



## Offre de contrat doctoral (F/H)

<b>Titre</b>	Influence de la déformation d'un revêtement super-hydrophobe sur les propriétés d'un sillage turbulent : approche couplée expérimentale et numérique	
<b>Contacts</b>	Prof. Nicolas MAZELLIER <a href="mailto:nicolas.mazellier@univ-orleans.fr">nicolas.mazellier@univ-orleans.fr</a>	Prof. Jean-Christophe ROBINET <a href="mailto:Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu">Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu</a>
	Dr. Pierre-Yves PASSAGGIA <a href="mailto:pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr">pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr</a>	
<b>Lieux</b>	Laboratoire PRISME Université d'Orléans 8 rue Léonard de Vinci 45072 Orléans Cedex 2 <a href="http://www.univ-orleans.fr/prisme">http://www.univ-orleans.fr/prisme</a>	
	Laboratoire DYNFLUID Arts et Métiers Sciences and Technologies 151, Bd. de l'Hôpital 75013 PARIS, France <a href="https://dynfluid.ensam.eu/accueil-dynfluid-100729.kjsp">https://dynfluid.ensam.eu/accueil-dynfluid-100729.kjsp</a>	
<b>Durée</b>	36 mois plein temps, démarrage automne 2023	

### Contexte et motivations :

Parmi les nombreuses variétés de matériaux innovants conçus pour répondre aux besoins industriels, les **surfaces super-hydrophobes** (SHS) ont reçu une attention toute particulière depuis une vingtaine d'années [7,9]. En contrôlant judicieusement leurs propriétés physico-chimiques, ces surfaces biomimétiques peuvent emprisonner une couche de gaz à l'intérieur de la rugosité de surface. Ce plastron gazeux joue alors le rôle d'un film lubrifiant qui limite le contact solide/liquide. Cette caractéristique également appelée « effet Lotus » peut se révéler très intéressante dans les applications où le contrôle de la mouillabilité est crucial. Un certain nombre d'études ont mis en évidence les effets bénéfiques des SHS dans la réduction du frottement pariétal à l'échelle du laboratoire dans des conditions de fonctionnement bien maîtrisées. Cependant, **l'extrapolation de ces performances dans des conditions extrêmes**, rencontrées en écoulements fortement turbulents, représentatifs d'applications industrielles (cf. vêtements déperlants, coques de navires, systèmes anti givrages en aéronautique...), est un enjeu majeur. En particulier, des travaux très récents ont souligné **l'importance de la déformation de l'interface gaz/liquide**, qui est actuellement négligée dans la phase de conception des SHS [2,3,5,6].

Cette thèse de doctorat vise à **apporter des éléments de réponse à cette problématique** en s'appuyant sur une **approche couplée** entre des **expérimentations de haute qualité** et des **simulations haute-fidélité**. L'objectif est d'étudier les performances hydrodynamiques de revêtements super-hydrophobes appliqués sur des corps épais. Une attention toute particulière sera portée à l'influence du revêtement sur la traînée hydrodynamique, le déclenchement d'instabilités ou encore la dynamique de l'interface du film gazeux. L'analyse physique des données expérimentales

et numériques permettra, in fine, de proposer des nouveaux modèles de parois plus pertinents que ceux actuellement utilisés pour la conception des SHS.

Pour atteindre ces objectifs, le travail de thèse s'appuiera sur les compétences complémentaires de 2 laboratoires de recherche. Le **travail expérimental** sera effectué au sein du **laboratoire PRISME** de l'Université d'Orléans. Les expériences porteront sur des sillages de corps épais équipés d'un revêtement super-hydrophobe dont on pourra faire varier la texturation de surface. Des méthodes optiques seront mises en œuvre pour évaluer les forces hydrodynamiques agissant sur le corps ainsi que l'influence du revêtement sur le développement du sillage. Les **simulations numériques** seront réalisées au sein du **laboratoire DYNFLUID** de l'ENSAM Paris. Dans cette partie on s'attachera à comprendre les mécanismes d'interactions locales entre le plastron et l'écoulement incident en proche paroi, en particulier dans la phase initiale où le plastron se déforme. On s'intéressera notamment à l'influence du revêtement sur le déclenchement de la transition de la couche limite. Les données expérimentales seront utilisées pour paramétrer les calculs numériques. Ces derniers serviront à formuler un nouveau modèle de parois dont les performances seront validées par confrontation avec les résultats expérimentaux.

### **Environnement de travail :**

La personne qui sera recrutée intégrera l'axe thématique Ecoulements et Systèmes Aérodynamiques (ESA) du laboratoire PRISME à l'Université d'Orléans. Les activités de recherche de cet axe portent sur la compréhension, la modélisation et le contrôle d'écoulements de sillages représentatifs d'applications industrielles. En particulier, le travail s'appuiera sur un savoir-faire développé depuis plusieurs années sur l'étude des surfaces super-hydrophobes [1,3,5]. Dans un premier temps, un banc expérimental déjà opérationnel sera adapté pour répondre aux objectifs de l'étude. Une fois validé, le montage expérimental sera utilisé pour réaliser une campagne d'essais paramétriques. La base de données générée sera ensuite post-traitée et analysée. Des séjours au sein du laboratoire DYNFLUID de l'ENSAM Paris, qui travaille depuis plusieurs années sur des problématiques en lien direct avec le sujet de thèse [2,4], seront organisés tout au long de la thèse. L'objectif est ici de prendre en main les outils numériques pour la simulation haute-fidélité en proche paroi et de mener une étude de la transition en présence de déformations du plastron à l'échelle locale. Là aussi, la plupart des outils à mettre en œuvre sont déjà opérationnels.

Ce travail de thèse s'inscrit pleinement dans un projet de plus grande envergure, ANR IDEFHYX (ANR-22-CE51-0021), qui est porté par le laboratoire PRISME et dont le laboratoire DYNFLUID est partenaire. La personne recrutée bénéficiera d'un environnement scientifique extrêmement riche puisqu'elle sera intégrée au sein d'un consortium dynamique et reconnu internationalement. Par ailleurs, des interactions avec d'autres laboratoires et chercheurs renommés seront envisagées durant le travail de thèse.

### **Compétences attendues :**

Nous recherchons une personne (F/H) fortement motivée, titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'ingénieur avec de très solides connaissances en mécanique des fluides. La personne retenue doit avoir un intérêt prononcé pour la recherche expérimentale, les techniques de mesure mais aussi pour la simulation numérique. Une bonne maîtrise d'outils tels que Matlab est recommandée. Le/La doctorant/e sera fortement impliqué/e dans la diffusion des résultats au travers des rapports d'avancement, des publications dans des revues à comité de lecture et des présentations lors de conférences internationales. Par conséquent, une grande capacité de communication et de rédaction en anglais et en français est exigée.

## Rémunération

Salaire brut : environ 24 500 €/ an incluant la cotisation liée à la Sécurité Sociale.

Début du contrat doctoral prévu en Octobre 2023.

## Candidature

Pièces à fournir dans le dossier de candidature :



- Curriculum Vitae
- Lettre de motivation
- Relevé de notes (même partiel) des deux dernières années
- Coordonnées de deux référents scientifiques

Le dossier de candidature est à adresser à Nicolas Mazellier ([nicolas.mazellier@univ-orleans.fr](mailto:nicolas.mazellier@univ-orleans.fr)), Pierre-Yves Passaggia ([pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr](mailto:pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr)) et à Jean-Christophe Robinet ([Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu](mailto:Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu)) avant le **15/05/2023**. Les candidatures incomplètes ne seront pas examinées.

## Références bibliographiques

- [1] Bettaieb, N., Castagana, M., Passaggia, P. Y., Kourta, A., & Mazellier, N. (2022). Prediction of resistance induced by surface complexity in lubricating layers: Application to superhydrophobic surfaces.
- [2] Picella, F., Robinet, J. C., & Cherubini, S. (2020). On the influence of the modelling of superhydrophobic surfaces on laminar–turbulent transition. *Journal of Fluid Mechanics*, 901, A15.
- [3] Castagna, M., Mazellier, N. & Kourta, A. (2021) On the onset of instability in the wake of super-hydrophobic spheres, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 87:108709.
- [4] Picella, F., Robinet, J. C., & Cherubini, S. (2019). Laminar–turbulent transition in channel flow with superhydrophobic surfaces modelled as a partial slip wall. *Journal of Fluid Mechanics*, 881, 462-497.
- [5] Castagna, M., Mazellier, N. & Kourta, A. (2018) Wake of super-hydrophobic falling spheres: influence of the air layer deformation, *Journal of Fluid Mechanics*, 850:646-673.
- [6] Seo, J., García-Mayoral, R. & Mani, A. 2015 Pressure fluctuations and interfacial robustness in turbulent flows over superhydrophobic surfaces. *J. Fluid Mech.* 783, 448–473.
- [7] Rothstein, J. P. 2010 Slip on superhydrophobic surfaces. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 42, 89–109.
- [8] Legendre, D., Lauga, E. & Magnaudet, J. 2009 Influence of slip on the dynamics of two dimensional wakes. *J. Fluid Mech.* 633, 437–447.
- [9] Min, T. & Kim, J. 2004 Effects of hydrophobic surface on skin-friction drag. *Phys. Fluids* 16, 55–58.

## PhD offer (F/H)

<b>Title</b>	Influence of air-layer deformation of a superhydrophobic coating on the performances of a turbulent wake: A combined simulation and experimental approach	
<b>Contacts</b>	Prof. Nicolas MAZELLIER <a href="mailto:nicolas.mazellier@univ-orleans.fr">nicolas.mazellier@univ-orleans.fr</a>  Dr. Pierre-Yves PASSAGGIA <a href="mailto:pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr">pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr</a>	Prof. Jean-Christophe ROBINET <a href="mailto:Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu">Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu</a>
<b>Location</b>	Laboratoire PRISME Université d'Orléans 8 rue Léonard de Vinci 45072 Orléans Cedex 2 <a href="http://www.univ-orleans.fr/prisme">http://www.univ-orleans.fr/prisme</a>  Laboratoire DYNFLUID Arts et Métiers Sciences and Technologies 151, Bd. de l'Hôpital 75013 PARIS, France <a href="https://dynfluid.ensam.eu/accueil-dynfluid-100729.kjsp">https://dynfluid.ensam.eu/accueil-dynfluid-100729.kjsp</a>	  
<b>Duration</b>	36 months, full time, starting Fall 2023	

### Topic description

Amongst the large variety of innovating coatings addressing industrial needs, **Super-Hydrophobic Surfaces (SHS)** have received a particular attention for the last twenty years [7,9]. Controlling the physicochemical properties of these bio-inspired surfaces allows for allows for encapsulating a gas layer inside the roughness elements, within the coating. This plastron thereby acts a lubricating layer reducing the contact between the liquid and the solid. This particular characteristic, also called the “Lotus effect”, may turn out to be particularly interesting when wetting matters. A growing number amount of studies showed that SHS can allow for reducing friction drag at the laboratory scale within a well-controlled environment. However, **extrapolating these performances towards extreme conditions**, for instance met in strongly turbulent flows, representative of industrial applications (i.e. water-repellent clothing, ships’ hull, anti-fogging and anti-icing coatings in the aeronautical industry...), is a key challenge. In particular, recent studies underlined **the importance of plastron deformation at the liquid-gas interface**, which is currently neglected in the design phase of SHS [2,3,5,6].

This PhD thesis aims at **understanding how plastron deformations lead to determinantal aerodynamic effects using a coupled approach between high-fidelity numerical simulations and well-controlled laboratory experiments**. The objective of **this coupled approach is to analyse the hydrodynamic performances of super-hydrophobic coatings over simple bluff bodies**. A particular attention will be dedicated to the analysis of the characteristics of the coating on the hydrodynamic drag, how instabilities are triggered and the dynamics of the plastron. The physical

analysis of experimental and numerical databases will allow for proposing new wall models for the design of super-hydrophobic coatings, which can be extrapolated to the industrial scale.

This PhD thesis will hence be undertaken between two complementary laboratories. The **experimental work** will be performed at **PRISME laboratory** at the University of Orleans. The latter will consider the analysis of turbulent bluff-body wakes with custom-made super-hydrophobic surfaces, where roughness elements will be tailored to trigger particular phenomena. Optical methods will then be used to evaluate both the hydrodynamic forces acting on the body and the influence of the coating on the wake. **Numerical simulations** will be performed **with Dynfluid at ENSAM Paris**. This part will focus on analysing the relation between the properties of the roughness elements and how instabilities are triggered in the boundary layer. Experimental data will be used to parameterise numerical simulations and focus on the most relevant cases. These results will be gathered to create wall models where both slip and plastron deformations are present, and where performances will be validated against experimental results.

### **Work Environment**

The person recruited for this PhD program will become of the Aerodynamics group (ESA) of PRISME laboratory at the University of Orleans. In this group, research activities are carried on the understanding, the physical modelling and control of turbulent wake flows, representative of industrial applications. In particular, this work will build on the knowledge developed within the department for the last ten years on SHS [1,3,5]. First, an experimental rig, already in service, will be adapted to answer to the objectives of this thesis. Then, a parametric experimental campaign will be considered varying the properties of the flow and the roughness elements entrapping the plastron will be explored. Particle-image velocimetry together with Background Oriented Schlieren will be used to characterise the flow and the dynamics of the plastron simultaneously. Visits at Dynfluid laboratory at ENSAM Paris, working for several years on the same topic than the thesis' topic [2,4], will be planned for the duration of the PhD. The aim is to practice, learn, and develop the necessary tools for the prediction of transition in the presence of plastron's deformation at the local scale. In this part, most simulation tools are ready to run.

This thesis fit in a large collaborative project, ANR IDEFHXYX (ANR-22-CE51-0021), coordinated by PRISME laboratory and where DYNFLUID is a partner. The person recruited for this project will benefit from a strong and stimulating scientific environment and will be part of a dynamic consortium, recognized for its international expertise on the topic. Interactions and innovating work with the other members of the consortium are also encouraged.

### **Skills**

We are looking for a strongly motivated individual (F/M), with a Master thesis or an engineering degree with strong knowledge in fluid mechanics. The selected candidate will demonstrate a particular interest for experimental research, measurement techniques as well as numerical simulations. A good expertise in MATLAB is also recommended. The selected PhD student will be strongly involved in the diffusion of the results through scientific reports, publications in international journals, and presentations in nationals and international conferences. The candidate will thereby demonstrate a capacity for writing and communicating in both French and English.

### **Salary**

Gross salary: around €24 500/year including basic health insurance.

Starting scheduled October 2023.

## Application

Documents to send for the application:

- Curriculum Vitae
- Cover letter
- Grades for the last two years of Master
- Contacts for two scientific advisors

The application is to be sent to Prof. Nicolas Mazellier ([nicolas.mazellier@univ-orleans.fr](mailto:nicolas.mazellier@univ-orleans.fr)), Pierre-Yves Passaggia ([pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr](mailto:pierre-yves.passaggia@univ-orleans.fr)) and Prof. Jean-Christophe Robinet ([Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu](mailto:Jean-christophe.ROBINET@ensam.eu)) before **May, 15<sup>th</sup>, 2023**. Applications with missing documents will not be considered.

## References

- [10] Bettaieb, N., Castagana, M., Passaggia, P. Y., Kourta, A., & Mazellier, N. (2022). Prediction of resistance induced by surface complexity in lubricating layers: Application to superhydrophobic surfaces.
- [11] Picella, F., Robinet, J. C., & Cherubini, S. (2020). On the influence of the modelling of superhydrophobic surfaces on laminar–turbulent transition. *Journal of Fluid Mechanics*, 901, A15.
- [12] Castagna, M., Mazellier, N. & Kourta, A. (2021) On the onset of instability in the wake of super-hydrophobic spheres, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 87:108709.
- [13] Picella, F., Robinet, J. C., & Cherubini, S. (2019). Laminar–turbulent transition in channel flow with superhydrophobic surfaces modelled as a partial slip wall. *Journal of Fluid Mechanics*, 881, 462-497.
- [14] Castagna, M., Mazellier, N. & Kourta, A. (2018) Wake of super-hydrophobic falling spheres: influence of the air layer deformation, *Journal of Fluid Mechanics*, 850:646-673.
- [15] Seo, J., García-Mayoral, R. & Mani, A. 2015 Pressure fluctuations and interfacial robustness in turbulent flows over superhydrophobic surfaces. *J. Fluid Mech.* 783, 448–473.
- [16] Rothstein, J. P. 2010 Slip on superhydrophobic surfaces. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 42, 89–109.
- [17] Legendre, D., Lauga, E. & Magnaudet, J. 2009 Influence of slip on the dynamics of two dimensional wakes. *J. Fluid Mech.* 633, 437–447.
- [18] Min, T. & Kim, J. 2004 Effects of hydrophobic surface on skin-friction drag. *Phys. Fluids* 16, 55–58.