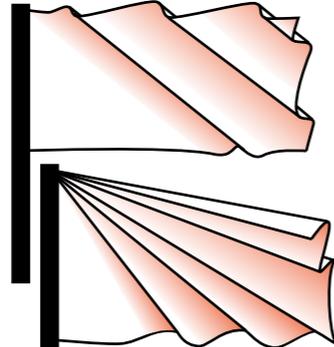
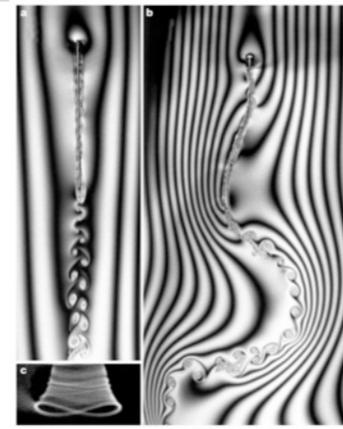


Dans l'imaginaire de l'homme de la rue ainsi que du scientifique, les ondes sur le drapeau sont verticales et se propagent de l'avant vers l'arrière comme sur le croquis ci-dessus. Dans cette étude, nous montrons que les ondes sont en fait obliques, et nous proposons un modèle simple pour prédire cet angle.

En les termes techniques de l'étude de stabilité: nous montrons que l'état plan n'est un état stationnaire du système que dans une zone proche du mât dont la frontière est oblique. C'est l'angle de cette frontière qui va faire naître les ondes du drapeau



## Les ondes du drapeau sont obliques



**Figure 2** The two stable states of the filament. When the filament length is greater than the critical value, it can stay in either a stretched-straight state or an oscillatory state. The flow is visualized using interference patterns under a sodium lamp. **a.** The filament is stretched straight in the flow. Von Kármán type vortices are shed from its free end. **b.** The oscillatory flapping state. Flow structures, modulated by the filament, are advected downstream. Interference fringes run in the flow direction, indicating that the soap film is under little stretching and compression. **c.** The free end of the filament shows a "figure of eight" trajectory owing to the existence of the travelling waves associated with the flapping motion.

### Flexible filaments in a flowing soap film as a model for one-dimensional flags in a two-dimensional wind

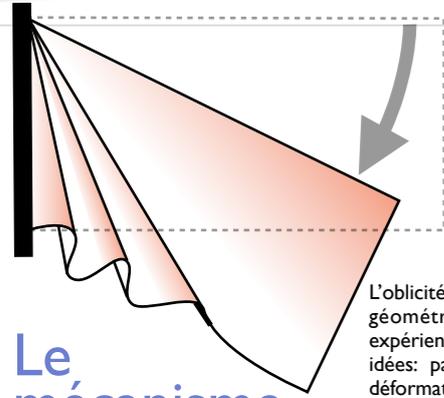
Jun Zhang<sup>†</sup>, Stephen Childress<sup>\*</sup>, Albert Libchaber<sup>†</sup> & Michael Shelley<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> Applied Mathematics Laboratory, Courant Institute, New York University, New York 10012, USA  
<sup>†</sup> Center for Studies in Physics and Biology, Rockefeller University, New York 10021, USA

Le battement du drapeau est un cas d'école pour l'étude des instabilités qui mettent en jeu un écoulement fluide et un corps élastique: ce sont les instabilités «fluide/structure». La nage des poissons est un phénomène similaire, mais pour lequel c'est l'ondulation qui produit le déplacement du fluide. Cet article dans la revue Nature (2000), réalise la prouesse technique d'un écoulement parfaitement 2D en insérant un fil de soie dans un film de savon qui s'écoule.

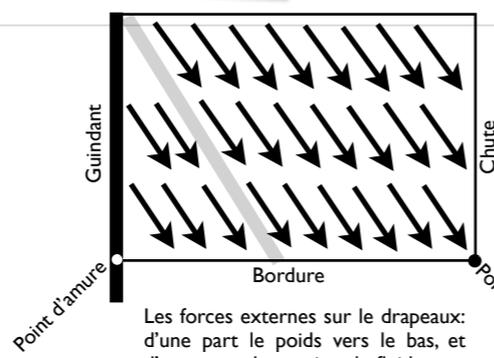


Nos sens sont guidés par la représentation mentale que nous nous faisons des phénomènes de notre environnement. Ce peintre, dont la compréhension n'est pas liée à un modèle 2D a su voir les ondes obliques. Ici une peinture au Louvre.

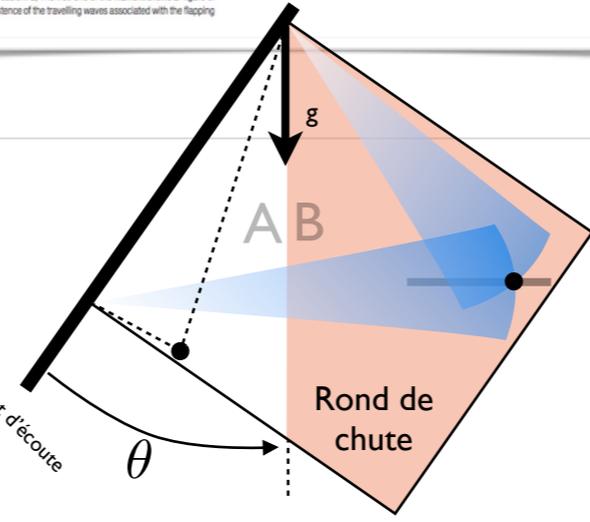


## Le mécanisme

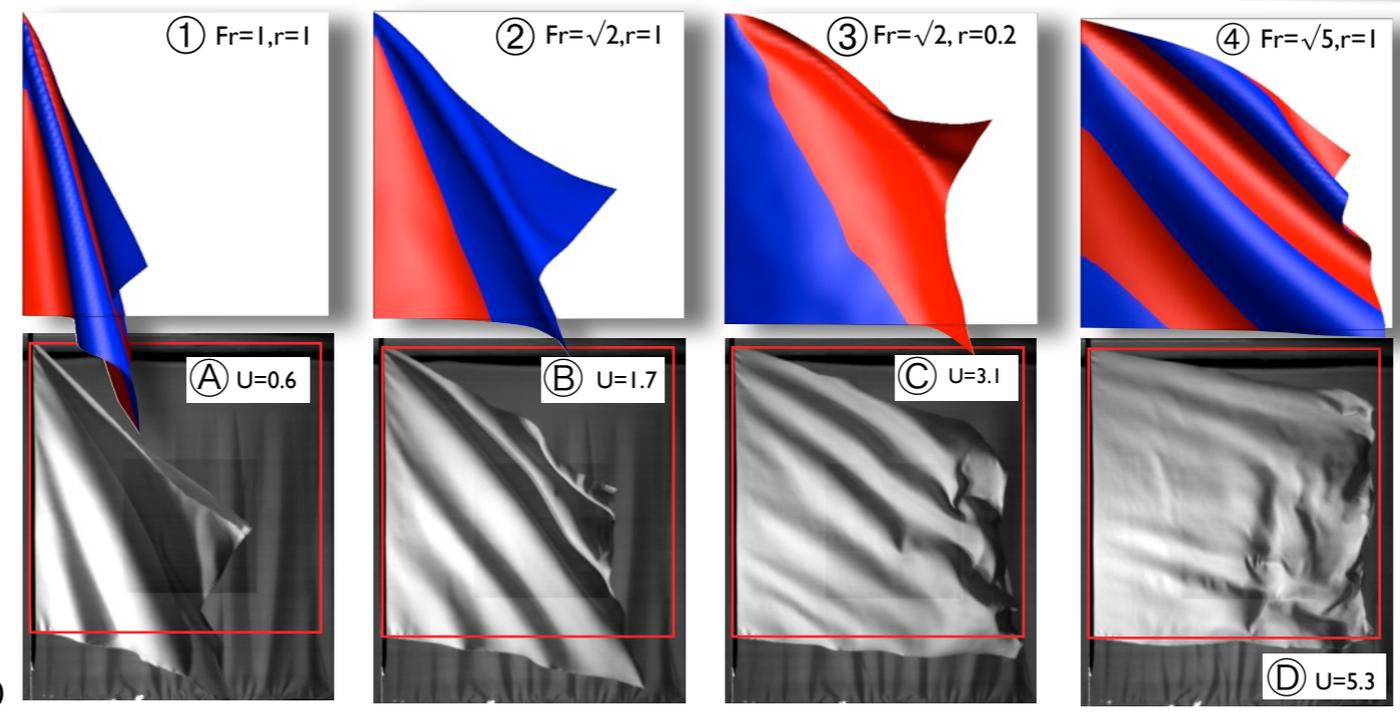
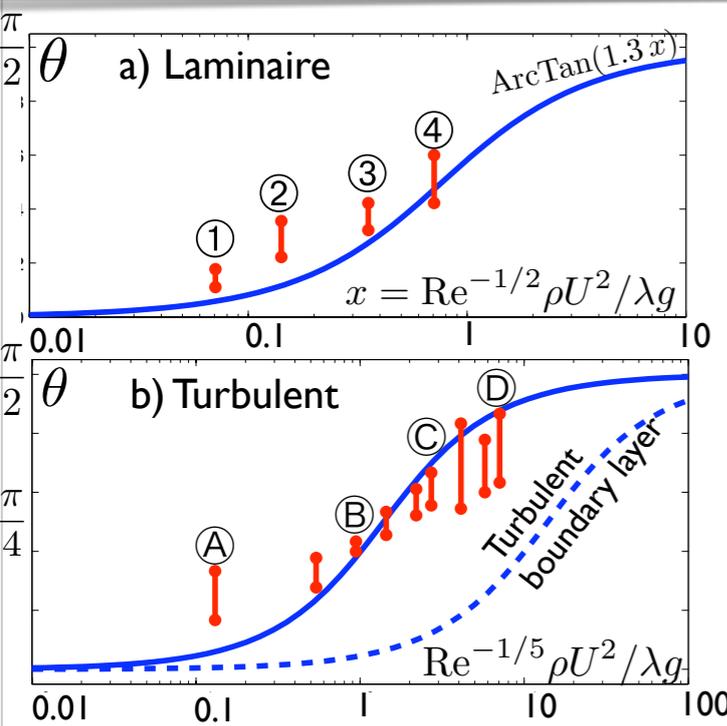
L'obliquité est en partie d'origine géométrique. Une première expérience pour se fixer les idées: pas de vent, juste une déformation imposée au tissu: un train d'ondes obliques est formé.



Les forces externes sur le drapeau: d'une part le poids vers le bas, et d'autre part la traction du fluide vers l'arrière, induite par la couche limite visqueuse qui se développe le long du tissu.



Le tissu est inextensible mais ne sait pas résister à la compression. On peut imaginer la déformation induite par notre champ de force externe grâce au subterfuge d'une analogie: un carré de tissu soumis à son poids uniquement, mais suspendu à un mât incliné. Le gravité tirera vers le bas les points qui sont dans la zone B: en effet, on voit que les arcs de cercles qui représentent la contrainte d'inextensibilité ne peuvent pas y empêcher la chute.



## Mesures expérimentales

Pour tester ce mécanisme des collègues Coréens (Huang & Sung, J. Fluid Mech. 2010) ont mis à notre disposition les résultats de leurs simulations numériques. Il s'agit de la résolution des équations de Navier-Stokes en interaction avec une structure élastique (méthode de «Immersed Boundary»). La prédiction de notre modèle est tracée en bleu, comparée aux angles mesurés en rouge. Pour le cas d'écoulement turbulent, nous avons tendu un carré de soie légère (50g/m<sup>2</sup>) dans la soufflerie du Laboratoire de Mécanique de Lille et filmé le mouvement du drapeau avec une caméra rapide. La tension moyenne dans un drapeau qui bas est dix fois supérieure à la traction visqueuse d'une couche limite turbulente.

Jérôme Hoepffner & Yoshitsugu Naka, Physical Review Letters (2011)