

Un nouveau procédé de broyage

HOROMILL®

1. Génèse de l'Horomill

Le développement des presses à cylindres en prébroyage a montré l'intérêt du procédé de broyage par compression sur le plan énergétique par rapport au broyeur à boulets. Le Centre de Recherches de FCB a réalisé de nombreux travaux dans ce domaine et a notamment étudié l'intérêt de ce procédé en broyage intégral. Les résultats de ces recherches réalisées sur une installation pilote de une tonne à l'heure ont été présentés au CETIC en 1992 à Dunbar, on peut résumer les principaux résultats de la façon suivante.

- Le procédé de broyage par compression conduit à des énergies spécifiques nettement plus basses que celles obtenues en broyeur à boulets même dans des conditions optimales. Les taux de substitution (ratio entre les énergies spécifiques à même finesse requises par le broyeur à boulets et la presse) varient entre 1.4 et 1.8 pour du ciment. Ces chiffres déterminés grâce au FCB-index correspondent à des énergies de broyage en broyeurs à boulets pour des conditions optimales et sont donc des valeurs minimales; les taux de substitution pour des installations industrielles seraient en moyenne plutôt de 1.6 à 2.0 , si on retient un rendement moyen de 0.9 par rapport au FCB-index.
- Le taux de substitution augmente avec la finesse sensiblement proportionnellement à la racine carrée du Blaine; en revanche dans le même temps la prise devient plus difficile et moins stable et la charge circulante augmente proportionnellement à la finesse. A noter que l'augmentation de la charge circulante s'accompagne d'une modification importante de la courbe granulométrique du produit fini.
- Pour des raisons liées à la dynamique de la prise la vitesse de broyage est limitée. A proximité de cette vitesse maximum les problèmes de vibration sont fréquents.
- La pression de broyage est élevée pour effectuer le maximum de travail en un seul passage et limiter la charge circulante, mais ne correspond pas toujours à l'optimum. Le rendement de broyage augmente généralement lorsqu'on baisse la pression (ciments avec ajout de calcaire ou de pouzzolane, cru de cimenterie). Par ailleurs l'utilisation de pressions élevées pose des problèmes de durée de vie et de fiabilité.

Une réflexion a été menée pour trouver un autre procédé de broyage sur la base du broyage par compression, de façon à en conserver les performances énergétiques, mais en broyant en plusieurs étapes le produit pour éviter une charge circulante et une pression de broyage élevées. Le principe d'une virole cylindrique à axe horizontal entraînée en rotation et d'un ou plusieurs galets montés fous est apparu comme une solution possible. La partie qui semblait difficile a priori était la maîtrise de la circulation de la matière pour laquelle la force centrifuge devait jouer un grand rôle. La réalisation d'une machine pilote d'environ 25 kW a permis à ce nouveau procédé de voir le jour.

2. Description de l'Horomill

Pour des raisons de construction, de faisabilité et de coût, la configuration la plus simple a été retenue, à savoir un seul galet fou dans une virole. La rotation de la virole est assurée par un ensemble couronne, pignon, réducteur et moteur. L'effort de broyage est communiqué au galet par des vérins hydrauliques. Des dispositifs internes sont prévus pour maîtriser la circulation de la matière.

On peut décrire les principales caractéristiques de fonctionnement de ce broyeur de la façon suivante.

La matière progresse régulièrement dans le broyeur grâce aux effets combinés de la force centrifuge et de dispositifs adaptés et passe plusieurs fois entre le galet et la virole pour y être broyée. Ce broyage réalisé en plusieurs étapes permet d'effectuer un travail de fragmentation important tout en opérant à des pressions modérées, environ quatre à cinq fois plus faibles que celles employées pour les presses à cylindres.

Les géométries conjuguées concave et convexe des surfaces de broyage conduisent à des angles de prise de deux à trois fois supérieurs à ceux des presses, ce qui conduit à une couche broyée plus épaisse et un travail de broyage plus important. Par principe, la zone de broyage est alimentée de façon très régulière, ce qui assure une prise maximale et stable du produit entre le galet et la virole.

Sur le plan mécanique, l'Horomill allie des éléments éprouvés du broyeur à boulets (virole sur patins hydrodynamiques, couronne d'entraînement) et des éléments proches de la presse (galet, roulements) mais avec des pressions de broyage beaucoup plus basses.

3. Un nouveau procédé de broyage

L'Horomill est directement conçu pour le broyage intégral en association avec le séparateur TSV, mais il peut tout à fait être intégré dans un circuit de broyage avec un broyeur à boulets.

Pour mettre au point et qualifier les performances de ce nouveau procédé l'installation pilote du Centre de Recherches de FCB a été aménagée pour fonctionner avec la presse ou l'Horomill.

L'Horomill pilote a les caractéristiques suivantes:

- puissance installée: 45 kW
- diamètre de la virole 800 mm
- capacité du circuit de séparation jusqu'à 20 t/h
- capacité en produit fini jusqu'à 2.5 t/h
- possibilité de varier la pression de broyage de 25% à 200% de la pression nominale.
- capacité de séchage jusqu'à 20% d'eau.

L'installation est équipée de capteurs permettant de connaître toutes les caractéristiques du circuit. On notera que le broyeur est équipé d'une mesure directe du couple mécanique afin de mesurer avec précision la consommation énergétique.

Après la phase de mise au point de la machine, des essais complets ont été réalisés sur des crus et des ciments et souvent en comparaison avec des essais sur la presse en broyage intégral. On peut citer:

- cru de la cimenterie d'Heming, Cedest
- cru, ciment Portland et ciment pouzzolanique de Robilante, Fratelli Buzzi
- ciment Portland et ciment à ajout calcaire de Bussac, Ciments Français.

On a ainsi pu tester des finesses de 3000 à 5000 Blaine pour les ciments et 15% à 0.2% de refus à 80µm pour les crus.

Pour les ciments les essais classiques sur mortier et béton ont été réalisés et comparés aux résultats industriels.

Les résultats peuvent être résumés de la façon suivante.

- Pour les ciments:
 - les taux de substitution varient de 1.3 à 1.75 suivant les réglages,
 - les courbes granulométriques sont d'une allure intermédiaire entre les résultats presse à cylindres et broyeur à boulets avec toutefois une signature très nette du TSV pour la fraction grossière (au delà du d80),
 - à même finesse Blaine les résistances sur mortier et béton sont supérieures à celles obtenues en broyeur à boulets et les maniabilités équivalentes.
- Pour les crus:
 - les taux de substitution varient de 1.5 à 2.2 suivant les réglages,
 - des finesses très élevées au 80µm sont obtenues facilement,
 - des teneurs en eau jusqu'à 20% peuvent être traitées en utilisant les possibilités de séchage du TSV.
- Les essais pilote ont confirmé l'intérêt de ce nouveau procédé par rapport à la presse à cylindres et au broyeur à boulets:

- Les rendements énergétiques sont très proches de la presse voire meilleurs pour les ciments à taux d'ajout élevé et pour le cru (à moins de réduire de façon importante la pression de broyage à la presse et augmenter d'autant la charge circulante).
- Le principe du broyage par compressions multiples permet pour un même produit fini de varier la charge circulante et d'en apprécier l'impact sur la courbe granulométrique et les performances (Es, qualité ciment,...). Avec ce degré de liberté supplémentaire, l'Horomill est, sur le plan du fonctionnement en circuit fermé, plus proche du broyeur à boulets que de la presse. Ainsi même pour des ciments très fins il est possible d'adopter une charge circulante raisonnable tout en utilisant des pressions de broyage limitées.
- Le fonctionnement du broyeur est très stable et peu sensible à la granulométrie du brut ou à la vitesse de rotation.

4. La première réalisation industrielle

4.1. Le premier atelier Horomill

La première installation industrielle a été réalisée en collaboration avec Fratelli Buzzi à l'usine de Trino en Italie. Une aide financière de la CEE, dans le cadre du programme Thermie, en a facilité la réalisation.

Les études et la réalisation de ce nouvel atelier ont commencé en août 92 et le démarrage du broyeur a eu lieu le 10 septembre 93.

Les principales caractéristiques du circuit sont les suivantes :

- l'Horomill:
 - puissance installée: 600 kW à vitesse variable
 - diamètre: 2200mm
- le circuit:
 - débit nominal en CP425: 25 t/h à 3200 Blaine
 - charge circulante nominale: 150 t/h
 - séparateur TSV.

Installé à côté d'ateliers de broyage existants, l'Horomill est prévu pour fonctionner également en prébroyage, en broyage hybride ou en finisseur.

Il est important de noter la simplicité du circuit et la compacité du broyeur et de l'atelier:

Le circuit se compose d'un élévateur, un transporteur de reprise jusqu'au séparateur TSV, un filtre de récupération du produit fini à la sortie du TSV, un ventilateur de tirage; les refus du TSV retournent par gravité à l'entrée du broyeur.

Le broyeur est très compact : virole de 2200 mm de diamètre par 2000 mm de longueur qui conduit à un encombrement extérieur de 3800 par 3800 hors groupe de commande. Pour la même capacité il faudrait installer un broyeur à boulets de 900kW de 2800 de diamètre par 9500 de longueur utile soit un encombrement pour le broyeur seul de 4200 par 14000 hors groupe de commande.

4.2. Les premiers résultats d'exploitation

Dès les premières heures de marche, le broyeur a atteint son débit nominal avec des performances dépassant les espérances. Un aspect spectaculaire est la stabilité de fonctionnement: le circuit monte à son régime nominal en 5 min à 10 min et la charge circulante reste constante à 2 t/h près! Ceci provient de la faible quantité de matière dans le circuit; le temps de séjour est d'environ 1 à 2 min. Bien évidemment cette stabilité conduit à une très grande régularité du produit fini. Un fonctionnement complètement automatique a pu facilement être mis au point, y compris l'arrêt et le démarrage.

Le comportement dynamique de la machine est très satisfaisant : pas de vibration en marche ou pendant les phases transitoires.

Les premiers résultats de production obtenus pour la production de CP425 sont:

- finesse 3200 Blaine (choisie identique à la production actuelle en broyeur à boulets)
- débit de produit fini 25 t/h
- puissance arbre moteur 400 kW soit 16 kWh/t

- le taux de substitution correspondant par rapport au FCB-index est de 1.55 mais dépasse 2.0 par rapport au broyeur à boulets CO existant (~31 kWh/t arbre moteur).

La qualité des ciments produits a été contrôlée et comparée à celle obtenue en broyeur à boulets :

- les maniabilités sur béton sont équivalentes,
- les résistances sur mortier et sur béton sont toujours supérieures ou égales.

Ces premiers résultats d'exploitation correspondent à un peu moins de cent heures de marche et demandent évidemment à être confirmés par des marches de plus longue durée.

5. Perspectives industrielles

La comparaison des caractéristiques de l'atelier Horomill avec les procédés conventionnels apparaît particulièrement intéressante:

Par rapport au broyeur à boulets :

- gain d'énergie de 30 à 50%,
- atelier et broyeur très compacts: pour la même capacité l'Horomill a un diamètre un peu plus petit que celui d'un broyeur à boulets mais est trois fois plus court,
- simplicité, facilité de conduite et régularité de la production, dues à des temps de séjour et de réponse très courts,
- pollution négligeable par l'usure des corps broyants

Par rapport à la presse à cylindres :

- conçu pour le broyage intégral, régularité de marche et absence de vibration,
- charge circulante plus faible, et surtout réglable en fonction des objectifs de production et de qualité,
- pression de broyage modérée assurant la durée de vie des pièces d'usure et la fiabilité de la mécanique, mais conduisant à de meilleurs rendements pour les ciments avec ajout.

6. Conclusions

Un nouveau procédé de broyage, l'**Horoprocess**, a commencé sa production industrielle chez Fratelli Buzzi à Trino en Italie. Les premiers résultats obtenus en ciment CP425 sont très encourageants et permettent de compter sur des gains d'énergie de 40% par rapport au broyeur à boulets; d'autre part ils confirment les résultats obtenus sur le pilote de 1 t/h du Centre de Recherches.

Le procédé de broyage par compressions multiples confère à la machine une remarquable stabilité mais permet également d'ajuster la charge circulante en fonction des objectifs de qualité.

De nombreux essais restent à faire pour préciser et optimiser les performances de l'Horomill.

L'utilisation d'une pression de broyage modérée permet d'espérer un très bon comportement mécanique de la machine.

D'ores et déjà une gamme complète de broyeurs est à l'étude avec des puissances allant jusqu'à plus de 4000 kW (200 t/h de ciment ordinaire).

A. Cordonnier