HAL open science

Composites ciment-nanocarbone

Fairouz Touati, Bertrand Wattrisse, Philippe Papet, Katerina Ioannidou

To cite this version:

Fairouz Touati, Bertrand Wattrisse, Philippe Papet, Katerina Ioannidou. Composites ciment-nanocarbone. NOMAD 2022 - 4e conférence internationale francophone Nouveaux Matériaux et Durabilité, IMT Mines Alès; LMGC; LIFAM, Nov 2022, Montpellier, France. hal-03879760

HAL Id: hal-03879760

https://hal.science/hal-03879760v1

Submitted on 30 Nov 2022

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.

Composites ciment-nanocarbone

Fairouz TOUATI[1], Bertrand WATTRISSE[1], Philippe PAPET[2] et Katerina IOANNIDOU[1]

[1] *Laboratoire Mécanique et Génie Civil, 34090 Montpellier*
[2] *Institut Charles Gerhardt, 34090 Montpellier*

Résumé Le ciment est aujourd'hui l'élément essentiel et incontournable du secteur de la construction et donc de notre cadre de vie. Le but de ce projet a été de donner de nouvelles fonctions au ciment en introduisant des particules de nanocarbone. Ces composites ciment-nanocarbone peuvent être utilisés par exemple dans le stockage d'énergie pour des applications de supercondensateurs ou pour l'échauffement des sols intérieurs ou d'extérieurs (déneigement…). Pour cela, il est très important que notre ciment soit électriquement conducteur. Nous avons étudié des compositions avec trois rapports massiques eau sur ciment (0,42 ; 0,6 et 0,8) en faisant également varier la teneur en carbone dans le mélange, de 0 à 7% en masse de carbone par rapport à la masse totale. Nous avons pu observer une augmentation des conductivités électrique et thermique avec la teneur en carbone.

Mots-clés Composites ciment-nanocarbone, conductivité, effet joule

I. INTRODUCTION

Le ciment est un liant hydraulique poreux essentiellement utilisé dans le domaine du bâtiment. Il est l'élément indispensable pour la fabrication du béton dont il est le composant actif. Très populaire depuis la haute antiquité, le ciment a été redécouvert au 19ème siècle par un ingénieur français, Louis VICAT [1]. Finement broyé ce matériau va réagir chimiquement avec l'eau pour former une pâte qui fait prise et qui durcit au contact de l'eau [2]. Ces réactions chimiques sont décrites durant l'hydratation, les constituants hydrauliques du ciment de Portland vont alors donner en présence d'eau des hydrates qui vont précipiter et s'organiser en structure mécaniquement stable [3]. Cette hydratation est composée de quatre étapes : 1) période de mouillage (15 premières minutes) où le flux de chaleur diminue, 2) période d'induction (4h), 3) période d'accélération (4h-8h) laquelle nous avons la prise du ciment, où l'on distingue un pic maximal de flux de chaleur. Ensuite nous avons 3) la période de durcissement (après 8h) avec une baisse de flux de chaleur [4]. Les particules de noir d'acétylène utilisées sont produites par décomposition thermique de l'acétylène. Ces particules très volatiles et hydrophobes, de 40 nm, vont apporter au ciment un réseau conducteur à partir d'un certain pourcentage massique.

II. COMPOSITES CIMENT-NANOCARBONE

A. Préparation des échantillons

Dans cette étude nous avons travaillé avec différentes compositions eau/ciment (E/C) (0,42 ; 0,6 et 0,8) et un ciment de type CEM II/B-L 32.5 N, qui est un ciment de Portland composé utilisé dans le domaine de la construction. Nous avons travaillé avec le noir d'acétylène de chez Soltex, un carbone très pur et de haute conductivité. Nous avons fait varier la teneur en carbone de 0 à 7%

selon les différents E/C. Lors du mélange à l'obtention d'une pâte, nous avons moulé les échantillons dans des cylindres en PVC de 10 cm de hauteur et 2 cm de diamètre. Dans certains mélanges nous avons utilisé du superplastifiant, le PNS (polysulfonate naphtalène), qui est un additif très utilisé dans le béton pour diminuer l'ajout d'eau et augmenter la résistance mécanique du béton durci. Lors de nos formulations, ce polymère nous a permis d'obtenir une pâte plus maniable et faciliter le moulage des échantillons, à de faibles E/C et/ou à de fortes teneurs en carbone. Pour éviter toute dessiccation, et un bon déroulement de l'hydratation du ciment, nous avons stocké nos échantillons pendant 1 mois dans une enceinte à température ambiante constante (24°C) et humidité relative de 92%.

B. Méthodes et mesures

Après un mois de cure des échantillons (période d'hydratation du ciment), nous avons procédé à des mesures de conductivité par impédance complexe. Pour cela, nous avons découpé nos échantillons en cylindre de 2 mm de longueur puis nous avons déposé sur les deux surfaces une couche d'or de 40 nm d'épaisseur pour rendre la surface conductrice. Avant ça nous avons laissé nos échantillons sécher pendant 24h à 70°C pour permettre de mesurer par la suite la conductivité électrique et non la conductivité ionique. Comme on peut le voir sur la figure 1.a, l'échantillon est positionné entre deux électrodes de cuivre où la résistance est directement calculée depuis le logiciel de mesure sur l'ordinateur. Avec la géométrie et la résistance de l'échantillon, la conductivité et la résistivité de l'échantillon sont directement calculées.

Les mesures effet joule (thermiques) ont été effectuées sur des échantillons d'1 cm d'épaisseur. Avant ça nous avons déposé une couche de peinture d'argent conductrice pour permettre de rendre la surface conductrice. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'une caméra (figure 1.b) qui nous a permis de prendre une série d'images des matériaux en échauffement que nous traitions par la suite sur le logiciel Matlab. Après chaque mesure nous effectuons une calibration pour convertir les niveaux d'informatique en température. Nous avons alors procédé à des mesures sur l'ensemble des échantillons à différents rapports massiques E/C et à différents taux de carbone pour deux tensions fixes 3 et 5V, afin de voir l'influence du taux de carbone sur les propriétés thermiques.

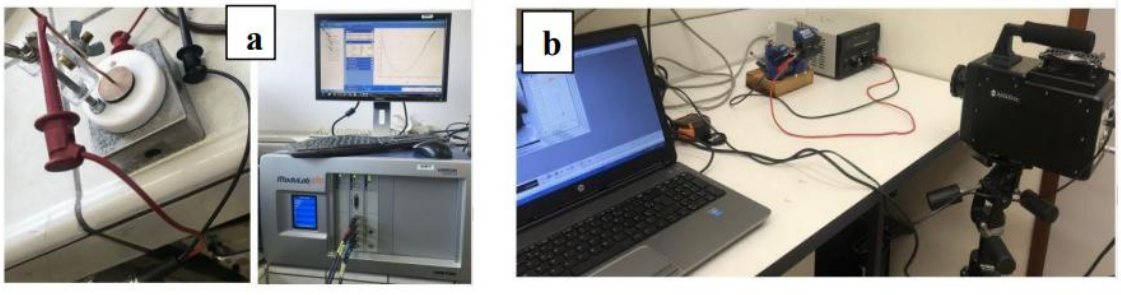

FIGURE 1. Photos du système de mesure d'impédance complexe (a) et d'effet joule (b)

C. Résultats

Le graphique de gauche de la figure 2 nous montre l'évolution de la conductivité en fonction du pourcentage massique de carbone pour chacun des rapports E/C. On peut constater une augmentation de la conductivité avec le taux de carbone, cet accroissement est visible à partir de de 2% en masse de carbone. Ce point est en effet le point de percolation, le carbone percolé va faciliter le passage du courant, où l'on passe alors d'un système isolant à un système conducteur. Quant aux résultats thermiques, on constate une évolution de l'échauffement similaire à celle de

la conductivité. En effet, l'échauffement augmente avec le taux de carbone pour chacun des rapports E/C, où l'on peut atteindre une variation de température de 25 K à fort taux de carbone pour E/C = 0.6 et 0.8. Pour une tension fixée à 3 V, on distingue aussi une augmentation de l'échauffement mais un peu moins forte qu'avec 5 V, où l'on atteint une variation de température de 14 K.

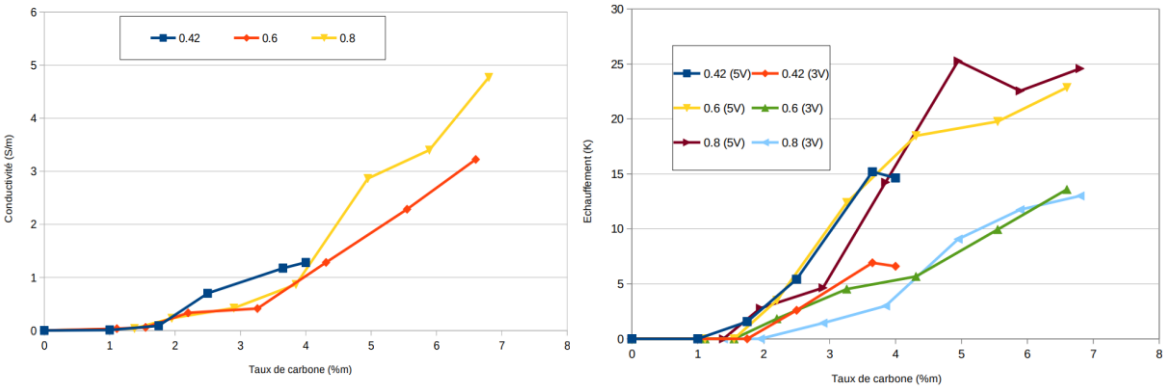

FIGURE 2. Graphique de l'évolution de la conductivité (gauche) et de l'échauffement pour une tension fixée à 3 et 5 V (droite) en fonction du pourcentage massique de carbone pour chaque E/C

CONCLUSION

Dans ce projet nous avons pu étudier l'influence des composites ciment-nanoparticules de carbone sur les propriétés électriques et thermiques. L'intérêt du composite est de permettre au matériau de développer de nouvelles propriétés intéressantes et utiles recherchées pour des applications. Le ciment étant isolant, dans notre cas on a essayé de passer d'un système isolant vers un système conducteur, grâce à l'ajout des nano-carbone. Nous avons vu sur nos résultats, que plus le taux de carbone dans le composite était grand plus le matériau était conducteur. Ce phénomène est corrélé aux propriétés thermiques, où l'on voit aussi cette même évolution. Ces résultats s'expliquent par le phénomène de percolation qui décrit en partie la conductivité électrique de nos échantillons. En effet cette conductivité est fixée par la quantité de particules conductrices et donc de particules de nanocarbone. Nous avons vu qu'à un certain pourcentage massique de carbone (vers 2%), la conductivité du matériau transite de l'isolant au conducteur, cette transition est très visible sur les résultats de résistivité. Ce phénomène est combiné par le contact entre particules de nanocarbone. La probabilité de contact est accrue par l'augmentation de la fraction volumique de ces charges conductrices.

REFERENCES

[1] J. Hot, (2013), « Influence des polymères de type superplastifiants et agents entraineurs d'air sur la viscosité macroscopique des matériaux cimentaires », Université Paris-Est, NNT:2013PEST1114. Tel 00962408.

[2] Site internet : planete.tp/le ciment, publiée en 2007, consulté en mai 2022

[3] W. Pauchet, (2004), « Les ciments », Techniques de l'Ingénieur, TBA1010 v2.

[4] E. Del Gado, K. Ioannidou, E. Masoero E., et al., (2014), "A soft matter in construction– Statistical physics approach to formation and mechanics of C–S–H gels in cement", The European Physical Journal Special Topics, vol. 223, no 11, p. 2285-2295