

# Application industrielle de la géothermie basse énergie dans le traitement thermique des bétons

Aldjia Boutiba

*Département d'Architecture, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie*

boualdjedi@yahoo.fr

**Résumé**— La géothermie basse énergie reposant sur des températures allant de 30°C à 100°C, est une source de chaleur, non polluante. Le béton reste aujourd'hui le matériau de construction le plus économique de ce fait le plus utilisé dans le domaine du bâti, mais la lenteur avec laquelle il acquiert ses résistances mécaniques reste l'un de ces inconvénients principaux.

L'objectif de notre travail de recherche est de résoudre deux problématiques distinctes mais complémentaires à savoir l'accélération du durcissement du béton frais pour atteindre les valeurs de résistances mécaniques, avoisinant les 70% des résistances à 28 jours de durcissement normal et enfin répondre à la politique du développement durable en utilisant comme source de chaleur de maturation de ce matériau, la géothermie basse énergie.

Les résultats des essais mécaniques de compression montrent que pour une température de traitement thermique de 60 et 80°C avec une durée de traitement thermique de 11 heures, les résistances à la compression du béton atteignent les 75 % des résistances du béton témoin à 28 jours de durcissement normal.

**Mots clés** — La géothermie basse énergie, traitement thermique, béton, durcissement.

## I. INTRODUCTION

Le bouleversement climatique des dernières décennies est beaucoup plus lié à une activité humaine [1] c'est-à-dire un développement économique qui n'a pas pris en charge le côté environnemental. Les nouvelles notions de développement durable des années 70 lient étroitement le développement économique à l'aspect de la préservation de l'environnement [1]. A cet effet l'utilisation des énergies douces et renouvelables reste une alternative pour le besoin et les préoccupations écologiques d'aujourd'hui.

L'énergie géothermique est une énergie douce qui épuise ses ressources des profondeurs terrestres, elle n'est tributaire ni des conditions climatiques ni du temps, elle se manifeste sous forme de volcans, geysers, fumerolles, sources chaudes et mares de boues bouillantes [2]. On distingue en effet deux types de géothermie : haute enthalpie utilisée pour la production d'électricité et la basse enthalpie qui regroupe deux sortes de géothermie. La géothermie très basse énergie dont les températures sont inférieures à 30°C et la géothermie basse énergie reposant sur des chaleurs allant de 30°C à 100°C [3].

En 2000 quelque 55 pays, déclaraient utiliser cette énergie pour la production de chaleur dans différents

secteurs comme l'industrie, l'agriculture et le chauffage des bâtiments, notamment dans les pays comme les pays scandinaves, le Japon, la Chine, la Russie, la France, l'Islande, les Etats Unis pour ne citer que cela [4].

Pour le cas du potentiel en énergie géothermique de l'Algérie, les études [5, 6, 7, 8, 9] révèlent l'existence de plus de 200 sources chaudes localisées principalement dans les régions du Nord-Est et Nord-Ouest du pays, avec 37 sources hyperthermales ( $T > 45^\circ\text{C}$ ), dont la plus chaude étant celle de Hammam Meskhoutine ( $98^\circ\text{C}$ ).

Le domaine du bâtiment reste l'un des plus consommateurs d'énergie dans le monde [10], en allant de l'extraction des matières premières à l'exploitation du bâtiment (chauffage, climatisation, eau chaude, éclairage ...). Par conséquent un secteur pollueur et souvent non respectueux de l'environnement. Le béton en raison de ces nombreux attributs en l'occurrence les résistances mécaniques et la durabilité, constitue le matériau le plus utilisé dans ce secteur. Toutefois le problème principal au niveau des chantiers est la lenteur avec laquelle le ciment s'hydrate et développe ses résistances mécaniques.

Augmenter la productivité et la vitesse de construction sur les chantiers pour répondre aux exigences de la forte demande de ce secteur, peut être résolue par les procédés de préfabrication d'éléments en béton et béton armé. Dans ces procédés l'introduction d'une chaleur thermique ou électrique, constitue la plupart du temps le moyen le plus efficace pour obtenir la résistance nécessaire au démoulage en quelques heures. Toutefois cette méthode «Traitement thermique» exige une quantité considérable d'énergie et engendre une importante émission de gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement climatique de notre planète.

Notre étude porte sur l'usage de la géothermie basse énergie dans les procédés de préfabrication d'éléments en béton et béton armé.

## II. LES APPLICATIONS THERMIQUES POSSIBLES DE LA GÉOTHERMIE

L'énergie géothermale est appliquée dans plusieurs domaines. Selon les caractéristiques du fluide (température, débit...) et les dispositifs employés, l'énergie géothermique est utilisée dans le bâtiment pour la production d'eau chaude, le chauffage, la climatisation des bâtiments et même la production de certains matériaux de construction. Cette filière connaît un développement important dans les pays où les ressources sont abondantes et proches des zones largement urbanisées, comme en Hongrie, en France, en

Russie, en Chine, aux Etats Unies et en Islande où à Reykjavik près de 99% d'habitations étaient alimentées depuis 1975 [4,11,12].

L'expansion de l'utilisation industrielle de la géothermie remonte à la fin de la deuxième guerre mondiale, auparavant elle était plus au moins limitée à l'industrie du borax, en Italie. L'utilisation d'une façon importante a eu lieu pour la première fois dans l'industrie du papier (papier journal) à Kavereau, dans l'île du nord de la Nouvelle Zélande. Depuis, la chaleur terrestre est utilisée dans de nombreuses autres industries comme traitement des matériaux (séchage de carreaux de plâtre, du bois, des diatomites, durcissement de dalles en béton léger en Italie), laveries et teinturerie industrielles, conserveries, laiteries, le séchage du café au Brésil, traitement des minerais, extraction du soufre au Japon et Taiwan etc [11].

### III. LE BETON PREFABRIQUE

Est la fabrication de composants en béton, généralement en usine et en milieu contrôlé. Il en résulte une meilleure qualité des produits et un gain de temps qui peut être obtenue par une accélération du durcissement du béton. La gamme des éléments élaborés en usine est très diverse depuis l'élément standardisé comme le bloc jusqu'aux éléments ayant plusieurs avantages (solide, architectonique, etc.), qui sont utilisés dans des secteurs aussi diversifiés que:

Le bâtiment : comme les blocs de maçonnerie (parpaing, aggloms, appuis de fenêtre, blocs de parement,...); les éléments architecturaux pour la construction (panneaux de façades, corniche,...); les éléments pour plancher (entrevous, poutrelles, dalles alvéolées,...); les tuiles en béton; les escaliers; les éléments de structures (poutre, poteaux, fermes,...) [13].

Les travaux publics : on a les produits d'assainissement et d'épuration; bordures et caniveaux; produits d'environnement et revêtement de sol (pavés, dalles, mobilier urbain, bornes,...); élément de génie civil (poutres de ponts, voussoirs pour tunnel, mur de soutènement...); les produits pour les télécommunications et chemin de fer [13].

### IV. PARTIE EXPERIMENTALE

L'objet de cette partie expérimentale est la caractérisation du béton traité thermiquement à la vapeur d'eau et en immersion dans l'eau chaude et de le comparer à un béton non traité. Pour cela sur béton durci sont effectués les essais mécaniques de compression NF EN 12390-3 [15] :

-Après traitement thermique et à l'âge de 28 jours des éprouvettes ayant subi le traitement thermique. Pour les résistances mécaniques à 28 jours, les éprouvettes sont conservées à une humidité relative d'environ 65±5% sous une température 20±2°C.

-A l'âge de 28 jours des éprouvettes en béton témoin conservées après démoulage, dans l'eau sous une température de 20±2°C, conformément à la norme NF EN 12390-3[15].

Le béton soumis aux essais est un béton ordinaire de classe B25 sa composition est donnée au tableau 1, les

spécimens d'étude sont de forme cubique de 15×15×15 cm, conformément à la norme NF EN 12390-1 [14].

TABLE I  
DOSAGE EN CONSTITUANTS DU BÉTON

| Constituants                               | Dosage en Kg/m <sup>3</sup> |           |
|--|-----------------------------|-----------|
| <b>Ciment</b>                              | 375                         |           |
| <b>sable</b>                               | 720                         |           |
| <b>Gravier fraction 3/8</b>                | 430                         |           |
| <b>Gravier fraction 8/15</b>               | 700                         |           |
| <b>Eau de gâchage en litres</b>            | Ouvrabilité                 |           |
|  | Ferme                       | Plastique |
|  | 170                         | 220       |
| <b>Rapport eau, ciment E/C</b>             | 0,45                        | 0,59      |
| <b>Affaissement au cône d'Abrams en cm</b> | 2,8                         | 7,5       |

Les facteurs choisis comme variables sont les suivants :

Pour déterminer l'influence de la quantité d'eau de gâchage sur un béton traité thermiquement nous avons choisi deux types de bétons (tableau N°1) : l'un de consistance ferme, l'autre de consistance plastique.

En se basant sur deux critères qui sont l'abondance de sources géothermales sur le territoire national pour une température donnée et les cadences de l'accélération de durcissement d'un béton. Notre choix s'est porté sur les températures de 60°C et de 80°C avec un cycle de traitement allant de 09 à 11 heures (figure 1).

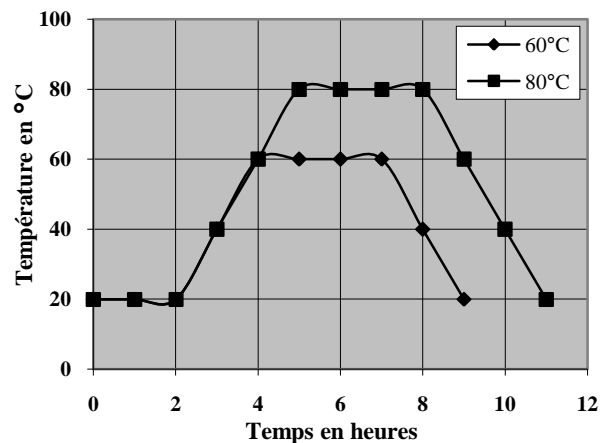


Fig. 1 Les cycles du traitement thermique des éprouvettes en béton pour des températures de 60 et de 80°C

Afin de prouver la faisabilité de traiter un béton sous l'eau chaude (source géothermale), nous avons opté pour deux techniques de traitement thermique différentes qui sont l'étuvage du béton (sous la vapeur d'eau) et le traitement hydrothermal du béton (sous l'eau chaude).

### V. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Influence du rapport E/C sur les résistances à la compression

La fig. 2, présente les évolutions des résistances à la compression en fonction de l'âge des bétons de consistance ferme et plastique. On constate que les résistances à la compression d'un béton de consistance plastique sont nettement inférieures à celle d'un béton de consistance ferme.

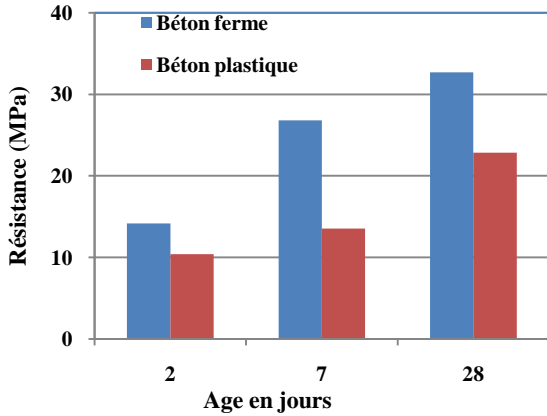


Fig. 2 Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge pour béton témoin de consistance ferme et plastique.

La fig. 3, Quant on compare les résultats des valeurs des résistances à la compression des deux bétons de consistance ferme et de consistance plastique ayant subi un traitement thermique nous remarquons que les valeurs sont plus élevées pour un béton de consistance ferme que pour un béton de consistance plastique ce qui est très évident et reflète bien l'importance du rapport E/C, pour les béton traité thermiquement.

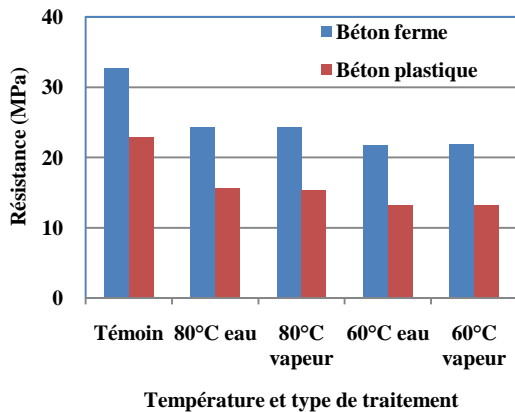


Fig. 3 Variation de la résistance à la compression en fonction de la température et type de traitement pour les deux type de bétons

**B. Influence des températures et du type de traitement thermique sur les résistances à la compression**

1) *Cas d'un béton de consistance ferme* : La fig. 4 montre qu'un béton chauffé à 60 ou à 80°C à la vapeur ou sous l'eau chaude avec 11 heures de traitement thermique, atteint les 75 % des résistances du béton témoin de 28 jours de durcissement normal, mais les résistances sont plus importantes pour les bétons traités à une température de 80°C que pour ceux traités à 60°C. Ces valeurs de

résistances mécaniques sont largement suffisantes pour le démoulage après seulement 11 heures de durcissement accéléré à la vapeur d'eau ou sous l'eau chaude.

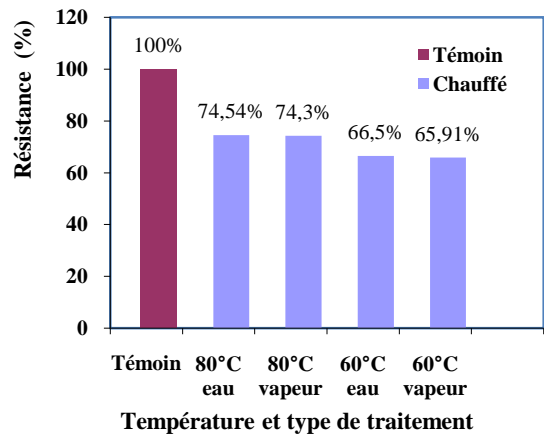


Fig. 4 Comparaison des résistances à la compression des bétons fermes témoin à 28 jours avec ceux chauffés après démoulage.

A 28 jours d'âge, on observe que les valeurs des résistances mécaniques des bétons traités à une température de 80°C et ceux traités à 60°C se rapprochent. Ce qui prouve qu'il n'y a pas une influence sur les résistances ultérieures quant la température de traitement passe de 60 à 80°C (fig.5). La chute de résistances mécaniques d'un béton traité thermiquement par rapport à un béton ayant durci dans des conditions normales avoisine les 10%, ce qui représente un excellent résultat pour les bétons traités thermiquement.

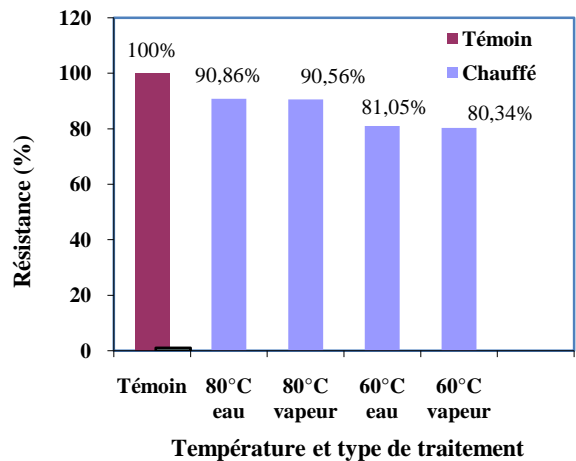


Fig. 5 Comparaison des résistances à la compression à 28 jours des bétons fermes témoin avec ceux chauffés.

2) *Cas d'un béton de consistance plastique (fig.6) :*

Nous remarquons que les résistances à la compression d'un béton de consistance plastique pour les deux traitements (Etuvage ou hydrothermal) sont plus élevées pour la température de 80°C que pour la température de 60°C. Mais la chute des résistances à la compression à l'âge de 28 jours pour les bétons traités thermiquement à une température de 80°C est importante et avoisine les 20% pour les bétons étuvés. Cela s'explique par le fait que la partie gazeuse et liquide dans un béton, sous l'influence de températures élevées, se dilate des dizaines de fois plus que

la partie majoritaire qui est le solide, n'ayant pas acquis des résistances mécaniques capables de faire face à ces contraintes internes de dilatation, le béton se fissure et diminue ainsi de ses résistances mécaniques

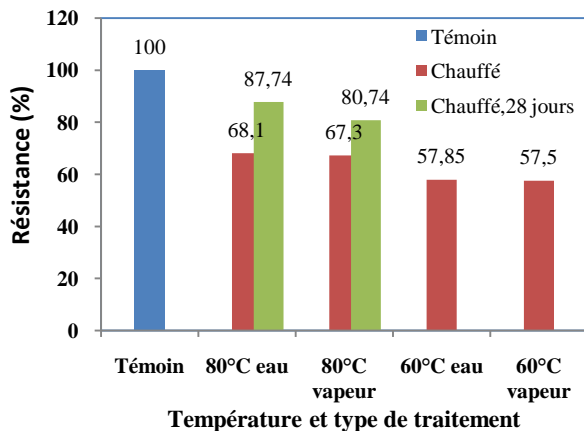


Fig. 5 Comparaison des résistances à la compression des bétons plastique témoin à 28 jours avec ceux chauffés après démoulage et à 28 jours d'âge

## VI. CONCLUSIONS

Les ressources géothermiques en Algérie sont de basse enthalpie, avec un potentiel qui fait état de l'existence de plus de 200 sources chaudes localisées principalement au nord du pays.

La gamme des produits préfabriqués est très diverse depuis l'élément standardisé comme le (bloc, bordure) jusqu'aux éléments de (structure, architectonique, etc.), qui sont destinés aux secteurs du bâtiment, des travaux publics et de l'environnement.

Le choix des conditions du traitement thermique (cycle et les températures de 60 et 80°C) est basé sur le potentiel géothermique et les cadences de l'accélération de durcissement d'un béton

A l'issue des résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons dégager les conclusions suivantes : Pour une température de 60 ou 80°C à la vapeur ou sous l'eau chaude avec 11 heures de traitement thermique, les résistances du béton atteignent les 75 % des résistances du béton témoin

de 28 jours de durcissement normal, aussi la chute de résistances mécaniques à l'âge de 28 jours d'un béton traité thermiquement par rapport au béton témoin avoisine les 10%. Ces résultats nous démontrent que nos éléments en béton ou béton armé peuvent subir un décoffrage après 11 heures de traitement thermique.

## REFERENCES

- [1] B. Sylvie, Le développement durable, PUF, « Que sais-je », Presses Universitaires de France, avr. 2007 .
- [2] J.M.Coudert et J.M Jaudin, La géothermie du geyser au radiateur. Editions du BRGM, 1983.
- [3] C. Baujard, "Modélisation de l'écoulement de deux fluides non miscibles dans les milieux fracturés ; application à l'injection à grande profondeur et à la recherche d'eau douce en milieu côtier", Thèse de doctorat à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, France, 2005.
- [4] J.Varet. (2004) La géothermie, collection les enjeux des géosciences de l'ADEME et le BRGM : <http://www.géothermie-perspectives.fr>.
- [5] A. Fekraoui, "La géothermie, une Énergie d'Avenir" Bulletin des Energies Renouvelables - N°4, déc, 2003.
- [6] F.Z Kedaïd et M. Rezig, M. Abouriche. et A. Fekraoui "Carte géothermique préliminaire du nord de l'Algérie Au 1/100.000", Rapport interne, CDER, Algérie, 1988.
- [7] S.Ouali, "Etude géothermique du sud de l'Algérie", mémoire de magistère en géophysique, université M'Hamed Bougara Boumerdes, Algérie, 2006.
- [8] M. Rezig, "Etude géothermique de l'extrémité Est de l'atlas saharien", Rapport interne, CDER, Algérie, 1992.
- [9] M. Rezig, "Etude géothermique du Nord –Est de l'Algérie", DEA, Université des sciences et des techniques du Languedoc, Montpellier, France 1991.
- [10] F. Cherqui, "Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier méthode ADEQUA", Thèse de doctorat de l'université de la Rochelle, France, 2005.
- [11] H. Christopher et H. Armstead, La géothermie, exploration forage exploitation. Editions du Moniteur, Paris, 1981.
- [12] J. Varet, Géothermie basse énergie, usage direct de la chaleur. Editions Masson, Paris, 1982.
- [13] CIM béton, Construire avec les bétons, Ed du Moniteur, 2000.
- [14] NF EN 12390-1 (oct 2001) Essai pour béton durci-Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules (indice de classement P 18-430).
- [15] NF EN 12390-3 (fév. 2003) Essai pour béton durci – Résistance à la compression des éprouvettes (indice de classement P18-455).