



HAL
open science

Évolution des comportements hydrique et mécanique de deux mortiers en dessiccation

Ismael Yurtdas, Nicolas Burlion, He Peng, Frédéric Skoczylas

► **To cite this version:**

Ismael Yurtdas, Nicolas Burlion, He Peng, Frédéric Skoczylas. Évolution des comportements hydrique et mécanique de deux mortiers en dessiccation. 17e Congrès Français de Mécanique, 2005, Troyes, France. hal-04270509

HAL Id: hal-04270509

<https://hal.science/hal-04270509>

Submitted on 4 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evolution des comportements hydrique et mécanique de deux mortiers en dessiccation

Ismail Yurtdas^{a,*}, Nicolas Burlion^a, He Peng^a & Frédéric Skoczylas^b

^(a) Polytech'Lille (ex-EUDIL), USTL, Dpt Géotechnique Génie Civil

^(b) Ecole Centrale de Lille, Dpt Génie Civil

Laboratoire de Mécanique de Lille

Cité Scientifique, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex

(* Ismail.Yurtdas@polytech-lille.fr)

Résumé :

Cette étude s'intéresse aux effets du séchage sur le comportement mécanique de deux mortiers de rapport eau/ciment égal à 0,5 et 0,8. Des essais de retrait, de compression uniaxiale et triaxiale en fonction du temps de séchage montrent une compétition entre un effet rigidifiant et un effet de microfissuration induite par dessiccation. Celle-ci est gouvernée par les propriétés de la matrice.

Abstract :

This study is interested in the drying effects on the mechanical behaviour of two mortars with water by cement ratio equal to 0.5 and 0.8. The shrinkage, uniaxial and triaxial compressive tests were carried out according to drying time and show a competition between a strengthening effect and an induced microcracking effect. This one is governed by the matrix properties.

Mots clefs :

Dessiccation ; microfissuration ; comportement multiaxial.

1 Introduction

Bien des structures en béton subissent une dessiccation du fait d'un déséquilibre hygrométrique existant avec l'air ambiant. Leur comportement mécanique multiaxial va dépendre de cette dessiccation à l'origine de modifications locales et structurelles du matériau. Ce séchage induit un retrait de dessiccation par variation de la succion capillaire [1,2], des pressions de disjonction et des énergies de surface [2,3]. De plus, la non uniformité de l'humidité interne de la structure, du fait de sa géométrie et de la faible perméabilité, conduit à la création des gradients hydriques [1-8]. Les déformations de retrait sont alors empêchées par un effet structurel : le cœur sèche moins vite que la surface et empêche le retrait de celle-ci; ceci induit des tractions et une microfissuration dans la zone externe [1-6]. Par ailleurs, la différence de rigidité entre les différents constituants du matériau conduit à une microfissuration supplémentaire à l'interface pâte de ciment hydraté/inclusion rigide (grain de ciment non hydraté, granulats) [7,8]. Ce deuxième effet, relativement superficiel pour de faibles tailles de granulats, conduit à une microfissuration diffuse dès que la taille du granulat atteint 6 mm [8]. Ainsi, le matériau cimentaire s'endommage avant application d'un chargement mécanique, les propriétés élastiques et le processus de rupture du matériau en sont alors modifiés. Cette microfissuration induite est systématique dans toute structure en béton et ne peut être empêchée que dans des conditions spécifiques de laboratoire, soit en appliquant de petits paliers successifs de diminution d'humidité relative, soit en utilisant des éprouvettes d'épaisseur très faible [3,6]. Elle fragilise le matériau et augmente sa perméabilité [9]. Le couplage entre le comportement mécanique et les différents effets de la dessiccation vont alors conditionner la durabilité des structures en béton. L'objectif du présent travail est de mettre en évidence l'influence de la dessiccation sur le comportement mécanique multiaxial des matériaux à

matrice cimentaire. Dans une première partie, une brève synthèse bibliographique montre que les résultats sur l'évolution des résistances en fonction du séchage diffèrent d'un auteur à l'autre. Ceci reste également vrai pour les propriétés élastiques [10,11]. Une des questions qui se pose est de connaître l'effet de la qualité de la pâte sur l'évolution des propriétés élastiques. La deuxième partie vise alors à répondre à cette question au moyen des résultats expérimentaux obtenus sur 2 mortiers dont seule la qualité de la pâte de ciment varie [10].

2 Effet de la dessiccation sur la résistance à la compression uniaxiale des matériaux cimentaires

Les études menées afin d'évaluer l'effet du séchage sur le comportement du matériau sont très souvent sous sollicitations uniaxiales (compression uniaxiale [4,5,12-15] entre autres). Néanmoins, le rôle de l'eau interstitielle dans le cas des essais triaxiaux de révolution a également été rapporté [16]. La résistance en compression uniaxiale d'une éprouvette séchée est généralement supérieure à celle de la même éprouvette avant dessiccation [12,14,16]. Cette augmentation peut atteindre 60 % pour un mortier de $E/C=0,75$ [12]. Lors de la dessiccation de matériaux cimentaires, Pihlajavaara [12] et Torrenti [15] constatent en premier lieu une chute de la résistance à la compression pour une humidité relative diminuant de 100 à 50 %, suivie d'une augmentation. Okajima et al. [14], Bartlett et MacGregor [4] et Popovics [5] ne constatent qu'une augmentation progressive de la résistance avec la diminution de l'humidité relative, que celle-ci soit uniforme (Okajima et al. [14]) ou non (Bartlett et MacGregor [4] et Popovics [5]) dans les éprouvettes. Enfin, il est également constaté, sur les éprouvettes de béton séchant dans une ambiance d'humidité relative et de température constantes (séchage non uniforme), que la résistance diminue après une première augmentation [13]. Celle-ci reste toutefois supérieure à celle mesurée avant dessiccation. Deux effets compétitifs sont à l'origine de ces disparités, certainement dues aux différences dans les compositions des matériaux testés : a- l'augmentation de la résistance est due à la rigidification du matériau [1,2,4] (par succion capillaire principalement) qui agit comme une précontrainte isotrope du matériau et, d'autre part, aux gradients hydriques [4,5,15] entre le cœur et la surface de l'éprouvette, qui conduisent au confinement du cœur de l'éprouvette, b- cependant, ce confinement du cœur par la couche externe des éprouvettes conduit en même temps à une microfissuration par dépassement de la résistance en traction [3,4,6,15], de même que les granulats [7,8] qui empêchent la contraction de la matrice voulant se rétracter. La résistance commence alors à diminuer dès que la microfissuration d'origine hydrique devient prépondérante dans le processus de rupture, par rapport à l'effet de la succion capillaire. Il apparaît ainsi qu'un des facteurs importants conditionnant l'évolution de la résistance en compression de matériaux cimentaires au cours de la dessiccation est leur capacité à résister aux sollicitations de traction, donc à la résistance en traction de la pâte de ciment. Celle-ci est directement liée au rapport E/C utilisé dont l'influence est l'objet du paragraphe suivant.

3 Etude expérimentale des comportements mécanique et hydrique des mortiers

La figure 1 montre l'évolution de la résistance uniaxiale à la compression des deux mortiers de rapport E/C (eau/ciment) $=0,5$ (mortier05) et $=0,8$ (mortier08) en fonction de la perte en poids relative, RWL (voir les références [10,11,17,18] pour plus de détails). Celle-ci est définie comme étant le rapport en % entre la quantité d'eau évaporée à un temps donné et la quantité d'eau évaporée après un séchage à 60 °C dans un four jusqu'à poids constant. Ainsi, une perte en poids relative de 0 % correspond à un état saturé tandis que celle de 100 % correspond à un état totalement sec. Nous avons effectué une série d'essais de compression uniaxiale (et également triaxiale [10,11,17]) sur des éprouvettes saturées en eau et protégées de la dessiccation de mortier05 en fonction du temps, afin de vérifier qu'aucun effet de l'hydratation et du retrait endogène ne vient perturber nos mesures. Aucune variation de la résistance à la compression uniaxiale n'est mesurée pour les éprouvettes dont la perte en poids est nulle (figure 1, symbole "r"). Sur cette courbe, le symbole "o" représente la moyenne des 3 essais réalisés le même jour sur le mortier05. Du fait de la maturité plus importante du mortier08 par rapport au mortier05, il a été supposé qu'après 6 mois de cure dans l'eau, les effets de l'hydratation et du retrait endogène sont négligeables pour ce mortier. Par ailleurs, la résistance à la compression uniaxiale du mortier05 (symboles "l", moyenne "š") augmente de 21 % environ en partant de la valeur des éprouvettes saturées en eau pour atteindre celle des éprouvettes

séchées (symboles "P", moyenne "r"). L'augmentation de la résistance est obtenue après environ 30 % de perte en poids relative correspondant à environ de 30 jours de séchage. L'évolution de la résistance uniaxiale du mortier08 est sensiblement différente : elle augmente d'abord de 32 % (symboles "É", moyenne "É") et diminue ensuite autant. Notons que ce retour à la valeur initiale de la résistance uniaxiale est sans doute une coïncidence. L'augmentation de la résistance du mortier08 atteint une stabilisation dès l'obtention d'une perte en poids relative de 33 %, soit après 12 jours de dessiccation. Par contre, le séchage des éprouvettes du mortier08 dans le four (symboles "Ñ", moyenne "Ñ") conduit à la diminution de la résistance uniaxiale du fait d'une microfissuration d'origine hydrique importante.

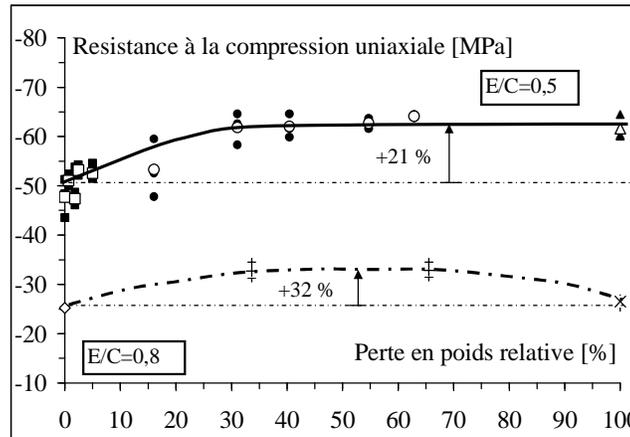


FIG. 1 - Evolution de la résistance uniaxiale de deux mortiers en fonction de la perte en poids relative (RWL).

L'augmentation de la résistance uniaxiale au cours de la dessiccation est attribuée à deux phénomènes concomitants : le premier est l'effet isotrope de la succion capillaire qui conduit à une augmentation de la résistance à la compression, même sans gradient hydrique. Le second phénomène est lié aux gradients hydriques qui se créent dans l'éprouvette au cours de la dessiccation [4,5,15], provoquant un confinement du cœur qui augmente la capacité portante de l'éprouvette. On constate que ces effets sont actifs sur le mortier05 et sur la première phase de dessiccation du mortier08 ($RWL \leq 65\%$). Par ailleurs, l'augmentation de résistance est plus grande pour le mortier08 que pour le mortier05 (32 % contre 21 %) : ceci peut s'expliquer par le fait que la précontrainte induite par la succion capillaire sera plus efficace sur un matériau plus poreux, la connectivité du réseau poreux est plus grande, les effets de succion seront mieux répartis dans le volume de l'éprouvette. De plus, la compression des éprouvettes saturées en eau met en surpression le fluide interstitiel compte tenu de la faible perméabilité des mortiers. Localement, et par effet de couplage, cette surpression interstitielle a un effet moteur sur la propagation et l'ouverture des microfissures dues au chargement mécanique appliqué. L'eau, dont la présence a aussi pour conséquence de diminuer les forces de cohésion [10,19], joue également un rôle de lubrifiant. Du fait de la grande perméabilité du mortier08 comparée à celle du mortier05, la surpression interstitielle sera plus grande dans le mortier08 lors d'une compression à l'état saturé, d'où une résistance plus faible initialement.

Par ailleurs, la microfissuration engendrée par la contraction de la zone externe sur le cœur et par la différence de rigidité des constituants n'a pas d'influence mesurable sur la résistance du mortier05. Par contre, cette microfissuration induite a une influence très importante sur l'évolution de la résistance uniaxiale du mortier08 : après une augmentation de la résistance uniaxiale, où l'influence de la dépression capillaire et des gradients hydriques est importante, la microfissuration d'origine hydrique devient alors prépondérante par rapport à l'effet bénéfique de la succion. La microfissuration du mortier08 semble ainsi plus importante que celle du mortier05, et est probablement due à une plus faible résistance à la traction de la matrice cimentaire. Cet effet compétitif des différents phénomènes mis en jeu au cours de la dessiccation peut expliquer, au moins en partie, les disparités rencontrées dans la littérature, où différentes évolutions de la résistance sont rencontrées. Les phénomènes mis en jeu dans le cas de compression uniaxiale sont

également transposables au cas triaxial où une augmentation progressive de la résistance déviatorique de 29 % pour le mortier05, et d'abord augmentation de 50 % puis une légère diminution de 6 % (augmentation de 44 %) pour le mortier08 sont constatées [10,11,17,18].

La figure 2 montre l'évolution du module d'Young (mesuré à la fois lors des essais uniaxiaux -symboles noirs- et triaxiaux -autres symboles-) et du retrait de dessiccation du mortier05 en fonction de la perte en poids relative. Des évolutions similaires sont également constatées pour le mortier08 [10,18]. Par souci de clarté, les évolutions sont données uniquement en valeur moyenne sur cette figure. Le module d'Young des éprouvettes soumises à la dessiccation est borné par une limite supérieure (valeur des éprouvettes saturées, symboles "n" et "o") et une limite inférieure (valeur des éprouvettes à l'état sec, symboles "p" et "r "). A l'intérieur de ces bornes, le module d'élasticité reste d'abord constant jusqu'à une perte en poids d'environ 45 % et diminue ensuite pour tendre vers les valeurs atteintes par les éprouvettes séchées. La dessiccation complète conduit à une diminution de 15 % du module d'Young (et de 25 % du coefficient de Poisson pour le mortier05 ; le module d'Young du mortier08 diminue de 18 % au cours de la dessiccation [10,11,17,18]). Notons qu'aucune variation du coefficient de Poisson n'a été mesurée sur le mortier08 [10]. Le module d'élasticité (et le coefficient de Poisson) diminue sous l'effet de la microfissuration induite par le séchage. De manière analogue aux évolutions des résistances uniaxiales et triaxiales, un effet compétitif entre rigidification (par succion et gradients hydriques) et endommagement (par microfissuration induite) du matériau est constaté dans la phase pendant laquelle le module d'Young reste constant. Au-delà de cette phase, à la suite d'une perte en poids impliquant une microfissuration importante, le module d'Young diminue. Notons que les coefficients élastiques et les résistances mesurés sur des éprouvettes en dessiccation sont apparents du fait des champs d'humidité et de contrainte non uniformes dans les éprouvettes qui doivent donc être considérées comme une structure. Par ailleurs, la décroissance du module d'Young est plus importante pour le mortier08 (18 % contre 15 %) et provient d'une microfissuration plus importante, du fait d'une qualité faible de la pâte de ciment -i.e. d'une résistance en traction faible. Les résultats rapportés ici concordent avec ceux de la littérature [9,13,14]. Notons que la re-saturation d'éprouvettes préalablement séchées conduit à une diminution du module d'Young, par rapport à celui mesuré avant le cycle séchage - humidification [14] : le séchage endommage donc de manière irréversible le matériau par création des microfissures.

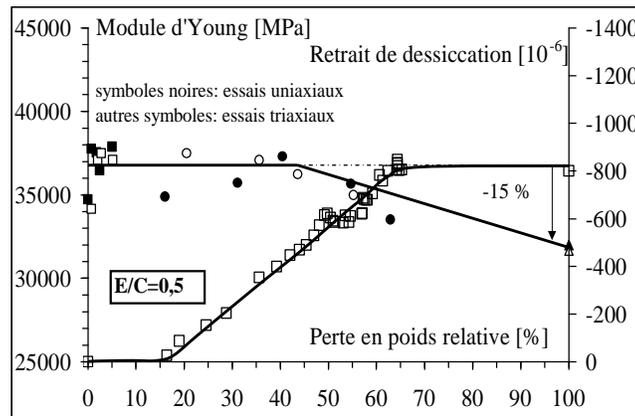


FIG. 2 - Evolution du module d'Young et du retrait de dessiccation du mortier05 en fonction de la perte en poids relative (RWL).

Par ailleurs, nous constatons sur la figure 2 que le retrait de dessiccation a trois phases caractéristiques en fonction de la perte en poids relative [10,17,18,20] : la première, qui correspond à une perte de poids sans retrait, est due à l'évaporation rapide de l'eau à la surface de l'éprouvette couplée à une microfissuration surfacique induite, qui s'oppose à la contraction du prisme; dans la deuxième phase, ce retrait est proportionnel à la perte en poids : la contraction du squelette solide est provoquée principalement par la

dépression capillaire. Enfin, la dernière phase présente une évolution de la perte en poids sans retrait. Différentes explications physiques peuvent être avancées pour cette dernière phase : contraction infime de la matrice par épuisement de l'eau évaporable, relation non-linéaire entre le retrait de dessiccation et la perte en poids, ou encore, passage d'un comportement linéaire à un comportement non linéaire sous contrainte hydrique [21]. Cependant, la comparaison de l'évolution du module d'Young et du retrait de dessiccation (figure 2) montre que la troisième phase et la phase de diminution du module d'Young coïncide. Ceci tend à confirmer l'hypothèse selon laquelle cette dernière phase est due à une augmentation de la microfissuration [22,23], qui contrebalance le retrait.

4 Conclusions

L'étude expérimentale proposée a permis de mettre en évidence l'influence du rapport E/C sur le comportement mécanique multiaxial de deux mortiers au cours de leur dessiccation. Différentes conséquences ont été mise en évidence sur les 2 mortiers de l'étude, dont seul le rapport E/C varie :

a- la résistance en compression uniaxiale augmente de 21 % pour le mortier de E/C = 0,5 et de 32 % pour le mortier de E/C = 0,8. Pour ce dernier mortier, la résistance décroît en fin de séchage (la résistance en compression triaxiale avec 15 MPa de confinement des 2 mortiers augmente respectivement de 29 % et de 50 %. De la même manière que la compression uniaxiale, la résistance triaxiale du mortier08 décroît en fin de séchage, mais de manière moins importante).

b- le module d'élasticité du mortier05 décroît de 15 % et de 18 % pour le mortier08.

Les différents phénomènes à l'origine de ces variations sont les dépressions capillaires, les gradients hydriques, induisant une rigidification du matériau, et la microfissuration induite par les gradients hydriques et l'hétérogénéité des constituants. Un effet compétitif existe donc au cours de la dessiccation entre la rigidification et la microfissuration induite. Le paramètre régulateur de cette compétition est, dans le cas de la présente étude, la nature du liant. Ainsi, lorsque la pâte de ciment est de bonne qualité les résistances augmentent strictement avec le séchage traduisant l'effet bénéfique des suctions capillaires ; lorsque cette qualité est faible, la succion capillaire est tout d'abord prédominante en début de séchage, puis la microfissuration induite devient le mécanisme prépondérant régissant le processus de rupture en fin de séchage. Cette même compétition conduit à une évolution des propriétés élastiques présentant, dans un premier temps une stagnation, puis une décroissance en fin de séchage. Ces résultats expérimentaux fournissent des éléments de réponse à certaines disparités présentes dans la littérature liées, sans doute, à la nature de la matrice cimentaire utilisée. Par ailleurs, la comparaison des évolutions du retrait de dessiccation et du module d'Young en fonction de la perte en poids suggère que la troisième phase du retrait de dessiccation, où il n'y a plus de déformations de retrait, est due à une microfissuration supplémentaire qui empêche le développement du retrait.

5 Références bibliographiques

- [1] Z. P. Bazant, F. H. Wittmann, Creep and Shrinkage in Concrete Structures (Eds.), J. Wiley and Sons, 1982.
- [2] P. Acker, Comportement mécanique du béton : apport de l'approche physico-chimique, PhD thesis of Ecole Nationale des Pont et Chaussées, Paris, Rapport de Recherche LPC n°152, 1988.
- [3] F. H. Wittmann, Creep and shrinkage mechanisms, in Creep and Shrinkage in Concrete Structures, in: Z.P. Bazant and F.H. Wittmann (Eds.), J. Wiley and Sons, 1982, pp. 129-161.
- [4] F. M. Bartlett, J. G. MacGregor, Effect of moisture condition on concrete core strengths, ACI Materials Journal 91 (3), 1994, pp. 227-236.
- [5] S. Popovics, Effect of curing method and moisture condition on compressive strength of concrete, ACI Journal 83 (4), 1986, pp. 650-657.
- [6] V. Baroghel-Bouny, J. Godin, Experimental study on drying shrinkage of ordinary and high-performance cementitious materials, in: V. Baroghel-Bouny, P.-C. Aïtcin (Eds), Shrinkage of Concrete, RILEM Publication PRO 14, Paris, France, 2000, pp. 215-232.
- [7] N. Hearn, Effect of shrinkage and load-induced cracking on water permeability of concrete, ACI Materials Journal 96, 1999, pp. 234-241.

- [8] J. Bisschop, L. Pel, J.G.M. van Mier, Effect of aggregate size and paste volume on drying shrinkage microcracking in cement-based composites, in: F.-J. Ulm, Z.P. Bazant, F.H. Wittmann (Eds.), *Creep, Shrinkage & Durability Mechanics of Concrete and other Quasi-Brittle Materials*, Elsevier, 2001, pp. 75-80.
- [9] N. Burlion, F. Skoczylas, T. Dubois, Induced anisotropic permeability due to drying of concrete, *Cem. Concr. Res.* 33, 2003, pp. 679-687.
- [10] I. Yurtdas, Couplage comportement mécanique et dessiccation des matériaux à matrice cimentaire : étude expérimentale sur mortiers, Thèse de doctorat de l'Université des Sciences et Technologies de Lille et de l'Ecole Centrale de Lille, Lille, 2003.
- [11] I. Yurtdas, H. Peng, N. Burlion, F. Skoczylas, Influence of water by cement ratio on mechanical properties of mortars submitted to drying, *Cem. Concr. Res.*, 2004, submitted.
- [12] S. E. Pihlajavaara, A review of some of the main results of a research on the ageing phenomena of concrete, effect of moisture conditions on strength, shrinkage and creep of mature concrete, *Cem. Concr. Res.* 4, 1974, pp. 761-771.
- [13] J. J. Brooks, A. M. Neville, A comparison of creep, elasticity, and strength of concrete in tension and compression, *Magazine of Concrete Research* 29 (100), 1977, pp. 131-141.
- [14] T. Okajima, T. Ishikawa, K. Ichise, Moisture effect on the mechanical properties of cement mortar, *Transactions of the Japan Concrete Institute* 2, 1980, pp. 125-132.
- [15] J.-M. Torrenti, Comportement multiaxial du béton : aspects expérimentaux et modélisation, PhD thesis of Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, (in French), 1987.
- [16] Z. N. W. Akroyd, Concrete under triaxial stress, *Magazine of Concrete Research* 13 (39), 1961, pp. 111-118.
- [17] I. Yurtdas, N. Burlion, F. Skoczylas, Triaxial mechanical behaviour of mortar: effects of drying, *Cem. Concr. Res.*, 2004, pp. 1131-1143.
- [18] N. Burlion, I. Yurtdas, F. Skoczylas, Role of induced microcracking by drying on desiccation shrinkage measurements, *Engineering Fracture Mechanics*, 2005 submitted.
- [19] A.M. Neville, *Propriétés des Bétons*, Eyrolles, Paris, 2000.
- [20] L. Granger, Comportement différé du béton dans les enceintes de centrales nucléaires : analyse et modélisation, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1994.
- [21] F. Meftah, J.-M. Torrenti, W. Nechnech, F. Bendoudjema, C. de Sa, An elasto-plastic damage approach for the modelling of concrete submitted to the mechanical induced effects of drying, in: V. Baroghel-Bouny, P.-C. Aïtcin (Eds.), *Shrinkage of Concrete*, RILEM Publications PRO 14, Paris, France, 2000, pp. 341-354.
- [22] Z.P. Bazant, S. Sener, J.K. Kim, « Effect of cracking on drying permeability and diffusivity of concrete », *ACI M.J.* 9 (10), 1986, pp. 351-357.
- [23] A. Khelidj, A. Loukili, G. Bastian, « Etude expérimentale du couplage hydro-chimique dans les bétons en cours de maturation : incidence sur les retraits », *Materials and Structures*, vol. 31, 1998, pp. 588-594.