

ETUDE EXPERIMENTALE DES MORTIERS FORTEMENT CHARGES EN FILLERS CALCAIRES.

Reçu le 26/05/2007 – Accepté le 16/10/2008

Résumé

L'influence de l'ajout de fillers calcaires 0/100 µm sur les mortiers a été étudiée. Son but est de valoriser des sables contenant un taux élevé de fillers disponibles en grande quantité en Algérie et d'identifier les proportions maximales que l'on peut introduire sans compromettre la qualité du béton. L'étude consiste à confectionner des mortiers contenant des sables reconstitués de manière à avoir un taux de fillers de 0, 15, 25, 35 et 45 %. La variation a été étudiée en maintenant une maniabilité constante. Les propriétés physiques, mécaniques, Microstructural de la durabilité ont été étudiées.

Les résultats obtenus ont montré que les mortiers sont très influencés par l'ajout de fillers et mettent en évidence l'existence d'un taux optimum de performances. L'ajout d'un pourcentage élevé de fines (jusqu'à 35%) ne semble pas affecter les caractéristiques mécaniques et hydrauliques du mortier.

Mots clés : Fillers, mortiers, valorisation, propriétés, performances.

Abstract

The influence of limestone filler (0/100 µm) addition on mortar was studied. Its main goal is to utilize sands containing high rates of fillers available in large quantity in Algeria and to determine the maximum proportion to be introduced without altering the quality of concrete. The study consists in making mortars containing sands with a filler-to-sand ratio of 0, 15, 25, 35 and 45%, (dry weight basis). The variation was studied by maintaining a constant consistency. The physical, mechanical, properties and durability were studied.

The results obtained showed that mortars are very influenced by the filler addition and these results highlight the existence of an optimum rate of performance. The addition of a high percentage of fines (up to 35%) seems to little affect the mechanical and hydraulic characteristics of mortar.

Keys words : Fillers, mortar, valorisation, properties, performance.

Y. BENACHOUR^{1,2}
F. SKOCZYLAS²
H. HOUARI³

¹ Laboratoire Génie Géologique, BP 98 Ouled Aissa, Université de Jijel Algérie

² Laboratoire de Mécanique de Lille CNRS UMR 8107 et Ecole Centrale de Lille, cité scientifique BP48, 59651 Villeneuve d'Ascq France

³ Laboratoire de Matériaux et Durabilité des Constructions, Route Ain El bey Université Merntouri Constantine Algérie

ملخص

لقد أصبح استخدام الإضافات في الخرسانة أساسياً وذلك لما تقوم به من تحسين خواص الخرسانة وإكسابها ميزات جديدة تتناسب مع الأغراض والمتطلبات. يتوقف اختيار مادة معينة في الصناعة على وفرتها وكلفتها، لهذا اتجهت الأبحاث حالياً نحو دراسة واستغلال مواد غير مكلفة. يتناول هذا الموضوع دراسة تأثير إضافة غبار الرمل المتوفر بكميات عالية في الجزائر على خواص الخرسانة وتحديد النسبة العظمى التي يمكن إضافتها دون التأثير على نوعية الخرسانة. في هذه الدراسة تم تحضير عدة عينات تضم نفس كمية الاسمنت ورمل يحتوي على نسب غبار مختلفة 0، 15، 25، 35، و 45%.

أما نسبة كمية الماء المضافة فتتغير مع تغير نسبة غبار الرمل وهذا للحصول على عينات لها نفس خاصية الجريان. بينت النتائج المحصل عليها أن الإضافات كان لها تأثير على خواص العينات وأن هناك نسب إضافات محددة تمكن من الحصول على خواص جيدة. كما انه يمكن إضافة نسب عالية (35%) من غبار الرمل دون التأثير على خواص الخرسانة

الكلمات المفتاحية :

Les co-produits industriels tels que les cendres volantes, les fumées de silice, les laitiers de haut-fourneau, ont été d'un apport positif grâce à leurs caractères hydraulique et pouzzolanique. Leur utilisation a été généralisée comme additif dans les bétons durables et les bétons à hautes performances (De Larard, 1988, Yogendran et al, 1987, Pala et al, 2007). Cependant, le prix de ces additifs est relativement élevé ce qui n'est pas le cas des fillers calcaires et siliceux. La Norme ENV 206 les définit comme matériaux à minéraux finement divisés et pouvant être ajoutés au béton afin d'améliorer certaines de ses propriétés. Selon le pays, on a accordé des taux variables et modérés (tableau 1).

Tableau 1 : Spécifications des fillers issus de produits de concassage dans différents pays (en % de masse de sable)

Allemagne DIN 44 226 1971	Canada CSA A231 1973	Italie Uni 7 163	Belgique NBN 589-102 1969	U,S,A ASTM C33 1986	France NF P 18 541, 18 301 NF XP18 540- 1994-1983-1997	Algérie DTR BE 2-1 RETAB 1991- 1998	Grande. Bretagne BS 822 1992
< 4 %	< 3,5 %	<3,5%	< 3- 5 %	< 3-7 %	12 à 18 %	4 à 10 %	< 16 %

En Grande Bretagne leur utilisation a été autorisée récemment. Même pour les ciments, en France, le taux de fillers autorisé ne dépasse pas 5 % (NF P 15 301, 1995). Par prudence, les tolérances des spécifications dans la plupart des pays sont faibles par rapport aux normes européennes actuellement en vigueur où le taux accordé est plus élevé, (EN 933, ENV 1971, EN 12680 2002). Cela provient du fait que les éléments nocifs les plus courants se trouvent dans les matériaux fins.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des fillers

	CaCO ₃ (%)	Finesse de Blaine (m ² /kg)	Valeur au bleu MBF (g/l)	Teneur en eau Wf (%)	Fe (%)	MgCl (%)	Densité Apparente (Kg/m ³)	Densité Absolue (Kg/m ³)
Moyenne	98,50	375.97	0,58	0,00	0,00	0.35	920	2740
Ecart Type	0.36	30.45	0.10	0.00	0.00	0.17	28.46	0.58

Les éléments de pollutions peuvent être assez divers, mais les plus redoutés sont surtout les argiles. Leur présence dans un mélange de béton peut empêcher l'adhérence ciment-granulat et l'hydratation du ciment. En outre, l'argile peut gonfler et provoquer des fissurations et par conséquent des chutes de résistance.

Actuellement la présence d'argile nocive dans les matériaux fins est appréciée par l'essai au bleu de méthylène [EN 933-9], qui permet de faire la distinction entre les fines nocives et celles qui sont inertes (Trang, 1980, Le Roux et Unikowski, 1980). Avec l'évolution du contexte normatif (ENV 206) l'utilisation des additions calcaires est plutôt recommandée, mais les méthodes de formulation actuelle ne permettent pas d'appréhender leurs effets pour optimiser le mélange granulaire.

La plupart des études (Moosberg-Bustnes et al, 2004, Donza et al 2002) s'intéressent surtout aux additions minérales par substitution au ciment afin d'optimiser leur utilisation. Très peu d'études (Celik et Mamer, 1996,

Topçu, 2003) ont été faites par substitution au sable. Par souci de maintenir tous les facteurs constants, la comparaison est généralement faite à quantité d'eau constante (E/C= constante). Or, avec l'ajout d'additions minérales, le besoin en eau dépend de la finesse et de la morphologie des additifs introduits et peut varier de 1 à 4 (Kara, 2001).

L'effet filler (Baron, 1996) est favorable surtout si les additions permettent une diminution de la demande d'eau et par conséquent du rapport E/C pour une même consistance.

La substitution au sable entraîne un effet granulaire, du moment que le module de finesse du sable varie avec l'ajout de fillers, ce qui contribue à modifier les performances des mélanges cimentaires (Dreux 1969).

Dans cette étude on s'intéresse aux additions 0 /100 µm issues de produit de concassage par substitution du sable et en maintenant une maniabilité constante. Il s'agit de valoriser des sables de carrières présentant un taux élevé de fillers calcaires, disponibles en grande quantité dans la région de Constantine. (Benachour 1992., Koutchoukali et al 1991). Au vu des normes ces sables sont considérés comme non conformes alors que leur introduction dans les mélanges cimentaires a donné des bétons performants (Benachour 1996).

L'objectif de cette étude est d'identifier les proportions maximales que l'on peut introduire sans compromettre la qualité, en optimisant le mélange granulaire et de mettre en évidence d'éventuels effets bénéfiques.

1. Processus expérimental.

1.1 Matériaux.

Dans cette étude, on s'intéresse aux additions de type 1 (EN 206-1 2004). Ce sont des fillers calcaires 0/100 µm de carrières du Boulonnais, Rinxent, France. Les principales caractéristiques fournies par le producteur ont été synthétisées dans le tableau 2. Sur la figure 1 sont représentés les résultats de l'analyse granulométrique laser.

Le ciment utilisé est de type CEM I-52.5 de la région de Lille France, conforme à la norme EN 197-1.

Les principales caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques sont représentées dans les tableaux 3 et 4.

1.2 Méthode

Le principe est de comparer différents mortiers en introduisant par substitution aux sables des ajouts de fillers calcaires à différentes proportions massiques 0, 15, 25, 35 et 45. Pour chaque série confectionnée des caractéristiques sur mortier frais et durci ont été mesurées. Sur le tableau 5 sont synthétisés les dosages préconisés pour la campagne d'essais.

Tableau 3 : Caractéristiques chimiques du ciment CEM I 52.5 employé

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Na ₂ O eq (%)	Cl- (%)	Perte au feu (%)	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	CA (%)	CAF (%)
20.8	4.5	2.4	64.0	2.3	3.3	0.8	0.14	0.63	0.03	0.9	58	13	10	7

Tableau 4 : Caractéristiques physiques et résistance à la compression du ciment CEM I 52.5 employé

Caractéristiques Physiques				Résistance à la compression			
Surface de Blaine (m ² /kg)	Densité Apparente (kg/m ³)	Densité Absolue (kg/m ³)	Temps de début de prise	1 jour (MPa)	2 jours (MPa)	7 jours (MPa)	28 jours (MPa)
420	998	3130	2 h 45	24	38	52	64

1.3 Préparation d'échantillons et protocole d'essai

Les mélanges ont été coulés dans la même journée dans des coffrages de poutres (50x15x15 cm³) et prismes (4x4x16 cm³), protégés par enveloppe plastique afin d'éviter toute dessiccation. Le malaxage a été effectué pendant 4 minutes à trois vitesses différentes conformément à la norme EN 196-1. Après 24 heures les poutres et les prismes ont été décoffrés et immergés dans un bassin rempli d'eau à 20 °C ± 1 pendant 28 jours. Les échantillons ont ensuite été carottés puis tronçonnés et rectifiés afin d'obtenir le parallélisme des surfaces.

Tableau 5 : Composition des mortiers

Fillers		Sable normalisé EN 196-1 (g)	Ciment CEM I 52,5 EN 197-1 (g)	Eau (g)	Maniabilité au Maniabilimètre B NF P 18-452 - (s)
(%)	(g)				
0	0	1350	450	216	25 ± 1
15	202,50	1147,50	450	210	
25	337,50	1012,48	450	231	
35	472,50	877,50	450	275	
45	607,50	742,50	450	302	

Le module d'élasticité et la perméabilité ont été réalisés sur des cylindres de 37 mm de diamètre et d'élancement 2. La traction par flexion 3 points a été réalisée sur les prismes 4x4x16 cm³, cependant les résistances à la compression ont été faites sur des cubes 4x4 cm². Les mesures de porosité et de masse volumique ont été effectuées sur des rondelles de 37 mm diamètre et d'une hauteur comprise entre 10 et 60 mm.

1.3.1 Essais mécaniques.

La traction par flexion a été réalisée sur des prismes à l'aide d'un dispositif de flexion 3 points (EN 196-1). De même pour les résistances à la compression, les mesures ont été réalisées à l'aide d'un dispositif pour cube (EN

196-1). La vitesse de déplacement a été fixée à 0,12 mm/mn. Pour le module de Young, les déformations longitudinales ont été mesurées sur des éprouvettes cylindriques à l'aide d'un dispositif (figure 2.) conçu par notre laboratoire (Agostini et al, 2006).

La hauteur de mesure, utilisée pour obtenir les déformations est de 30 mm. Le déplacement a été estimé de la valeur moyenne de quatre mesures obtenues par les quatre capteurs LVDT (Linear Variable Differential Transformer) maintenus entre deux anneaux.

Cela permet de compenser les perturbations dues à d'éventuels phénomènes de flexion. Des résultats préliminaires ont montré que les mesures obtenues avec le système LVDT et les jauges sont comparables.

1.3.2 Essais de perméabilité

Les échantillons cylindriques (Ø=37 mm, h=74mm) ont été préalablement séchés à l'étuve à 65 °C de manière à évacuer l'eau se trouvant dans les pores du matériau. Les mesures de perméabilité ont été réalisées en plaçant l'échantillon protégé par une jaquette sur l'embase inférieure de la cellule hydrostatique. Le matériau a été soumis à une pression de confinement de 4.2 MPa à l'aide d'huile hydraulique (HF95Y Enerpac).

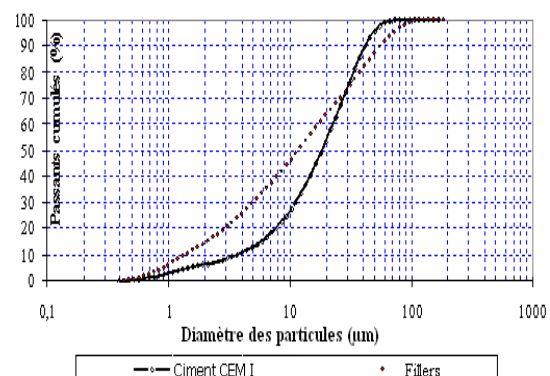


Figure 1 : Résultat d'analyse granulométrique laser du filler et du ciment.



Figure 2 : Dispositif expérimental avec 4 LVDT maintenus entre 2 anneaux

Le gaz utilisé est inerte ; c'est de l'argon pur, de viscosité $2.2 \cdot 10^{-5}$ Pa.s à 20 °C. Celui ci est injecté à une pression interstitielle $P_i = 1,8$ MPa sur la face inférieure de l'échantillon. Le drainage est fait à partir de la face supérieure à la pression atmosphérique, jusqu'à installation du régime permanent d'écoulement dû au gradient de pression (Loosveldt H et al 2002).

2. Résultats et Discussions

2.1 Variation de masse volumique et de porosité

Elles sont mesurées sur 4 rondelles de 37 mm de diamètre et une hauteur comprise entre 20 et 60 mm. La moyenne a été obtenue par différence entre la masse saturée sous vide et la masse sèche à 65 °C (jusqu'à masse constante). Le volume est simplement calculé à partir des dimensions des échantillons.

Les figures 4 et 5 présentent respectivement la variation de masse volumique et de porosité en fonction de la variation du taux de fillers.

On constate que la masse volumique et la porosité sont très influencées par l'ajout de fines. Au-delà de 15 % de fillers, on observe une chute progressive de la densité par palier de 2,7 à 2,9 % et une augmentation de la porosité jusqu'à atteindre une valeur double.

Les fines calcaires arrivent à remplir une partie de la porosité tout en libérant l'eau. L'excès de fillers calcaires favorise la formation d'un volume de pâte (eau+ciment+fillers) plus important par rapport aux grains solides du sable (figure 6) du moment que l'ajout de fillers calcaires est fait par substitution du sable.

Le rapport E/C varie peu pour les additions allant jusqu'à 25 % (figure 7).

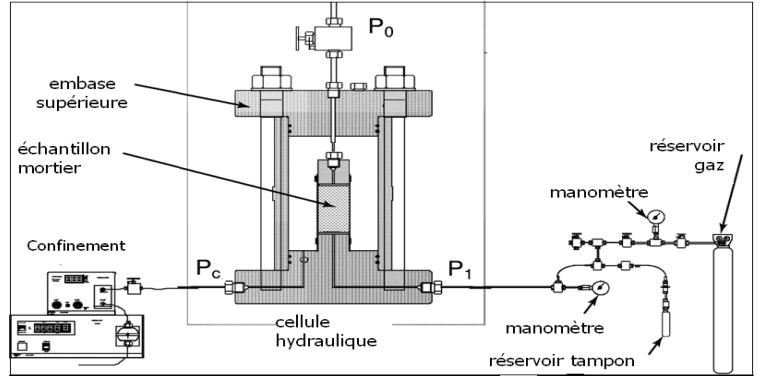


Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental de perméabilité au gaz.

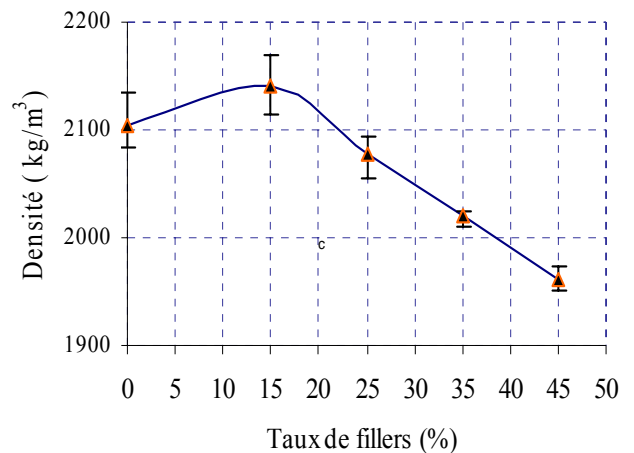


Figure 4 : Variation de la masse volumique des mortiers élaborés en fonction du taux de fillers

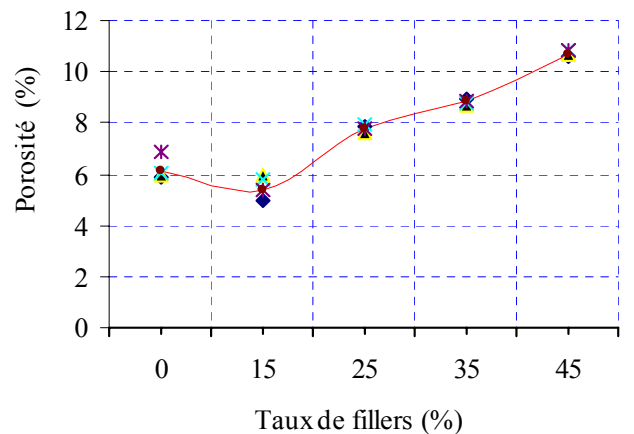


Figure 5 : Variation de la porosité des mortiers élaborés en fonction du taux de fillers

3.2 Variation de résistance et du module d'élasticité.

La résistance à la compression à 28 jours du mortier est déterminée en utilisant les parties rompues de trois prismes d'abord soumis à l'essai de flexion.

Les extrémités des prismes sont intactes après rupture en flexion (ASTM 116-90 et EN 196-1). Pour le module, les déformations longitudinales ont été mesurées sur trois éprouvettes cylindriques

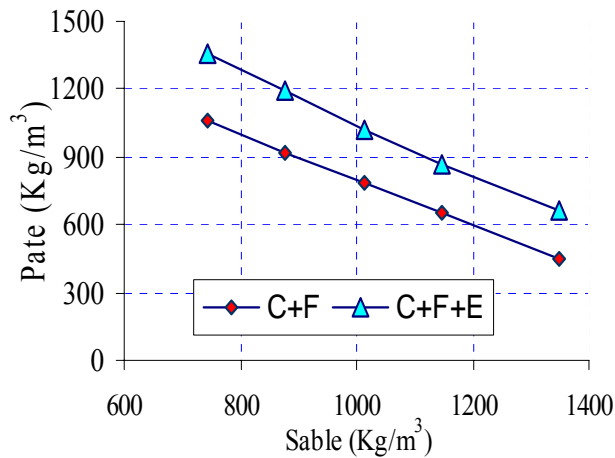


Figure 6 : Variation du dosage pondéral entre pâte liante et sable en fonction du taux de fillers (C=Ciment, F=Fillers, E=Eau)

Les résultats du module d'élasticité à 28 jours en fonction du taux de fillers sont représentés sur la figure 8. On observe que le module diminue avec l'augmentation du taux de fillers et donc de la porosité. Les mortiers confectionnés avec 15 % d'ajout de fillers améliorent de 2,8 % le module de d'élasticité par rapport au mortier de référence. Au delà, on observe une diminution progressive par paliers variant de 8,57 à 16,3 %.

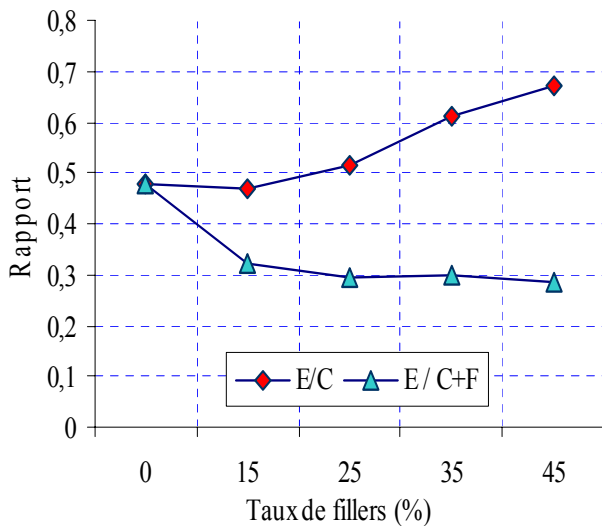


Figure 7 : Variation du rapport E/C et E/ C+F en fonction du taux de fillers (C=Ciment, F=Fillers, E=Eau)

En revanche les résistances à la compression et traction par flexion (figures 9 et 10) sont meilleures qu'avec le mortier de référence pour des taux de fillers allant jusqu'à 35 %.

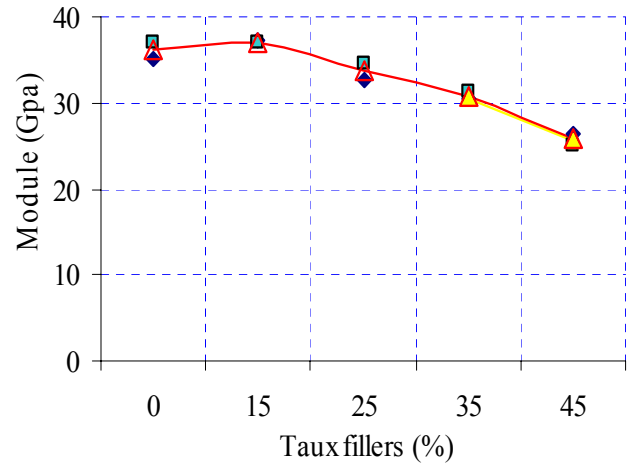


Figure 8 : Variation du module d'élasticité des mortiers élaborés en fonction du taux de fillers

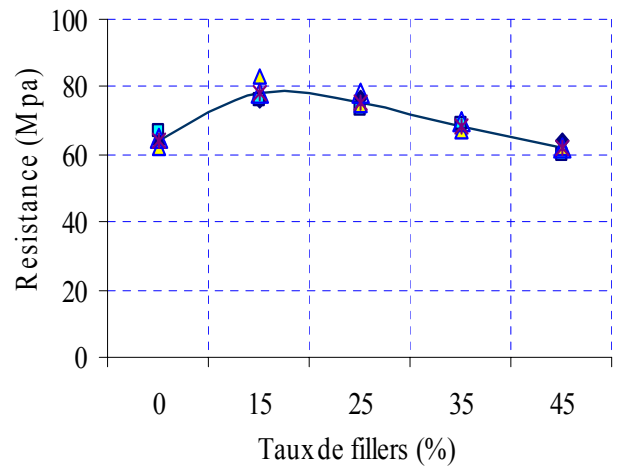


Figure 9 : Résistance à la compression des mortiers élaborés en fonction du taux de fillers

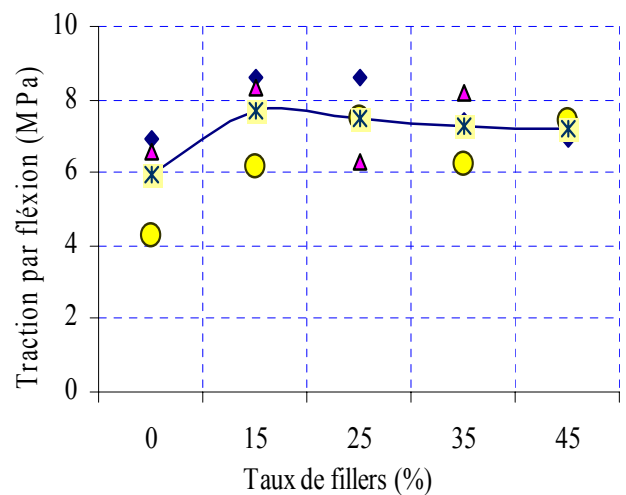


Figure 10 : Variation de la traction par flexion des mortiers élaborés en fonction du taux de fillers

L'optimum est à 18 %, soit 14 MPa d'amélioration de résistance à la compression et 23 % (1,76 MPa) pour la

traction par flexion. Les résistances des différents mortiers diminuent peu alors que l'augmentation de la porosité est importante.

Donc il n'y a pas de relation univoque entre la porosité et les résistances. L'amélioration des résistances indépendamment de l'effet remplisseur est due à la nucléation hétérogène qui produit un excès d'hydrates formés. Cela est dû au fait que la réaction entre l'eau et le ciment est plus rapide en présence de poudre calcaire (Notat 1994, Baron 1996).

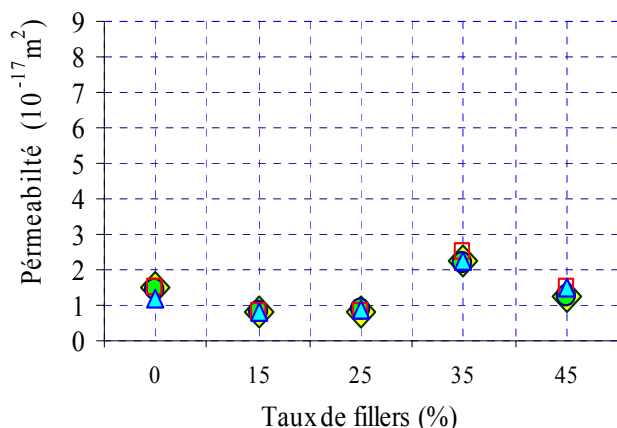


Figure 11 : Variation de la perméabilité des mortiers élaborés en fonction du taux de fillers

Il a été démontré que l'effet de la finesse est bénéfique pour les surfaces spécifiques en dessous de $500 \text{ m}^2/\text{kg}$ (Lawrence et al, 2005). L'amélioration de résistance peut s'expliquer aussi par la formation des aluminates et des carboaluminates du moment qu'il y a réaction chimique entre le carbonate de calcium et l'aluminate tricalcique (Soroka et Stern, 1976).

2.3 Variation de la perméabilité

Comme il a été précisé précédemment, la perméabilité a été mesurée sur des échantillons secs (après étuvage). Les résultats obtenus (Figure 11) ont été calculés à partir de la moyenne de trois essais (sur deux échantillons différents). On observe que la perméabilité varie peu (de $8,79 \cdot 10^{-18}$ à $2,51 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$) indépendamment de la variation de la porosité observée qui est beaucoup plus importante. Ceci indique que le volume des hydrates formés par le liant est un indicateur du degré d'interconnexion du réseau poreux. Les mortiers qui sont un peu moins perméables ont été observés pour les taux de fillers de 15 et 25 %.

La manifestation de l'apport physico-chimique de l'addition sur la structuration de la matrice cimentaire est probablement à l'origine de ce phénomène. Cela dépend de la façon dont les hydrates s'assemblent, de leur arrangement dans l'espace et de leur liaison (Baron 1996). Certains auteurs (Uchikawa et Hamhara, 1996) ont montré que l'ajout de poudres minérales dans le béton réduit la taille des produits d'hydratations, empêche le dépôt de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en vertu de leur rôle remplisseur et par conséquent diminue la taille des pores. Cela favorise l'obtention de

mortiers peu perméables pour des additions calcaires allant jusqu'à 45 %.

CONCLUSION

Les mortiers confectionnés en introduisant différents taux de fillers calcaires (jusqu'à 45%) par substitution au sable ont été comparés afin de valoriser des sables présentant des taux élevés de fillers. Les propriétés physiques, mécaniques et la perméabilité ont été étudiées en fixant une maniabilité constante pour tous les mortiers. Les résultats montrent que la teneur optimale en fillers de 15 % (équivalant à 45% par rapport au poids du ciment introduit) a permis l'obtention de bonnes performances (14 MPa d'augmentation par rapport au mortier de référence). Toutefois, les résistances restent meilleures par rapport au mortier de référence pour des ajouts allant jusqu'à 35 % (équivalant à 105 % par rapport au poids du ciment introduit), malgré l'augmentation considérable de la porosité avec l'ajout important de fillers.

Ceci ne peut être expliqué que par l'effet physique de la nucléation hétérogène et la formation d'aluminates et de carboaluminates. En revanche, le module d'élasticité et la masse volumique diminuent considérablement avec l'augmentation de la porosité des mélanges obtenus. La perméabilité qui est un indicateur de la durabilité varie peu et semble être peu influencée par l'ajout de fillers. L'apport physico-chimique de l'addition sur la structuration de la matrice cimentaire est probablement à l'origine des phénomènes observés.

Ceci dépend de la façon dont les hydrates s'assemblent, de leur arrangement dans l'espace et de leur liaison. L'ajout de fillers dans les mortiers réduit la taille des produits d'hydratations, empêche le dépôt de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ce qui favorise la diminution de la taille des pores. Cependant, une étude physico-chimique et microstructurale approfondie apporteront certainement des réponses plus claires à ces phénomènes.

Il sera aussi intéressant d'étudier le retrait et le comportement au gel dégel des mortiers présentant des teneurs élevées de fillers. A la lumière de ces résultats on peut envisager l'utilisation de sables à taux élevé de fillers allant jusqu'à 35 %. Il est à signaler que ces résultats ont été obtenus dans des conditions idéales de laboratoire en utilisant du sable normalisé.

Cependant d'autres études utilisant des sables de carrières peuvent être réalisées afin de confirmer leurs utilisations à des taux élevés. Ceci présente un intérêt certain tant sur le plan de l'exploitation des ressources régionales que sur celui de l'environnement et de l'économie.

REFERENCES

- Agostini F., Lafhaj Z., Skoczylas F., Loodsveldt H., *Experimental study of accelerated leaching on hollow cylinders of mortar*, Cement and Concrete Research., pp 09-18, 2006
- Baron J., *Les additions normalisées pour le Béton In les bétons bases et données pour leur formulation*, Association technique,

- industrie des liants hydrauliques, 1996, Edition Eyrolles, Paris, pp 47-57, 1996
- Benachour Y., *Analyse de l'influence du sable de mer et du sable de carrière sur les caractéristiques du béton*, thèse de magister, université Mentouri Constantine Algérie, Février 1992
- Benachour Y., *Analyse de l'influence des fillers sur les résistances du béton*, séminaire national sur la qualité des bétons de construction, organisé par PUBLITECH, Alger, pp 89-99, 26 et 27 mars 1996.
- Celik T., Mamer K., *Effects of crushed stone dust on some properties for concrete*. Cement and Concrete Research Vol 26 N° 7 pp 1121-1130, 1996
- De Larrard F., *Formulation des bétons et propriétés des bétons à très hautes performances*, rapport de recherche LCPC N° 149, 1988
- Donza H., Cabrera, O., Irassar E.F., *High-strength concrete with different fine aggregate* Cement and Concrete Research 32, pp 1755–1761, 2002
- Dreux G., *Contribution à l'étude de l'influence de la finesse des sables sur diverses qualités des bétons* Annales de l'ITPB N° 261 Sept 1969.
- Loosveldt H., Lafhaj Z et Skoczylas F., *Experimental study of gas and liquid permeability of a mortar* Cement and Concrete Research, Volume 32, Issue 9, Pages 1357-1363, septembre 2002.
- Kara-A R., *influence des additions minérales sur le besoin en eau et les résistances mécaniques des mélanges cimentaires*, thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, France, 2001.
- Koutchoukali N., Adjali S., Benachour Y., *Reconnaissance des sables de concassage de la région de Constantine*, séminaire national organisé par l'ERCEst et CTC Est, Béjaia(Algérie) pp 99-110, 1 et 2 juin, 1991.
- Le Roux A., Unikowski. Z., *Mise en évidence des fines argileuses dans les granulats à béton*, Bull des liaisons des L.P.C N° 110, Noc-Dec , 1980
- Lawrence P., Cyr M., Ringot E., *Mineral admixtures in mortars effect of type, amount and fineness of fine constituents on compressive strength*, Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 6, pp 1092-1105, 2005
- Moosberg-Bustnes H., Lagerblad B., Fotsberg E., *The function of fillers in concrete*, Materials and Structures, Vol 37, pp 74-81, 2004.
- Pala M., Özbay M., Öztaş A et Yuce I M., *Appraisal of long-term effects of fly ash and silica fume on compressive strength of concrete by neural networks*, Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 2, pp 384-394, 2007
- Soroka I., Stern N., *Calcareous fillers and compressive strength of Portland cement*, Cement and Concrete Research. 6 (3), pp 367–376, 1976
- Topçu I B., Ugulru Ali., *Effect of the use of mineral fillers in the properties of concrete*, Cement and Concrete Research 33, pp 1071–1075, 2003
- Trang N L., *l'essai au bleu de méthylène, un progrès dans la mesure et contrôle de la propreté des granulats*, Bull des liaisons des LPC N° 107 mai-juin, 1980
- Uchikawa H., Hamhara H., *Influence of microstructure on the physical properties of concrete prepared by substituting mineral powder for part of fine aggregate* , Cement and Concrete Research, pp 101-111, 1996.
- Yogendran V., Langan B W., Haque M N., Ward M A., *Silica-fume in high -strength concrete*, ACI Materials Journal, pp124-129, 1987
- Notat A., *Interactions between chemical evolution hydration and physical evolution (setting) in the case of tricalcium silicate*, Matériaux and structures, 27,168 PP 187-195, 1994