

CHAPITRE II

ÉTAT DE L'ART

II.1. INTRODUCTION

Ce chapitre décrit un aperçu général sur les méthodes d'accélération du durcissement du béton frais et s'intéresse particulièrement à l'intérêt d'un traitement thermique à la vapeur d'eau par l'énergie solaire, et l'influence des méthodes de durcissement sur les résistances à la compression du béton, ainsi que l'effet de l'étuvage des bétons au jeune âge et à long terme.

II.2. ACCELERATION DU DURCISSEMENT DU BETON FRAIS

Aujourd'hui, le béton occupe la première place en volume d'utilisation des matériaux dans le domaine du génie civil. Son intérêt vient de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance mécanique, sa durabilité et son coût faible, mais la lenteur avec laquelle il acquiert ses résistances mécaniques reste l'un des inconvénients principaux.

A cet effet plusieurs solutions sont aujourd'hui employées pour atteindre des résistances élevées au jeune âge, à savoir l'utilisation de la technique de traitement thermique par la vapeur d'eau (durcissement à la vapeur par énergie électrique, par énergie solaire), l'utilisation des ciments dotés d'un durcissement rapide, l'utilisation des adjuvants accélérateurs de prise et de durcissement.

Dans le cadre de ce travail, nous sommes intéressés à l'étuvage des bétons (*durcissement à la vapeur par énergie solaire*).

II.2.1. Intérêt d'un traitement thermique par la vapeur d'eau

Le traitement thermique par la vapeur d'eau (l'étuvage) permet une accélération des réactions d'hydratation du béton par la chaleur, appelée aussi thermomaturation, qui constitue la plupart du temps, le moyen le plus efficace pour obtenir la résistance nécessaire au démoulage en quelques heures.

Le traitement thermique d'un béton frais est une technique qui permet: 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, et le bétonnage par temps froid [1].

II.2.2. Influence des méthodes de durcissement sur les propriétés mécaniques du béton durci

II.2.2.1. Durcissement à l'air

Le durcissement à l'air a potentiellement un effet négatif sur les propriétés mécaniques des bétons. Ce régime de durcissement est pour simuler la pratique courante actuelle dans l'industrie de la construction. Les bétons durcis à l'air présentent des résistances à la compression inférieures à ceux durcis dans l'eau. Ceci peut être attribué par un manque d'humidité pour l'hydratation du ciment, qui finalement provoque une structure poreuse introduit par le retrait de séchage [2-4].

II.2.2.2. Durcissement à l'eau

Le durcissement à l'eau qui favorise l'hydratation provoque le colmatage des pores capillaires et de renforcer les liens intergranulaire [2,3 et 5].

II.2.2.3. Durcissement à la vapeur

L'effet bénéfique de durcissement à la vapeur sur la résistance des bétons a été clairement observé à des stades antérieurs jusqu'à 7 jours. En revanche, avec durcissement à la vapeur en continu, le rapport de résistance à la compression a diminué progressivement. Par la suite, la résistance à la compression des bétons durcis en présence d'eau est supérieure à celle du durcissement à la vapeur à 28 jours [2,3]. Bien qu'une augmentation de la température augmente le développement de la résistance au jeune âge, mais un impact négatif sur la résistance après 7 jours. En effet, une hydratation initiale rapide peut conduire à la formation de produits d'hydratation ont une structure physique moins compact, probablement plus poreux, de sorte qu'un pourcentage de pores restent non chargé, ce qui conduira à une résistance plus faible par rapport au béton moins poreux, hydratée lentement avec un durcissement à l'eau [2,3,6 et 7]. Le fait que la porosité augmente avec la température est compatible avec un développement microstructural plus grossier, les hydrates (notamment la C-S-H) étant plus denses et distribués de manière plus hétérogène (distribution non uniforme) dans la matrice de ciment, permettent ainsi le développement d'un réseau poreux plus large, ce qui provoque la perte de la résistance mécanique [2,3 et 8]. A basse température, la matrice est remplie de façon plus homogène par les produits d'hydratation alors que plus la température augmente plus ces produits se concentrent autour des grains de ciment laissant un réseau de pores capillaires plus larges [8].

Un gain de temps et plus courts délais de fabrication pour atteindre la résistance à la compression à 28 jours à l'air libre après un durcissement à la vapeur d'un jour et trois jours de durcissement à l'air libre [2,3]. Ces résultats nous permettent de décoffrer rapidement les éléments en béton en toute sécurité (surtout dans le domaine de la préfabrication), d'où un gain de temps et d'argent.

II.2.3. Effet de la température à l'état mécanique

La température est une variable clé des conditions de durcissement des bétons, car il influe sur l'hydratation et les propriétés de la pâte de ciment ou du béton durci. La température d'hydratation a un impact significatif sur l'hydratation de la pâte de ciment et du béton [9].

A court terme : selon *Neville* [6], du fait de cette croissance accélérée des produits d'hydratations au sein de la matrice cimentaire, l'augmentation de la température de mûrissement accélère la prise et le durcissement du béton ce qui permet un décoffrage rapide à court terme, se traduisant par un gain accéléré de résistance. La résistance en compression à 28 jours peut être atteinte en seulement 24 heures.

A long terme : Cet effet sur la résistance s'inverse entre 7 et 15 jours d'hydratation du fait qu'une hydratation rapide présente une structure physique moins compacte [6,10]. En effet, une vitesse d'hydratation initiale rapide due à des températures élevées retarde l'hydratation subséquente et conduit à une distribution non uniforme des produits hydratés [6,11].

Selon *Klieger* [12], plus la température de mûrissement est élevée, plus la résistance à court terme est élevée. Alors qu'à long terme, l'influence de la température est inversée, c'est-à-dire que plus la température initiale est élevée, moins bonnes sont les résistances.

II .3.TRAITEMENT THERMIQUE :

Le traitement thermique permet une accélération des réactions d'hydratation du béton par la chaleur . appelée aussi thermo maturation. qui constitue la plupart du temps , le moyen le plus efficace pour obtenir la résistance nécessaire au démoulage en quelques heures .

Le chauffage a d'abord été employé dans les pays nordiques (Russie, Suède, Norvège) pour obtenir la mise hors gel du béton (permettre au mélange d'atteindre une certaine cohésion avant que l'eau ne se transforme en glace) [15]. En Russie en commença au début du 19ème siècle aux Etats-Unis et Europe cette technique est employée depuis les années 1930, en France c'est Freyssinet qui entreprit les premiers essais en 1927 et développa cette méthode pour exécuter des tuyaux chauffés à la vapeur dans les moules hermétiquement fermés [16].

Cette technique réservée initialement aux usines de petits éléments en béton (blocs,bordures) .s'est étendue , d'une part , aux usines de préfabrication de panneaux de grandes dimensions , de bâtiment et aux éléments d'ouvrages d'art pour accélérer la rotation des moules de poutres de pont et de voussoirs [15].

Sur des données de MALININA L.A. à une température de 80°C du traitement thermique d'un béton la croissance des résistances mécaniques est de 6 fois plus importante et à 100°C elle est de 10 fois plus importante en comparaison avec un traitement dans des conditions normales de durcissement [17].

II .3.1. LES DIFFERENTS TYPES DU TRAITEMENT THERMIQUE :

Le traitement thermique du béton peut être un traitement thermiques passif ou actif .

II .3.1.1. Traitement thermique passif ou « auto étuvage » :

Cette méthode est souvent la plus économique (il n'y a pas fourniture de chaleur), elle consiste à éviter toutes déperditions calorifiques dues à l'exothermie des réactions chimiques de prise et de durcissement du ciment lors de son hydratation. Afin de sauvegarder la chaleur dégagée en utilisant des coffrages isolants ,ou encore en recouvrant l'ensemble de l'ouvrage avec une bâche isolante [18].

Les réactions d'hydrations des constituants du ciment portland sont fortement exothermiques, ce qui conduit dans l'heure qui suit la fabrication du béton à des températures qui peuvent atteindre 80 degrés Celsius dans les pièces massives [19] . La quantité totale de chaleur dégagée par gramme de ciment entre 200 et 500 joules, cette chaleur dépend de la composition minéralogique du ciment et vraie surtout avec la teneur en C₃A (formation exothermique monosulfoaluminate à partir de l'étringite) Les quantités de chaleur dégagées par les principaux constituants du clinker , exprimé en joule par gramme de matière anhydre sont estimées systématiquement, au moyen d'un essai normalisé (l'essai à la bouteille de langavant (figure II.1 et II.2) [20]

- | | |
|--|-----------------|
| • Silicate tricalcique (C ₃ S) | 500 à 525 J/g |
| • Silicate bicalcique (C ₂ S) | 250 à 270 J/g |
| • Aluminate tricalcique (C ₃ A) | 1000 à 1200 J/g |
| • Alumino ferrite tétracalcique | 395 à 425 J/g |

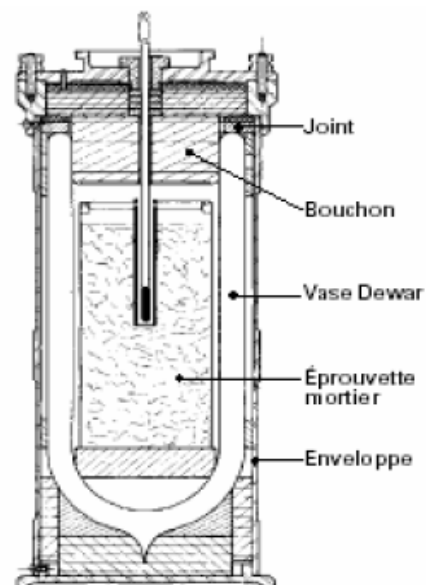


Figure II.1: Le calorimètre de Langavant **Figure II.2 :** schéma du calorimètre de Langavant

II .3.1.2. Traitement thermique actif : dans lequel il y a apport de chaleur, soit avant ou après la mise en place du béton.

1. Chauffage du béton avant sa mise en place ou « préchauffage » :

Le préchauffage du béton s'effectue soit en chauffant individuellement les constituants du béton (granulats, eau de gâchage) (figure II.4) ; ou en chauffant le mélange dans le malaxeur pendant la fabrication du béton frais (figure II.5), ou encore en chauffant le mélange après malaxage par conduction (benne chauffante(figureII.3), tuyaux chauffants) [21].



Figure II.3 : Une benne chauffante

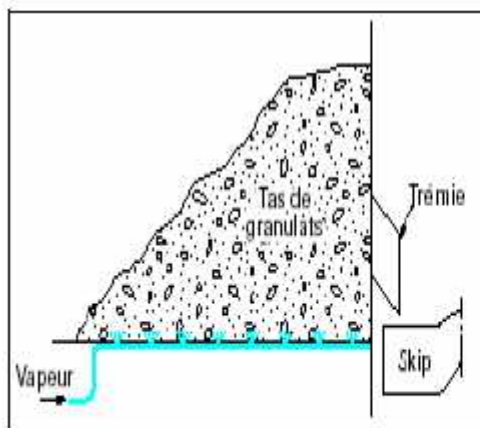


Figure II.4 : Préchauffage du béton par chauffage des granulats

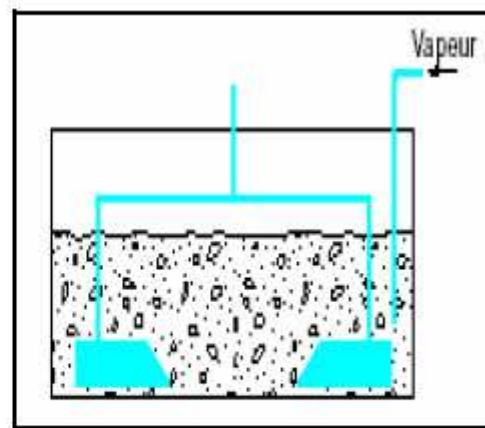


Figure II.5 : Préchauffage du béton par injection de vapeur dans le malaxeur

2 . Chauffage du béton après sa mise en place :

C'est la technique la plus utilisée, dans ce cas le béton peut être chauffé soit :

- Par l'extérieur en chauffant l'environnement autour du moule et du coffrage , en plaçant les pièces dans une enceinte et en envoyant de la vapeur ou de l'air chaud.
- par contact le chauffage du béton s'effectue par l'application, contre le coffrage des résistances électriques ou des canalisations transportant un fluide (eau ou vapeur) (figure II.6) [22,23].
- Par l'intérieur, le chauffage appliqué dans la masse, les principaux procédés sont le chauffage par les armatures , le chauffage par des résistances électriques isolées noyées et abandonnées dans le béton chauffage par effet joule au moyen d'électrodes [22,23].

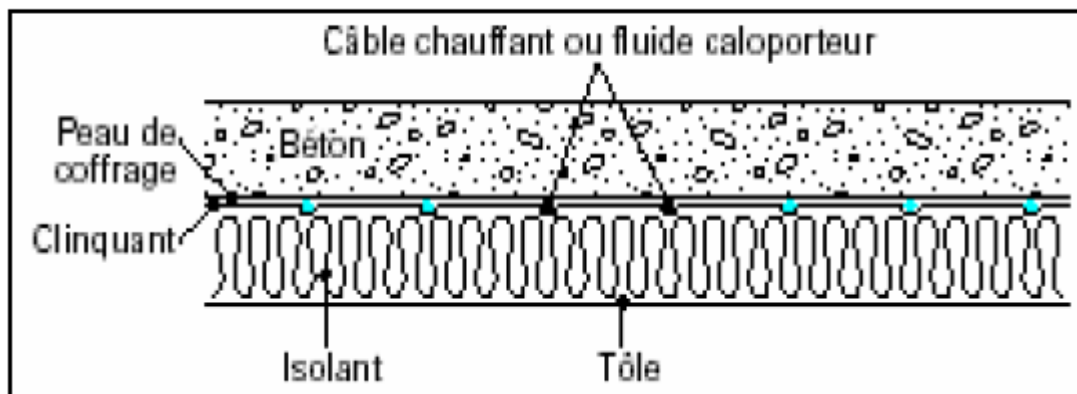


Figure II.6: Coffrage chauffant

II .3.2.LES TECHNIQUES DU TRAITEMENT THERMIQUE :

Parmi les techniques de chauffage du béton après sa mise en place on peut citer

II .3.2.1. Le traitement thermique par l'électricité :

C'est une technique qui utilise :

-soit la conductibilité électrique du béton lui-même. Ce dernier est placé dans le circuit d'un courant alternatif. Le courant est transmis par l'intermédiaire d'électrodes, qui peuvent se présenter sous forme de tiges de câbles, de bandes ou de plaques métalliques. La résistance électrique du béton dépend de la qualité d'eau libre et de la présence de sels en solution. La répartition de la chaleur dans le béton dépend de l'homogénéité de ce dernier :

-soit la conductibilité électrique des armatures. C'est-à-dire une fois le béton mis en place. Les armatures sont mises sous tension électrique alternative. Le courant passant dans ces armatures produit par effet joule de l'énergie calorifique.

- soit des résistances noyées dans le béton, généralement attachées au ferrailage avant la coulée du béton. Ces résistances sont conçues pour obtenir rapidement une répartition régulière de la chaleur dans le béton et fonctionnent sous une tension de sécurité de 24 ou 42 volts .ces résistances sont perdues après chauffage par économie sont employées des résistances a faible prix (fils de fer enrobés de matières plastique)

- soit des résistances placées sur les tables, moules, coffrages et dans les étuves, lesquels se chargent de transmettre les calories au béton en place par conduction thermique. Ces résistance sont réutilisables [13.24]

II .3.2.2. Le traitement thermique par l'eau chaude (Hydrothermale)

L'accélération du murissement du béton frais est réalisée en immergeant le béton dans un bain d'eau chaude .Il doit y avoir au moins 5cm d'eau au dessus des éléments de béton à traiter, ceux-ci doivent être espacés et déposés sur une plaque métallique perforée. pour obtenir une répartition homogène de la chaleur en différents points des éléments en béton afin d'éviter des macro et micro-fissures (figure II.7).

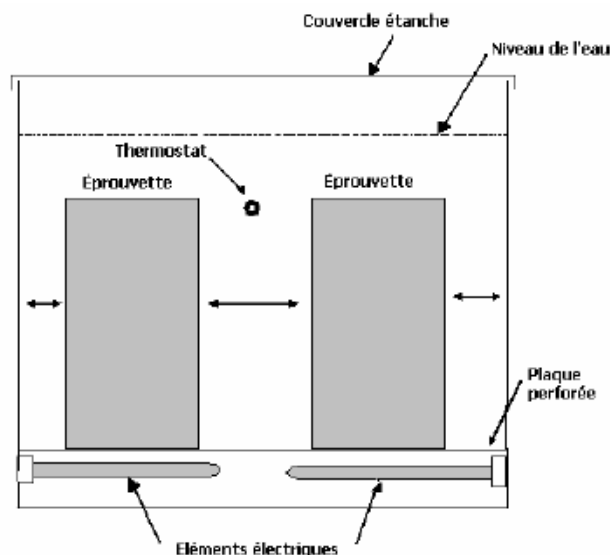


Figure II.7:Schéma d'un équipement servant au murissement du béton à l'eau chaude.

II .3.2.3. Le traitement thermique par la vapeur d'eau «étuvage » :

Le murissement à la vapeur à basse pression est réalisé par différents procédés, parmi ces derniers on peut citer :

- Etuvage en chambre fixe est un procédé très utilisé en préfabrication pour la fabrication de produits démoulés sur un support. La vapeur ne doit pas jaillir directement sur les produits. il faut une répartition assez régulière de la température ainsi qu'une étanchéité suffisante de l'enceinte.

-Etuvage en chambre mobile : les éléments sont démoulés à l'état frais et déposés sur une aire plane sans subir d'autres manipulations, ensuite l'enceinte est chauffée par injection de vapeur d'eau .

- Etuvage en tunnel : le produit après sa mise en place est introduit dans un tunnel, transporté sur un convoyeur le produit subit un cycle complet d'étuvage (de la mise en place à l'enlèvement pour la mise en place sur stock). Le fonctionnement d'un tunnel est assez délicat à contrôler et le procéder nécessite des investissements élevés.

-procédé à vapeur perdue : le coffrage sur lequel est coulé le béton est placé sous une couverture en plastiques sous laquelle est injecté la vapeur. Les pertes d'énergie par cette méthode sont importantes (figure II.8) [13.25.26].

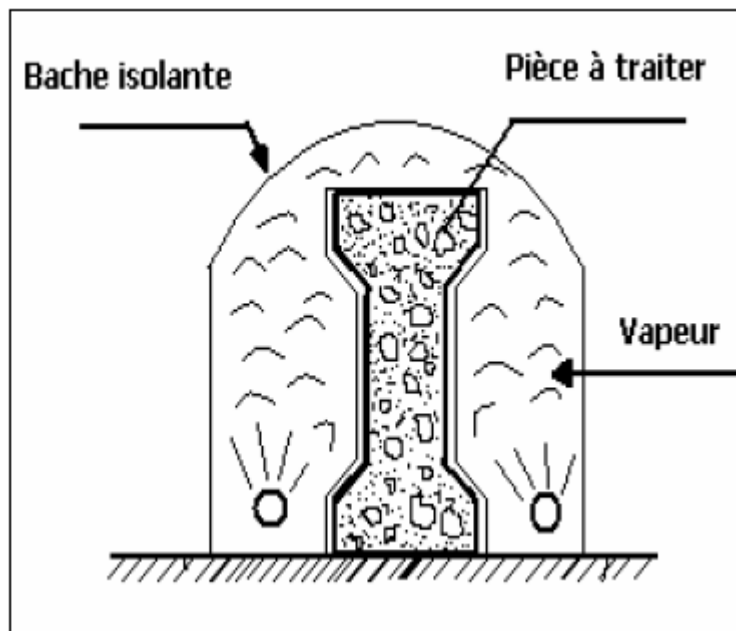


Figure II.8: Chauffage d'une poutre sous bâche par vapeur d'eau perdu

II.4.L'étuvage des bétons :

La cure à la vapeur est avantageuse lorsque l'on a besoin d'un béton ayant une forte résistance initiale ou lorsqu'il faut fournir une chaleur additionnelle pour favoriser la réaction d'hydratation comme par temps froid par exemple. La cure à la vapeur fait l'objet de la norme CSA A23.4, Béton préfabriqué: Constituants et exécution des travaux. Celles –ci énumèrent les exigences concernant les cures à des températures élevées, ainsi que l'application et le contrôle de la chaleur pour le mûrissement accéléré du béton [27].

On peut utiliser l'une des deux méthodes suivantes : une cure à la vapeur à la pression atmosphérique (dans le cas de structures coulées en place dans une enceinte ou pour les grands éléments préfabriqués) ou une cure à haute pression dans des autoclaves (pour des pièces plus petites). **Seule la méthode de cure à la vapeur à la pression atmosphérique sera présentée ici.**

Un cycle de cure à la vapeur comprend :

- (1) un délai initial avant l'exposition à la vapeur (préprise),
- (2) une période de montée en température,

(3) une période de maintien de la température maximale à un niveau constant,

(4) une période de diminution de la température (refroidissement).

Un cycle optimal de cure à la vapeur à pression atmosphérique est représenté à la(figure II.9)

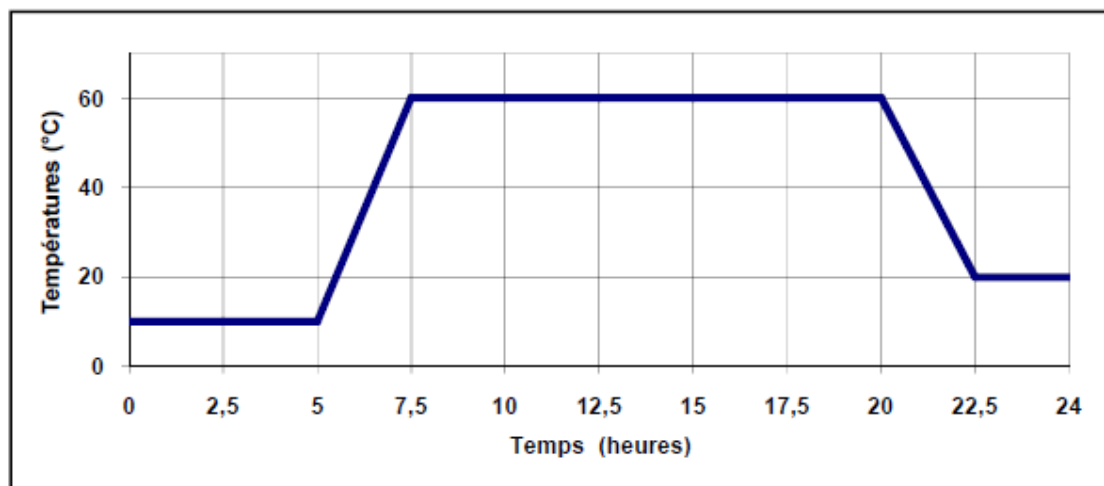


Figure II.9 : Cycle type de la cure à la vapeur atmosphérique[27]

Avec :

- | | |
|---------------------------|---|
| 1 : Préprise | 3 à 5 heures (température de béton 21°C); |
| 2 : Montée de température | 2 ½ heures (10 à 20°C /h); |
| 3 : Palier | 6 à 12 heures (60°C). |

La cure à la vapeur à la pression atmosphérique se fait généralement dans des **enceintes** pour minimiser les pertes de chaleur et d'humidité. On utilise souvent des bâches où peinture noire qui absorbent les rayons solaires pour fabriquer ces enceintes. Il faut attendre la prise initiale du béton ou au moins trois heures après sa finition avant d'appliquer la vapeur pour permettre un certain durcissement du béton. Toutefois, un délai de trois à cinq heures avant l'injection de la vapeur permet d'obtenir une résistance initiale maximale, comme on le voit à la (figure II.9) La température de la vapeur dans l'enceinte doit être maintenue autour de 60°C jusqu'à l'obtention de la résistance souhaitée du béton. La résistance du béton n'augmente pas de façon significative lorsque la température maximale de la vapeur passe de 60°C à 70°C. Des

températures de cure à la vapeur supérieures à 70°C doivent être évitées : elles ne sont pas économiques et peuvent causer des dommages. Outre le gain précoce de résistance, la cure du béton à des températures voisines de 60°C réduit le risque de retrait au séchage et de fluage comparativement à un béton mûri à 23°C pendant 28 jours [28 ,29].

La norme CSA A23.4 classe le type de mûrissement accéléré à appliquer aux éléments en béton selon les conditions ambiantes auxquelles ils seront exposés. Les catégories sont :

(a) « Catégorie sèche » ou (b) « catégorie humide ».

La « catégorie sèche » s'applique aux éléments de béton qui, après mûrissement ne seront pas soumis à un environnement humide en service. A moins que ces éléments ne contiennent de l'air entraîné, ils ne doivent non plus être exposés à un environnement humide pendant plus de trois mois avant leur mise en service.

La « catégorie humide » s'applique aux éléments de béton qui seront soumis à un environnement humide en service ou aux éléments sans air entraîné qui seront exposés à un environnement humide pendant plus de trois mois avant leur mise en service. Cette catégorie inclut par exemple: (a) les éléments externes d'édifices ou de structures qui sont exposés aux précipitations, à l'eau de surface ou à l'eau souterraine tels que les poutres de ponts, les dalles de toitures non protégées, les façades d'édifices, les murs de sous sols, les dormants de chemins de fer; (b) les éléments de construction internes soumis à des conditions humides tels que les piscines intérieurs et les parcs de stationnement; et (c) les éléments ou les parties d'éléments qui atteignent fréquemment le point de rosées tels que les cheminées ou les espaces internes dans les ponts .

Il faut éviter les réchauffements et refroidissements trop rapides pour prévenir les changements de volume dommageables. La norme CSA A23.4 exige que le taux de chauffage maximal à l'intérieur de l'enceinte de mûrissement des bétons de la « catégorie humide » et de la « catégorie sèche » ne doive pas dépasser 20°C/heure. De la même manière, le taux de refroidissement maximal pour les deux catégories d'humidité est de 15°C/heure. Il doit être maintenu jusqu'à ce que la température du béton ne soit pas plus élevée que 20 °C au-dessus de la température ambiante à l'extérieur de l'enceinte. La température maximale du béton permise par la norme CSA A23.4 est de 70°C pour la « catégorie sèche » et de 60°C pour la « catégorie humide ». Il est recommandé que la température du béton n'excède pas 70°C, le maximum permis pour la « catégorie sèche », pour éviter une expansion tardive provoquée par la chaleur et une réduction excessive de la résistance ultime. La température du béton est normalement mesurée aux extrémités exposées de l'élément. La

mesure de la température de l'air ne suffit pas puisque la chaleur d'hydratation peut aussi faire en sorte que la température du béton excède 70°C.

Lors du malaxage, la température du béton peut être augmentée par injection de vapeur dans le mélange, en même temps que l'eau de gâchage. Cette pratique visant à préchauffer les matériaux afin d'accélérer le mûrissement comporte des exigences différentes de celles émises pour la cure à la vapeur. Celle-ci est présentée dans la norme CSA A23.4 à la rubrique béton chauffé et à la (figure II.10) du cycle du béton chauffé.

Il faut maintenir la température de la vapeur dans l'enceinte à sa valeur maximale jusqu'à ce que le béton ait atteint le niveau de résistance minimale à la compression désiré qui doit se situer aux environs de 100 bars (kg/cm²). Le temps nécessaire pour atteindre cet objectif dépend du type de mélange et de la température de la vapeur dans l'enceinte [27].

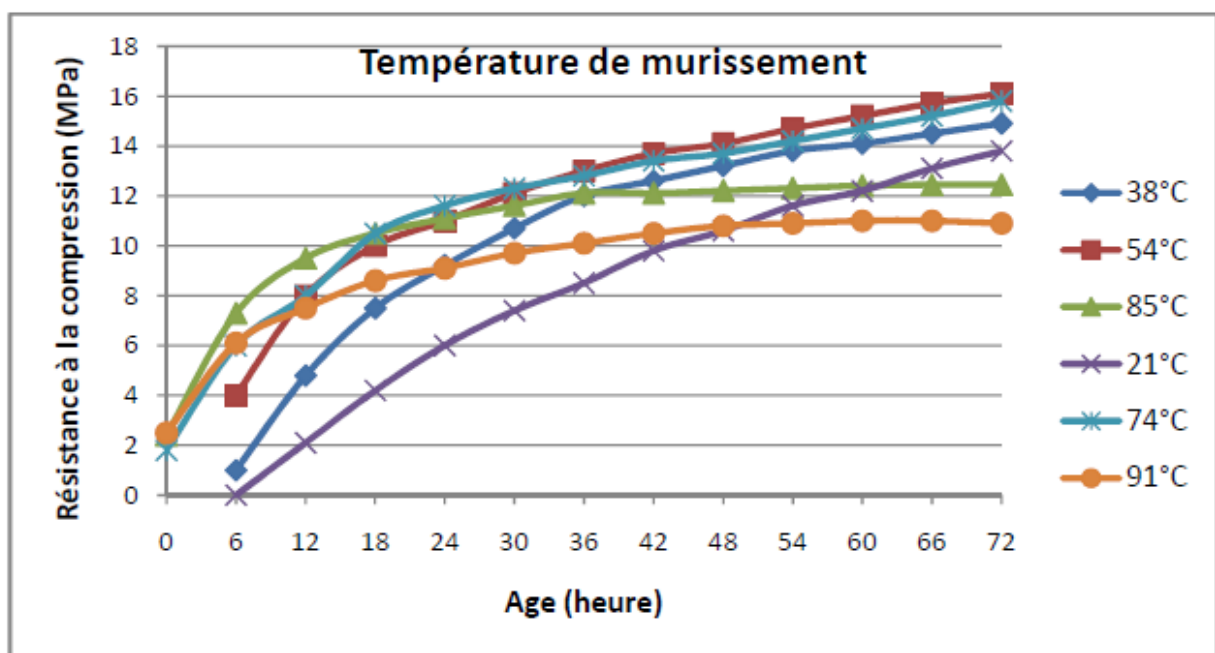


Figure II.10: Résistance d'un béton traité à la vapeur à différentes températures ($E/C=0.55$)

II .4.1.Effet bénéfique de l'étuvage sur les résistances en compression au jeune âge

Pour assurer une résistance élevée au jeune âge, le choix du ciment se porte généralement sur un CEM I 42,5. Ce ciment doit avoir une finesse élevée ce qui assure une surface réactionnelle importante pour la réaction d'hydratation. Il faut aussi vérifier que le rapport molaire C_3S/C_2S soit le plus haut possible. Ces deux phases anhydres, majoritairement présentes dans le ciment Portland, sont les composés qui produisent le plus d'hydrates mécaniquement résistants. De plus, la cinétique

d'hydratation du silicate tricalcique est plus rapide que celle de silicate bi calcique, donc un rapport élevé est un gage de réactivité importante [30].

D'autre part, le choix d'un étuvage optimisé est nécessaire. Généralement, il se décompose en une préprise, une montée constante en température et un palier de température maximale assez long. Il doit posséder une préprise pour assurer un développement de l'hydratation initiale en favorisant la dissolution des anhydres. Il ne faut pas que la montée en température soit trop forte pour ne pas bloquer trop précocement l'hydratation (limitée à 20°C/h).

Finalement, la température de palier ne doit pas être trop élevée afin de ne pas générer des effets secondaires néfastes comme la formation d'ettringite différée (limitée à 60°C en général).

II .4.2.Effet néfaste de l'étuvage sur les résistances en compression à long terme

Selon [31], la baisse de performances mécaniques à long terme imputable à l'étuvage peut s'expliquer par des causes chimiques, physiques et physico-chimiques.

Du point de vue chimique, l'accroissement de température entraîne une perturbation de la stabilité du système, ce qui engendre un déplacement de l'équilibre chimique entre la quantité d'anhydres et d'hydrates formés. Ce phénomène génère une limitation de la formation d'hydrates, ce qui peut expliquer une baisse des performances [32].

Ensuite, on peut citer les causes physiques au travers de la variation volumique différentielle des constituants. Lors de l'élévation de température, il existe une augmentation de la porosité qui s'accompagne d'une modification de la taille des pores. C'est en fait la conséquence de la répartition des hydrates dans l'espace qui est différente en comparaison à une maturation à température ambiante.

Finalement, il faut citer la théorie de [33] qui traite du développement de l'hydratation lors d'un étuvage en considérant des causes physico-chimiques. La baisse des performances mécaniques à 28 jours serait due à une répartition non uniforme des hydrates ce qui entraîne une hétérogénéité de la structure. Lors d'une accélération de la cinétique de l'hydratation par la température, la diffusion n'est pas possible à une certaine distance des anhydres à cause d'une faible diffusivité des espèces dissoutes et à la faible solubilité des hydrates formés. Il en résulte la création d'une « coquille d'hydrates » entourant un cœur anhydre.

Conclusion

Nous avons regroupé à partir des différents travaux de recherche , les méthodes d'accélération du durcissement du béton frais et s'intéresse essentiellement à l'intérêt d'un traitement thermique à la vapeur d'eau par l'énergie solaire.

La recherche bibliographique sur le comportement thermomécanique du béton nous a permis de mettre en évidence certains phénomènes physiques qui peuvent apparaître notamment lors de l'élévation de la température du matériau . Si l'étuvage est bénéfique à la réactivité de l'hydratation et donc aux performances mécaniques précoces, les performances à long terme s'en trouvent affectées. Le cycle d'étuvage doit résulter d'un compromis entre l'effet bénéfique au jeune âge et la limitation des effets néfastes, non désirés, à long terme. Le traitement thermique doit être absolument optimisé [34].

le cadre de notre travail concerne l'étude de l'effet de durcissement à la vapeur initial par l'énergie solaire sur le développement de la résistance à la compression avec l'âge du béton en faisant varier, le pourcentage du sable de dune broyé .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Caumette J.** , «*Traitement thermique du béton par l'électricité*. Ed, Masson». Paris, 1990, p180 .
- [2]. **B. Benammar, B. Mezghiche, S. Guettala. December 2013.** , «*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.
- [3]. **B. Benammar, B. Mezghiche, S. Guettala. October 2014.** , «*The Effect of Steam Curing by Solar Energy on the Compressive Strength of Concrete*. *Precast Concrete Elements - Precast Production Technology*. CPI (Concrete Plant International) ». magazine vol. 17(5), pp. 178-183. Place of publication: Cologne, Germany (ISSN:1437-9023).
- [4]. **Ramezani pour AA, Malhotra VM.** , «*Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concretes incorporating slag, fly ash or silica fume* ». *Cem Concr Compos* 1995;17(2):125-33.
- [5]. **Rabehi M, Mezghiche B, Guettala S.** , «*Correlation between initial absorption of the cover concrete, the compressive strength and carbonation depth*». *Constr Build Mater* 2013;45(8):123-129.
- [6]. **Neville A-M.**, «*Propriétés des bétons*».2000, Paris, Editions Eyrolles, p. 345-350.
- [7]. **Kim J-K, Han S.H, Song Y.C.** , «*Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete: Part I. Experimental results*». *Cem Concr Res* 2002;32(7):1087-94.
- [8]. **Gallucci E, Xinyu Zhang, Scrivener K.** , «*Influence of temperature on the microstructural development of concretes*». Septième édition des Journées scientifiques du Regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton (RF)²B. Toulouse, France, 19-20 juin 2006.
- [9]. **Morsy MS, Heikal M.** , «*Effect of curing temperature on the thermal expansion and phase composition of hydrated limestone-slag cement*». *Ceram Silic* 2004;48(3):110-6.
- [10]. **Elkhadiri I., Puertas F.** , «*The effect of curing temperature on sulphateresistant cement hydration and strength*». *Construction and building materials* 2007, p. 1-10.
- [11]. **Kjellsen K-O.**, «*Heat curing and post curing regimes of high performance concrete: influence on microstructure and C-S-H composition*». *Cement and concrete research*, vol. 26, n° 2, 1996, p. 295-307.
- [12]. **Klieger P. (1958)** ., «*Effect of mixing and curing temperature on concrete strength*». *J. Amer. Concr. Inst.*, 29, 12, 1063-1081.
- [13]. **Stefano Dal Pont, (2004)** ., «*Lien entre la perméabilité et l'endommagement dans les bétons à haute température*». Thèse de doctorat Ecole nationale des ponts et chaussées (LAMI), France, p. 222.
- [14]. **Verbeck G.J., Helmuth R.A.** , «*(1968), Structures and physical properties of cement pastes*». *Proceedings of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo*.
- [15]. **Venuat.M 1964.**, «*Durcissement accéléré du béton manufacturé* ». *Symposium Rilem, Moscou*.
- [16]. **Caumette.J, 1990** ., «*Traitement thermique du béton par l'électricité* ».Ed,
- [17]. **Stefanov. B, 1982.**, «*Technologie des éléments en béton et béton armé* ». *Edition Vichaya*
- [18]. **Acker.P fév. 1986** ., «*Effets thermiques dans les bétons en cours de fabrication et applications aux ouvrages d'art : de nouveaux outils, pour une optimisation simultanée du coût et de la qualité* ». *Annales de l'ITBTP*, n° 442, Série Béton 235, p. 62-77.

-
- [19]. **Sous la direction de Larrard .F ,2002 .** , « construire en béton». Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [20].**Acker.P, 1998 .** , «Prise et durcissement des bétons, Les effets thermomécaniques, Béton hydraulique, ».Techniques de l'Ingénieur, traité Construction C 2 235.
- [21].**Mamillan.M oct. 1980 .** , «Préchauffage du béton utilisation de la chaleur d'hydratation ». Annales de l'ITBTP, n° 387.
- [22].**Darcemont.M, mars 1977.**,« L'accélération du durcissement de produits en béton par traitement thermique ». CERIB, Monographie n° 9.
- [23].**Mamillan.M fév. 1973 .** , « L'accélération du durcissement du béton par la chaleur, l'influence des conditions de traitements et de la composition sur la qualité du béton ». Annales de l'ITBTP, n° 302, p. 15-28.
- [24].**Jay.R et Caumette.J oct. 1981 .** , « L'électricité dans le traitement thermique du béton». Revue technique du bâtiment, n° 86.
- [25]. **Mamillan.M, 1970.**, «Recherches expérimentales sur l'accélération du durcissement du béton par le chauffage». Annales de l'ITBTP (F) n°267 ET 268.
- [26]. **Neville.A.M, 1992.**, « Propriétés des Bétons ». Traduit par le CRIB, Editions Eyrolles, Paris.
- [27]. **ACI Committee 517 .** , «Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure». ACI 517. 2R-87, revised 1992, American Concrete Institute, Farmington Hills Michigan, 1992, 17
- [28]. **KILIEGER, PAUL.**, « Some Aspects of Durability and Volume Change of Concrete for».prestressing, Research1960
- [29].**Tepponen, Pirjo, and Eriksson, Bo-Erik.**, «Damages in Concrete Railway Sleepers in Finland ».Nordic Concrete Research, Publication No.6, the Nordic Concrete Federation, Oslo, 1987.
- [30].**Regourd M. Gautier E .**,« Comportement des ciments soumis au durcissement accéléré dans Durcissement accéléré des bétons ». Annales de l'ITBTP, pp83-96, 1979.
- [31].**Alexanderson J.**, « Strength losses in heat cured concrete ». Swedish Cement and concrete Institute (43), p135, 1972.
- [32].**Jalali S. Abyaneh M.Y.**, « Prediction of final concrete strength in hot climates ».Magazine of Concrete Research, (47-173), pp291-297, 1995.
- [33].**Verbeck G.J. Helmuth R.H.**, « Structures and physical properties of cement pastes ». dans The Cement Association of Japan (editeur) Proceedings of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo (Japon), pp1-32, 1968.
- [34].**Turkel S. Alabas V.**, « The effect of excessive steam curing on Portland composite cement concrete ». CCR (35), pp405-411, 2005.