

Modélisation numérique de la dégradation des matériaux cimentaires par l'acide sulfurique

Amr ABOULELA^{1,2,3*}, Matthieu PEYRE-LAVIGNE², Bruno HUET³, Cédric PATAPY¹, Samuel Meulenyzer³, Alexandra BERTRON¹

- 1- LMDC, Université de Toulouse, UPS, INSA, Toulouse, France
- 2- LISBP, Université de Toulouse, CNRS, INRA, INSA, Toulouse, France
- 3- LCR – Lafarge Centre de Recherche, Lyon, France

*Correspondant auteur : aboulela@insa-toulouse.fr/amr.aboulela@lafargeholcim.com

Résumé

La biodégradation des matériaux cimentaires dans les réseaux d'assainissement est une problématique majeure pour des raisons sanitaires et économiques. Cette dégradation est essentiellement due à l'oxydation biochimique des espèces soufrées en sulfate et en acide par des bactéries sulfo-oxydantes colonisant les matériaux cimentaires [1]–[3].

Dans ce contexte, plusieurs études (en laboratoires et en conditions réelles) ont montré une meilleure durabilité des matériaux à base de ciment alumineux face aux attaques biologiques comparée aux matériaux à base de ciment Portland ordinaire dans des conditions d'assainissement [2], [4]–[6]. Différents arguments ont été proposés pour expliquer la meilleure résistance des ciments alumineux ; par exemple (i) l'inhibition de l'activité microbienne par l'aluminium soluble [7], (ii) la formation d'un gel d'hydroxyde d'aluminium (AH₃) qui peut agir comme une barrière physique à la diffusion de l'acide vers l'intérieur de la matrice cimentaire [5] et (iii) la meilleure capacité de neutralisation de l'acide (effet tampon) [5]. A travers cette étude, nous posons les premières briques de compréhension des mécanismes d'altération des systèmes se voulant être plus résistants et plus performants contre les attaques biologiques en conditions d'assainissement et dans différentes conditions d'agressivité. Ainsi, nous présentons les résultats issus d'un modèle chimie-transport (1D et 2D) qui a été développé sur le logiciel HYTEC et qui représente une solution d'acide sulfurique s'écoulant à la surface d'un prisme de pâte de ciment.

Ces résultats ont montré que la lixiviation du Ca²⁺ est contrôlée par les phénomènes de diffusion. De plus, considérant le critère de la zone dégradée (incluant la zone décalcifiée ainsi que les reprécipitations des phases secondaires, le CAC a montré une meilleure performance, comparé au CEM I, à pH 3 tandis qu'il a subi plus de détérioration à pH 1. La précipitation secondaire de l'ettringite a été observée pour les 2 systèmes, aussi bien à pH 1 que pH 3, alors que le gypse n'est observable qu'à pH 1. Cette différence de comportement est principalement liée à la réactivité particulière de l'AH₃, relativement stable au pH intermédiaire de 3, se dissolvant à pH 1. Concernant le CEMI, la formation d'une large couche de gypse en surface peut réduire fortement la porosité ainsi que limiter

la pénétration de l'acide, révélant qu'en présence de microorganismes, l'acide n'est peut-être pas exclusivement produit en surface, mais potentiellement dans la profondeur du matériau et ce en fonction des conditions locales qui sont générées par l'évolution des processus de détérioration [8]. Ces résultats tendent à démontrer une meilleure résistance du ciment à base d'aluminat de calcium dans des conditions moins sévères, néanmoins, son comportement face à une attaque chimique très agressive (pH 1) et les différences marquées entre celle-ci et une attaque biologique in-situ [5], [9], [10] et/ou en laboratoire [6], [11], [12] souligne la complexité des mécanismes d'interactions entre les microorganismes et les matériaux cimentaires, notamment l'impact de l'un sur l'autre. De plus, la réactivité de deux matériaux références (CEM I et CAC) est en accord avec les observations publiées dans la littérature et confirme la représentativité du modèle, qui servira à l'étude d'autres matrices cimentaires.

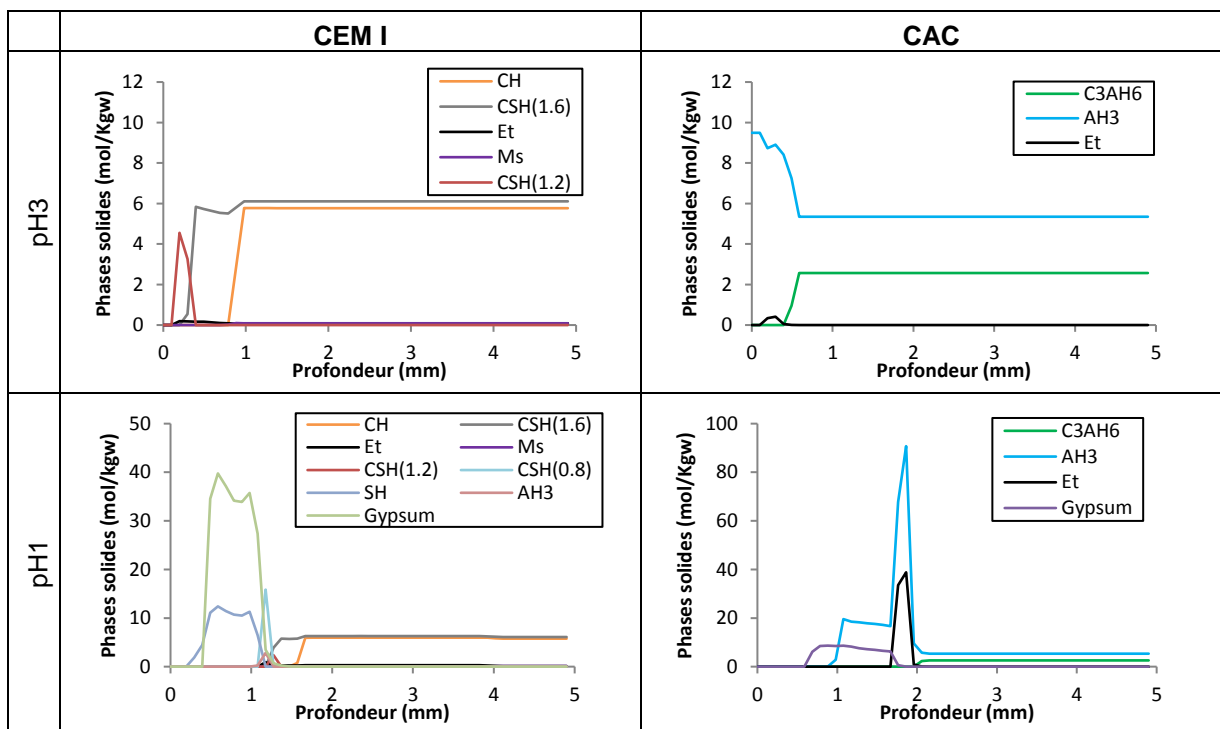


Figure 1 - Profils des phases solides pour CEM I et CAC après 100 jours d'exposition à une solution agressive à pH 3 et pH 1 (CH: Portlandite ; Et: Ettringite ; Ms: Monosulfoaluminat ; C₃AH₆: Katoite ; AH₃: Hydroxyde d'aluminium ; SH: gel de silice)

Références

- [1] A. C. D. Parker, "Mechanics of Corrosion of Concrete Sewers by Hydrogen Sulfide MECHANICS OF CORROSION OF CONCRETE BY HYDROGEN SULFIDE * By," *Sewage Ind. Waste.*, vol. 23, no. 12, pp. 1477–1485, 2011.
- [2] R. L. Islander, J. S. Deviny, F. Mansfeld, A. Postyn, and H. Shih, "Microbial Ecology of Crown Corrosion in Sewers," *J. Environ. Eng.*, vol. 117, no. 6, pp. 751–770, Nov. 2007.
- [3] D. . Roberts, D. Nica, G. Zuo, and J. . Davis, "Quantifying microbially induced deterioration of concrete: initial studies," *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 49, no. 4, pp. 227–234, Jun. 2002.
- [4] S. Okabe, M. Odagiri, T. Ito, and H. Satoh, "Succession of Sulfur-Oxidizing Bacteria in the Microbial Community on Corroding Concrete in Sewer Systems," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 73, no. 3, pp. 971–980, Feb. 2007.



XV^{ème} Forum
Jeunes chercheurs

Biodétérioration des matériaux

- [5] J. Herisson, M. Guéguen-Minerbe, E. D. van Hullebusch, and T. Chaussadent, "Behaviour of different cementitious material formulations in sewer networks," *Water Sci. Technol.*, vol. 69, no. 7, pp. 1502–1508, Apr. 2014.
- [6] A. Buvignier, "Caractérisation du rôle de l'aluminium dans les interactions entre les microorganismes et les matériaux cimentaires dans le cadre des réseaux d'assainissement," 2018.
- [7] F. Saucier and S. Lamberet, "Calcium Aluminate Concrete For Sewers: GOING FROM QUALITATIVE TO QUANTITATIVE EVIDENCE OF PERFORMANCE," in *Proceedings pro063 : RILEM TC 211-PAE Final Conference on Concrete in Aggressive Aqueous Environments - Performance, Testing and Modeling*, 2009, no. June, pp. 398–407.
- [8] C. Grengg *et al.*, "The decisive role of acidophilic bacteria in concrete sewer networks: A new model for fast progressing microbial concrete corrosion," *Cem. Concr. Res.*, vol. 101, no. August, pp. 93–101, Nov. 2017.
- [9] J. Herisson, M. Guéguen-Minerbe, E. D. van Hullebusch, and T. Chaussadent, "Influence of the binder on the behaviour of mortars exposed to H₂S in sewer networks: a long-term durability study," *Mater. Struct.*, vol. 50, no. 1, p. 8, Feb. 2017.
- [10] M. G. Alexander and C. Fourie, "Performance of sewer pipe concrete mixtures with portland and calcium aluminate cements subject to mineral and biogenic acid attack," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 44, no. 1, pp. 313–330, 2011.
- [11] A. Granclerc, "Biodeterioration Des Matériaux Cimentaires Dans Les Réseaux D ' Assainissement : Etude Experimentale," 2017.
- [12] A. Aboulela, M. Peyre-Lavigne, C. Patapy, and A. Bertron, "Evaluation of the resistance of CAC and BFSC mortars to biodegradation: laboratory test approach," *MATEC Web Conf.*, vol. 199, p. 02004, 2018.