

Effet des cycles de gel-dégel sur les propriétés d'un isolant thermique à base de paille céréalière

Brahim Ismail¹, Naima Belayachi¹, Dashnor Hoxha¹

¹ Université d'Orléans, Université de Tours, INSA Centre Val de Loire Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé Polytech Orléans, 8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans, France

brahim.ismail@etu.univ-orleans.fr ; naima.belayachi@univ-orleans.fr ; dashnor.hoxha@univ-orleans.fr

RESUME L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des cycles de gel-dégel sur les propriétés de matériaux biosourcés à base de paille céréalière destinés à l'isolation thermique par extérieur du bâtiment. Deux matériaux de compositions différentes ont été soumis aux cycles de gel-dégel selon le protocole décrit dans la norme EN 15304:2010. Des essais classiques de compression uniaxiale et de conductivité thermique ont été réalisés après 2, 6, et 10 cycles. Des analyses chromatographiques de l'eau d'immersion des échantillons avant le cycle gel-dégel ont été effectuées pour comprendre les mécanismes microstructuraux conduisant à la dégradation des matériaux. Les résultats ont montré un impact significatif des cycles appliqués sur la microstructure des deux matériaux étudiés, et leurs propriétés mécaniques et thermiques macroscopiques. Une réduction qui atteint 10 % pour la conductivité thermique et 63 % pour la résistance mécanique pour les matériaux à base du bio-liant.

Mots-clefs Chaux, paille de blé, gel-dégel, conductivité thermique, résistance mécanique.

I. INTRODUCTION

Parmi les actions du plan climat-énergie, l'utilisation des matériaux biosourcés dans le bâtiment doit atteindre 10% sans compter le bois. Les nombreuses études autour de ces matériaux ont montré leurs performances d'isolations thermiques et acoustiques très attractives ainsi qu'une excellente propriété de régulation hydrique par rapport aux autres matériaux souvent utilisés (Amziane et Collet 2017). Cependant, la maîtrise de leur comportement à l'échelle de la paroi et vis-à-vis des conditions environnementales d'utilisation reste encore sans consensus malgré les nombreuses études. Le manque de normes spécifiques à cette nouvelle génération de matériaux, combiné avec une insuffisance des données des expérimentations à l'échelle réelle entrave encore leur utilisation. Comme les autres matériaux de construction, l'étude de durabilité des composites biosourcés est indispensable pour garantir la sécurité des constructions à long terme, liée essentiellement aux conditions de leur environnement, aux comportements des composants et à l'évolution de leurs microstructures. De ce fait, plusieurs travaux récents de la littérature ont proposé des scénarios de vieillissement basés sur une variation dans le temps de température et/ou d'humidité (Delannoy 2018), d'immersion-séchage (Belayachi et al 2016), de gel-dégel (Walker et al 2014). L'objectif est de reproduire au laboratoire les conditions d'usage, ou des scénarios permettant de réunir des conditions sévères de dégradation pour à la fin évaluer leur

impact sur les propriétés fonctionnelles de ce type de matériaux et tenter d'extrapoler le comportement à long terme. Ces travaux ont montré que l'exposition des matériaux à base de granulats végétaux aux conditions climatiques sévères peut conduire à une modification de leurs propriétés microstructurales et donc à une variation de leurs propriétés macroscopiques.

L'intérêt de cette étude porte essentiellement sur l'effet des cycles de gel-dégel sur la résistance mécanique à la compression et la conductivité thermique de deux matériaux à base de paille céréalière, développés dans le cadre des travaux du programme de recherche PEPITE financé par la région Centre Val de Loire (Ismail et al 2020). L'objectif est de comprendre les mécanismes microstructuraux à l'origine des changements des propriétés et évaluer la pertinence de la composition des matériaux.

II. MATERIAUX ET METHODES

A. Matériaux

Les constituants et caractéristiques des deux matériaux étudiés sont proposés dans le tableau 1. Ces deux matériaux de composition différente seront désignés PF20 et PF5. Leur formulation et protocole de préparation ont été discutés dans les travaux précédents (Ismail et al 2020). Le Tradical PF70 chaux pré-formulé (75 % de chaux aérienne, 15 % de chaux hydraulique, 10% de pouzzolane) a été utilisé. Des blocs de (30 x 30 x 10 cm³) ont été préparé sans compactage dans des moules en bois imperméables. Ensuite trois échantillons de chaque biocomposites (10 x 10 x 20 cm³) ont été découpé pour réaliser les tests.

TABLEAU 1. Caractéristiques des matériaux étudiés

Matériaux	Constituants	ρ_{app} (Kg/m ³)	Porosité total (%)
PF20	Tradical PF70 (Chaux)+20% gélatine + paille de blé (paille/liant=0.4)	312±3.1	85.37
PF5	Tradical PF70+5%entraîneur d'aire+2,5%superplastifiant+paille de blé (paille/liant=0.3)	294±3.3	85.35

B. Méthodes de caractérisation

Les matériaux étudiés sont destinés à l'isolation thermique du bâtiment dans le cas de réhabilitation ou de construction neuves. Par conséquent, dans l'absence d'une norme qui détermine la résistance au gel-dégel des bétons à base de granulats végétaux, nous avons utilisé le protocole proposé par la norme EN 15304 :2010 pour le béton cellulaire autoclavé qui est un matériau isolant largement utilisé dans le bâtiment. Cette même norme a été utilisée par d'autres auteurs pour le béton de chanvre (Walker 2014). Des échantillons des deux biocomposites ont été soumis à 10 cycles de gel-dégel dans une enceinte climatique. Dans chaque cycle, la température varie entre -15°C et 30°C. La phase de gel-dégel dure 16 h. Une saturation partielle a été effectuée en immergeant les échantillons dans l'eau à 20°C pendant 1 h à 0, 4 et 8 cycles. Afin d'identifier l'effet des cycles (gel-dégel et immersion dans l'eau) sur la dégradation des biocomposites, nous avons suivi les concentrations des éléments anioniques après chaque immersion par des

prélèvement d'eau. En général, les ions de calcium Ca^{2+} et de potassium K^+ sont les composants prédominants qui se dissolvent dans le processus de dégradation des matrices à base de chaux.

Des mesures de volume, de masse, de conductivité thermique et de résistance mécanique à la compression ont été effectuées à l'état sain des matériaux et après 2, 6 et 10 cycles. La conductivité thermique a été mesurée (15 mesures à l'état sec) en utilisant le conductivimètre NeoTIM basé sur la technique du fil chaud. Les essais de compression uniaxiale ont été menés sur des échantillons de $20 \times 20 \times 10$ cm dans le sens perpendiculaire au sens de coulage. Cette compression uniaxiale a été réalisée à une vitesse de déplacement de 0.5 mm/minute en utilisant une presse IGM d'une capacité initiale de 250 KN. Un capteur de 25 KN a été ajouté pour les matériaux biosourcés.

Les éprouvettes ont été séchées à 45°C jusqu'à stabilisation de masse avant leur caractérisation pour éviter la variation des résultats à cause d'une présence d'eau possible afin d'examiner l'effet seul des cycles gel-dégel non combiné à l'effet de l'humidité absorbée par les matériaux à caractère fortement hygroscopique.

II. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La figure 1 présente l'évolution en fonction des cycles gel-dégel, de la masse volumique apparente, de la résistance mécanique (a) et de la conductivité thermique (b) des deux composites. Dès le deuxième cycle, une réduction importante de la masse volumique a été observée pour le composite PF20 alors que pour le composite PF5, la variation était relativement faible. Cette diminution continue pour atteindre au dernier cycle un pourcentage de 10% et 17.79 % par rapport l'état sain respectivement pour PF5 et PF20.

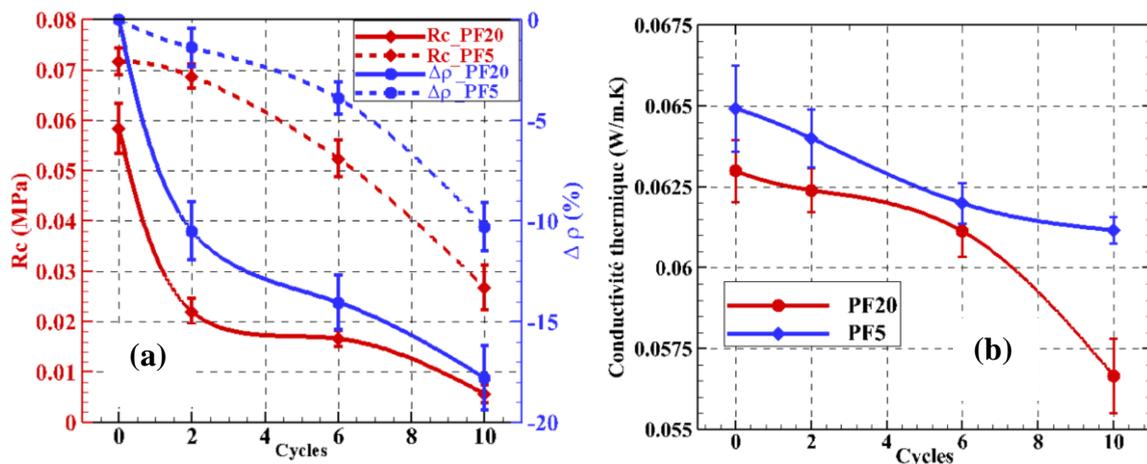


FIGURE 1. Evolution en fonction des cycles de gel-dégel, (a) de la masse volumique apparente et de résistance mécanique, (b) de conductivité thermique.

Cette diminution de masse volumique apparente (moyenne de 3 mesures à l'état sec) est due d'une part, à la perte de masse induite par le lessivage du liant et la dégradation des surfaces des éprouvettes et d'autre part à l'augmentation du volume des éprouvettes après immersion dans l'eau. Les résultats des concentrations des ions sont groupés dans le tableau 2. Ils montrent une augmentation progressive avec le nombre d'immersion utilisé. L'immersion des éprouvettes dans l'eau associée à la fissuration par gel-dégel peut conduire à une dissolution progressive des liants ce qui a induit la diminution de la masse volumique apparente observée précédemment. Ce

phénomène est également à l'origine de la perte de résistance des biocomposites. La formulation PF20, contenant la gélatine montre une perte brutale de résistance dès les deux premiers cycles. En effet, R_c passe de 0.058 à 0.021 MPa. Cette tendance de diminution coïncide parfaitement avec celle de la masse volumique apparente.

TABLEAU 2. Concentration des éléments ioniques dans l'eau d'immersion

	PF20- Immers1	PF20- Immers2	PF20- Immers3	PF5- Immers1	PF5- Immers2	PF5- Immers3
[Ca ²⁺] (mg/ml)	226,711	355,368	661,542	76,054	210,724	462,378
[K ⁺] (mg/ml)	179,640	185,591	198,730	87,880	102,670	135,373

Cela peut être justifié par le fait que la gélatine est soluble dans l'eau (N.Benbettaieb 2015). Pour le composite PF5, sa résistance mécanique diminue progressivement au cours des cycles appliquées pour atteindre 0.026 MPa au dernier cycle. La variation de la microstructure des composites a impacté également leur conductivité thermique à l'état sec (Fig.1 (b)), qui diminue progressivement en fonction des cycles. Le pourcentage de réduction par rapport à l'état sain atteint au dernier cycle 10.05% et 5.8% respectivement pour le composite PF20 et PF5.

III. Conclusion

Les sollicitations par gel-dégel appliquées ont un impact très significatif sur la microstructure des deux matériaux et la dégradation du liant. Il semble que cette détérioration a été traduite par une forte diminution de la masse volumique apparente, de la résistance mécanique et de la conductivité thermique. Bien que le protocole utilisé dans cette étude soit très sévère par rapport aux conditions d'utilisation, les résultats obtenus montrent une grande sensibilité à l'eau et aux cycles gel-dégel de ces deux matériaux. Cela laisse ouvert l'utilisation de ces matériaux avec un enduit de protection plus performant.

REFERENCES

- B.Ismail, N.Belayachi, & D.Hoxha. (2020). Optimizing performance of insulation materials based on wheat straw, lime and gypsum plaster composites using natural additives. *Construction and Building Materials*, 254, 118959.G.
- G. Delannoy (2018). Durabilité d'isolants à base de granulats végétaux. PhD thesis. Université Paris-Est.
- N. Belayachi, D. Hoxha, & M.Slaimia. (2016). Impact of accelerated climatic aging on the behavior of gypsum plaster-straw material for building thermal insulation. *Construction and Building Materials*, 125, 912-918. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.120>.
- N. Benbettaieb, . Influence de traitements de réticulation sans solvant sur les propriétés de films à base de gélatine et chitosan encapsulant ou non des antioxydants naturels : caractérisations physico-chimiques et application PhD thesis université de Bourgogne.
- R.Walker, S.Pavia, & R.Mitchell, (2014). Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes. *Construction and Building Materials*, 61, 340-348. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.065>.
- S.Amziane & F.Collet, (2017). Bio-aggregates based building materials: state-of-the-art report of the RILEM Technical Committee 236-BBM (Vol. 23). Springer.