



**HAL**  
open science

## Mise au point d'une formulation de premix BFUP pour construction additive

P-I Niang, Viet-Giang Nguyen, Johan Colin, Jena Jeong

► **To cite this version:**

P-I Niang, Viet-Giang Nguyen, Johan Colin, Jena Jeong. Mise au point d'une formulation de premix BFUP pour construction additive. DiXite3dPrint : Fabrication Additive pour la Construction. Quelle Actualité Nationale?, École des Ponts ParisTech, Jan 2019, Champs-sur-Marne, France. hal-02119467

**HAL Id: hal-02119467**

**<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-02119467>**

Submitted on 3 May 2019

**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.

## Mise au point d'une formulation de premix BFUP pour construction additive

### Study of Premixed Ultra-High-Performance Concrete formulation for additive construction

P-I.NIANG<sup>1</sup>, V-G.NGUYEN<sup>1</sup>, J.COLIN<sup>1</sup>, J.JEONG<sup>1</sup>

Institut de Recherche en Constructibilité, Laboratoire Ingénierie Des Bétons

École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'industrie

28 avenue du Président Wilson - 94234 Cachan Cedex

L'objectif de ce travail est de préparer une formulation de premix BFUP imprimable [1]. Pour ce faire, nous avons étudié le comportement rhéologique et notamment la thixotropie de différentes formulations de BFUP en les comparant à un matériau modèle qui est l'argile. Ensuite, nous avons étudié le temps de durcissement du BFUP à partir de l'enfoncement via l'aiguille Vicat. Ses performances mécaniques élevées combinées à ces propriétés rhéologiques particulières font du premix BFUP un matériau intéressant pour la fabrication additive. Pour contrôler l'impression 3D de BFUP, une investigation du comportement rhéologique, notamment la thixotropie, ainsi que le temps de durcissement du BFUP nécessaire à la réalisation des couches sont indispensables.

Dans cette étude, nous avons préparé les 3 mélanges, BFUP 1, BFUP 2 et BFUP 3 dont les compositions sont présentées dans le tableau 1. Il est rappelé que le matériau de référence est l'argile (Gerstaecker) pour notre imprimante. Les échantillons ont été mélangés dans une salle climatisée. La durée de fabrication des mélanges est conforme à celle de la fabrication de pâte de ciment. Le temps entre la fabrication des échantillons et les essais rhéologiques est inférieur à une minute.

Matériaux / Composants	Argile	BFUP1	BFUP2	BFUP3
Eau (%)	23	23	17	17
Superplastifiant (%)	-	-	2	4
Retardateurs (%)	-	-	-	2
Agent de cohésion (%)	-	-	3	2

Tableau 1 : Présentation des échantillons

Dans un premier temps, nous avons effectué des essais rhéologiques sur nos matériaux. Pour ce faire, nous avons utilisé le viscosimètre RhéolabQC de Anton Paar disponible au laboratoire. Nous constatons que les BFUP 1 et 2 ont un seuil de cisaillement très élevés. Le comportement de ces 2 BFUP nous laisse croire que ces matériaux ont une forte thixotropie. Cependant le BFUP 3 ainsi que l'argile montrent le comportement d'un fluide Newtonien. Afin d'illustrer le comportement thixotropique de nos échantillons, nous avons utilisé le protocole suivant [2]; les échantillons sont soumis à un taux de cisaillement constant pendant une certaine durée, puis nous le faisons varier brusquement et nous enregistrons les contraintes de cisaillement qui en résultent afin d'analyser la réponse. Ainsi nous obtenons les résultats ci-dessous illustrés sur la figure 1.

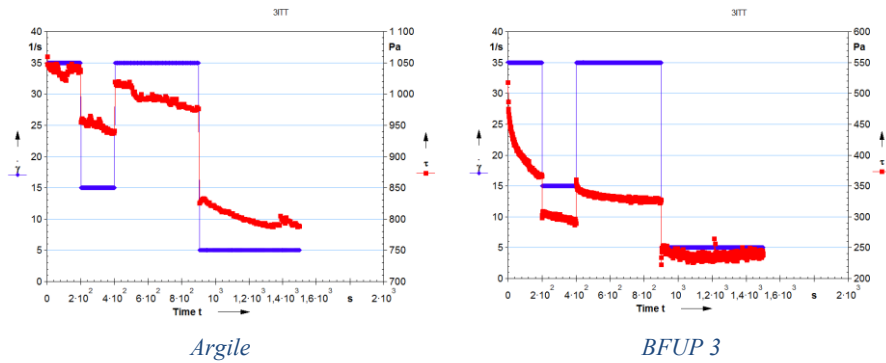


Figure 1: Présentation les résultats de thixotropie

Après avoir fait le test avec l'argile, l'objectif sera donc de réduire au maximum la thixotropie du BFUP. Pour ce faire nous avons dû réaliser de nombreux tests avec plusieurs formulations de BFUP. Dans le tableau suivant, nous avons rassemblé les caractéristiques des différentes formulations obtenues à travers des essais rhéologiques et de la thixotropie. Le symbole positif présente les caractéristiques adaptées à l'impression.

Propriétés	Argile	BFUP 1	BFUP 2	BFUP 3
Viscosité	+	--	-	+
Imprimabilité	++	--	--	+

Tableau 2: Résumé des caractéristiques imprimables

Une autre caractéristique très importante pour estimer le temps de l'impression de béton est celle du temps de prise. Pour cela, nous avons déterminé le temps de prise pour BFUP 3 à partir de l'aiguille de Vicat. Nous avons réussi à imprimer avec la formulation du BFUP3 diverses géométries comme le cône octogonal, le cube creux et le vase qui sont illustrés dans la figure 2. Pour imprimer nous avons fait varier la vitesse d'impression entre 6 et 24 mm/s et le débit d'écoulement du matériau entre 452 et 905 mm<sup>3</sup>/s.



En cours d'impression



Le cône octogonal (d=8cm ; h=5cm ; temps=21 minutes)

Figure 2 : Exemples d'échantillons réalisés

En conclusion, nous pouvons dire que le BFUP est un matériau autoplaçant adapté pour l'impression 3D. En effet, sa nature autoplaçante lui permet d'être facilement pompée et écoulee à travers divers conduits ce qui fait de lui un matériau naturellement imprimable. De plus, ses caractéristiques mécaniques exceptionnelles font qu'il est assez autoportant pour

pouvoir supporter la superposition de couches successives, qui est le principe de base de la fabrication additive. Notre travail a permis de mettre au point une formule de BFUP imprimable, grâce à la démarche de rhéologie associée au suivi de l'enfoncement via l'aiguille VICAT. Cependant la machine n'étant pas adaptée, il y a beaucoup de contraintes tels que : l'impossibilité de pouvoir imprimer un modèle de manière autonome sans avoir besoin de surveillance et de variation des paramètres d'impression. Comme autres problèmes, il y a, l'impossibilité de déterminer l'évolution de la résistance mécanique du BFUP couche après couche (à très court terme) afin de savoir jusqu'à quelle hauteur la structure sera stable.

### **Références**

- [1] Morrison, Ian (2003). "Dispersions". Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Kirk-Othmer encyclopedia of Chemical Technology.
- [2] F . Fabbris 44ème Colloque Annuel du Groupe Français de Rhéologie Strasbourg 4,5 et 6 novembre 2009 (page 227)