

Influence des conditions environnementales et mécaniques sur le mortier de jeune âge

L.A. Chaabane* et Y. Sebaïbi†

Laboratoire Génie Civil et Environnement, Département de Génie Civil
Université Djilali Liabes, Sidi Bel Abbès 22000, Algérie

(reçu le 30 Août 2015 – accepté le 30 Septembre 2015)

Résumé - L'objectif de cette étude est la valorisation des déchets de carrière, lors de la taille des blocs de pierre et d'analyser le comportement du mortier au cours des périodes chaudes. Le mortier est un matériau polyvalent (ciment, sable, eau), afin de palier au déficit de la production du ciment, qui est une préoccupation majeure de la recherche. Il faut mettre au point des liants moins coûteux tout en préservant l'environnement, l'utilisation des additions minérales, dans le mortier qui représente une voie économique rentable sachant que le ciment contient de 3 à 5 % de gypse qui sert de régulateur de prise. Le gypse qui concentre les impuretés du minerai de base, pose souvent des problèmes de stockage et de préservation de l'environnement. L'utilisation du gypse qui est un sulfate hydraté naturel de chaux (H_4CaSO_6) comme traitements à la chaux ou aux liants hydrauliques (ciments ou liants routiers) confèrent à ces matériaux des caractéristiques mécaniques et une insensibilité à l'eau satisfaisante. Cet article présente les résultats d'une étude expérimentale de déchets de Gypse pour la fabrication du mortier et qui a porté sur l'utilisation des matériaux locaux (sable de la carrière de Terga) de la wilaya de Ain Temouchent en Algérie et le recyclage des additions minérales de chaux de la société (Knauf Fleurus).

Abstract - The objective of this study is the valuation of quarry waste when cutting stone blocks and analyze the mortar behavior during warm periods. The mortar is a versatile material (cement, sand, water), in order to overcome the deficit in the production of cement, which is a major concern of the research is to develop less expensive binders while preserving the environment, use mineral additions in the mortar is a viable economic way knowing that the cement contains from 3 to 5% gypsum which serves as a setting regulator. Gypsum which concentrates impurities from base ore, often poses storage and preservation of the environment problems. The use of gypsum is a natural hydrated sulphate of lime (H_4CaSO_6) as treatment with lime or hydraulic binders (cement or asphalt binders) give these materials the mechanical properties and insensitivity to satisfactory water. The purpose of this study is the valuation of quarry waste when cutting stone blocks and analyze the mortar behavior during warm periods. This article presents the results of an experimental study of waste gypsum for the production of mortar and which focused on the use of local materials (sand quarry Terga) of the wilaya of Ain Temouchent in Algeria and recycling mineral additions society lime (Knauf Fleurus).

Keywords: Mortar - Sand – Gypsum –Temperature - Multiaxial behaviour.

1. INTRODUCTION

Le mortier est un matériau polyvalent (ciment, sable, eau). La mise en œuvre du matériau, tels que, le béton ou le mortier, les traitements à la chaux ou aux liants hydrauliques (ciments ou liants routiers) confèrent à ces matériaux des caractéristiques mécaniques et une insensibilité à l'eau satisfaisante.

* chaabane25@hotmail.com

† sebaibi2004@yahoo.fr

Le gypse qui concentre les impuretés du minerai de base, pose souvent des problèmes de stockage et de préservation de l'environnement. A cet effet cette recherche a pour but est d'analyser le comportement du mortier au cours des périodes chaudes.

Ce travail expérimental a porté sur l'utilisation des matériaux locaux (sable de la carrière de Terga) de la wilaya de Sidi Bel Abbès en Algérie et le recyclage des additions minérales de chaux de la société (Knauf Fleurus), afin de bien valoriser les ajouts minéraux utilisés, nous avons procédé à la quantification de leurs effets sur la perte de masse du mortier et sa résistance multiaxiale.

Trois mortiers de différents dosages de déchets de gypse (5%, 8% et 10%) ont été préparés. La détermination de leurs propriétés mécaniques, perte de masse par dessiccation (pour éliminer l'eau absorbée par le phosphogypse) a permis de mesurer l'influence de ces déchets.

Par ailleurs, dans la seconde partie, nous avons essayé de déterminer les efforts de traction par flexion en ayant des résultats à l'amont afin de choisir les valeurs de pourcentages adéquates pour la confection des mortiers.

2. PROCEDURES EXPERIMENTALES

2.1 Matériaux employés

2.1.1 Matériaux et procédures expérimentales

Pour les essais, 14 séries d'échantillons, ont été préparés, pour affiner nos résultats des éprouvettes de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, ont été préparées, selon la norme NF EN 196-1 [1].

Les échantillons ainsi formés ont été séchés à l'air libre. Nous avons travaillé sur plusieurs valeurs du rapport E/C, après plusieurs essais nous avons fixé leurs valeurs du rapport E/C=0.53 des éprouvettes soumises à l'essai de compression.

Dans la seconde partie, des éprouvettes seront soumises à des cycles de séchage dont la température variera de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ à $150 \text{ }^\circ\text{C}$.

D'autres mélanges ont été préparés dans la confection du mortier obtenu grâce aux résultats de la première partie en faisant varier le rapport E/C et le pourcentage d'ajouts dans les différentes compositions qui seront soumis à l'essai de traction par flexion.

Les matériaux utilisés pour la formulation des mortiers sont,

2.1.2 Constituants du ciment

Le ciment utilisé est le ciment Portland composé le CPJ-CEM II / A. Ce ciment provient de la cimenterie de Zahana. La masse volumique absolue est de 3200 kg/m^3 et sa surface spécifique de $2900 \text{ cm}^2/\text{g}$. Le ciment est composé de,

Tableau 1: Caractéristiques du ciment Portland composé le CPJ-CEM II

Composition du ciment	Clincker = 80 % à 94 % Pouzzolane naturelle = 6 % à 20 % Gypse < 5 % Constituants secondaires = 0 %
Caractéristiques techniques	Chlorures < 10 mm Sulfates < 4.0 % Expansion < 10 mm Temps du début de prise > 90 min

2.2.1 Additions

Un seul type d'addition a été utilisé dans cette étude.

Addition minérale

Les ajouts proviennent de la carrière Knauf Fleurus, qui sont des déchets du gypse.

a- Composition du gypse

L'utilisation de la poudre de roche pour la fabrication des composants du mortier envisagée a aussi pour objectif la valorisation des déchets de carrière lors de la taille des blocs de pierre.

Comme dans la plupart des roches sédimentaires, les principales phases cristallines du gypse sont la calcite ($\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$) [Knauf Fleurus].

Le gypse, qui est le composant traditionnel du mortier, possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente.

Nous avons procédé à la cuisson de l'ensemble des déchets de gypse à une température de 149.5°C pendant 60 secondes.

L'objectif est d'atteindre un degré d'humidité $\text{HR} = 4.68 \%$ sachant que la présence de l'humidité au sein du matériau, modifie considérablement ses performances, notamment ses caractéristiques thermo physiques [2] pour l'obtention d'une meilleure prise du mortier.

2.2.2 Le sable

Le sable utilisé dans les mélanges a été pris de la carrière de la zone Nord, l'analyse granulométrique a été faite selon la norme NF 18-560 [3] avec une tamiseuse à fréquence réglable, la fréquence utilisée est de 50 Hz, les résultats obtenus sont résumés dans le graphe de la figure 1.

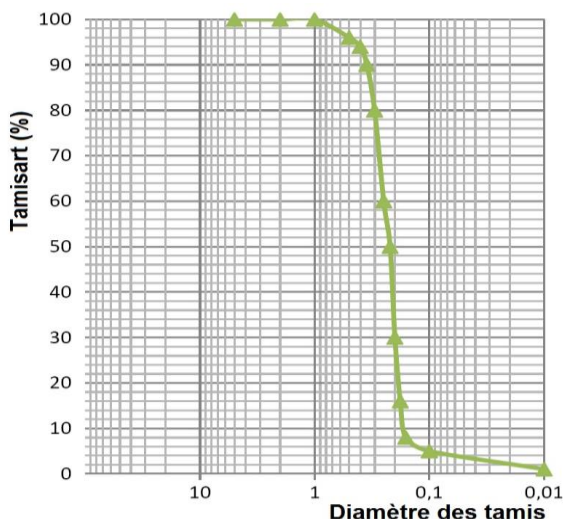


Fig. 1: Granulométrie du sable

Les prélèvements effectués dans la zone Nord, montrent un sable dont le coefficient d'uniformité $\text{Cu} = 2.4$ et un module de finesse correspondant à 2.70, ce qui nous permet de conclure que le sable A est conforme à la norme NF P 18-598[4]. Ce sable est dépourvu de matières agressives pouvant altérer le mortier.

_Analyses chimiques du sable

Tableau 2: Analyses chimiques du sable

Composants	Valeur
Silice	97.16 %
CaO	3.02 %
Fe ₂ O ₃	0 %
Al ₂ O ₃	0.76 %
SO ₃	0 %
CaCO ₃	1.87 %
CO ₂	0.82 %

2.2.3 Eau

L'eau remplit un double rôle: elle sert à hydrater le ciment, et, contribue à son ouvrabilité.

Il convient de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent beaucoup pour les mortiers et le béton. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale.

La maniabilité des mortiers (sans ajout d'adjuvants) est mesurée au maniabilimètre défini par la norme NF P 18-452 [5], qui a pour but d'apprécier l'efficacité d'un adjuvant, ou un super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sa réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale.

2.2.4 Super plastifiant

Le Super-Plastifiant a été utilisé au cours de tous les essais, et intégré dans le mélange selon la norme NFP18-335 [6], le Super-Plastifiant est le Plastacryl85 (Granitex). Il sert à améliorer la maniabilité. Ses caractéristiques sont:

Tableau 3: Caractéristiques du Super plastifiant

Super plastifiant	Caractéristiques
Forme	Liquide
Couleur	Transparent
pH	6 – 6.5
Densité	1.05 +/- 0.01
Taux de chlorure	< 1 g/l

2.2.5 Teneur en eau en fonction de taux de liant

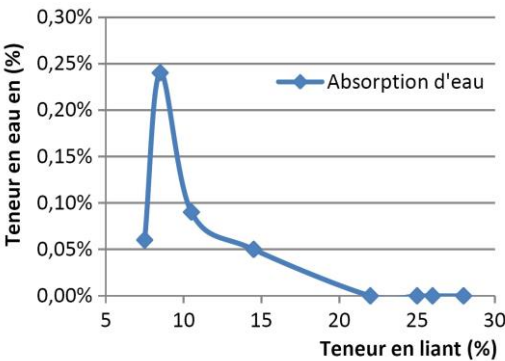


Fig. 2: Teneur en eau en fonction de taux de liant

La densité des éprouvettes croît pour des teneurs en liant inférieurs à 10% et décroît pour des valeurs supérieures à 10%. La croissance pour des teneurs au-delà de 10% serait due à une amélioration de compacité du mélange des deux matériaux liant et sable[7], ce qui confirme nos résultats de la figure 2.

Quant à la décroissance au-delà de 10%, elle pourrait se justifier par la quantité d'eau ajoutée dans les mélanges, ce qui confirme aussi nos résultats expérimentaux et l'augmentation du rapport E/C.

3. ETUDE EXPERIMENTALE DES MORTIERS

Ce travail a pour objet la valorisation des déchets de carrière lors de la taille des blocs de pierre, de ce fait la confection du mortier a fait l'objet d'un choix de quantité de gypse avec des valeurs de 0 %, 5 % et 8 % en maintenant le rapport Eau /Ciment constant de l'ordre de 0.5 en cours des essais prévus pour la première partie, l'utilisation des super plastifiants ont eu pour but d'améliorer la maniabilité du mortier[8].

La seconde partie présente l'exploitation des résultats obtenus de la première partie qui comprendra la variation du rapport E/C = 0.8 et E/C = 0.53. L'étude pratiquée sur la pâte du mortier a permis de déterminer les paramètres à ajuster pour la formulation des différents mortiers.

3.1 Perte de masse

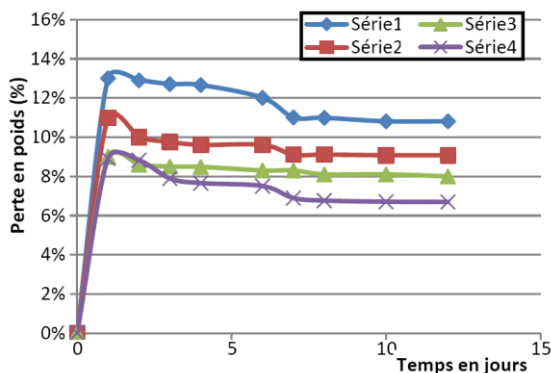


Fig. 3: Variation de la perte en poids de l'échantillon prismatique en fonction du temps de séchage

3.2 Performances mécaniques

Partie1- Les différentes séries 0%, 5 % et 8% montrent l'influence des ajouts sur les séries d'éprouvettes utilisés lors des essais au Laboratoire sur la résistance mécanique du mortier (figure 4).

Tableau 4: Valeur de la teneur de Gypse dans les différentes séries de mortier

	Pourcentages des ajouts	E/ C
Série 1	5 %	0.5
Série 2	8 %	0.5
Série 3	0 %	0.5

Partie 2- Les essais de la résistance par traction selon la norme NFP 15-451 [9] ont été effectuées sur une machine Ibert est pourvu d'un dispositif de flexion par trois points des séries de 5 % et 8% d'ajouts.

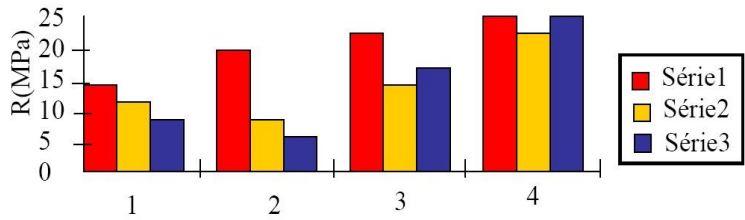


Fig. 4: Influence des ajouts sur la résistance à la compression (5% de Gypse)

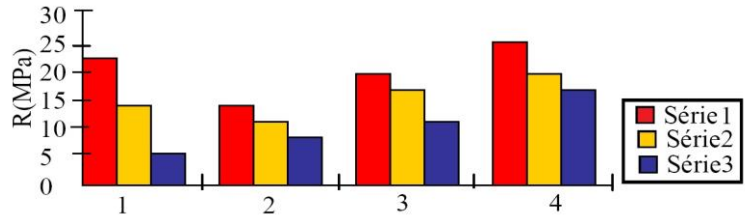


Fig. 5: Influence des ajouts sur la résistance à la compression (8% de Gypse)

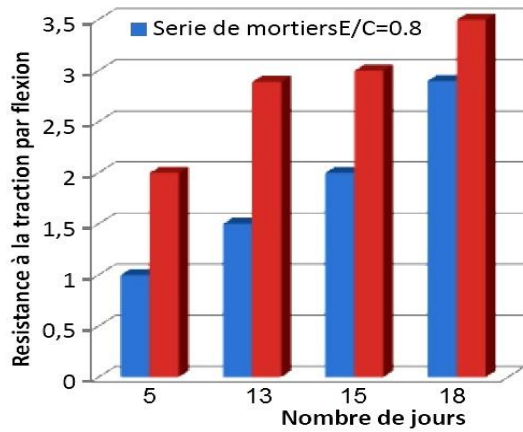


Fig. 6: Evolution de la résistance du mortier à la traction par flexion avec un rapport E/C=0.8

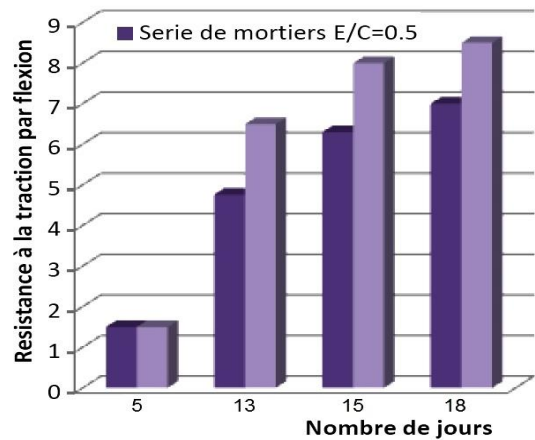


Fig. 7: Evolution de la résistance du mortier à la traction par flexion avec un rapport E/C = 0.53

4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

L'étude pratiquée sur la pate de mortier a permis de déterminer les paramètres à ajuster pour la formulation des différents mortiers. La connaissance de leur composition et de leur morphologie est nécessaire à la compréhension des différents mortiers conçus. La microstructure a été bien améliorée,. Les essais effectués par [10], montrent que la variation de la proportion de chaux n'a pas d'effet très important sur les temps de prise des pates de mortier pour les faibles teneurs en chaux.

Le diamètre des particules fines du sable et de la chaux inférieure à 80 microns consomment l'eau de gâchage, il est donc difficile d'obtenir un rapport E/C nécessaire pour l'obtention d'un mortier résistant surtout quand les deux matériaux contiennent beaucoup de fines et tout excédent d'eau enfermée dans le mortier, lors du durcissement entraîne une structure moins compacte et donc une réduction de ses performances mécaniques et de sa résistance.

En général, l'incorporation des additions minérales dans la composition du mortier entraîne une demande en eau supplémentaire, de même la présence des ajouts est accompagnée par une modification de la microstructure et une augmentation du pourcentage des pores fins comme dans le cas de la fumée de silice [11], ce qui n'entraîne pas forcément un retrait important.

A des taux d'humidité relative situés sous le niveau capillaire, les écarts de températures et leurs variations en cours des 12 jours ont fait apparaître que les pertes de poids et de retrait sont limitées par la quantité de CSH; celle-ci étant plus grande dans les pates aux fumées de silice [12].

La vitesse de chauffage est de 1°C/min jusqu'à 150°C. La perte de masse ne débute qu'à partir de 100°C [13] observe que la perte de masse commence par la perte de l'eau capillaire présente dans la couche externe du matériau. Puis progressivement, les gaz et fluides présents dans le matériau sont mis en mouvement.

Le processus de séchage dans la figure 3, dans les matériaux à matrice cimentaire, est un phénomène très lent (1000 à 10000 fois plus lent que le processus de diffusion thermique) [14]. Cette étude a montré qu'une variation cyclique de la température n'affecte sensiblement le comportement du mortier et par conséquent, les effets de séchage sont peu sensibles aux variations cycliques courtes.

On peut constater sur la figure 4 et la figure 5 que le pourcentage d'additif ajouté et le rapport E/C influe d'une façon positive sur la résistance du mortier. D'après les résultats trouvés on peut conclure que le mortier avec ajout minérale, un rapport E/C plus élevé est plus résistant aux essais de la traction par flexion et à la compression [15].

La densité des éprouvettes croît pour des teneurs en liant inférieures à 10% et décroît pour des valeurs supérieures à 10%. La croissance pour des teneurs au-delà de 10% serait due à une amélioration de compacité du mélange des deux matériaux liant et sable [7], ce qui confirme nos résultats de la figure 2. Quand à la décroissance au-delà de 10%, elle pourrait se justifier par la quantité d'eau ajoutée dans les mélanges, ce qui confirme aussi nos résultats expérimentaux et l'augmentation du rapport E/C.

L'eau permet l'hydratation du ciment et donc le durcissement de la pate. Rappelons qu'un ciment Portland demande environ 25 pour cent de son poids en eau pour s'hydrater complètement. Toute variation de la quantité d'eau entraîne des modifications de la vitesse de durcissement et des performances mécaniques.

D'après les résultats obtenus sur les figures 6 et 7, le diamètre des particules fines du sable et de la chaux inférieure à 80 microns consomment l'eau de gâchage. Il est donc difficile d'obtenir un rapport E / C nécessaire pour l'obtention d'un mortier résistant

surtout quand les deux matériaux contiennent beaucoup de fines et tout excédent d'eau enfermée dans le mortier, au delà d'un pourcentage de 10 % du liant, nous pouvons conclure que la résistance diminue et entraîne une structure moins compacte et donc une réduction de ses performances mécaniques et de sa résistance.

5. CONCLUSION

La connaissance de la composition et de la morphologie de la chaux est nécessaire à la compréhension des différents mortiers conçus en général, l'incorporation de ces additions minérales dans la composition du mortier entraîne une demande en eau supplémentaire, un volume de pâte plus important. Les études ont été menées afin d'évaluer le comportement du matériau sont très souvent sous sollicitations uni axiales compression uni axiale [16].

Leur comportement mécanique multiaxial est dû au fait d'un déséquilibre hygrothermique existant avec l'air ambiant va dépendre de cette dessiccation à l'origine de modifications locales et structurelles du matériau. Par ailleurs, la différence de rigidité entre les différents composants du mortier conduit à une microfissuration supplémentaire à l'interface de la pâte de ciment hydraté/inclusion rigide (grains de ciment non hydratés, granulats) [17].

Après durcissement et évaporation de l'eau excédentaire, il se forme des vides qui affaiblissent la structure du mortier et affectent les propriétés du mortier. Les cristaux formés lors de l'hydratation des grains de ciment doivent couvrir des distances importantes (par rapport à leurs dimensions) pour s'enchevêtrer, ce qui entraîne une progression plus lente des résistances finales affaiblies et une forte porosité de la pâte.

Ces données sont la première étape d'une étude macroscopique; parmi les perspectives à envisager est d'étudier le comportement du mortier dans le but de mettre en évidence le rapport E/C et la comparaison du phénomène de dessiccation entre la rigidification et la microfissuration induite.

REFERENCES

- [1] Rapport Technique, NF EN196-1Avril 2006, '*Méthodes d'Essais des Ciments*' - Partie 1: Détermination des Résistances Mécaniques.
- [2] R.T. Gratwick, '*L'humidité dans le Bâtiment, Causes et Remèdes*', Ed. Eyrolles, 1969.
- [3] Rapport Technique, NF 18-560 NF18-560 ISSN 0335-3931. P. 18-560, Sep. 1990. '*Granulats. Analyse, Granulométrie par tamisage*'.
- [4] Rapport Technique, NF 18-598, '*Mesure de l'Equivalent de Sable. Nature du sable*'.
- [5] Rapport Technique, NF P 18-452, '*La Maniabilité*'.
- [6] Rapport Technique, NF P 18-335, '*Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis*'.
- [7] Kossi Bollanigni, Kouma, Ouro-Djobo, Agbéko Yaovi et Abalo. '*Etude Expérimentale de la Formulation de Mortier à Base de Sable Silteux du Togo et de Liant de Sachets Plastiques Type 'Voltic*', Afrique Science, Vol. 10, N°3, pp. 48 – 59, 2014.
- [8] I. Yurtdas, H. Peng, N. Burlion, F. Skoczylas, '*Influence of Water by Cement Ratio On*', 2004 Mechanical Properties Of Mortars submitted to drying, Com, Concr. Res, submitted.
- [9] Rapport Technique, NFP 15-451, '*Essais mécaniques*'.

- [10] K. Beck, '*Critères de Compatibilité entre les Mortiers à Base de Chaux et des Pierres Calcaires à Forte Porosité*',
- [11] E.J. Sellevold and T. Nilsen, '*Les Fumées de Silice Condensées dans la Fabrication du Béton: une Etude Mondiale*' dans '*Matériaux Supplémentaires en Cimenterie*, CANMET, pp. 183 – 273, 1987.
- [12] P.K. Mehta, '*Pozzolanic and Cementitious by-Product in Concrete: Another Look*', Proceeding of the 3th CANMET /ACI International Conference, Trondheim, Norway, pp.1 – 43, 1989.
- [13] T. Okajima, T. Ishikawa and K. Ichise, '*Moisture Effect on the Mechanical Properties of Cement Mortar*', Trans Japanese Conc Inst, Vol. 2, pp. 125 – 132, 1980.
- [14] P. Acker, '*Comportement Mécanique du Béton: Apport de l'Approche Physico-Chimique*', PhD Thesis of Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, Rapport de Recherche LPC N°152, 1988.