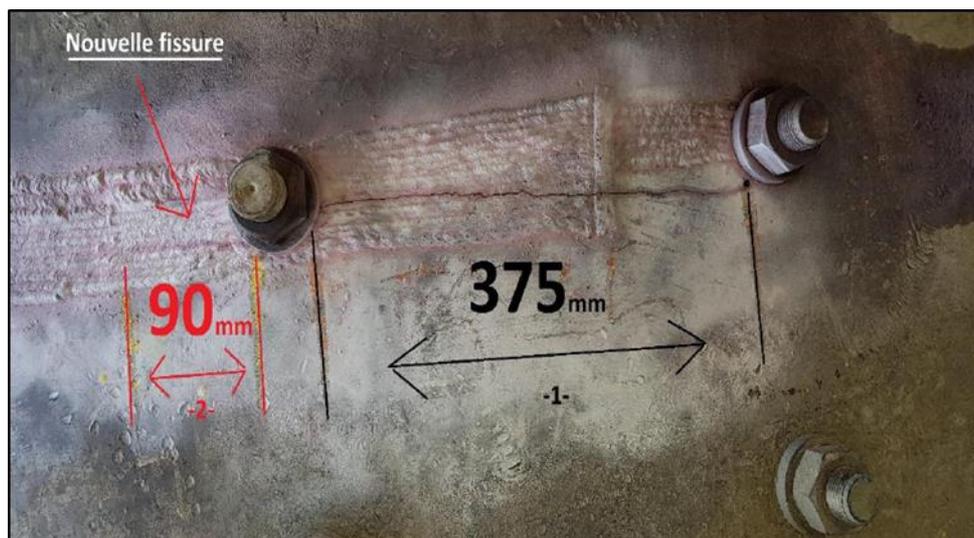


Fig. II-21 : Fissuration de la virole

- ❖ Déformations :
 - ✓ Broyeur fonctionnant avec un blindage manquant (fissure II.22)
 - ✓ Réparation de virole sur fissure circonférentielle



Fig. II-22 : Blindage manquant

❖ 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)

II.5.6- Principaux défaillances sur le réducteur du broyeur

- ✓ Usure sur les dents du satellite aussi sur les dents de couronne (figure II.23),
- ✓ Cisaillement des vis de fixation.



Fig. II-23 : Usure des dents du réducteur et cisaillement des vis de fixation

II.6- Présentation de la maintenance

II.6.1- Définition de la maintenance

Selon d'AFNOR X60 010, la maintenance est : « Toutes les activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités technique, administratives et de management. » [9].

La définition de la maintenance fait donc apparaître quatre 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.
- ❖ Cout optimal : qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

Le rôle principal d'un service maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles des moyens de production, ainsi que leurs valeurs patrimoniales. Ces capacités opérationnelles sont nécessaires pour servir une commande, non pas lorsque l'entreprise peut l'honorer, mais au moment où le client la demande. La valeur patrimoniale peut s'envisager comme l'allongement de la durée de vie utile des machines et équipements, ce qui repousse ou annule la nécessité d'un nouvel investissement. Formulé ainsi, il apparaît évident que ce rôle ne peut s'envisager que de manière dynamique et proactive.

II.6.2- Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance schématisés dans la figure II.24, sont nombreux :

- ❖ Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués tout en respectant les délais.
- ❖ Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes).
- ❖ Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
- ❖ Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple : améliorer la productivité).

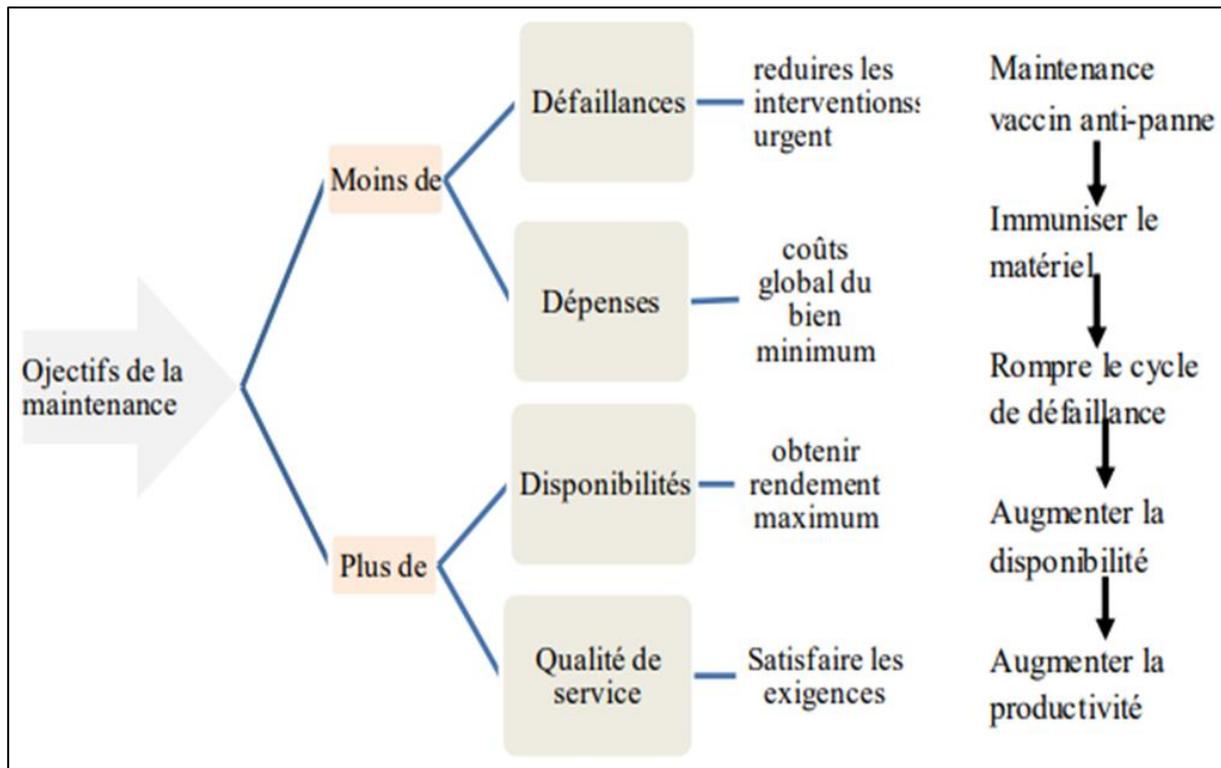


Fig. II-24 : Objectifs de la maintenance

II.6.3- Types de la maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise. Pour choisir, il faut donc être informé des objectifs de la direction, des directions politiques de maintenance, mais il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production. Les types de maintenance sont résumés dans la figure II.25 [9].

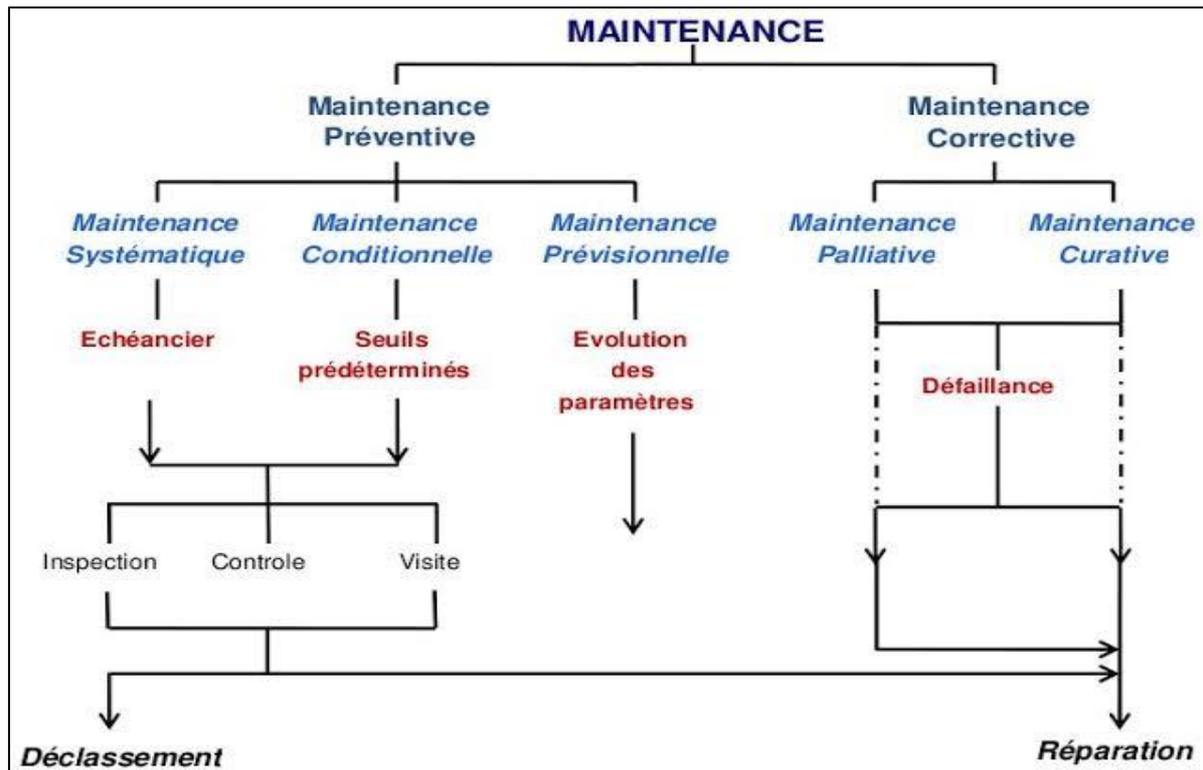


Fig. II-25 : Différents types de maintenance

II.6.3.1- Maintenance préventive

C'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité des défaillances ou des dégradations d'un bien ou d'un service rendu. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. [10].

La maintenance préventive peut être définie comme :

- ❖ Maintenance systématique.
- ❖ Maintenance conditionnelle.
- ❖ Maintenance prévisionnelle.

Buts de la maintenance préventive :

- ❖ Augmenter la durée de vie des matériels.
- ❖ Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- ❖ Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- ❖ Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- ❖ Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- ❖ Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.

- ❖ Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- ❖ Diminuer le budget de maintenance.
- ❖ Supprimer les causes d'accidents graves.

II.6.3.2- Maintenance corrective

Il s'agit de la maintenance effectuée après la détection d'une panne, elle a pour objectif de remettre un matériel défaillant à un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, il peut être utilisé en complément d'une maintenance préventive pour l'élimination d'une avarie [10].

Le fonctionnement de la maintenance corrective est divisé en deux parties :

- ❖ Maintenance palliative
- ❖ Maintenance curative

II.7- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une description sur les broyeurs à boulet, le principe de leur fonctionnement, leurs principaux composants, ainsi que les défaillances de base qui affectent ces broyeurs et nécessitant une inspection et un entretien périodiques.

Chapitre III : Diagnostic et analyse des défaillances dans un broyeur de cimenterie

III.1- Introduction

Afin d'optimiser le coût et le bon fonctionnement de l'équipement dans un environnement complexe, de nombreuses méthodes ont été appliquées. Chacune d'elles correspond à une analyse précise par laquelle des résultats peuvent être recherchés pour mieux expliquer la situation, et des décisions appropriées peuvent être prises pour l'améliorer si nécessaire. Dans ce chapitre nous utiliserons tout d'abord la méthode du « diagramme PARETO » et l'analyse ABC, afin de discerner les pannes des différentes parties du broyeur de cimenterie, qui représentent un temps de réparation ou d'arrêt le plus important. L'analyse et la détermination des causes probables de ces pannes est traitée dans un second temps en utilisant l'arbre de défaillances des événements les plus redoutés.

III.2- Diagnostic

III.2.1- Terminologies

La norme AFNOR définit le diagnostic comme étant l'identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle, ou d'un test. Les fonctions du Diagnostic peuvent se résumer comme suit :

- ❖ Observer les symptômes des défaillances.
- ❖ Identifier la cause de la défaillance.
- ❖ Prévoir la défaillance.

Le diagnostic joue un rôle primordial permettant d'assurer la sûreté de fonctionnement. Une détection rapide ou précoce permet d'augmenter la disponibilité et la productivité des capitaux investis dans l'outil de production [11].

Les terminologies les plus utilisées dans le domaine du diagnostic sont les suivantes :

- ❖ Défaut
- ❖ Faute
- ❖ Défaillance
- ❖ Panne
- ❖ Résidu

III.2.2- Classification des défauts

Les défauts peuvent être classés selon leurs natures, c'est-à-dire la façon et la gravité avec lesquelles ils apparaissent :

- ❖ Défaut abrupt

- ❖ Défaut intermittent
- ❖ Défaut graduel

Les défauts peuvent être aussi divisés en trois classes selon la partie du système défaillante :

- ❖ Défauts d'actionneur,
- ❖ Défauts de capteur,
- ❖ Défauts de système.

III.3- Généralités sur diagramme de "PARETO"

III.3.1- Historique

Pareto (1848-1923) était un économiste social italien qui a étudié la répartition des impôts fonciers aux États-Unis. Il a constaté que 15% des contribuables payaient 85% de la taxe. Il a fait une règle, la règle 85-15, au lieu de la règle 80-20, qui peut être appliquée partout :

- ❖ 20% des routes ou voies ferrées assurent 80% du trafic.
- ❖ 20% des conducteurs sont à l'origine de 80% des accidents.
- ❖ 20% des biens vendus représentent 80% du chiffre d'affaires.

Quelques causes sont responsables de la plupart des conséquences [12].

III.3.2- Définition

Le diagramme de Pareto est un outil d'analyse graphique qui permet de mettre en évidence les principales causes des phénomènes. On dit généralement que 20% cause 80% des conséquences, mais ces pourcentages ne sont qu'un ordre de grandeur, et ils montrent que dans la plupart des cas, quelques causes causeront la plupart des conséquences. En ce qui concerne la cause de l'échec, il faut se concentrer sur l'élimination des 20% de cause de 80% des échecs. Cette règle s'applique également aux coûts : 20% des raisons à éliminer nécessiteront 80% d'efforts humains, financiers et autres. Les raisons les plus critiques qui nécessitent plus d'attention dans les deux domaines suivants La surveillance vaut mieux que l'action. [10].

III.3.3- L'objectif de l'analyse "PARETO"

L'importance de l'analyse de "PARETO" réside dans ce qui suit :

- ❖ Faire apparaître les causes essentielles du phénomène
- ❖ Hiérarchiser les causes du problème.
- ❖ Évaluer les effets d'une solution.
- ❖ Mieux cibler les actions à mettre en œuvre.

III.4- Diagramme de "PARETO" et analyse ABC

III.4.1- Principe du diagramme de "PARETO"

Les événements (tels que les pannes) sont classés par ordre décroissant de coût (temps d'arrêt, coût financier, quantité, etc.) et chaque événement est lié à une entité. Tracez ensuite un graphique correspondant au pourcentage de coût cumulé par rapport au pourcentage de type de défaillance cumulé. Sur le schéma de figure au-dessous, il y a trois régions [12].

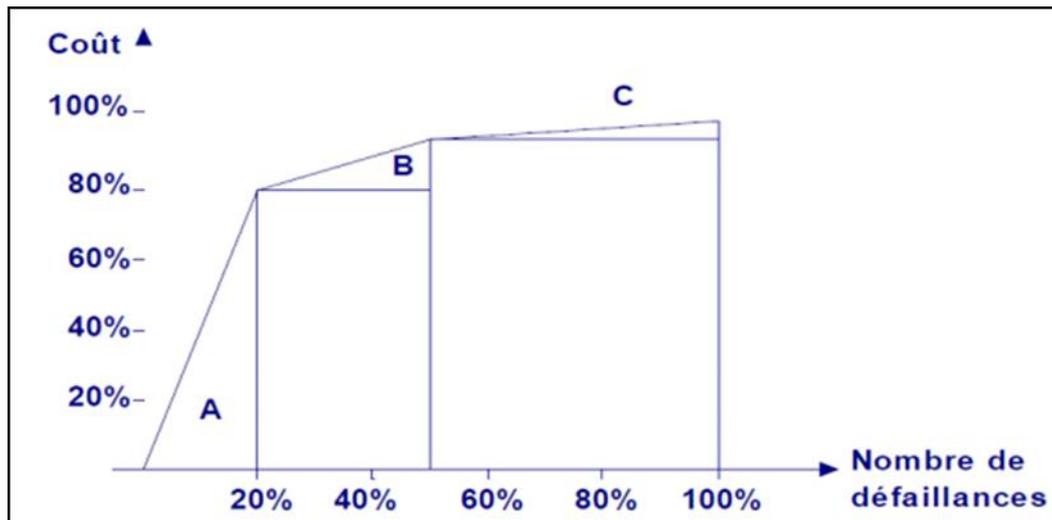


Fig. III-1 : Exemple de diagramme de PARETO

- ❖ Zone A : 20% des pannes entraînent 80% des coûts.
- ❖ Zone B : Un temps d'arrêt supplémentaire de 30% ne coûte que 15% supplémentaires.
- ❖ Zone C : Les 50% d'échecs restants ne représentent que 5% du coût total

III.4.2-Principe de l'analyse ABC

Distinguer les seuils majeurs et mineurs en les divisant en trois zones : A, B et C. Il est généralement associé à la méthode 80/20. La zone A correspond généralement à 80% de la valeur mesurée.

L'exploitation de cette méthode permet de déterminer les principales causes de pertes à partir d'un historique (pertes matières, pannes, consommation de pièces etc...) il s'agit d'un outil de prise de décision qui permet de suggérer objectivement un choix d'éléments classés par ordre d'importance.

III.4.3- Critères d'analyse

Il est nécessaire de définir un critère permettant de comparer les équipements les éléments d'un même équipement et l'influence du type de pannes.

Les principaux critères sont :

- ❖ Le nombre de pannes : on peut faire des distinctions par type de pannes (électrique, mécanique, pneumatique etc...) ou utiliser un critère global (tous types confondus).
- ❖ La durée moyenne des pannes (elle est calculée en divisant la durée totale d'arrêt de l'équipement pour cause de panne par le nombre de pannes).
- ❖ La durée d'arrêt due aux pannes (ce temps est en général relativement proportionnel au coût des arrêts de l'équipement) [13].

III.5- Historiques des pannes dans un broyeur à boulet

III.5.1- Présentation direct des pannes

Nous avons utilisé l'historique des défaillances du broyeur à boulets type Unidan, procuré du mémoire de la référence [9], réalisé entre le 3 janvier 2010 et le 18 décembre 2011.

Pour notre étude, nous avons considéré les temps d'arrêt des différents composants du broyeur à boulets pour l'analyse Pareto et ABC.

Les défauts enregistrés sont classés en trois types (mécaniques, électriques et hydrauliques), représentés par (Méc, Elec et Hyd) (tableau III.1).

N°	Date	Pannes	Temps de Réparation(h)	Type de panne
1	03/01/2010	Vidange de moteur + réducteur MAAG+ inspection	46	Hyd
2	29/01/2010	Plaque de blindage +boulets	168	Méc
3	14/02/2010	Palier de broyeur + bride	62	Méc
4	06/03/2010	Coupure générale d'électricité	3	Elec
5	24/03/2010	Bourrage d'aéroglossière	9	Méc
6	16/04/2010	Turbine +arbre de transmission de séparateur dynamique (SAS)	38	Méc
7	28/04/2010	Manque de clinker	11	PAP
8	02/05/2010	Cisaillement de vis de transport	19	Méc
9	18/06/2010	Bourrage d'aéroglossière	5	Méc
10	10/07/2010	Silos pleins	13	Méc
11	22/07/2010	Manque de clinker	12	PAP

12	30/07/2010	Cloisons	130	Méc
13	27/08/2010	Palier de broyeur	76	Méc
14	12/09/2010	Délestage de fréquence	11	Elec
15	05/10/2010	Pompe hydraulique de moteur broyeur	25	Hyd
16	18/10/2010	Turbine de séparateur dynamique (SAS)	36	Méc
17	28/10/2010	Fuite de clinker dans gaines de ventilateur	3	Méc
18	14/11/2010	Bourrage d'aéroglossière	4	Méc
19	25/11/2010	Plaque de blindage	172	Méc
20	06/12/2010	Turbine de séparateur dynamique (SAS)	38	Méc
21	26/12/2010	Palier de broyeur	72	Méc
22	06/01/2011	Vidange de moteur + réducteur MAAG+ inspection	48	Hyd
23	04/02/2011	plaque de blindage + boulets	42	Méc
24	18/02/2011	Palier de broyeur	80	Méc
25	07/03/2011	Bourrage d'aéroglossière	5	Méc
26	29/03/2011	Conduite de refroidissement de des paliers de moteur de broyeur	7	Hyd
27	12/04/2011	Cloisons	126	Méc
28	02/05/2011	Manque de clinker	13	PAP
29	14/05/2011	Godet d'élévateur + chaine et tambour	47	Méc
30	28/05/2011	Fuite de clinker dans gaines de ventilateur	3	Méc
31	17/06/2011	Turbine de séparateur dynamique (SAS)	170	Méc

32	08/07/2011	Palier de broyeur+ joints feutre	77	Méc
33	22/07/2011	Bourrage d'aérogliissière	4	Méc
34	13/08/2011	Bande de transport de trimerie d'ajout gypse	7	Méc
35	26/08/2011	Moteur de ventilateur SIMENS	11	Elec
36	29/08/2011	Cloisons	120	Méc
37	13/09/2011	Manque clinker	12	PAP
38	02/10/2011	Bourrage d'aérogliissière	5	Méc
39	18/11/2011	Palier de broyeur	72	Méc
40	30/11/2011	Réducteur de vitesse de ventilateur	6	Méc
41	18/12/2011	Manque clinker	13	PAP

PAP : Problème d'approvisionnement

Tableau III.1: Historique des pannes dans le broyeur

III.5.2-Pourcentage des pannes dans le broyeur à boulet

Une première lecture dans l'historique des pannes du broyeur à boulet nous permet de discerner les pourcentages des pannes, qui représentent 71% des pannes mécaniques, 7% des pannes électriques, 10% des pannes hydrauliques et les 12% restant représentent les problèmes d'approvisionnement du broyeur (figure III.2).

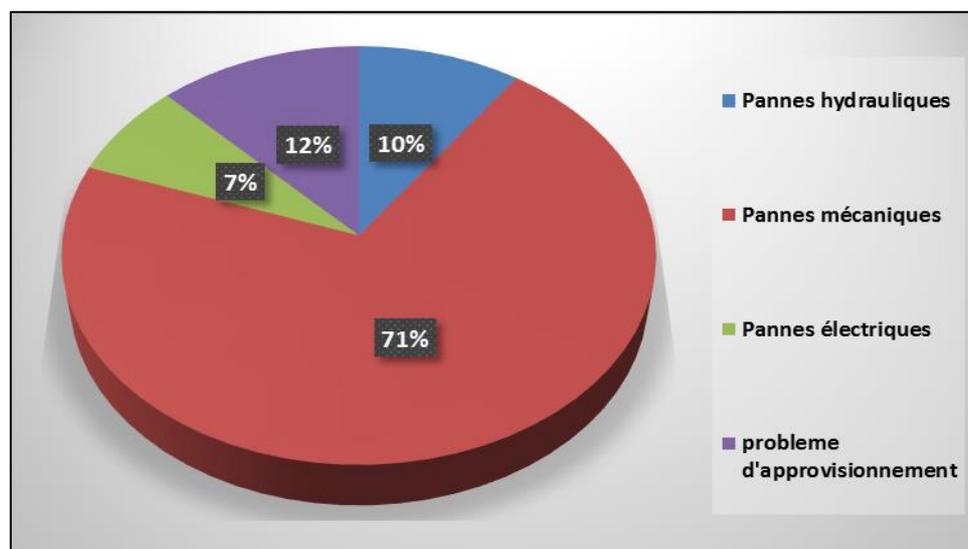


Fig. III-2 : Pourcentage des pannes dans le broyeur à boulet

III.6- Analyse des temps d'arrêt dans le broyeur à boulet

III.6.1- Les pannes mécaniques

III.6.1.1- Diagramme de "PARETO"

Le tableau III.2 représente un classement décroissant des pannes mécaniques en fonction de leurs temps d'arrêt (TA) extrait de l'historique des pannes du tableau III.1.

Les pannes	Code	TA en min	TA %	TA Cumule %
Palier de broyeur + bride	Méc1	26340	27,39%	27,39%
Plaque de blindage +boulets	Méc2	22920	23,83%	51,22%
Cloisons	Méc3	22560	23,46%	74,67%
Turbine +arbre	Méc4	16920	17,59%	92,26%
Godet d'élévateur + chaîne et tambour	Méc5	2820	2,93%	95,20%
Bourrage d'aérogliissière	Méc6	1920	2,00%	97,19%
Cisaillement de vis de transport	Méc7	1140	1,19%	98,38%
Silos pleins	Méc8	780	0,81%	99,19%
Bande de transport de trimerie d'ajout gypse	Méc9	420	0,44%	99,63%
Fuite de clinker dans gaines de ventilateur	Méc10	360	0,37%	100,00%

Tableau III.2: Temps d'arrêt des pannes mécaniques

Le temps d'arrêt et le temps d'arrêt cumulé en % en fonction du type de pannes mécaniques est représenté dans la figure III.3.

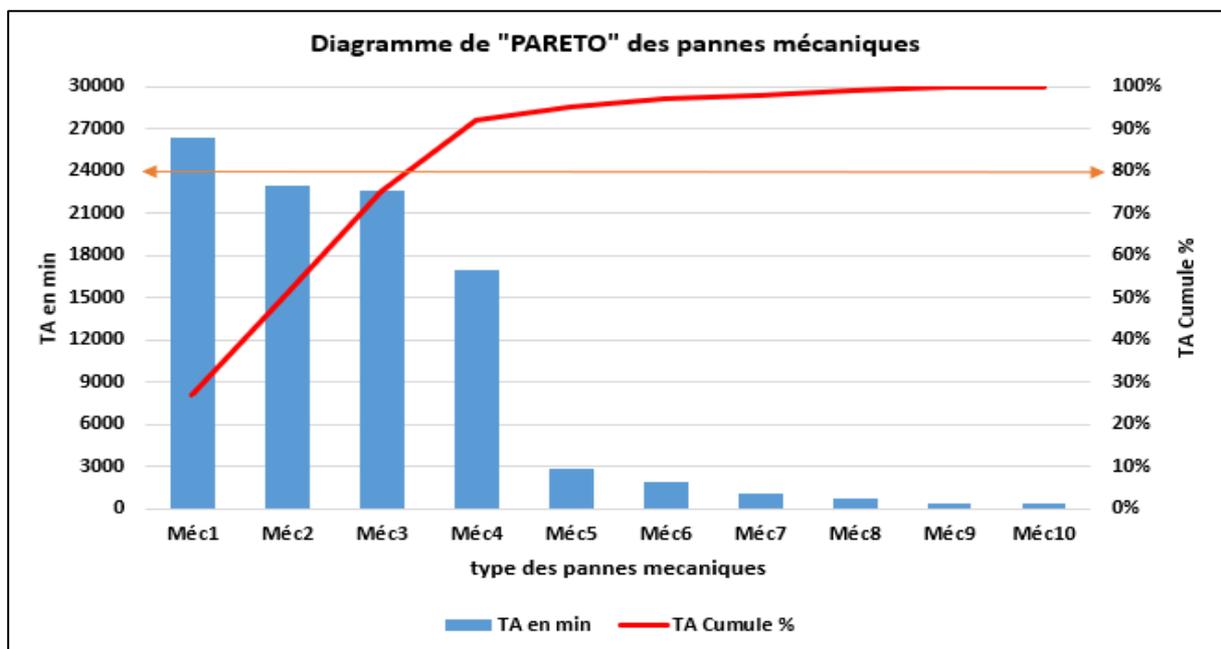


Fig. III-3 : Diagramme de PARETO des pannes mécaniques

De ce diagramme on conclut que les pannes (Méc1, Méc2, Méc3) sont responsables de 75% du temps d'arrêt du broyeur. Ces pannes sont celles sur lesquelles il faudra agir prioritairement. Actions préventives systématiques dans un premier temps, conditionnelle ensuite.

III.6.1.2- Analyse ABC

Dans la dernière colonne du tableau III.3, on représente les zones ABC des pannes mécaniques. Il regroupe les temps d'arrêt cumulé en % et le % des pannes mécaniques cumulées est indiqué clairement les pannes critiques (zone A) et qui nécessitent une intervention en priorité.

Code	TA en min	TA %	TA Cumule %	Nombre des pannes	% des pannes	% des pannes cumulées	ABC
Méc1	26340	27,39%	27,39%	6	21%	21%	A
Méc2	22920	23,83%	51,22%	3	10%	31%	A
Méc3	22560	23,46%	74,67%	3	10%	41%	A
Méc4	16920	17,59%	92,26%	4	14%	55%	B
Méc5	2820	2,93%	95,20%	1	3%	59%	B
Méc6	1920	2,00%	97,19%	6	21%	79%	C
Méc7	1140	1,19%	98,38%	1	3%	83%	C
Méc8	780	0,81%	99,19%	1	3%	86%	C
Méc9	420	0,44%	99,63%	1	3%	90%	C
Méc10	360	0,37%	100,00%	3	10%	100%	C

Tableau III.3: Zones ABC des pannes mécaniques

Le graphique de la figure III.4 illustre l'analyse ABC des données relevées sur le tableau ci-dessus.

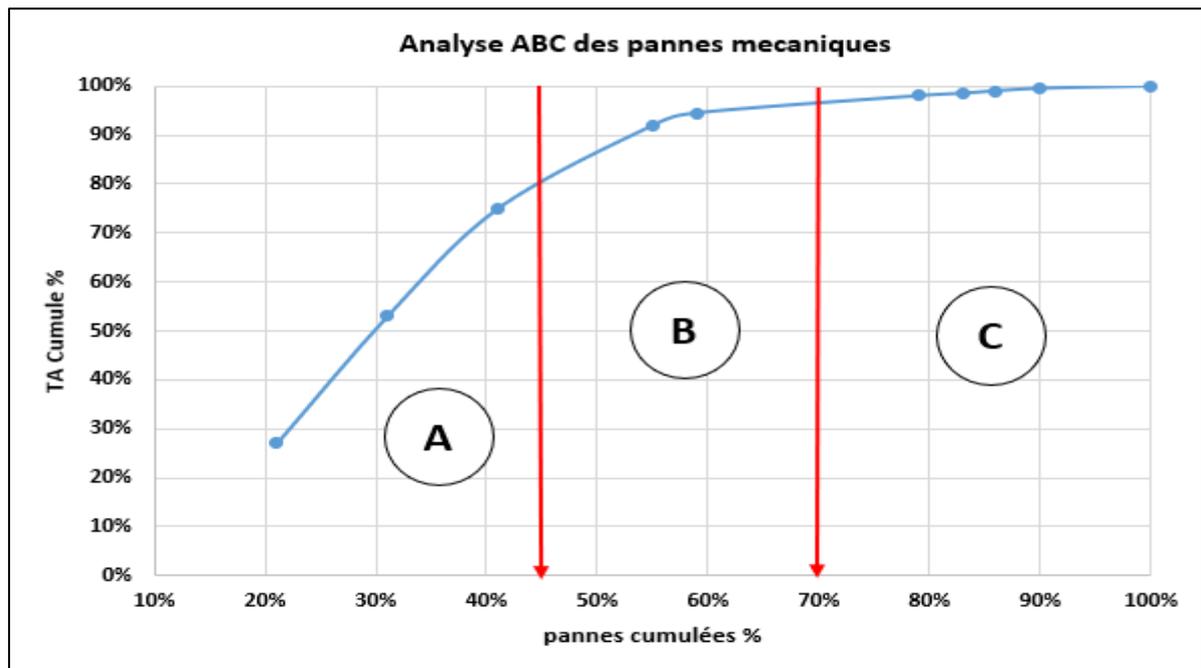


Fig. III-4 : Représentation des zones ABC des pannes mécaniques

On constate que 41% des pannes cumulées de 1 à 3 (zone A) représentent 75% du temps d'arrêt du broyeur. 18% des pannes cumulées 4 et 5 causent 20% du temps d'arrêt (zone B). Enfin dans la zone C, 41% des pannes cumulées de 6 à 10 sont responsables de 5% du temps d'arrêt du broyeur. C'est la zone des pannes à négliger.

III.6.2- Les pannes hydrauliques

III.6.2.1- Diagramme de "PARETO"

L'historique des temps d'arrêt en fonction des pannes hydrauliques est représenté dans le tableau III.4.

Les pannes	Code	TA en min	TA %	TA Cumule %
Vidange de moteur + réducteur MAAG+ inspection	Hyd1	5640	74,60%	74,60%
Pompe hydraulique de moteur broyeur	Hyd2	1500	19,84%	94,44%
Conduite de refroidissement de des paliers de moteur de broyeur	Hyd3	420	5,56%	100,00%

Tableau III.4: Temps d'arrêt des pannes hydrauliques

Les résultats du tableau III.4 sont représentés par le diagramme Pareto de la figure III.5.

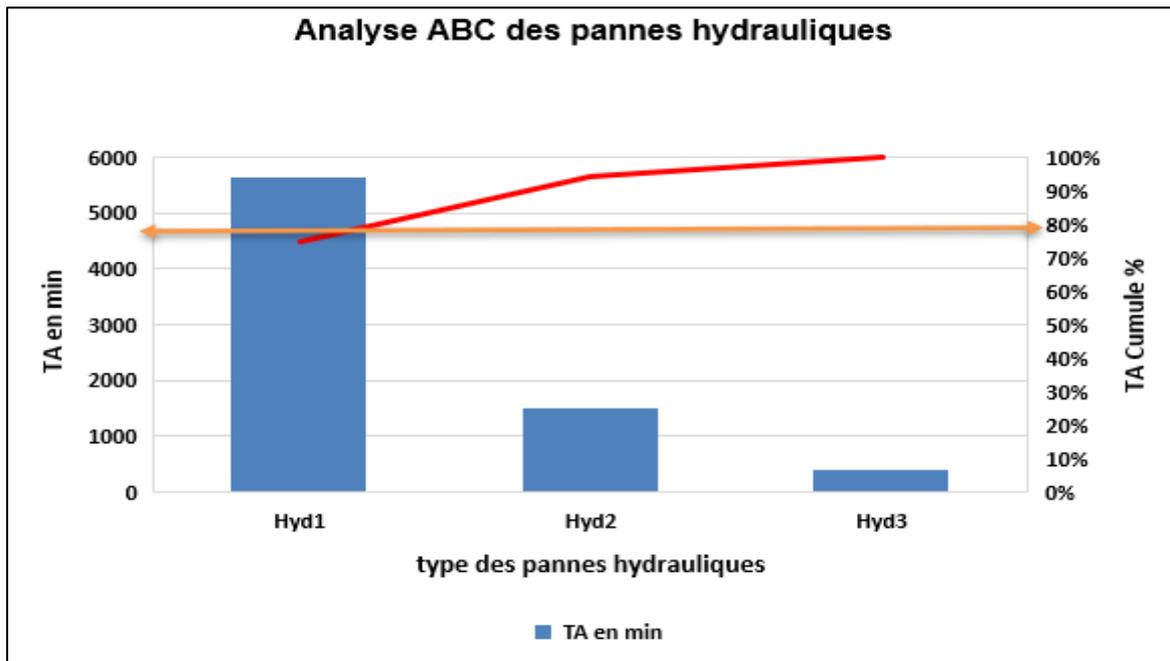


Fig. III-5 : Diagramme de PARETO des pannes hydrauliques

De ce diagramme de Pareto des pannes hydrauliques en concluons les pannes (Hyd1) sont responsable de 80% du temps d'arrêt du broyeur.

III.6.2.2- Analyse ABC

Les zones ABC des pannes hydrauliques sont données à la dernière colonne du tableau III.5.

Code	TA en min	TA %	TA Cumule %	Nombre des pannes	% des pannes	% des pannes cumulees	ABC
Hyd1	5640	74,60%	74,60%	2	50,00%	50,00%	A
Hyd2	1500	19,84%	94,44%	1	25,00%	75,00%	B
Hyd3	420	5,56%	100,00%	1	25,00%	100,00%	C

Tableau III.5: Zones ABC des pannes hydrauliques

Les résultats de l'analyse ABC du tableau III.5 sont représentés sur la figure III.6.

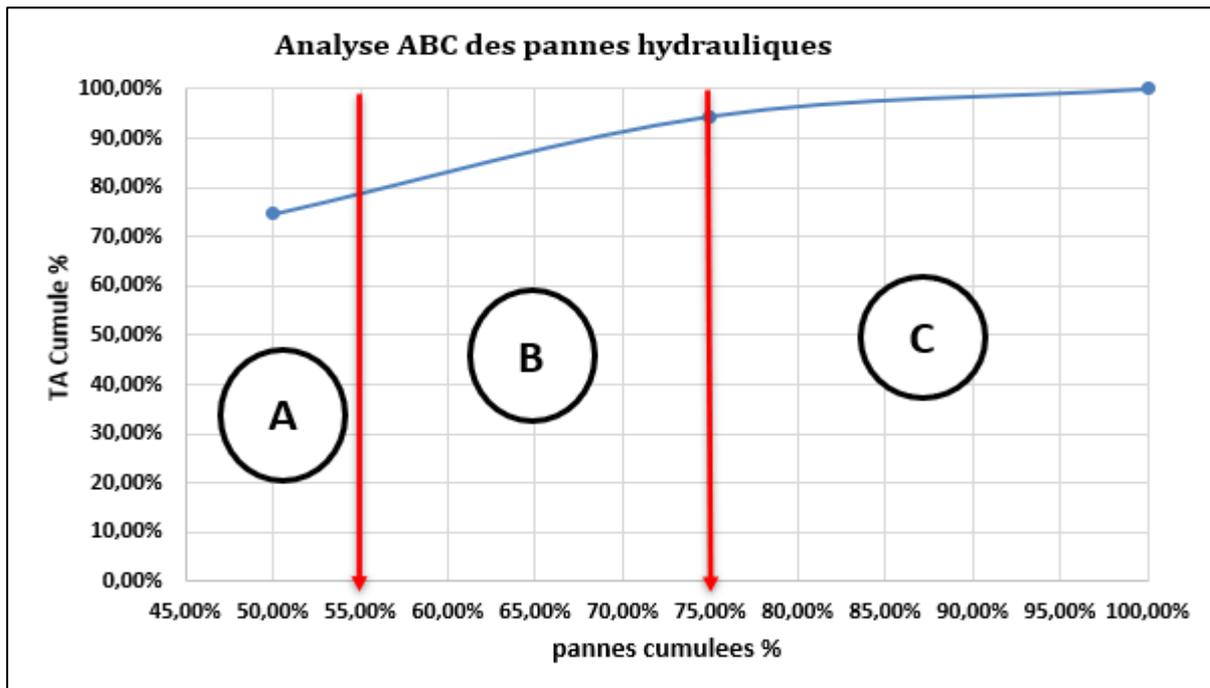


Fig. III-6 : Représentation des zones ABC des pannes hydrauliques

L'analyse ABC (figure III.6) montre que 74,60 % du temps d'arrêt du broyeur est causé par la panne hyd1 qui représente 50% du pourcentage des pannes cumulées. La panne hyd2 représente à peu près 20% du temps d'arrêt et la panne hyd3 représente environ 6%. Ces deux pannes représentent chacune d'elle un pourcentage des pannes cumulées de 25%.

III.6.3- Les pannes électriques

III.6.3.1- Diagramme de "PARETO"

Les pannes électriques constatées avec leur temps d'arrêt sont représentées dans le tableau III.6.

Les pannes	Code	TA en min	TA %	TA Cumule %
Moteur de ventilateur SIMENS	Elec1	660	44,00%	44,00%
Délestage de fréquence	Elec2	660	44,00%	88,00%
Coupure générale d'électricité	Elec3	180	12,00%	100,00%

Tableau III.6: Temps d'arrêt des pannes électriques

A partir de ces données, on présente le temps d'arrêt et le pourcentage du TA cumulé en fonction des pannes électriques. Ce qui nous permet de tracer le diagramme de Pareto de la figure III.7.

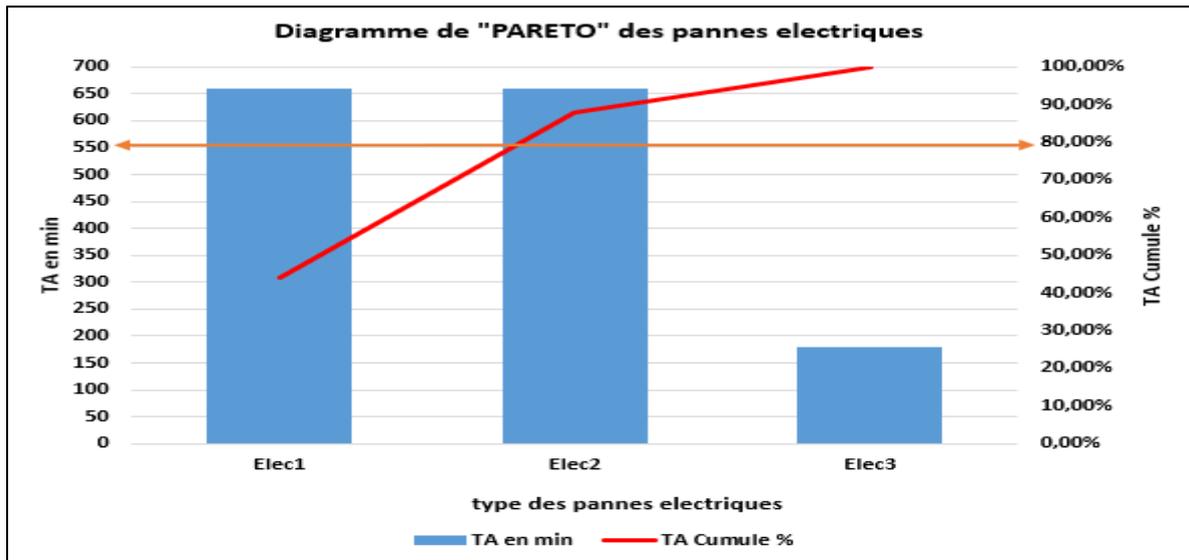


Fig. III-7 : Diagramme de PARETO des pannes électriques

On constate que les 2 premières pannes électriques (Ele1, Ele2) sont celles sur lesquelles il faudra agir prioritairement. Elles présentent 88% du temps d'arrêt du broyeur.

III.6.3.2- Analyse ABC

Le tableau III.7 représente les zones ABC des pannes électriques.

Code	TA en min	TA %	TA Cumule %	Nombre des pannes	% des pannes	% pannes cumulees	ABC
Elec1	660	44,00%	44,00%	1	33,33%	33,33%	A
Elec2	660	44,00%	88,00%	1	33,33%	66,67%	A
Elec3	180	12,00%	100,00%	1	33,33%	100,00%	B

Tableau III.7: Zones ABC des pannes électriques

Une analyse ABC (figure III.8) est réalisée à partir des données du tableau III.7.

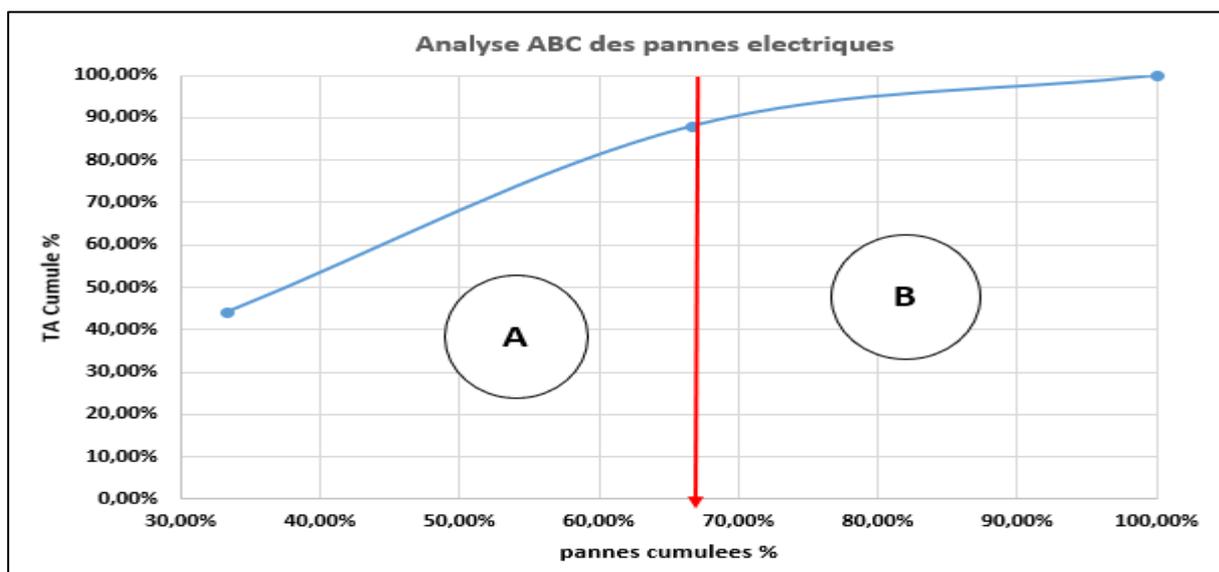


Fig. III-8 : Représentation des zones ABC des pannes électriques

A partir de ce tracé, nous remarquons que 66,67% des pannes représentent 88 % du temps d'arrêt du broyeur. Ces pannes sont situées dans la zone A.

Nous constatons que 33,33% des pannes cumulées présente 12% du temps d'arrêt (zone B). La zone C Est inexistante.

III.6.4- Différentes pannes dans le broyeur à boulet

III.6.4.1- Diagramme de "PARETO"

Les pannes mécaniques, hydrauliques et électriques sont regroupées dans le tableau III.8. Ces données sont classées selon un ordre décroissant par rapport au temps d'arrêt du broyeur.

Les pannes	Code	TA en min	TA %	TA Cumule %
Palier de broyeur + bride	Méc1	26340	25%	25%
Plaque de blindage +boulets	Méc2	22920	22%	47%
Cloisons	Méc3	22560	21%	68%
Turbine +arbre	Méc4	16920	16%	84%
Vidange de moteur + réducteur MAAG+ inspection	Hyd1	5640	5%	89%
Godet d'élévateur + chaîne et tambour	Méc5	2820	3%	92%
Bourrage d'aéroglossière	Méc6	1920	2%	94%
Pompe hydraulique de moteur broyeur	Hyd2	1500	1%	95%
Cisaillement de vis de transport	Méc7	1140	1%	96%
Silos pleins	Méc8	780	1%	97%
Moteur de ventilateur SIMENS	Ele1	660	1%	98%
Délestage de fréquence	Ele2	600	0,6%	98,6%
Bande de transport de trimerie d'ajout gypse	Méc9	420	0,40%	99%
Conduite de refroidissement de des paliers de moteur de broyeur	Hyd3	420	0,40%	99,4%
Fuite de clinker dans gaines de ventilateur	Méc10	360	0,34%	99,74%
Coupure générale d'électricité	Ele3	180	0,20%	100%

Tableau III.8: Temps d'arret des Différentes pannes

A partir de ces données, un diagramme de Pareto est dressé et il est représenté sur la figure III.9.

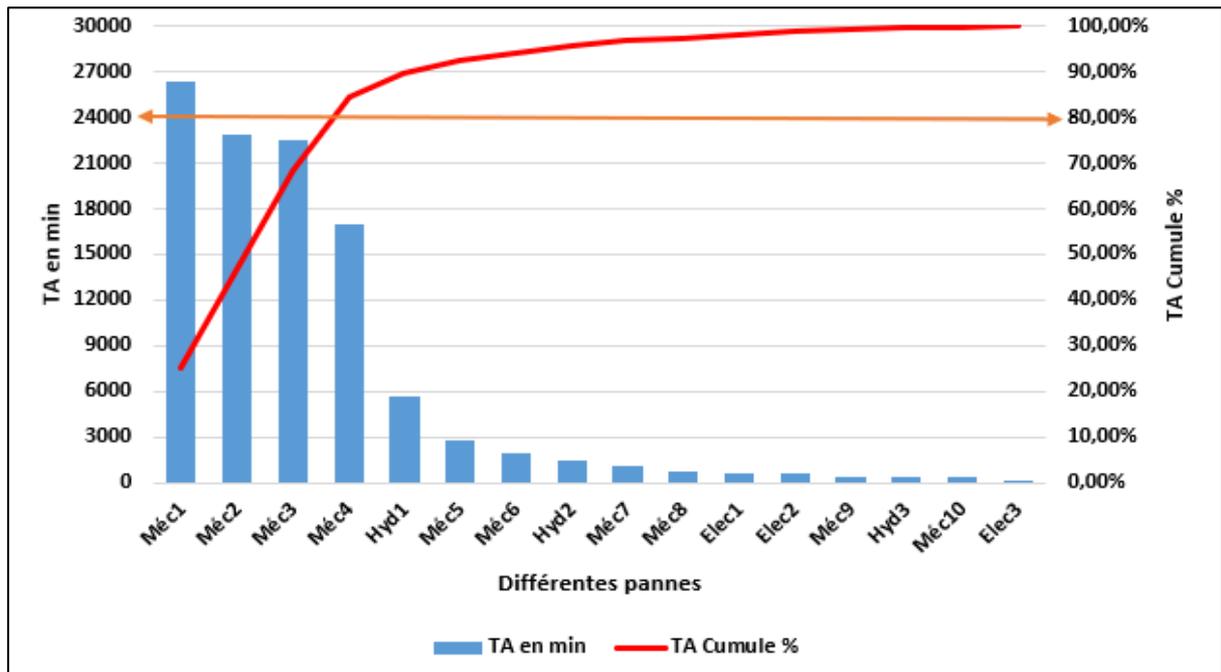


Fig. III-9 : Diagramme de PARETO des Différentes pannes

Ce diagramme nous permet de constater que les pannes Méc1, Méc2, Méc3 sont responsable à peu près de 70% du temps d'arrêt du broyeur. Elles sont à étudier en priorité.

III.6.3.2- Analyse ABC

Nous présentons sur le tableau III.9 les limites des zones A, B et C et sur le graphique de la figure III.10 sont représentées ces zones. Nous remarquons que 33% des pannes procure 70% de temps d'arrêt.

Code	TA en min	TA %	TA Cumule %	Nombre des pannes	% des pannes	% pannes cumulées	ABC
Méc1	26340	25,03%	25,03%	6	16,67%	17%	A
Méc2	22920	21,78%	46,81%	3	8,33%	25%	A
Méc3	22560	21,44%	68,24%	3	8,33%	33%	A
Méc4	16920	16,08%	84,32%	4	11,11%	44%	B
Hyd1	5640	5,36%	89,68%	2	5,56%	50%	B
Méc5	2820	2,68%	92,36%	1	2,78%	53%	B
Méc6	1920	1,82%	94,18%	6	16,67%	69%	B
Hyd2	1500	1,43%	95,61%	1	2,78%	72%	C
Méc7	1140	1,08%	96,69%	1	2,78%	75%	C
Méc8	780	0,74%	97,43%	1	2,78%	78%	C
Elec1	660	0,63%	98,06%	1	2,78%	81%	C

Elec2	660	0,63%	98,69%	1	2,78%	83%	C
Méc9	420	0,40%	99,09%	1	2,78%	86%	C
Hyd3	420	0,40%	99,49%	1	2,78%	89%	C
Méc10	360	0,34%	99,83%	3	8,33%	97%	C
Elec3	180	0,17%	100,00%	1	2,78%	100%	C

Tableau III.9: Zones ABC des Différentes pannes

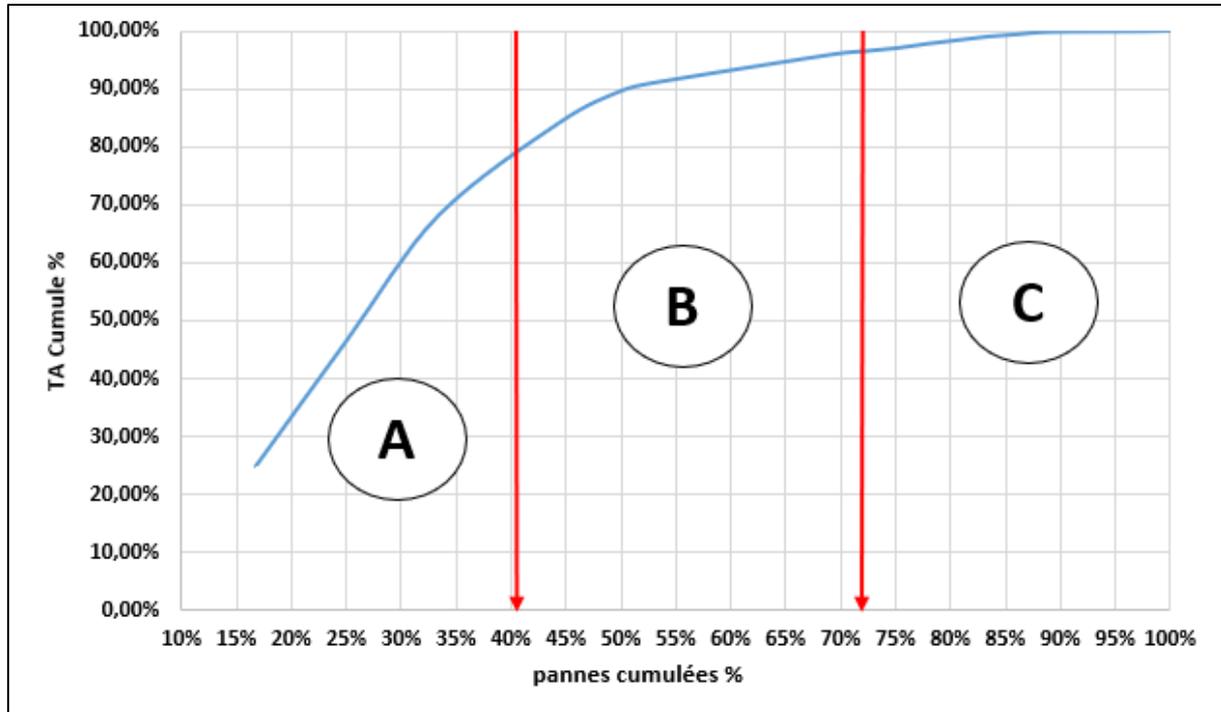


Fig. III-10 : Représentation des zones ABC des Différentes pannes

L'utilisation du diagramme de Pareto et l'analyse ABC des différentes pannes nous ont permis de localiser rapidement les équipements qui tombent le plus souvent en panne. Nous avons utilisé par la suite l'analyse par arbre de défaillances sur les pannes Méc1, Méc2, et Méc3 pour déduire les causes probables de ces pannes (ou les événements de base causant ces pannes).

III.7- Arbre de défaillances

III.7.1- Définition

Un arbre de défaillances ou ADD (aussi appelé arbre de pannes ou arbre de fautes) est une technique d'ingénierie très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statiques. Cette méthode consiste à représenter graphiquement les combinaisons possibles d'événements qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini. Une telle représentation graphique met donc en évidence les relations de cause à effet. Cette technique est complétée par un traitement mathématique qui permet la combinaison de défaillances

simples ainsi que de leur probabilité d'apparition. Elle permet ainsi de quantifier la probabilité d'occurrence d'un événement indésirable, également appelé « événement redouté ». Il s'agit de la méthode la plus utilisée pour analyser les pannes système complexes (y compris la redondance) [14].

III.7.2- Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Téléphone et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles. Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'événements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre des défaillances est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique... Elle est aussi utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident [15].

III.7.3- Principe de base

Cette méthode déductive (de l'impact à sa cause) vise à trouver toutes les combinaisons d'échec de base pouvant conduire à l'événement de peur (parfois identifié par l'ADEC). A partir de ce "sommet", nous établissons une structure arborescente (un diagramme graphique sous la forme d'un arbre inversé) qui représente la séquence logique des "événements intermédiaires" jusqu'à la recherche des "événements de base" (défaillance du composant). Par l'utilisation du symbolisme de la logique de l'algèbre booléenne. Par conséquent, il est possible d'identifier toutes les défaillances de base susceptibles de provoquer l'événement de peur, puis de les quantifier en fonction du taux de défaillance λ obtenu à partir du taux de défaillance λ_i de chaque composant impliqué [16].

III.7.4- Définitions des termes utilisés

❖ Événement redouté :

Un événement effrayant est un événement indésirable, et nous enquêtons sur toutes les causes qui ont conduit à l'événement. Cet événement est propre à l'arbre de pannes et se trouve en « haut » de l'arbre de pannes. Avant de commencer la décomposition (vous permettant d'explorer toute la combinaison d'événements qui ont conduit à l'événement inquiétant), vous devez définir précisément cet événement et le contexte dans lequel il s'est produit. L'événement préoccupant est représenté par un rectangle en haut de l'arbre [16].

❖ **Élaboration de l'arbre :**

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer l'enchaînement des événements pouvant conduire à la sélection de l'événement final. Lorsque toutes les causes potentielles correspondent à l'événement de base, l'analyse se termine. Le développement de l'arbre de défaillances suit la séquence de la figure III.11. [15].

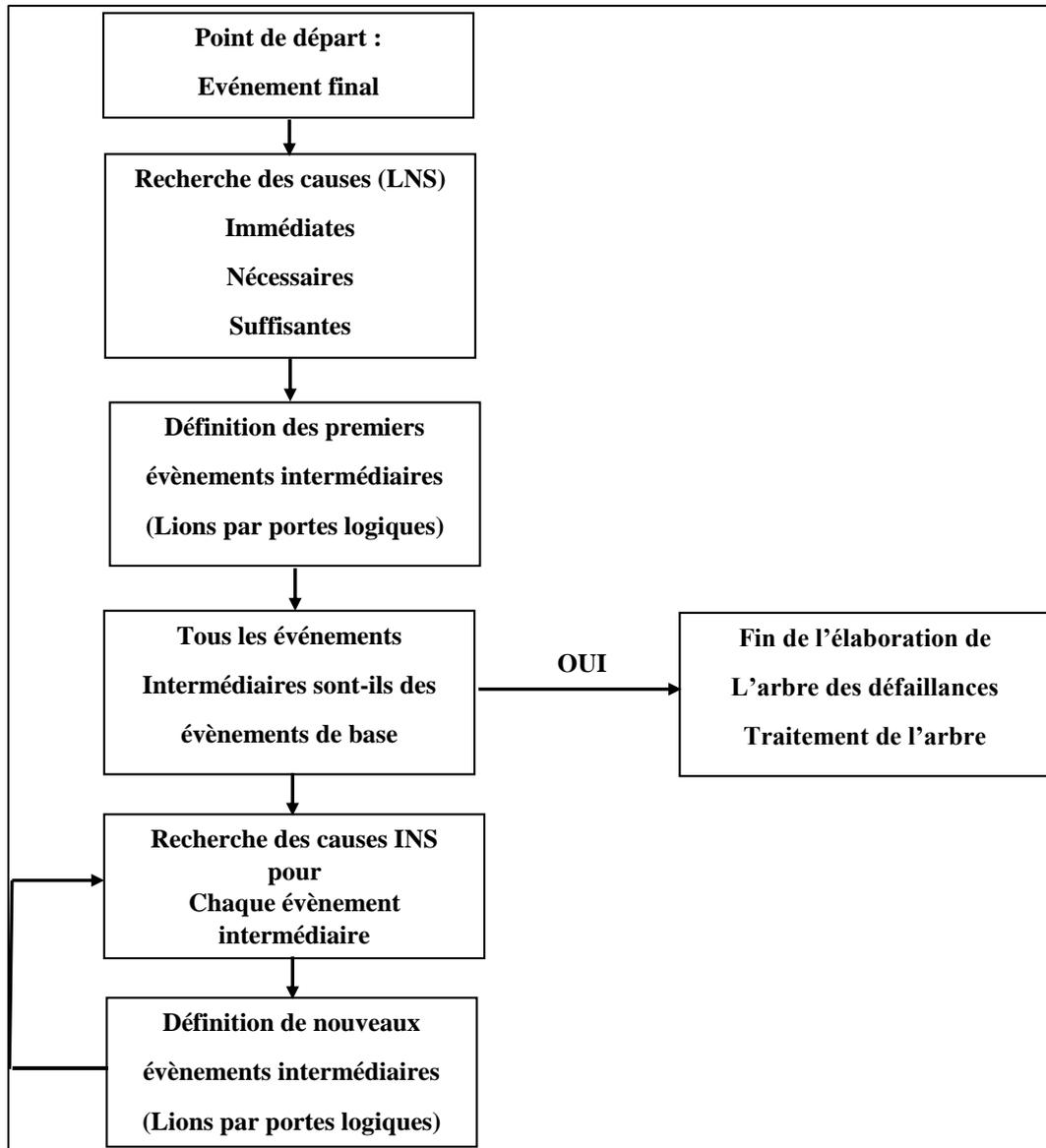


Fig. III-11 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances

❖ **Événements intermédiaires :**

Les événements intermédiaires sont des événements définis comme des événements de peur. La différence avec les événements terribles est qu'ils sont à l'origine d'autres événements. Par exemple, c'est la combinaison d'événements intermédiaires qui a conduit à l'événement effrayant. Les événements intermédiaires sont représentés par un rectangle, semblable à des événements effrayants [16].

❖ **Événements élémentaires**

Les événements de base sont des événements correspondants au niveau le plus détaillé de l'analyse du système. Dans l'arbre des défaillances, ils représentent les défauts des composants qui composent le système étudié. Afin de déterminer le niveau de détail de l'étude, nous pensons généralement que les événements de base se produisent simultanément avec la défaillance de composants réparables ou interchangeables. Les événements de base sont représentés par des cercles [16].

III.7.5- Représentation des symboles

Les symboles de base utilisés dans l'arbre des pannes sont divisés en plusieurs types :

❖ **Symboles des événements dans les arbres de défaillances** (tableau III.10). [17].

Symbole graphique	Signification du symbole
	Événement intermédiaire Les causes de cet événement sont développées.
	Événement de base élémentaire Ne nécessite pas de futur développement. Exemple : Défaillance première d'un composant
	Événement de base non élémentaire Ne peut être considéré comme élémentaire, mais ses causes ne sont pas et ne seront pas développées.
	Événement à développer Ne peut être considéré comme élémentaire. Ses causes ne sont pas développées, mais le seront ultérieurement.
	Événement "Maison" Survenant normalement pendant le fonctionnement du système.
	Événement "Condition" Utilisé avec certaines portes afin de préciser la condition à satisfaire pour que l'opération logique réalisée par chacune de ces portes s'effectue.

Tableau III.10: Représentation des événements

❖ Symboles des portes dans les arbres de défaillances (tableau III.11). [17].

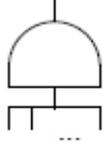
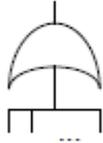
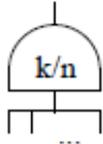
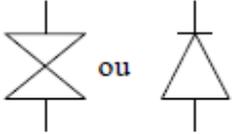
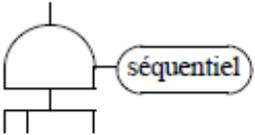
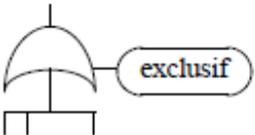
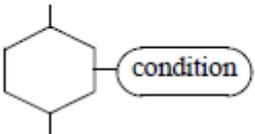
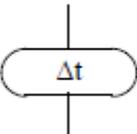
Symbole graphique	Signification du symbole
	Porte "Et" L'événement de sortie est réalisé si toutes les événements d'entrée sont réalisés.
	Porte "Ou" L'événement de sortie est réalisé si au moins un des événements d'entrée est réalisé.
	Porte "K-sur-N" (ou porte combinaison) L'événement de sortie est réalisé si au moins K des N événements d'entrée sont réalisés.
	Porte "Non" L'événement de sortie est réalisé si l'événement d'entrée ne l'est pas.
	Porte "Et avec condition" L'événement de sortie est réalisé si toutes les événements d'entrée sont réalisés et si la condition est réalisée. Ici, il faut aussi que les événements d'entrée apparaissent séquentiellement.
	Porte "Ou avec condition" L'événement de sortie est réalisé si au moins un des événements d'entrée est réalisé et si la condition est réalisée. Ici, l'événement de sortie est réalisé si un et un seul des événements d'entrée est réalisé.
	Porte "Si" L'événement de sortie est réalisé si l'événement d'entrée est réalisé et si la condition est réalisée.
	Porte "Délai" L'événement de sortie est réalisé si l'événement d'entrée est réalisé depuis et pendant Δt .

Tableau III.11: Représentation des portes logiques

❖ Symboles des transferts dans les arbres de défaillances (tableau III.12). [17].

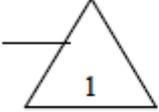
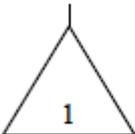
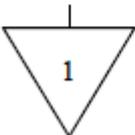
Symbole graphique	Signification du symbole
	<p>Identificateur de renvoi Le sous-arbre commençant par l'événement d'entrée de l'identificateur est transféré aux emplacements signalés par le ou les renvois associés à l'identificateur. Plusieurs renvois peuvent être en liaison avec le même identificateur.</p>
	<p>Renvoi identique La partie de l'arbre qui devrait suivre est identique à celle définie après l'identificateur de renvoi associé.</p>
	<p>Renvoi semblable La partie de l'arbre qui devrait suivre est semblable à celle définie après l'identificateur de renvoi associé.</p>

Tableau III.12: Représentation des transferts ou renvois

III.8- Arbre de défaillances des pannes mécaniques d'un broyeur a boules

Dans cette partie nous allons déterminer les causes des défaillances des paliers du broyeur (Mec1), des plaques de blindage (Mec2) et des cloisons (Mec3) en utilisant l'arbre de défaillances pour ces 3 pannes. Ces pannes représentent 70% du temps d'arrêt du broyeur et nécessitent une maintenance préventive systématique ou conditionnelle avec une surveillance permanente.

III.8.1- Arbres de défaillances des paliers du broyeur

Nous avons répertorié 3 causes probables provoquant les défaillances des paliers du broyeur (figure III.12), à savoir :

- ❖ Usure et fissuration des tourillons,
- ❖ Usure et rayure des coussinets,
- ❖ Boulons d'ancrage desserrés ou cassés

La relation entre l'événement racine et ces trois conditions est indiquée par une porte de type OU.

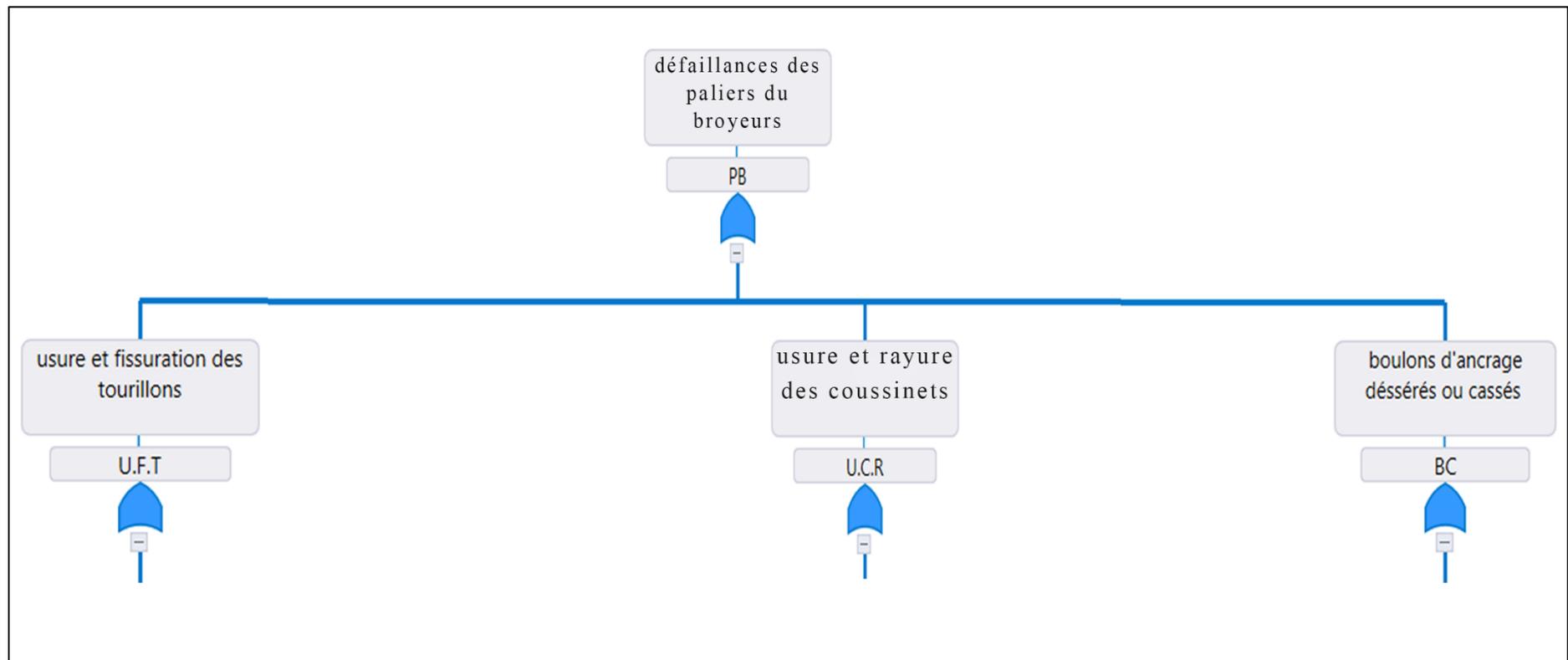


Fig. III-12 : Évènements causant des pannes dans les paliers

III.8.1.1- Usure et fissuration des tourillons

L'événement usure et fissuration des tourillons (figure III.13) peut être causé directement par l'un des événements intermédiaires suivants :

- ❖ Une mauvaise étanchéité. Cet événement peut être causé par un joint d'étanchéité défectueux et qui peut être considéré comme un événement de base sans cause directe.
- ❖ Un mauvais graissage. Deux causes peuvent être envisagées pour cet événement. Un graisseur colmaté ou une mauvaise qualité de la graisse.
- ❖ Des vibrations et des charges excessives agissant sur les tourillons. Cet événement de base et sans suite.

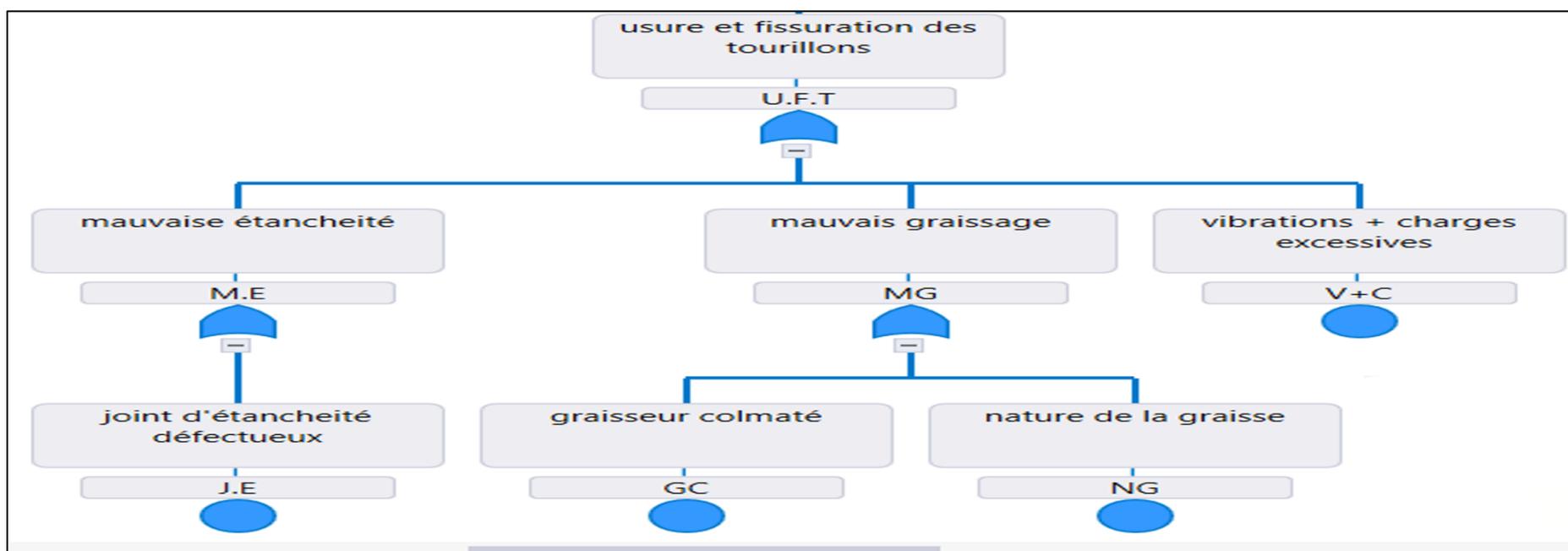


Fig. III-13 : Arbre des causes de l'évènement usure et fissuration des tourillons

III.8.1.2- Usure et rayure des coussinets

Plusieurs causes peuvent participer dans l'apparition de l'événement redouté usure et rayure des coussinets. Ces causes sont représentées dans la figure III.14, à savoir :

- ❖ La mauvaise lubrification des coussinets peut causer leur usure. Cet événement peut survenir suite au surgissement de l'un des trois événements intermédiaires suivants : jeu insuffisant entre le coussinet et le tourillon, mauvaise qualité de l'huile ou l'obstruction des conduites d'huile. Un mauvais réglage du jeu entre le coussinet et le tourillon peut être considéré comme l'événement de base de l'événement indésirable jeu insuffisant entre le coussinet et le tourillon.
- ❖ Le montage incorrect des coussinets, causé par une main d'oeuvre non qualifiée ou un mauvais montage des coussinets dans leur siège.
- ❖ Les contraintes excessives exercées sur les coussinets suite à une charge du broyeur abondante peut causer leur usure.
- ❖ Les événements de base et sans cause directe : mauvaise étanchéité, vitesse de rotation excessive du broyeur et la mauvaise qualité du matériau des coussinets, peuvent participer surieusement à l'usure et à la rayure des coussinets.

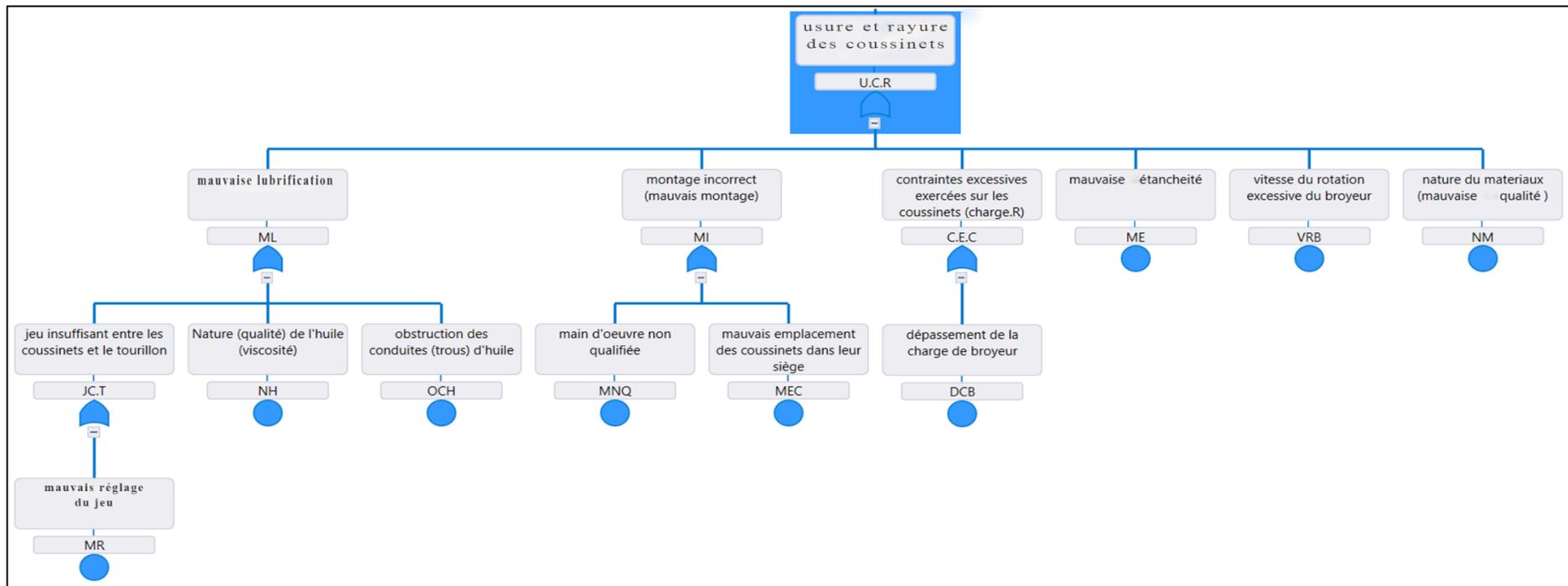


Fig. III-14 : Arbre des causes de l'évènement usure et rayure des coussinets

III.8.1.3- Boulons d'ancrage desserrés ou cassés

Les paliers sont ancrés à des blocs de béton par des boulons d'ancrage. Ces boulons peuvent être desserrés ou cassés à cause de deux événements indésirables qui peuvent surgir d'une manière indépendante et qui sont : un taux des vibrations très important ou la mauvaise qualité du béton de ces fondations (figure III.15).

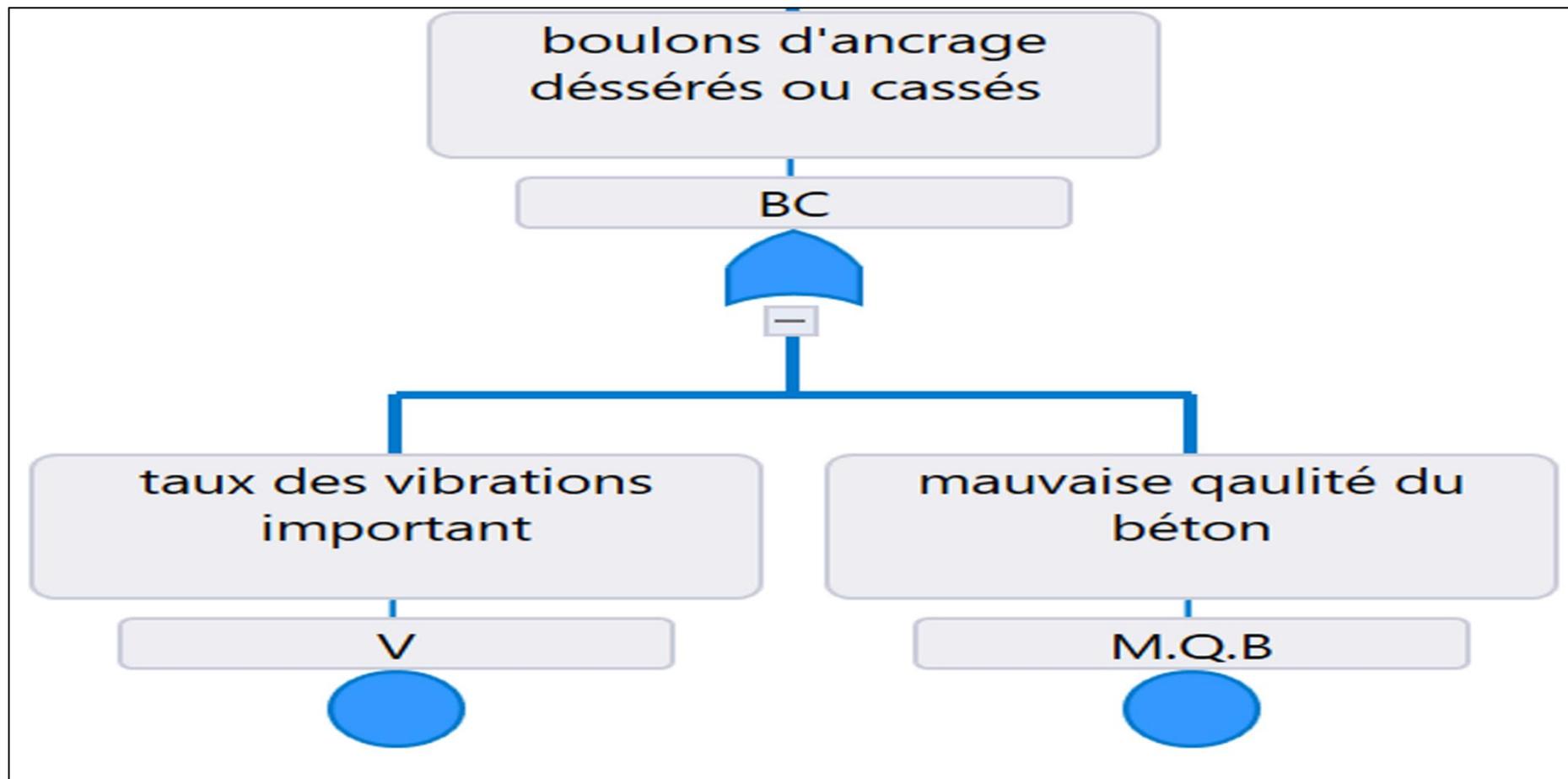


Fig. III-15 : Arbre des causes de l'évènement boulons d'ancrage desserrés ou cassés

III.8.2- Arbres de défaillances des plaques de blindage

Le deuxième élément nécessitant une attention particulière afin de limiter le temps d'arrêt dans un broyeur est les plaques de blindage utilisées pour la protection de la virole du broyeur.

Cet événement considéré comme l'événement racine est provoqué par deux événements intermédiaires : le détachement de ces plaques de la virole ou l'usure de ces dernières (figure III.16).

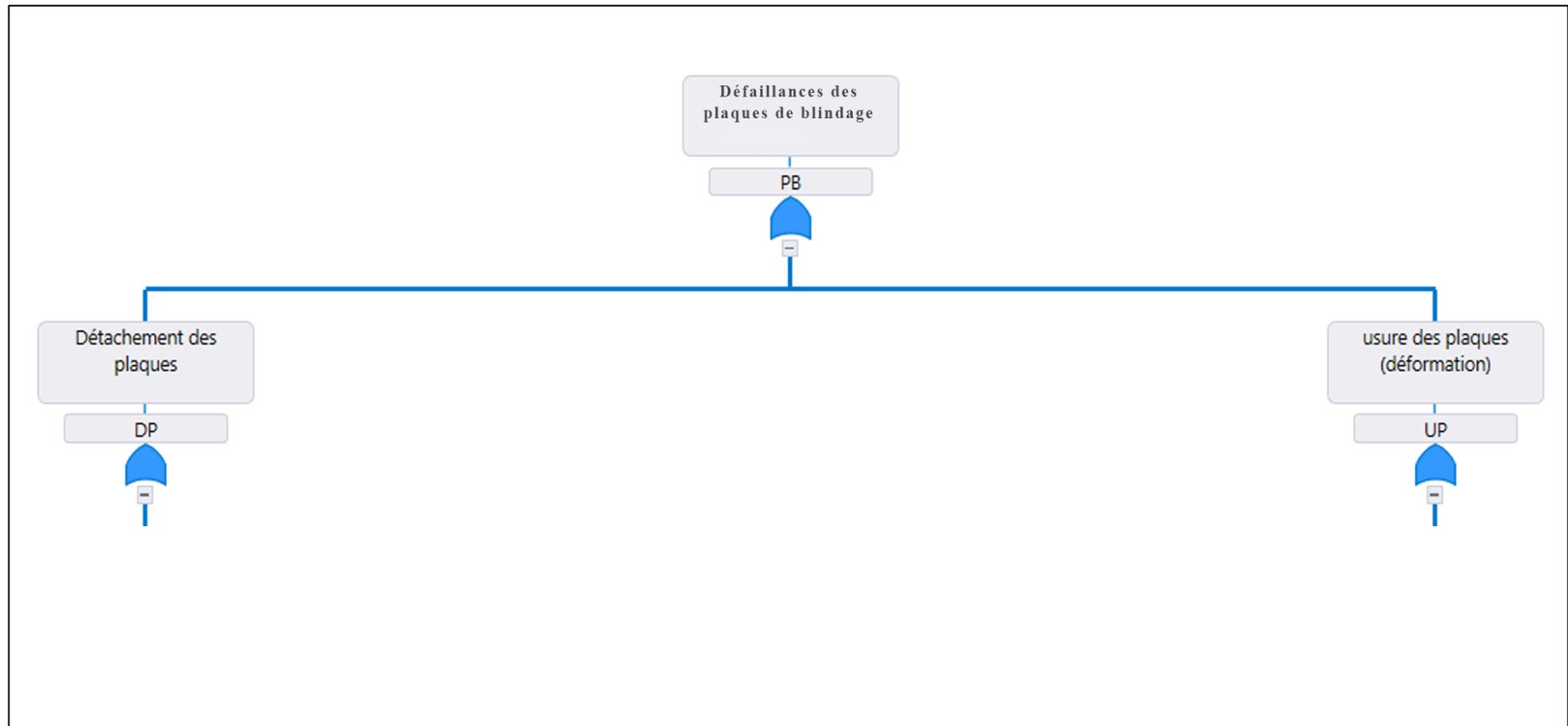


Fig. III-16 : Évènements intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage

III.8.2.1- Détachement des plaques de blindage

Deux causes peuvent provoquées le détachement des plaques de la virole (figure III.17), à savoir :

- ❖ La rupture de la virole. Les trous réalisés dans la virole pour la fixation des plaques de blindage sont considérés comme des défauts et sont susceptibles de générer des fissures et causées la rupture de la virole.

L'usure de la virole par suite des sollicitations et des conditions de travail sévères quelle subit est considérée comme un événement fatal à sa rupture.

- ❖ La rupture des boulons utilisés pour la fixation des plaques à la virole. Cet événement peut surgir à cause de l'usure par corrosion des boulons, surtout dans le cas d'un broyage humide et à cause du glissement des plaques qui peut provoquer leur cisaillement.

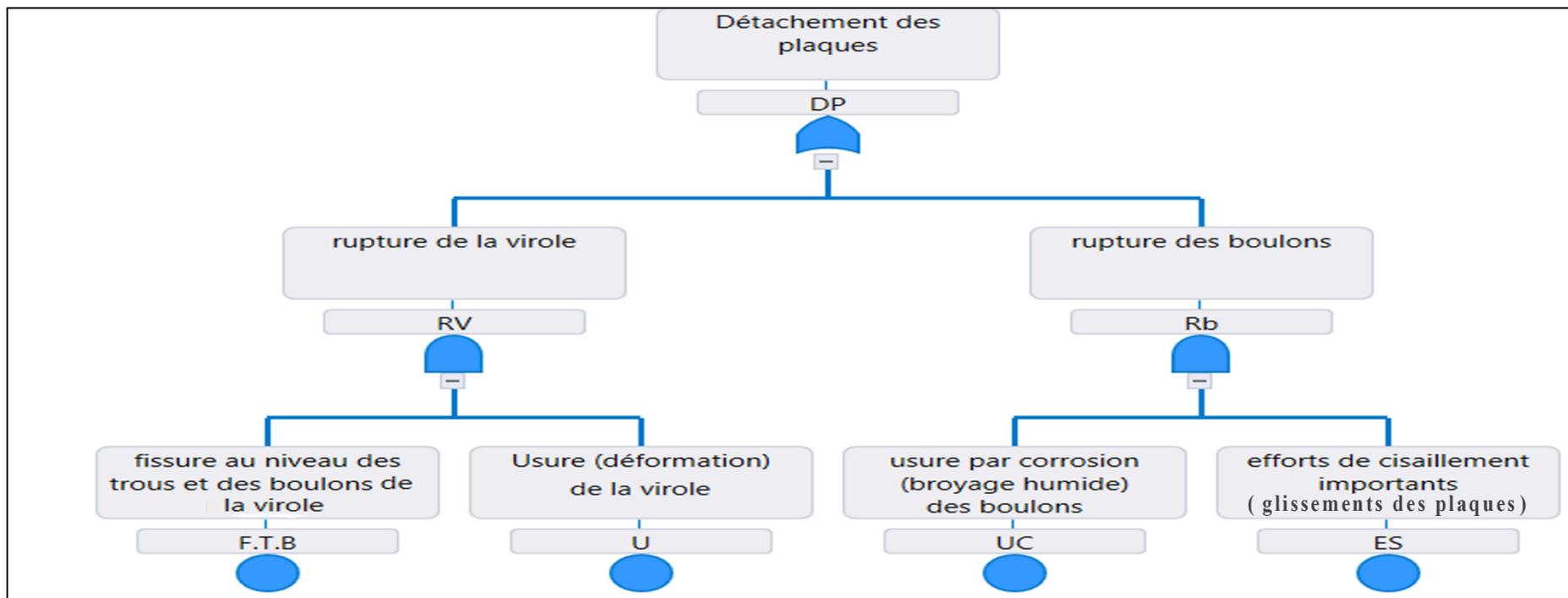


Fig. III-17 : Évènements intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage

III.8.2.2- Usure des plaques de blindage

Les plaques de blindage constituent le revêtement interne du broyeur. Elles sont utilisées pour le relevage de la charge broyante dans le premier compartiment et pour le classement de la charge dans le second compartiment. Elles subissent des usures fréquentes à causes des évènements suivants (figure III.18) :

- ❖ Les corps broyants (boulets). Par leur matériau très dur et leur poids dépendant de leur diamètre causes d'importants dégâts sur les plaques de blindage.
- ❖ L'augmentation du diamètre du broyeur et de sa vitesse de rotation, augmentent la force de frappe des boulets de broyage sur les plaques de blindage et cause ainsi leur usure.
- ❖ La nature, le taux de remplissage, la granulométrie, ainsi que le taux d'humidité (broyage humide) du produit broyé, influencent considérablement sur l'usure des plaques de blindage

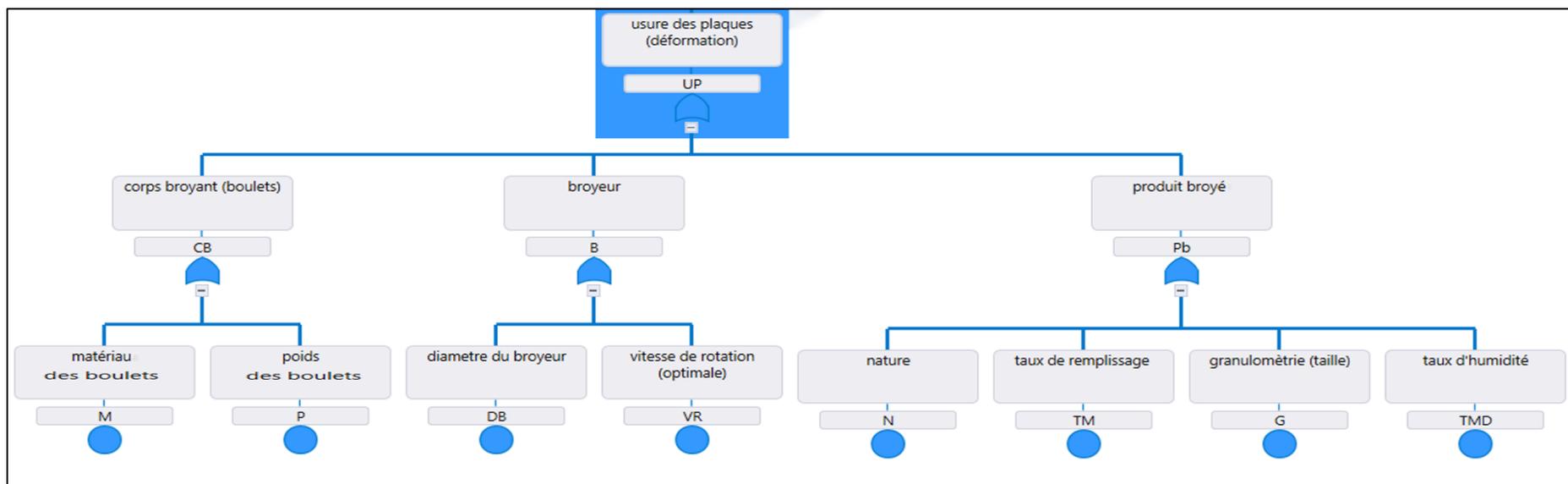


Fig. III-18 : Évènements intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage

III.8.3- Arbres de défaillances des cloisons

Les défaillances que peut subir la cloison intermédiaire séparant les deux compartiments du broyeur et celle de sortie (de décharge) sont représentées sur la figure III.19, à savoir ;

- ❖ Le colmatage des fentes (lumières) des cloisons par le produit broyé dont les dimensions sont de l'ordre du micromètre qui est aggloméré à ces fentes.
- ❖ L'usure des segments constituant le tamis central, par suite du choc des boulets et la rupture des boulons utilisés pour la fixation de ces segments.
- ❖ Le détachement de la cloison de la virole, conséquence du cisaillement des boulons fixant cette cloison à la virole.

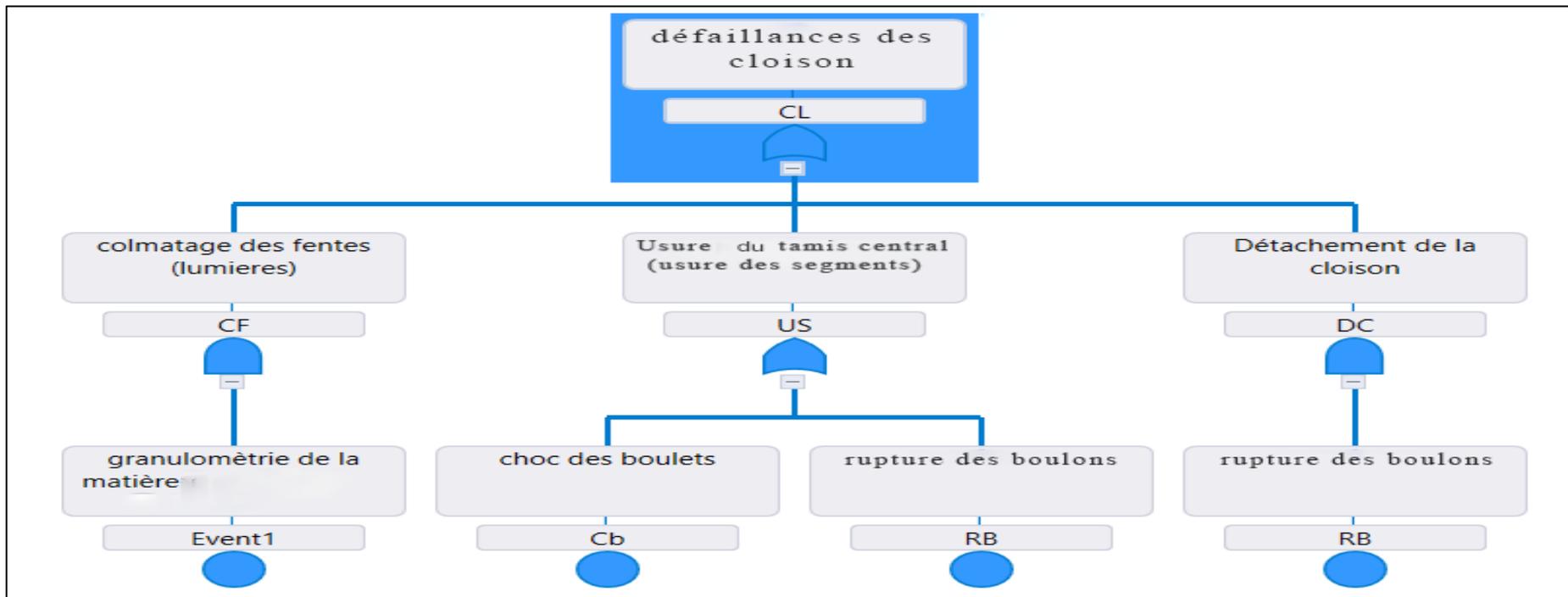


Fig. III-19 : Évènements intermédiaires causant la défaillance des plaques de blindage

III.9- Action proposée

Nous proposons par la suite le type de maintenance à réaliser et les actions à mener sur les pannes les plus onéreuses Méc1, Méc2, Méc3 prélevées en utilisant le diagramme de Pareto et l'analyse ABC.

III.9.1- Types de maintenance

En tenant compte des défaillances les plus coûteuses, nous proposons des mesures préventives correctives ou améliorées pour les composants du broyeur à boulets dans le tableau III.13.

Code	Type des pannes	Maintenance corrective		Maintenance préventive	
		Dépannage	Réparation	Systématique	Conditionnelle
Méc1	Palier de broyeur		✓		
Méc2	Plaque de blindage		✓		
Méc3	Cloisons		✓		

Tableau III.13: Types d'interventions sur les éléments du broyeur

III.9.2- Solutions proposées

Des propositions de solutions concernant les pannes Méc1, Méc2, Méc3 sont indiquées dans tableau III.14.

Code	Type des pannes	Solutions
Méc1	Palier de broyeur	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Démontage et changement (Palier) ✓ Changement tourillons ✓ Huiles et lubrifiants
Méc2	Plaque de blindage	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contrôler et réparer ✓ Changement Plaque ou les vis
Méc3	Cloisons	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Surveillance et nettoyage ✓ Réglage ou maintenance de cadre ✓ Changement plaque ou les vis de plaque ✓ Changement cloisons

Tableau III.14: Solutions proposées pour remédier aux pannes du broyeur à boulets

III.10- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une étude et une analyse des défauts broyeur à boulet, et c'était une enquête qui nous a permis de déterminer les priorités des pannes.

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.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le ciment est devenu un produit indispensable dans la vie quotidienne. En fait, de nombreux édifices importants, tels que les ponts, les maisons, les aéroports, les routes et les usines dépendent dans une large mesure de la production de ciment et dont le broyage se fait dans des broyeurs à boulets.

Le broyage est une opération de mise en forme d'un solide, son but est de diminuer et de maîtriser la taille des particules des solides, il est largement utilisé dans les domaines industriels. Il existe plusieurs appareils de fragmentation, ils sont classés selon les caractéristiques du matériau et les caractéristiques du matériau décheté. Dans le domaine industriel et en particulier dans la production de ciment, le broyage est un processus très important.

Le broyeur à boulets est constitué d'un cylindre fermé garnis de plaques de revêtement tournant autour d'un axe horizontal, il comporte deux compartiments séparés par une cloison. Le broyeur à boulets fonctionne en deux régimes en cascade et en cataracte.

L'apport des nouvelles technologies a permis d'accroître considérablement la fiabilité, la disponibilité et la sûreté des équipements des entreprises industrielles et en particulier l'industrie du ciment, mais, les défaillances ont un effet direct sur la production du broyeur et c'est l'un des paramètres les plus importants affectant le bon fonctionnement du broyeur.

Après une revue technique détaillée du broyeur à boulets et un diagnostic et une analyse de ses défaillances en utilisant le digramme de Pareto et l'analyse ABC, nous avons constaté que trois composants fondamentaux représentant à eux seuls 70% du temps d'arrêt du broyeur sont relevés, à savoir :

- ❖ Les paliers du broyeur.
- ❖ Les plaques de blindage.
- ❖ Les cloisons.

La méthode de l'arbre des défaillances, également appelée méthode de l'arbre des causes, a été utilisée dans ce travail pour surmonter jusqu'aux événements de base causant ces défaillances.

Ces problèmes sont maîtrisés, à travers l'utilisation de la maintenance et du contrôle continu (surveillance périodique) ainsi que par l'utilisation assidue du broyeur, qui va nous permettre en final d'augmenter la disponibilité du broyeur.

Enfin, nous espérons que ce travail pourra apporter l'illumination aux autres étudiants. Un travail plus approfondi pourra être envisagé et dont le but sera d'améliorer encore l'efficacité du broyeur et de minimiser les temps d'arrêts des différents composants.

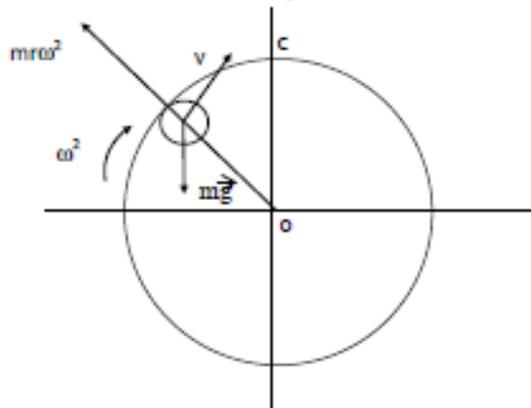
Annexes

Annexe 1

A. 1. J. Détermination de la vitesse critique:

Pour la détermination de la vitesse critique, on doit considérer les conditions suivantes.

- Mouvement des boulets se font à un section droite du broyeur.
- On suppose que le boulet tourne autour de l'axe du broyeur sans glisser et sans rotation sur soi-même.
- Il n'y a pas de rebondissement sur le point de chute.



Au point C la résultante des forces d'inertie et de pesanteur n'a plus de composante radiale pour appliquer le boulet contre le parois du tambour.

Au point K, $\alpha=0$ $\cos \alpha = 1$. On a une égalité entre force centrifuge et composante radiale du poids du boulet.

$$mg \cos \alpha = mR\omega^2$$

$$\alpha=0 \quad mg = mR\omega_c^2$$

$$\omega_c = \left(\frac{g}{R}\right)^{1/2}$$

$$\text{or } V_c = R\omega_c = (gR)^{1/2}$$

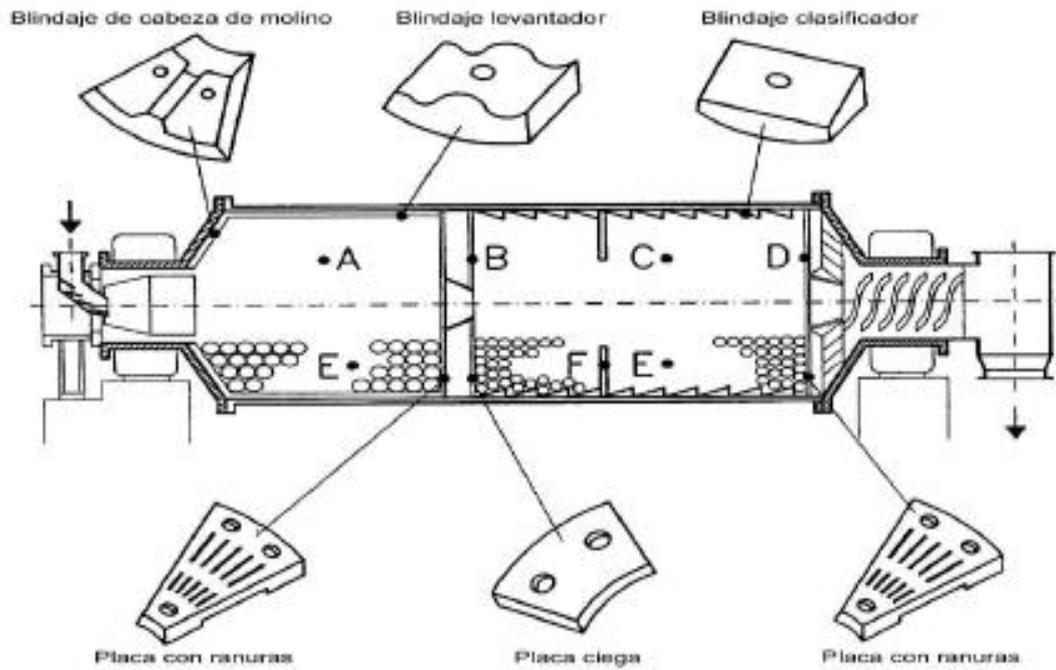
$$\text{d'où } N_c = \left(\frac{30}{11}\right) \left(\frac{g}{R}\right)^{1/2}$$

En arrondissant, on obtient et en prenant: $g=9,81$ USI

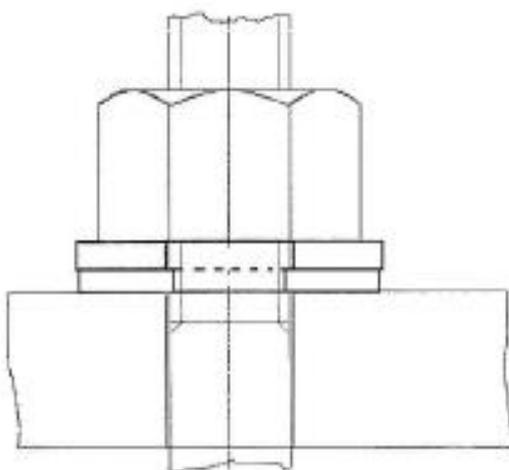
$$N_c = \frac{42,7}{D^{0,5}} \quad [\text{A.1}]$$

Annexe 2

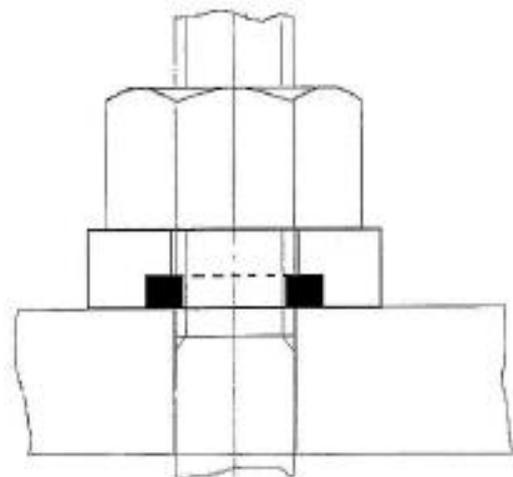
1. Type blindage



2. Fixations blindages :



Rondelle plate avec joint feutre ou
métalloplastique



Rondelle spéciale avec joint
caoutchouc

Bibliographies

Bibliographies

- [1] HAMOUDI HOHAMED, HERAIZ CHEIKH. « Analyse du principe de travail et des problèmes rencontrés par les broyeurs de papier recyclé ». Mémoire de master, UNIVERSITE DE M'SILA 2012/2013.
- [2] Mme ZAPATA-MASSOT Céline, THESE (synthèse de matériaux composites par Co broyage en voie sèche. Caractérisation des propriétés physico-chimique et d'usage des matériaux), Institut National Polytechniques de TOULOUSE, (décembre 2004).
- [3] https://www.azprocede.fr/Cours_GC/fragmentation_installation.html
- [4] Allal Said. « Cinétique de broyage des matières premières par les broyeurs à boulets (à revêtement en caoutchouc) ». Mémoire de master, UNIVERSITE DE M'SILA 2017/2018.
- [5] Jean VAN PAMEL, « broyeur-concasseur ». 1ère diffusion électronique, édition juillet 2016.
- [6] CHRISTINE CÔTÉ. « MODÉLISATION ET VISUALISATION DE LA CHARGE DANS UN BROYEUR A BOULETS ». Mémoire, UNIVERSITÉ LAVAL Canada 2000.
- [7] MELLOUK Mohamed Amine, AOUALI Mohamed Amine. « Le broyeur ». Mémoire de master, UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB BLIDA 1.
- [8] RAZAFINDRAKOTO Vaojaniriana Rado. « CONCEPTION ET REALISATION D'UN BROYEUR A BOULETS ». Mémoire de fin d'étude, UNIIVERSIITE D'ANTANANARIIVO 2000.
- [9] ABID KHALED. « Étude AMDEC D'un Broyeur à Boulets Type Unidan ». Mémoire de master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA 2013/2014.
- [10] AHMED BRAHIM ABDERRAHIM. « Optimisation du plan de maintenance au niveau de l'atelier de broyage (cimenterie SCIBS Beni saf) ». Mémoire de master, UNIVERSITÉ ABOUBAKR BELKAÏD– TLEMEN 2016.
- [11] Atef KHEDHER, « Cours Méthodes du diagnostic ». UNIVERSITÉ DE GAFSA TUNISIE 2017/2018.
- [12] EL ASRI YOUSSEF, « Amélioration de la disponibilité du broyeur de Ciment ». Rapport de stage, UNIVERSITÉ DE LORRAINE FRANCE 2014.
- [13] FERHI THABET ABDELOUADOUD, CHAFOU YASSER. « Diagramme Pareto (ABC) des défaillances dans le moteur Diesel CATERPILLAR 3516 ». Mémoire de master, UNIVERSITE DE TIARET 2015/2016.

- [14] Kassas Bachir, « Application de l'arbre de défaillance « Fault-tree » pour le système du ballon à vapeur au niveau de l'unité Production Ammoniac ». Mémoire de master, UNIVERSITE DE ANNABA 2016/2017.
- [15] <https://www.previnfo.net>
- [16] HASSINI BRAHIM, « ETUDE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES SCENARIOS DE DEFAILLANCES DE LA POMPE 2000 D DE L'ENTREPRISE CERTAF ». Mémoire de master, UNIVERSITÉ ABOUBAKR BELKAÏD– TLEMCEN 2014.
- [17] Philippe THOMAS. « Contribution à l'approche booléenne de la sûreté de fonctionnement : L'atelier logiciel Aralia ». Thèse Doctorat, UNIVERSITÉ BORDEAUX I 2002.

ملخص

طبقنا الرسم البياني Pareto والتحليل ABC على أساس وقت التوقف للمكونات المختلفة في طاحونة كرة من نوع Unidan، والغرض من ذلك هو تحديد أهم الإخفاقات التي تؤثر على هذه طاحونة. ويستخدم تحليل وتشخيص هذه الأعطال باستخدام طريقة شجرة الأعطال لتحديد الأحداث الأساسية الأكثر احتمالاً. هناك ثلاثة عناصر (تحتطيم الأحمال، وصفائح الحماية، والتقسيمات) تمثل 70% من وقت توقف الطاحونة ويجب أن تؤخذ على محمل الجد لتجنب عدم جاهزية طاحونة.

الكلمات المفتاحية: طاحونة كرة، تشخيص، شجرة الأعطال، صفائح الحماية، تقسيمات

Résumé

Nous avons appliqué le diagramme de Pareto et l'analyse ABC en se basant sur les temps d'arrêts des différents composants dans un broyeur à boulets type Unidan, dont le but de déterminer les défaillances les plus importantes affectant ce broyeur. Une analyse et un diagnostic de ces défaillances par la méthode de l'arbre de défaillances est utilisé afin de cerner les événements de base les plus redoutés. Trois éléments (paliers du broyeur, plaques de blindage, cloisons) représentant 70% du temps d'arrêt du broyeur sont à craindre et à prendre au sérieux pour éviter la non disponibilité du broyeur.

Mots Clés : broyeur à boulets, diagnostic, l'arbre de défaillances, plaques de blindage, cloisons

Abstract

We applied the Pareto chart and ABC analysis based on the downtime of the different components in a Unidan ball mill, in order to determine the most important failures affecting this mill. An analysis and diagnosis of these failures by the fault tree method is used to identify the most feared basic events. Three elements (mill bearings, lining plates, partitions) representing 70% of the mill's downtime are to be feared and taken seriously to avoid the mill's unavailability.

Key Words : ball mill, diagnosis, fault tree, lining plates, partitions