

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and
Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Présenté par :

Baamar Abdelmalek & Skhara Riadh

Thème

*Concasseurs et broyeurs : Types et
maintenance*

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
SLAMANI Mohamed	Professeur	Président
ELHADI Abdelmalek	MCB	Encadreur
AMROUNE Saleh	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2019 / 2020

N° d'ordre : GM/...../2020

DÉDICACES

Nous dédions ce mémoire :

A nos mères qui ont éclairé notre chemin et qui nous

Ont encouragé et soutenue au long de tous nos études

A nos pères

A nos belles familles et toutes nos amies

Ainsi, qu'à l'ensemble des étudiants de ma promotion :

« Fabrication Mécanique et Productique (2019-2020) ».

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné du courage,

Volonté et patience pour terminer ce travail en cours.

Avec ces quelques lignes, je voudrais exprimer mes remerciements

J'exprime mon plus profond respect et ma gratitude à tous

Ceux qui m'ont aidé à concrétiser ma thèse de projet final

Des études.

Je voudrais d'abord exprimer mon plus profond respect

En reconnaissance aux superviseurs de M. El-Hadi Abdelmalek,

Maître de conférences à l'Université de M'sila, en reconnaissance de sa confiance,

Disponibilité et grand intérêt qu'il m'a toujours montré pendant

Ma formation et préparation de cette thèse. Son enthousiasme et

Son optimisme dans la communication a été extrêmement précieux pour moi.

TABLE DES MATIERES

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur la Fragmentation des solides	
I.1 Introduction	3
I.2 Définition de la fragmentation	3
I.3 Importance de la fragmentation.....	3
I.4 Buts de la fragmentation.....	4
I.5 Principe de la fragmentation.....	5
I.6 Différentes opérations mécaniques utilisées pour la fragmentation des solides.....	5
I.7 Mécanismes de fragmentation.....	5
I.7 Mécanismes de fragmentation.....	5
I.8 Finesse de fragmentation ou finesse du produit fragmenté.....	6
I.9 Surface spécifique d'une particule	7
I.9.1 Lois d'énergie de fragmentation.....	7
I.10 Difficulté de la fragmentation dans le traitement des déchets.....	8
I.11.Équipements innovants.....	9
I.11.1 Fragmentation électrodynamique.....	9
I.11.2 Le SelFrag.....	9
I.12 concassage.....	10
I.13 Type de circuits.....	11
I.14 Rupture des matériaux par concassage.....	11
I.15 Différents types de concasseurs.....	12
I.15.1 Concasseurs à mâchoires.....	12
1.15.2 Concassage primaire.....	13
1.15.3 Concasseurs giratoire.....	15

SOMMAIRE

I.15.4 Concasseurs à conique.....	16
I.15.5 Concasseur à rouleau.....	17
I.15.6 Concasseurs à percussion	18
I.15.7 Concasseurs à cylindres.....	19
Conclusion.....	20

Chapitre II : BROYAGE ET BROYEURS

II.1. Introduction.....	22
II.2 Définition du broyage.....	22
II.3 Les régimes de fonctionnements.....	23
II.4 Quelques définitions sur le broyage.....	24
II.4.1 Rapport de réduction.....	24
II.5 Finesse de fragmentation ou finesse du produit fragmenté.....	24
II.6 Surface spécifique d'une particule.....	25
II.7 Capacité de broyage.....	25
II.8 Les circuits de broyage.....	25
II.9 Définition d'un broyeur.....	26
II.10 Les différents types de broyeurs.....	27
II.10.1 Technique à marteaux.....	28
II.10.2 Broyage à barres ou plaques de choc.....	29
II.10.3 Broyage à billes et boulets.....	29
II.10.4 Broyage à cylindres.....	29
II.10.5 Les broyeurs culbuteurs (tumblings mills).....	30
II.10.6 Broyeur à boulets.....	31
II.10.7 Broyeur à barres.....	31
II.10.8 Broyeur (semi-) autogène.....	32

SOMMAIRE

II.10.9 Broyage ultrafin à jet d'air/vapeur (jet mill).....	33
II.10.10 Broyage cryogénique.....	34
II.10.11 Le broyeurs à mâchoires.....	35
II.10.12 Broyeur à couteaux.....	36
II.10.13 Broyeur à billes haute énergie.....	37
II.11 Classification des broyeurs.....	38
II.12 Différentes solutions proposées.....	38
II.12.1 Première solution : Broyeur à Percussion.....	38
II.12.2 La deuxième solution : Concasseur à marteaux.....	39
II.12.3 Troisième solution : Concasseur à mâchoires.....	39
II.12.4 Quatrième solution : Broyeur centrifuge à axe vertical.....	40
II.13 Critères de choix du broyeur.....	41
II.14 Les avantages de ce système sont.....	41
Conclusion	41

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LA MAINTENANCE DES BROYEURS

III.1 Introduction.....	43
III.2 Présentation de la maintenance.....	43
III.2.1. Définition de la maintenance.....	43
III.2.2 Objectifs de la maintenance.....	43
III.2.3 Missions de la maintenance.....	44
III.2.4. Types de maintenance.....	44
III.2.4.1 La maintenance corrective.....	45
III.2.4.2 Maintenance palliative.....	45
III.2.4.3 Maintenance curative.....	45
III.2.4.4 Maintenance préventive.....	46

SOMMAIRE

III.2.4.4.1 Maintenance préventive systématique.....	46
III.2.4.4.2 Maintenance préventive conditionnelle.....	46
III.3 Opérations de maintenance.....	47
III.3.1 Opérations de maintenance corrective.....	47
III.3.2 Opérations de maintenance préventive.....	47
III.4. Causes et solutions des pannes du broyeur.....	48
III.4.1. Causes et solutions des pannes du broyeur à marteaux.....	48
III.4.2. Causes et solutions des pannes du broyeur à billes.....	48
III.5. Température excessive du palier de tourillon.....	49
CONCLUSION GENERALE.....	51

Liste des tableaux

Tableau (II.1) : Les différents types de broyeurs.....27

Liste des figures

Figure (I.1) : chaîne de fabrication du ciment.....4

Figure (I.2) : Mécanismes de fragmentation.....6

Figure (I.3) : principe de fragmentation par SelFrag.....10

Figure (I.4) : Circuits de concassage.....11

Figure (I.5) : Rupture par concassage.....12

Figure (I.6) : Concasseurs à mâchoires.....13

Figure (I.7) : Grizzly.....14

Figure (I.8) Concassage primaire.....15

Figure (I.9) : Concasseur giratoire.....16

Figure (I.10) : Concasseur conique.....17

Figure (I.11) : Forme de la tête principale du concasseur et de la coquille extérieure d'un concasseur à conique et d'un concasseur giratoire.....17

Figure (I.12) : Principe de concasseurs à rouleau (à gauche) lisse et denté (à droite).....18

Figure (I.13) : Concasseur à percussion, vue et schéma de principe.....19

Figure (I.14) Concasseur à cylindres cannelés.....19

Figure (I.15) : Concasseur à cylindres dentés.....19

Figure (II.1) : types de mouvement dans un broyeur à boulets.....24

Figure (II.2) : Broyeurs à marteaux.....29

Figure (II.3) : Broyeur à boulets.....30

Figure (II.4) : Principe de broyeur à boulets.....31

Figure (II.5) : Broyeur à barres et barres de broyage de précision.....32

Figure (II.6) : comparaison des granulats sortant d'un broyeur à boulets et d'un broyeur à barres...32

SOMMAIRE

Figure (II.7) : Broyage ultrafin à jet d'air/vapeur.....	33
Figure (II.8) : Principe du moulin à jet (air/vapeur).....	34
Figure (II.9) : Principe du recyclage par broyage cryogénique dans le cas du PVC.....	35
Figure (II.10) : broyeur à mâchoires.....	36
Figure (II.11) : Broyeurs à couteaux.....	36
Figure (II.12) : Broyeurs à billes haute énergie RETSCH.....	37
Figure (II.13) : Broyeur centrifuge à axe verticale.....	40

INTRODUCTION GENERALE

La fragmentation, le concassage et le broyage des corps solides ont fait, depuis longtemps, l'objet d'innombrables recherches théoriques. Les travaux les plus récents concourent à une remise en cause des concepts du *mécanisme de la rupture*. L'amélioration des moyens d'appréciation a permis de mettre en évidence la variété des processus mis en jeu dans la rupture. Une fragmentation supposée réalisée de telle sorte qu'aucun des fragments obtenus ne dépasse une dimension préalablement définie. La fragmentation, le concassage et le broyage jouent un rôle primordial dans les applications industrielles (cimentrie, briquerie...etc.) dans l'agroalimentaire, recyclage de déchets, comme dans d'autres domaines, c'est pour cela, il existe plusieurs types de concasseurs et broyeurs

Notre étude s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur le concept de la fragmentation des solides

Le deuxième chapitre concerne des généralités sur le broyage et les différents types des broyeurs.

Pour le dernier chapitre, nous traitons les types de maintenance appliqués au niveau des entreprises industrielles et la connaissance des causes des pannes probables qui touchent les broyeurs durant le service et les remèdes qui conviennent.

Et en fin, ce mémoire se termine par une conclusion générale

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LA FRAGMENTATION DES
SOLIDES

I.1 Introduction

La fragmentation, dont le nom désigne un processus par lequel un objet est divisé en un grand nombre de petits morceaux, elle s'adresse aux solides dont la taille veut être réduite en des éléments ou particules de taille inférieure et de granulométrie déterminée.

I.2 Définition de la fragmentation

La fragmentation mécanique des solides peut se définir comme l'ensemble des opérations (concassage, broyage,.....) ayant pour but de réaliser, grâce à l'application des contraintes mécaniques externes soit :

La division d'une masse solide en fragments de dimension maximale déterminée ;

Soit la réduction d'une masse solide déjà fragmentée jusqu'en des éléments de plus petit volume.

L'efficacité de la fragmentation augmente beaucoup lorsqu'on intercale entre les concasseurs et les broyeurs des appareils de classement (tamis et classificateurs). L'ensemble des appareillages, équipements de manutention et d'entreposage est un circuit de comminution ou de fragmentation[1].

La fragmentation, dont le nom désigne un processus par lequel un objet est divisé en un grand nombre de petits morceaux, se rencontre dans bon nombre d'industries wallonnes. Concrètement, la fragmentation s'adresse aux solides dont la taille veut être réduite en des éléments ou particules de taille inférieure et de granulométrie déterminée.

I.3 Importance de la fragmentation

Dans le recyclage des déchets, la fragmentation apparaît également fortement présente. Cette opération s'applique aussi bien pour les déchets ménagers que pour les déchets industriels. Elle s'utilise généralement en amont d'une unité de traitement ; notamment en vue d'isoler et recycler les matières recyclable. Dans le cas de l'industrie automobile, par exemple, le broyage est suivi d'un tri magnétique : les particules métalliques seront sélectionnées et recyclées, et les autres seront des résidus qu'il faudra traiter. De même pour le recyclage des bouteilles plastiques, le broyage est suivi d'une phase de tri où les Résidus d'étiquettes en papier sont éliminés.

Outre ces deux pôles industriels où la fragmentation est fortement présente il existe bien évidemment d'autres secteurs où une telle opération intervient comme une nécessité. À titre d'exemple, on cite : les cimenteries (Figure I.1) qui broient leur clinker, les scieries où les plaquettes sont obtenues par broyage, les industries alimentaires où l'on cherche par le biais d'un broyeur à obtenir de fines matières solides telles que du sucre, des pigments, des épices, de la farine, etc. ou encore les industries chimiques où le broyage intervient dans la préparation des matières premières.

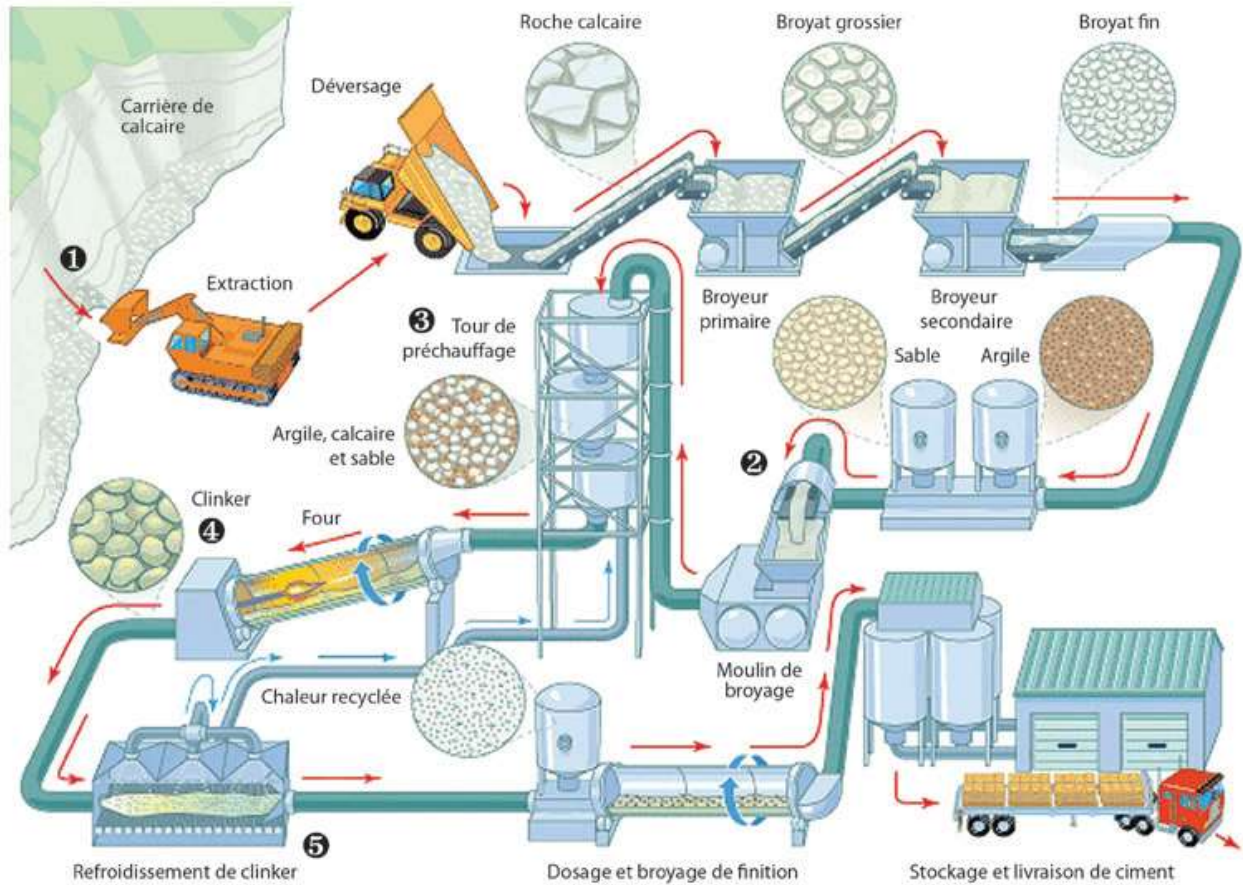


Figure (I.1) : chaine de fabrication du ciment.

I.4 Buts de la fragmentation

La fragmentation des solides groupe un ensemble de techniques ayant pour but de réduire par Action mécanique extérieure un solide de volume donné en plusieurs éléments de volume plus petit. En préparation mécanique des minerais, l’objectif de la fragmentation est :

- De libérer dans les matériaux hétérogènes qui constitue généralement une Roche ou un minerai, les éléments valorisables, tout en recherchant des Granulométries serrées et en évitant autant que possible la production des Surfines aux opérations ultérieures de concentration ;
- De réduire la matière minérale à des dimensions dictées par l’utilisation.

Exemple :

Minerai en CR2O3 → fragmentation → criblage → flottation → 42% CR2O3

La fragmentation des solides permet aussi soit la facilité de la manutention et Du conditionnement des solides grâce à la réduction de ces solides à des dimensions Appropriées, soit de faciliter des réactions physico-chimiques 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.

I.5 Principe de la fragmentation

La fragmentation s'obtient par rupture de la cohésion des corps solides sous l'action de forces externes qui peuvent être appliquées sous l'une des formes suivantes :

- a) Compression lente (écrasement sous vitesse de compression $V = 0,1$ à $0,8$ m/s)
- b) Cisaillement ($V = 4$ à 8 m/s)
- c) Attrition et cisaillement combinés ($V = 4$ à 8 m/s)
- d) Attrition (usure) ($V = 2$ à 30 m/s)
- e) Percussion par projection sur paroi fixe ($V = 15$ à 200 m/s)
- f) Percussion au moyen d'organes mobiles : marteaux ou fléaux, boulets ($V = 8$ à 200 m/s)
- g) Percussion entre particules ; auto broyage (V relative = 100 à 300 m/s)
- h) Explosion sous l'action de forces internes [2].

I.6 Différentes opérations mécaniques utilisées pour la fragmentation des solides

- écrasement des particules entre une plaque fixe et une plaque mobile (1 m.s^{-1})
- percussion par projection des grains sur des surfaces fixes (100 m.s^{-1})
- percussion des particules fixes par un corps broyant se déplaçant à des vitesses $> 100 \text{ m.s}^{-1}$
- percussion entre particules
- cisaillement
- attrition, abrasion, usure par frottements entre deux corps rigides entre lesquels sont placées les particules solides

On classe en général les appareils de fragmentation en fonction des dimensions des solides qu'ils traitent :

- concasseurs pour l'obtention de gros fragments
- broyeurs pour la production de poudre
- pulvérisateurs, microniseurs ou super-broyeurs pour la préparation de poudres très fines
- désintégrateurs pour fragmenter les matières fibreuses.

I.7 Mécanismes de fragmentation

La fragmentation peut être réalisée selon quatre mécanismes essentiels :

- compression - écrasement (fragmentation assez grossière : $0,5$ à 5 mm) ;
- impact - percussion (fragmentation jusqu'à $5 \text{ }\mu\text{m}$) ;
- coupure – cisaillement ;
- attrition – frottement.

Le principe de ces différents mécanismes est illustré sur la Figure(I.2) :

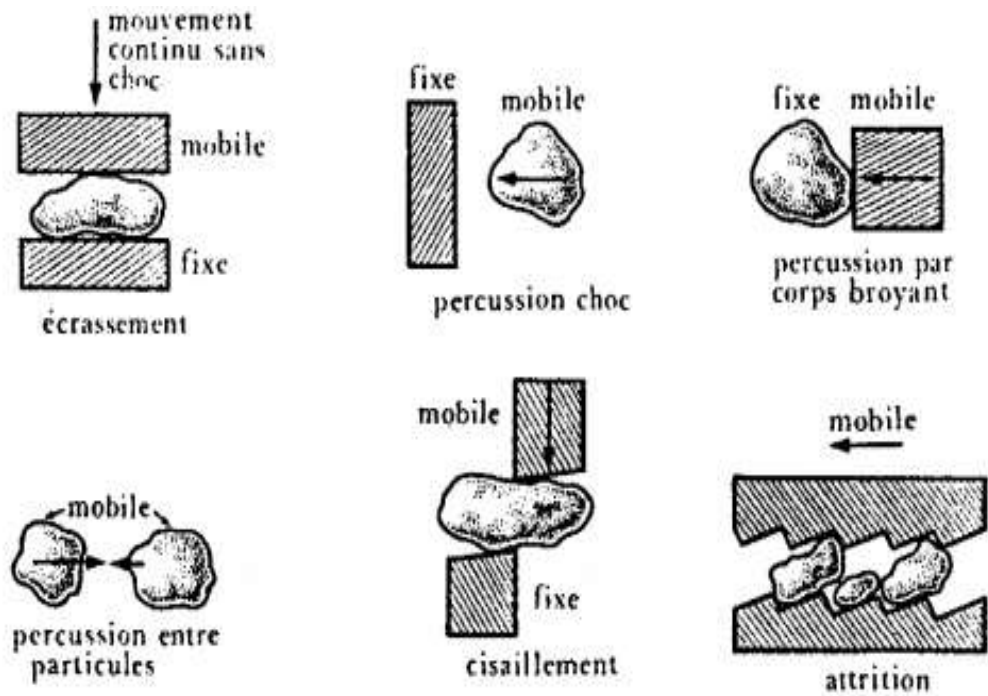


Figure (I.2) : Mécanismes de fragmentation

I.8 Finesse de fragmentation ou finesse du produit fragmenté

C'est une caractéristique de la qualité de réduction de taille par un appareil de fragmentation. C'est aussi un caractéristique de l'état de réduction de dimension des particules fragmentées. La finesse es déterminée par le rapport a appelé aussi « Coefficient de forme » :

$$a = \frac{S_p}{V_p} \quad [\text{mm}^{-1}]$$

La finesse d'une particule de forme quelconque est déterminée à partir de celle d'une particule sphérique :

$$a_{\text{quelconque}} = a_{\text{sphérique}} \times \frac{1}{\Phi_s}$$

$0 < \phi_s < 1$ Si la forme de la particule est quelconque.

ϕ_s S'appelle coefficient de sphéricité

I.9 Surface spécifique d'une particule

C'est la surface représentée par l'ensemble des grains du matériau rapporté à l'unité de masse. Elle est généralement exprimée en cm²/g. L'indication des surfaces spécifiques permet d'apprécier indirectement le degré de finesse d'un produit :

$$\Delta W = \frac{S_p}{m_p}$$

S_p : surface extérieure de la particule [cm²]

m_p : masse de la particule [g]

Δw : surface spécifique de la particule [cm²/g]

Avant fragmentation

$$\Delta W = \frac{S_p}{m} = \frac{6}{(\rho_s \times D_{80})}$$

Après fragmentation

$$\Delta W' = \frac{6}{(\rho_s \times d_{80})}$$

Les rapports de réduction d'intérêts industriels réalisables par une seule machine de fragmentation peuvent aller de 4/1 (cas du concassage grossier de roches dures) jusqu'à 100/1 (cas de la plupart des appareils de pulvérisation) avec tous les rapports intermédiaires possibles selon les types d'appareils et selon la nature des matières traitées. La définition des dimensions avant et après fragmentation s'effectue au moyen de mesures granulométriques. Après chaque phase de réduction, ces mesures mettent en évidence un pourcentage plus ou moins grand de fragments se rapprochant des dimensions idéales souhaitées. Il pourra donc s'avérer de procéder à une sélection et de recycler les fragments insuffisamment réduits.

I.9.1 Lois d'énergie de fragmentation

L'énergie de fragmentation dépend fortement des propriétés du solide à fragmenter, du taux de réduction et de l'appareil. On dispose de lois empiriques pour calculer l'énergie (E) requise par unité de masse pour passer d'un diamètre de particules (D) à un diamètre (d) après fragmentation :

Loi de Rittinger

L'énergie dépensée est proportionnelle à la somme des nouvelles surfaces créées :

$$E = K_R \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right)$$

Loi de Kick

Suppose que l'énergie dépensée est proportionnelle au volume du corps fragmenté :

$$E = K_K \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

Loi de Bon

Elle est réputée et plus précise que les deux précédentes :

$$E = k_B \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right)$$

Les "constantes" k_R , k_K et k_B sont caractéristiques du produit et de l'appareil. En réalité, l'énergie nécessaire à la fragmentation n'est qu'une faible partie de l'énergie dépensée (moins de 3%), le reste sert à vaincre les frottements, déplacer les produits, absorber les déformations élastiques [3].

I.10 Difficulté de la fragmentation dans le traitement des déchets

Le problème majeur du recyclage des déchets tels que les mâchefers ou scories (déchets que les incinérateurs génèrent après avoir brûlé nos poubelles), les DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) ainsi que tout autre matériau composite, est la difficulté à les fragmenter par les techniques de broyage conventionnel. En effet, ces techniques ne sont pas très bien adaptées aux caractéristiques des composites car elles ne permettent pas d'assurer un degré de libération suffisant. Or, il se trouve que certains déchets composites comme les mâchefers sont susceptibles de contenir une quantité importante de métaux (fer, cuivre,...). Le recyclage de ces flux de déchets apparaît dès lors très intéressant. La libération des composants contenu dans certains matériaux composites (libération des métaux enfermés dans les cartes de circuits imprimés, séparation des composants dans des plastiques renforcées de fibres) doit dès lors se tourner vers des techniques spécifiques de fragmentation (fragmentation électrodynamique, broyage cryogène, etc...) qui ne sont pas encore 100% opérationnelles, et qui sont donc actuellement difficilement viables économiquement parlant.

I.11.Équipements innovants

I.11.1 Fragmentation électrodynamique

Parmi les technologies présentées ci-avant, le SelFrag est une technologie permettant de contourner les difficultés rencontrées par les techniques de broyage conventionnel. En effet, le SelFrag est une technique se basant sur de la fragmentation électrodynamique. Cet équipement est particulièrement bien adapté à la fragmentation des matériaux composites (notamment les mâchefers). Pour rappel, cette technique permet de libérer les différents constituants en désagrégeant ces matériaux grâce à des décharges électriques. Comme illustré précédemment dans ce cahier technique, cette technologie devrait voir le jour très prochainement dans l'industrie.

I.11.2 Le SelFrag

Le SelFrag est une technique de fragmentation par décharges électriques à très haut voltage. Cette technique permet de substituer les concasseurs dans le prétraitement de la roche (ou des déchets comme ce sera abordé plus loin dans ce cahier technique). Son utilisation permettrait de réduire ou éliminer le besoin d'un broyeur à boulets plus tard dans le processus de fragmentation. Il s'en suit donc de moindres consommations énergétiques sur l'ensemble de ce processus. Concrètement, un générateur à impulsion électrique propulse une décharge électrique, comparable à l'éclair, à travers la roche immergée dans l'eau. L'eau est traitée en amont pour une réduction de sa conductivité, pour que celle-ci agisse comme un matériau isolant. Les différences de conductivité électrique entre les composants de la roche génèrent des fractures aux interfaces. Cette technique favoriserait la scission de la pierre au niveau de ses plans de clivage. De plus, les fissures créées par l'onde de choc du SelFrag auraient tendance à créer des effets qui affaiblissent considérablement la roche, et facilite dès lors les opérations de broyage en aval du SelFrag. La première installation de ce type au niveau mondial devrait être installée dans l'usine d'incinération de déchets ménagers de Posieux (FR), exploité par la société SAIDEF, et devrait être mise en service dans le courant de l'année 2016. Grâce à ce nouvel équipement, la société s'attends à réduire de 30% ses besoins de capacité de mise en décharge. En effet, cet équipement permettra d'augmenter largement la récupération des métaux ferreux et non-ferreux contenus dans les scories. De plus, les métaux récupérés par cette technique présenteront un haut niveau de pureté et bénéficieront donc d'un prix d'achat plus élevés [4].

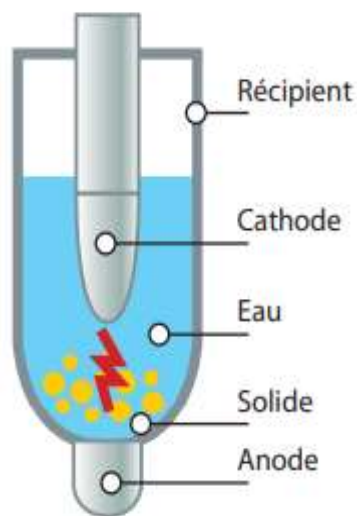


Figure (I.3) : principe de fragmentation par SelFrag

I.12 concassage

Le concassage est la première étape de fragmentation. C'est l'opération qui permet la réduction granulométrique des matériaux, autrement dit la diminution de la taille des éléments qui constituent les matériaux en cours d'élaboration. Il s'agit d'un procédé purement mécanique qui consiste, le plus souvent, à placer les matériaux entre deux plaques métalliques dont l'une est fixe et l'autre est mobile et se rapproche de la plaque fixe. En fonction de la vitesse de rapprochement, on parlera d'écrasement ou de percussion [5]. Cette tâche s'effectue en deux ou trois stades (concassage primaire, secondaire et tertiaire), essentiellement en voie sèche. Les concasseurs industriels réduisent la matière depuis de très gros morceaux ou blocs jusqu'à environ 10 mm. Ils fonctionnent selon des principes différents selon les caractéristiques de la matière (résistance mécanique, abrasivité, humidité) : par compression/écrasement (concasseur à mâchoires, giratoire, à cône ou à cylindres) ou par choc/percussion (concasseur à impact ou à marteaux) [6]. Le concassage primaire est la première étape mécanique dans le procédé de fragmentation. Cette opération permet de réduire la taille des particules du tout-venant de la mine jusqu'à ce qu'elles aient une taille acceptable pour pouvoir subir le traitement en aval. Il se place donc dans le « flowsheet » à la sortie de la mine. Afin d'obtenir la granulométrie nécessaire à leur valorisation ou à leur utilisation ultérieure, le concassage primaire est dans la majorité des cas suivi d'un concassage secondaire, voire au concassage tertiaire ou encore même quaternaire. La fragmentation dans un concasseur peut être réalisée de différentes manières :

- par compression contre une surface rigide ;

- par auto-concassage (attrition) lors de la phase de compression ;
- par projection contre une surface rigide ;
- par projection matière sur matière (autogène). Ou selon le type de concasseur en combinant plusieurs de ces techniques. L'opération de concassage est réalisée à sec.

I.13 Type de circuits

Le concassage des solides peut avoir lieu en circuit ouvert ou en circuit fermé :

- En circuit ouvert, les produits ne passent qu'une seule fois dans le concasseur.
- En circuit fermé, la granulométrie des produits est contrôlée dès la sortie, et les produits dont la granulométrie est trop grosse sont aussitôt renvoyés pour être reconcassés. En pratique, le concassage en circuit fermé est la technique la plus fréquemment rencontrée. Les particules passent au travers d'un crible et comme précisé ci-dessus, celles qui sont insuffisamment réduites sont renvoyées pour être reconcassées (figure I.4).

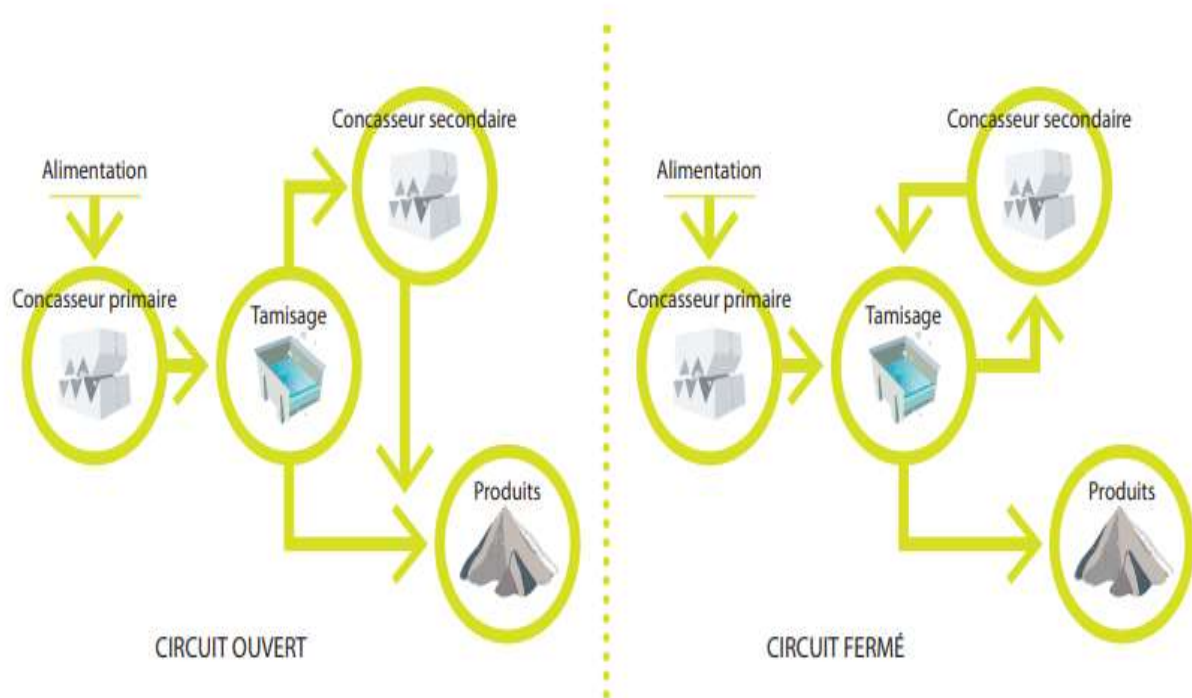


Figure (I.4) : Circuits de concassage.

I.14 Rupture des matériaux par concassage

La figure(I.5) montre la rupture des matériaux par concassage

I.15 Différents types de concasseurs

Dans les machines opérant par compression, les morceaux subissent une action d'écrasement soit répétée, comme c'est le cas dans les concasseurs à mâchoires ou Giratoires, soit continue comme dans les concasseurs à cylindres. Dans les machines opérant par impact, les morceaux sont frappés violemment par un organe tournant à grande vitesse et projetés contre des enclumes, de façon à induire des fractures suivant les plans de clivage naturels de la roche. Dans les machines opérant par attrition, c'est essentiellement l'abrasion qui est mise en jeu ; ces machines sont surtout utilisées pour la production de sable. Par convention, on classe les machines de concassage en fonction de l'action prépondérante qu'elles utilisent pour la fragmentation [8].

Les concasseurs opérant par compression sont :

I.15.1 Concasseurs à mâchoires

Les concasseurs à mâchoires reposent sur un principe assez simple qui consiste à compresser la roche pour réduire sa taille. Il est constitué généralement d'une paroi mobile et d'une autre fixe et muni d'un blindage (simple effet). La partie mobile est mise en mouvement grâce à un système rotatif externe relié par un arbre de transmission. Ce concasseur associe deux mouvements : un mouvement de compression (de gauche à droite) qui permet de concasser la roche et un léger mouvement de friction (du haut vers le bas) qui permet de faire descendre les matières solides vers le convoyeur de réception des matériaux concassés. Ce type de concasseur est sans doute le plus populaire au monde de par sa conception rudimentaire, sa fiabilité et sa maintenance peu coûteuse. Il présente l'avantage de pouvoir concasser des matériaux très résistants et de grande taille. Son inconvénient majeur est que la granulométrie de sortie n'est pas garantie et qu'il peut y avoir des aiguilles familièrement appelées « poisons » qui échappent au concassage. Celles-ci peuvent être très gênantes car elles peuvent bloquer en aval l'extraction d'un silo, bloquer le fond d'une goulotte, cet inconvénient n'existe pas pour un concasseur giratoire. Les concasseurs à mâchoires sont utilisés pour le concassage grossier et le pré-broyage rapides et soigneux de matériaux mi-durs, durs et cassants. La variété des matériaux proposés, leur efficacité et leur grande sécurité les rendent idéaux pour la préparation d'échantillons en laboratoire et dans l'industrie.

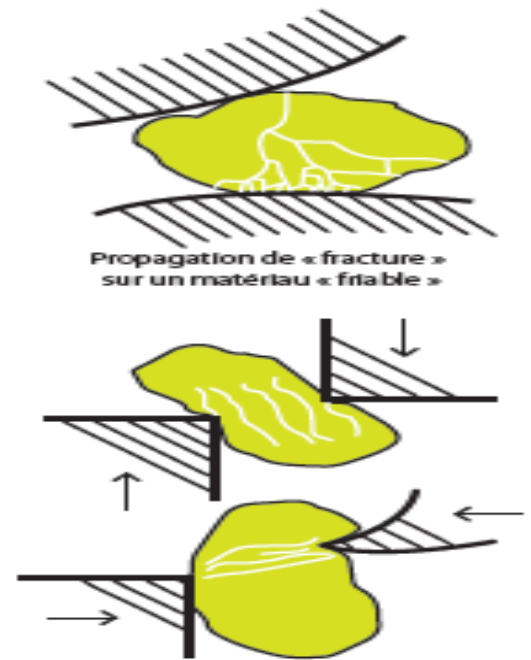


Figure (I.5) : Rupture par concassage [7]

Il est constitué par une mâchoire fixe et une mâchoire mobile animée d'un mouvement de va-et-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 où ils sont à nouveau érasés et ainsi de suite jusqu'à ce qu'ils atteignent l'orifice de sortie [9]. Ces appareils permettent la réduction de solides durs jusqu'à 0,5 à 5 mm. Le plus simple est le concasseur à mâchoires, dont le mouvement est alternatif (Figure I.6).

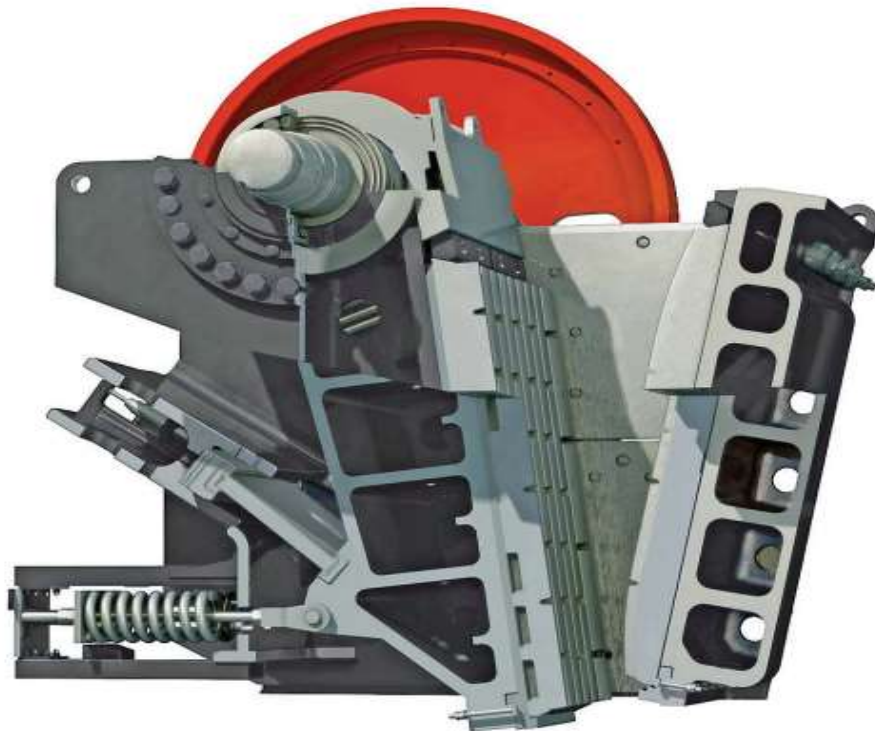


Figure (I.6) : Concasseurs à mâchoires.

1.15.2 Concassage primaire

Le concasseur primaire est une machine conçue pour réduire la taille des grosses roches du tout-venant de la mine à 20-40 cm. Il est généralement dimensionné de manière à travailler environ 75% du temps disponible. Il ne travaille pas en continu principalement par manque de matière à concasser à certaines périodes mais également pour des raisons économiques. Il est, en effet, plus rentable d'utiliser les concasseurs quand le prix de l'électricité est le plus bas, c'est-à-dire durant la nuit, ce qui ne correspond pas à la période de travail d'extraction qui a, elle, plutôt lieu en journée. Il n'est pas rentable d'entasser la roche extraite sur un stock pile « tampon » en attendant son traitement par le concasseur primaire.

Cette solution n'est à appliquer que lors d'une panne de courte durée du concasseur primaire ou pour couvrir éventuellement un temps de pause si la capacité de production du concasseur primaire limite le traitement en aval. Le concassage primaire se fait toujours en circuit ouvert, parfois précédé d'un grizzly (Le grizzly ressemble à une grille, il sert à enlever les blocs de trop grande dimension du circuit afin de ne pas endommager les machines) qui élimine les pierres dont la granulométrie est inférieure à une certaine taille afin de ne pas surcharger inutilement le concasseur et d'en augmenter ainsi le rendement (figure I.7).



Figure (I.7) : Grizzly

Il existe 2 principaux types de concasseurs primaires pour les opérations de fragmentation sur la roche.

Les concasseurs giratoire; peuvent produire de 600 à 6000 t/h, selon la taille.

Les concasseurs à mâchoire; peuvent assurer jusqu'à 1.400 t/h en fonction de leur serrage qui détermine la granulométrie de sortie.

Le concasseur à impact peut également être utilisé au primaire mais son utilisation est habituellement limitée à ce stade. Quel que soit le type de concasseur utilisé, il s'agira toujours de machines lourdes et très résistantes, capables de fractionner des blocs de roches de taille importante.

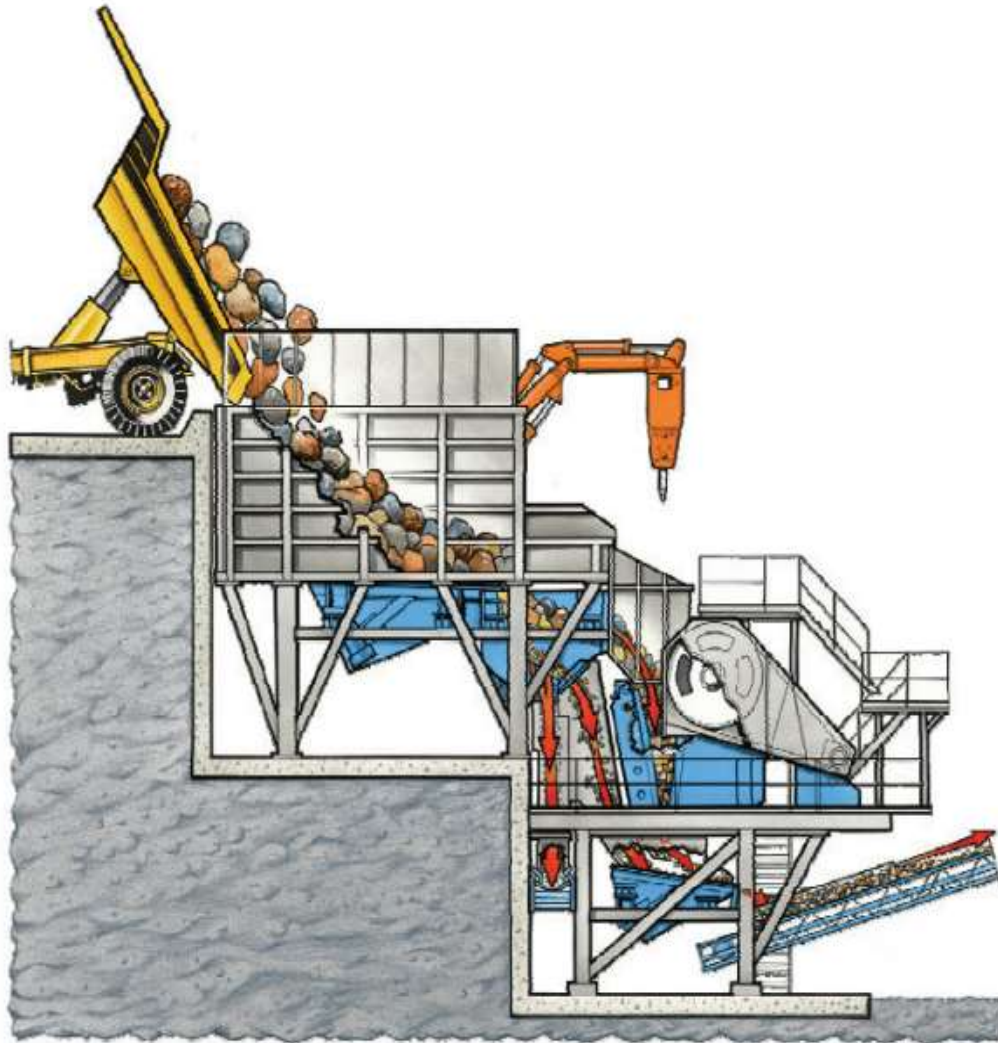


Figure (I.8) Concassage primaire [10].

1.15.3 Concasseurs giratoire

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.9).



Figure (I.9) : Concasseur giratoire.

I.15.4 Concasseurs à conique

Les concasseurs à conique sont très similaires aux concasseurs giratoires, avec néanmoins quelques différences, la première différence apparaît au niveau de la forme de la tête principale du concasseur et de la coquille extérieure (figure I.10). Les concasseurs à conique sont également munis d'un système de libération à ressorts agissant comme fusible contre les brutales augmentations de pression provoquées par la présence d'un imbroyable et qui permet à celui-ci de passer par la chambre de

concassage sans trop endommager le concasseur. Si la pression ne retombe pas rapidement à sa valeur normale, le concasseur est purement et simplement arrêté en charge pour éviter toute dégradation.

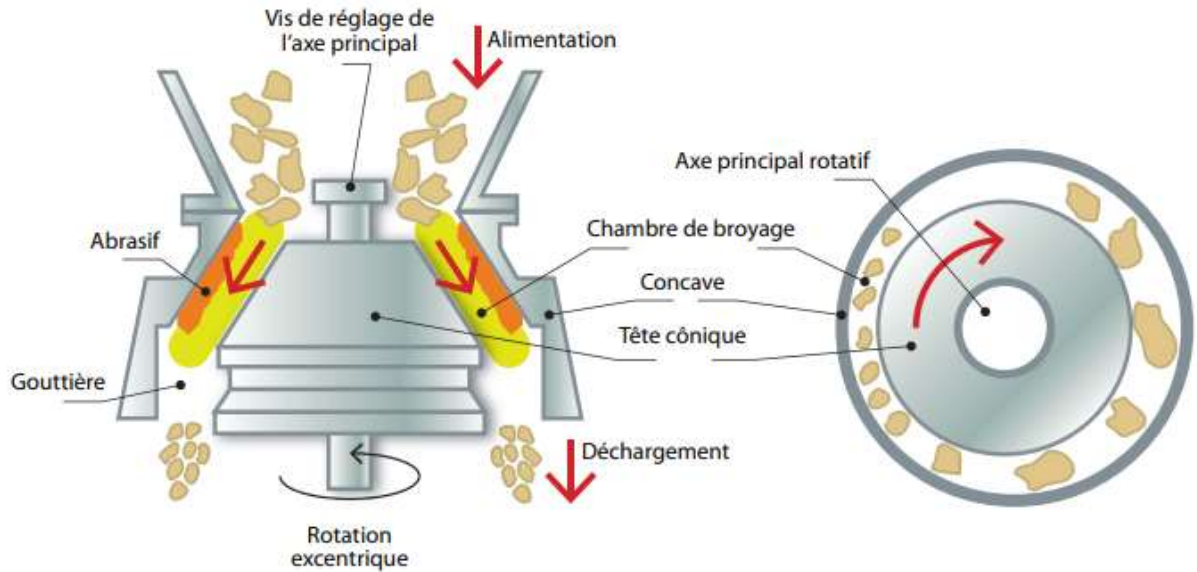


Figure (I.10) : Concasseur conique.

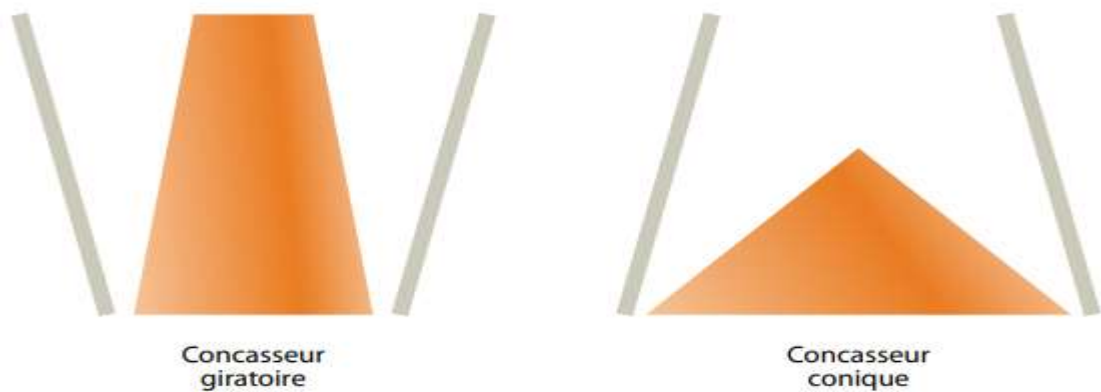


Figure (I.11) : Forme de la tête principale du concasseur et de la coquille extérieure d'un concasseur à conique et d'un concasseur giratoire.

I.15.5 Concasseur à rouleau

Les concasseurs à rouleaux utilisent deux grands tambours montés sur des axes, en rotation l'un vers l'autre pour écraser la matière entrante. Ce type de concasseur se base uniquement sur de la compression. Il est utilisé pour des matériaux friables, collants et moins abrasifs (ex: calcaire,...). Il n'est absolument pas adapté aux produits allongés tel que les micas. En effet, ces types de matériaux peuvent facilement passer au travers des rouleaux sans être réduit s'ils ont la bonne orientation. Les 2 cylindres sont placés à une

distance fixée. Contrairement aux concasseurs à cône ou à percussion, ce n'est pas par contraintes successives que le matériau est réduit. Dans ce cas-ci, un seul passage entre les cylindres est nécessaire pour atteindre la taille voulue. Les cylindres peuvent être lisses ou dentés selon la taille et la dureté de la roche à traiter.

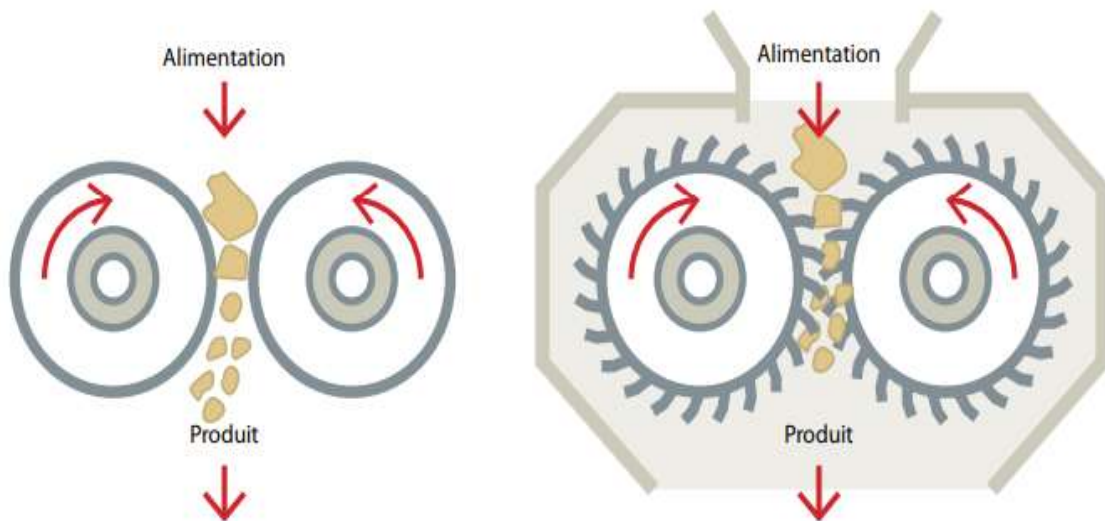


Figure (I.12) : Principe de concasseurs à rouleau (à gauche) lisse et denté (à droite).

I.15.6 Concasseurs à percussion

Les concasseurs à percussion utilisent une technique qui consiste à concasser le produit alimenté par choc plutôt que par pression. Le phénomène d'attrition est également utilisé dans ce type de concasseur par le réglage des écrans. Les grands concasseurs à percussion présente une capacité de l'ordre de 1500 t/h. Le rotor du concasseur est généralement équipé de marteaux ou de couteaux, en fonction du type de matériau à concasser. Les couteaux seront préférés au concassage des matériaux mous, élastiques, fibreux ou collants (argiles par exemple) tandis que les marteaux seront préférés pour des matériaux durs et abrasifs (roches par exemple).

Cette machine combine l'énergie de rotation avec l'énergie de percussion pour concasser les matériaux. Si les granulats ne sont pas cassés par la percussion des blocs, l'énergie supplémentaire emmagasinée lors de la frappe permet de les casser lors de la rencontre avec les marteaux du rotor (ou couteaux). Cette machine fonctionne généralement en continu. Il y a une différence fondamentale entre le matériau concassé par compression (précédemment introduit) ou par impact. Dans le matériau concassé par compression, des contraintes internes restent et peuvent aider à une deuxième réduction de taille. L'impact, lui, donne une fracture directe sans qu'il ne reste des contraintes internes.

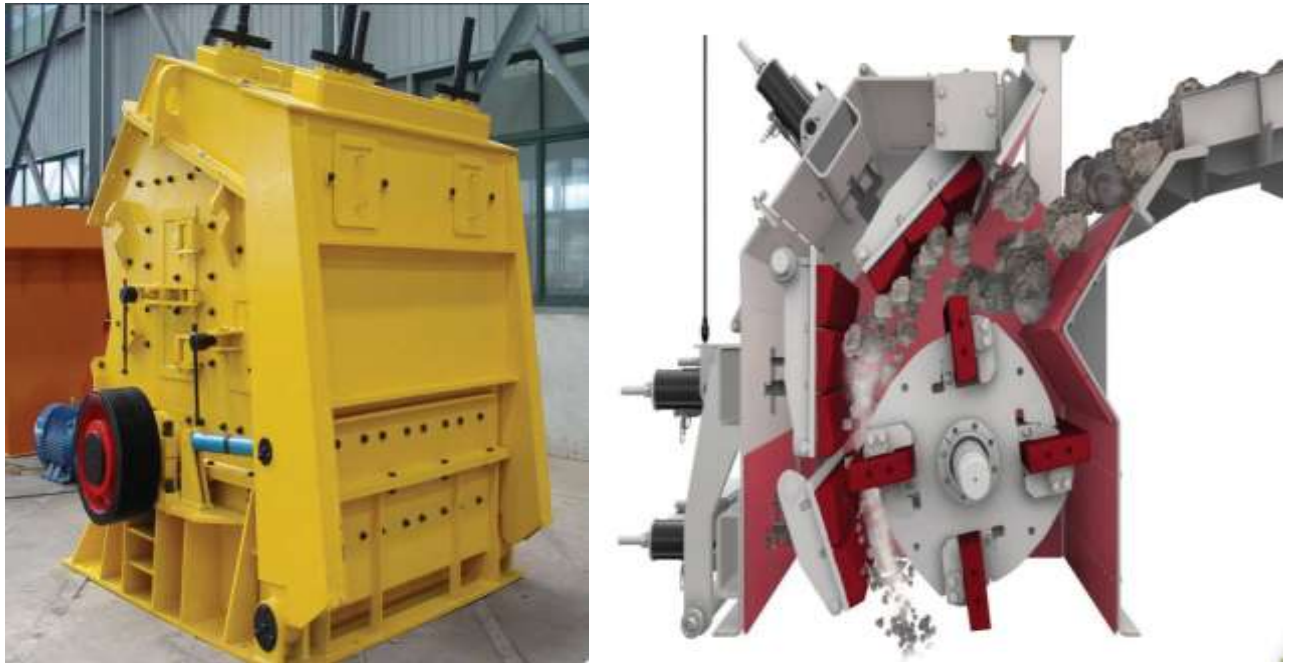


Figure (I.13) : Concasseur à percussion, vue et schéma de principe [11].

Le grand désavantage du système est qu’afin d’obtenir un rapport de réduction raisonnable, des tambours très grands doivent être utilisés.

I.15.7 Concasseurs à cylindres

On en distingue deux types, les concasseurs à cylindre unique et mâchoire, et les concasseurs à deux cylindres. On distingue également plusieurs types de cylindres concasseur : lisse, denté ou cannelé. Enfin le broyeur à cylindres convient pour les matériaux friables ; les cylindres peuvent être lisses ou non (il y a alors attrition en plus de la compression), ils tournent en sens opposé, et généralement à la même vitesse.



Figure (I.14): Concasseur à cylindres cannelés.

Figure (I.15) : Concasseur à cylindres dentés

Conclusion

L'étude des fragmentations des solides est aujourd'hui encore un domaine de la science et de La technologie en plein développement. On commence à savoir faire des choses sophistiquées, mais cela implique Immédiatement des modèles et calculs numériques rapidement complexes, c'est pourquoi ces sujets font encore L'objet de recherches dans de nombreux laboratoires publics et privés. L'objectif de ce cours se limitait donc à une Première présentation, d'une part de la problématique de la caractérisation des solides pulvérulents, et d'autre part Des appareillages les mettant en œuvre seuls.

CHAPITRE II :
BROYAGE ET BROYEURS

II.1. Introduction

Le broyage constitue une étape clé et essentielle du processus d'extraction des minerais. De toutes les activités d'exploitation minière, le broyage est le processus consommant le plus d'énergie en moyenne. Pour garantir la rentabilité de l'exploitation, il convient de mettre en place un circuit de broyage efficace, surtout à l'heure actuelle, face à l'épuisement des ressources mondiales en minerais et à la nécessité grandissante d'exploiter des gisements à faible teneur. Ces évolutions nous ont poussés à élaborer de nouvelles technologies adaptées à des machines plus imposantes tout en augmentant leur rendement. Si les broyeurs à simples pignons suffisaient auparavant pour le traitement de toutes sortes de matériaux, les broyeurs à doubles pignons ou sans engrenages sont désormais indispensables. Nous avons, d'une part, adapté les équipements de broyage afin de repousser leurs limites en termes de technique et de performance. D'autre part, notre solution d'entraînement a également fait l'objet d'un développement continu, inspiré des dernières tendances, permettant d'atteindre de nouvelles frontières en matière de broyage. De nos jours, le nombre d'usines alimentées par des systèmes de convertisseur de fréquence ne cesse d'augmenter, ceux-ci améliorant les performances et la souplesse d'utilisation [12].

C'est-à-dire réduire la matière en petits fragments ou en poudre. Pour cela il faut la soumettre à des forces de contraintes supérieures à sa résistivité et on appelle ces actions dans la RDM dépasser le domaine d'élasticité et critique de matière et la ramener à son domaine de rupture [13].

Dans la nature il existe quatre types d'actions principales qui nous permettent de solliciter une matière à savoir ; compression, traction, cisaillement, flexion ou la torsion. Mais aussi on peut la solliciter à une combinaison de ces actions [14].

Le broyage constitue la deuxième étape de fragmentation. Il prend en charge des matières déjà réduites (< 10 mm) et porte les granulométries jusqu'à des dimensions micrométriques. Il s'opère en voie sèche ou humide (pulpe). Différentes techniques mettent en œuvre à divers degrés des principes tels que l'écrasement, l'impact, l'attrition et l'abrasion. Cette opération, poussée jusqu'à la micronisation, peut mener à l'extrême une amorphisation des structures cristallines mise à profit au travers de la mécano-chimie pour fonctionnaliser les matières (fabrication de nouveaux liants, activation...) [15].

II.2 Définition du broyage

Le broyage est un traitement s'appliquant à des déchets solides, en général relativement cassants. Il ne nécessite aucune préparation particulière des déchets (à part une certaine homogénéité de taille). Le broyage consiste à réduire des morceaux de matériaux solides d'une taille donnée à une taille plus petite. Le principe est la fragmentation des morceaux par l'action mécanique de pièces plus résistantes, généralement métalliques.

Un broyage est caractérisé par différents paramètres :

- La capacité d'admission (taille des plus gros blocs pouvant être traités par la machine).
- Le rapport optimal de réduction, c'est à dire le rapport de la taille des pièces à la sortie Sur la taille des pièces à l'entrée. Comme toutes les pièces ne sont pas de même taille, on Raisonne à partir d'une taille seuil, obtenue pour 85% des pièces.
- La distribution granulométrique en sortie.
- Le coefficient de forme moyen, qui permet de caractériser la sphéricité des particules La sortie.
- Le coût de la maintenance.

Il existe plusieurs niveaux de broyage, dont les équipements utilisés produisent la Granulométrie souhaité.

Le concassage : il permet d'obtenir des particules de taille au cm, et il est souvent utilisé en Pré-broyage.

Il se subdivise en concassage primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire.

Ce Dernier est assimilable au broyage grossier.

Le broyage grossier : il permet d'obtenir des particules de l'ordre du mm.

Le broyage fin : les particules obtenues varient de 10 à quelques centaines de micromètres.

Le broyage ultrafin : il est peu utilisé et n'est nécessaire que pour certains types de Recyclage, très spécifiques.

II.3 Les régimes de fonctionnements

La vitesse à laquelle le broyeur tourne est un élément déterminant du processus de broyage. C'est ce paramètre qui va déterminer le régime de fonctionnement du broyeur. La vitesse permet de déterminer à quel moment la masse broyante va se détacher de la surface du cylindre pour retomber sur les granulats solides. • À vitesse réduite, le régime est dit « en cascade ». Dans ce cas, la charge broyante a tendance à rouler jusqu'au point bas du cylindre. Il y a un phénomène d'abrasion des granulats à cause de cette charge broyante qui « roule » tout simplement sur eux. Ce régime induit la production de particules fines. Afin d'éviter l'usure du broyeur à cause de cette même abrasion, il faut augmenter l'épaisseur du blindage, ce qui peut s'avérer coûteux. Ce régime n'est dès lors pas choisi préférentiellement. • À plus haute vitesse, le régime est dit « en cataracte ». La charge broyante est dans ce cas projetée sur les granulats à broyer en une série de paraboles et s'écrase sur ces derniers. La fragmentation produit dès lors de plus gros grains. Cette méthode permet de réduire l'épaisseur du blindage. Ce régime est choisi préférentiellement. Lorsque la vitesse augmente encore, la charge broyante ainsi que les granulats sont plaqués contre les parois et il n'y a plus aucune réduction de taille. Ce point correspond à la vitesse critique du système. En pratique, on choisit une vitesse entre 50 et 90 % de la vitesse critique. Ce choix est influencé par des considérations économiques.

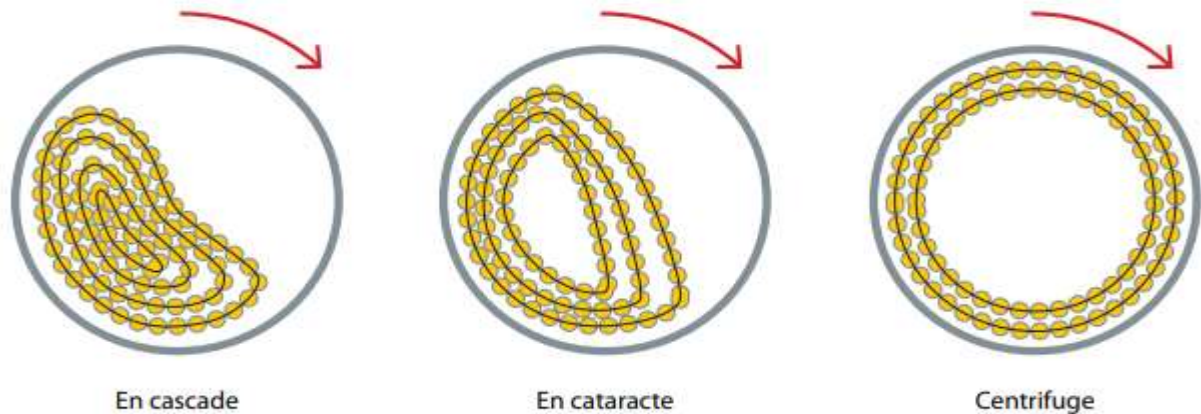


Figure (II.1) : types de mouvement dans un broyeur à boulets [16].

II.4 Quelques définitions sur le broyage

II.4.1 Rapport de réduction :

Plus précisément, c'est le rapport des modules granulométriques similaires de la matière, avant et après broyage. Le pourcentage de réduction d'un appareil de fragmentation est défini par la valeur :

$$r = \frac{D}{d}$$

D : dimension du plus gros morceau de l'alimentation [mm] ;

d : dimension du plus gros morceau après traitement à la sortie de l'appareil [mm].

Les rapports de réduction industriellement réalisables par une seule machine de fragmentation peuvent aller de 4/1 (cas du concassage grossier de roches dures) jusqu'à 100/1 (cas de la plupart des appareils de pulvérisation). Mais toutefois, par défaut de dimension des matières à broyer, on considère l'ouverture de la maille du tamis à travers laquelle on a 80% de passant comme référence de mesure. Le rapport (1) devient comme suit :

$$r = \frac{D_{80}}{d_{80}}$$

Où D_{80} : dimension des 80% des particules de l'alimentation ayant passé à travers la maille tamis ;

d_{80} : Dimension des 80% des particules à la sortie de l'appareil de fragmentation ayant passé à travers la maille du tamis [17].

II.5 Finesse de fragmentation ou finesse du produit fragmenté :

C'est une caractéristique de la qualité de réduction de taille par un appareil de fragmentation. C'est aussi une caractéristique de l'état de réduction de dimension des particules fragmentées.

La finesse est déterminée par le rapport **a** appelé aussi « Coefficient de forme » :

$$a = \frac{S_p}{V_p} \quad [mm^{-1}]$$

S_p : Surface extérieure de la particule [mm^2] ;

V_p : Volume de la particule [mm^3] ;

à en mm^{-1} ou $encm^{-1}$.

La finesse d'une particule de forme quelconque est déterminée à partir de celle d'une particule sphérique :

$$a_{quelconque} = a_{sphérique} \cdot \frac{1}{\phi_s}$$

$0 < \phi_s < 1$: si la forme de la particule est quelconque.

ϕ_s s'appelle coefficient de sphéricité.

II.6 Surface spécifique d'une particule :

C'est la surface représentée par l'ensemble des grains du matériau rapporté à L'unité de masse. Elle est généralement exprimée en (cm^2/g) L'indication des surfaces Spécifiques permet d'apprécier indirectement le degré de finesse d'un produit :

$$\Delta W = \frac{S_p}{m_p}$$

S_p : Surface extérieure de la particule [cm^2]

m_p : Masse de la particule[g]

ΔW : surface spécifique de la particule [cm^2/g]

Avant fragmentation
$$\Delta W = \frac{S_p}{m} = \frac{6}{(\rho_s \cdot D_{80})}$$

Après fragmentation,
$$\Delta W' = \frac{6}{(\rho_s \cdot d_{80})}$$

ρ_s Étant la masse spécifique de la particule sphérique [g/cm^3]

II.7 Capacité de broyage

La capacité d'un broyeur désigne le tonnage traité par heure.

II.8 Les circuits de broyage

Les broyeurs à barres et les broyeurs à boulets sont généralement mis en série dans un circuit de broyage. Car l'un permet d'obtenir des plus gros granulats, qu'on peut ensuite broyer plus finement dans un broyeur à boulets. Des broyeurs mixtes, utilisant à la fois des boulets et des barres, sont également disponibles sur le marché. Ces systèmes présentent les avantages de chacune des méthodes en une seule machine, et permet dès lors d'épargner le fonctionnement d'un broyeur. Comme pour les circuits de concassage, il faut distinguer les circuits ouvert des circuits fermés :

- ✓ **Le circuit ouvert** est généralement d'application lorsque les procédés en aval ne sont pas sensibles aux variations de tailles des granulats. En effet, il n'est pas possible de régler la granulométrie du produit autrement qu'en agissant sur les variables d'entrées du broyeur. Le débit d'alimentation doit dès lors être assez faible pour assurer aux particules un temps de séjour suffisant qui permette au broyeur d'éliminer les plus grosses particules, tout en risquant de sur broyer d'autres particules.
- ✓ **Dans les circuits fermés**, les particules de dimensions convenables sont immédiatement retirées du circuit par un classificateur alors que les morceaux grossiers retournent au broyeur ; Ce qui permet de prévenir tout risque de sur broyage. En conséquence, le temps de séjour des granulats dans un broyeur en circuit fermé est moindre. Le circuit fermé présente donc l'avantage d'être moins consommateur d'énergie. À présent, il y a lieu de différencier le broyage à sec et le broyage humide :
 - Le broyage à sec est généralement utilisé lorsque le broyage humide n'est pas favorable au type de roche. En effet, l'eau est susceptible de modifier la structure chimique de certaines roches. Outre cet aspect pratique, le broyage à sec permet de limiter l'usure du broyeur et produira plus de fines.
 - Le broyage humide est la plupart du temps favorisé car son fonctionnement améliore le rendement énergétique par rapport au broyage à sec. En effet, les consommations de puissance sont plus faibles. De plus, le broyage humide permet d'humidifier le milieu qui peut s'avérer utile pour les procédés en aval, et permet de limiter les problèmes de poussière. Enfin, le broyage humide favorise le transport des produits et leurs manipulations (utilisation de pompes, ...). Notons néanmoins qu'en pratique, il est nécessaire d'obtenir un taux d'humidité supérieure à 50%. En effet, sous cette barrière, il y a un risque de formation de pâtes, et de blocage du broyeur (bourrage).

II.9 Définition d'un broyeur

Un broyeur est une machine de broyage des matériaux qui est réalisée par un mariage de deux parties suivantes :

- ✚ partie mécanique ; qui comporte une trémie, des axes, des utiles de broyage (Couteaux, lames, marteaux...etc.), un réducteur de vitesse, et une carcasse qui assure l'assemblage de tous ces éléments...etc.
- ✚ partie électrique ; qui contient un circuit de commande (tableau de commande), Et un circuit de puissance (moteur électrique ou thermique)[18]. Le broyeur est une machine utilisée pour le broyage des matériaux, soit faciles à traiter ou difficiles (le plastique, le papier, le ciment...etc.). Il représente dans l'industrie une solution pour l'abattement des frais de gestion des déchets en général. Le broyeur peut parfois être considéré comme un véritable moyen de production notamment dans les cas suivants
- ✚ lorsque les déchets de fabrication sont réutilisés directement dans le cycle de production.

- ✚ lors de la mise en place de processus de production utilisent comme matière première des déchets d'autres processus industriel (concept et recyclage).

II.10 Les différents types de broyeurs :

Type de broyeur		Produits broyées	Débit (T/h)	Rapport de réduction
broyeur à cylindre	broyeur à deux cylindres lisses	engrais, sels, coke, charbon, verre	250	01:05
	broyeur à deux étages	Engrais, produit chimique et sel	30	01:04
	broyeur à un cylindre denté	Charbon, calcaire, gypse, sel et scories	1200	01:06
	broyeur à deux cylindres dentés	Calcaire, gypse, charbon, coke,...	2000	01:06
	broyeur à trois cylindres dentés	Engrais, charbon, coke et produit chimique	50	01:04
	broyeur à quatre cylindres	Charbon, coke, calcaire, gypse et sel	200	01:04
	broyeur à agglomère chaud/hérisson	Aggloméré chaud	1000	01:06
	broyeur à double Rollier	lignite, charbons, roches tendres à mi-dures, minerais, craie, gypse, calcaire, ...	5000	01:04
	Broyeur primaire à percussion	Calcaire, gypse, potasse, stériles de découverte, scories.	2500	01:20

Broyeur à percussion	Broyeur secondaire à percussion	calcaire, gypse, charbon, sels, céramique.	1000	01:20
Broyeur giratoire	broyeur giratoire	Granite, Basalte, Diabase, Roches dures, Calcaire, Minerais, Scories.	300	01:08
Broyeur à mâchoire	broyeur à mâchoire simple effet	granite, basalte, diabase, calcaire, minerais, scories	400	01:07
Broyeur centrifuge	Broyeur centrifuge à axe vertical	Produits alimentaires : le sel...	15	Variable
	Broyeur centrifuge à broches	Matières minérales...	15	Variable
Broyeur à marteaux	Broyeur à marteaux	Matières durs, mi-durs, rebuts de céramiques, verres, gypse	300	01:08
Broyeur sécheur à marteaux		Matières très humides,	400	
Broyeur à meules		Produits alimentaires	Suivant le diamètre de la meule	Variable

Tableau (II.1) : Les différents types de broyeurs [19].

II.10.1 Technique à marteaux :

Broyeurs à marteaux : ils comportent un ou deux rotors équipés de marteaux en acier à haute teneur en manganèse. Ce sont les seuls équipements utilisés pour le broyage des ferrailles, des carcasses automobiles et des ordures ménagères. Ils sont parfois utilisés également pour le concassage de produits

moyennement abrasifs, durs ou semi durs, mais résistent moins bien à l'usure, dans ce cadre d'utilisation, que les concasseurs à cylindres.

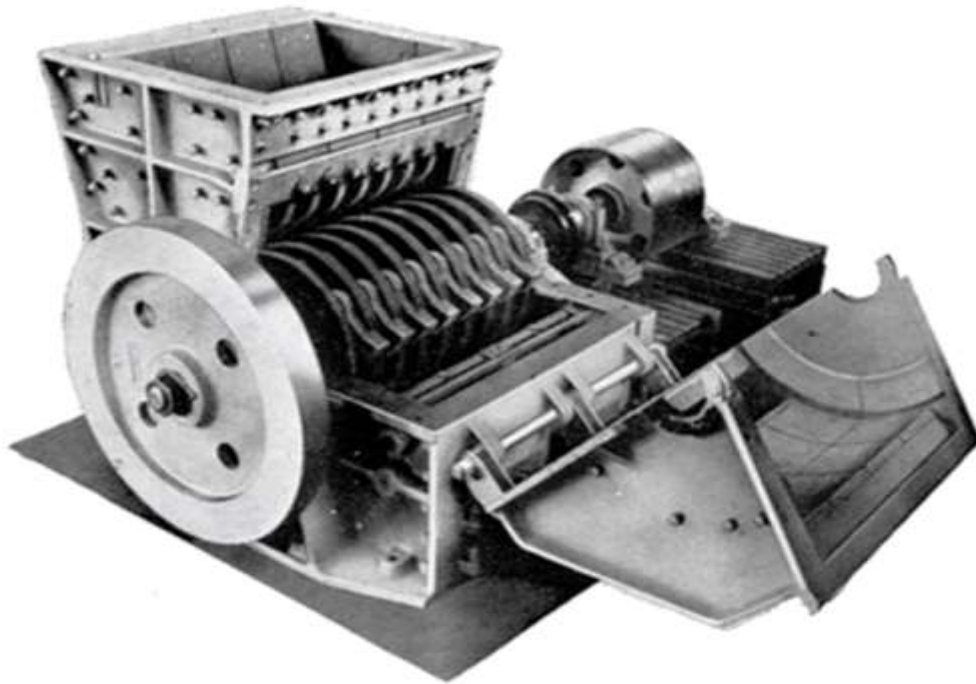


Figure (II.2) : Broyeurs à marteaux.

II.10.2 Broyage à barres ou plaques de choc :

Ils sont constitués d'acier à haute résistance, et des plaques d'usure interchangeables qui recouvrent les plaques de choc. Ils sont utilisés pour le broyage grossier (concassage quaternaire), en particulier pour les produits durs et abrasifs (roches par exemple) [20].

II.10.3 Broyage à billes et boulets :

Les matériaux constituant les billes ou boulets sont variés (cuves en acier revêtu de Corin dur à haute teneur en alumine, en porcelaine ou en manganèse, billes en alumine frittée, porcelaine ou acier revêtu de Corin dur). Ils sont utilisés pour les gros débits de broyage. Ils servent au broyage grossier comme au broyage fin.

II.10.4 Broyage à cylindres :

La matière passe entre deux cylindres et ressort sous forme de plaquette friable. Ce type d'appareil est souvent utilisé en pré-broyage ou en broyage hybride. Outre le concassage des produits moyennement abrasifs, il peut servir pour le concassage de produits mous, collants, élastiques ou fibreux.

II.10.5 Les broyeurs culbuteurs (tumlings mills)

Les broyeurs culbuteurs sont constitués d'une coquille cylindrique horizontale, recouverte avec un blindage renouvelable qui s'use au fur et à mesure de ses utilisations. Les modèles imposants sont généralement motorisés par leur axe tandis que les plus modestes sont déposés sur des cylindres en rotation. Le diamètre du broyeur va déterminer la pression exercée sur les granulats solides lors du broyage. Ainsi, plus les granulats contiendront de gros blocs, plus le rayon du broyeur ne sera grand. Les broyeurs culbuteurs sont susceptibles de contenir une charge broyante (boulets, barres, ...) et libre de se mouvoir dans le cylindre. Le frottement de cette charge contre les parois permet de les mettre en mouvement. La plupart de l'énergie est alors dépensée pour mettre en mouvement la charge broyante. De plus, il y a de très fortes pertes en énergie en chaleur, bruit, et autres. Au décompte final, seule une fraction minimale est réellement utilisée pour fragmenter les particules. Les broyeurs culbuteurs sont de 3 types, et peuvent tous s'utiliser aussi bien en milieu sec qu'en milieu humide :

- broyeurs à boulets (ball mills)
- broyeurs à barres (rod mills)
- broyeurs autogène (autogenous mills)



Figure (II.3) : Broyeur à boulets [21].

II.10.6 Broyeur 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 généralement des boulets d'acier inoxydable : leur efficacité est due à la forte densité de ce métal et à la relative «inertie» de l'inox qui ne contamine pas trop les produits à broyer. Notons que le fer peut altérer certains matériaux bruts : on utilise alors des galets en silex ou en céramique. En général, le tambour est rempli à 30% de sa capacité en boulets. Le broyeur à boulets peut être compartimenté (= chambre) ; la taille et la quantité de boulets étant différentes dans chaque chambre afin d'optimiser celles-ci en fonction de la taille du produit qui la traverse. Les broyeurs industriels fonctionnent généralement en continu : ils sont chargés à une extrémité et déchargés à l'autre.

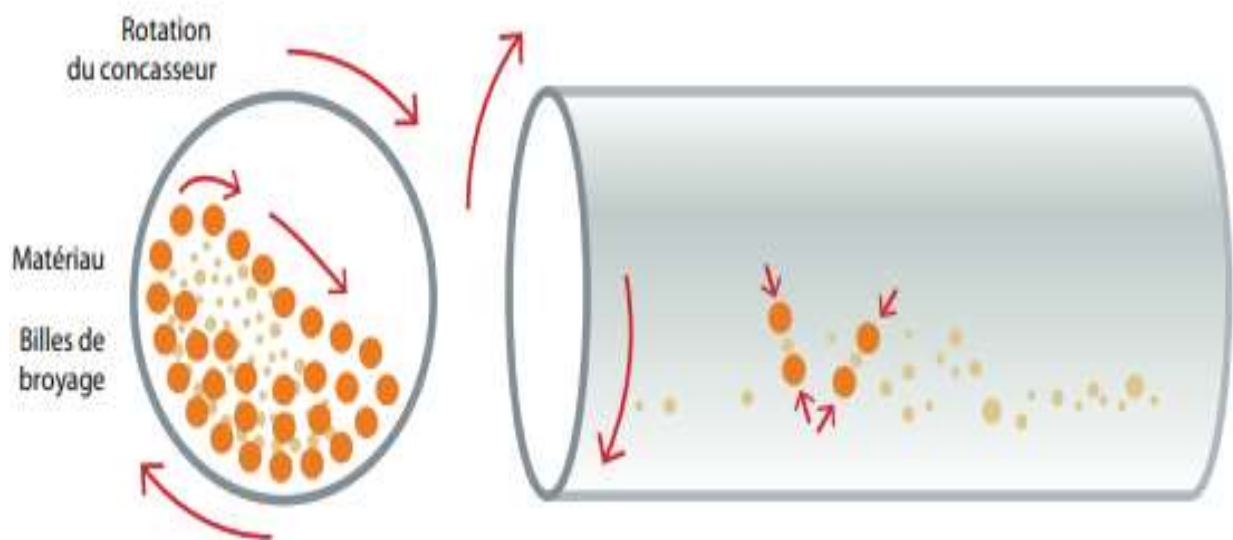


Figure (II.4) : Principe de broyeur à boulets

II.10.7 Broyeur 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). Vu la forme géométrique du corps broyant, le broyeur à barres permet d'obtenir des granulats globalement plus gros et plus hétérogènes.



Figure (II.5) : Broyeur à barres et barres de broyage de précision [22].

II.10.8 Broyeur (semi-) autogène

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%.

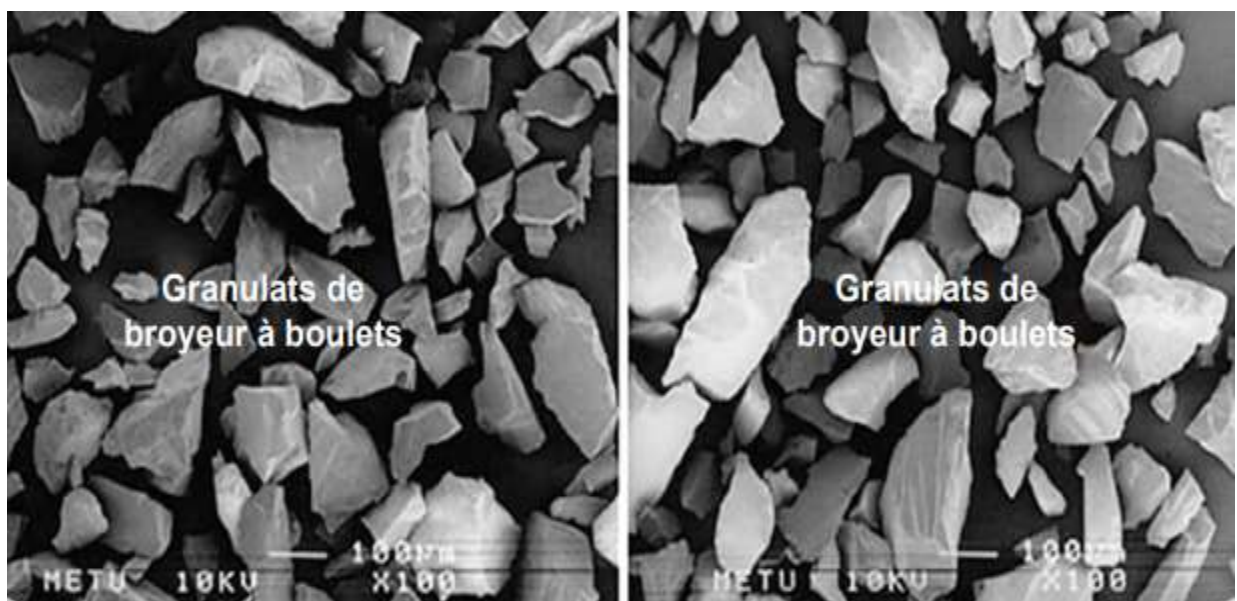


Figure (II.6) : comparaison des granulats sortant d'un broyeur à boulets et d'un broyeur à barres

II.10.9 Broyage ultrafin à jet d'air/vapeur (jet mill)

Le broyage ultra-fin est parfois nécessaire à certains types de roche. Les broyeurs à jet utilisent habituellement de l'air comprimé comme gaz de broyage. Il existe par ailleurs des systèmes utilisant de la vapeur surchauffée. Le matériau est broyé par attrition en introduisant des jets d'air/vapeur de haute énergie. Dans ces systèmes, le broyage est dit autogène. Le mouvement centrifuge des particules dans la chambre de broyage effectue un tri efficace pour contrôler la taille des particules. Dans ces broyeurs, la taille des particules obtenues sont dans 97% des cas inférieure à 2,5 microns.

Les principaux avantages des broyeurs à jet sont les suivants :

- Production de particules ayant une taille et une apparence uniformes.
- Pas de problème d'usure.
- Pas de contaminations.



Figure (II.7) : Broyage ultrafin à jet d'air/vapeur.

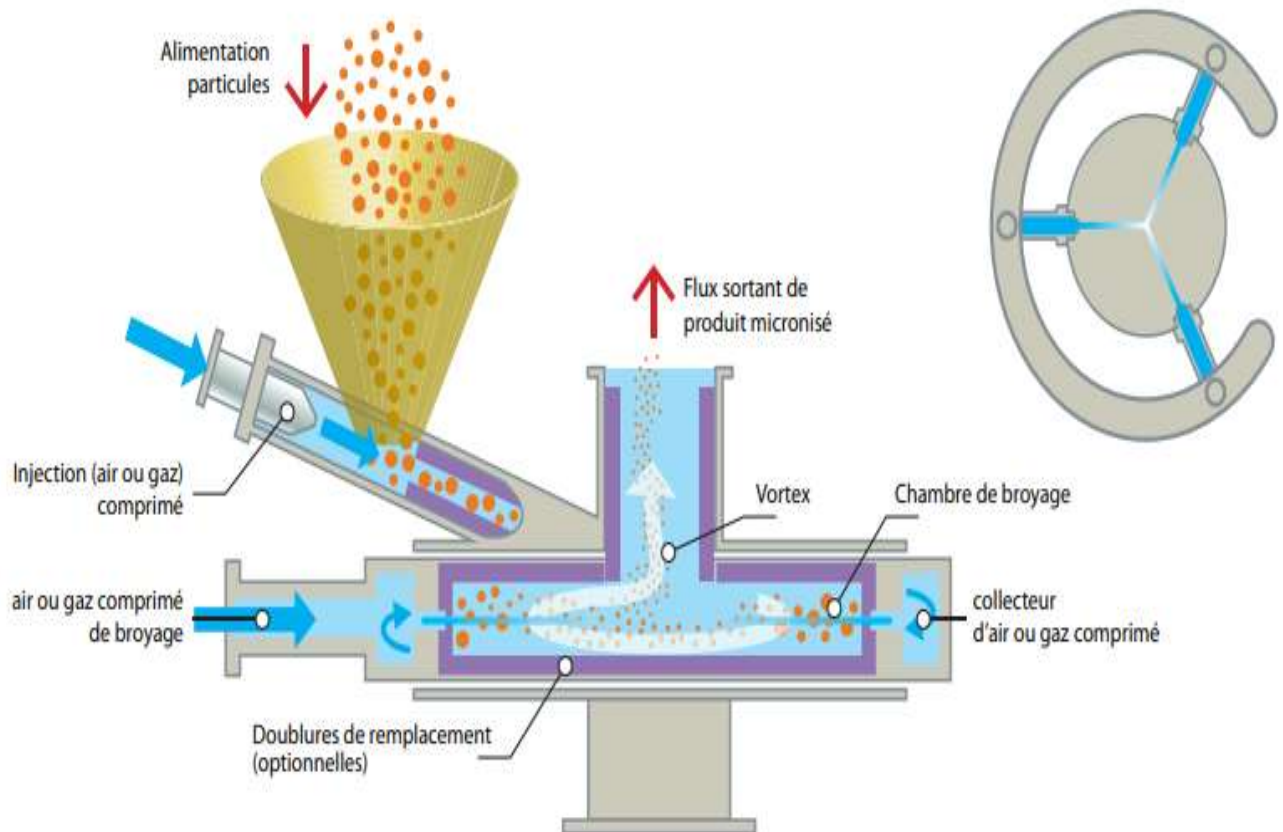


Figure (II.8) : Principe du moulin à jet (air/vapeur).

II.10.10 Broyage cryogénique

Outre la fragmentation électrodynamique, le broyage cryogénique fait également partie des techniques innovante en matière de fragmentation des déchets. Par les techniques de broyages conventionnelles, il n'est pas toujours évident de fragmenter les déchets solides. En effet, certains matériaux, comme les thermoplastiques, les caoutchoucs, les cires, et quelques métaux ont tendance à s'agglomérer sous l'effet de la chaleur ; chaleur émanant du fonctionnement du broyeur en lui-même. Les procédés cryogénique permette dès lors de contourner cette difficulté en refroidissant ces matériaux avec de l'azote ou du dioxyde de carbone liquide. De là, les matériaux sont fragilisés et l'opération de broyage se verra nettement amélioré. En pratique, il est à noter un gain au niveau de la productivité ainsi qu'une économie en énergie. (La Figure II.9) schématise le principe du recyclage du PVC par broyage cryogénique. Comme représenté sur cette illustration, les déchets de plastique grossièrement broyés en amont sont refroidis à une température de moins 120°C dans un refroidisseur grâce à des injections d'azote liquide. À si basse température, le PVC devient aussi fragile que du verre. Il peut alors dès lors être réduit en une poudre fine, qui pour autant, ne colle pas et ne forme pas d'agglomérats. La poudre de PVC ainsi produite

peut être entièrement réutilisée sur le marché. Le broyage cryogénique pourrait tout aussi bien s'adapter au recyclage des pneus ; domaine où l'industrie continue d'utiliser majoritairement des systèmes de broyage ambiants classiques et peu innovants. En effet, d'après plusieurs tests réalisés par Air Product (groupe industriel américain spécialiste des gaz industriels et médicaux), le Cryo broyage d'un produit standard de caoutchouc usagé permettrait un rendement de 160 kg/h contre à peine 30 kg/h avec un système classique.

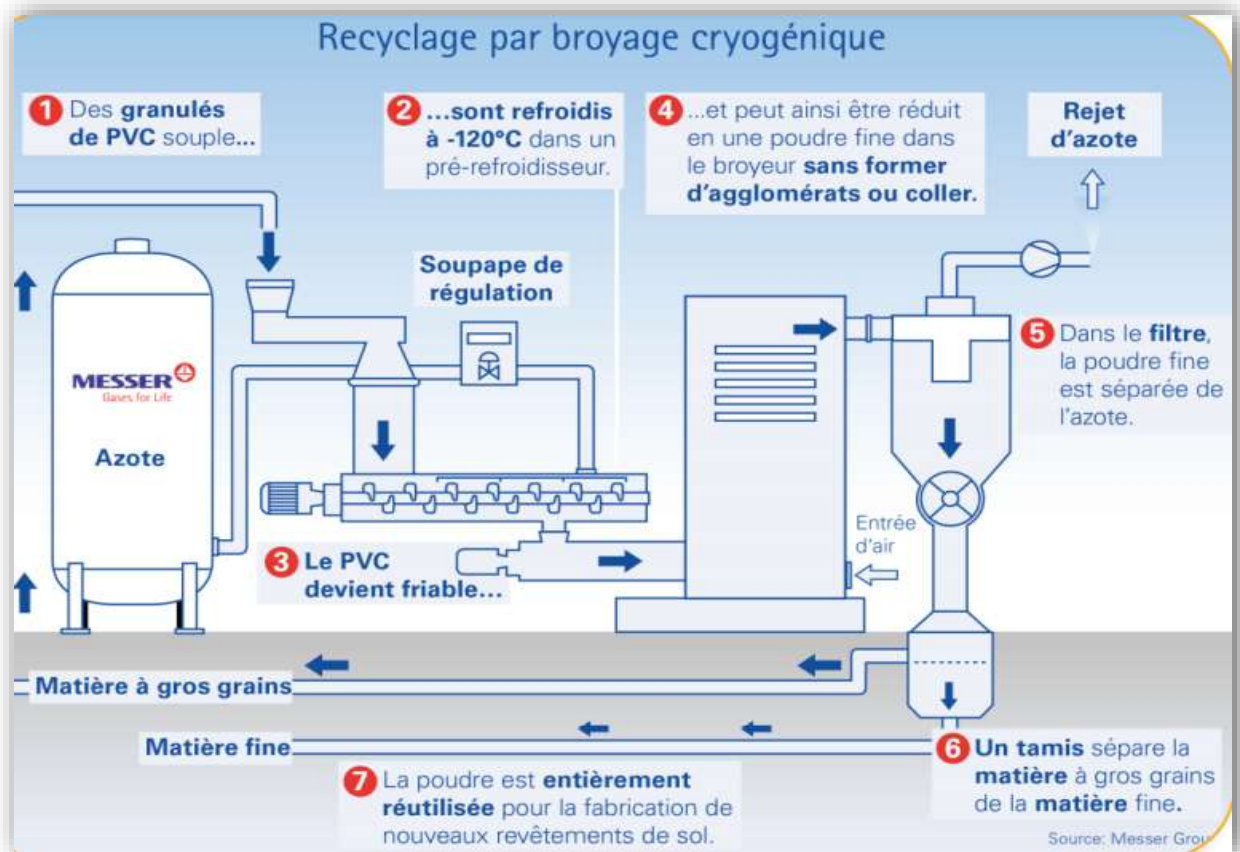


Figure (II.9) : Principe du recyclage par broyage cryogénique dans le cas du PVC [23].

II.10.11 Le broyeur à mâchoires

Les broyeurs à mâchoires Retsch servent à concasser et pré broyer rapidement et soigneusement de manière grossière et fine des matériaux mi-durs, durs, cassants et coriaces. En raison de différents modèles, de leur puissance et de leur sécurité, ils sont idéals pour la préparation des échantillons au sein des laboratoires et des entreprises. Le débit et la finesse finale dépendent du type de l'appareil, de la largeur réglée de la fente et des comportements à la rupture du produit à broyer. Les broyeurs à mâchoires sont particulièrement appropriés pour la préparation des roches, des minéraux, des minerais, du verre, de la céramique, des matériaux de construction, d'alliages de métaux cassants, des scories, des résines synthétiques et de nombreuses autres matières dures et cassantes.



Figure (II.10) : broyeur à mâchoires.

II.10.12 Broyeur à couteaux

Ils sont utilisés généralement pour broyer du plastique ou du papier. Le rotor porte les couteaux et le broyage se fait par cisaillement. Avec tous ces broyeurs on peut fixer la granulométrie.



Figure (II.11) : Broyeurs à couteaux.

II.10.13 Broyeur à billes haute énergie

Les broyeurs planétaires à billes RETSCH (figure II.12) broient et mélangent les matériaux tendres, mi-durs à particulièrement durs, cassants et fibreux.

Ils conviennent pour le broyage de matières sèches et humides. Les broyeurs planétaires à billes sont utilisés avec succès dans presque tous les domaines de l'industrie et de la recherche, notamment là où les exigences de pureté, de rapidité, de finesse et de reproductibilité sont très élevées.

Principe de broyage

- combinaison de 3 types de broyage : impact à haute fréquence, friction intensive et mouvements circulaires des bols de broyage.
- supports des bols montés sur deux disques tournant dans le même sens • forte friction entre l'échantillon, les billes et les parois du bol, pour un broyage optimal et un parfait mélange des particules.



Figure (II.12) : Broyeurs à billes haute énergie RETSCH.

Caractéristiques

- vitesse réglable de 300 à 2000 tr/min.
- refroidissement à l'eau intégré, permet un fonctionnement en continu, sans interruption pour le refroidissement, pour réduire le temps de broyage.
- mode de fonctionnement intermittent, avec inversion du sens de rotation en option.
- écran tactile, 10 programmes mémorisables.

II.11 Classification des broyeurs

Dans les industries quel que soit le broyeur utilisé pour telle matière on peut toujours différencier les fragments de ses déchets selon leur diamètre, 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 oeuvre 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 oeuvre 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.

II.12 Différentes solutions proposées

II.12.1 Première solution : Broyeur à Percussion

Principe de fonctionnement :

Le Concasseur à percussion, souvent utilisé pour le concassage secondaire. Parmi les séries existantes on peut citer la série PF qui est le concasseur à percussion le plus récent et le Plus populaire et qui fournit une solution cliente à faible coût, des performances Exceptionnelles, un bon aspect esthétique, un faible coût à l'échelle des autres matériaux. Concasseurs à percussion sont mieux adaptés aux traitements de calcaire et largement Utilisé dans le concassage du minerai, ferroviaire, produits chimiques, du ciment, de construction et autres industries [24].

Avantage :

- Grande ouverture d'alimentation.
- Forme cubique du produit final et la taille réglable de sortie.
- Marteau en Chrome et plaque spéciale de choc.
- Adoption de la technologie de bras hydraulique, entretien facile.

Inconvénients :

- Importante consommation de Puissance.
- Faible capacité de broyage.
- Faible précision du Système de réglage de granulométrie.

II.12.2 La deuxième solution : Concasseur à marteaux :**Principe de fonctionnement :**

Le concasseur à marteaux est largement utilisé dans une variété d'industries. Il peut être utilisé pour concassage primaire, concassage secondaire, voire dans un troisième stade de concassage. Il peut séparer la grande taille et de petite taille en deux parties directement.

Avantage :

- Structure simple.
- Facile à utiliser et à entretenir.
- Rentabilité financière (Economie et à moindre cout).
- Avec une grande taille d'alimentation à l'entrée comme à la sortie.

Lacunes du concasseur à marteaux :

- Usure des marteaux.
- Contrôle et suivie des grilles du tamis. Surtout dans les conditions suivantes :
- Matériaux à broyer en substance dure.
- Matériaux à broyer humides et/ou collants.

Ces conditions favorisent le bouchage des mailles du tamis pouvant atteindre 90% de la surface de tamisage, et le dysfonctionnement du système de broyage (Marteaux et Matrice) causant ainsi un frottement intensif arrivant parfois à l'arrêt de la machine

II.12.3 Troisième solution : Concasseur à mâchoires**Principe de fonctionnement :**

Le concasseur à mâchoires s'adapte au concasseur moyen dont les matériaux de taille moyenne ayant une résistance à la compression de 320Mpa (maximum). Il est considérablement utilisé dans le domaine des minerais, des métallurgies, des matériaux à construction, la fusion, la route, l'industrie chimique, le chemin de fer, les travaux hydrauliques et d'autres industries etc.

Avantage :

- Cette série dispose de la plus large ouverture d'alimentation et des plus longues mâchoires ainsi que d'une plus grande course de concassage, haute fiabilité et efficacité.

- Fiabilité du Système de Lubrification, et facilité d'entretien.
- Structure simple.
- Stabilité du système avec faible coût.
- Système de réglage rapide et sûr.
- Économie d'énergie.
- Commodité d'installation et de désinstallation grâce aux Crochets de levage prévues dans la machine.

Inconvénients :

- Sensible à l'abrasivité du produit à concasser.
- Difficulté de passage en cas de matériaux collant.

II.12.4 Quatrième solution : Broyeur centrifuge à axe vertical :

Principe de fonctionnement :

L'alimentation en matière se fait à partir de la zone (A), puis le broyage se fait dans la zone (B) par un rotor et sous l'effet de force centrifuge. La matière passe à travers la grille de sélection (C) dont elle subit un nouveau broyage pour aboutir à la granulométrie désirée.

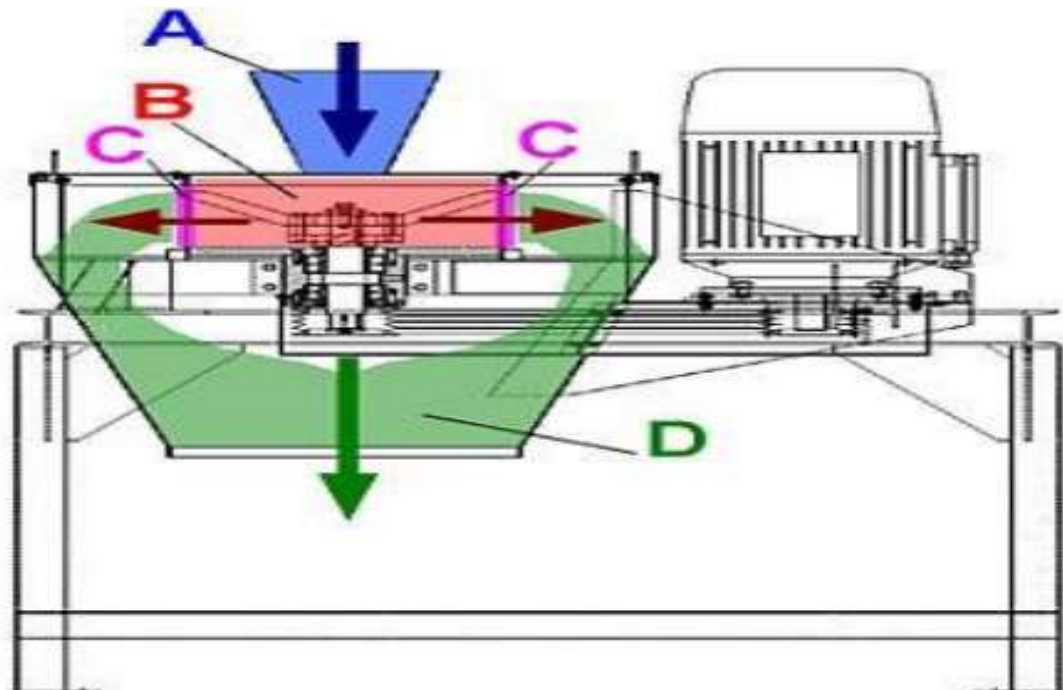


Figure (II.13) : Broyeur centrifuge à axe verticale.

Avantages

- Il peut produire diverses granulométries grâce à la facilité de changement de la grille.
- Il est caractérisé par des dimensions réduites.
- La capacité de broyage importante.

Inconvénients

- Importante Puissance consommée.
- La fabrication de la grille de sélection est assez délicate.
- Possibilité de bouchage et de colmatage au niveau de la grille de sélection.

II.13 Critères de choix du broyeur :**➤ Performance, usage et prix :**

Le rapport de réduction de destruction des matériaux varie selon la technique utilisée. Il est de 10 à 12 pour le broyeur à barres ou plaques de choc, par contre, de 20 à 30 pour le broyeur à marteaux. Le débit est lui aussi très variable : de 100 à 2000 t/h pour les broyeurs à marteaux, de 40 à 800 t/h pour les broyeurs à barres ou plaques de choc et seulement de 150kg/h à 120t/h pour les broyeurs à galets.

➤ Capacité d'admission :

Les dimensions de la chambre d'alimentation varient selon le type de broyeur utilisé :

Pour les broyeurs à marteaux ils peuvent arriver à H=1000 ; l= 1800 ; L=3200 mm, pour les Broyeurs à plaques de chocs H=400 ; l=1200 ; L=2900mm. Après cette étude, on a retenu la solution d'un broyeur à marteaux vu qu'elle répond aux exigences demandées.

II.14 Les avantages de ce système sont :

- Longue durée de vie.
- Facilité de remplacement des pièces de rechange.
- Simplicité de la réalisation et de la maintenance.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons introduit la définition du broyage est les régimes de fonctionnements. Dans ce sens, le besoin de recyclage devient évident. Par conséquent, nous avons mentionné les avantages. Le recyclage et la principale étape sur laquelle il repose : broyage des déchets, des roches, etc. En outre, nous avons fourni différents types de broyage ainsi que des machines à l'échelle industrielle, nous pouvons choisir selon des critères bien définis les solutions technologiques les plus adaptées qui répondent aux exigences industrielles.

CHAPITRE III :
GENERALITES SUR LA MAINTENANCE
DES BROYEURS

III.1 Introduction

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines ‘manus’ et ‘tenere’, est apparu dans la langue française au XIIe siècle. L’étymologiste « Wace » a trouvé la forme ‘ mainteneur’ (celui qui soutient), utilisée en 1169 : c’est une forme archaïque de «mainteneur». Les utilisations anglo-saxonnes du terme sont donc postérieures. À l’époque moderne, le mot est réapparu dans le vocabulaire militaire :«Maintien dans des unités de combat, de l’effectif et du matériel à un niveau constant». Définition intéressante, puisque l’industrie l’a repris à son compte en l’adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique » [24].

III.2 Présentation de la maintenance

III.2.1. Définition de la maintenance

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

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

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

III.2.2 Objectifs de la maintenance

❖ **Maîtriser les équipements**

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

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

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

❖ **Optimiser les coûts**

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

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

- Faire des interventions « propres » n'affectant pas la qualité des produits
- Faire des interventions « sûres » respectant la sécurité de tous
- ❖ **Être un acteur influant pour la pérennité de l'entreprise**
- Coopérer avec les autres services opérationnels de l'entreprise
- S'intégrer à un processus d'amélioration continue
- ❖ **Préserver l'environnement**
- Lutter contre les pollutions et les nuisances
- Appliquer une politique pour l'économie d'énergie
- ❖ **Travailler dans des conditions de travail motivantes**
- Gestion des carrières
- Programmes de formations

III.2.3 Missions de la maintenance

Les principales missions de la maintenance sont :

Assurer la maintenance des équipements de production

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

Améliorer l'équipement de production

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

Prendre en charge les travaux neufs ou les travaux de démontage

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

III.2.4. Types de maintenance

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

montre les différents types de maintenance accessibles à une entreprise. Des types différents peuvent être appliqués à des équipements différents.

III.2.4.1 La maintenance corrective

- + Définie comme une maintenance effectuée après défaillance (AFNOR X 60-010)
- + Appelée aussi maintenance réactive
- + Elle est caractérisée par son caractère aléatoire et souvent synonyme d'arrêt machine
- + Requiert des ressources humaines compétentes et des ressources matérielles (pièces de rechange et outillage) disponibles sur place
- + La maintenance corrective débouche sur deux types d'intervention :
 - Le premier type est à caractère provisoire, ce qui caractérise la maintenance palliative
 - Le deuxième type est à caractère définitif, ce qui caractérise la maintenance curative.
- + Chaque défaillance doit être analysée par le service maintenance, et consignée dans le dossier machine.
- + Si la défaillance risque de se reproduire, il convient d'adopter la bonne attitude pour y faire face :
 - ✓ soit trouver une solution pour l'éviter, ou la rendre moins fréquente (fiabilisation du matériel)
 - ✓ soit préparer l'intervention pour diminuer le temps d'intervention dans le futur avec des schémas logiques de dépannage, des gammes types de réparation, des systèmes d'auto diagnostic ou des systèmes experts
 - ✓ soit diminuer les conséquences de la défaillance en adoptant une maintenance préventive systématique ou conditionnelle qui permettra au service maintenance d'intervenir en temps masqué (sans provoquer un arrêt de la production).

III.2.4.2 Maintenance palliative

La maintenance palliative est une maintenance qui s'attache à la correction de tout Incident identifié, et empêche la poursuite de celui-ci, c'est une intervention rapide pour pallier au plus urgent, en attendant de trouver une solution ou une correction définitive plus rassurante. La maintenance palliative permet de :

- Localiser l'incident.
- Mettre en place une solution provisoire permettant de poursuivre l'exploitation.

III.2.4.3 Maintenance curative

La maintenance curative est une maintenance qui s'attache à corriger tout incident identifié, il s'agit d'une intervention en profondeur et définitive pour réparer un équipement de façon définitive. La maintenance curative permet de :

- Localiser l'incident.
- Développer une solution.
- Permettant de rendre la machine conforme.

III.2.4.4 Maintenance préventive

III.2.4.4.1 Maintenance préventive systématique

- ✚ Maintenance effectuée selon un échéancier
 - Connaissance des durées de vie des organes
- ✚ Domaine d'utilisation
 - ✓ Équipement avec normes de sécurité très strictes (exemple : avions, cars, ...)
 - ✓ Équipement dont l'arrêt imprévu coûte très cher (difficulté de redémarrage)
 - ✓ Équipement dont le dérèglement provoque des dépenses anormales d'énergie
 - ✓ Maintien de l'état de propreté des machines
 - ✓ Remplacements périodique et systématique de certains éléments
- ✚ Intérêts de la maintenance systématique
 - ✓ Éviter les détériorations importantes d'autres constituants. Donc réduire les coûts de réparation
 - ✓ Diminuer les risques de dommage et les coûts résultant de l'indisponibilité.
 - ✓ Accroître la sécurité des personnes et des biens
 - ✓ Effectuer dans de bonnes conditions les opérations de maintenance programmée.
- ✚ Son inconvénient est qu'elle engendre des coûts parfois élevés (changement quel que soit l'état du composant)

III.2.4.4.2 Maintenance préventive conditionnelle

- ✚ Effectuée suite à un type d'événement prédéterminé (mesure, diagnostic)
- ✚ Permet de décider du changement de la pièce en fonction de l'évolution de l'usure qui est mesurée régulièrement
 - ✚ Cette mesure pourra se faire parfois très simplement avec un simple témoin (pneus, plaquettes de frein), une mesure d'intensité, de tension, de pression, etc.
 - ✚ Peut nécessiter des instruments de mesure ou d'analyse plus coûteux et complexes, nécessitant l'aide d'un spécialiste (analyse d'huile ou de vibrations)
 - ✚ Peut s'appliquer aux procédés mécaniques (usure progressive), aux machines tournantes (vibration des paliers ou roulements), aux procédés transportant ou utilisant des fluides (détection de fuites)

✚ Non applicable pour les composants électriques ou électroniques car ils sont des composants dits à défaillance soudaine (non progressive), et aléatoire (taux constant pendant une durée fixe)

III.3 Opérations de maintenance

III.3.1 Opérations de maintenance corrective

a) Dépannage

C'est une action en vue de remettre le matériel en état de fonctionnement. Compte tenu de son objectif, c'est une action de dépannage s'accommodant avec les résultats provisoires (maintenance palliative) et avec des conditions de réalisation, elle sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation sont à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps. Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant de façon continue dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

b) Réparation

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

III.3.2 Opérations de maintenance préventive

a) Inspections

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

b) Visites

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

c) Contrôles

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

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

III.4. Causes et solutions des pannes du broyeur

III.4.1. Causes et solutions des pannes du broyeur à marteaux.

Le palier est surchauffé.

Causes : manque de graisse ; trop de graisse ; détérioration de la graisse ; endommagement du palier.

Solutions : remplir des graisses appropriées ; assurer le volume de la graisse inférieur à 50% de son espace ; nettoyer le palier ; remplacer la graisse ; remplacer le palier.

La granularité d'évacuation est trop grande.

Causes : usure du marteau ; déchirure du tamis.

Solutions : Remplacer le marteau ; remplacer le tamis.

La production se baisse.

Causes : blocage de l'écart du tamis ; alimentation inégale.

Solutions : Arrêter de fonctionner, nettoyer les blocages dans le fossé du tamis ; ajuster l'alimentateur.

L'accouplement se produit des bruits de percussion.

Causes : relâchement de l'axe ; usure de l'anneau élastique ;

Solutions : arrêter la machine et serrer l'écrou de l'axe ; remplacer l'anneau élastique.

L'intérieur de la machine se produit des bruits de percussion.

Causes : relâchement de la garniture de percussion, rupture du marteau ou d'autres parties.

Solutions : arrêter la machine, nettoyer la chambre de broyage ; vérifier le serrage de la garniture de percussion et l'écart entre le marteau et le tamis, remplacer des pièces de fracture.

La machine vibre.

Causes : sous-exigences l'équilibrage statique du rotor à cause du remplacement du marteau et de l'usure du marteau ; fracture du marteau et de l'axe ; fissure de la plaque triangulaire.

Solutions : Retirer le marteau, choisir le marteau par le poids afin d'équilibrer les poids de tous les arbres ; remplacer le marteau ; remplacer l'axe [25].

III.4.2. Causes et solutions des pannes du broyeur à billes

Vibration des engrenages et pignons

- **Rétroaction insuffisante** : Éloignez le pignon du broyeur du pignon et viriez le jeu correct selon les instructions séparées.

- **Hors de niveau** : Réalignez l'engrenage et le pignon en utilisant un calage entre la base du palier de tourillon et la plaque de semelle à l'extrémité inférieure.
- **Jeu excessif** : Déplacez l'engrenage du broyeur vers le pignon et viriez le jeu correct selon les instructions séparées.
- **Pas de charge** : La vibration dans ces conditions est une conséquence naturelle, comme expliqué dans les informations du paragraphe intitulé « Démarrage de l'usine ».

III.5. Température excessive du palier de tourillon.

- **Désintégration du grout** : Très souvent, lorsque le jointoiment n'est pas conforme aux spécifications, les vibrations du moulin ont tendance à désintégrer le jointoiment. Dans la plupart des cas, la désintégration commence entre la semelle et la surface supérieure du coulis près ou sur la ligne médiane verticale du broyeur. À mesure que cela continue, le poids du broyeur fait que la semelle et la base du palier de tourillon se plient avec une action de pincement résultante sur le côté du palier près de la ligne médiane horizontale du broyeur. Ce pincement coupera et essuiera le lm d'huile du journal et se manifesterà de la même manière que si l'alimentation en lubrifiant avait été coupée. Si la désintégration du coulis est limitée à environ 0.050 " et ne semble pas progresser davantage, la situation peut être corrigée en appliquant une quantité correspondante de calage entre la base de palier de tourillon et la plaque de semelle près de la ligne centrale du broyeur de telle manière que la base de palier de tourillon soit revenue à sa position dimensionnelle normale. Si, en revanche, le jointoiment est supérieur à 0.050 " et semble progresser encore, il est conseillé d'arrêter les opérations jusqu'à ce que la semelle ait été rejointoyée.
- **Point haut sur la bague** : Bien que toutes les bagues de broyeur à boulets soient grattées dans l'atelier pour s'adapter soit à un mandrin de gabarit soit à la tête à laquelle elles doivent être montées, il existe néanmoins une certaine quantité d'assaisonnement et de changement dimensionnel qui se produit dans le type de métaux utilisés. Par conséquent, si des points hauts sont détectés, le moulin doit être relevé, les bagues retirées et raclées. Bluing peut être utilisé pour aider à détecter les points hauts.
- **Caoutchouc excessif sur le côté de la douille** : Cela est dû à un mauvais réglage des roulements dans le plan longitudinal. Dans certains cas, en particulier pour les broyeurs à sec ou les broyeurs à clinker à chaud, l'expansion des broyeurs proprement dits peut expliquer cette condition. Dans tous les cas, il est possible d'y remédier en réajustant longitudinalement la base d'appui sur la semelle à l'extrémité opposée à l'entraînement.
- **Débit d'huile insuffisant** : Augmentez l'approvisionnement en huile s'il s'agit d'un système d'huile d'inondation. Si de la graisse à brique est utilisée, il est possible que la qualité particulière de la brique

ne soit pas applicable à la température réelle du roulement. Reportez-vous aux remarques de ce manuel sous le paragraphe intitulé « L'urtication.

- **Charge de bord sur des roulements rigides** : Ceci doit bien évidemment être corrigé par l'utilisation d'un calage entre la base du palier de tourillon et la semelle.
- **Impuretés dans le système d'huile** : remplacez le filtre d'huile si nécessaire. Essayez également de déterminer la source d'entrée de ces matières étrangères [26].

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de mémoire se présente comme une contribution à l'étude de la fragmentation, le concassage et le broyage. Nous avons pu de donner les différences qui existent entre ces trois concepts et leur importance primordiale dans les différents domaines de la vie quotidienne.

Nous avons donné les différents types de broyeurs, leur principe de fonctionnement et leur caractéristique et la maintenance des broyeurs à marteaux et à bille.

En fin, ce travail a permis aussi, de développer les connaissances dans ce domaine.

Références bibliographiques

- [1] cahier-technique-la-fragmentation n19-p2
- [2] Mimosiar d'étude et conception appareil de broyage et de classement en vue de la concentration des déchets de société kraomita malagasy-2003-
- [3] Opérations sur les solides pulvérulents (Marie Debacq)-février2020
- [4] Opérations sur les solides pulvérulents –Cnam Paris, France. 2020-(Marie Debacq)
- [5] SELFRAG, «SEFRAG révolutionne le traitement des scories des usines d'incinération d'ordures ménagères.» 2014. [En ligne]. Available : <http://www.selfrag.com/pdf/pressrelease/1214/selfrag-pressRelease-FR-1214.pdf>
- [8] S. Gaydardzhiev, Mineral Processing I, Support de cours ULG, 2015.
- [9] N° 4/ 4ème trimestre 1999- ISSN (société de l'industrie minérale) Les techniques de l'industrie minérale. Concassage. (1999). N ; 622/29.4
- [12] Systèmes d'entraînement de broyeur à couronne Fonctionnement souple et adaptable aux besoins du broyage (p2).
- [3] Pierre Blazy, El-Aid Djdid, fragmentation –Technologie, technique de l'ingénieur, A5060, pp 5-11-19 (2007).
- [15] S. Gaydardzhiev, Mineral Processing I, Support de cours ULG, 2015.
- [16] Mémoire de fin d'études-rajoelisoa mbolanoro-etude et conception d'appareils de broyage et de classement en vue de la concentration des déchets de la société kraomita malagasy.
- [18] G.Beranger, j.croletetp.Cunat, Technique de l'ingénieur ; Matériaux.
- [19] C. BARLIER et R. BOURGEOIS, Mémotech : conception et dessin, édition 2003.
- [22] Messer, «Cryobroyage et recyclage selon Messer,» [En ligne]. Available : http://www.messer.fr/_globalDownloads/_Downloads_brochures/Brochure_Poudres_fines.pdf.
- [23] Cahier du CEPI N° 17 : Etude de positionnement stratégique de la branche Verre.
- [24] F. Monchy, J. P. Vernier, méthodes et organisations pour une meilleure productivité. Edition Dunod, Paris 2012, ISBN 978-2-10-057967-9.

[25] 15 Mercredi, 2012 à 08h08 Author: [zhou xia](#)

Webographies

[6] <http://www.planete-tp.com/le-concassage-a270.html>

[7] <https://www.ctp.be/fr/expertises/mineral-processing/fragmentation/concassage/>

[10] https://www.azprocede.fr/Cours_GC/fragmentation_concasseur_machoire.html

[11] 911metallurgist.com.

[13] Site internet [http : // www.herbold.com](http://www.herbold.com) (2014/2015).

[14] <https://www.ctp.be/fr/expertises/mineral-processing/fragmentation/broyage/>

[17] Internet <http://www.isve.com> (2009).

[20] metso.com.

[21] memitali.com, alibaba.com.

[26] www.911metallurgist.com/blog/ball-mill-maintenance-installation-procedure