

# Etude du comportement rheologique du beton renforce par des fibres organiques

Imane Bentegri, Tien Tung Ngo, Othmane Boukendakdji, Hamza Soualhi, El Hadj Kadri

▶ **To cite this version:**

Imane Bentegri, Tien Tung Ngo, Othmane Boukendakdji, Hamza Soualhi, El Hadj Kadri. Etude du comportement rheologique du beton renforce par des fibres organiques. RUGC 2021, May 2021, CERGY PONTOISE, France. hal-03867778

**HAL Id: hal-03867778**
**https://cyu.hal.science/hal-03867778**

Submitted on 23 Nov 2022

**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.

# Etude du comportement rheologique du beton renforce par des fibres organiques

**Imane BENTEGRI[1,2], Tien Tung NGO[1], Othmane BOUKENDAKDJI[2], Hamza SOUALHI[3] ,El-Hadj KADRI[1].**

[1] *Université de Cergy Pontoise, France.*

[2] *Université de Yahia Fares, Algérie.*

[3] *Université Amar Telidji Laghouat, Algérie.*

**RESUME** Les fibres polypropylènes ont été largement utilisées dans le béton en raison de leur effet bénéfique sur ces performances physiques et mécaniques. En revanche, leur effet sur les propriétés rhéologiques et tribologiques du béton frais est souvent ignoré. En effet, la majorité des résultats publiés sur les propriétés des bétons fibrés à l'état frais concernent uniquement l'évaluation de l'ouvrabilité. Pour répondre à ce manque, cette étude a pour objectif d'étudier le comportement rhéologique et tribologique des bétons fluides renforcés par des fibres polypropylènes. Afin d'accomplir cet objectif, deux séries de formulations ont été effectuées. Dans la première série, trois formulations de béton sans superplastifiant ont été étudiées avec l'introduction des fibres polypropylènes de 19 mm à plusieurs dosages volumique (0,12% ;0,24% ; 0,36%). Dans la deuxième série, les bétons testés dans la 1ère série ont été étudiés en ajoutant plusieurs superplastifiant à différents pourcentages afin de maintenir une bonne ouvrabilité. Les résultats ont montré que l'ajout des fibres dans les bétons dégrade l'ouvrabilité ainsi que les paramètres rhéologiques et tribologiques. Cependant, l'introduction de superplastifiant a rattrapé l'affaissement, la viscosité et la constante visqueuse ce qui permet de surmonter l'effet négatif d'inclusion des fibres dans le béton.

**Mots-clefs :** Béton fibré, Rhéologie, Tribologie, Fibre Polypropylène.

## I. INTRODUCTION

Au cours des années, de nombreux progrès ont été apportés aux matériaux cimentaires utilisés dans le domaine de construction. Ces progrès consistent essentiellement en la modification de la formulation de ces matériaux par l'ajout d'additifs ou le remplacement de leurs constituants principaux par des matériaux alternatifs. Le choix du type de modification dépend principalement des performances recherchées, tout en assurant l'obtention d'un béton économique et écologique. Dans ce contexte, le béton renforcé par des fibres est apparu pour but de limiter le phénomène de retrait et de fissuration des bétons.

Dans le cas des bétons ordinaires, de nombreux travaux de recherche ont été menés sur leur performance mécanique avec l'introduction des fibres polypropylènes. En revanche, la majorité des résultats publiés sur les propriétés des bétons fibrés à l'état frais concernent uniquement l'évaluation de l'ouvrabilité à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams, en ignorant

souvent leurs propriétés rhéologiques (la viscosité plastique et le seuil de cisaillement) et tribologiques. Étant donné que les bétons de même affaissement peuvent avoir des propriétés rhéologiques et tribologiques différentes, il est primordial d'étudier ses propriétés vu qu'elles jouent un rôle clé dans le pompage et la mise en place des bétons.

À cet effet, l'objectif de cette recherche est d'étudier l'effet d'addition des fibres polypropylène en plusieurs dosages sur le comportement rhéologique et tribologique du béton ordinaire avec et sans adjuvant.

## II. Matériaux et méthode

### ➢ Matériaux

Le ciment employé dans le cadre de cette étude est un ciment Portland du type CEM I 52,5 N CE CP2 NF, fabriqué par EQIOM en France. Ce ciment est caractérisé par une densité de 3,1 et une surface spécifique de 0,43 m²/g. Le squelette granulaire est composé d'un gravillon concassé 6,3/20mm et un sable semi-concassé lavé de dimension 0/4mm. Les fibres polypropylènes (19mm) utilisées dans le présent travail sont produites par SikaFibre®, montrées sur la Figure 1. Finalement, l'adjuvant utilisé dans cette étude est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération commercialisé sous le nom de TEMPO12 fourni par Sika. Ce dernier est à base de polycarboxylates et composé de 29,5 % d'extrait sec.

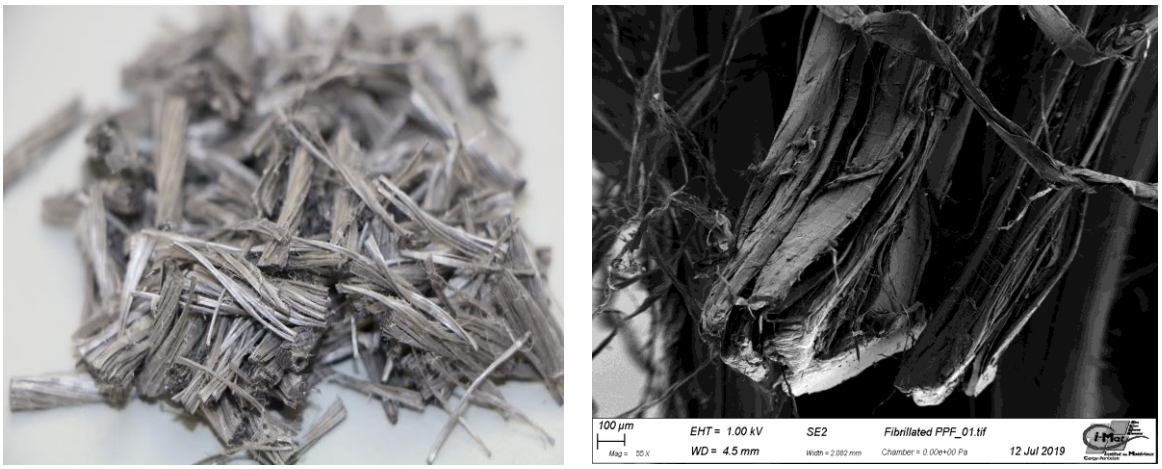



Figure 1. Image de la fibre utilisée en échelle normale et par MEB.

### ➢ Méthode de caractérisation

Dans le cadre de ce travail, deux essais principaux ont été effectués :

**1- Essai de rhéologie**

La rhéologie des bétons formulés dans le cadre de cette étude a été étudiée à l'aide d'un rhéomètre de type couette développé au sein du laboratoire L2MGC par Soualhi et al. (Soualhi et al., 2017). L'essai consiste, en premier lieu, à faire tourner la pale selon un profil de vitesse imposé

(Figure 2 (b)) à vide (en absence du béton) et refaire la même opération en présence du béton. Le résultat brut de l'essai se présente sous la forme d'une fonction linéaire :

$$M=M_0+k\Omega \qquad \text{(Équation 1)}$$

Avec :

M (N.m) est le couple total appliqué sur le béton ;

$M_0$(N.m) le couple à l'origine ;

K (N.m.s) un coefficient de régression linéaire ;

Ω (rad/s) est la vitesse angulaire de rotation de la pale.

L'exploitation des mesures rhéométriques consiste à déterminer l'évolution de la contrainte de cisaillement (τ) en fonction du taux de cisaillement ($\gamma$ ) à partir de la paire (Mi- Ωi) mesurée. En assimilant le comportement du béton à un fluide Binghamien, les paramètres rhéologiques $\tau_0$ (seuil de cisaillement) et μ (viscosité plastique) peuvent être calculés en utilisant les équations de Reiner-Riwlin (équation 2 et 3) selon le type de cisaillement produit.

$$\Omega = \frac{M}{2\pi h\mu}\left(\frac{1}{R_1^2}-\frac{1}{R_2^2}\right)+\frac{\tau_0}{\mu}ln\frac{R_2^2}{R_1^2} \qquad \text{Cisaillement totale (Équation 2)}$$

$$\Omega = \frac{M}{2\pi h\mu}\left(\frac{1}{R_1^2}-\frac{1}{R_c^2}\right)+\frac{\tau_0}{\mu}ln\frac{R_c^2}{R_1^2} \qquad \text{Cisaillement partiel (Équation 3)}$$

R1 (m) : le rayon de la pale ;

R2 (m) : le rayon du récipient ;

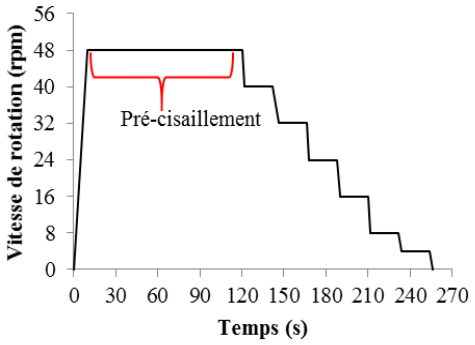
h(m) : la hauteur de la pale ;

Rc(m) : le rayon critique qui représente la limite du cisaillement.

Il est à noter que l'erreur de calcul du rhéomètre est 5,8% pour la viscosité plastique et 3,1% pour le seuil de cisaillement.



(a)




(b)

Figure 2. Rhéomètre utilisée (a), le profil de vitesse du rhéomètre (b) (Soualhi et al., 2017).

### 2- Essai de tribologie

L'essai de tribologie se fait à l'aide d'un tribomètre à cylindre coaxial développé au sein du laboratoire L2MGC par NGO et al. (Ngo et al., 2010). L'essai consiste à mettre en rotation à différentes vitesses (selon le profil imposé) un cylindre en acier lisse dans un échantillon de béton frais. Au cours de l'essai, une couche de lubrification (appelée couche limite) est formée à l'interface du cylindre tournant. Les couples de frottement requis à l'interface pour maintenir la rotation du cylindre sont enregistrés. Le résultat brut de l'essai réalisé avec l'appareil tribométrique se présente sous la forme :

$$T=T_0+kV \qquad \text{(Équation 4)}$$

Où ;

T (N.m) est le couple total appliqué sur le cylindre tournant ;

$T_0$ (N.m) le couple à l'origine ;

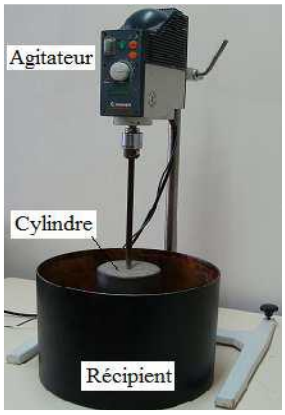
k (N.m.s) un coefficient de régression linéaire;

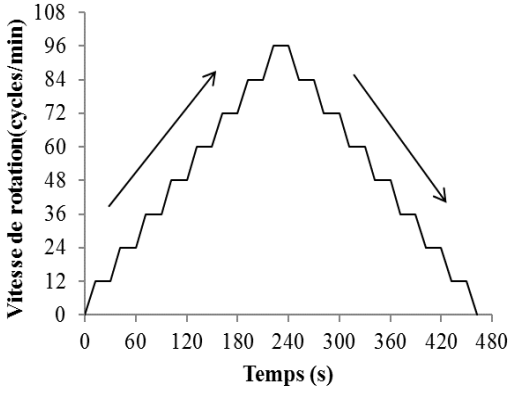
V (tour/s) est la vitesse de rotation du cylindre.

A partir des résultats bruts de l'essai de $T_0$ et V (équation 4), les paramètres tribologiques $\tau_t$ (seuil d'interface) et $\eta$ (constante visqueuse) sont calculés comme suit :

$$\eta = \frac{K}{(2\pi)^2 R^3 h}\left(en\ Pa.\frac{S}{m}\right) \qquad \text{(Équation 5)}$$

$$\tau = \frac{T_0}{2\pi R^2 h} + \frac{K}{(2\pi)^2 R^3 h}.v\ (en\ Pa) \qquad \text{(Équation 6)}$$




(a) (b)

Figure 3: Tribomètre utilisé (a), profil de vitesse de rotation (b) (Ngo et al., 2010).

### ➢ Méthodologie expérimentale

En premier lieu, trois formulations de béton ont été établies en introduisant différents dosages en fibres (0,12 ; 0,24 et 0,36), ces dernières ont été testé vis-à-vis l'affaissement, la rhéologie et la tribologie.

Ensuite, afin d'éliminer l'effet négatif d'introduction des fibres sur les propriétés du béton frais, un adjuvant de type polycarboxylate a été ajouté aux mélanges. Pour cela, les formulations précédentes ont été réeffectué avec l'ajout de l'adjuvant, tout en évaluant leur ouvrabilité, comportement rhéologique et tribologique. Les détails de 6 formulations effectuées sont présentés dans le tableau 1.

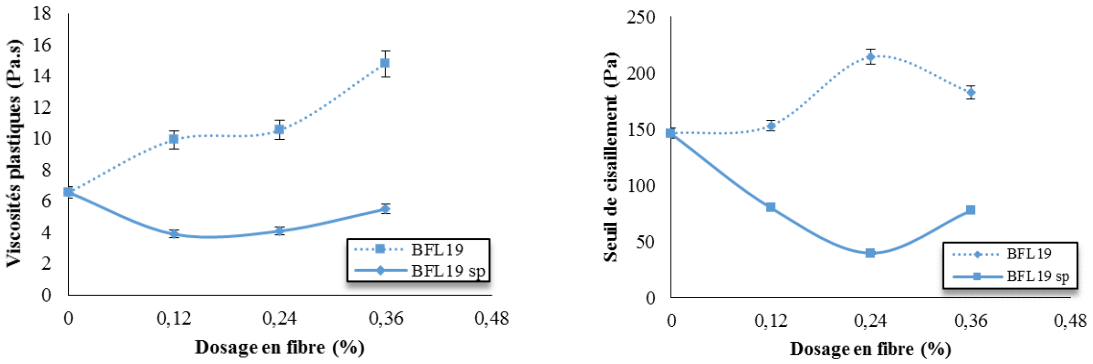
Tableau 1. Compositions des bétons testés.

| *Séries* | *Bétons* | *$V_{pâte}$ ($m^3$)* | *E/C* | *G/S* | *Fibre %* | *Ciment (Kg)* | *Eau (Kg)* | *Gravillons (Kg)* | *Sable (Kg)* | *Sp (%)* | *Affaissement (cm)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | BFL19 | 0,380 | 0,5 | 1,44 | 0,12 | 462 | 231 | 963,1 | 668,9 | - | 19 |
| | | | | | 0,24 | | | | | | 17 |
| | | | | | 0,36 | | | | | | 11 |
| 2 | BFL19sp | 0,380 | 0,5 | 1,44 | 0,12 | 462 | 231 | 963,1 | 668,9 | 0,2 | 22 |
| | | | | | 0,24 | | | | | 0,4 | 22 |
| | | | | | 0,36 | | | | | 0,4 | 20 |

## III. Résultats et discussions

### 1. Comportement rhéologique

La Figure 4 représente l'évolution de la viscosité plastique et du seuil de cisaillement des bétons testés en fonction du dosage en fibre, avec et sans adjuvant. Une augmentation des deux paramètres a été enregistré en fonction de l'augmentation du dosage en fibre. Cela est due à une modification de la structure granulaire et à une diminution de la compacité maximale causée par l'introduction des fibres. De plus, la présence des fibres dans le béton entrave le mouvement des granulats durant le test rhéologique (le cisaillement), ce qui entraîne une augmentation de la viscosité plastique et du seuil de cisaillement. Dans ce contexte, *Abdelrazi et Khayat* ont étudié la rhéologie du béton autoplaçant renforcé par des fibres polypropylènes où il a été révélé que l'introduction des fibres à un dosage de 0,5 % induit une augmentation des paramètres rhéologiques d'environ 50 %, ce qui est confirmé avec les résultats trouvés dans la présente étude (Abdelrazik and Khayat, 2020). En revanche, l'introduction de l'adjuvant a permis de rattraper la fluidité et d'améliorer les propriétés rhéologiques où les résultats obtenus sont inférieurs aux valeurs de béton de référence sans fibre. Par ailleurs, un écoulement stable des mélanges durant l'essai a été observé avec une amélioration de dispersion des fibres dans les mélanges.




(a) (b)

Figure 4. Propriétés rhéologiques : viscosité plastique (a) et seuil de cisaillement (b) des bétons fibrés avec et sans adjuvant en fonction de dosage en fibre.

## 2. Comportement tribologique

Les résultats tribologiques sont présentés sur la Figure 5. D'après cette dernière, il apparaît que le seuil d'interface n'est pas affecté par la présence de l'adjuvant où les deux courbes (du béton avec et sans adjuvant) sont quasiment superposées. Cela est dû à l'effet faible de ce type de fibre sur le seuil d'interface. Le dernier mélange de 0,36 %FPP19 fait exception avec un seuil plus faible par rapport à celui du béton sans adjuvant, ce qui est probablement dû au pourcentage élevé d'adjuvant (0,4 %). Quant à la constante visqueuse, les résultats obtenus pour le cas de béton fibré sans adjuvant ne sont pas significatifs car un phénomène de ségrégation a été observé au moment de l'essai. En effet, le mouvement des fibres dans le mélange durant le cisaillement est gêné par la forme de cylindre plein du tribomètre et donc les fibres se concentrent autour du cylindre et cause un phénomène de ségrégation, sur cela il a été conclu que le tribomètre n'est pas adapté à ce type de béton. Par ailleurs, l'ajout de l'adjuvant a montré une amélioration de la constante visqueuse dont les valeurs obtenues sont quasiment identiques à celles obtenue pour le béton témoin (sans fibre).

En effet, le superplastifiant est absorbé par chaque particule de ciment, et grâce à la répulsion électrostatique et aux effets d'empêchement stérique du superplastifiant dans les mélanges, l'état de floculation des particules de ciment avec les fibres est détruit. En conséquence, les fibres sont mieux dispersées dans le béton et l'affaissement, les propriétés rhéologiques et tribologiques s'améliorent.

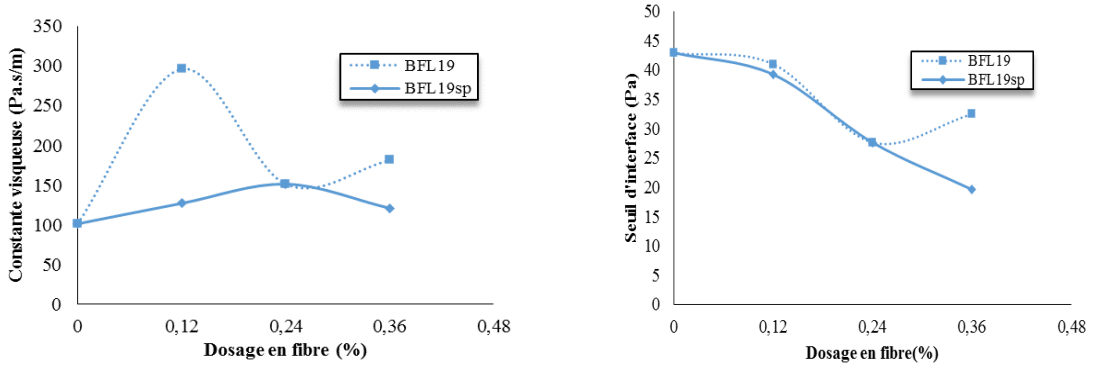



Figure 5. Propriétés tribologiques : constante visqueuse (a) et seuil d'interface (b) des bétons fibrés avec et sans adjuvant en fonction de dosage en fibre.

## IV. Conclusion

À travers cette étude, l'effet de dosage en fibres polypropylènes sur le comportement rhéologique et tribologique du béton a été évalué. Sur la base des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être établies :

- L'introduction des fibres polypropylènes dans le béton induit une augmentation de la viscosité plastique et le seuil de cisaillement. Cette augmentation est proportionnelle au dosage en fibres.
- En ce qui concerne l'essai tribologique, il a été conclu que les valeurs de la constante visqueuse obtenus ne sont pas significatives, et le seuil d'interface n'a pas été affecté par l'introduction des fibres.
- L'ajout d'un superplastifiant permet d'améliorer le comportement rhéologique et tribologique de tous les mélanges, et d'assurer une dispersion homogène des fibres.
- La viscosité plastique du béton fibré avec adjuvant est trois fois inférieure à celle du béton sans adjuvant. En ce qui concerne la constante visqueuse, elle était approximativement constante, et l'essai de tribologie a été réalisé sans aucun problème de ségrégation.

## REFERENCES

Abdelrazik, A.T., Khayat, K.H., 2020. Effect of fiber characteristics on fresh properties of fiber-reinforced concrete with adapted rheology. Construction and Building Materials 230, 116852. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116852

Ngo, T.T., Kadri, E.H., Bennacer, R., Cussigh, F., 2010. Use of tribometer to estimate interface friction and concrete boundary layer composition during the fluid concrete pumping. Construction and Building Materials 24, 1253–1261. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.010

Soualhi, H., Kadri, E.-H., Ngo, T.-T., Bouvet, A., Cussigh, F., Tahar, Z.-E.-A., 2017. Design of portable rheometer with new vane geometry to estimate concrete rheological parameters.

Journal of Civil Engineering and Management 23, 347–355. https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1128481

Yin, S., Tuladhar, R., Riella, J., Chung, D., Collister, T., Combe, M., Sivakugan, N., 2016. Comparative evaluation of virgin and recycled polypropylene fibre reinforced concrete. Construction and Building Materials 114, 134–141. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.162