



HAL
open science

Comportement mécanique du béton dégradé à l'échelle de l'interface ciment-granulats

Mouad Jebli, Frédéric Jamin, Moulay Saïd El Youssoufi, M. El Omari, A. El Mandour

► **To cite this version:**

Mouad Jebli, Frédéric Jamin, Moulay Saïd El Youssoufi, M. El Omari, A. El Mandour. Comportement mécanique du béton dégradé à l'échelle de l'interface ciment-granulats. 12ème Congrès de Mécanique, Apr 2015, Casablanca, Maroc. hal-01171218

HAL Id: hal-01171218

<https://hal.science/hal-01171218>

Submitted on 3 Jul 2015

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.

Comportement mécanique du béton dégradé à l'échelle de l'interface ciment-granulats

M. JEBLI^{1,2}, F. JAMIN¹, M.S. EL YOUSOUFI¹,
M. EL OMARI², A. EL MANDOUR²

¹Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, LMGC-UMR 5508, Université de Montpellier – CC048, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05, France

²Laboratoire d'Automatique de l'Environnement et Procédés de Transferts, LAEPT, Faculté des Sciences Semlalia Marrakech, B.P 2390, 40000 Marrakech, Maroc
E-mail : mouad.jebli@univ-montp2.fr

Résumé

Cet article présente une étude expérimentale portant sur la lixiviation du béton à l'échelle de l'interface ciment-granulats, et ses conséquences sur le comportement du béton à cette échelle. Un protocole expérimental a été mis au point pour étudier les effets du mécanisme de lixiviation de calcium au niveau de la zone de transition interfaciale (ITZ) sur les propriétés mécaniques du béton. Compte tenu du temps caractéristique long du phénomène de lixiviation, l'étude expérimentale au laboratoire est accélérée par l'utilisation d'une solution de nitrate d'ammonium. Afin de mesurer le développement et la cinétique de dégradation au niveau de la liaison cimentée, et en particulier à l'interface ciment-granulats, les fronts de lixiviation du béton sont caractérisés pour des temps donnés en utilisant la phénolphthaléine.

Des essais mécaniques locaux (compression et traction) sont réalisés sur des échantillons sains et des échantillons dégradés chimiquement. Les résultats permettent de corréler l'avancement de la lixiviation à l'évolution des propriétés mécaniques à l'échelle locale considérée.

1. Introduction

La dégradation chimique du béton par lixiviation est le résultat d'une attaque par l'eau qui conduit à la diffusion des hydrates de pâte de ciment (1), notamment aux espèces contenant du calcium (Ca^{2+}). La portlandite (CH) est le premier minéral dissout dans le processus de lixiviation, suivi par la décalcification progressive de silicate de calcium hydraté (C-S-H) au cours du temps (2,3). Cette dégradation, qui se développe à partir de la surface par diffusion des produits dissouts vers l'extérieur, mène à une augmentation importante de la porosité du béton.

Le processus de lixiviation par l'eau se produit très lentement (1). Il est alors nécessaire, pour des expérimentations au laboratoire, de recourir à des techniques permettant d'accélérer ce phénomène. Parmi les méthodes existantes, on peut citer : l'application d'un champ électrique (4), l'augmentation de la température (5) ou l'immersion des échantillons dans une solution de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3). Cette dernière méthode a été choisie par plusieurs auteurs (3, 6, 7, 8, 9, 10, 11) car elle provoque une dégradation similaire à ce que l'on constate dans le cas de l'eau, mais avec un temps caractéristique bien plus court.

La présence des granulats introduit une phase supplémentaire (12) : l'ITZ qui est caractérisée par une porosité très élevée et une haute concentration de la portlandite (13, 14, 15, 16).

On se propose dans cette étude de caractériser expérimentalement l'impact de l'altération chimique des matériaux cimentaires sur les propriétés chimio-mécaniques à l'échelle de l'interface ciment-granulat.

2. Matériaux

Les échantillons sont constitués de deux granulats sphériques de calcite de 8 mm de diamètre, liés par une pâte de ciment CEM II/B 32,5 portland avec un rapport Eau/Ciment=0,5. La distance entre les deux granulats est fixée à 1,7 mm (figure 1). Le démoulage est effectué après 24 heures de séchage. L'échantillon obtenu a un diamètre de 8 mm et une hauteur d'environ 18 mm. Après démoulage, les échantillons sont conservés 28 jours dans l'eau saturée en chaux à une température de 21°C pour limiter les effets de la contraction endogène.

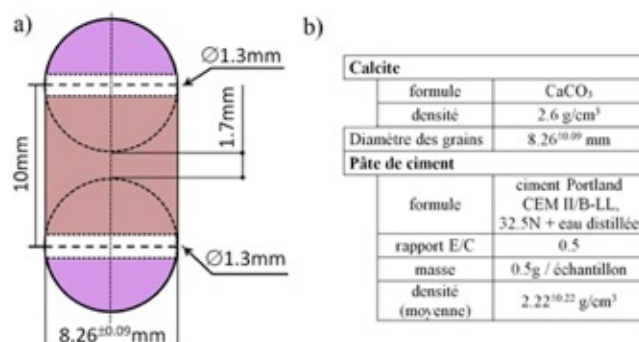


Figure 1 : a) Dimensions de l'échantillon, b) données matériaux des composants.

3. Protocole expérimental

Pour réaliser les essais mécaniques, les accessoires spécifiques ont été dessinés et fabriqués de manière à être adaptés à la taille et à la forme des échantillons. La figure 2 présente le dispositif expérimental des essais de compression et de traction.

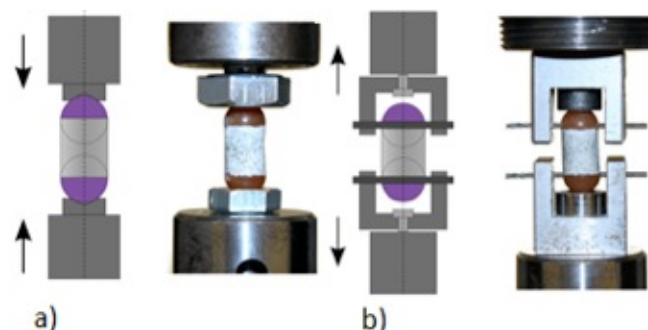


Figure 2 : Schémas et photos des supports pour l'essai de compression (a) et de traction (b).

Des essais de compression et de traction ont été réalisés avec une vitesse constante 10 $\mu\text{m/s}$, en utilisant une machine de type MTS. Avant chaque essai, les dimensions et la masse de chaque échantillon sont mesurées.

4. Résultats expérimentaux

4.1. Essais de dégradation chimique : lixiviation

La profondeur de lixiviation est mesurée par la pénétration de la phénolphthaléine (7, 10) qui réagit avec le pH de la solution interstitielle. Lors de l'altération de la pâte cimentaire, le pH varie de la valeur initiale du béton (pH = 13) à celui de la solution de nitrate d'ammonium (pH = 6). Dans les sections transversale et radiale des échantillons, deux zones distinctes peuvent être observées : une zone de couleur rose (zone saine) et une zone de couleur grise (zone dégradée) dont des illustrations sont présentées à la figure 3 pour différents temps de dégradation.

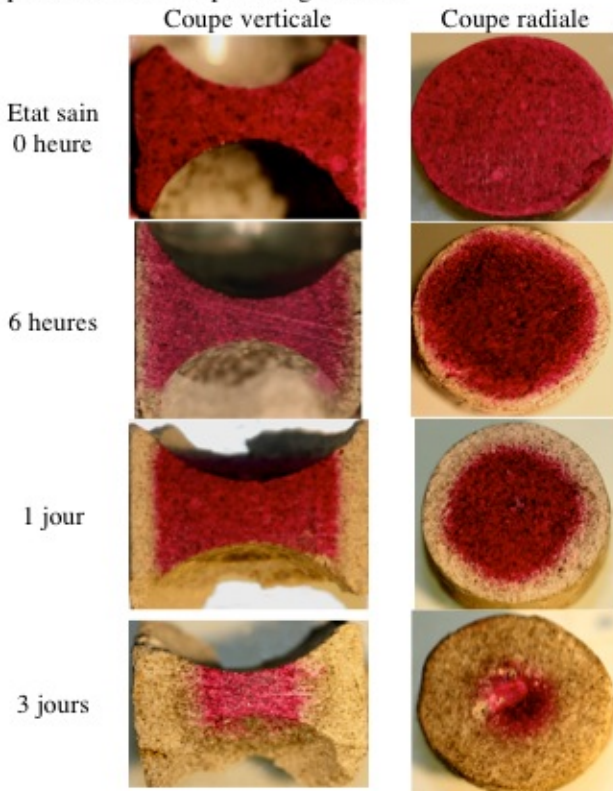


Figure 3 : mise en évidence de l'épaisseur dégradée au moyen de la phénolphthaléine au cours du temps.

La cinétique de dégradation est régie par un processus de diffusion. La figure 4 montre une évolution linéaire de l'épaisseur dégradée en fonction de la racine carrée du temps d'immersion dans la solution agressive de NH_4NO_3 .

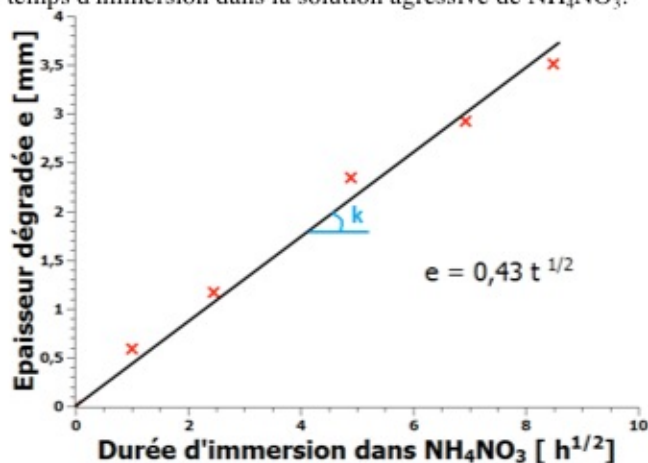


Figure 4 : évolution de l'épaisseur dégradée en fonction de la durée d'immersion.

La cinétique de dégradation suit une fonction en racine carrée du temps. Ce résultat a également été vérifié expérimentalement par d'autres auteurs (3,6). Le coefficient k suffit pour prédire l'ampleur de la dégradation au cours du temps.

4.2. Essais mécaniques : compression et traction

Les essais mécaniques sont utilisés pour la caractérisation du comportement mécanique et de la rupture à l'échelle de la liaison cimentaire (figure 5). Pour l'essai de compression, la fissuration se développe selon une génératrice (à gauche), alors que pour l'essai de traction, la fissuration se développe à l'interface ciment-granulat (à droite).

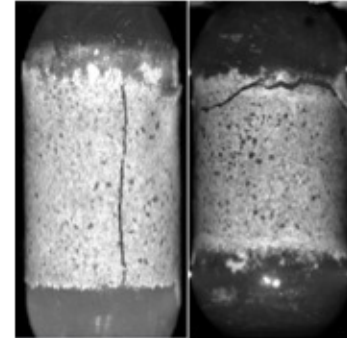


Figure 5 : modes de fissuration lors des essais de compression et de traction.

L'essai de compression a permis de suivre l'effet de la dégradation chimique de toute la liaison cimentaire entre deux grains sur les propriétés mécaniques à cette échelle. L'essai de traction permet d'accéder à l'effet de l'altération de l'interface ciment-granulats sur la résistance à la traction.

A différents temps de dégradation chimique, des échantillons de béton sont soumis à des essais de compression et de traction, afin de mesurer leurs résistances mécaniques.

Les figures 6 et 7 montrent les courbes force - déplacement à différents temps de dégradation chimique pour la compression (figure 6) et la traction (figure 7) en référence à un échantillon sain.

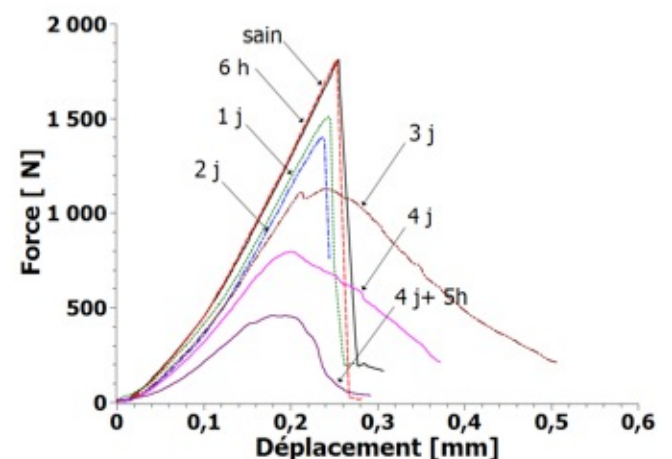


Figure 6 : comportement en compression des éprouvettes partiellement dégradées.

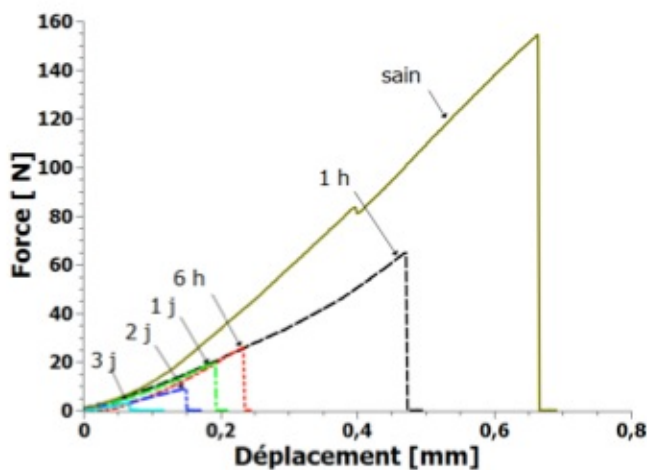


Figure 7 : comportement en traction des éprouvettes partiellement dégradées.

Les résultats de la figure 6 montrent une baisse de la raideur et de la résistance à la compression des échantillons avec l'augmentation de la durée de dégradation. On note un fort impact de la dégradation chimique sur le comportement mécanique. Le béton sain présente un comportement quasi-fragile. Le comportement du béton se dégrade progressivement et devient de plus en plus ductile en fonction du temps de dégradation chimique.

La résistance maximale est environ trois fois plus faible lorsque le béton est totalement lixivié, ce qui confirme les résultats obtenus par Le Bellégo (7) et Nguyen (10) à l'échelle macroscopique.

Comme indiqué précédemment, lorsque le béton est soumis à une lixiviation, les hydrates sont dissouts et les composants sont transportés vers l'extérieur de l'échantillon. Ce phénomène entraîne une augmentation de la porosité dans le béton qui provoque des pertes de raideur et de résistance à la traction. La figure 7 montre la chute rapide de la résistance à la traction d'environ la moitié juste après 1 h de dégradation dans la solution agressive.

5. Conclusion

La plupart des études expérimentales concernant l'effet de la lixiviation sur les propriétés mécaniques des matériaux cimentaires sont réalisées à l'échelle macroscopique et mésoscopique. Il y a pourtant un intérêt certain à réaliser des expérimentations à l'échelle locale en vue de comprendre le mécanisme de dégradation à cette échelle. L'étude proposée ici constitue une contribution à l'étude de la lixiviation à l'échelle de l'interface ciment-granulats.

L'essai mécanique de compression a montré l'effet de la lixiviation au niveau de la liaison cimentée entre les deux grains, une chute de la résistance et un changement de comportement de fragile (échantillon sain) à ductile (échantillon dégradé). Ce phénomène provient de l'augmentation de la porosité dû à la diffusion des hydrates vers l'extérieur de l'échantillon.

L'essai mécanique de traction a permis de caractériser l'interface ciment-granulats. Il a montré une diminution très rapide de la résistance à la traction après juste 1 heure de dégradation, ce qui n'a pas été noté dans le cas de l'essai de compression. Ce résultat s'explique par la cinétique de dégradation de l'ITZ plus élevée, entraînant une perte de cohésion au niveau de la zone interfaciale pâte-granulat,

d'où une diminution plus significative de propriétés mécaniques.

La lixiviation à l'échelle locale a montré clairement le rôle important des granulats dans le processus de lixiviation du béton.

Références

- (1) Adenot F., Buil M., 1992, Modeling of the corrosion of the cement by deionized water. *Cement and Concrete research*, vol 22, n_4, pp. 451-457.
- (2) Revertagat E., Richet E., Gegout P., 1992, Effect of pH on the durability of cement pastes. *Cement and Concrete Research*, vol 22, pp. 259-272.
- (3) Carde C., François R., Torrenti J. M., 1996, Leaching of both calcium hydroxyde and c-s-h from cement paste: modeling the mechanical behaviour. *Cement and Concrete Res.* vol 26(8), pp. 1257-1268.
- (4) Saito H., Nakane S., Ikari S., Fujiwara A., 1992, Preliminary experimental study on the deterioration of cementitious materials by acceleration method. *Nuclear Engineering and Design*, vol 138, pp. 151-155.
- (5) Kamali S., Gérard B., Moranville M., 2003, Modelling the leaching kinetics of cement-based materials influence of materials and environment. *Cement and Concrete Research*, vol 25, pp. 451-458.
- (6) Tognazzi C., 1998, influences couplées de la fissuration et de la dégradation sur les transferts dans les bétons, Congrès Universitaire de Génie Civil Concours Jeunes Chercheurs.
- (7) Le Bellégo C., 2001, Couplage chimie-mécanique dans les structures en béton attaquées par l'eau : étude expérimentale et analyse numérique. Thèse de doctorat, ENS Cachan.
- (8) Heukamp F. H., 2003, Chemomechanics of calcium leaching of cement based materials at different scales: the role of CH-dissolution and C-S-H degradation on strength and durability performance of materials and structures. Thèse de doctorat, Massachusetts Institute of Technology.
- (9) Burlion N., Bernard D., Chen D., 2006, X-ray microtomography: Application to microstructure analysis of a cementitious material during leaching process. *Cement and concrete research*.
- (10) Nguyen V. H., 2005, Couplage dégradation chimique-comportement en compression du béton. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- (11) Kamali S., Moranville, M., Leclercq S., 2008, Material and environmental parameter effects on the leaching of cement pastes: experiments and modelling. *Cement and Concrete Research* 38, 575-585.
- (12) Maso J.C., 1980, La liaison entre les granulats et pâte de ciment hydraté. 7ème Congrès international de Chimie des Ciment. Volume 1, Paris, pp. 3-14.
- (13) Barnes B.D., 1976, morphology of the paste-aggregate interface. Volume 1.
- (14) Zimbelmann R., 1985, A contribution to the problem of cement-aggregate bond. *Cement and concrete research*. vol. 15, pp. 801-808.
- (15) Bentz D.P., Garboczi E.J., 1992, Guide to Using HYDRA3D: A Three-Dimensional Digital-Image-Based Cement Microstructural Model. Rapport technique, NISTIR 4746, U.S. Department of Commerce. Updated version of manual.
- (16) Ollivier J. P., 1995, Interfacial transition zone in concrete. *Advn Cem. Bas. Mat.*, vol 2, pp. 30-38.