

BROYAGE

5.1. Introduction

Le broyage est la dernière étape du processus de comminution. Il est accompli par un mécanisme combiné d'abrasion, d'attrition et d'impact soit en milieu sec ou humide (pulpe). Les particules sont réduites d'une dimension entre 5 et 200 mm jusqu'à 5 à 300 μ m dans des tambours cylindriques d'acier appelés *broyeurs (mills)* qui tournent, dans la plupart des cas, autour de leur axe longitudinal.

La fragmentation résulte de l'action (impact sur les particules) d'une charge broyante libre de se déplacer à l'intérieur du broyeur. La charge broyante peut être composée de boulets ou barres en acier, de roches dures ou du minerai même.



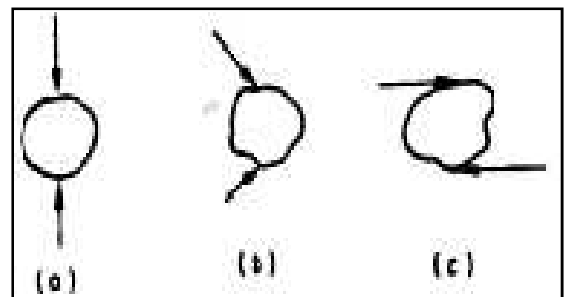
La dimension optimale de broyage d'un minerai dépend de divers facteurs tels la minéralogie, la dureté, l'appareil de classification utilisé, le procédé de séparation subséquent, etc. Un broyage insuffisant (produit trop grossier) peut se traduire par une faible récupération dans l'usine de séparation subséquente. Un broyage excessif peut se traduire par une réduction inutile de la dimension des particules de gangue déjà libérées. Il est aussi possible que la dimension des particules du minéral de valeur diminue aussi, et ce, jusqu'à un niveau où leur séparation soit inefficace. Il est alors très important que la dimension du produit final soit contrôlée de très près.

La consommation d'énergie dans le processus de broyage représente à peu près 50% de l'énergie consommée dans un concentrateur. On peut démontrer, en utilisant la relation de Bond présentée au chapitre 03, qu'on requiert 19% plus d'énergie pour broyer le matériel d'un tamis ($\sqrt{2}$) plus fin. Le mécanisme de broyage est extrêmement inefficace, car le contact entre les corps broyants et les particules est un processus aléatoire qui affecte aussi des particules déjà broyées. De plus, il existe beaucoup de contacts entre les corps broyants eux-mêmes, de sorte que la plupart de l'énergie fournie au broyeur est à toute fin pratique transformée en bruit et en chaleur.

La qualité du broyage dans les broyeurs est déterminée par la dimension, la quantité et le type de mouvement des corps broyants ainsi que par l'espace disponible entre eux. Étant donné que le broyage est un processus aléatoire, le degré de broyage d'une particule dépendra de la probabilité qu'elle entre dans une zone entre les corps broyants et qu'elle se fasse broyer une fois dedans. Tout facteur influant sur ces phénomènes devient une variable d'opération du procédé de broyage.

Le phénomène du broyage est le résultat de divers mécanismes (voir figure ci-dessous):

- (a) impact et compression, en raison des forces perpendiculaires aux surfaces,
- (b) burinage ou écaillage (chipping) à cause des forces obliques, et
- (c) abrasion due à des forces parallèles.



Le broyage est normalement exécuté en milieu humide (pulpe), mais dans certains cas, il se fait aussi en

milieu sec. Dépendant du procédé précédent et de la nature du produit recherché, l'alimentation du broyeur peut alors être un minerai sec ou une pulpe. Dans le cas des minerais, le broyage est plus efficace en milieu humide (typiquement 80% de solides en poids) tandis que lors de la manufacture du ciment ou du traitement de minerais d'amiante, il se fait en milieu sec.

Lorsqu'il s'agit d'un broyeur primaire (première étape de broyage après le concassage) en milieu humide, le minerai sec (contenant environ 3% d'eau) est mélangé avec de l'eau à l'entrée du broyeur.

Le broyage en milieu sec produit moins d'usure des blindages et moins de consommation de média. Il produit une plus grande proportion de fines particules, ce qui pourrait être recherché dans certains cas, et n'occasionne pas de dépenses en filtration et/ou séchage du produit final.

Le broyage en milieu humide, plus utilisé dans le traitement des minerais, présente les avantages suivants:

- # Moindre consommation d'énergie par tonne de minerai broyé
- # Plus grande capacité par unité de volume de broyeur
- # Possibilité d'utiliser le tamisage en humide ou la classification
- # Élimination du problème d'évolution de poussières
- # Facilité de transport des matériaux (pompes, tuyaux, etc).

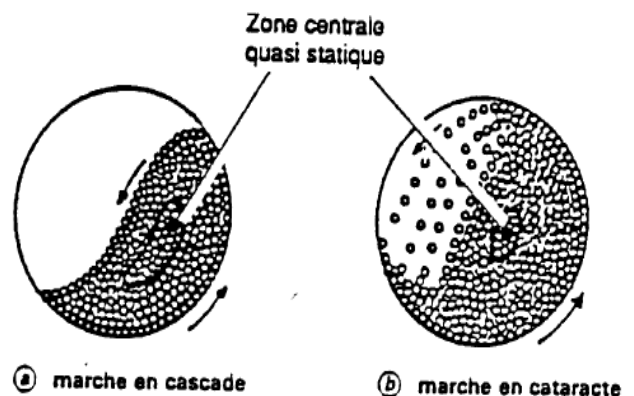
Sauf à l'échelle de laboratoire, le procédé de broyage est toujours accompli en continu, c'est-à-dire que le matériel est continuellement alimenté au broyeur (à débit constant), à partir d'une trémie d'alimentation. Après un certain séjour à l'intérieur de l'appareil, le matériel broyé sort, aussi de façon continue, par l'autre extrême. Le contrôle de la dimension du produit peut se faire par le type de média utilisé, la vitesse du broyeur, le temps écoulé dans le broyeur et le type de circuit utilisé.

5.2. Mécanismes de broyage

Les corps broyants n'ont pas un parcours préétabli comme dans le cas des concasseurs. Ils sont grands, lourds et durs par rapport aux particules mais petits par rapport au volume du broyeur. Ils occupent un peu moins de la moitié du volume du broyeur. Comme résultat de la rotation du broyeur, les corps broyants sont soulevés le long de la paroi intérieure jusqu'à une position d'équilibre dynamique, à partir de laquelle ils descendent vers l'endroit où se trouvent le reste de la charge et les particules (*pool*).

La vitesse de rotation détermine le type de mouvement de la charge.

À de **faibles vitesses de rotation**, la charge descend plutôt par un mouvement en ***cascade*** qui favorise la fragmentation par attrition et abrasion, donc la production de particules très fines. À des **vitesses plus élevées**, la charge décolle de la paroi et tombe suivant une trajectoire parabolique appelée ***cataracte*** pour aller frapper le reste de la charge et les particules dans la partie inférieure (*toe*) du broyeur. Si la **vitesse est plus grande** encore, la charge **frappera le blindage** au-dessus des particules, ce qui se traduira par une usure rapide du revêtement du broyeur et par une inefficacité d'opération. Si le broyeur tourne encore plus vite, la charge est "**centrifugée**" et ne décolle jamais.

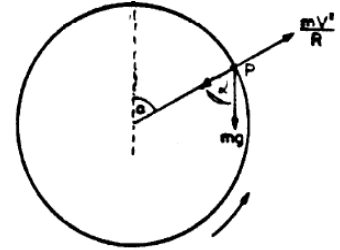


La vitesse minimale à laquelle ce phénomène se produit est appelée **la vitesse critique** du broyeur. La vitesse d'opération d'un broyeur doit donc être une fraction de la vitesse critique (entre 50% et 90%). Le choix de la vitesse est déterminé par des considérations économiques. Une vitesse plus élevée se traduit normalement par une plus grande capacité, mais le broyage est plus grossier et les risques d'usure du blindage sont aussi plus élevés. La vitesse critique peut être calculée à partir d'un bilan de forces sur un boulet à son point d'équilibre dynamique:

$$mg \cos \alpha = \frac{mv^2}{R} = \frac{m(\omega R)^2}{R} = \frac{m(2\pi NR)^2}{R}$$

à $\alpha = 0$, $N = N_c$ en [rpm], de sorte que ($D = 2R$):

$$N_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{D}} = \frac{42.3}{\sqrt{D}}$$



et si on tient compte de la dimension des corps broyants (d) :

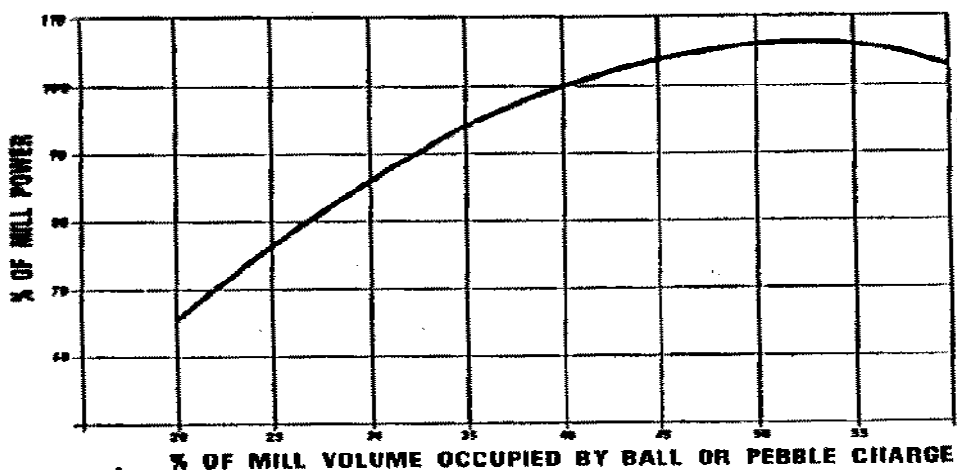
$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}}$$

5.2.1. Degré de remplissage et capacité de broyage

Ces équations supposent qu'il n'y ait pas de glissement entre les boulets et les parois, un facteur de sécurité de 20% étant habituellement considéré à cet effet. La dimension des corps broyants est aussi déterminante dans le degré de broyage: plus la dimension est grande, plus il sera difficile pour les corps d'entrer à l'intérieur de la charge et d'être entraînés dans le mouvement ascendant. D'un autre côté, il faut éviter des corps broyants trop petits, car ils n'auraient pas la masse suffisante pour briser les particules.

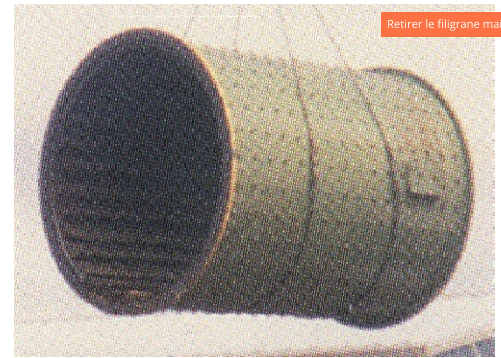
4.2.1 Degré de remplissage et capacité de broyage

La puissance consommée à une vitesse de rotation donnée augmente avec le degré de remplissage du broyeur jusqu'à un maximum, environ 40-50% du volume interne du broyeur, 40% de ceci étant des vides (figure ci-dessous à gauche). Plus la vitesse de rotation est élevée, plus faible est le degré de remplissage optimal. Il est possible de démontrer que la puissance consommée par un broyeur est proportionnelle au produit entre le diamètre à la puissance 2,5 et la longueur. La capacité d'un broyeur est en première approximation, proportionnelle à la puissance consommée, donc à $L \cdot D^{2.5}$. En général, les grands broyeurs sont plus performants que les petits.

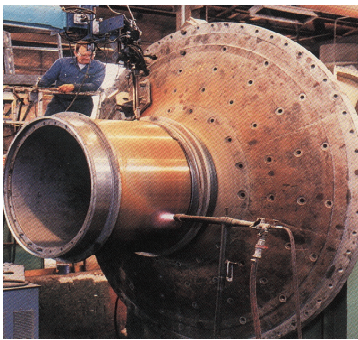


5.3. Description des broyeurs

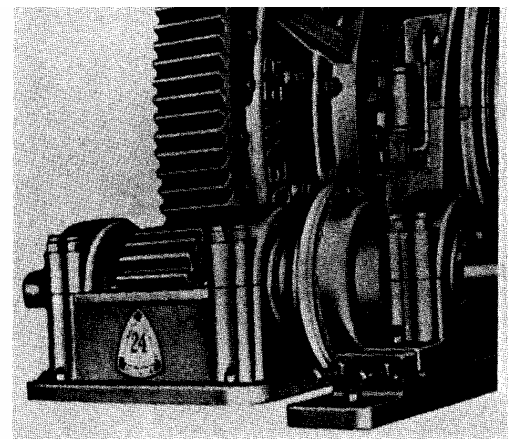
Les broyeurs consistent essentiellement en un tambour cylindrique, appelé *virole* ou *carcasse (shell)* (figure ci-dessus à droite), recouvert intérieurement avec un revêtement protecteur (*liners*) qui sert en même temps à hisser (*lifters*) les corps broyants. Le tambour est supporté de façon à ce qu'il puisse tourner autour de son axe longitudinal, sur des *tourillons vides (hollow trunnions)* attachés aux extrémités de la carcasse (*shell ends*).



La carcasse est faite en tôles d'acier soudées. Elle comporte des trous pour les boulons nécessaires pour retenir le revêtement et peut aussi être munie de trous d'inspection (*man hole*). Les extrémités de la carcasse comportent des brides soudées pour attacher les extrêmes des tourillons. Autour de ces derniers, se trouvent les roulements (*bearings*) qui permettront au broyeur de tourner librement et le système d'engrenages (*gear*) qui le connecte au système moteur (*drive*).

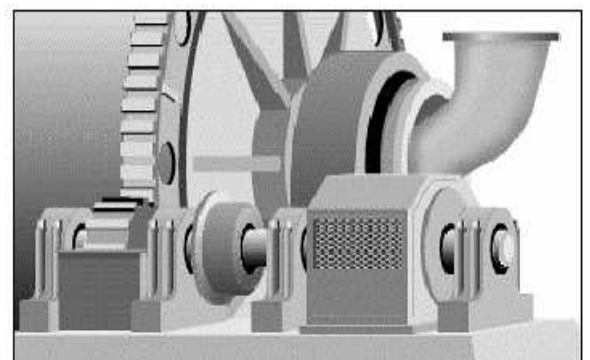


L'alimentation entre au broyeur par un extrême tandis que le produit peut sortir par l'autre extrême (sortie périphérique ou axiale) ou par des sorties centrales (placées à la moitié du broyeur). Le diamètre du broyeur détermine la pression qui sera exercée par la charge sur les particules. En général, plus l'alimentation est grossière, plus grand devra être le broyeur. La longueur complètera alors la détermination du volume et, en conséquence, la capacité du broyeur. Normalement, les broyeurs sont actionnés par un moteur synchrone par l'intermédiaire d'un système de pignon et crémaillère (**figure à droite**).



Il existe aussi des broyeurs actionnés par un moteur "sans engrenages", où le rotor du moteur est construit sur la carcasse même et le stator placé autour d'elle.

Évidemment, le moteur est à vitesse variable, ce qui est un grand avantage pour la commande automatique du broyeur. Ces broyeurs sont de plus en plus utilisés dans les usines dernièrement construites.



Blindage. Les parois internes du broyeur sont recouvertes d'un *blindage* ou *revêtement* pour les protéger des impacts des boulets et de l'abrasion. Dans certains cas, le blindage sert aussi à faciliter la remontée de la charge (*lifting*). Il y a une variété énorme de modèles de blindage: le blindage lisse mène à des produits plus fins (abrasion), tandis que le blindage ondulé permet plus d'impacts, donnant lieu à des produits plus grossiers avec moins d'usure. Il est important de maximiser la durée du blindage car son coût est une des contributions importantes au coût total de broyage: il est très dispendieux de même que la main d'oeuvre pour l'installer.



Dernièrement, le blindage en caoutchouc a remplacé avantageusement le blindage en acier dans certaines applications. On rapporte cependant une consommation d'acier plus élevée et il n'est pas adéquat si la température dans le broyeur excède 80 C ou lorsqu'on ajoute au broyeur des réactifs pour la flottation. Un type de blindage assez différent est le blindage magnétique qui consiste en des plaques de matériel magnétique adhérant à la paroi du broyeur. Si le minerai est moindrement paramagnétique, il se verra attiré par le blindage constituant alors en lui-même une couche de revêtement (voir ci-dessous). Pour de tels blindages, on rapporte des consommations d'énergie 11% moindres et des consommations de média 30% inférieures aux blindages standard.

5.4 Types de broyeurs

5.4.1 Broyeurs à barres

Ils sont considérés à la fois comme des machines à concassage fin et comme des machines à broyage grossier. Ils peuvent traiter des particules aussi grossières que 50 mm et produire des particules de 300 μm et moins avec des rapports de réduction se situant entre 15:1 et 20:1.

La caractéristique la plus distincte des broyeurs à barres est le rapport longueur vs le diamètre (1.5 à 2.5).

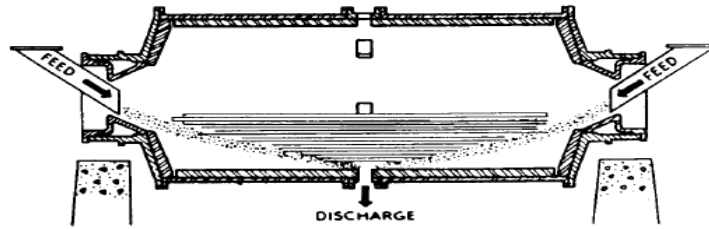
Ceci est important puisque les barres (seulement quelques centimètres plus courtes que la carcasse) ne doivent pas se mettre de travers dans le broyeur et coincer les barres restantes. Il est bien établi que la longueur des barres ne peut dépasser 6.4 m, car au-delà de cette valeur, les barres risquent de se courber et produire de l'enchevêtrement. La puissance requise par ces broyeurs peut être estimée selon la formule de Bond avec certains facteurs de correction pour des broyeurs à barres. Un moteur typique pour un broyeur de 4.6m par 6.4m est de 1640 kw. On peut classer les broyeurs à barres par la nature de leur décharge:

- # Périphérique centrale, utile quand il s'agit de gros tonnages et de produits plutôt grossiers,
- # Périphérique extrême, produits d'une granulométrie moyenne, et
- # Par trop-plein (overflow), pour la production d'une alimentation pour broyeurs à boulets.

Dans ce dernier cas, le débordement est obtenu par une différence entre le diamètre du tourillon d'entrée et celui de sortie (10 à 20 cm). Le tourillon de sortie a aussi une spirale qui permet d'extraire continuellement les petits morceaux de barres cassées. Ces broyeurs sont normalement chargés avec une sélection de barres de diamètres assortis (de 25 à 150 mm) dans une proportion donnant une surface broyante optimale. Les barres à diamètre inférieur ont une surface spécifique plus élevée, donc une plus grande efficacité de broyage. Elles ont cependant une vie utile plus restreinte. Le diamètre maximum des barres ne devrait pas dépasser celui requis pour broyer les particules les plus grandes. Les barres rendues plus petites que 25 mm devraient être retirées pour empêcher de gêner le fonctionnement correct des

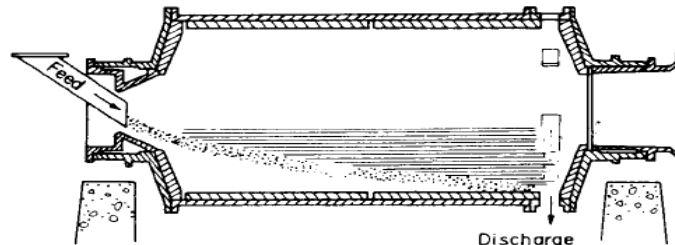
autres. Une charge optimale correspond à environ 45% du volume total du broyeur. La consommation typique de barres est entre 0.1 et 1 kg d'acier par tonne de minerai (broyage en humide).

Décharge
périphérique
centrale



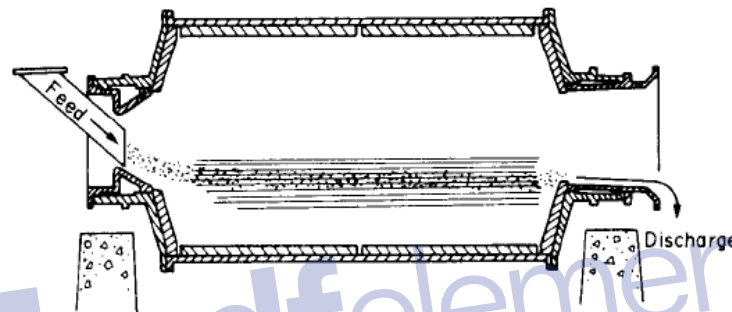
produit grossier

Décharge
périphérique
extrême



broyage en
milieu sec
produit fin

Décharge
par
débordement



broyage en
milieu humide
produit fin

Les broyeurs à barres sont normalement opérés entre 50 et 65% de leur vitesse critique, donc ils favorisent plutôt le mouvement en cascade par rapport à celui en cataracte. La densité de la pulpe alimentée varie entre 65 et 85% de solides (par poids), des alimentations à granulométrie plus fine requérant des densités de pulpe plus faibles. L'alimentation relativement grossière force les barres à se séparer du côté de l'entrée, ce qui augmente la tendance à concentrer le broyage sur les particules les plus grossières, limitant ainsi la production de particules trop fines. On parle alors d'un effet de classification des broyeurs à barres. La granulométrie des produits obtenus est beaucoup plus étroite.

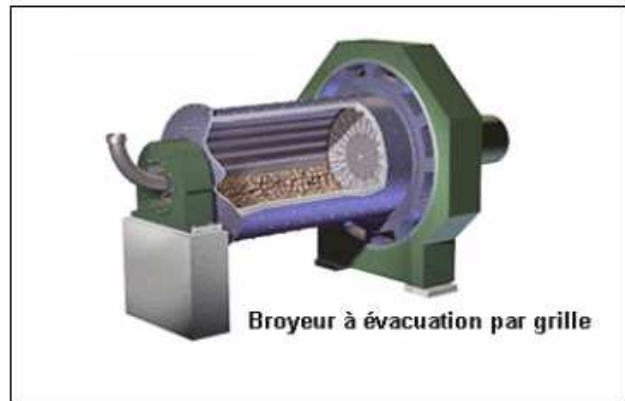
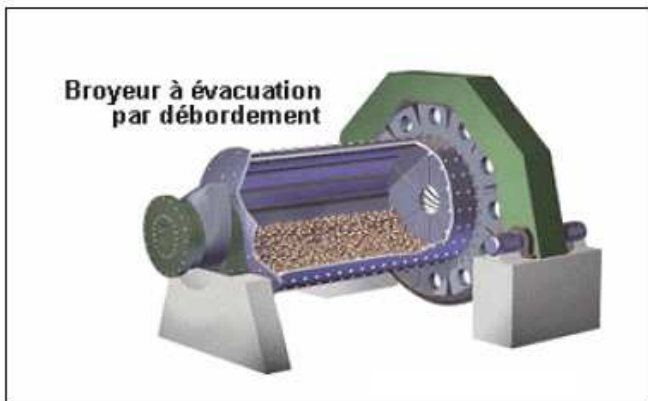
5.4.2. Broyeurs à boulets

Ils servent aux dernières étapes du broyage (broyage fin). La charge broyante est constituée de *boulets* (*balls*), des *cônes* (*slugs*) ou autres formes avec des diamètres allant de ½" à 6", leur dimension étant déterminée par la granulométrie du matériel à broyer. Le rapport longueur/diamètre dans ce type de broyeurs varie entre 1 et 1.5. Il existe cependant des broyeurs avec un rapport supérieur à 3, appelés broyeurs tubulaires (tube mill); ils sont très utilisés dans les cimenteries.

En général, les broyeurs à boulets opèrent à des vitesses plus élevées que celles des broyeurs à barres (70-80% Nc). Le mécanisme de fragmentation plus important est donc l'impact (cataracte).

Même si le mécanisme d'usure des boulets le plus important est l'abrasion, lors du broyage en milieu humide, l'usure par corrosion est aussi non négligeable, comptant pour 10% de l'usure totale. Les broyeurs à boulets sont aussi classifiés selon leur façon de décharger le produit. On en trouve de deux types: (a) à grille (*grate discharge*), et (b) par trop-plein (*overflow discharge*).

Les premiers ont une grille à l'extrémité de décharge servant à empêcher la sortie des boulets tout en laissant passer la pulpe. Ils peuvent travailler avec un niveau de pulpe plus bas que ceux à débordement, ce qui réduit le temps de séjour de la pulpe dans le broyeur. La production de fines est minime et les particules trop grossières doivent être recyclées au broyeur.



Les broyeurs à grilles sont utilisés pour le broyage de minerais ayant une granulométrie plutôt grossière ou bien lorsque le produit du broyage requis n'est pas trop fin, car dans un tel cas, les petits boulets qui seraient nécessaires risqueraient de bloquer la grille. La décharge des particules ayant passé la grille se fait grâce à des relevateurs placés entre celle-ci et l'extrémité de décharge.

Les broyeurs à décharge par trop-plein sont les plus utilisés dans l'industrie, spécialement pour le broyage fin et le rebroyage. Ils consomment environ 15% moins d'énergie que ceux à grille. La décharge des particules broyées s'effectue grâce à la différence des diamètres d'entrée et de sortie ($D_o > D_i$). Les boulets rendus trop petits sont normalement déchargés avec la pulpe de sortie et restent sur le tamis recouvrant le trommel de sortie.

Le calcul des broyeurs à boulets se fait par la méthode de Bond qui permet d'estimer la puissance requise pour accomplir une tâche spécifique (tonnage et granulométrie du produit). Le choix du broyeur capable de consommer une telle énergie se fait d'après les catalogues des fabricants.

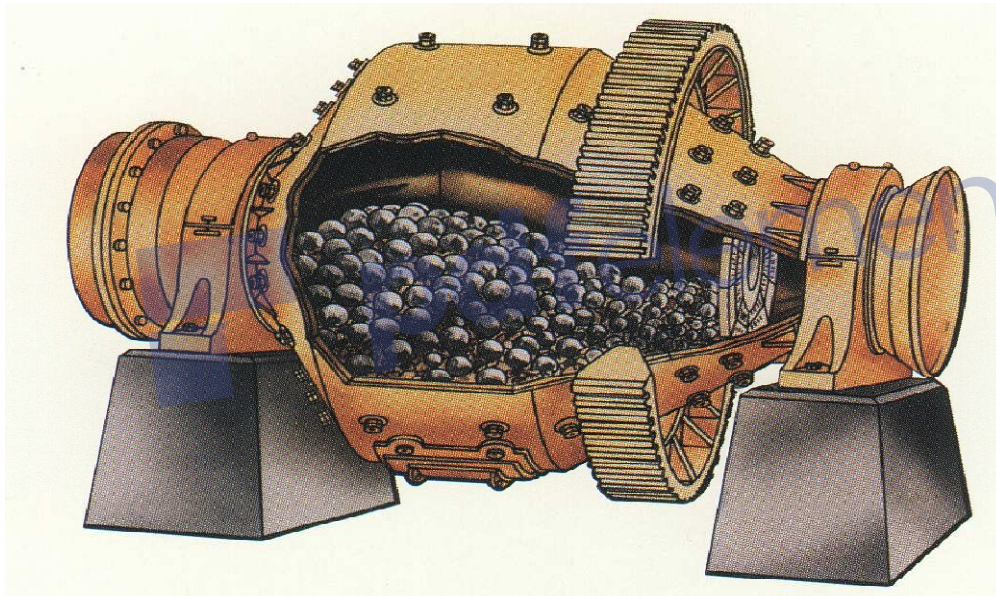
Dans un broyeur à boulets, le broyage se fait par le contact ponctuel entre les boulets et les particules. C'est un processus hautement aléatoire (la probabilité d'une particule grossière est la même que celle d'une particule plus petite). Pour donner aux particules grossières une plus grande chance d'être broyées, il faudrait allonger le temps de séjour dans le broyeur, ce qui augmenterait aussi les chances de surbroyage des particules déjà broyées.

L'alternative est de donner un temps de séjour plutôt restreint et classer immédiatement le produit de décharge ayant une gamme très large de dimensions, en un produit final composé des particules fines et un flux de recycle correspondant à la partie grossière, appelée *charge circulante*. En dessous d'une certaine limite, une charge circulante élevée augmente la capacité utile du broyeur.

La charge circulante varie habituellement entre 100 et 400%. Il faut éviter de trop dépasser la limite supérieure, car on augmenterait alors l'usure des équipements et tuyaux. **Ce sujet sera analysé plus en détails à la section 5.5.**

L'efficacité du broyage à boulets est influencée par plusieurs facteurs. La densité de la pulpe doit être aussi élevée que le permet l'écoulement du matériel, car une pulpe trop diluée favorise les chances de contact boulets-boulets et conduit à une usure accélérée des boulets. Une pulpe à pourcentage de solides élevé augmente la probabilité de contact boulets-particules, quoique elle rend plus difficile le transport de la pulpe à l'intérieur du broyeur. Les broyeurs à boulets opèrent normalement entre 65 et 80% de solides. L'efficacité dépend aussi de la surface des boulets, ceux-ci doivent, en conséquence, être d'une dimension aussi petite que le permet la dimension des particules à broyer. Afin de s'ajuster aux différentes dimensions de particules retrouvées dans le broyeur, la charge totale doit contenir des boulets de toutes dimensions afin de broyer efficacement toutes les classes des particules existantes. Le renouvellement de la charge se fait périodiquement par addition des boulets de la dimension la plus grande. La charge de boulets représente environ 40 à 50% du volume interne du broyeur, 40% de ce volume étant des vides entre les boulets.

Le broyeur de **Hardinge** ou **tricône** (voir figure ci-dessous) est un modèle particulier de broyeur à boulets où une ségrégation des boulets est générée par la forme conique de son extrémité de décharge. De cette façon, les particules les plus grossières retrouvent à l'entrée du broyeur les boulets les plus gros et, au fur et à mesure qu'elles avancent vers la sortie, elles retrouvent des boulets plus petits, donc plus en rapport avec la taille des particules qui existent.



5.4.3. Broyeurs autogènes

Comme son nom l'indique, le broyage autogène utilise le minerai lui-même pour effectuer la fragmentation. Donc, ils n'utilisent pas de charge broyante d'acier (boulets ou barres). En général, pour qu'un tel type de broyage soit possible, le minerai doit rencontrer certains critères, notamment ceux de *dureté* et de *compétence*, qui permettent aux gros morceaux de minerai de broyer les particules plus petites, tout en se broyant eux-mêmes contre le revêtement du broyeur.

Le broyage autogène peut se faire en milieu sec ou humide. Lorsque la compétence du minerai est faible ou qu'elle varie trop, on utilise une charge réduite de boulets d'acier (6 à 10% du volume du broyeur) de 4" à 6" de diamètre pour aider le broyage. On parle alors de broyage *semi-autogène* (SAG). La plupart des usines dernièrement construites sont munies de ce type de broyeurs pour l'étape de broyage primaire en raison de ses multiples avantages.

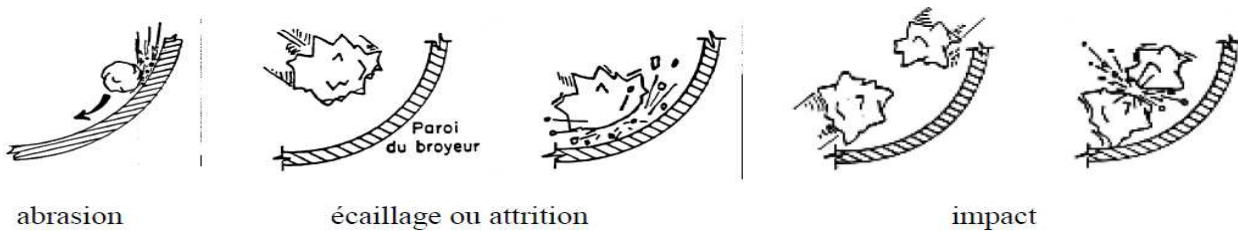
Typiquement, l'alimentation d'un broyeur autogène doit contenir au moins 25% de particules ayant une dimension supérieure à 150-200 mm. Quand la proportion de matériel grossier dans l'alimentation n'est pas suffisante, on utilise les broyeurs à galets (pebble mills). Dans ce cas, la partie plus grossière de

l'alimentation est séparée durant le concassage et elle est employée comme corps broyant dans l'étape de broyage fin (voir publicité en page 15). Les broyeurs autogènes ont une grille de décharge, nécessitant donc des releveurs pour retirer le matériel broyé. Les particules n'ayant pas atteint le degré de broyage désiré, sont obligées à rester à l'intérieur de l'appareil jusqu'à ce qu'elles aient une dimension leur permettant de passer les orifices de la grille de décharge.

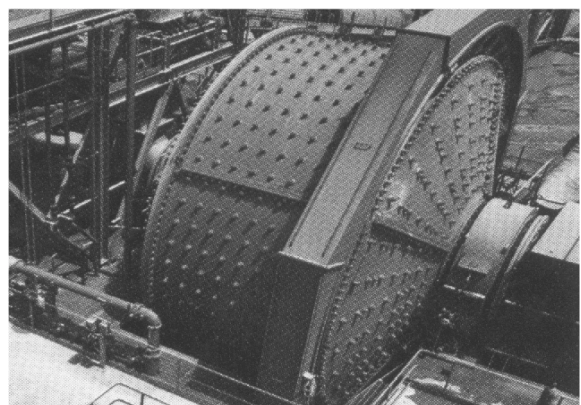
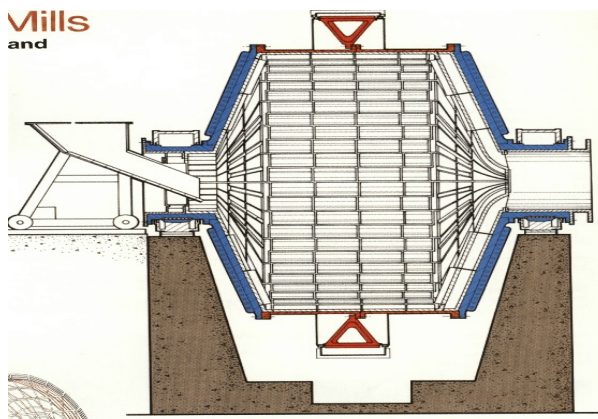
Celles-ci ont aussi quelques orifices plus grands pour permettre l'évacuation des particules de "dimension critique" (trop grosses pour être broyées, trop petites pour servir de corps broyants).

Les avantages de cette méthode de broyage sont un coût de capital inférieur, une bonne habileté à traiter des matériels collants et humides, des circuits plutôt simples, de l'équipement de grande dimension, une main d'oeuvre requise moindre, un minimum de dépenses en boulets ou barres et un produit non-contaminé de granulométrie uniforme.

Les figures suivantes montrent les différents mécanismes de broyage en jeu dans ce type d'appareils :



Essentiellement, il existe deux tendances dans le design des appareils de broyage autogène: la nord-américaine, avec des rapports **D:L** élevés (3 ou 4) et la scandinave, avec des rapports beaucoup plus faibles. Le premier type de broyeurs (**figures ci-dessous**) assure un niveau d'énergie d'impact élevé, idéal pour des minerais durs et du broyage primaire à grande capacité. Leur grand diamètre permet une vitesse de rotation plus faible, ce qui améliore le rapport d'engrenages, permettant ainsi de tirer plus de puissance qu'avec un système conventionnel à pignon, typique des broyeurs à faible rapport **D:L**. Les broyeurs appartenant au deuxième type sont idéaux pour le broyage en une seule étape, en raison du temps de séjour supplémentaire assuré par la longueur du broyeur.



Il existe plusieurs modalités d'agencement d'unités de broyage utilisant cette technologie, le choix dépend du type de minerai traité ainsi que des préférences de la région (Amérique du Nord vs Europe). **Ces circuits sont présentés à la page 00** et discutés en détails par **J. Bassarear** (Mining Engineering, Juin 1982, p.647-651).

Comparaison entre les différents types de broyeurs

Retirer le filigrane maintenant

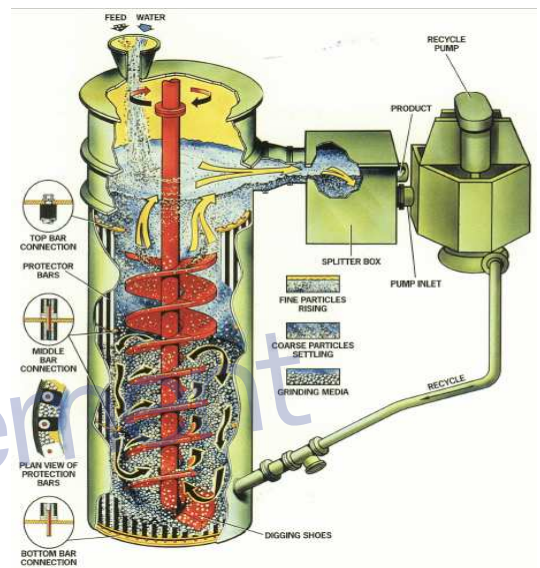
	Broyeurs à barres	Broyeurs à boulets	Broyeurs AG	Broyeurs SAG
Diamètre	2-5 m	2-7 m	2-11 m	2-11 m
Rapport longueur/diamètre	1.5 - 2.5	1 - 1.5	0.3 - 1.0	0.3 - 1.0
Charge en corps broyants	35-40%	30-45%	0%	6-12%
Vitesse de rotation*	55-70%	70-80%	70-80%	70-80%
% solide	80-85%	65-80%	65-75%	65-75%
Diamètre des corps broyants	5 - 10 cm	2.5 - 9 cm	n/a	10 - 15 cm
Taille du produit	0.5 cm et plus fin	0.1 cm et plus fin	5 cm et plus fin	5 cm et plus fin

* (% de la vitesse critique)

5.4.4 Autres types de broyeurs

5.4.4.1 Broyeur à tour (tower mill)

Ils servent à des broyages très fins et incorporent une sorte de classification interne. Ils utilisent des boulets très petits, de l'ordre de ½". En général, ils requièrent moins d'espace, sont moins bruyants et très efficaces du point de vue énergétique. Ils produisent un minimum de surbroyage et les coûts d'installation et d'opération sont aussi inférieurs (voir figure ci-dessous). Ils sont surtout utilisés dans les circuits de rebroyage. Au Canada, on retrouvait ce type de broyeur au concentrateur Sullivan (Cominco) en Colombie Britannique (aujourd'hui fermé).



5.4.4.2 Broyeurs à compartiments

Certains broyeurs incorporent deux ou trois sections séparées, chacune ayant un type différent de corps broyants (forme ou dimension). De cette façon, on économise sur le groupe moteur (un seul pour toutes les sections) et sur l'équipement de transport de la pulpe (pompes), tout en disposant de plus d'un type de broyeur. La figure présentée à gauche montre un de ces broyeurs dans lequel un compartiment est muni de barres tandis que le suivant est chargé avec des boulets. La pulpe passe d'une section à l'autre par simple débordement, économisant ainsi la pompe et le puisard qui auraient été nécessaires autrement. Un broyeur à deux compartiments chacun utilisant une sorte différente de boulets (figure suivante) a récemment été installé au concentrateur Goldstrike de Barrick au Nevada.

