

De l'intérêt d'une mousse de chaux

Nourhan Mortada¹, Annabelle Phelipot-Mardelé¹, Christophe Lanos¹

¹ Université de Rennes, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, 3 rue du Clos Courtel, BP 90422, 35704 Rennes, France, annabelle.phelipot@univ-rennes1.fr

RESUME : Dans le contexte de la réduction de l'énergie grise, la production et la caractérisation des matériaux alvéolaires légers constituent un enjeu important. Dans cette étude, un procédé de moussage direct est utilisé pour produire des mousses à base de chaux hydraulique de masse volumique comprises entre 500 et 1000 kg/m³. Trois types de tensioactifs sont comparés en analysant leur moussabilité et leur effet sur la stabilité de mousses aqueuses. Le tensioactif le plus performant est retenu pour réaliser les mousses de chaux. Les conditions de formation de mousse de chaux lors du malaxage sont analysées. Le lien entre les propriétés des mousses aqueuses et la structure de mousse de chaux est étudié. La contribution de chaque type de porosité sur la conductivité thermique et la valeur de la capacité tampon hydrique (MBV) est déterminée, montrant l'intérêt de la maîtrise des conditions de moussage.

Mots-clés : Mousse de chaux, tensioactifs, moussabilité, MBV, porosité

I. INTRODUCTION

La croissance de la consommation énergétique mondiale se poursuit. Le secteur du bâtiment est le plus grand consommateur d'énergie, représentant 46 % de la consommation d'énergie dont 50 % pour le chauffage et la climatisation des locaux (Ozel, 2011; Zheng et al., 2010). Promouvoir de nouveaux matériaux isolants limitant l'impact environnemental s'impose notamment en focalisant sur les composites biosourcés ou les mousses minérales. Ces mousses sont obtenues par insertion de bulles d'air dans une matrice minérale. L'utilisation de la chaux dans les constructions est connue depuis longtemps. Ce matériau utilisé en enduit, présente l'avantage d'avoir de bonnes propriétés thermiques, hydriques et acoustiques le tout participant au confort de l'utilisateur. L'objectif est donc de réaliser des mousses de chaux par moussage direct en visant des masses volumiques entre 500 et 1000 kg/m³ à partir d'une même formulation et différents temps de malaxage. La sélection d'un tensio-actif adapté résulte d'un travail comparatif réalisé sur des mousses aqueuses. Les conditions de moussabilité et de stabilité de ces mousses sont étudiées. Le tensioactif retenu est alors utilisé pour produire des échantillons de mousses de chaux dont les propriétés d'usage sont évaluées.

II. MATERIAUX ET METHODES

Les tensioactifs sélectionnés pour stabiliser les films d'eau et avoir ainsi une mousse aqueuse stable sont: Hostapur OSB (anionique) de Clariant Produkte®, CTAB (cationique) et Cetrimide (cationique) de Novo Nordisk Pharmatech A/S®. Le liant sélectionné est une chaux formulée commerciale ThermO® de BCB. Sa masse volumique spécifique est de 2560 kg/m³. Les mousses de chaux sont produites avec un rapport massique Eau/Liant, E/L, de 0,6. Afin d'avoir une fluidité suffisante, un faible ajout de superplastifiant SemperActis® SP20 fourni par K&Co® (0,2% de la masse du liant) est nécessaire.

La capacité des trois tensioactifs à réduire la tension de surface est étudiée à l'aide d'un tensiomètre DSA30 de KRÜSS GmbH (Fig.1(a)) en conditions ambiantes : $T = 23 \pm 1^\circ\text{C}$ et $HR = 60\%$. Les concentrations micellaires critiques (CMC) des tensioactifs sont déterminées en traçant l'isotherme de tension de surface. Pour ce faire, une gamme de concentrations allant de 7966 à $200 \pm 1 \text{ mg/l}$ a été balayée. Le pouvoir moussant des tensioactifs et la structure porale des mousses aqueuses produites sont analysés en se basant sur les données de l'analyseur de mousses DFA100 de KRÜSS GmbH (Fig.1(b)). Pour toutes les mesures, une solution de 50 ml de tensioactif est introduite dans une colonne en verre transparent de 44 mm de diamètre intérieur, placée entre des LED et des capteurs optiques. A l'aide d'une pompe, l'air est injecté dans la solution avec un débit de gaz de 0,3 l/min pendant 18 s. L'air traverse une pierre poreuse placée à la base de la colonne, dont la taille des pores varie entre 40 et 100 μm . Les hauteurs de liquide et de mousse sont mesurées en continu. Pendant toute la durée de vie de la mousse, la taille des bulles est visualisée à l'aide d'une caméra placée à une hauteur de 70 mm au-dessus de la pierre poreuse (Fig.1(c)).

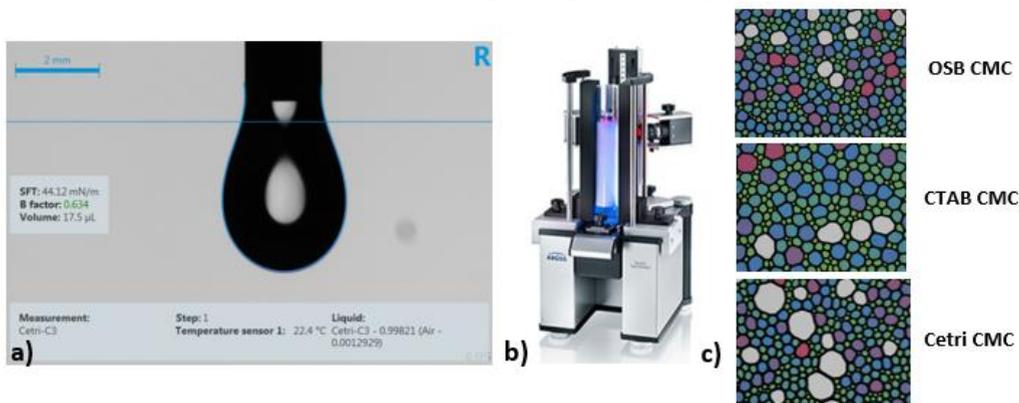


FIGURE 1. a) Exemple d'une goutte pendante du DSA30. b) DFA100 (Dynamic Foam Analyzer – DFA100). c) Distribution alvéolaire des mousses à $t = 1000 \text{ s}$

Les mousses minérales sont produites par moussage direct à l'aide d'un malaxeur équipé d'un fouet en variant le temps de malaxage afin d'obtenir le volume de mousse requis et une masse volumique durcie comprise entre 500 et 1000 kg/m^3 . Le moussage direct permet d'obtenir une mousse homogène et à faible teneur en eau même si le dosage en tensioactifs est fort au regard de la CMC. Les mousses sont coulées dans des moules cylindriques (diamètre 80 mm, hauteur 200 mm), démoulées après 24 h et conservées à 20°C et 50% HR pendant 9 mois. Les échantillons sont ensuite sciés pour produire des échantillons cylindriques d'élanement égal à 1. La masse volumique à l'état frais et durci est déterminée par pesée et mesure des dimensions au pied à coulisse. La valeur MBV est mesurée selon la méthode donnée dans le projet NORDTEST (Rode et al., 2007) à l'aide d'une enceinte climatique (VÖtsch VC4060). La conductivité thermique est mesurée par la méthode du fil chaud (CT-meter) avec une puissance injectée de 0,205 à 0,378 W et 120 s de chauffe.

III. RESULTATS

La rupture de pente sur la courbe de l'isotherme de tension de surface d'une solution aqueuse de tensioactif permet de déterminer la CMC. La CMC de l'Hostapur est de 796 mg/l , correspondant à une tension de surface $\gamma_{\text{OSB}} = 35,69 \pm 0,5 \text{ mN/m}$. Le Cetrimide et le CTAB, cationiques, présentent une tension de surface proche, $\gamma_{\text{CTAB}} = 37,19 \pm 0,18 \text{ mN/m}$ et $\gamma_{\text{Cetrimide}} = 38,14 \pm 0,21 \text{ mN/m}$, mais des

CMC différentes : 358 mg/l et 1261 mg/l respectivement. La moussabilité des tensioactifs est corrélée à la hauteur de mousse créée après la fin du bullage. La stabilité des mousses aqueuses est caractérisée par le temps de demi-vie $t_{50\%}$, correspondant au temps où la hauteur de la mousse est divisée par 2. A la CMC, l'Hostapur génère une hauteur de mousse de 102,75 mm supérieure à celles obtenues avec le Cetrimide 100,35 mm et le CTAB 89,7 mm. Les courbes de destruction des mousses et les valeurs de $t_{50\%}$ montrent que la mousse formée par l'Hostapur est plus stable avec un $t_{50\%} = 12328$ s, suivi par le CTAB 6000 s et le Cetrimide 3200 s. Ces résultats sont confirmés aussi par l'analyse de la structure porale des mousses créées. Les différents paramètres caractéristiques des distributions de rayons de pores (r_{moyen} , r_{32} , indice de polydispersité) permettent également de constater que les bulles formées avec l'Hostapur restent plus fines et moins dispersées que celles mesurées avec les deux autres tensioactifs (Fig.1(c)). Des essais avec une concentration en tensioactifs en deçà de la CMC ont montré une moussabilité et une stabilité diminuées. Toutefois il est intéressant de constater que dans les mousses aqueuses réalisées, le ratio de volume d'eau associé à un volume de mousse reste constant. Cette remarque permet de mieux comprendre comment une mousse minérale peut être formée. La mousse minérale à l'état frais peut être vue comme une mousse aqueuse stable mélangée à une pâte.

En se basant sur les résultats obtenus sur mousse aqueuse, l'Hostapur est le tensioactif retenu pour la formulation des mousses de chaux. Les échantillons ont été produits à partir d'une même formulation à $E/L = 0,6$. Le dosage en tensioactif nécessaire à la formation de ces mousses est de 0,14 % de la masse du liant, ce qui correspond à une concentration en tensioactif dans l'eau de mélange égale à 0,23 %, largement supérieure à celle de la CMC (0,08 %). Un excès de tensioactif semble nécessaire pour assurer le moussage d'un produit pâteux ; une partie de la teneur en tensioactif s'avère piégée dans la suspension concentrée et ne participe pas à la structure de la mousse. Nous considérons que le bullage est induit par une mousse aqueuse à la CMC.

Les mesures (Fig.2) ont montré que la masse volumique de la mousse de chaux à l'état frais diminue avec le temps de malaxage jusqu'à ce qu'elle se stabilise autour de 1100 kg/m³. Il faut près de 20 minutes de mélange pour obtenir les masses volumiques les plus faibles d'une mousse de chaux homogène. Après 23 minutes de malaxage, une démixion est observée : la matrice solide tend à se déposer dans le fond du bol. Le mélange est alors largement hétérogène.

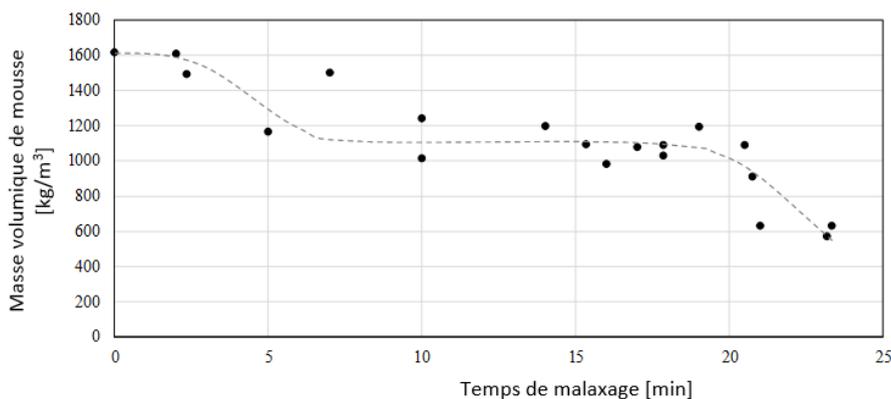


FIGURE 2. Masse volumique à l'état frais des mousses de chaux en fonction du temps de malaxage

Au-delà de 3 min de malaxage, une partie de l'eau dans la matrice contribue à la production de bulles et donc à la création d'une mousse aqueuse dans la mousse de chaux, réduisant ainsi l'eau

disponible pour la matrice. Au-delà de 20 minutes, le volume de mousse aqueuse devient très important, induisant une rapide diminution de la masse volumique de la mousse de chaux. En parallèle, la matrice perdant son eau voit son seuil de mise en écoulement rapidement augmenter. Elle se dépose et s'agglomère au fond du bol (démixion).

La production de mousses de chaux homogènes est donc accessible en variant le temps de malaxage entre 16 et 23 minutes. Cette variation conduit à la formation de mousse de chaux durcies présentant des masses volumiques évoluant entre 500 et 1000 kg/m³, soit des porosités comprises entre 60 et 80%. Lorsque le temps de moussage augmente, la quantité d'eau nécessaire à la formation de la mousse aqueuse croît, et la fraction volumique solide de la pâte aussi. En conséquence sur la mousse durcie, la porosité associée aux bulles induites par la mousse aqueuse augmente alors que la porosité au sein de la matrice minérale diminue. Il est alors possible de moduler conjointement la porosité de la matrice solide et la porosité totale en jouant sur le temps de malaxage et sur le dosage en tensioactif, comme le montre des essais réalisés avec des dosages différents. La distribution de la porosité (entre bulles et matrice) peut affecter certaines propriétés d'usage. La conductivité thermique s'avère essentiellement liée à la porosité totale (p_T) de la mousse minérale. Afin de comprendre l'impact de la porosité totale (p_T), de la porosité de la matrice (p_M) et de la porosité liée à la mousse aqueuse (p_{AF} : bulles d'air + volume d'eau qui les entoure) sur la valeur MBV, un modèle linéaire est proposé (Eq.1). Les points expérimentaux s'ajustent remarquablement sur ce modèle. Le fait que la valeur de A (4,02) soit supérieure à celle de B (2,88) indique une contribution plus efficace de p_M . Maîtriser les conditions de moussage permet donc de cibler une valeur de MBV d'une mousse de chaux sans affecter la conductivité thermique.

$$MBV = A \cdot p_M + B \cdot p_{AF} \quad (1)$$

IV. CONCLUSIONS

Des mousses de chaux sont produites avec l'Hostapur selon la méthode de moussage directe. Les conditions de moussage optimales ont été identifiées. Le lien entre la mousse aqueuse et la mousse de chaux à l'état frais, basé sur la consommation d'eau pour la formation des bulles, s'avère très pertinent. Il permet d'évaluer la capacité de moussage d'un mélange donné et d'optimiser les processus de moussage au regard de performances d'usage ciblées. La valeur MBV dépend de la macroporosité due aux bulles et de la microporosité due à la matrice de la chaux. La contribution de chaque type de porosité apparaît légèrement différente.

REFERENCES

- Dynamic Foam Analyzer – DFA100 . www.Kruss.de.
- Ozel, M., 2011. Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. Applied Thermal Engineering, SET 2010 Special Issue 31, 3854–3863. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.033>
- Rode, C., Peuhkuri, R., Svennberg, K., Ojanen, T., Mukhopadhyaya, P., Kumaran, M., W. Dean, S., 2007. Moisture Buffer Value of Building Materials. Journal of Astm International 4. <https://doi.org/10.1520/JAI100369>
- Zheng, G., Jing, Y., Huang, H., Gao, Y., 2010. Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance. Applied Energy 87, 710–720. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.020>