

REMERCIEMENTS

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire. Tout d'abord, j'adresse ma profonde gratitude à Monsieur **Dr. Salim GUETTALA**, je le remercie pour sa constante disponibilité, pour son écoute, pour sa grande qualité pédagogique et humaine.

Je tiens également à remercier Monsieur le Recteur de l'université ainsi que le Doyen de la faculté.

J'exprime ma profonde gratitude au Chef de département pour ses encouragements et son assistance qu'il n'a cessé de me prodiguer.

J'exprime mes vifs remerciements à Monsieur le Président de jury, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance, je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux Membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être membre de jury et de bien vouloir juger ce travail.

Enfin, je remercie très chaleureusement ma Femme, mes Enfants, mes Collègues et tous ceux qui m'ont aidé à finaliser ce travail.

RÉSUMÉ

Un programme expérimental a été réalisé pour étudier l'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur la résistance en compression des bétons contenant le sable de dune broyé (SDB).

Nous avons fixé le même critère d'ouvrabilité à tous les bétons confectionnés afin de mener une étude rationnelle. En premier lieu nous avons commencé par évaluer l'influence de l'addition du SDB au ciment, sur la résistance à la compression avec l'âge des bétons en fonction de la teneur du ciment en SDB. Par la suite, nous avons étudié l'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur la résistance en compression des bétons contenant le SDB.

L'introduction de l'addition du SDB dans la production cimentaire permet, en plus du gain écologique et économique, une amélioration de la résistance à la compression des bétons. Cette amélioration résulte essentiellement de trois effets: un effet physique, un effet physico-chimique et un effet chimique. Ces effets agissent simultanément et de manière complémentaire. Les résultats ont démontré que jusqu'à 20% SDB pour remplacer le ciment peut être utilisé avec une finesse de 4500 cm²/g sans affecter négativement la résistance à la compression du béton, avec un effet optimum pour un pourcentage de l'ordre de 10%. Le broyage du sable de dune permet d'obtenir des populations de fines amorphes adsorbées à la surface des particules cristallines (une amorphisation de la surface des grains). Ce qui confère au SDB un caractère pouzzolanique.

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire améliore la résistance à la compression des bétons par rapport au durcissement à l'eau pendant les sept premiers jours de durcissement. Concernant l'influence du SDB sous l'étuvage à 35°C, on peut observer qu'au bout de 7 jours, la résistance en compression des bétons (B10 et B20) est supérieure à celle du béton de référence (BO). Ce qui explique que l'utilisation de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire, non seulement accélère l'hydratation du ciment et l'activité pouzzolanique du SDB mais active également la silice moins réactive.

Un gain de temps pour atteindre la résistance à la compression à 28 jours à l'eau a été obtenu après étuvage d'un jour prolongé de 3 jours de durcissement à l'eau pour les bétons (B10 et B20), et prolongé de 7 jours de durcissement à l'eau pour le béton (BO). Pour les bétons (B10 et B20) : 1 jour d'étuvage à 35°C et 7 jours de durcissement à l'eau, la résistance acquise est plus élevée que celle obtenue à partir d'un durcissement dans l'eau à 28 jours. A partir des résultats obtenus on a confirmé la contribution de l'étuvage à la vapeur initiale par l'énergie solaire à l'amélioration de la résistance à la compression des bétons contenant le SDB.

Ces résultats justifient bien l'intérêt que présente la technique de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire pour permettre un décoffrage rapide à court terme se traduisant par un gain accéléré de résistance en compression et une grande économie d'énergie électrique, accélère les réactions d'hydratation du ciment (une hydratation initiale rapide), l'accélération des cadences par réduction du temps de prise, donc un avancement plus rapide des chantiers et une rotation accélérée surtout dans les usines de préfabrication, ainsi que le bétonnage par temps froid.

Mots clés : Béton, Durcissement à la vapeur initiale, L'énergie solaire, Sable de dune broyé, Résistance à la compression.

ABSTRACT

An experimental program was conducted to studying the effect hardening the initial steam by solar energy on the compressive strength of concrete containing the sand of dune crushed (SDC). We set the same criterion of workability to all concretes made order to lead a rational study. First, we started with the evaluation of the influence of the addition of SDC to the cement on the compressive strength of concretes with age a function of the content of cement the SDC. Thereafter, we studied the hardening effect the initial steam by solar energy on the compressive strength of concretes containing the SDC.

The introduction of the addition of the SDC in the cement production enables, in addition to the ecological and economic gain, an improvement in the compressive strength of concretes. This improvement results primarily from three effects: a physical effect, a physical-chemical effect and a chemical effect. These effects act simultaneously and in a complementary manner. The results proved that up to 20% SDC to replace cement could be used with a fineness of 4500 cm²/g without affecting adversely the compressive strength, with an optimum effect for a percentage of the order of 10%. Grinding the dune sand allows to obtain amorphous fine populations adsorbed at the surface crystalline particles (amorphization of the grain surface). Which gives the SDC a pozzolanic character.

The results obtained show that the use of hardening with initial steam by the solar energy improves the compressive strength of concretes compared with the curing with water, during the first seven days of hardening. Concerning the influence of the SDC under steam curing at 35°C, it can be observed that after 7 days, the compressive strength of concretes (C10 and C20) is superior than the reference concrete (CO). Which explains that the use of hardening to the initial steam by solar energy not only accelerates the hydration of cement and pozzolanic activity of SDC but activated also the least reactive silica.

Saves time to reach the compressive strength at 28 days at water after steam curing for a day prolonged than 3 days of curing in water for concretes (C10 and C20); and prolonged by 7 days at the curing in water for concrete (CO). For concretes (C10 and C20): 1 day steam curing at 35°C and 7 days at the curing in water, the acquired resistance is higher than that obtained from curing in water at 28 days. Based on the results obtained it was confirmed the contribution of the steam curing at the initial steam by solar energy to improve the compressive strength of concretes containing the SDC.

These results well justify interest that present the hardening technique to the initial steam by the solar energy for allows rapid formwork removal a short-term resulting in an accelerated gain of compression strength and a great economy of electrical energy, accelerating the cement hydration reactions (a rapid initial hydration), acceleration cadences by reducing the setting time, so a faster progress of chantiers and accelerated rotation especially in precast plants, as well as cold weather concreting.

Keywords: *Concrete ; Hardening the initial steam ; Solar energy ; Sand of dune crushed ; Compressive strength.*

ملخص

ت م إجراء برنامج تجريبي لدراسة تأثير التصلب بالبخار الأولي باستخدام الطاقة الشمسية على قوة الانضغاط للخرسانات التي تحتوي على رمل الكتبان الناعم و المسحوق. وضعنا نفس معيار السيولة لكافة الخرسانات المنجزة وهذا من أجل دراسة عقلانية. أولا علينا دراسة وتقييم تأثير إضافة رمل الكتبان الناعم و المسحوق إلى الأسمنت على قوة الانضغاط مع العمر للخرسانة بدلالة محتوى الأسمنت من رمل الكتبان الناعم و المسحوق. و بعد ذلك، قمنا بدراسة تأثير التصلب بالبخار الأولي باستخدام الطاقة الشمسية على قوة الانضغاط للخرسانة التي تحتوي على رمل الكتبان الناعم و المسحوق.

إدخال إضافة رمل الكتبان الناعم و المسحوق في إنتاج الأسمنت تمكن، بالإضافة إلى المكسب البيئي والاقتصادي، تحسين قوة الانضغاط للخرسانة. ويرجع هذا التحسن أساسا إلى ثلاثة آثار: تأثير فيزيائي، تأثير فيزيوكيميائي و تأثير كيميائي. هذه الآثار تؤثر في وقت واحد و بطريقة متكاملة. النتائج أثبتت أنه حتى نسبة 20 ٪ من رمل الكتبان الناعم و المسحوق ليحل محل الأسمنت يمكن استخدامها بنعومة 4500 سم²/غ دون أن يؤثر ذلك سلبا على مقاومة الانضغاط، مع وجود تأثير امثل من أجل النسبة المئوية 10 ٪. طحن رمل الكتبان ينجم عنه مجموعة من عناصر صغيرة و ناعمة جدا أمورف (غير متبلور) على سطح الجزيئات المتبلورة (amorphisation على سطح الحبيبات). مما يعطي رمل الكتبان الناعم و المسحوق الطابع البوزولاني.

تبين النتائج أن استخدام التصلب بالبخار الأولي باستخدام الطاقة الشمسية تحسن قوة الانضغاط للخرسانات مقارنة بالتصلب في الماء، خلال الأيام السبعة الأولى من التصلب. وفيما يتعلق بتأثير رمل الكتبان الناعم و المسحوق مع التصلب بالبخار الأولي عند 35 درجة مئوية، يمكن أن نلاحظ أنه بعد 7 أيام، قوة الانضغاط للخرسانات (B20 و B10) أكبر من الخرسانة المرجعية (BO). وهذا ما يفسر ان استخدام التصلب بالبخار الأولي باستخدام الطاقة الشمسية، لا يسرع فقط اماهة الأسمنت والنشاط البوزولاني لرمل الكتبان الناعم و المسحوق ولكن أيضا ينشط السيليكا الأقل نشاطا.

رجح في الوقت للحصول على قوة الانضغاط عند 28 يوما في الماء بعد التصلب بالبخار الأولي ليوم واحد ومدد ب 3 أيام تصلب في الماء للخرسانات (B20 و B10) ؛ ومدد ب 7 أيام تصلب في الماء للخرسانة (BO). الخرسانات (B20 و B10) : يوم واحد من التصلب بالبخار الأولي عند 35 درجة مئوية ومدد ب 7 أيام تصلب في الماء، قوة الانضغاط المكتسبة هي أعلى من تلك التي نحصل عليها باستخدام التصلب في الماء عند 28 يوما . حسب النتائج المتحصل عليها تم التأكيد على مساهمة التصلب بالبخار الأولي باستخدام الطاقة الشمسية لتحسين قوة الانضغاط للخرسانة التي تحتوي على رمل الكتبان الناعم و المسحوق.

هذه النتائج تبرر الفائدة من استخدام تقنية التصلب بالبخار الأولي باستخدام الطاقة الشمسية التي تسمح بالتجريد السريع للخرسانة في مدة قصيرة مما يؤدي إلى زيادة سرعة لقوة الانضغاط و اقتصاد كبير للطاقة الكهربائية، وتسريع تفاعلات الإماهة للأسمنت (إماهة أولية سريعة)، تسريع الإيقاعات عن طريق التقليل من زمن الشد، يعني تقدم أسرع للورشات و دوران متسارع خاصة في مصانع إنتاج الخرسانة مسبقة الصنع وكذلك استخدام الخرسانة في الطقس البارد.

كلمات المفاتيح: الخرسانة ، التصلب بالبخار الأولي ، الطاقة الشمسية ، رمل الكتبان الناعم و المسحوق ، قوة الانضغاط.