

Étude des instabilités de l'écoulement engendré par un disque tournant en présence de surface libre : Confrontation expérimentale et numérique

A. FAUGARET^{a,b}, Y. FRAIGNEAU^b, L. MARTIN WITKOWSKI^{a,b}

a. UPMC, Paris 06, 4 place Jussieu, F-75005 Paris, France.

b. LIMSI-CNRS, UPR 3251, F-91403 Orsay, France.

Yann.Fraigneau@limsi.fr & laurent.martin_witkowski@upmc.fr

Résumé :

Les instabilités se formant dans une cavité cylindrique fixe à fond tournant et en présence de surface libre sont étudiées à la fois au moyen de simulations numériques mais aussi à l'aide d'un montage expérimental. Les motifs obtenus dans l'expérience au passage de la première bifurcation qui brise l'axisymétrie sont généralement bien reproduits numériquement. Cependant les écarts constatés entre les valeurs des paramètres critiques trouvés par les approches numérique et expérimentale sont parfois surprenants. Nous cherchons à expliquer les raisons des écarts et comparer nos travaux avec d'autres expériences similaires.

Abstract :

The flow driven by a rotating disk at the bottom of a fixed cylindrical cavity partially filled with a fluid is studied both from a numerical and experimental point of view. The patterns obtained in the experiment for the first non axisymmetric bifurcation are correctly reproduced by numerical simulation. However, there is not always a satisfactorily quantitative agreement between both approaches. We try to explain such disagreement.

Mots clefs : Instabilités, écoulements tournants

Résumé étendu

Les temps de restitution de simulations numériques tridimensionnelles sur des calculateurs même de tailles modestes permettent aujourd'hui de confronter assez facilement les résultats des simulations à des mesures issues d'expériences dans un certain nombre de configurations. A titre d'exemple, dans le domaine des études de stabilité d'écoulement, il est souvent possible de mener à bien des calculs suffisamment résolus spatialement et temporellement pour espérer retrouver précisément les seuils des premières bifurcations. Ces seuils peuvent être déterminés soit en faisant de l'intégration temporelle (DNS : Direct Numerical Simulation) s'apparentant ainsi à une démarche expérimentale soit à l'aide de codes de calculs dédiés (LSA : Linear Stability Analysis) combinant une recherche de solution stationnaire par une méthode de Newton et calcul des valeurs propres à partir du système des équations de Navier-Stokes linéarisées.

Dans les configurations les plus favorables, les trois démarches DNS, LSA et expériences peuvent concorder parfaitement. C'est notamment le cas de la convection Rayleigh-Bénard. Dans d'autres cas, comme les écoulements sous-critiques par exemple l'écoulement de Couette Plan, les études de stabilité linéaire peuvent ne pas être pertinentes et seuls des calculs DNS avec une condition initiale judicieusement choisie, permettent de reproduire des expériences assez fines. Enfin, pour d'autres écoulements moins étudiés, les seuils trouvés numériquement et expérimentalement peuvent différer et il est difficile de savoir si les écarts constatés vient de la nature de l'instabilité, d'un biais expérimental ou encore d'un élément manquant dans la modélisation.

L'étude de stabilité de chaque nouvelle configuration doit ainsi être abordée avec une certaine prudence afin de comprendre pleinement l'écoulement et puis éventuellement le classer dans une famille de bifurcation. Mener conjointement, l'ensemble des approches DNS, LSA et expérience est un atout précieux pour cette tâche.

Nous nous proposons d'étudier un fluide mis en rotation par un disque au fond d'une cuve fixe, qui est une géométrie simple et cependant exhibe une grande richesse de formes géométriques. Deux régimes parmi d'autres peuvent être cités et sont illustrés ci-dessous.

Des chercheurs Danois [3] ont confirmé des travaux plus anciens d'une équipe Canadienne [4] en mettant en évidence des formes géométriques formées par la surface libre (fig. 1a). Certains motifs ont pu être reproduits au laboratoire. D'autres motifs (fig. 1b), tout aussi intrigants ont aussi été observés pour des vitesses de rotation du disque plus faibles [5], [2].

Nous nous sommes focalisés principalement sur la détection du seuil de la première bifurcation de ce deuxième régime. Nous passerons en revue les différentes pistes explorées pour comprendre les écarts importants parfois constatés entre les simulations numériques et les expériences.

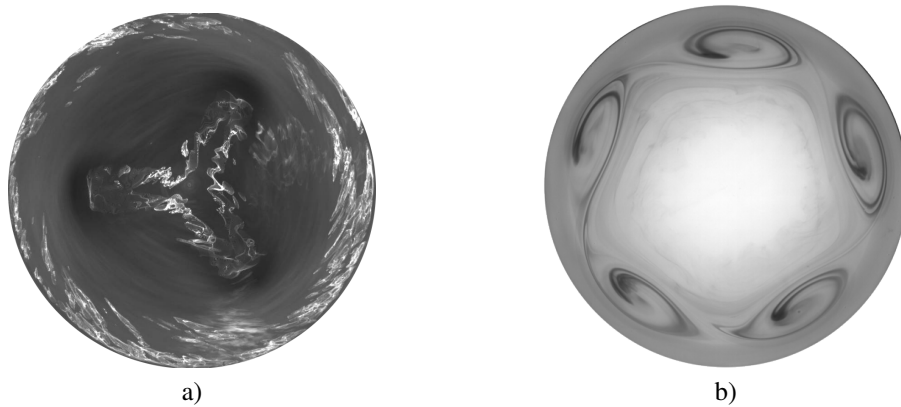


FIGURE 1 – a) Instabilités de la surface libre : cas de forte déformation [1], b) Instabilités observées au cœur de l’écoulement : cas de faible déformation (visualisation à l’encre)[2].

Références

- [1] A. Faugaret, “Détermination expérimentale des seuils d’instabilité d’un écoulement engendré par un disque tournant en présence d’une surface libre,” Master’s thesis, Université Pierre et Marie Curie, France, 2013.
- [2] A. Faugaret, “Étude des instabilités de l’écoulement engendré par un disque tournant en présence de surface libre : Confrontation expérimentale et numérique,” Master’s thesis, Université Pierre et Marie Curie, France, 2014.
- [3] T. R. N. Jansson, M. P. Haspang, K. H. Jensen, P. Hersen, and T. Bohr, “Polygons on a rotating fluid surface,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 96, p. 174502, 2006.
- [4] G. H. Vatistas, “A note on liquid vortex sloshing and Kelvin’s equilibria,” *J. Fluid Mech.*, vol. 217, pp. 241–248, 1990.
- [5] S. Poncet and M. Chauve, “Shear-layer instability in a rotating system,” *J. Flow Visual. Image Process.*, vol. 14, no. 1, pp. 85–105, 2007.