

This article was downloaded by: [University of Boumerdes]

On: 20 May 2013, At: 07:00

Publisher: Taylor & Francis

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954

Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK

Revue Française de Génie Civil

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/tece18>

Etude du comportement mécanique du béton cellulaire autoclaveé: influence de la vitesse de déformation

Redjem Belouettar ^a, J. R. Klepaczko ^b & M. T. Abadlia ^c

^a Département de Génie Civil, Université de Annaba, Algérie

^b Laboratoire de Physique et Mécanique des Matériaux, Université de Metz, France

^c Département des Liants et Bétons, Université de Boumerdès, Algérie

Published online: 05 Oct 2011.

To cite this article: Redjem Belouettar, J. R. Klepaczko & M. T. Abadlia (2011): Etude du comportement mécanique du béton cellulaire autoclaveé: influence de la vitesse de déformation, *Revue Française de Génie Civil*, 5:5, 667-675

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/12795119.2001.9692717>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae, and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand, or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Etude du comportement mécanique du béton cellulaire autoclavé : influence de la vitesse de déformation

Redjem Belouettar* — J.R. Klepaczko** — M.T. Abadlia***

* Département de Génie Civil. Université de Annaba (Algérie)

** Laboratoire de Physique et Mécanique des Matériaux. Université de Metz (France)

*** Département des Liants et Bétons. Université de Boumerdès (Algérie)

RÉSUMÉ. Ce travail présente une étude expérimentale du comportement mécanique du béton cellulaire autoclavé. L'étude a porté essentiellement sur une série d'essais mécaniques en compression quasi statique à différentes vitesses de déformation variables entre 10^{-4} s^{-1} et 10 s^{-1} et à deux états différents (état sec et état saturé d'eau). En général, l'augmentation de la vitesse de déformation donne une augmentation de la contrainte critique du béton cellulaire autoclavé. Le béton cellulaire autoclavé présente une sensibilité à la vitesse de déformation positive. La valeur du module d'élasticité est proche de la valeur standard (1,5 GPa) pour un béton cellulaire autoclavé de masse volumique égale à 500- 550 kg / m^3 .

ABSTRACT. This work presents an experimental study on the mechanical behavior of autoclaved aerated concrete. The study essentially concerns a series of mechanical tests in quasistatic compression with several strain rates varying from 10^{-4} s^{-1} to 10 s^{-1} and in two states (dry and saturated with water). In general an increase of strain rate causes an increase of the critical stress in autoclaved aerated concrete. Autoclaved aerated concrete shows a positive strain rate sensitivity. The value of the elasticity modulus is close to the standard value (1.5 GPa) for the autoclaved aerated concrete with the volumetric mass 500-550 kg / m^3 .

MOTS CLÉS : Béton cellulaire autoclavé, comportement mécanique, sensibilité à la vitesse de déformation, essais quasi statiques et dynamiques.

1. Introduction

Les bétons cellulaires autoclavés ont mis de très nombreuses années à se faire connaître et parfois à s'imposer dans le monde de la construction et des matériaux de construction. En effet la plupart des procédés actuels furent créés aux alentours des années trente. Axel Ericksson [1] fut l'un des premiers à mettre au point un dispositif permettant la formation d'un gaz dans une pâte de ciment. En 1924, deux sociétés suédoises s'intéressèrent à des brevets et commencèrent à produire ce matériau. Elles devinrent les sociétés bien connues aujourd'hui Durox et Ytong. Le traitement à l'autoclave fut mis au point en 1929. Entre-temps, Christiani et Nielsen développèrent au Danemark un béton cellulaire dénommé Celcon et commercialisé en 1928. En 1934, Siporex débuta en utilisant des brevets, ensuite la société Hebel fut fondée en 1943. En fait, le développement des bétons cellulaires autoclavés dans le monde remonte à 1945 [1].

2. Définition et structure du matériau

Le béton cellulaire autoclavé est un matériau silico-calcaire, obtenu par un traitement à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux broyé, de chaux, et de ciment. De petites cellules sont créées dans le matériau par un dégagement gazeux provoqué par l'addition au moment du gâchage d'une poudre d'aluminium. Dans l'autoclave, La silice et les produits de durcissement du ciment se combinent chimiquement en formant des hydrosilicates de calcium d'une structure cellulaire caractérisée par une résistance mécanique élevée et une excellente stabilité dimensionnelle. La structure du matériau se compose de parties pleines et d'une infinité de pores formés par l'hydrogène, l'air et l'eau présents au moment du coulage et de l'expansion. La structure des pores a une influence sur les propriétés physiques et mécaniques du matériau, comme la résistance mécanique, la conductivité thermique, la capillarité, la résistance au gel, etc. [2].

3. Propriétés mécaniques du béton cellulaire autoclave

3.1. Module d'élasticité

La valeur quasi statique du module d'élasticité est influencée par le pourcentage d'humidité contenu dans le matériau qui a également une influence sur la résistance à la compression. La formule (1) donne avec une bonne approximation la valeur de E d'un béton cellulaire autoclavé ayant une masse volumique comprise entre 400 et 700 kg/m^3 avec un taux d'humidité compris entre 3 et 10 %.

$$E = k\rho_{\text{sec}}\sqrt{\sigma_c} \quad (1)$$

E est le module d'élasticité tangent en MPa, ρ_{sec} est la masse volumique apparente sèche du matériau en kg/m^3 , σ_c est la résistance à la compression du matériau en

MPa et k est le coefficient variable entre 1 et 1,5. La valeur de k dépend de la masse volumique du matériau et de son humidité.

La résistance à la compression varie en fonction de la masse volumique du matériau et de son taux d'humidité. La résistance à la traction est comprise entre 1/4 et 1/6 de la résistance à la compression (tableau 1). Le composant chimique fondamental du matériau est le monosilicate de calcium. Le matériau possède une bonne stabilité dimensionnelle. A une température de 20 °C et à une humidité relative de 43 %, la variation dimensionnelle est de 0,1 à 0,5 mm/m. Il ne contient pas de matières combustibles, possède une bonne résistance au feu et offre deux fois plus de protection aux incendies que le béton lourd [2], [3].

4. Comportement mécanique du béton cellulaire autoclave

La vitesse de chargement influe sur la contrainte du béton cellulaire autoclavé. Sur le diagramme contrainte-déformation longitudinale et transversale (figures 1 et 2), on observe au début une linéarité du comportement [5]. Le coefficient de Poisson peut être déterminé par la relation suivante [4] :

$$-\nu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_1} \tag{2}$$

où ν est le coefficient de Poisson, ϵ_t est la déformation transversale et ϵ_1 est la déformation longitudinale. La variation de volume s'écrit, [4] :

$$\frac{\Delta V}{V} = \epsilon_1(1 - 2\nu) \tag{3}$$

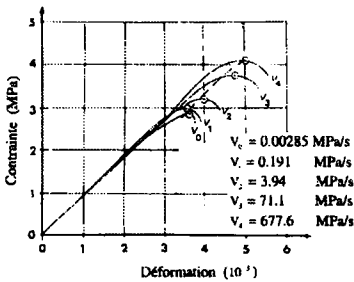


Figure 1. Influence de la vitesse de chargement sur les contraintes et les déformations [5]

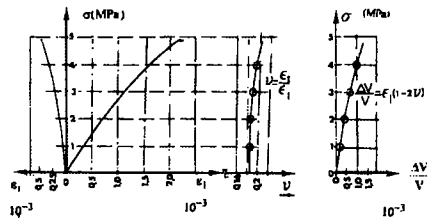
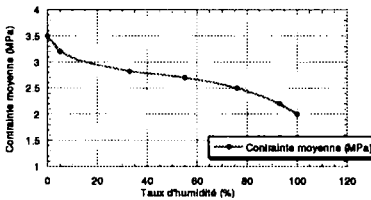
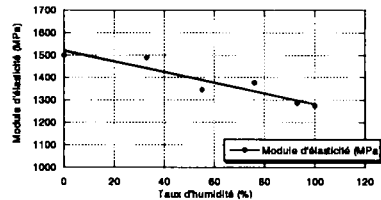


Figure 2. Diagramme contrainte-déformation transversale, déformation longitudinale et coefficient de Poisson et contrainte-variation de volume [5]

Les valeurs du module d'élasticité augmentent avec l'accroissement de la masse volumique et des contraintes de traction et de compression du matériau. Entre 0 % et 100 % d'humidité, le module d'élasticité diminue de 14 % (figure 4), alors que la contrainte à la compression diminue presque de 50 % (figure 3). Cette chute de résistance est due principalement à la diminution de la résistance des ponts intercellulaires provoqués par la présence de l'eau dans les pores du matériau. Le fluage des échantillons humides est plus important que celui des échantillons secs [5],[7].



(3)



(4)

Figure 3. *Contrainte moyenne critique en fonction du taux d'humidité dans le matériau*

Figure 4. *Module d'élasticité en fonction du taux d'humidité dans le matériau*

5. Propriétés physiques et mécaniques du matériau étudié

Les propriétés physiques du matériau ont été déterminées selon les recommandations de la Rilem dans deux laboratoires différents : Laboratoire de Matériaux de l'Université de Annaba (Algérie) et Laboratoire des Matériaux Poreux de l'Université de Poznan (Pologne). Les valeurs du tableau 1 représentent la moyenne de six essais [6].

$\rho(\text{kg} / \text{m}^3)$ Masse volumique	$\sigma(\text{MPa})$ compression	$\sigma(\text{MPa})$ traction	$P(\%)$ porosité	$W(\%)$ capacité d'absorption	$\lambda(\text{W} / \text{mh}^\circ\text{c})$ cond. thermique
546	3.5	0.94	70	42	0.12

Tableau 1. *Caractéristiques physiques et mécaniques du matériau étudié*

6. Technique expérimentale

6.1. Description des machines cinématique et hydraulique

Les essais mécaniques sont effectués sur des machines en quasi statique 200 kN et 100 kN au Laboratoire de Physique et Mécanique des Matériaux (LPMM) de l'Université de Metz (France). La machine de 200 kN est composée d'une partie mécanique comportant un bloc équipé de deux traverses indépendantes. La force maximale de la pression de la machine est de 200 kN. La machine hydraulique de 100 kN (figure 5) peut effectuer des essais en traction/compression et en torsion rapide. La force maximale est de 100kN. Les principes de chargement de l'éprouvette et de l'enregistrement des déplacements et des forces sont schématisés par la figure 6. Les essais de compression ont été développés au Canada par J.R. Klepaczko [8]. L'éprouvette est placée entre deux plaques dont l'une est fixe et l'autre est mobile. Dans le but de minimiser le problème de contact entre les plaques et les faces de l'échantillon, une rotule en acier (le schéma de l'essai précis a été réalisé et utilisé au LPMM) est incorporée à la plaque actionnée par le vérin. La rotule permet de rattraper les imperfections de planéité des faces de l'éprouvette et d'éviter les concentrations de contraintes (figure 6). On impose la vitesse de déplacement entre la plaque mobile et celle immobile de la machine en choisissant, sur le bloc de commande, le parcours maximal souhaité et la période de l'essai. Le déplacement du vérin est obtenu par un système de mesure, développé au LPMM et formé par deux capteurs de déplacement du type LVDT (*Linear Variable Differential Transducer*). Ces derniers sont montés en parallèle avec l'éprouvette et placés symétriquement sur la rallonge de la traverse fixe, de façon à mesurer avec précision le déplacement des deux cotés de l'éprouvette (voir le principe de mesure). Celui-ci est relatif à la déformation de l'éprouvette. La force développée par la machine est mesurée par l'intermédiaire d'un capteur de force incorporé à la machine et monté en série avec l'éprouvette. L'ensemble est relié à des appareils électroniques et informatique permettant la visualisation en temps réel de l'évolution des signaux de déplacements et de la force en fonction du temps. Il permet aussi l'enregistrement numérique de ces derniers. La figure 7 représente un exemple d'oscillogramme obtenu et à l'état brut et donne la représentation de la force et des déplacements en fonction du temps.

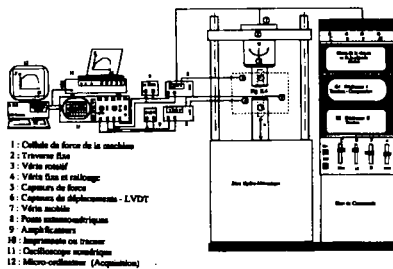


Figure 5. Descriptif de la machine hydraulique avec 100 KN [9]

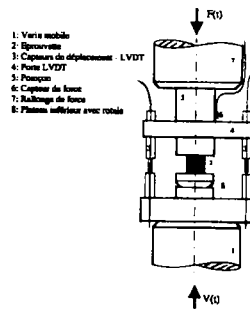


Figure 6. Dispositif du montage le système de déplacement LVDT [9]

7. Principe de mesure

A partir des valeurs des signaux mesurés, on peut déterminer le déplacement moyen qui est fonction de la moyenne des deux mesures de déplacements :

$$D(t) = \frac{U_1(t) + U_2(t)}{2} \quad (4)$$

Le calcul de la déformation dans l'échantillon s'établit comme :

$$\varepsilon(t) = \frac{D(t)}{h} \quad (5)$$

La vitesse de déformation s'écrit :

$$\dot{\varepsilon}(t) = \frac{1}{h} \frac{d}{dt} [D(t)] \quad (6)$$

A partir de la force mesurée, on peut calculer la contrainte par la formule :

$$\sigma(t) = \frac{F(t)}{a.b} \quad (7)$$

La force est mesurée par la cellule de la machine (a et b sont les dimensions de l'éprouvette).

Les résultats obtenus nous permettent de construire les courbes suivantes : $U(t)$,

$F(t)$, $\varepsilon(t)$, $\dot{\varepsilon}(t)$, $\sigma(t)$, d'essayer en plus de connaître l'histoire des vitesses et les sensibilités à la vitesse de déformation β , la valeur de la sensibilité logarithmique à la vitesse de déformation du matériau m ainsi que le taux d'écrouissage η , pour une plage de vitesse de déformation variant de $10^{-4} s^{-1}$ à $10 s^{-1}$.

$$\beta = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \log \varepsilon} \right)_{\varepsilon} \quad (8)$$

$$m = \left(\frac{\partial \log \sigma}{\partial \log \varepsilon} \right)_{\varepsilon, t} \quad (9)$$

$$\eta = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right)_{\varepsilon, t} \quad (10)$$

8. Essais et résultats

On a réalisé trois essais pour chacune des vitesses de déformation. Après dépouillement, les courbes contrainte-déformation ont été tracées. On a pu déterminer le module d'élasticité du matériau par la pente de la partie élastique du matériau. Nous avons relevé toutes les valeurs des contraintes maximales et

minimales. L'ensemble des résultats nous a permis d'étudier l'influence de la vitesse de déformation sur les contraintes maximales et les contraintes minimales du matériau.

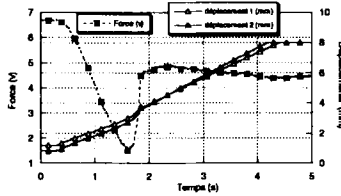


Figure 7. Oscillogramme obtenu et représentant les déplacements $U_1(t)$, $U_2(t)$ et la force $F(t)$ d'un essai à une vitesse de $10^{-3} s^{-1}$ sur la machine 100 KN

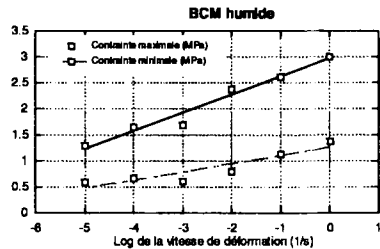
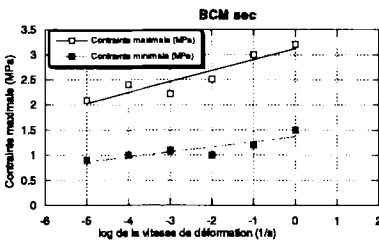


Figure 8. Contraintes moyennes maximales et minimales en fonction du logarithme de la vitesse de déformation

Figure 9. Contraintes moyennes maximales et minimales en fonction du logarithme de la vitesse de déformation

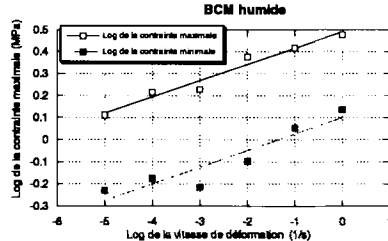
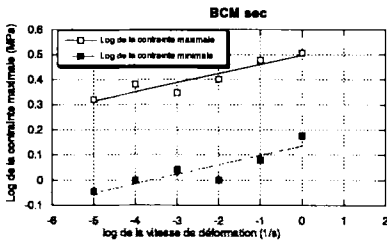


Figure 10. Logarithme des contraintes maximales et minimales en fonction du logarithme de la vitesse de déformation

Figure 11. Logarithme des contraintes maximales et minimales en fonction du logarithme de la vitesse de déformation

Sur les figures 8 et 9, on remarque pour le matériau sec et saturé une augmentation des contraintes maximales et minimales en fonction du logarithme de la vitesse de déformation, les valeurs de β varient de 0,219 à 0,348 MPa pour les contraintes maximales et de 0,1 à 0,156 MPa pour les contraintes minimales.

Comparées avec la valeur de β d'un mini-béton ($\beta = 4,7\text{MPa}$) [9], ces valeurs restent faibles car elles dépendent directement de la valeur de la contrainte. Comme le montrent les figures 10 et 11, un accroissement des logarithmes des vitesses de déformation donne une augmentation du logarithme des contraintes maximales et minimales. Les valeurs de m varient de 0,236 à 0,074 pour les contraintes maximales et de 0,037 à 0,075 pour les contraintes minimales. Les valeurs de η varient de 0,892 à 0,98. Le module d'élasticité du matériau déterminé correctement et après correction de la rigidité de la machine diminue avec l'augmentation du taux d'humidité. Pour un béton cellulaire autoclavé sec, sa valeur moyenne est de 1,484 GPa, alors que celle dans le cas humide est de 1,388 GPa. Le rapport entre les modules d'élasticité du matériau à l'état sec et à l'état humide $\frac{E_{\text{sec}}}{E_{\text{hum}}}$ est égal à 1,07.

Cette valeur du module d'élasticité diminue de 7 % et représente 93 % de la valeur à l'état sec (figure 12). Cette diminution est influencée par la résistance mécanique du matériau et sa masse volumique. Ces résultats confirment bien les données bibliographiques [6].

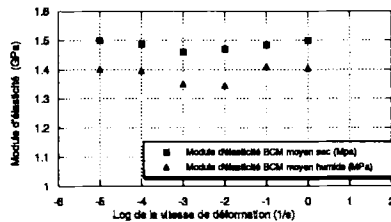


Figure 12. Valeurs du module d'élasticité du matériau

9. Conclusion

En procédant à ces essais quasi statiques du béton cellulaire autoclavé nous avons su maîtriser la technique expérimentale pour une large gamme de vitesses de déformation variant de 10^{-4} s^{-1} à 10 s^{-1} . En se référant aux résultats expérimentaux, il apparaît que l'augmentation de la vitesse de déformation induit une croissance des contraintes maximales et minimales du béton cellulaire autoclavé dans ces deux états : sec et saturé d'eau. Il apparaît également que l'accroissement des contraintes du matériau humide avec les vitesses de chargement est aussi important que celui d'un matériau sec. La valeur du module d'élasticité diminue avec l'augmentation de l'humidité du matériau, (figure 12). Le béton cellulaire autoclavé présente un comportement de type élastique linéaire. Le matériau possède une bonne sensibilité à la vitesse de déformation. Ce travail nous a permis de déterminer les valeurs de β , m et η du matériau. Le module d'élasticité du matériau diminue avec l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau. En plus de l'effet de la vitesse de déformation, il faut tenir compte de l'effet de l'humidité du matériau et la considérer dans une éventuelle proposition d'une loi de comportement.

10. Bibliographie

- [1] [COR 82] CORMON P., *Bétons légers d'aujourd'hui*, Dunod, 1982.
- [2] [SIP 86] Documentation, Siporex, AB. Suède, 1986.
- [3] [EDE 80] EDEN N.B., MANTHORPE A.R., MIELL S.A., SZYMANEK P.H. and WATSON K.L., « Autoclaved aerated concrete from slate waste, Part 1: Some property/density relationships », *The International Journal of Lightweight Concrete*, p. 95-100, 1980.
- [4] [WIT 84] WITTMAN F.H and GHEORGHITA I.M., « Fracture toughness of autoclaved aerated concrete », *Cement and Concrete Research*, p. 369-374, 1984.
- [5] [GHE 88] GHEORGHITA I.M. et WITTMAN F.H., « La mécanique de la rupture appliquée au béton cellulaire autoclavé », *Chronique des Matériaux de Construction*, Chantiers Suisse, vol. 5, p. 451-456, 1988.
- [6] [HOU 83] HOUST Y., ALOU F., WITTMAN F.H., « Influence de l'humidité sur les propriétés mécaniques du béton cellulaire autoclavé », *Ing. Archit. Suisses*, p. 9-15, 1983.
- [7] [WIT 83] *Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties*, edited by Wittman F.H., 1983.
- [8] [KLE 82] KLEPACZKO J.R., Quasi-static and Dynamic Compression Behavior of Coal, Report n° 1, Département of Mech. Eng. The university of Manitoba, Canada, 1982.
- [9] [GRE 92] Rapport scientifique « Greco-Géomatériaux » (sols, bétons, roches), p. 109-110, 1992.