



HAL
open science

Influence de formulation d'un mortier sur ces propriétés à l'état frais pour sa mise en forme par chaîne numérique 3D

Thang Le, Alexandre Govin, Philippe Grosseau

► **To cite this version:**

Thang Le, Alexandre Govin, Philippe Grosseau. Influence de formulation d'un mortier sur ces propriétés à l'état frais pour sa mise en forme par chaîne numérique 3D. 9e Colloque Science et Technologie des Poudres, UTC Université de technologie de Compiègne, Jul 2018, Compiègne, France. pp.42 à 45. hal-01849875

HAL Id: hal-01849875

<https://hal.science/hal-01849875>

Submitted on 26 Jul 2018

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.

Influence de formulation d'un mortier sur ces propriétés à l'état frais pour sa mise en forme par chaîne numérique 3D

T. Le¹, A. Govin¹, P. Grosseau¹

¹ Mines Saint-Etienne, Univ Lyon, CNRS, UMR 5307 LGF, Centre SPIN, Département PMMG, F-42023 Saint-Etienne, France

1. Introduction

L'impression 3D a été appliquée sur différents matériaux comme les métaux, les céramiques, les plastiques [1], [2]. L'utilisation de cette technologie dans le domaine de la construction est aujourd'hui d'actualité et se développe rapidement [3]–[5]. Cette technologie permet de réduire le temps nécessaire à la construction et de supprimer les coffrages. Elle a créé de nouvelles opportunités pour la recherche sur les matériaux cimentaires. En effet les nouvelles formulations doivent disposer de caractéristiques spécifiques comme la facilité de pompage afin d'être injectées dans le système d'impression 3D, mais doivent être suffisamment stables en sortie de buse pour garder leur forme et présenter une bonne adhésion entre couches successives. L'étude sur l'impression 3D de matériaux cimentaires a commencé depuis des années [4], [6]–[8]. Cependant, dans la littérature, il y a peu d'étude sur la rhéologie de ces formulations. La connaissance des paramètres rhéologiques de ces formulations est très importante car ils affectent la mise en œuvre, la pompabilité ou l'extrudabilité, l'adhésion entre les couches extrudées, ...

Les méthodes rhéologiques utilisées pour les formulations cimentaires (béton, mortier ou pâte de ciment) sont applicables pour des mélanges à fluidité élevée [9]. Elles ne sont donc pas adaptées à la caractérisation de la rhéologie des formulations denses, cohésives et très visqueuses. Différentes méthodes indirectes permettent d'atteindre les caractéristiques rhéologiques des formulations cimentaires. La relation entre le seuil d'écoulement et des essais de pénétration a été présentée dans l'étude de Lootens et al. [10] et de Khalil et al. [11]. Une autre méthode utilisée est le rhéomètre capillaire [9], [12]–[14].

Le mortier est également utilisé pour la fabrication des plaques décoratives. Dans ce cas, un motif peut être appliqué à la surface du mortier frais afin de laisser son empreinte. L'aptitude au maintien du motif produit dépend non seulement du moment d'application mais aussi de la composition du mortier, de sa rhéologie...

L'objectif de cette étude est de caractériser l'influence de l'ajout d'agent de viscosité et de résine sur la rhéologie via la pénétration d'une aiguille et d'un rhéomètre capillaire. L'aptitude au maintien du motif est caractérisée par mesures de rugosité de la surface.

2. Matériaux et méthodologie

Les formulations sont constituées de ciment blanc (CEM I 52.5N) (C), de sable siliceux (DU 0,1/0,35mm) (S), de fumée de silice (FS) (diamètre moyen de 12nm et surface spécifique de 200m²/g) et filler siliceux (LCS) (diamètre moyen de 12.5µm). Le super-plastifiant (SP) et l'agent de viscosité (VMA) utilisés sont, respectivement, de types polycarboxylate éther (PCE) et méthyle hydroxyéthyle cellulose (MHEC). Un mélange de résines (copolymère acétate de vinyle /éthylène) a été incorporé dans la formulation afin d'améliorer l'adhésion du mortier. Les fractions massiques des composants C, S, FS, SP, LCS sont fixés, respectivement, à 45.7%, 50,3%, 2.3%, 0.7%, 1.0%. Le taux de VMA est compris entre 0.05% et 0.11% par rapport la masse de solide. Le taux de résine varie de 0 à 8% par rapport au solide pour un taux de VMA de 0.07%. Le rapport massique eau/ciment (E/C) est fixé à 0.5. Le malaxage est réalisé conformément à la norme EN 196-1.

a) Mesure du seuil d'écoulement par pénétration d'aiguille et rhéomètre capillaire

Le seuil d'écoulement a été déterminé par pénétration d'une aiguille (10mm de diamètre avec une tête hémisphérique de rayon 5mm). Le seuil d'écoulement est calculé selon la formule (1) proposée par Lootens et al. à partir des mesures de pénétration de l'aiguille [10]. Cette mesure est répétée à

¹ Auteur correspondant : thang.le@emse.fr

différentes échéances (10, 15, 25, 35, 45min) afin de suivre l'évolution du seuil d'écoulement en fonction du temps.

$$\tau_0 = \frac{F}{3\pi R^2 + 2\pi Rh} \quad (1)$$

Où τ_0 (Pa), F (N), R (m), h (m) sont, respectivement, le seuil d'écoulement, la force appliquée (proportionnelle à la masse de l'aiguille), le rayon de la demi-sphère et la pénétration de la partie cylindrique de l'aiguille.

Le rhéomètre capillaire a également été utilisé pour caractériser le comportement rhéologique du matériau. Il s'agit d'un piston (diamètre interne 60mm) sur lequel est appliquée une force pour extruder la pâte de ciment. En sortie de cylindre est placée une buse de 9mm de diamètre (2R) et de longueur (L) variable (30, 45, 90mm). Cinq paliers de vitesse ont été imposés (500, 158, 50, 15.8, 5mm/min). La force résultante est enregistrée au cours de l'essai.

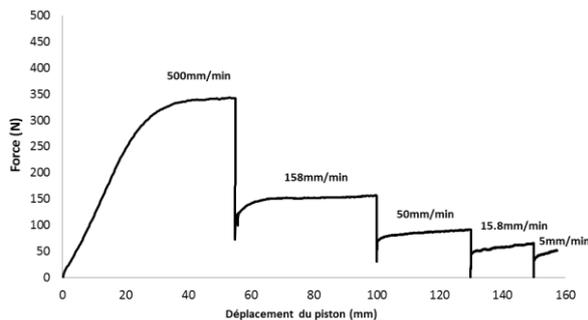
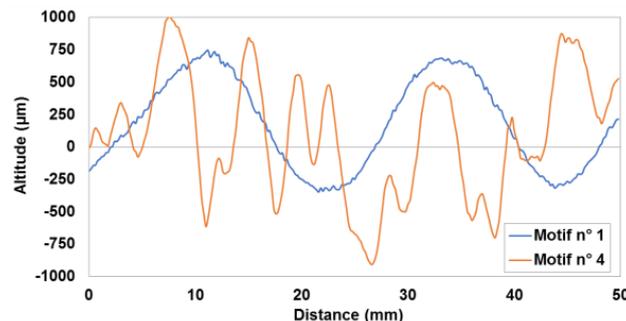


Fig. 1 Courbes force-déplacement du piston

Les pressions correspondantes sont calculées pour chaque palier de vitesse à partir de la Fig. 1. Les courbes de pression sont tracés en fonction du rapport L/R. Cette méthode permet de calculer la contrainte de cisaillement [15]. A partir de la contrainte et du taux de cisaillement, les paramètres rhéologiques (τ_0 , K , n) sont déterminés par un ajustement selon le modèle Herschel-Bulkley. La viscosité résiduelle est également déterminé selon la méthode proposée par Hot et al. [16].

b) Caractérisation de l'aptitude au maintien des reliefs réalisés sur la surface

Deux types de motif avec des profils différents ont été testés (Fig. 2). Après malaxage, le mortier est mis en place dans des moules en PVC de 10.5x10.5x1.2cm³. Un pressage d'une estampe sur la surface des échantillons est ensuite réalisé à différentes échéances (15, 25, 45 min). Les échantillons sont conservés dans un sac plastique à 22 ± 1°C, puis démoulées après 24h et séchées à l'air libre.



Motif n°1: $R_a = 416 \mu\text{m}$

Motif n°4: $R_a = 360 \mu\text{m}$

Fig. 2 Profile des motifs appliqués avec le R_a correspondant

Un profilomètre optique (crayon OP24000), dont le principe est basé sur la technologie d'imagerie confocale chromatique, a été utilisé pour étudier l'état de surface des échantillons. Une zone de 5x5cm² au centre de l'éprouvette est scannée. Les résultats sont ensuite traités par un program Matlab afin de reconstruire la surface de l'échantillon et d'obtenir la rugosité moyenne arithmétique (R_a) [17].

3. Résultats et discussions

a) Rhéologie des formulations

L'effet des taux de VMA et de résine sur le seuil d'écoulement obtenu par pénétration de l'aiguille sont présentés sur la Fig. 3.

Le seuil d'écoulement augmente quasi linéairement avec le taux de VMA. Cette augmentation s'amplifie avec le temps. En présence de résine, les seuils d'écoulement sont toujours inférieurs à ceux de la formulation sans résine. Cela peut s'expliquer par un retard d'hydratation engendré par la résine. En revanche, le seuil d'écoulement augmente peu avec le taux de résine.

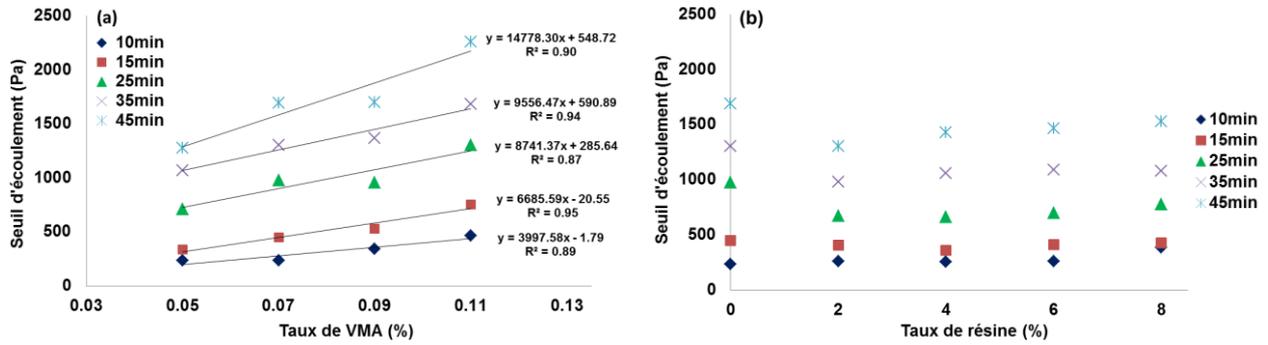


Fig. 3 Influence du taux de VMA (a) et de résine (b) sur le seuil d'écoulement (de 10 à 45min) par pénétration d'aiguille

Les résultats obtenus à l'aide du rhéomètre capillaire sont présentés sur la Fig. 4. Dans tous les cas, l'indice d'écoulement « n », (non présenté ici), est toujours inférieur à 1 indiquant un comportement rhéo-fluidifiant. Pour le seuil d'écoulement, Fig. 4 (a et c), la même tendance que précédemment est observée.

La viscosité résiduelle (μ_{res}) est présentée sur les Fig. 4 (b et d). La viscosité semble peu affectée par le taux de VMA et le temps d'hydratation, sauf dans le cas de 0.11% de VMA. Au contraire, une augmentation de la viscosité est constatée avec l'accroissement du taux de résine. Elle est également fortement affectée par le temps.

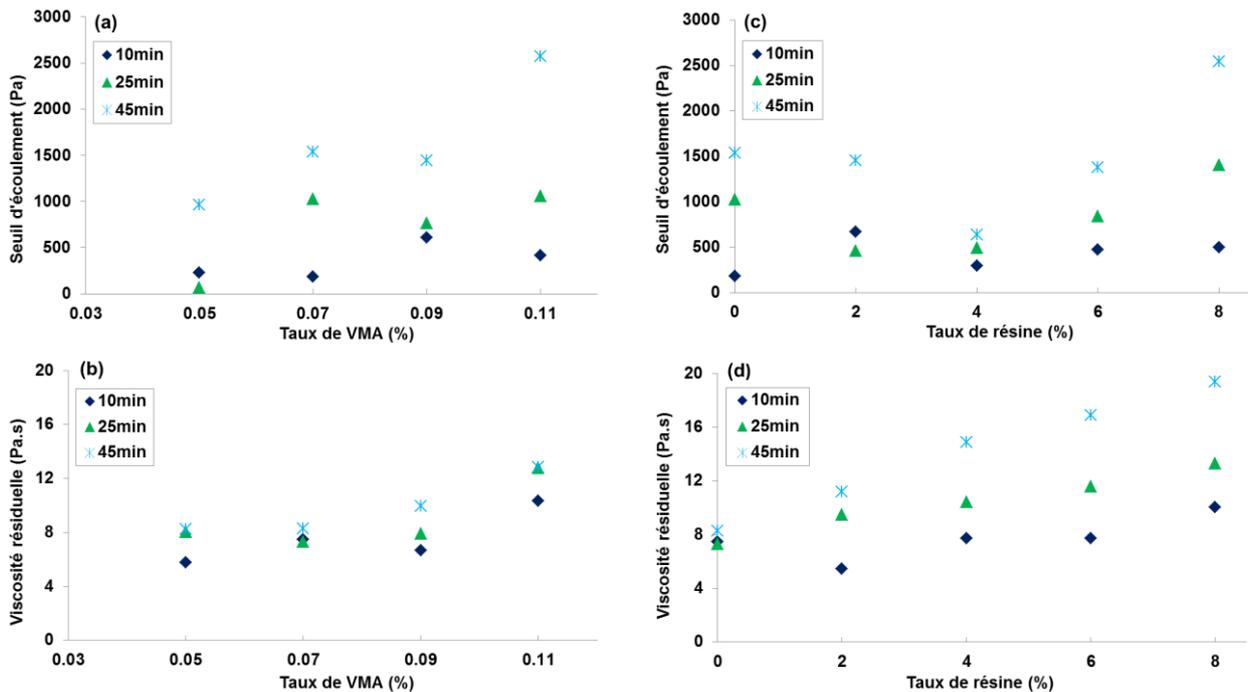


Fig. 4 Influence du taux de VMA (a, b) et de résine (c, d) sur le seuil d'écoulement et la viscosité (de 10 à 45min) obtenu par le rhéomètre capillaire

b) Aptitude au maintien des reliefs sur la surface

Quelle que soit la formulation testée, l'état de surface des échantillons mis en forme à 15min n'a pas été analysé car le mortier adhérait à l'estampe.

L'évolution du paramètre R_a en fonction des taux de VMA et de résine sont présentés, respectivement, sur la Fig. 5 (a, b) pour les motifs n°1 et n°4. La valeur de R_a des motifs originaux sont également représentées (lignes pointillées), représentant la cible à atteindre.

Quelle que soit la formulation, après estampage, la valeur de R_a est toujours inférieure à celle des motifs originaux. Cela peut s'expliquer par un comportement élastique du matériau. En revanche, dans le cas du motif n°4, les valeurs de R_a sont plus proches du R_a de l'estampe. Cela signifie que ce motif est plus facilement réalisable.

Une forte influence du taux de VMA sur le R_a des échantillons mis en forme avec le motif n°1 est notée. Au contraire, pas d'influence du taux de résine sur le R_a n'est observée avec ce motif. Quel que soit le motif, le moment d'application de l'estampe semble avoir un impact sur le R_a uniquement pour les formulations contenant de la résine. Pour ces formulations, plus le pressage de l'estampe est réalisé tard, meilleur est le profil obtenu.

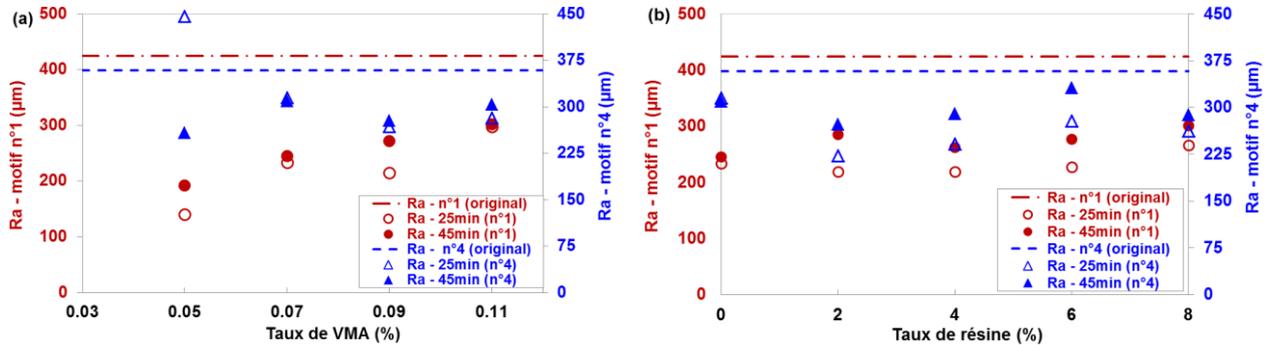


Fig. 5 Influence du taux de VMA (a) et de résine (b) sur le paramètre R_a des échantillons

4. Conclusions

Le taux de VMA influence fortement le seuil d'écoulement des pâtes et également sur leur capacité à conserver un relief, en particulier pour le motif n°1. Une faible influence sur la viscosité est observée avec le VMA. En revanche, le taux de résine affecte peu le seuil d'écoulement et le maintien du motif par rapport au VMA mais fortement la viscosité. Pour les formulations contenant de la résine, plus le pressage du motif est réalisé tard, meilleur est le profil obtenu.

5. Remerciements

Les auteurs remercient le projet FUI « Printcim » pour le financement de l'étude et les partenaires pour les discussions scientifiques. Les auteurs remercient également l'équipe de techniciens (M.-C. Bartholin, R. Marc, B. Allirand) pour leur support technique.

6. Références

- [1] S. M. Allen *et al.*, 2000, *Met. Mater. Int.*, 6, 6.
- [2] J. Schwaiger *et al.*, in *IMECE 2013*, 2013.
- [3] C. Gosselin *et al.*, 2016, *Mater. Des.*, 100.
- [4] T. T. Le *et al.*, 2012, *Mater. Struct.*, 45.
- [5] S. Lim *et al.*, 2012, *Autom. Constr.*, 21, 1.
- [6] G. J. Gibbons *et al.*, 2010, *Adv. Appl. Ceram.*, 109, 5.
- [7] T. T. Le *et al.*, 2012, *Cem. Concr. Res.*, 42, 3.
- [8] S. C. Paul *et al.*, 2017, *Arch. Civ. Mech. Eng.*, 18, 1.
- [9] R. Alfani *et al.*, 2005, *Mater. Struct.*, 38.
- [10] D. Lootens *et al.*, 2009, *Cem. Concr. Res.*, 39, 5.
- [11] N. Khalil *et al.*, 2017, *Constr. Build. Mater.*, 157.
- [12] S. Srinivasan *et al.*, 1999, *Concr. Sci. Eng.*, 1, 11.
- [13] R. Alfani *et al.*, 2007, *Rheol. Acta*, 46, 5.
- [14] X. Zhou *et al.*, 2004, *Mater. Struct.*, 38, 275.
- [15] Y. Son, 2007, *Polymer (Guildf.)*, 48, 2.
- [16] J. Hot *et al.*, 2014, *Cem. Concr. Res.*, 63.
- [17] E. S. Gadelmawla *et al.*, 2002, *J. Mater. Process. Technol.*, 123, 1.