



**HAL**  
open science

## Influence de la masse molaire d'un polymère sur le mouillage d'un substrat cellulosique

Julien Cellier, Valentin Rougier, Moussa Gomina, Joël Bréard

► **To cite this version:**

Julien Cellier, Valentin Rougier, Moussa Gomina, Joël Bréard. Influence de la masse molaire d'un polymère sur le mouillage d'un substrat cellulosique. Journées Nationales sur les Composites, Jun 2021, Conférence Virtuelle, France. pp.1-4. hal-03458922

**HAL Id: hal-03458922**

**<https://hal.science/hal-03458922>**

Submitted on 30 Nov 2021

**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 la masse molaire d'un polymère sur le mouillage d'un substrat cellulosique**

### *Influence of molecular weight of a polymer on dynamic wetting of a cellulosic substrate*

**Julien Cellier<sup>1</sup>, Valentin Rougier<sup>1</sup>, Moussa Gomina<sup>1</sup>, Joël Bréard<sup>2</sup>**

1 : CRISMAT, UMR 6508  
ENSICAEN, 6 Boulevard Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex 4  
e-mail : [julien.cellier@ensicaen.fr](mailto:julien.cellier@ensicaen.fr) , [valentin.rougier@ensicaen.fr](mailto:valentin.rougier@ensicaen.fr) et [moussa.gomina@ensicaen.fr](mailto:moussa.gomina@ensicaen.fr)

2 : ABTE  
Université de Caen Normandie, Boulevard Maréchal Juin ,14032 Caen  
e-mail : [joel.breard@unicaen.fr](mailto:joel.breard@unicaen.fr)

#### **1. Introduction**

Dans la mise en œuvre de composites à matrice polymère, l'étape d'imprégnation associée au mouillage est essentielle car elle contrôle la santé matière et les performances des matériaux. La disposition du substrat au mouillage est souvent estimée par la mesure des angles de contact ; les méthodes les plus pratiquées sont celles de la goutte pendante et de Wilhelmy permettant de caractériser la tension de surface et les angles de contact statique et dynamique. L'effet des masses molaires sur la tension de surface et l'angle de contact statique avait été étudié en fonction de la température en utilisant un PA66 et la méthode de la goutte pendante et la goutte posée [1].

Par la suite, des mesures avec différentes masses molaires de PEG (poly éthylène glycol) ont été faites afin de mieux appréhender les mécanismes de la dynamique du mouillage en température [2]. L'étude a bien fait ressortir l'effet de la masse molaire sur l'évolution de l'angle de contact dynamique en fonction du nombre capillaire. Rappelons que le nombre capillaire est une grandeur sans dimension traduisant l'importance relative des forces visqueuses et capillaires.

Dans ce travail, des mesures d'angle de contact dynamique ont été menées afin d'analyser l'effet de la masse molaire moyenne du polymère sur les interactions liquide/solide en environnement contrôlé (température et hygrométrie) et en régime forcé (vitesse).

#### **2. Démarche**

##### **2.1 Substrat cellulosique**

Le substrat choisi est un film cellulosique fabriqué à base de cellulose biodégradable dérivée de la pulpe de bois (NatureFlex™ 23 NP fourni par Innovia). Le dépôt de glycérol en surface a été retiré par traitement chimique.

##### **2.2 Polymère utilisé**

Neuf nuances de PEG, différentes par leur masse molaire, ont été utilisés. Leur viscosité, densité et tension de surface ont été déterminées au préalable. Ces polymères ont été choisis pour leur caractère partiellement mouillant vis-à-vis du substrat cellulosique.

##### **2.3 Mouillage du film de cellulose par les PEG**

Le mouillage du film de cellulose par les différents PEG a été analysé en statique et en dynamique par la méthode de Wilhelmy. Le mouillage statique consiste à immerger le film

---

cellulosique dans le polymère liquide durant plusieurs heures afin d'obtenir un angle apparent d'équilibre qui est un paramètre des modèles d'ajustement des données expérimentales. Le mouillage dynamique consiste à immerger le film cellulosique dans le polymère liquide à différentes vitesses, ce qui permet d'obtenir les angles d'avancée en fonction des vitesses d'immersion.

#### 2.4 Analyse du mouillage dynamique

En traçant les angles d'avancée en fonction du nombre capillaire et en ajustant les points expérimentaux à l'aide du modèle proposé, on peut déterminer les paramètres d'interaction tels que la distance effective moyenne entre deux sites réactifs du substrat et la fréquence des déplacements dans le sens de l'avancée et de la reculée entre le film de cellulose et les PEG.

### 3. Résultats

L'analyse de la viscosité des PEG a permis de mettre en évidence une masse critique d'enchevêtrement  $M_c$  (Fig. 1) [3].

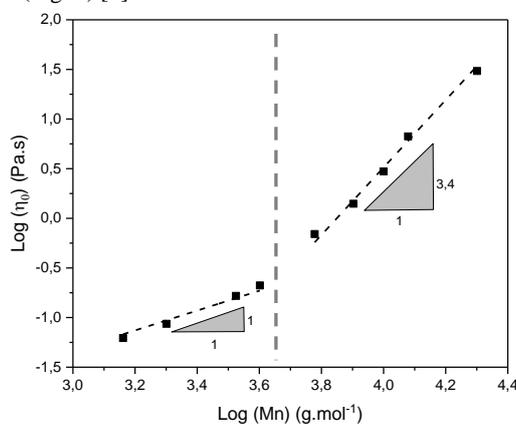


Fig. 1 Evolution de la viscosité en fonction de la masse molaire du PEG

Les mouillages statique et dynamique du film de cellulose par les PEG ont été caractérisés par la méthode Wilhelmy et une partie des résultats est présentée sur les Fig. 2 et Fig.3.

Il est observé que selon la masse molaire du polymère (plus faible ou plus élevée que la masse critique d'enchevêtrement), les angles de mouillage en statique et en dynamique sont notablement modifiés. Ces résultats témoignent des changements dans les interactions entre le substrat et le polymère.

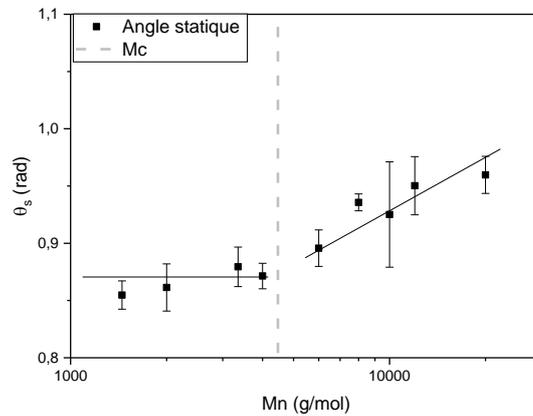


Fig. 2 Evolution des angles statiques en fonction de  $M_n$

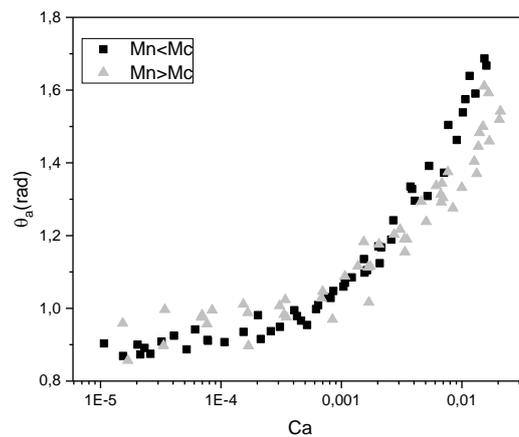


Fig. 3 Evolutions des angles dynamiques en fonction de  $Ca$  et  $M_n$

Par la suite, les données expérimentales ont été analysées à l'aide de différents modèles de dynamique du mouillage et cela a permis d'identifier les mécanismes mis en jeu au cours de ce processus [4]. Les données expérimentales et les valeurs obtenues par ajustement des modèles sont présentés en Fig.4.

Cette étude a permis de révéler qu'une dissipation liée à la friction des molécules dans la zone de la ligne de contact est bien décrite par la théorie de la cinétique moléculaire pour de faibles nombres capillaires (modèle MKT [5]). Aux valeurs élevées du nombre capillaire, la prédominance de la dissipation visqueuse a pu être retranscrite par le modèle de Cox-Voinov (modèle HD [6]).

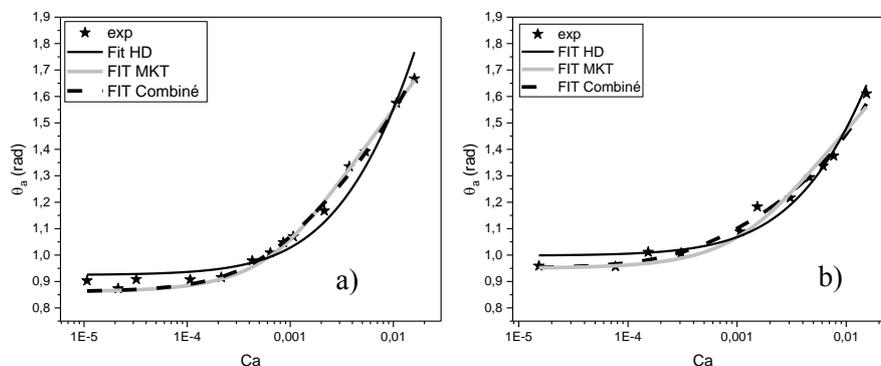


Fig. 4 Ajustements des modèles à l'ensemble des données a) 2000 g/mol, b) 12000 g/mol

Le modèle combiné de Petrov-Petrov [7] a permis de concilier ces deux mécanismes sur une large gamme de nombres capillaires. Il semble tout indiqué pour modéliser la dynamique du mouillage par des PEG de différentes masses molaires en prenant en compte deux sources de dissipation complémentaires, microscopique et visqueuse.

#### Remerciements

Les auteurs remercient le Dr. Benoît Duchemin pour son aide et ses conseils dans la mise en œuvre expérimentale. Ils remercient également DEPESTELE pour la fourniture des fibres de lin et BpIFrance pour son appui financier au projet TRAMPLIN.

#### Références

- [1] G. Cazaux, « Faisabilité de procédés LCM pour l'élaboration de composites renfort continu à matrice thermoplastique polyamide », Thèse de doctorat de l'Université du Havre, 2016.
- [2] M.F. Pucci, B. Duchemin, M. Gomina, J. Bréard, « Temperature effect on dynamic wetting of cellulosic substrates by molten polymers for composite processing », "Composite Part A, vol 114, pp307-315, 2018.
- [3] T.G. Mezger, The rheology handbook: for user of rotational and oscillatory rheometers, Vincentz Network, 2011.
- [4] V. Rougier, « Modélisation multi-échelles de l'imprégnation d'un renfort fibreux : morphologie, mouillage et perméabilité », Thèse de doctorat de Normandie Université, 2021.
- [5] Hoffman, R. L., « A study of the advancing interface. I. Interface shape in liquid—gas systems ». Journal of Colloid and Interface Science 50.2, 1975, p. 228-241.
- [6] Blake, T. D. « Dynamic Contact Angles and Wetting Kinetics ». Dans : Wettability. Taylor & Francis. Surfactant Science series 49. John C. Berg, 1993, p. 251-309.
- [7] P. G. Petrov and J. G. Petrov, "A combined molecular-hydrodynamic approach to wetting kinetics," *Langmuir*, vol. 8, pp. 1762-1767, 1992