

ÉTUDE DE L'IMPACT DE L'UTILISATION DE L'AGENT DE MOUTURE MAGA C212 SUR LE PROCESSUS DE BROYAGE ET LA QUALITÉ DU CIMENT A LA SCB – CIMENT BOUCLIER

Gbaguidi Magloire A. N.^a, Sanny Farhanatou Akankè Féyichikè^{a,b}, Djidohokpin Désiré
Habib^b, Kpadonou Dominique^a

^a Unité de Recherche en Ecotoxicologie et Etude Qualité (UREEQ)/Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA)/Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC)/Bénin Université d'Abomey-Calavi (UAC),

^b Société des Ciments du Bénin (SCB) / Ciment Bouclier, 01, BP, 448, Placodji, Cotonou, Bénin

Résumé

La thématique travaillée intitulée « Étude de l'impact de l'utilisation de l'agent de mouture MAGA C212 sur le processus de broyage et la qualité du ciment à la SCB-Ciment BOUCLIER ». La méthodologie adoptée a consisté à conduire les essais sur le mini-broyeur et extrapoler les résultats obtenus au broyeur principal. Les essais se résument en la détermination de la charge du mini-broyeur au regard des usures des boulets, des débits optimum du mini-broyeur sans et avec agent de mouture à l'aide d'un échantillon test de ciment ou échantillon blanc, du dosage optimum en agent de mouture pour un débit optimum, la production de ciment dans les conditions optimum identifiées et la caractérisation physico-chimique du ciment produit à savoir la perte au feu et le pourcentage de SO₃, la Surface Spécifique de Blaine, le pourcentage des Refus sur Tamis 80 µm et 160 µm, et les résistances à la compression à 2, 7 et 28 jours. Ainsi, grâce à l'utilisation du MAGA C212 comme agent de mouture dans les conditions de production de 350 g/T et un débit constant de 15 kg/h, on induit une amélioration importante par rapport au témoin, sur la finesse de 21,12%, une réduction du refus à 80 µm de 3,5% et un gain en résistance à 28 jrs de 13%. Les conditions optimales de production identifiées avec l'agent de mouture MAGA C212 sont de 245 g de MAGA C212 par tonne de matière à broyer pour 18kg/h comme débit. A ce dosage on obtient un gain de 20% en débit, une amélioration de la résistance à 28 jours de 4,39% et un gain énergétique de 16,7%. L'extrapolation de nos résultats expérimentaux aux conditions réelles du broyeur principal nous a permis d'estimer une augmentation de 10% sur le rendement, une réduction de 15% du taux d'agent de mouture MAGA C212, et une réduction de 8,35% de la consommation énergétique du broyeur principal.

Mots clés : MAGA C212 ; conditions optimales ; consommation énergétique.

Abstracts

The theme worked entitled “Study of the impact of the use of the MAGA C212 grinding agent on the grinding process and the quality of cement at SCB-Cement BOUCLIER”. The methodology adopted consisted of conducting the tests on the mini-mill and extrapolating the results obtained to the main mill. The tests are summarized in the determination of the load of the mini-crusher with regard to the wear of the balls, the optimum flow rates of the mini-crusher without and with grinding agent using a test sample of cement or white sample, the optimum dosage of grinding agent for an optimum flow rate, the production of cement under the optimum conditions identified and the physico-chemical characterization of the cement produced, namely the loss on ignition and the percentage of SO₃, the Specific Blaine Surface Area, the percentage of Refusal on 80 µm and 160 sieve µm, and the compressive strengths at 2, 7 and 28 days. Thus, thanks to the use of MAGA C212 as a grinding agent under production conditions of 350 g/T and a constant flow rate of 15 kg/h, a significant improvement is induced compared to the control, on the fineness of 21,

12%, a reduction in refusal at 80 μm of 3.5% and a gain in resistance at 28 days of 13%. The optimal production conditions identified with the MAGA C212 grinding agent are 245 g of MAGA C212 per ton of material to be ground for 18 kg/h flow rate. At this dosage we obtain a gain of 20% in flow rate, an improvement in resistance at 28 days of 4.39% and an energy gain of 16.7%. Extrapolation of our experimental results to the real conditions of the main grinder allowed us to estimate an increase of 10% in yield, a reduction of 15% in the rate of MAGA C212 grinding agent, and a reduction of 8.35 % of the energy consumption of the main crusher.

Keywords: MAGA C212; optimal conditions; energy consumption

1. Introduction

La première usine de ciment a été créée par Dupont et Demarle en 1846. Dès lors les procédés de fabrication se perfectionnent sans cesse. En 2008, plus de deux milliards de tonnes de ciment étaient produites par an dans le monde, dont 80 % sont produits et consommés dans les pays émergents (Lafarge, 2009). Le ciment est donc le matériau le plus utilisé au monde dans les constructions des ouvrages en maçonnerie, ou en béton. Ces ouvrages trouvent leur performance, durabilité et résistance dans la qualité du ciment utilisé (Raymond, 2019). Dans les industries cimentières deux activités sont prépondérantes et énergivores. Il s'agit de la clinkérisation et du broyage. La clinkérisation se déroule en deux étapes à savoir la préparation du cru qui n'est rien d'autre que le mélange de l'argile et du calcaire dans les proportions 80/20. Ce mélange d'argile et de calcaire est cuit à plus de

1450°C puis refroidi brusquement à environ 100°C pour donner le clinker (S.Sohoni et al.,

1991). Ce produit de cuisson prend la forme de granules durs avant d'être finement broyé pour entrer dans la composition d'un ciment. L'efficacité du broyage dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer la dureté et les diamètres du matériau à broyer, le taux de remplissage du broyeur, l'utilisation ou non des aides au broyage et du type d'agent de mouture (Bouariche, 2020).

Le souci majeur de tout cimentier, est d'avoir une consommation énergétique la plus faible que possible et une augmentation de la productivité. A cet effet, les agents de mouture sont largement utilisés dans l'industrie minérale en général pour améliorer le rendement énergétique des opérations de broyage. Cependant, bien que leur mode d'action soit en partie cerné grâce à plusieurs études spécifiques, leur utilisation reste empirique. La compréhension précise des mécanismes d'action des agents de mouture pendant le broyage du clinker nécessite encore de nombreuses investigations. Mais une fois connue, elle s'avèrera être un outil inestimable pour optimiser les coûts de production des ciments (Romilliat, 2006). Dans cette logique à la SCB-Ciment BOUCLIER, comme le clinker est importé, l'économie d'énergie et l'augmentation de la production dépendent du broyage. Ainsi, plusieurs approches sont conçues et testées quotidiennement à chaque importation de clinker. Les tests concernent la détermination du débit, de la charge optimaux du broyeur, ainsi que la teneur optimale de l'agent de mouture adoptée. Face à cette situation, il est alors intéressant d'opter pour l'utilisation des agents de mouture lors du broyage du clinker. Par conséquent le présent travail visait à analyser la contribution de l'agent de mouture MAGA C212 dans le rendement du processus de broyage, la qualité du ciment produit et les résistances à la compression des mortiers fabriqués.

2. Matériel Et Méthodes

2.1. Equipement et produits

Les clinkers, réactifs, produits chimiques, les balances de précision, les boulets et le mini- broyeur ont été fournis par la Société des Ciments du Bénin (Cotonou, Bénin). L'agent de mouture MAGA C212 a été fournis par le fabricant MAPEI. Le perméabilimètre de Blaine manuel TONY TECHNIK N°202 a été utilisé pour la détermination de la surface spécifique de Blaine, une tamiseuse à courant d'air Alpine HOZAKAWA N°94000 pour la détermination du pourcentage de refus. Un malaxeur à mortier ELE type 39-00-35/80-N°39-

0035/1783 et une armoire humide EMME AHC-500/C20-33-1 ont servi à la confection des éprouvettes. Une presse ELE type 188D0030-N°1883-4-81 a été employé pour mesurer la résistance et une DRX Thermo OPTIM'X 2028 pour connaître les compositions chimiques des échantillons de ciments.

2.2. Charge du mini-broyeur

Lors de nos essais du fait de l'usure des boulets disponibles, la charge du mini broyeur a été ajusté pour être la plus proche possible de la charge théorique prévue par le fabricant (confère tableau 1).

Tableau 1: Charge théorique du mini broyeur utilisé et charge réelle d'expérimentation

Diamètre des boulets (mm)	Nombre de boulets prévus	Masse totale prévue (g)	Nombre de boulets introduits	Masse totale réelle pesée (g)
70	5	7570	5	6954
60	11	10300	12	10662
50	10	5860	10	5558,5
40	14	3570	14	3699
30	225	24640	224	24728
25	343	21540	355	21509
20	98	3160	101	3175
17	179	4460	173	3480
Total	885	80100	894	79765,5

2.3. Détermination du débit optimum du mini-broyeur

Pour commencer nos essais, le débit optimum du mini-broyeur pour la fabrication de l'échantillon test de ciment ou échantillon blanc a été recherché. Pour le choix du débit optimum du mini-broyeur nous nous sommes référés aux expériences antérieures menées dans le laboratoire de la structure d'accueil sur le mini-broyeur. Ainsi des informations des expériences du laboratoire, le débit optimum du mini-broyeur identifié est D1 égale à 15 kg /h.

2.4. Préparation des échantillons du ciment pour les différents essais

Les différents essais effectués se présentent comme suit :

❖ Essais à blanc : Ciment E0

L'essai à blanc a été effectué avec le clinker 1 (CK1) sans agent de mouture à débit D1 de 15 kg/h (soit 15 kg à broyer en 60 min)

❖ Recherche du débit optimal avec agent de mouture

Un dosage moyen en agent de mouture de 350 g/tonne de ciment a été utilisé pour cet essai. Le plan d'expérimentation pour la détermination du débit optimum avec agent de mouture se présente comme suit.

- **Ciment E1** : essai avec agent de mouture MAGA C212 dosé à 350 g /T, sur le clinker CK1 et un débit **D1 = 15 kg /h** (soit E0 + 4,82 ml d'agent de mouture)
- **Ciment E2** : essai avec agent de mouture MAGA C212 dosé à 350g /T, sur le clinker CK1 et un débit de **D2 = 16 ,50 kg /h** (E0 + 10% du mélange de CK1 et 5,30 ml d'agent de mouture)
- **Ciment E3** : essai avec agent de mouture MAGA C212 dosé à 350g /T, sur le clinker CK1 et un débit de **D3 = 18 kg /h** (E0 + 20% du mélange de CK1 et 5,78 ml d'agent de mouture)
- **Ciment E4** : essai avec agent de mouture MAGA C212 dosé à 350g /T, sur le clinker CK1 et un débit de **D4 = 19,50 kg /h** (E0 + 30% du mélange de CK1 et 6,26 ml d'agent de mouture)

❖ Recherche du dosage optimum en agent de mouture pour un débit optimum

Après la détermination du débit optimum, nous avons recherché le dosage optimum d'agent de mouture pour le débit identifié pour une qualité de ciment produit supérieur ou égal à l'essai à blanc E0. Pour ce faire, tout en gardant le débit constant, nous avons fait varier de façon décroissant la teneur en agent de mouture de 10% jusqu'à 40% soient des teneurs allant de 350 g/T à 245 g/T d'agent de mouture.

❖ Production de ciment dans les conditions optimales identifiées

Pour éprouver les conditions optimales de débit et de dosage en agent de mouture identifiées avec le CK1, nous avons produit du ciment dans les conditions optimales avec les clinkers CK2 et CK3. Le plan d'expérimentation se présente comme suit :

- Production à blancs avec les clinkers CK2 et CK3
 - **Ciment E0'** : essai à blanc, sans agent de mouture avec le clinker CK2 débit D1 de 15 kg /h (soit 15 kg à broyer en 60 min)
 - **Ciment E0''** : essai à blanc, sans agent de mouture avec le clinker CK3 débit D1 de 15 kg /h (soit 15 kg à broyer en 60 min)
- Production de ciment avec les clinkers CK2 et CK3 en présence de MAGA C212 dans les conditions optimales.

3. Résultats et discussion

3.1. Evaluation de l'efficacité de la charge adoptée pour le mini-broyeur lors des essais L'analyse des données du tableau 2 révèle que les coefficients de variation entre le nombre de boulets prévus et adoptés par diamètre sont inférieurs à 7%, de même les coefficients de variation entre les masses de boulet prévus et adoptés par diamètre sont également inférieurs à 20%. Ces résultats montrent qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les charges prévues et adoptées lors de nos expériences. L'usure des boulets ne peut donc pas influencer de façon statistiquement significative nos résultats par rapport à la charge théoriquement prévue par le fabricant. Romiliat (2006) a rapporté que le taux de remplissage et l'échelonnement de la taille des boulets de broyage est aussi un moyen d'améliorer l'efficacité de l'installation. Dans la phase de broyage fin, les tailles de boulets plus petites utilisées permettent d'améliorer cette phase finale du broyage. L'intérêt d'avoir un échelonnement des diamètres des boulets est d'importance capitale. En effet la force de frappe des boulets évolue avec leur propre diamètre et aussi avec le diamètre du broyeur. Cette évolution permet de broyer juste avec la force nécessaire afin de ne pas provoquer le phénomène d'agglomération qui apparaît quand la granulométrie de la matière devient plus fine et la force de frappe des boulets plus grande (Bouariche, 2020).

Tableau 2 : Résultats de l'évaluation de l'efficacité de la charge du mini-broyeur

Diamètre Ø en mm des boulets	Nombre de boulets prévu	Nombre réel de boulets introduits	Moy	Ecart type sur les masses	%CV	Masse totale prévue en (g)	Masse totale réelle pesée en (g)	Ecart type sur les masses	Moy massique	%CV
70	5	5	5	0	0	7570	6954	435,58	7262	6,00
60	11	12	11,5	0,71	6,15	10300	10662	255,97	10481	2,44
50	10	10	10	0	0	5860	5558,5	213,19	5709,25	3,73
40	14	14	14	0	0	3570	3699	91,22	3634,5	2,51
30	225	224	224,5	0,71	0,31	24640	24728	62,22	24684	0,25
25	343	355	349	8,48	2,43	21540	21509	21,92	21524,5	0,10
20	98	101	99,5	2,12	2,13	3160	3175	10,61	3167,5	0,33
17	179	173	176	4,24	2,41	4460	3480	692,96	3970	17,45
Total	885	894	889,5	6,36	0,71	80100	79765,5	236,53	79932,75	0,30

3.2. Effet du MAGA C212 à concentration moyenne de 350 g/T sur le débit

3.2.1. Influence de la variation du débit à concentration moyenne d'agent de mouture sur la surface spécifique de Blaine et les pourcentages de refus

L'analyse de la figure 1 révèle que la courbe SSB évolue en dents de scie avec des valeurs extrêmes allant de 2651 cm²/g à 3286 cm²/g pour une moyenne de 2937,2±435,56 cm²/g. La valeur moyenne du pourcentage de refus à 80 µm quant à elle, est de 10,46±1,67%. La variation de la SSB en fonction du débit du broyeur et de la concentration en agent de mouture évolue en tout point en sens inverse à la courbe du pourcentage de refus sur tamis à 80 µm. On en déduit que plus la SSB augmente, plus le pourcentage de refus à 80 µm diminue. La courbe traduisant la variation du pourcentage de refus à 160 µm en fonction du débit et de la concentration en agent de mouture à une allure concave de concavité tournée vers le haut. Ses valeurs extrêmes sont respectivement de 1,3 et 2,4%. La moyenne de ces refus est de 1,72%.

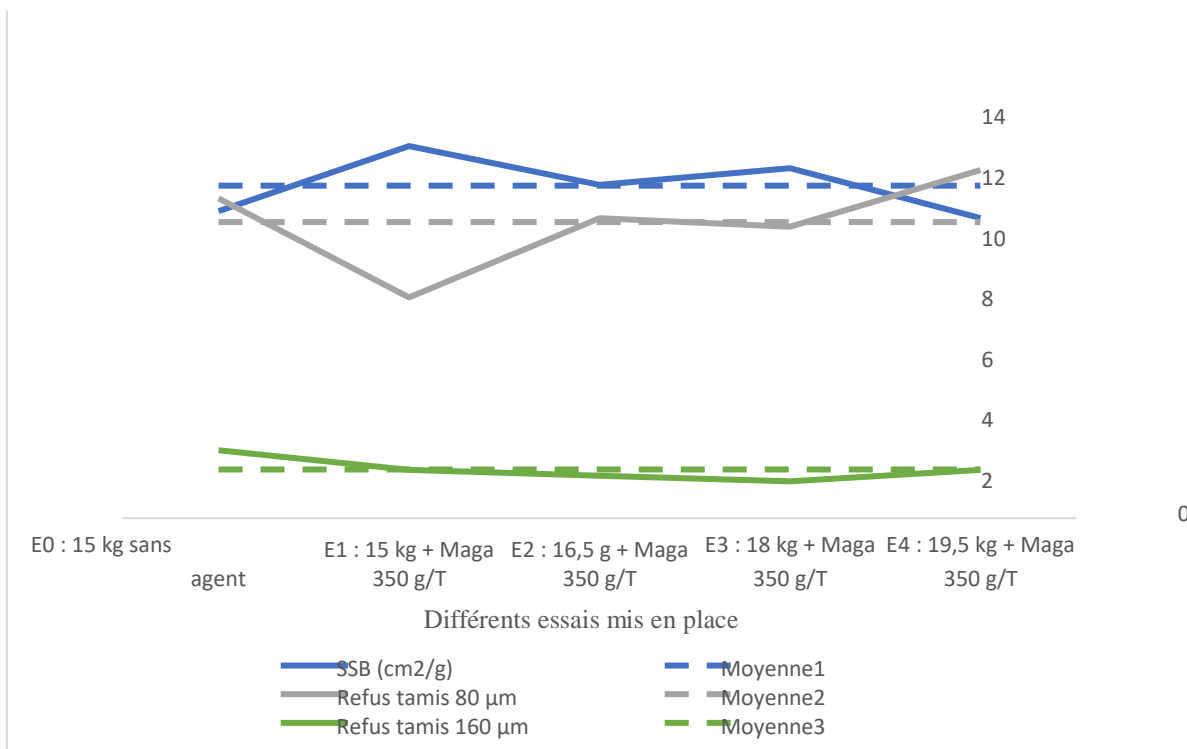


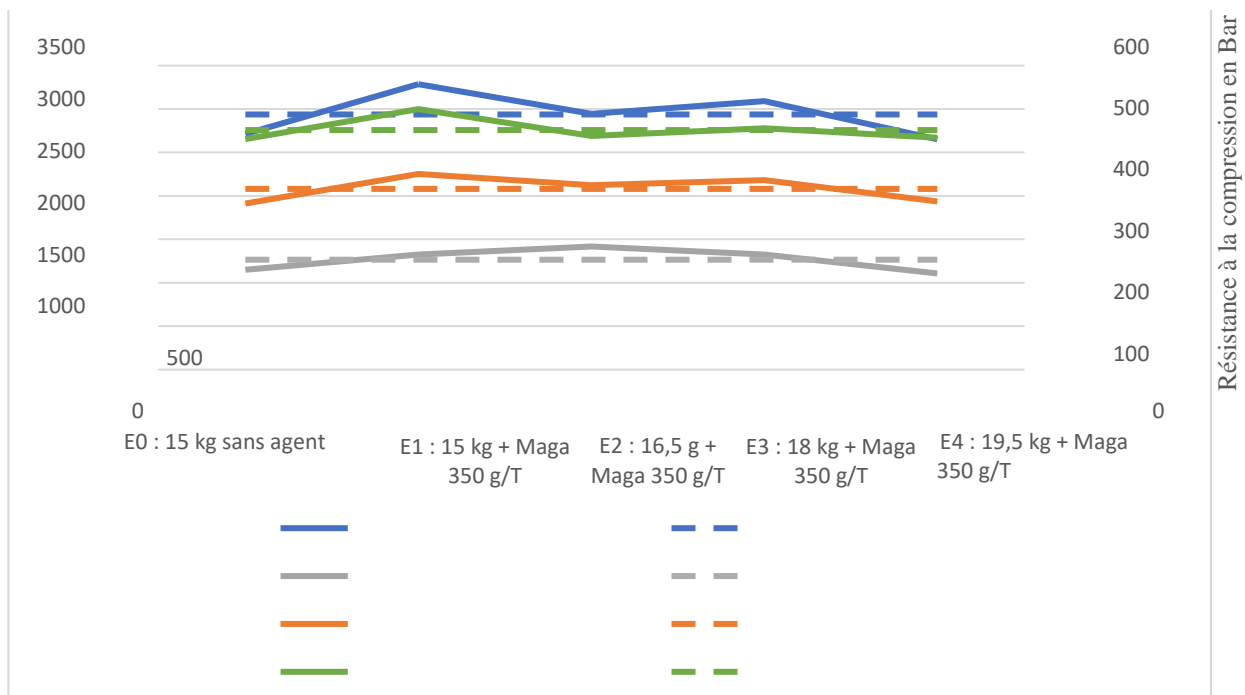
Figure 1 : Caractéristiques physiques du broyat lors de la variation du débit à concentration constante en agent de mouture

Entre l'essai à blanc E0 et le ciment E1 on note une amélioration importante de la finesse qui passe de 2651 à 3286 cm²/g soit une amélioration de 21,12% de la SSB du témoin. De même le pourcentage de refus à 80 µm est passé de 11,3 à 7,8% soit une réduction de 3,5% par rapport au Témoin. Romilliat et al., (2013) ont démontré que quel que soit l'agent de

mouture utilisé, il permet d'obtenir des finesses plus élevées que le témoin. De l'essai E1 à l'essai E4 on note dans l'ensemble une dégradation de la SSB par rapport à la qualité du broyat obtenu en E1. Même si au fur et à mesure que l'on augmente le débit de E1 à E4, on constate que la finesse se dégrade jusqu'à obtenir une qualité moindre que l'essai à blanc E0 (SSB= 2651 cm²/g pour E4 contre 2713 cm²/g pour E0 ; refus 80 µm est 12,30 pour E4 contre 11,30 pour E0), on en déduit que le MAGA C212 a eu pour effet d'améliorer la finesse du produit (ciment) et de permettre d'augmenter de 30% le débit tout en conservant une finesse sensiblement égale à E0. Autrement dit l'utilisation de l'agent de mouture MAGA C212 a amélioré non seulement la finesse, mais également l'écoulement de la poudre dans le broyeur. Il a contribué à diminuer à la fois l'adhérence de la poudre sur le milieu de broyage et l'agglomération des grains entre eux pour un bon rendement. Comme l'ont affirmé Alain, (1997); Romilliat, (2006), l'utilisation des agents de moutures a pour but d'augmenter la finesse et la production lors du broyage pour une même consommation d'énergie. L'artéfact de chute de la SSB noté entre E1 et E3 se justifie par le fait que la granulométrie du clinker utilisé en E2 serait légèrement au-delà de la moyenne.

3.2.2. Influence de la variation de la finesse de la farine de ciment produit à concentration moyenne d'agent de mouture sur les résistances mécaniques à la compression à 2, 7 et 28 jrs des mortiers correspondants

La figure 2 présente les variations des résistances mécaniques à la compression des mortiers fabriqués à partir des productions de ciments de chaque essai mis en œuvre lors de la présente étude. L'analyse des courbes de la figure 2 révèle une similitude entre les courbes de la variation de la finesse, de la résistance mécanique à la compression à 7 et 28 jrs. Les extrêmes de la résistance à 7 et 28 jrs sont respectivement de 328 et 455 Bar comme minimum retrouvés en E0 et comme maximum 386 et 514 Bar retrouvés en E1. Les moyennes de résistances mécaniques sont respectivement de 356,8±25,71 Bar à 7 jrs et 472,8±24,41 Bar à 28 jrs. Par contre la courbe traduisant la variation de la résistance à 2 jrs à une allure concave de concavité tournée vers le bas. Les extrêmes sont de 190 Bar en E4 et 243 Bar en E2 avec une moyenne de 216,8±22,4 Bar. De ces observations, il ressort que l'Aluminate tricalcique : Céliste : « C₃A » et l'Alumino-ferrite-tétracalcique « C₄AF » qui confèrent au ciment une très bonne résistance initiale à 1 ou 2 jrs de durcissement seraient relativement plus abondants dans l'échantillon de clinker ayant servi à l'essai E2. Comme tous les échantillons ayant servis aux essais proviennent du même tas de clinker, alors on est en droit de conclure que le tas n'est pas homogène.



Différents essais mis en place

SSB (cm ² /g)	Moyenne 1
Résistance compression 2jrs	Moyenne2
Résistance compression 7jrs	Moyenne 3
Résistance compression 28jrs	Moyenne 4

Figure 2 : Evolution des résistances des mortiers en fonction de la variation de la finesse

La plus forte résistance à la compression est obtenue à 28 jrs. Les deux pics de résistances et de finesse sont obtenus en E1 et E3. Comme le débit de E3 est supérieur à celui de E1 sans pour autant que la finesse et la résistance mécanique ne soient altérées, alors le choix des conditions optimales de production sera porté sur E3. L'analyse des données révèle que de E0 à E1 on obtient un gain en résistance mécanique à la compression de près de 13% pour un débit de 15 kg/h. Ce qui est une super qualité non efficiente. Par contre de E0 à E3 le gain en résistance mécanique est de près de 5% le deuxième meilleur résultat pour un débit de 18 kg/h (soit une augmentation de 20% par rapport à E0). Ces constats viennent renforcer le choix des conditions d'essais E3 comme conditions efficaces de production. Tous ces constats ont été éprouvés statistiquement à travers les données des tableaux 8, 9 et des figures 29 et 30.

3.3. Evaluation de la consommation énergétique pour chacun des essais

Sachant que la puissance du mini-broyeur est de 5,5 kw, la consommation spécifique énergétique de chacun des essais a été calculée et les données consignées dans le tableau 3. De l'analyse de ces données on note que les gains d'énergie spécifique croissent de 0 en E0 et E1 à 21,1 KWH/T en E4. D'après Alain (1997) l'efficacité de l'agent de mouture peut être évalué par la réduction de la consommation énergétique ; avec un agent de mouture donné il trouve qu'on peut avoir un gain de 15 à 25 % en consommation d'énergie et l'efficacité du

broyage peut augmenter de 30 à 40 % contrairement à notre cas où on obtient un gain de 9 à

21% pour une augmentation de 10 à 30 % en productivité. On constate que plus on augmente en productivité avec l'ajout de l'agent de mouture MAGA C212 plus on gagne en consommation d'énergie.

Tableau 3 : Consommation énergétique

Différents ciments	E0	E1	E2	E3	E4
Energie spécifique en kwh/T	366,66	366,66	333,33	305,55	289,47
Gain d'énergie	0	0	9,1%	16,7%	21,1%

3.4. Détermination du dosage optimum du MAGA C212

Comme annoncé, le débit optimum retenu pour la suite des essais est de 18 kg/T (+20%). Pour la suite de nos essais nous avons réduit le dosage d'agent de mouture avec une incrémentation de 10% et analysé la qualité de la production.

3.4.1. Effet de la réduction de MAGA C212 sur la finesse

De l'analyse des courbes de la figure 3, on note que la finesse varie de 2713 au point E0 à 3091 cm²/g au point E3 avec une moyenne de 2954,8±153,67. Les courbes de la variation du refus à 80 et 160 µm évoluent en sens inverse à celle de la finesse de E0 à E5 et de E5 à E7 les deux courbes évoluent dans le même sens que la courbe de la variation de la finesse. Les extrêmes des deux courbes sont de 10,3 respectivement 1,3 en E3 et 12,6 respectivement

2,5 en E7 avec des moyennes respectives de $11,66 \pm 0,89\%$ à $80 \mu\text{m}$ et $1,98 \pm 0,49$ à $160 \mu\text{m}$.

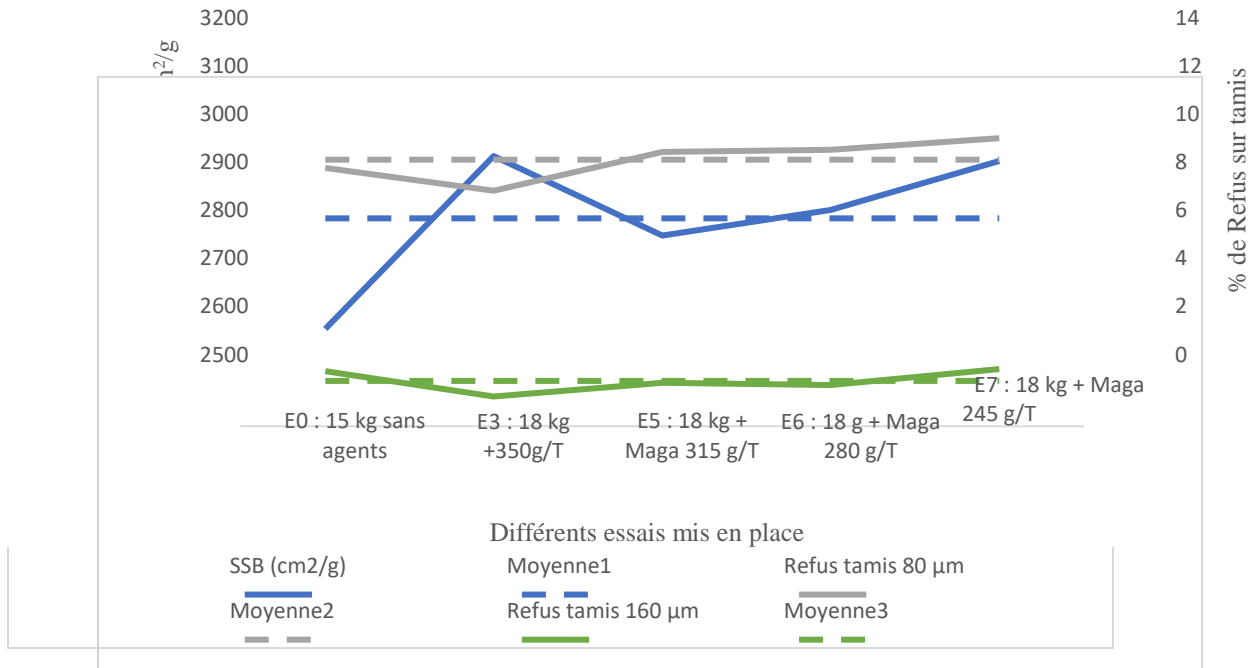


Figure 3 : Caractéristiques physiques du broyat lors de la diminution de la dose de l'agent de mouture MAGA C212

De ces observations on conclut qu'à partir de 315 g/T l'agent de mouture MAGA n'a plus d'effet sur les grosses particules. Seules les petites particules continuent d'être broyées pour impacter la finesse. A partir de E7 on avoisine les conditions limites au-delà desquelles la qualité de la production s'altère par rapport aux refus aussi bien à 80 qu'à 160 µm. Au regard de ces constats, nous avons conclu que l'essai E7 est la condition limite à ne pas dépasser.

3.4.2. Effet de la réduction de MAGA C212 sur les résistances mécanique à la compression

De l'analyse des courbes de la figure 3, on constate que les courbes, traduisant les variations des résistances à 2, 7 et 28 jrs des différents essais, sont presque confondues aux moyennes ressortant ainsi de très faibles variations des résistances à la compression d'un essai à un autre. Autrement dit l'agent de mouture étant ajouté à très faible quantité, la réduction de sa teneur n'a pas réellement impacté les différentes résistances mécaniques (2, 7 et 28 jrs) d'un essai à un autre.

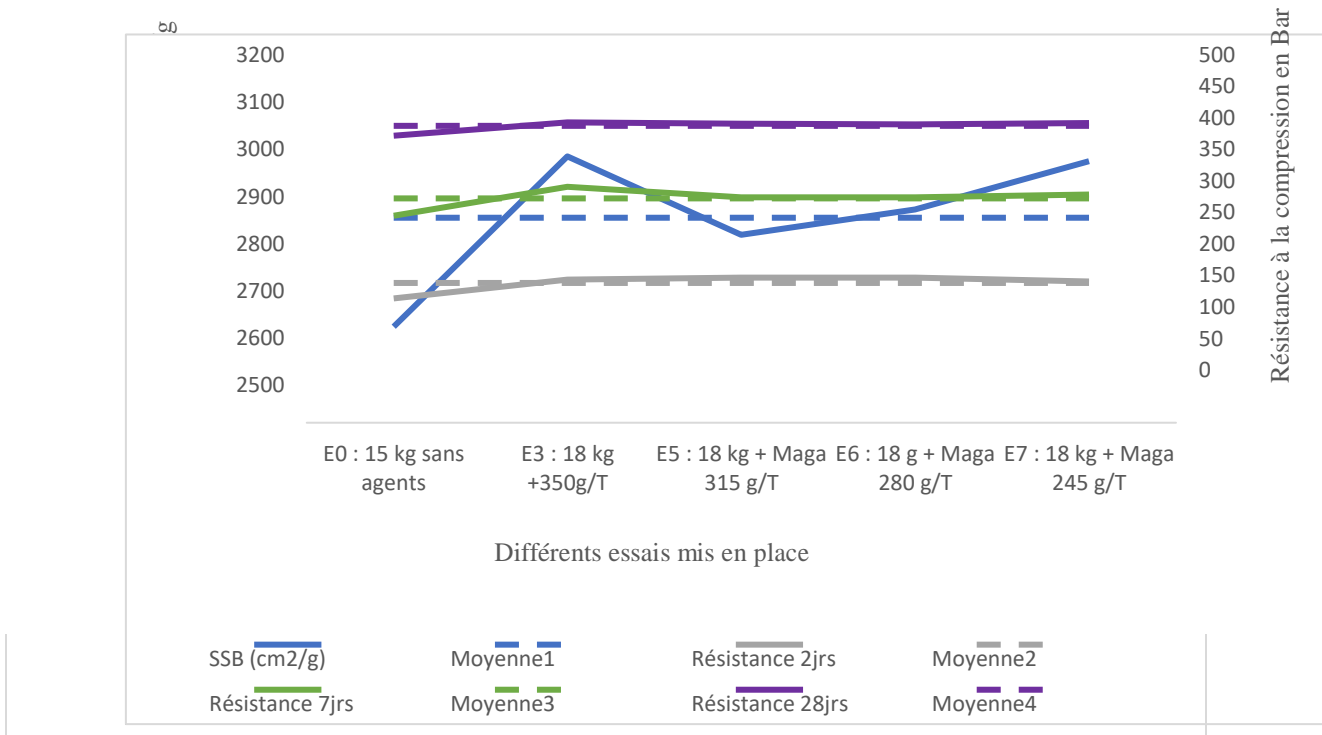


Figure 4 : Evolution des résistances à la compression des mortiers en fonction de la variation de la finesse

Pour la suite des essais nous avons choisi comme optimum le ciment E7 qui nous a permis d'avoir un gain de 20% en débit, une réduction de 30% sur le dosage de l'agent de mouture, tout en améliorant les résistances à 28 jrs de 4,39% et un gain énergétique de 16,7%.

3.5. Essais des conditions optimales retenues sur trois différents types de Clinker

3.5.1. Caractéristiques des productions à blanc (sans agent de mouture) des trois différents types de clinker

Tableau 4 : Analyse des compositions minéralogiques des trois différents types de clinkers

Compositions minéralogiques	CK1	CK2	CK3	Moy	Ecart-type	%CV
Silicate tricalcique (C ₃ S)	60,74	57,07	59,77	59,19	1,90	3,21
Silicate bicalcique (C ₂ S)	11,45	18,16	14,37	14,66	3,36	22,95
Aluminate tricalcique (C ₃ A)	7,74	6,81	7,26	7,27	0,47	6,40
Alumino-ferrite-tétracalcique (C ₄ AF)	10,68	10,38	10,56	10,54	0,15	1,43

*CK1 : navire MV/ "SPLENDID" ; *CK2 : navire MV/ "BELINDA" ; *CK3 : navire MV/ "FU HAI HONG"

Le tableau 4 présente les compositions minéralogiques des trois différents types de clinker à utiliser. De cette analyse il ressort que le Silicate tricalcique (C₃S) des trois clinkers varie de 57,07% pour le CK2 à 60,74% pour CK1 avec une moyenne de 59,19±1,90 pour un coefficient de variation de 3,21%. En ce qui concerne le Silicate bicalcique (C₂S) il varie de 11,45% pour le CK1 à 18,16% pour le CK2 avec une moyenne de 14,66±3,36 pour un coefficient de variation de 22,95%. En ce qui concerne l'Aluminate tricalcique (C₃A), ses extrêmes varient de 7,26% pour le CK3 à 7,74% pour le CK1 avec une moyenne de 7,27±0,47 pour un coefficient de variation de 6,40%. Et enfin l'Alumino-ferrite-tétracalcique (C₄AF) va de 10,38% pour le CK2 à 10,68% pour le CK1 avec une moyenne de 10,54±0,15 pour un coefficient de variation de 1,43%. En considérant le seuil du coefficient de variation de 5% comme seuil d'homogénéité des données, on constate que les trois types de clinkers présentent une différence au niveau du Silicate bicalcique (C₂S) et de l'Aluminate tricalcique (C₃A). Ce qui nous permet de dire que les trois clinkers sont différents les uns des autres.

3.5.2. Validation des conditions optimales sur les trois différents types de clinkers

Le tableau 4 nous présente les résultats des essais de validation des conditions optimales identifiés avec le clinker CK1 sur les clinkers CK2 et CK3. En prenant les données obtenues à partir des essais des conditions optimales de production sur le clinker CK2 on remarque une amélioration des résistances à 2, 7 et 28 jrs au niveau de la production avec agent de mouture par rapport à l'essai à blanc E0'. Autrement dit, la résistance à 2jrs est passée de

247 au niveau de E0' à 283 Bar au niveau de E8 (production avec agent de mouture dans les conditions optimales) avec un coefficient de variation de 9,61%. Concernant la résistance à 7 jrs, elle est passée de 361 en E0' à 412 Bar en E8 avec un coefficient de variation de 9,33 % et celle à 28 j de 450 en E0' à 508 Bar en E8 avec un coefficient de variation de 8,56%. Au niveau des refus sur tamis, ils diminuent en passant de 11,5 à 9,9% avec un %CV de 10,57%. Avec le clinker CK3 on constate aussi les mêmes tendances d'amélioration de la production avec agent de mouture par rapport à la production à blanc à la seule différence que les différentes résistances n'ont pas suivi cette tendance d'amélioration connues avec le CK2.

Tableau 5 : Résultats obtenus sur les productions des trois différents types de clinkers aux conditions optimales identifiés

Résultats des essais															
Type d'essai	CK1					CK2					CK3				
	E0 : 15 kg– sans agent	E7 : 18 kg+ Maga 245 g/T	Moy	Ecart-type	%CV	E0' : 15 kg– sans agent	E8 : 18 kg + Maga 245 g/T	Moy	Ecart-type	%CV	E0'' : 15 kg– sans agent	E9 : 18 kg + Maga 245 g/T	Moy	Ecart-type	%CV
SSB en cm ² /g	2713	3080	2896,5	259,51	8,96	3408	3409	3408,5	0,71	0,021	3081	3081	3081	0	0
% Refus sur tamis 80µm	11,3	12,6	11,95	0,92	7,69	11,5	9,9	10,7	1,13	10,57	10	11	10,5	0,71	6,73
% Refus sur tamis 160µm	2,4	2,5	2,45	0,07	2,89	2,6	2	2,3	0,42	18,45	2,1	1,8	1,95	0,21	10,88
Perte au feu	1,85	1,62	1,73	0,16	9,37	2,21	2,39	2,3	0,12	5,53	1,45	2,35	1,9	0,64	33,45
%SO ₃	3,14	3,38	3,26	0,17	5,21	2,91	3,01	2,96	0,07	2,39	2,64	2,76	2,7	0,085	3,14
Résistance compression 2jrs	197	224	210,5	19,10	9,07	247	283	265	25,46	9,61	241	242	241,5	0,71	0,29
Résistance compression 7jrs	328	362	345	24,04	6,99	361	412	386,5	36,06	9,33	371	382	376,5	7,78	2,07
Résistance compression 28jrs	455	475	465	14,14	3,04	450	508	479	41,01	8,56	497	503	500	4,24	0,85

Dans son ensemble les productions en conditions optimales avec agent de mouture avec les trois types de clinker à savoir CK1, CK2, CK3, ont donné presque une même finesse ; des résistances à la compression sensiblement égale et une qualité de ciment légèrement mieux que les essais à blanc. De ses analyses on conclut que l'agent de mouture le MAGA C212 a eu d'impact positif sur les trois types de clinkers. Parmi les trois types de clinker, on remarque que le CK2 répond mieux aux conditions optimales identifiées. Ce constat trouve sa justification dans le fait que le CK2 a un fort taux de C_2S par rapport aux autres clinkers. Chacun des clinkers réagit différemment aux conditions optimales identifiées. On constate que l'essai E8 répond mieux aux conditions optimales permettant ainsi de valider les conditions optimales identifiées. Par ailleurs, les trois clinkers bien que différents les uns des autres, permettent de valider les conditions optimales identifiées pour l'utilisation de l'agent de mouture MAGA C212 qui sont de 18 kg/h comme débit et 245g de MAGA C212 par tonne de Clinker à broyer. **CONCLUSION**

Au terme de cette étude nous avons noté que l'utilisation de l'agent de mouture MAGA C212 dans les conditions de production (350 g/T et débit constant de 15 kg/h), induit une amélioration importante par rapport au témoin, de la finesse de 21,12%, une réduction du refus à 80 μ m de 3,5% et un gain en résistance à 28 jrs de 13%. Autrement dit l'utilisation de l'agent de mouture MAGA C212 à 350 g/T améliore non seulement la finesse, la consommation d'énergie, mais également l'écoulement de la poudre dans le broyeur en réduisant à la fois l'adhérence de la poudre sur le milieu de broyage et l'agglomération des grains entre eux pour un bon rendement. Nos essais de recherche de conditions optimales de production ont permis de noter qu'à partir de 315 g/T, l'agent de mouture MAGA C212 n'a plus d'effet sur les grosses particules du clinker. Seules les petites particules continuent d'être broyées pour impacter la finesse. A 245 g/T de MAGA C212 c'est-à-dire une réduction de 30% du dosage de l'agent de mouture par rapport aux conditions habituelles de production, on avoisine les conditions limites au-delà desquelles la qualité de la production s'altère en ce qui concerne le refus aussi bien à 80

qu'à 160 μ m. A ce dosage on obtient un gain de 20% en débit, une amélioration de la résistance à 28 jrs de 4,39% et un gain énergétique de 16,7%. Ces résultats permettent de retenir ces conditions comme optimales de production (Essai E7). Nous avons également ressorti de la présente étude que le tas de clinker CK1 utilisé pour les essais n'est pas homogène sur le plan granulométrique. L'expérimentation des conditions optimales retenues sur deux autres clinkers à savoir CK2 et CK3 a permis de constater que tous les trois clinkers bien que différents les uns des autres, permettent de valider les conditions optimales identifiées pour l'utilisation de l'agent

de mouture MAGA C212 qui sont de 18 kg/h comme débit et 245g de MAGA C212 par tonne de matière à broyer. Le constituant principal du clinker qu'attaque l'agent de mouture est le C_4AF pour favoriser l'hydratation avancée du C_3S . Ainsi, l'agent de mouture non seulement réduit complètement la taille du C_3S dans le clinker pour faciliter sa broyabilité mais également favorise l'hydratation avancée du C_3S pour augmenter un gain en résistance du ciment. L'extrapolation de nos résultats expérimentaux aux conditions réelles du broyeur principal nous a permis d'estimer une augmentation de 10% sur le rendement, une réduction de 15% du taux d'agent de mouture MAGA C212, et une réduction de 8,35% de la consommation énergétique du broyeur principal.

Références

1. S.Sohoni, R.Sridhar, & G.Mandal. (1991). The effect of grinding aids on the fine grinding of limestone, quartz and Portland cement clinker. *Powder Technology* 67, 277–286. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(91\)80109-V](https://doi.org/10.1016/0032-5910(91)80109-V)
2. Bouariche, F. (2020). Étude de la distribution des boulets à l'intérieur du broyeur et évolution de la granulométrie lors du broyage. (Thèse). Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie Amar Laskri. Annaba
3. Romilliat, E. (2006). Etude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker (phdthesis). Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

4. Romilliat, E., Grosseau, P., & Guilhot, B. (2019). Etude de l'action des agents de mouture sur le broyage du clinker. Presented at the 4e colloque Science et technologie des poudres. "3 jours pour faire parler la poudre," Lavoisier Technique et Documentation, p. T6.
5. Alain, L. (1997). Développement de nouveaux adjuvants destinés à la fabrication du ciment (agents de mouture) et à l'amélioration des propriétés rhéologiques du béton. Université de Sherbrooke.