

CHAPITRE IV

RESULTATS EXPERIMENTAUX & INTERPRETATION

IV.1. INTRODUCTION

Le béton à base du ciment prémélangé au sable de dune broyé est un composite hétérogène qui résulte du mélange intime d'un squelette granulaire et d'un liant qui est la pâte du ciment hydratée. Ce chapitre a porté sur l'étude de l'optimisation de la formulation de béton. En premier lieu nous avons commencé par déterminé l'affaissement du béton. En deuxième lieu, nous avons évalué l'influence de l'addition du sable de dune broyé au ciment, sur la résistance à la compression avec l'âge des bétons en fonction de la teneur du ciment en sable de dune broyé. Enfin, nous avons étudié 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.

IV.2. FORMULATION DE BÉTON

L'optimisation de la formulation de béton s'appuie sur plusieurs critères qui doivent faire l'objet d'un compromis: la consistance, la résistance, la durabilité et l'économie [6].

La qualité du béton est étroitement liée à la qualité et le choix judicieux des proportions intime des constituants [7]. Une formulation de béton durable dans son environnement, c'est essentiellement un béton qui soit le plus possible compact et faiblement perméable.

Les méthodes de formulation des bétons courants sont basées sur l'optimisation du squelette granulaire en fonction de la granularité des principaux composants afin d'obtenir une compacité maximale du mélange pour une consistance fixée [7]. Devant la multiplicité des méthodes utilisées pour déterminer la composition du béton, on a utilisé celle qui semble être la moins connue. C'est la méthode de **B. Scramtaiv**. Cette méthode repose sur le fait que la somme des volumes absolus des matériaux d'origine dans un mètre cube est égale au volume de la composition du béton damé [8].

IV.2.1. Données de base

- ✧ D_{max} (diamètre des granulats).
- ✧ Résistance à la compression après 28 jours.
- ✧ Ouvrabilité (AC).

- ⊠ Caractéristiques techniques des matières premières.

IV.2.2. Méthode de calcul

- * Détermination du dosage en eau

$$E = f(AC, D_{max}, \text{Nature des granulats})$$

- * Calcul du rapport C/E

Pour un béton courant: $C/E \leq 2.5$, pour béton plastique et fluide.

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A \cdot R_c} + 0,5$$

Pour un béton de qualité: $C/E > 2.5$, pour béton fermé et très fermé.

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A_1 \cdot R_c} - 0,5$$

R_b : la résistance à la compression à 28 jours de durcissement normal.

R_c : l'activité du ciment.

(A et A_1) : coefficients de qualité des matériaux utilisés (granulats et ciment)

- Bonne qualité: $A = 0,65, A_1 = 0,43$
- Qualité moyenne: $A = 0,60, A_1 = 0,40$
- Mauvaise qualité: $A = 0,55, A_1 = 0,37$

- * Calcul du dosage en ciment $C = C/E \times E$

- * Calcul du dosage en agrégats (pierres concassées) $G = 35G_1 + 65G_2$

G_1 : (7/15) et G_2 : (15/25)

$$G = \frac{1000}{V_V \cdot \frac{\alpha}{\gamma_{app}^G} + \frac{1}{\rho_{abs}^G}}$$

V_V : porosité des pierres concassées. $V_V = 1 - \frac{\gamma_{app}}{\rho_{abs}}$

Coefficient d'écartement de grains $\alpha = 1.24$ (d'après l'abaque).

- * Calcul du dosage en sable

$$S = \left[1000 - \left(\frac{G}{\rho_{abs}^G} + \frac{C}{\rho_{abs}^C} + E \right) \right] \cdot \rho_{abs}^S$$

IV.2.3. Composition

On désire réaliser un béton dont la résistance moyenne $R_{b28j} = 36$ Mpa et dont la consistance est telle que son affaissement au cône soit de 7 cm. Dans tous les essais le rapport $E/L \geq 0.4$,

$A = 0.6$, $D_{max} = 25$ mm et $S/G = 0.42$. Les compositions des trois mélanges de bétons sont reportées dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Compositions des bétons en (kg/m^3)

<i>Bétons</i>	<i>BO</i>	<i>B10</i>	<i>B20</i>
<i>Eau/liant</i>	0.52	0.49	0.46
<i>Ciment</i>	350	315	280
<i>Sable 0/5</i>	538	538	538
<i>Gravier 7/15</i>	446	446	446
<i>Gravier 15/25</i>	828	828	828
<i>10% SDB</i>	-	35	-
<i>20% SDB</i>	-	-	70

BO : béton ordinaire à base de CRS

B10 : béton à base de CRS + 10% SDB

B20 : béton à base de CRS + 20% SDB

IV.3. CONSISTANCE DU BETON A L'ETAT FRAIS

Il est important de connaître les propriétés du béton à l'état frais avant prise et durcissement. Parmi ces propriétés, la consistance qui peut se définir comme la facilité de la mise en œuvre du béton. Le choix de l'essai de caractérisation de la consistance et de la classe de consistance visée est en fonction de sa facilité de mise en œuvre sur chantier et au laboratoire ainsi que sa fiabilité.

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams norme [NF P 18-451] est actuellement en usage dans le monde entier ; il fournit des mesures fiables, de variabilité restreinte. En fonction des affaissements obtenus, la classe de consistance des différents bétons est plastique (*l'affaissement = 7 ± 0.5 cm*).

IV.4. RÉSISTANCE A LA COMPRESSION DES BÉTONS

Généralement les bétons sont classés selon leurs résistances en compression à 28 jours. La résistance à la compression est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton et en béton armé.

La résistance en compression à 28 jours est désignée par R_{c28j} . La résistance en compression est exprimée par le pouvoir de béton de résister à la destruction par l'action de contraintes dues à la charge de compression.

Le test de compression sur les échantillons cubes de béton (10×10×10 cm) a été effectuée conformément à la norme [NF P 18-406]. La résistance à la compression en (Mpa) est le rapport de la charge de rupture (Newton) par la section transversale de l'échantillon (mm²) [9].

IV.4.1. Influence du sable de dune broyé en fonction du temps et de leurs teneurs

On a confectionné trois sortes de bétons (béton ordinaire BO, B10 et B20), chaque série comprend trois échantillons. Nous avons fixé le même critère d'ouvrabilité à tous les bétons confectionnés afin de mener une étude rationnelle.

Les échantillons ont été confectionnés conformément aux normes en vigueur (malaxage, mise en œuvre et serrage). Les moules ont été couverts du plastique pour éviter l'évaporation de l'eau puis démoulés après 24 heures. Les échantillons ont été conservés à l'eau (*cure humide*).

La résistance à la compression augmente dans le milieu humide, du fait que ce dernier empêche l'évaporation de l'eau du béton durant son durcissement, et permet la continuité des réactions d'hydratation (*favorise la formation d'une plus grande quantité d'hydrates*) qui viennent remplir et fractionner surtout la porosité capillaire et par la suite le développement de la résistance à la compression.

Les résultats obtenus des résistances à 7 et 28 jours, sont illustrés sur les figures ci-dessous:

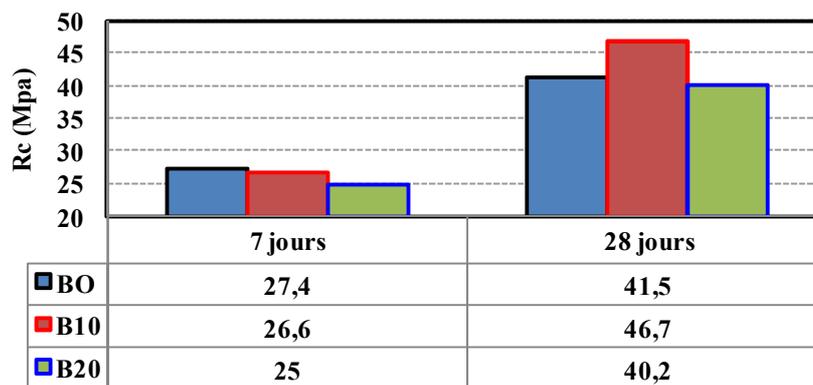


Figure IV.1 : Résistance à la compression des bétons en fonction du temps

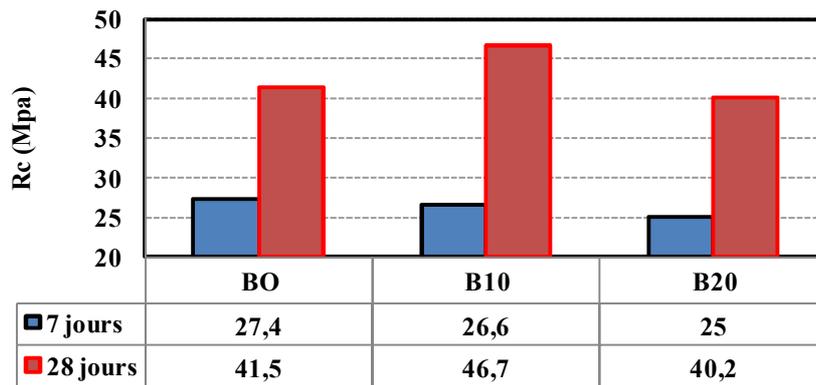
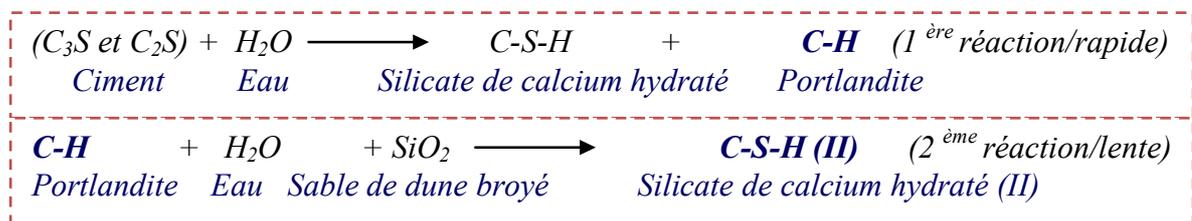


Figure IV.2 : Résistance à la compression des bétons en fonction de la teneur du ciment en SDB

Interprétation et discussion

On remarque que, pour tous les bétons la résistance à la compression augmente progressivement avec l'âge de conservation dans l'eau, ce qui peut s'expliquer par le développement du phénomène d'hydratation du ciment en fonction du temps en présence d'une humidité suffisante.

L'évolution des résistances en fonction de l'âge montre que pendant les sept premiers jours, les résistances sont faibles pour tous les échantillons, tandis que pour celles de 28 jours, les résistances augmentent sensiblement (figure IV.1). Cela est dû à la cinétique de la réaction d'hydratation du ciment et de la réaction du sable de dune broyé avec la portlandite selon le schéma des réactions suivantes:



La présence du sable de dune broyé accélère la réaction d'hydratation du ciment. Cet effet accélérateur sur l'hydratation, combiné à l'effet de remplissage dû à leur finesse et l'effet pouzzolanique, peut conduire à de meilleures résistances en compression des bétons.

Les résistances en compression augmentent lors de la substitution du ciment par le SDB traduisant ainsi l'amélioration de la compacité par trois effets qui agissent simultanément et de manière complémentaire: Ce qui est en accord avec *Guettala et Mezghiche* [10].

Effet physique: Par la réduction de la quantité d'eau pour une consistance donnée en améliorant la compacité du mélange frais et les résistances en compression du béton durci.

Effet physico-chimique: un processus physique qui dépend de la quantité et de la finesse du SDB, engendre une activation chimique de l'hydratation du ciment et agit sur l'évolution des résistances en compression aux jeunes âges. Donc le SDB agit en tant qu'activateur chimique.

Effet chimique: la chaux fournie dans le cas du ciment est consommée par la réaction pouzzolanique du fait de l'addition du SDB au ciment, et ceci améliorée les résistances en compression des bétons à moyen terme (à 28 jours).

Nous constatons, d'après les résultats obtenus (figure IV.2), que la résistance à la compression, montre que le béton B10 est clairement supérieur aux bétons BO et B20.

$$R_{c28j} \{B10\} = 1,13 \times R_{c28j} \{BO\}$$

$$R_{c28j} \{B10\} = 1,16 \times R_{c28j} \{B20\}$$

Ce qui permet également de réduire la teneur en ciment pour une résistance et un affaissement donnés. Cette caractéristique est très intéressante du point de vue économique, étant donné que le ciment est l'ingrédient le plus cher dans la composition du béton.

En ajoutant 20% SDB par rapport à la masse totale du ciment, on obtient une résistance en compression à 28 jours presque comparable à celle d'un béton ordinaire (BO). Ce qui s'explique par le fait que les particules du SDB influencent la cinétique d'hydratation uniquement lorsqu'ils sont proches des grains de ciment et que ce n'était possible que lorsque la quantité de SDB dans le mélange reste peu importante. Ce qui est en accord avec *Guettala et Mezghiche* [10].

On peut observer qu'au bout de 28 jours, la résistance en compression à 10% du SDB est supérieure à celle du béton ordinaire. Le sable de dune broyé joue un rôle bénéfique jusqu'à des teneurs de 20% environ, avec un effet optimum pour un pourcentage de l'ordre de 10%.

IV.4.2. L'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire

Il s'agit dans cette partie, d'évaluer à travers des expériences l'influence de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur la résistance en compression des bétons contenant le sable de dune broyé (SDB) est de résoudre deux problématiques, la première est *d'accélérer le durcissement du béton frais*. La deuxième est *d'utiliser l'énergie solaire*, non polluante répondant aux exigences de la politique du développement durable.

Notre étude consiste à enregistrer d'abord les températures maximales à l'air libre à l'aide d'un thermomètre et dans l'enceinte d'étuvage exposée au rayonnement solaire (figure IV.3) pendant 2 mois (*du 01 Avril au 31 Mai 2016*), la moyenne de ces enregistrements est :

$$T^{\circ}_{\text{Moy}} (T_{\text{max}} \text{ à l'air libre}) = 28^{\circ}\text{C} ;$$

$$T^{\circ}_{\text{Moy}} (T_{\text{max}} \text{ dans l'enceinte d'étuvage}) = 35^{\circ}\text{C} ;$$

Donc le coefficient de température moyenne est $K = 1.25$.

$$T^{\circ} \text{ dans enceinte d'étuvage} = K \times T^{\circ} \text{ à l'air libre}$$

Sur la base des résultats déduits, on choisit le cycle d'étuvage : (3×8×3) avec un palier de température maximale (35°C) comme le montre la figure IV.4.



Figure IV.3. Enceinte d'étuvage exposée aux rayons solaires

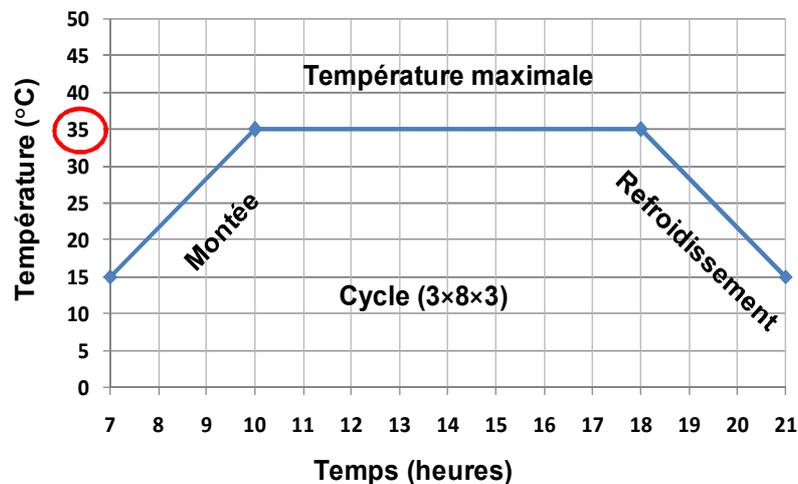


Figure IV.4. Cycle d'étuvage (3×8×3)

Les compositions du béton précédentes (BO, B10 et B20) ont subits une accélération de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire selon le cycle d'étuvage (3×8×3). Après malaxage et moulage du béton, les éprouvettes sont laissées dans le laboratoire à $20 \pm 1^\circ\text{C}$ couverts du plastique pour éviter l'évaporation de l'eau pendant 20 heures. Après démoulage, les échantillons ont été introduits dans l'enceinte d'étuvage exposée aux rayons solaires à 7 h du matin, muni d'un thermomètre pour surveiller la température, dès que la température atteint 35°C à 10 h pendant 8 heures à une vitesse de montée de température de $6.67^\circ\text{C}/\text{heure}$, ce qui est souhaitable. À 18 h, nous laissons l'enceinte pour refroidir pendant 3 heures.

- ✚ En premier lieu, les essais de compression sont effectués après 1, 2, 3 et 7 jours d'étuvage à 35°C .
- ✚ Par la suite, après 1 jour d'étuvage à 35°C , les échantillons ont été conservés à l'eau jusqu'à le jour de l'essai. Les essais de compression sont effectués après 3 et 7 jours de durcissement dans l'eau des échantillons étuvés.

Les résultats obtenus des résistances à la compression à 1, 2, 3 et 7 jours d'étuvage à 35°C , sont illustrés sur les figures ci-dessous:

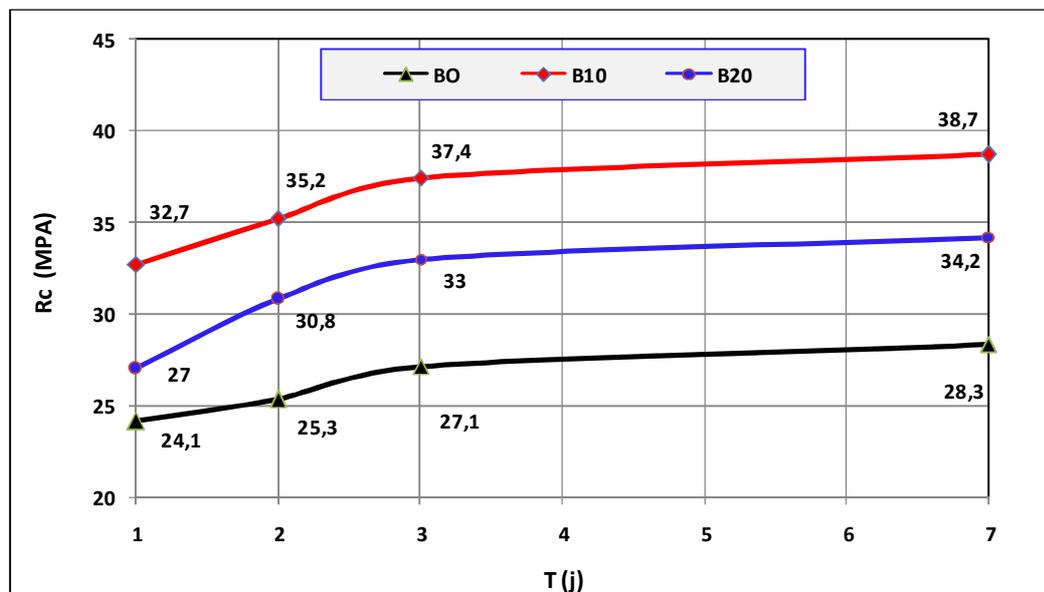


Figure IV.5. *L'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur le développement de la résistance à la compression des bétons*

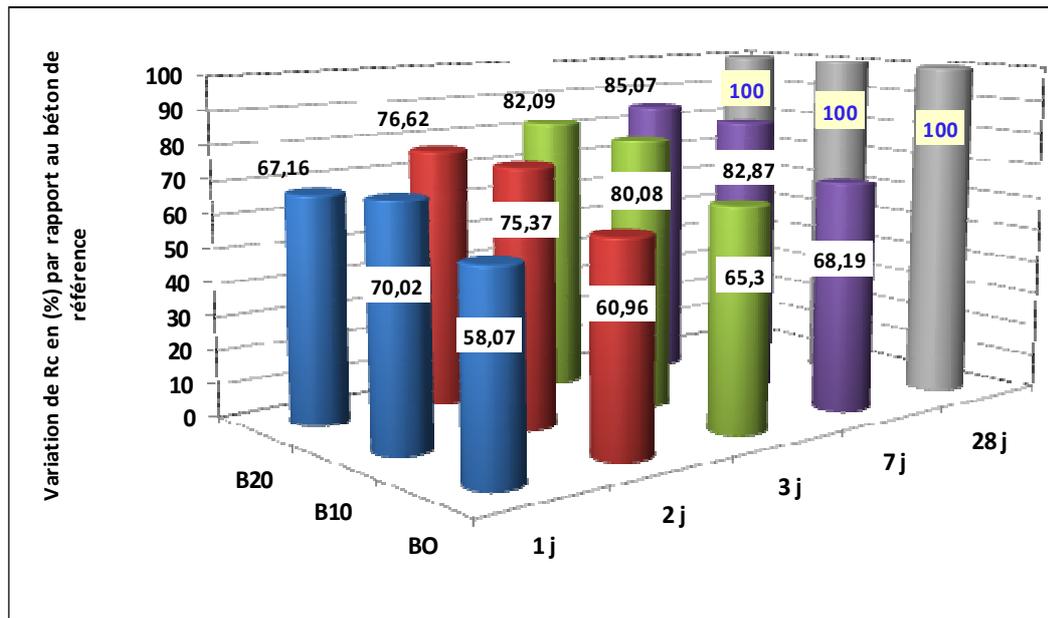


Figure IV.6. *Variation de la résistance à la compression des bétons en (%) par rapport au béton de référence en fonction de la teneur du ciment en SDB*

Interprétation et discussion

A partir des résultats obtenus, on a pu construire des graphiques présentant l'évolution dans le temps (à jeune âge) de la résistance à la compression des bétons subits une accélération de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire.

On remarque que, pour tous les bétons la résistance à la compression augmente progressivement avec l'âge (figure IV.5). Les résultats présentés sur la figure IV.5, montre 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. Cela est dû à la condensation de la vapeur d'eau qui favorise l'humidification initiale et le développement plus rapide du phénomène d'hydratation du ciment, ce qui accélère d'une part la croissance des produits d'hydratations (notamment le C-S-H et la portlandite C-H) au sein du béton et, d'autre part, la prise et le durcissement du béton ce qui permet un décoffrage rapide à court terme, se traduisant par un gain accéléré de la résistance à la compression au jeune âge. Les résultats avancés rejoignent globalement les résultats obtenus par **Benammar et al.** [11].

$$R_{c7j} \{BO\} \text{ durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire} = 1,03 \times R_{c7j} \{BO\} \text{ durcissement à l'eau.}$$

$$R_{c7j} \{B10\} \text{ durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire} = 1,45 \times R_{c7j} \{B10\} \text{ durcissement à l'eau.}$$

$$R_{c7j} \{B20\} \text{ durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire} = 1,37 \times R_{c7j} \{B20\} \text{ durcissement à l'eau.}$$

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). Le sable de dune broyé joue un rôle bénéfique jusqu'à des teneurs de 20% environ, avec un effet optimum pour un pourcentage de l'ordre de 10%. 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 activé également la silice moins réactive*. Ce qui est en accord avec *Alhozaimy et al.* [12].

D'après la figure IV.6, on analyse clairement que l'augmentation de la résistance du BO à 1, 2, 3 et 7 jours d'étuvage à 35°C, par rapport à celle à 28 jours de durcissement à l'eau, est de l'ordre de (58%, 61%, 65% et 68%) respectivement ; l'augmentation de résistance des bétons à 10 et 20% du SDB et d'environ (70%, 75%, 80% et 82%) et (67%, 76%, 82% et 85%) respectivement, ce qui traduit le rôle chimique joué par le SDB, donc confirme l'activité pouzzolanique.

Pour 01 jour d'étuvage à la vapeur initiale par l'énergie solaire à 35°C (08 h de chauffage), les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

$$R_{c1j} \{BO\} = 0.58 \times R_{c28j} \{BO\} \text{ durcissement à l'eau.}$$

$$R_{c1j} \{B10\} = 0.70 \times R_{c28j} \{B10\} \text{ durcissement à l'eau.}$$

$$R_{c1j} \{B20\} = 0.67 \times R_{c28j} \{B20\} \text{ durcissement à l'eau.}$$

En second lieu, après 1 jour d'étuvage à 35°C, les échantillons ont été conservés à l'eau jusqu'à le jour de l'essai. Les essais de compression sont effectués après 3 et 7 jours de durcissement dans l'eau des échantillons étuvés. *Les résultats obtenus, sont illustrés sur les figures ci-dessous:*

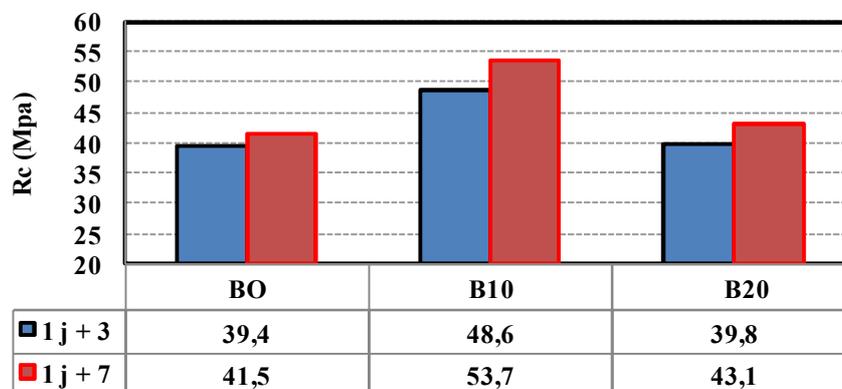


Figure IV.7 : Résistance à la compression des bétons (durcissement à l'eau de 3 et 7 jours après étuvage d'un jour à 35°C)

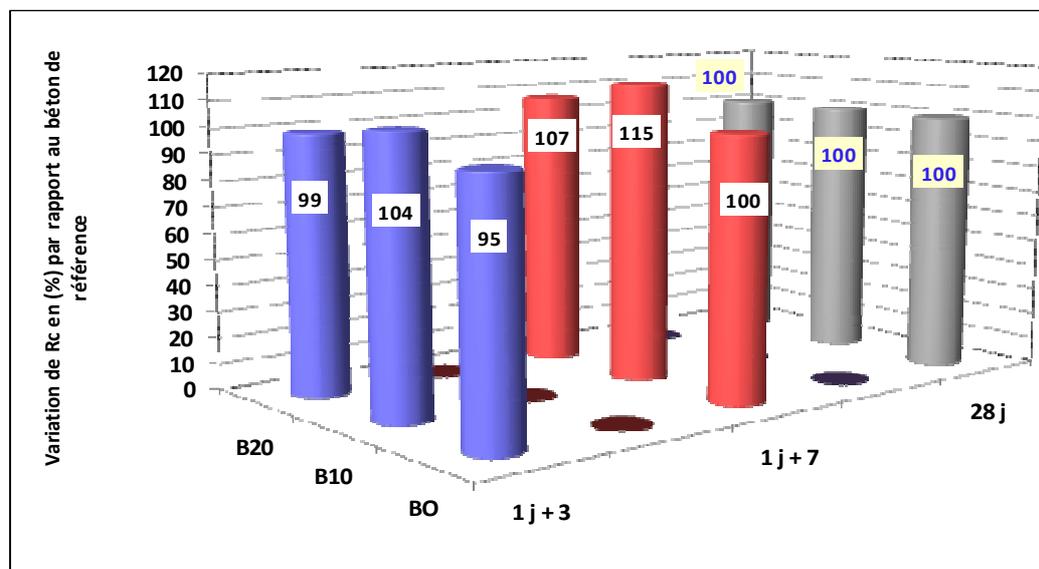


Figure IV.8. Variation de la résistance à la compression des bétons en (%) par rapport au béton de référence (durcissement à l'eau de 3 et 7 jours après étuvage d'un jour à 35°C)

Interprétation et discussion

L'étuvage à 35°C avec un cycle de (3 h + 8 h + 3 h) prolongé d'un durcissement de 3 jours à l'eau: les résistances des bétons (BO, B10 et B20) est de l'ordre de (39.4, 48.6 et 39.8 Mpa) respectivement, qui présente (95, 104 et 99%) de la résistance en compression du même béton durci dans l'eau à 28 jours. **Prolongé d'un durcissement de 7 jours à l'eau:** les résistances des bétons (BO, B10 et B20) est de l'ordre de (41.5, 53.7 et 43.1 Mpa) respectivement, qui présente (100, 115 et 107%) de la résistance en compression du même béton durci dans l'eau à 28 jours.

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

Pour le béton (BO):

- ✓ 1 jour d'étuvage à 35°C et 7 jours de durcissement à l'eau on atteint la résistance en compression du même béton durci dans l'eau à 28 jours.

Pour les bétons (B10 et B20):

- ✓ 1 jour d'étuvage à 35°C et 3 jours de durcissement à l'eau on atteint la résistance en compression du même béton durci dans l'eau à 28 jours. Cela nous donne un gain de temps et plus courts délais de fabrication.
- ✓ 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 sable de dune broyé.

Les résultats des essais indiquent l'effet bénéfique de cette procédure de durcissement pour obtenir une résistance à la compression élevée, dans les premiers jours de durcissement. Un gain de temps et plus courts délais de fabrication. Ainsi, il est possible de conclure que l'utilisation de l'étuvage à la vapeur initiale par l'énergie solaire est très bénéfique pour la production d'éléments préfabriqués en béton.

CONCLUSION

A la lumière des essais réalisés, cette étude nous a permis d'extraire certains nombres de points majeurs méritent d'être soulignés:

- La présence du SDB accélère la réaction d'hydratation du ciment. Cet effet accélérateur sur l'hydratation, combiné à l'effet de remplissage dû à leur finesse et l'effet pouzzolanique, peut conduire à de meilleures résistances en compression des bétons. Ce qui permet également de réduire la teneur en ciment pour une résistance et un affaissement donnés. Cette caractéristique est très intéressante du point de vue économique, étant donné que le ciment est l'ingrédient le plus cher dans la composition du béton.
- 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%. *Guettala et Mezghiche* [10] ont confirmé que, le sable de dune broyé, malgré sa nature cristalline, présente une réactivité pouzzolanique partielle. 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.
- En ajoutant 20% SDB par rapport à la masse totale du ciment, on obtient une résistance en compression à 28 jours presque comparable à celle d'un béton ordinaire (BO). Ce qui s'explique par le fait que les particules du SDB influencent la cinétique d'hydratation uniquement lorsqu'ils sont proches des grains de ciment et que ce n'était possible que lorsque la quantité du SDB dans le mélange reste peu importante. Ce qui est en accord avec *Guettala et Mezghiche* [10].
- 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. Cela est dû à la condensation de la vapeur d'eau qui favorise l'humidification initiale et le développement plus rapide du phénomène d'hydratation du ciment, ce qui accélère d'une part la croissance des produits d'hydratations (notamment le C-S-H et la portlandite C-H) au sein du béton et, d'autre part, la prise et le durcissement du béton ce qui permet un décoffrage rapide à court terme, se traduisant par un gain accéléré de la résistance à la compression au jeune âge. Ce qui est en accord avec *Benammar et al.* [11].

- 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). Le SDB joue un rôle bénéfique jusqu'à des teneurs de 20% environ, avec un effet optimum pour un pourcentage de l'ordre de 10%. 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 activé également la silice moins réactive**. Les résultats avancés rejoignent globalement les résultats obtenus par *Alhozaimy et al.* [12].
- Un gain de temps pour atteindre la résistance à la compression à 28 jours à l'eau 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.
- La technique d'étuvage à la vapeur initiale par l'énergie solaire est une technique efficace pour le durcissement accéléré des bétons, pour obtenir une résistance à la compression élevée et une grande économie d'énergie électrique pour produire les éléments de bétons préfabriqués.

CONCLUSION GÉNÉRALE & PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE

Sur la base des résultats de cette étude expérimentale, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- ✚ *A la lumière des essais réalisés, on peut affirmer que l'utilisation du ciment prémélangé au sable de dune broyé est un excellent moyen pour diminuer les émissions de dioxyde de carbone, améliorer les résistances en compression des bétons sans augmentation notable des coûts.*
- ✚ *Le sable de dune broyé joue un rôle bénéfique jusqu'à des teneurs de 20% environ, avec un effet optimum pour un pourcentage de l'ordre de 10%.*
- ✚ *Les résistances à jeune âge se développent à cause de l'accélération de l'hydratation du ciment résulte essentiellement de deux effets: un effet physico-chimique du SDB combinée à l'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire, et le troisième effet physique est l'effet granulaire ; tandis que celles à moyen terme se développent grâce à la réaction pouzzolanique qui cause l'affinage des pores et le remplacement de la chaux C-H provenant de l'hydratation du ciment par du silicate de calcium hydraté C-S-H II de deuxième génération.*
- ✚ *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 activé également la silice moins réactive.*
- ✚ *Le durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire est un excellent moyen pour permet un décoffrage rapide à court terme se traduisant par un gain accéléré de résistance en compression, 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.*

PERSPECTIVES

Pour compléter ce travail nous recommandons de:

- ✓ *Faire des analyses au microscope électronique à balayage pour déterminer la morphologie des hydrates formés.*
- ✓ *Étudier l'interaction ciment prémélangé au sable de dune broyé / superplastifiant.*
- ✓ *Étudier l'influence de l'étuvage à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur la durabilité des bétons.*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **ARROUDJ K. et OUDJIT M.N.**, «*Influence du sable de dune finement broyé sur l'hydratation des ciments*». 2^{ème} Colloque Maghrébin en génie civil, Biskra, Algérie les 10 et 11 Décembre, 119-127, 2002.
- [2]. **ARROUDJ K., OUDJIT M.N., LANEZ M. et CARAYON M.T.**, «*Influence des ajouts siliceux sur la compacité des mortiers et bétons*». Séminaire CETEDUB I. 24, 25, 26 Mai à L'USTHB, 291-298, 2004 a.
- [3]. **ARROUDJ K., OUDJIT M.N., LANEZ M. et CARAYON M.T.**, «*Mise en évidence par diffractométrie aux rayons X des C-S-H de seconde génération*». 1^{ère} séminaire sur les technologies du béton, le béton, perfection et incertitudes, 18-19 Septembre - Hôtel Hilton Alger, 1-8, 2004 b.
- [4]. **GUETTALA S. et MEZGHICHE B.**, «*Compressive Strength and Hydration with Age of Cement Pastes Containing Dune Sand Powder*». Construction and Building Materials - Elsevier vol. 25(3), pp. 1263-1269, 2011.
- [5]. **BOGUE R.H.**, «*Chemistry of Portland cement*». (New York, Reinhold), 1955, 790.
- [6]. **DENIS TREMBLAY.**, «*Béton de ciment, modulo éditeur*», Mont Réal, Québec, Canada, 1983.
- [7]. **BARON J. & OLLIVIER J.P.**, «*Les bétons, bases et données pour leur formulation*». Editions Eyrolles, 1997, 522.
- [8]. **MEZGHICHE B.**, «*Technologie des bétons aux laitiers basiques pour R.A.D.P*». Résumé de thèse de PHD, Kiev, 169, 1989.
- [9]. **MEZGHICHE B.**, «*Les essais de laboratoire des matériaux de construction*». Publication universitaire Biskra, 120, 2005.
- [10]. **GUETTALA S., MEZGHICHE B.** «*Influence de l'addition du sable de dune en poudre au ciment sur les propriétés des bétons*». European Journal of Environmental and Civil Engineering - Taylor & Francis vol. 15(10), pp. 1483-1507. 2011.
- [11]. **BENAMMAR B., MEZGHICHE B., GUETTALA S.** «*Influence of Atmospheric Steam Curing by Solar Energy on the Compressive and Flexural Strength of Concretes*». Construction and Building Materials - Elsevier vol. 49(12), pp. 511-518. 2013.
- [12]. **ALHOZAIMY A., GALAL F., AL-NEGHEIMISH A., JAAFAR M.S.** «*The autoclaved concrete industry: An easy-to-follow method for optimization and testing*». Construction and Building Materials - Elsevier vol. 49(12), pp. 184-193, 2013.

ANNEXE



Enceinte d'étuvage exposée aux rayons solaires



Presse hydraulique



Malaxeur à béton



Thermomètre dans l'Enceinte d'étuvage en mesurant la température



Table vibrante