

Structuration de surfaces pour de nouvelles surfaces polymères glissantes

Auteur : Amélie Teissonniere

amelie.teissonniere@insa-lyon.fr

Co-Auteur : Jannick Duchet-Rumeau, Jean-François Gérard
Université de Lyon. Ingénierie des matériaux polymères (IMP)
UMR CNRS 5223, INSA Lyon – F-69621 Villeurbanne, France

Conférence Sciences2024: saison 2021
<https://sciences2024.polytechnique.fr>

28 Mai 2021

Mots-clés : Réduction de la traînée, super-hydrophobie, aviron

1-Introduction

Lors d'une compétition d'aviron, pour assurer un meilleur glissement de la coque de bateau sur l'eau, les pratiques peuvent être très différentes d'une équipe à une autre. En effet, certaines équipes poliront la coque afin de rendre la surface la plus lisse possible tandis que d'autres équipes apporteront de la rugosité à la surface en la ponçant. Dans la littérature, les surfaces rugueuses de type "peau de requin" ou "feuille de lotus" ont déjà prouvé leurs bénéfices en réduisant la mouillabilité par l'eau (en régime statique) et les forces de friction entre une surface et l'eau (en régime dynamique) [1].

Le projet 'matériau' présenté se focalisera sur la structuration d'un revêtement polymère mise en œuvre par photo-polymérisation, procédé pouvant être aisément transposé à une application directe sur une coque de bateau d'aviron. La structuration visée est celle d'une feuille de lotus (Fig.1) afin d'obtenir un caractère super-hydrophobe.

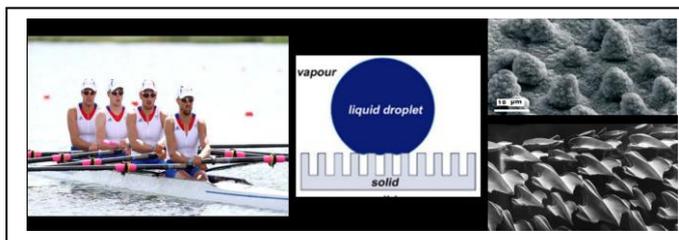


Fig-1. Topographie de revêtement visé sur coque - Régime de mouillage de Cassie-Baxter – Surfaces texturées de feuille de lotus et peau de requin

- Une silice pyrogénée avec une taille de particules voisine de 100 à 200 nm, elle-même constituée de particules primaires.

1.2- Mise en œuvre des revêtements sur substrat

La formulation est projetée sur une plaque de verre par spray et la photo-polymérisation du revêtement est réalisée à l'aide de lampes UV LED (365nm) [2] et peut être achevée sous la lumière du soleil.

1.3- Caractérisation des revêtements

. *Suivi de polymérisation* / La polymérisation est suivie par calorimétrie différentielle DSC-UV et par spectroscopie Raman.

. *Mouillabilité* / La mouillabilité de la surface est analysée par la méthode de la goutte sessile à l'aide d'un tensiomètre. L'angle de contact avec l'eau (Θ) et l'hystérésis de mouillage et démouillage sont déterminés par goniométrie.

Le caractère super-hydrophobe d'une surface est défini par un angle de contact avec l'eau supérieur à 150° et une hystérésis inférieure à 10° . Sur une surface rugueuse (souvent à plusieurs échelles spatiales) (Fig. 1), l'état de mouillage est caractérisé par le piégeage de poches d'air dans la structure et peut se définir selon le modèle de Cassie-Baxter [3] :

$$\cos \Theta = f_{SL} \cos \Theta_1 + f_{LA} \cos \Theta_2$$

- où f_{SL} : fraction de liquide en contact avec le solide
 f_{LA} : fraction de liquide en contact avec les poches d'air
 Θ_1 : angle de contact avec le solide
 Θ_2 : angle de contact avec l'air

3- Résultats obtenus

La formulation développée et le procédé de dépôt spray optimisé permettent d'obtenir des surfaces super-

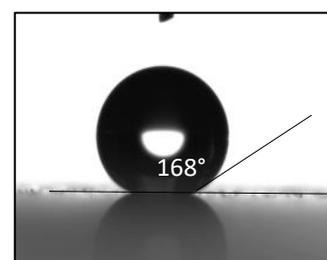


Fig-2. Goutte d'eau déposée sur le revêtement photopolymérisé PDMS-silices H18

2- Matériaux et méthodes utilisés

1.1- Design d'une formulation photo-polymérisable pour un revêtement super-hydrophobe

La formulation photo-polymérisable développée est constituée :

- Un oligomère de polydiméthylsiloxane (PDMS) (fonctionnalité > 2 pour permettre une réticulation) permettant d'apporter un caractère hydrophobe au revêtement final et des groupements époxy cycloaliphatique réactifs par photo-polymérisation.
- Un photo-initiateur de type sel de iodonium.

-hydrophobes, notamment en introduisant des silices hydrophobes (delà de 30% en pds) (Fig.2). Les angles de contact avec l'eau et les hystérésis de mouillage-démouillage sont reportés dans le Tableau 1. Ces premiers résultats confirment ceux obtenus par A. Fourmentin pour des revêtements photo-polymérisables de type poly(uréthane acrylate)s [4].

	Revêtement sans silice	Revêtement avec silices hydrophobes (Fig.2)
Angle de contact	110°	168°
Hystérésis	26°	<10°

Tableau 1 – Impact de la silice pyrogénée sur l'angle de contact et l'hystérésis

Après cette étape, la structuration des revêtements, à une échelle supérieure, sous la forme de nervures orientées est recherchée. Une telle aptitude à la texturation est atteinte grâce au comportement rhéologique de la formulation qui présente, comme toute suspension de nanoparticules de silice de type pyrogénée dans des milieux organiques notamment les huiles silicone, un seuil d'écoulement. Cette 'impression' de la texturation préalable peut alors être 'figée' par photopolymérisation (temps de quelques secondes).

5- Conclusion et perspectives

Nous avons donc pu démontrer que la combinaison d'un procédé 'spray' et l'ajout de silices de type pyrogénées, permet d'atteindre un caractère super-hydrophobe pour des revêtements photo-polymérisables. C'est, de plus, un procédé aisément applicable dans les conditions réelles et sur substrats de forme complexe (en l'occurrence ici, la coque d'un bateau d'aviron).

Le travail se poursuit par 1/ la définition des caractéristiques rhéologiques et le procédé d'impression nécessaires pour la mise en œuvre d'une structuration de surface à plus grande échelle notamment sous formes de nervures orientées ; 2/ la caractérisation fine des topographies des surfaces mises en œuvre avec différentes techniques de profilométrie et de microscopie, permettant d'avoir une description quantitative de ces surfaces pouvant être exploitée dans de futures modélisations de mécanique des fluides mais aussi plus fondamentalement pour comprendre les mécanismes de mouillage au regard des derniers modèles développés au laboratoire [5] ; 3/ la mise en situation de surfaces revêtues modèles pour mesurer les effets des caractéristiques de surface avec les effets de traînée.

6- Remerciements

Nous remercions l'ANR pour leur support financier dans cette recherche.

Références

- [1] Bioinspired surfaces with special micro-structures and wettability for drag reduction: which surface design will be a better choice? Y.Zhu & al, *Nanoscale*, 2021, 13, 3463
- [2] The Synthesis, Characterization, and Photoinitiated Cationic Polymerization of Silicon-Containing Epoxy Resins, J. V. Crivello & al, *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, Vol. 28, 479-503 (1990)
- [3] Mimicking natural superhydrophobic surfaces and grasping the wetting process: A review on recent progress in preparing superhydrophobic surfaces, Y.Y. Yan & al, *Advances in Colloid and Interface Science* 169 (2011) 80–105
- [4] Bioinspired silica-containing polyurethane-acrylate films: Towards superhydrophobicity with tunable water adhesion, A. Fourmentin, A. Charlot, J. Galy, J.F. Gérard, *Polymer*, Elsevier, 155 (2018) 1-12
- [5] What if designing superhydrophobic polymer surfaces turned out to be very simple?'. G. Espy, J. Duchet, S. Livi, O. Lhost, J.F. Gérard, *Applied Surface Science* (soumis pour publication 2021)