



## Etude de l'action des agents de mouture sur le broyage du clinker

Elodie Romilliat, Philippe Grosseau, Bernard Guilhot

### ► To cite this version:

Elodie Romilliat, Philippe Grosseau, Bernard Guilhot. Etude de l'action des agents de mouture sur le broyage du clinker. Pierre Guigon. 4e colloque Science et technologie des poudres. "3 jours pour faire parler la poudre", May 2004, Compiègne, France. Lavoisier Technique et Documentation, T6-8 pp.66-71, 2004, Récents Progrès en Génie des Procédés. <hal-00838288>

**HAL Id: hal-00838288**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00838288>**

Submitted on 4 Jul 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ETUDE DE L'ACTION DES AGENTS DE MOUTURE SUR LE BROYAGE DU CLINKER

E. Romilliat \*, P. Grosseau, B. Guilhot

*Laboratoire des Procédés en Milieu Granulaire, Ecole des Mines de Saint Etienne, 158  
cours Fauriel, 42023 Saint Etienne*

*\*romilliat@emse.fr*

**Résumé.** Dans cette étude, du clinker a été broyé dans un broyeur planétaire, en présence de deux types d'agents de mouture, A et B. L'évolution de la surface spécifique mesurée par la méthode de Blaine (finesse) en fonction de la durée de broyage dépend de la nature de l'agent de mouture utilisé. L'agent de mouture B agit plutôt au début du broyage et pour des vitesses faibles alors que l'agent de mouture A permet d'obtenir de grandes finesses même pour des durées de broyage élevées. Ce dernier, cependant, entraîne une adhésion plus importante de la poudre sur les bols de broyage que l'agent de mouture B. Ces deux produits agissent donc différemment pendant le broyage du clinker. Cette étude donne des indications sur les modes d'action possibles de ces deux agents de mouture.

## INTRODUCTION

Le broyage du clinker est une étape de la fabrication du ciment fortement consommatrice d'énergie, qui présente un rendement énergétique très réduit de l'ordre de 1%. Les agents de mouture, ajoutés à raison de 100 g à 500 g par tonne de clinker, sont utilisés pour améliorer le rendement de cette opération. Cependant, le mécanisme d'action de ces produits demeure relativement mal connu.

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer l'action des agents de mouture. Certaines rapportent une modification de l'énergie de surface du matériau pendant le broyage. L'effet Rehbinder [1] se base sur l'adsorption de l'agent de mouture sur les surfaces nouvellement créées, qui entraînerait une diminution de l'énergie de surface du matériau broyé, et favoriserait sa fragmentation. Le mécanisme de Westwood [2] est aussi basé sur l'adsorption de l'agent de mouture. Cette adsorption bloquerait les mouvements des dislocations à la surface des grains, ce qui les fragiliserait.

Les modèles proposés plus récemment se basent sur la capacité des agents de mouture à diminuer les phénomènes d'agglomération et d'adhésion de la poudre dans le broyeur. Le phénomène de réagglomération est dû à la présence de sites non saturés électriquement sur les surfaces nouvellement créées lors du broyage [3]. Des molécules polaires adsorbées sur ces sites chargés électriquement éliminent les forces électriques de surface et empêchent la réagglomération des grains [4]. D'une manière générale, la diminution des forces d'agglomération augmente l'énergie disponible pour la fragmentation des particules individuelles [5].

D'autre part, la diminution des forces d'adhésion contribue à augmenter la fluidité de la poudre dans le broyeur [6]. Cela améliore le broyage car un meilleur écoulement entraîne une plus grande probabilité pour que la poudre se trouve dans la zone de broyage. L'amélioration est effective si une monocouche d'agent de mouture est formée sur le matériau pendant le broyage [7]. Mais si ce produit est ajouté en trop grande quantité, un effet lubrifiant peut survenir. Cela entraîne l'augmentation du glissement entre grains et donc une diminution de la fragmentation.

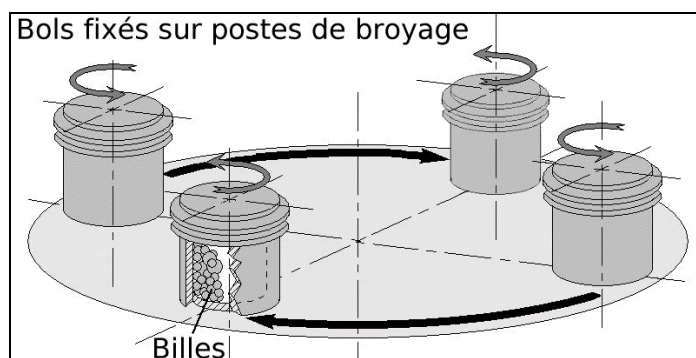
L'objet de cette étude est de connaître les phénomènes qui sont impliqués pendant le broyage du clinker avec des agents de mouture. Le broyage du clinker est réalisé à l'aide d'un broyeur planétaire. Sur ce type d'appareil, le matériau est fragmenté dans des bols contenant des billes comme charge broyante. L'efficacité de plusieurs agents de mouture sur le broyage du clinker est évaluée, dont les liquides organiques A et B. L'agent de mouture A contient un composé polaire, la triéthanolamine.

## EXPERIENCES

### 1. Broyages

Lors de broyages préliminaires, l'étude de l'évolution de la surface spécifique de la poudre en fonction de la vitesse du broyeur, à durée de broyage constante, a montré des différences selon l'agent de mouture utilisé. Une nouvelle série de broyages a consisté à étudier plus en détails l'effet de la vitesse du broyeur et de la durée de broyage lorsque les agents de mouture A et B sont utilisés.

Ces broyages ont été réalisés dans un broyeur planétaire PM400 Retsch comportant 4 postes pour fixer les bols de broyage contenant des billes (*figure 1*).



*Figure 1. Schéma de principe du broyeur planétaire*

Pour cet appareil, le rapport de la vitesse de rotation des bols sur la vitesse de révolution du disque est de 1:1. Dans toute cette étude, seuls deux bols en acier inox de 125 mL ont été placés en opposition sur les postes de broyage. Les corps broyants sont composés de billes en acier inox de deux diamètres : 10 mm et 20 mm.

Les paramètres de broyage pour cette série sont répertoriés dans le tableau 1

*Tableau 1. Paramètres de broyage utilisés dans les bols de 125 mL*

Vitesses du disque du broyeur	Durées de broyage	Nombre et masse des billes utilisées par bol	Masse de clinker par bol	Rapport (masse de billes/masse de clinker)
150 trs/min	10 min	5 billes de diamètre 20 mm, de masse 32 g, et 25 billes de diamètre 10 mm, de masse 4 g	20 g	r=13
200 trs/min	20 min			
225 trs/min	30 min			
250 trs/min	40 min			
275 trs/min				

Le clinker à broyer est préalablement concassé à 2,5 mm. L'étude a été réalisée sur : un témoin, c'est à dire le clinker broyé seul, et deux mélanges avec 0,2% en masse d'agent de mouture (A ou B). Pour chaque durée et chaque vitesse de broyage, les deux bols en opposition sur leur poste de broyage contiennent le même mélange. Il s'agit de cette façon de s'assurer de la reproductibilité de chaque point.

## **2. Observations de broyage et analyses**

Les observations de l'état des bols après chaque opération de broyage permettent d'évaluer l'état de recouvrement de leurs parois et des billes par le clinker broyé. Plus les surfaces en acier sont recouvertes de poudre, et moins le broyage sera efficace. En effet, la couche de poudre ainsi formée amortit les billes et diminue donc l'énergie disponible lors des chocs bille-paroi ou bille-bille.

La mesure de la surface spécifique des poudres par la méthode de Blaine est effectuée. Elle consiste à déterminer la durée nécessaire pour qu'un certain volume d'air passe au travers d'un lit de poudre tassée. Cette technique ne permet pas de mettre en évidence la présence de porosité dans les grains de poudre, contrairement à la méthode par adsorption de gaz (B.E.T.). Cependant, elle est performante dans une étude comparative comme celle-ci. Ici, la valeur de la surface spécifique mesurée par la méthode de Blaine, appelée aussi finesse, permet une comparaison de l'efficacité des broyages. En effet, l'évolution de la finesse avec la durée de broyage montre si un agent de mouture est plus efficace qu'un autre pour une étape du broyage.

Le pourcentage de fines particules (de l'ordre du micromètre de diamètre) est évalué grâce à l'exploitation des répartitions granulométriques. Les mesures de granulométrie sont réalisées à l'aide d'un granulomètre laser Coulter LS130, le clinker broyé étant mis en suspension dans de l'éthanol. Chaque échantillon en circulation subit en moyenne sept mesures. Avant chaque mesure, la poudre est soumise à 20 s d'ultrasons grâce à une sonde intégrée au granulomètre. L'intensité des ultrasons est augmentée graduellement. Ainsi un bon état de dispersion du clinker dans l'éthanol peut être atteint. L'enregistrement des données prend en compte les fines particules détectées par le PIDS. De plus, un modèle optique prenant en compte la théorie de Mie est utilisé pour la détermination de la répartition granulométrique. Ce modèle inclut un indice de réfraction complexe de partie réelle égale à 1,65 et d'indice d'absorption (partie imaginaire) égal à 0,1.

# **RESULTATS ET DISCUSSION**

## **1. Observations de broyage**

Lorsque les broyages témoins et les mélanges avec A sont réalisés, la formation d'une couche de poudre sur les parois des bols et sur les billes en acier est observée. Cela se produit pour de grandes vitesses comme 275 trs/min, ou pour des durées de broyages élevées comme 40 min. Cet accrochage est sans doute dû au fait qu'aucun dispositif n'est présent ici pour extraire les plus fines particules de clinker. Par conséquent, elles peuvent adhérer sur l'environnement de broyage. De plus, elles peuvent s'agglomérer entre elles, ce qui a déjà été observé au MEB lors de broyages de clinker préliminaires (*figure 2*).

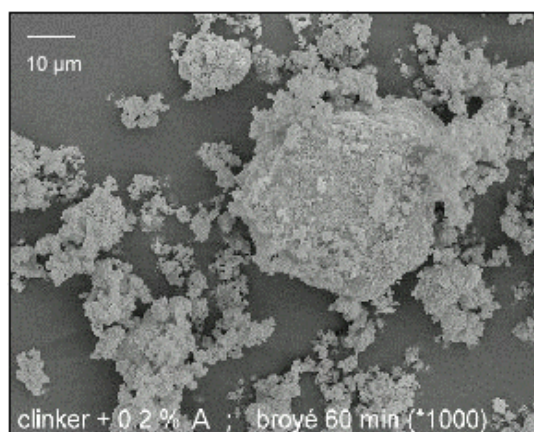


Figure 2. Agglomérats formés après un broyage préliminaire de clinker avec A

L'agent de mouture B, quant à lui, limite le recouvrement de l'environnement de broyage en acier par la poudre, par rapport au témoin. Cela est surtout visible pour des durées de broyage assez faibles et des vitesses peu élevées. Il est possible que le mécanisme d'action de B soit lié à ce retardement du phénomène d'adhésion de la poudre sur le milieu de broyage en acier. Le phénomène d'adhésion des particules de poudre sur l'environnement de broyage avec B existe toutefois en fin de broyage, et pour les vitesses les plus élevées.

Pour la vitesse de 150 trs/min, les broyats contiennent encore quelques grains de diamètres de l'ordre du millimètre. Avant d'estimer leur finesse avec le perméabilimètre de Blaine, ces broyats sont passés au tamis de 800 μm afin d'être débarrassés de ces grosses particules. Ce broyage incomplet à 150 trs/min montre que cette vitesse est insuffisante dans les conditions de l'étude, pour fournir l'énergie nécessaire au broyage du clinker concassé à 2,5 mm.

## 2. Finesse

Les mesures de finesse (figure 3) montrent que pour le témoin, la finesse augmente avec la vitesse de rotation du broyeur planétaire dans l'intervalle de vitesse étudié [150 trs/min, 275 trs/min] : l'écart de finesse est toujours supérieur à 24% entre 150 trs/min et 275 trs/min. Par ailleurs, A et B permettent d'obtenir des finesse plus élevées que le témoin, quel que soit le cas considéré. L'agent de mouture A est toujours plus efficace que B pendant le broyage du clinker, dans les conditions de broyage employées.

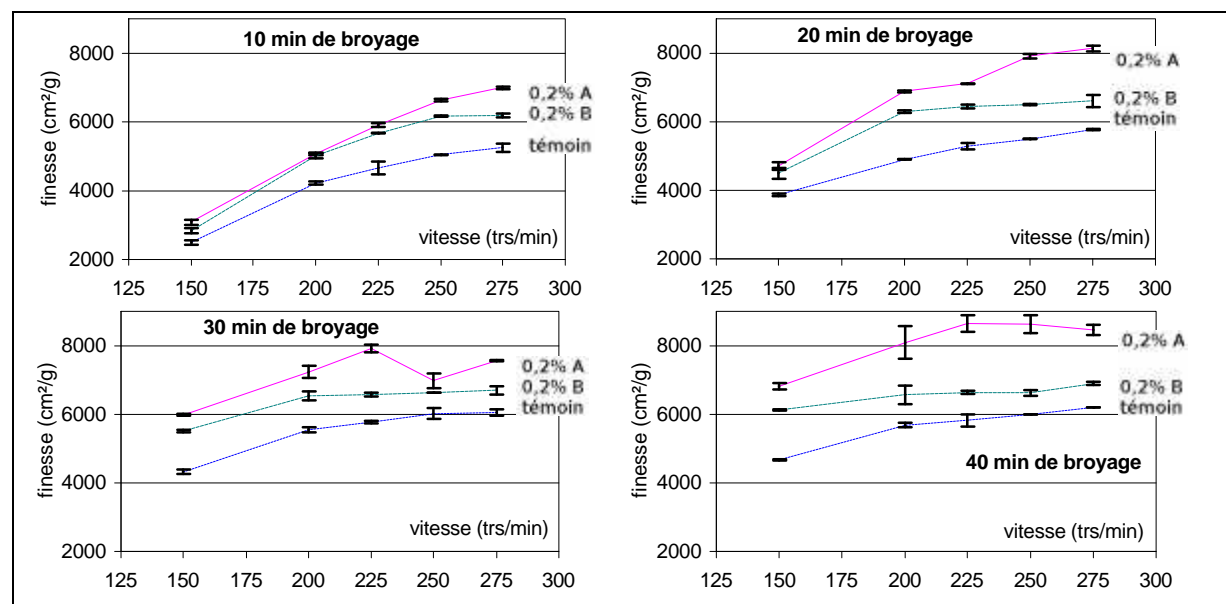


Figure 3. Evolution de la finesse en fonction de la vitesse de broyage

Pour l'agent de mouture A, la vitesse du broyeur est un paramètre influent pour toutes les durées de broyage. Effectivement, la croissance minimale de la finesse est supérieure à 21% entre 150 trs/min et 275 trs/min, quel que soit le temps de broyage. Un phénomène vient en outre perturber l'augmentation de la finesse : celle-ci décroît pour les durées les plus grandes et pour les vitesses de broyeur les plus élevées. Cela est lié à la forte agglomération des grains entre eux, qui forme des particules assez cohésives. La présence de ces grosses particules entraîne une plus grande perméabilité du lit de poudre formé pour la mesure de la finesse avec l'appareil de Blaine.

Dans le cas de l'agent de mouture B, la vitesse du broyeur a une influence non négligeable sur la finesse pour de faibles durées de broyage. En effet, pour 10 min et 20 min, la courbe de finesse a une croissance de 54% et de 32%, respectivement, entre 150 trs/min et 275 trs/min. Mais pour les deux durées de 30 min et 40 min, la finesse présente une augmentation peu marquée de 18% et 11% respectivement, entre 150 trs/min et 275 trs/min. L'influence particulière de B sur le broyage pour les vitesses et les durées les plus faibles correspond au moment où la poudre adhère peu sur les parois et les billes. L'hypothèse selon laquelle l'action de B serait la limitation de l'adhésion du clinker sur l'environnement de broyage est en accord avec cette observation.

### 3. Granulométrie laser

Les répartitions granulométriques ont été mesurées sur le clinker broyé de 30 min et pour deux vitesses de broyeur, 225 trs/min et 275 trs/min. Le but de cette mesure était d'observer le gain de fines particules obtenues grâce aux deux agents de mouture, par rapport au témoin. Les courbes représentatives des répartitions granulométriques (*figure 4*) correspondent aux poudres les mieux désagglomérées. Ce bon état de dispersion a été obtenu grâce à l'application répétée d'ultrasons dans la suspension. Trois pics de population ressortent sur les répartitions enregistrées : un centré sur 1  $\mu\text{m}$ , un à 7  $\mu\text{m}$  et un autre à 20  $\mu\text{m}$ .

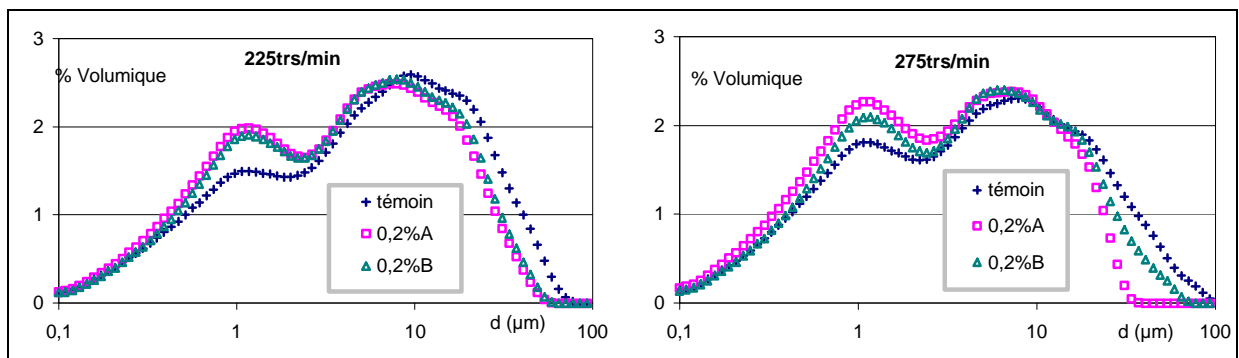


Figure 4. Evolution de la répartition granulométrique du clinker broyé pour deux vitesses du broyeur (30 min de broyage)

Les deux agents de mouture ont entraîné la production d'une plus grande quantité de fines particules que le témoin. Pour les deux vitesses testées, c'est le produit A qui a davantage favorisé la formation de fines particules de diamètre inférieur à 2,4  $\mu\text{m}$  (*tableau 2*). Ceci corrobore les résultats obtenus à partir de la finesse Blaine pour lesquels nous avons trouvé que la finesse était plus élevée avec l'agent de mouture A.

Tableau 2. Pourcentages volumiques des particules inférieures à 2,4  $\mu\text{m}$

Vitesse du broyeur	témoin	Clinker+ 0,2%A	Clinker+ 0,2%B
225 trs/min	33%	41%	39%
275 trs/min	39%	48%	43%

## CONCLUSIONS

L'agent de mouture A est toujours plus efficace que B dans les conditions de broyage employées car il permet d'atteindre de plus grandes finesses, et de plus grandes quantités de fines particules (inférieures à 2,4  $\mu\text{m}$ ).

Le mode d'action de A est différent de celui de B :

-L'agent A permet d'augmenter la finesse, même quand l'adhérence de la poudre sur les parois est importante,

-L'agent B permet d'augmenter la finesse pour des vitesses de broyeur et des durées de broyage faibles, ce qui correspond au moment où B a une action anti-adhésion de la poudre sur l'environnement de broyage.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le groupe Italcementi pour la proposition de sujet de thèse ainsi que pour son financement.

## REFERENCES

- [1] Shchukin, E.D., Physical-chemical mechanics in the studies of Peter A. Rehbinder and his school, *Colloids and Surfaces A*, 149 (1999), 529-537
- [2] Westwood, A.R.C., Ahearn, J.S., Mills, J.J., Developments in the theory and applications of chemomechanical effects, *Colloids and Surfaces*, 2 (1981), 1-35
- [3] Cassat, P., Détermination des mécanismes d'action de deux agents de mouture du ciment par Désorption Laser couplée à la Spectrométrie de Masse à Transformée de Fourier, thèse de l'université de Metz (1998)
- [4] Venuat, M., Les agents de mouture et les économies d'énergie, *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, 744 (1983), 285-289
- [5] Moothedath, S.K., Ahluwalia, S.C., Mechanism of action of grinding aids in comminution, *Powder technology*, 71 (1992), 229-237
- [6] El-Shall, H., Somasundaran, P., Physico-chemical aspects of grinding : a review of use of additives, *Powder Technology*, 38 (1984), 275-293
- [7] Teoreanu, I., Guslicov, G., Mechanisms and effects of additives from the dihydroxy-compound class on Portland cement grinding, *Cement and Concrete Research*, 29 (1999), 9-15