

Transitions spontanées “portance - traînée” d’un pendule en soufflerie

Ariane Gayout, Mickaël Bourgoïn & Nicolas Plihon

Laboratoire de Physique, ENS de Lyon, Univ Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS
ariane.gayout@ens-lyon.fr

Modèle standard de la physique linéaire, le pendule, dans sa simplicité apparente, sait aussi présenter des aspects non linéaires complexes dans sa dynamique, dont le couplage avec un écoulement en est un bon exemple. Lorsque l’on place un pendule circulaire dans une soufflerie, le disque face au vent, sa position d’équilibre θ est fixée par la compétition entre le poids et les deux forces aérodynamiques que sont la portance et la traînée, qui possèdent chacune une dépendance non linéaire en angle. En particulier, la résultante aérodynamique en fonction de θ présente une prédominance de la traînée à faible angle tandis que la portance prévaut proche de l’horizontale. Ce changement, d’autant plus marqué par l’existence de l’angle de décrochage, est à l’origine d’une bifurcation sous-critique avec hystérésis au niveau de l’angle d’équilibre θ en fonction de la vitesse d’écoulement U (Fig. 1 gauche), du fait de l’équilibre des couples du poids et aérodynamique (Eq. 1) [1].

$$\Gamma_{weight} = mgl \sin(\theta) = \frac{1}{2} \rho S U^2 L C_N(\theta) = \Gamma_{aero} \quad (1)$$

À partir de cette bifurcation portance-traînée, des transitions spontanées à l’approche des limites de l’hysteresis ont été observées expérimentalement, qu’une réalisation systématique a permis d’étudier de manière statistique (Fig. 1 milieu). Par un balayage en vitesse (*ie.* en angle) aux abords des valeurs critiques, les temps moyens de transitions ont été mesurés pour mettre en lumière une loi en superexponentielle (Fig. 1 droite), analogue à celle observée dans la transition vers la turbulence [2]. Une modélisation à partir de cette loi laisse à penser que les transitions sont directement liées à des événements rares au sein de la couche-limite du pendule [3].

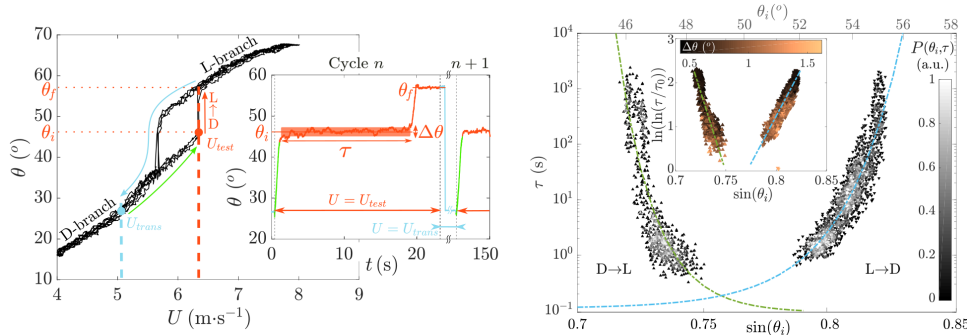


Figure 1. À gauche : Cycle d’hystérésis observé pour le pendule. Au milieu : exemple de signal temporel de transition spontanée. À droite : Distribution des temps de transition en fonction de l’angle.

Références

1. M. OBLIGADO, M. PUY & M. BOURGOIN, Bi-stability of a pendular disk in laminar and turbulent flows. , *J. Fluid Mech.*, **728** (2013).
2. N. GOLDENFELD, N. GUTTENBERG & G. GIOIA, Extreme fluctuations and the finite lifetime of the turbulent state, *Phys. Rev. E*, **81** (2010).
3. A. GAYOUT, M. BOURGOIN & N. PLIHON, Rare event-triggered transitions in aerodynamic bifurcation, accepted for *Phys. Rev. Lett.*, (2021), arXiv : <https://arxiv.org/abs/2011.01063>.