

Mousse minérale isolante : développement d'une adjuvantation biosourcée

Vincent Dubois¹, Brahim Mazian^{1,2}, Isabelle Gosselin³, Christophe Landry⁴, Fabien Gosselet⁴, Ludovic Chaveriat², Kawther Aguib^{1,2}, Eric Wirquin¹, Patrick Martin²

¹Univ. Artois, IMT Nord Europe, Junia, Univ. Lille, ULR4515, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), F-62400 Béthune, France, vincent.dubois1@univ-artois.fr

²Unité Transformations & Agroressources, Univ. Artois - UniLaSalle, ULR7519, F-62408 Béthune, France

³Unité Génie Enzymatique et Cellulaire, Université de Picardie Jules Verne, UMR-CNRS7025, F-80039 Amiens, France

⁴Laboratoire de la Barrière Hémato-Encéphalique, Univ. Artois - Faculté des Sciences J. PERRIN, UR2465, F-62307 Lens, France

RESUME La RE 2020 favorise la construction de bâtiments peu voire non énergivores ayant un bas impact environnemental, de la production des matières premières à la démolition. L'utilisation de ressources de proximité issues de la biomasse est une réponse. Dans ce contexte, le projet ABIOBAT étudie l'utilisation de biomasses végétales présentes en région Hauts-de-France pour développer une adjuvantation biosourcée rentrant dans la composition d'une mousse isolante. ABIOBAT est un projet pluridisciplinaire dans lequel s'associent génie civil, chimie, microbiologie et toxicologie. Dans cet article, un comparatif du moussage induit par deux dérivés de protéines végétales et un adjuvant pétrosourcé est présenté ainsi que les premiers résultats des tests microbiologiques et toxicologiques sur les produits testés.

Mots-clefs Adjuvant, Biomasse, Mousse, Microbiologie, Toxicité

I. INTRODUCTION

Avec la RE2020, l'enjeu est de diminuer significativement les émissions de carbone du bâtiment, tout en réduisant les consommations d'énergie et en prenant mieux en compte le confort d'été. Dans ce contexte, l'inertie thermique est un paramètre aussi important que l'isolation. Pour combiner isolation et inertie, les mousses minérales ont l'avantage d'apporter le caractère isolant (Samson et al., 2016), grâce aux pores générés par les agents moussants, mais également de l'inertie avec une densité plus importante que les isolants classiques. A l'état frais, la mousse minérale est fluide et doit être stable pour permettre d'éviter la ségrégation ou un effondrement de la matière (Langevin, 2017). Dans ce contexte, le projet ABIOBAT s'appuie sur la biomasse végétale présente en région Hauts-de-France pour développer une adjuvantation biosourcée rentrant dans la composition d'une mousse isolante stable pour parois verticales ou combles, sans impact pour la santé de l'Homme : l'adjuvant ne doit pas être toxique par inhalation ou ingestion accidentelle et ne doit pas favoriser la prolifération de microorganismes au sein des parois entraînant une atteinte à la qualité de l'air intérieur (Verdier et al., 2014).

II. MATERIAUX ET METHODES

La mousse étudiée se compose de liant hydraulique (LH), d'anas de lin (AL), d'agent moussant (AM) et d'eau (eau de ville). Le LH est un mélange de ciment sulfo-alumineux Alpenat® de Vicat et de chaux hydraulique NHL 5 Renocal® de Calcia. Les AL proviennent de la société Texilis et ont une taille maximale de 40 mm et un D50 à 6 mm. L'un des AM est le Betomouss® (BTM) de Sika, tensioactif composé de lauryl ether sulfate de sodium. Deux autres AM, référencés ROQU1 et ROQU2, d'origine végétale (dérivés de protéines), sont fournis par l'entreprise Roquette. La fabrication de la mousse se fait par la méthode de moussage direct. La composition de référence considère un rapport Eau/LH = 0.8, un rapport LH/AL = 5 et un rapport AM/LH = 0.01. Après incorporation des composants, l'ensemble est malaxé à 200 tr/min pendant un temps variable (t_v). Les masses volumiques à l'état frais (MVH) et à l'état durci (MVS) des mousses sont mesurées par remplissage d'un moule de diamètre 11 cm et de hauteur 22 cm. Le pouvoir antimicrobien des AM de l'étude a été testé sur 2 bactéries (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*), 2 levures (*Saccharomyces cerevisiae* et *Candida shehatae*) et sur 2 moisissures (*Aspergillus niger* et *Penicillium chrysogenum*) et mesuré par Concentration Minimale Inhibitrice (plus petite concentration à laquelle le produit empêche la multiplication cellulaire). Plus la CMI est faible, plus le produit est antimicrobien. Les AM ont été préparés en microplaque 96 puits avec dilutions en série des produits. Une incubation de 24h a suivi à 37°C pour les bactéries, 30°C pour les levures et 25°C pour les moisissures. Enfin, la toxicité des agents moussants a été évaluée sur un modèle in-vitro de Barrière Hémato-Encéphalique humaine par mesure de la perméabilité au sel de sodium de fluoresceïne, marqueur d'intégrité cellulaire (Cecchelli R. et al., 2014) et sur une lignée neuronale. Les concentrations testées ont donc été de 1, 10 et 50 μM en considérant les valeurs seuils de particules inhalables fixées par Air Pays de la Loire et une surestimation de l'exposition sur 24h.

III. RESULTATS

A. Efficacité des agents moussants

La figure 1a) compare les résultats de masses volumiques des mousses fabriquées avec chaque agent moussant de l'étude, t_v étant fixé à 20 min. Les résultats montrent que BTM donne la plus basse masse volumique, donc le meilleur moussage. ROQU2 donne un moussage un peu moins efficace alors que ROQU1 ne permet pas un moussage du mélange dans les conditions de fabrication fixées. Cependant, même si BTM donne le meilleur résultat juste après fabrication, la mousse générée s'effondre (barre noire) généralement quelques heures après fabrication. Les formules concernées par l'effondrement ont une MVS proche de la MVH voire supérieure car la perte en eau par séchage est compensée par la baisse de volume. Une deuxième série d'essais, uniquement avec BTM et ROQU2, a été réalisée en faisant varier t_v de 2 à 30min (Fig. 1b). Les résultats montrent que BTM permet la formation de mousse de manière rapide et qu'à partir d'un temps de malaxage trop important, la mousse générée n'est pas stable et s'effondre (barres noires). Pour ROQU2, la figure 1b) montre la nécessité d'un temps plus long de malaxage afin de former une mousse légère. Comme pour BTM, si t_v est trop important, la mousse s'effondre après fabrication. Afin d'évaluer la robustesse de la mousse générée avec ROQU2, la quantité d'AM et la quantité d'eau ont été modulées. La figure 1c) montre l'abaissement de la masse volumique

avec l'augmentation de quantité d'AM notamment entre 0.87% et 1.28% ($t_v=20$ min). Le moussage semble se stabiliser au-delà de 1.28%, mais induit une mousse instable qui s'effondre. La figure 1d) montre une relative stabilité du moussage avec la variation du rapport Eau/LH. Le plus bas rapport Eau/LH donne la plus basse masse volumique sachant qu'une masse volumique inférieure à 250 kg/m^3 est nécessaire pour obtenir un matériau isolant (Samson et al., 2016).

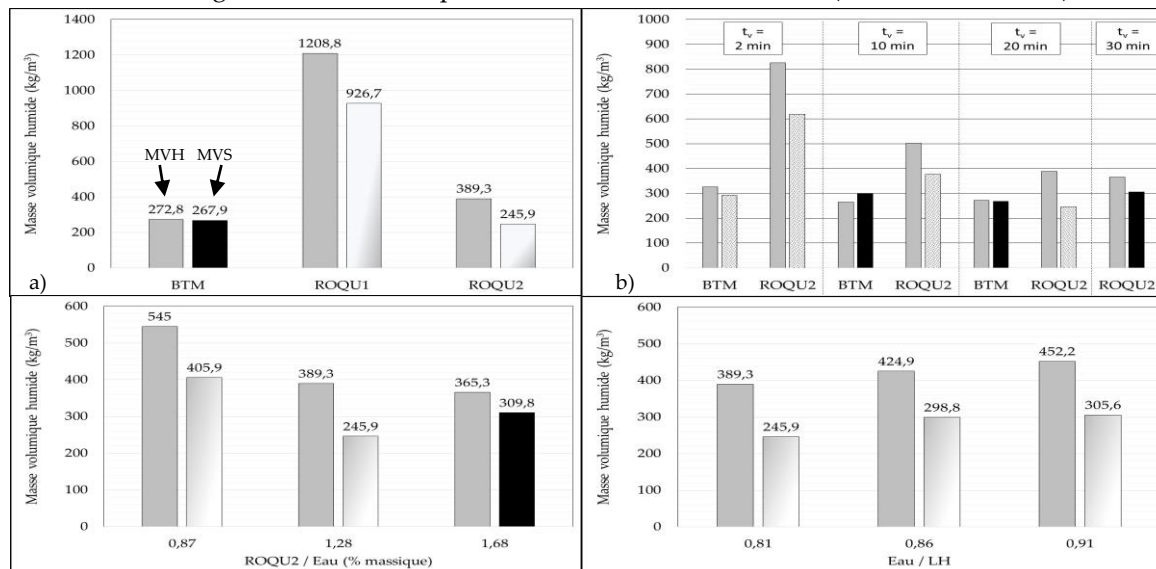


FIGURE 1. Masses volumiques humides (MVH) et sèches (MVS) des mousses. a) Comparatif des trois agents moussants à t_v fixe. b) Comparatif entre BTM et ROQU2 à t_v variable. c) ROQU2 - Variation de quantité d'agent moussant. d) ROQU2 - Variation de quantité d'eau.

B. Pouvoir antimicrobien

Des premiers tests ont été réalisés sur BTM et ROQU1 pour évaluer leur pouvoir antimicrobien. Les résultats (Tableau 1) montrent que BTM a un pouvoir antimicrobien face à toutes les espèces soumises empêchant donc leur prolifération dans les conditions du test. ROQU1 n'a pas montré de pouvoir antimicrobien, mêmes aux plus fortes concentrations testées (5 mg/mL qui est la limite de solubilité du produit).

TABLEAU 1. Etude microbiologique sur BTM et ROQU1 – Valeurs des CMI (mg/mL)

Adjuvant	Concentration Minimale Inhibitrice (mg/mL)					
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Candida shehatae</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium chrysogenum</i>
BTM	8.1	2.0	8.1	2.0	8.1	4.1
ROQU1	pas de CMI					

C. Toxicologie

La figure 2 montre les résultats de toxicité du BTM sur un modèle in vitro de barrière hémato-encéphalique humaine (BHE). Les trois concentrations fixées au départ n'entraînent pas d'effet toxique et il faut atteindre une concentration supérieure à $500 \mu\text{M}$ pour induire une toxicité. Le BTM a également été testé sur une lignée de cellules neuronales humaines (SH-SY5Y). Les concentrations testées jusqu'à $1000 \mu\text{M}$ n'induisent pas d'effet toxique (data non montrées).

L'étude montre que le modèle de BHE humaine est plus sensible que la lignée neuronale pour l'étude de toxicité et que le BTM induit un effet toxique sur la BHE à partir d'une concentration au moins 20 fois plus élevée que la concentration de surexposition initialement calculée.

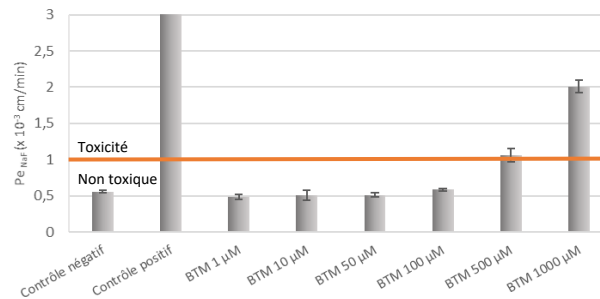


FIGURE 2. Perméabilité au marqueur d'intégrité cellulaire à différentes concentrations de BTM.

IV. CONCLUSIONS

Les premiers résultats du projet ABIOBAT montrent un caractère moussant pour l'un des produits biosourcés testés comparable au produit pétrosourcé, avec cependant un temps de malaxage plus long, qui est un des paramètres clés de la génération de mousse, de sa stabilité et de l'obtention des performances souhaitées. Les premiers tests microbiologiques montrent un pouvoir antimicrobien de BTM mais pas de ROQU1. Des essais complémentaires à l'échelle de la mousse devront confirmer sa résistance à la prolifération de microorganismes. Enfin, les agents moussants testés ne montrent pas de caractère toxique vis-à-vis de la barrière hémato-encéphalique ce qui est gage de sécurité pour l'utilisateur comme l'utilisateur.

Les auteurs tiennent à remercier la Région Hauts-de-France pour son soutien notamment financier dans la réalisation du projet ABIOBAT. Les auteurs remercient également Hervé Gombert de l'entreprise Roquette pour avoir fourni les protéines végétales étudiées.

REFERENCES

G. Samson, A. Phelipot-Mardel & C. Lanos, Thermal and mechanical properties of gypsum cement foam concrete: effects of surfactant, *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* (2016) 1–20, <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1177601>.

D. Langevin, Aqueous foams and foam films stabilised by surfactants. *Gravity-free studies, Comptes Rendus Mécanique*, Volume 345, Issue 1, 2017, Pages 47-55, ISSN 1631-0721, <https://doi.org/10.1016/j.crme.2016.10.009>.

Verdier T., Coutand M. Bertron A. & Roques C. (2014) A review of indoor microbial growth across building materials and sampling and analysis methods. *Building and Environment* 80:136-149, DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.05.030.

Cecchelli R., Aday S., Sevin E., Almeida C., Culot M., Dehouck L., Coisne C., Engelhardt B., Dehouck M.-P., Ferreira L. (2014) A stable and reproducible human blood-brain barrier model derived from hematopoietic stem cells. *PLoS ONE*, 9 (6), DOI: 10.1371/journal.pone.0099733.