Résumé

*Thèse de doctorat de Centrale Lyon*

*Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes*

Modélisation analytique du mouillage sur des topographies multi-échelles complexes pour le design biomimétique de surfaces superhydrophobes

*par Yann Bami Chatenet*

Une goutte d’eau roule sur une feuille de lotus sacré mais elle adhère à un pétale de rose. Ces deux surfaces présentent, aux échelles micrométrique et nanométrique, une morphologie complexe. Quel est alors le lien entre leur mouillabilité et leur morphologie multi-échelles ? L’objectif de cette thèse est de mener une approche biomimétique pour la conception de surfaces superhydrophobes tout en comprenant les stratégies mises en œuvre par le vivant.

Dans une première partie, nous caractérisons des surfaces végétales dont le régime de mouillage est observé directement par microscopie confocale à balayage laser. Nous démontrons que le lotus sacré produit un mouillage en régime mixte métastable caractérisable par une profondeur d’ancrage non nulle des lignes triples à l’équilibre. De plus, nous observons un régime hiérarchique de Wenzel-Wenzel sur le pétale de rose, à rebours des hypothèses de la littérature. De ces observations, nous tirons des questionnements clés que nous confrontons aux modèles actuels de la littérature.

Dans une seconde partie, nous adaptons deux approches des phénomènes capillaires à l’étude du piégeage d’air sur une topographie multi-échelles et introduisons la paramétrisation nécessaire à l’étude des régimes de mouillage mixte et de leur robustesse. Nous prédisons la profondeur d’ancrage à l’équilibre sur le lotus sacré en mettant en lumière le rôle de sa topographie nanométrique. Enfin, nous décrivons les mécanismes gouvernant les mouvements à l’avancée et à la reculée et leurs propagations par récurrence à travers les échelles topographiques constituant une surface en introduisant la notion de mouvement précurseur. Nous démontrons l’effet de la profondeur d’ancrage à l’équilibre sur l’hystérèse d’angle de contact et le rôle des sous-échelles topographiques sur la robustesse du régime de piégeage d’air. À travers l’étude expérimentale de surfaces fabriquées par photolithographie, nous confrontons ce modèle à la réalité.

Enfin, dans une troisième partie, nous transposons les conclusions issues de ce modèle en un cahier des charges pour la conception de surfaces superhydrophobes robustes, déclinons la stratégie mise en œuvre par la feuille du lotus sacré et proposons deux voies de fabrication de surfaces déperlantes, par recristallisation de cire naturelle et polymérisation deux-photons.

**Mots-clés :** Biomimétisme, Superhydrophobie, Texturation de surface multi-échelles, Lois du mouillage, Hystérèse d’angle de contact, Mouillage des surfaces végétales

Abstract

*Doctoral dissertation*

*Centrale Lyon, Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes*

Analytical modeling of wetting on complex multiscale topographies for the biomimetic design of superhydrophobic surfaces

*by Yann Bami Chatenet*

A drop of water rolls on the sacred lotus leaf but stay fiercely anchored onto a rose petal. Both surfaces display a complex morphology at the micrometric and nanometric scales. Therefore, one could ask: how are their wettability and their morphology related? The purpose of this dissertation is to carry out a biomimetic approach in order to conceive superhydrophobic surfaces and to better understand nature’s strategies.

In a first part, vegetal surfaces have been characterized by directly observing the wetting state they produce with the help of confocal microscopy. We demonstrate the fact that the sacred lotus produces a metastable mixed-state wetting that is characterized by a finite equilibrium anchorage depth of triple lines. On the other hand, a Wenzel-Wenzel hierarchical wetting state is observed on the rose petal, in spite of what literature suggests. From these experiments, key questions have been highlighted and confronted to the current models available within the literature.

In a second part, two approaches to capillary phenomena have been adapted to the study of a composite wetting state produced by a multiscale topography. We introduce a complete parameterization allowing us to tackle the problem of the mixed-state wetting and its stability, to predict the value of the equilibrium anchorage depth on the sacred lotus leaf and to identify the contribution of its nanoscale topography to its wetting. Then, we thoroughly describe the mechanisms underlying the advancing and receding motions of triple lines and their recursive propagation across every topographical scale constituting a surface by introducing the notion of precursor motion. We highlight the effect of the equilibrium anchorage depth on the contact angle hysteresis and the role played by topographical subscales on the robustness of the composite wetting state. Through the experimental study of model surfaces manufactured by photolithography, we compare our predictions to reality.

Eventually, in a third part, the conclusions drawn from our model are transposed into technical specifications for the conception of robust superhydrophobic surfaces, the strategy of the sacred lotus leaf is thoroughly described and two promising manufacturing processes are proposed through the recrystallization of natural wax and two-photon polymerization.

**Keywords:** Biomimicry, Superhydrophobicity, Multiscale surface texturing, Laws of wetting, Contact angle hysteresis, Wettability of vegetal surfaces