

# ED SMAER

Sujet de thèses 2014

Laboratoire : LIMSI-CNRS

Établissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Ivan Delbende CNU 60

Codirection et section CNU ou CNRS : Laurent Martin Witkowski CNU 60

Titre de la thèse : **Stabilité de la surface libre d'écoulement en rotation**

Collaborations dans le cadre de la thèse :  
avec le département communication homme machine (CHM) du LIMSI pour la mise au point des méthodes optiques de mesure.

Rattachement à un programme :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

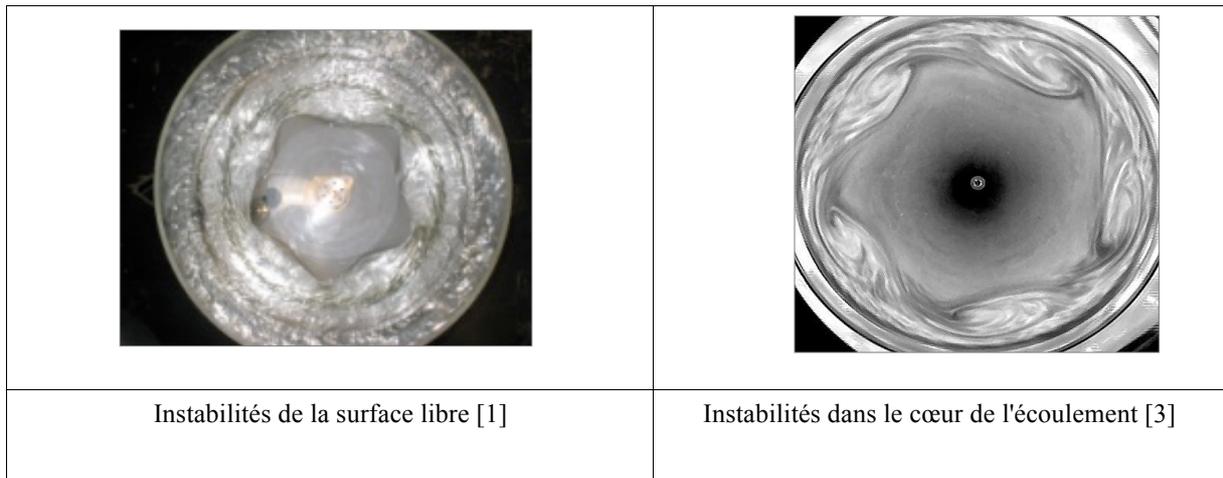
## Résumé du sujet :

Le travail proposé est de comprendre et prévoir l'apparition spontanée de motifs variés qui apparaissent dans certains écoulements rotatifs avec surface libre. Au laboratoire, l'étude des instabilités d'écoulements en géométrie cylindrique est essentiellement basée sur des codes de simulation numérique directe par intégration temporelle ou de stabilité linéaire. Un outil supplémentaire d'investigation a été ajouté par le développement récent d'une activité expérimentale sur les écoulements tournants en présence de surface libre. La configuration est constituée d'un disque tournant placé au fond d'une cuve cylindrique immobile. L'expérimentateur peut faire varier trois paramètres physiques : la vitesse de rotation, le volume de fluide et sa viscosité. Une petite partie de cet espace de paramètres a déjà été exploré et a déjà montré une très grande richesse de phénomènes. Les instabilités qui se développent sont à la fois simples à mettre en évidence et cependant difficiles à interpréter. Le doctorant aura la tâche de mettre en œuvre et d'améliorer l'ensemble des outils numériques et expérimentaux à sa disposition pour tenter de percer les mécanismes physiques élémentaires de ces instabilités et de découvrir d'autres régimes.

## Stabilité de la surface libre d'écoulement en rotation

### Contexte :

Les motifs d'instabilité que l'on peut observer dans les écoulements en rotation sont très souvent surprenants et les mécanismes physiques sous-jacents de destabilisation sont parfois mal compris. A titre d'exemple, le cas d'un fluide mis en rotation par un disque au fond d'une cuve fixe, qui est pourtant une géométrie fort simple, illustre bien la richesse des formes géométriques qui sont observables. Des chercheurs Danois [1] ont confirmé des travaux plus anciens d'une équipe Canadienne [2] en mettant en évidence des formes polygonales formées par la surface libre. D'autres motifs, tout aussi intrigants ont aussi été observés pour des vitesses de rotation du disque plus faibles [3].



Ces phénomènes d'instabilités dans les écoulements en rotation sont fondamentaux aussi bien pour des applications industrielles (en général les turbomachines) que géophysiques. Dans ce dernier cas, il peut être tentant de faire un parallèle entre les expériences menées à l'échelle du laboratoire et l'hexagone à nouveau observé début décembre 2013 au pôle nord de Saturne par la sonde Cassini.



Hexagone au pôle Nord de Saturne (Sonde

Cassini)

### Objectifs et résultats attendus :

L'originalité du travail de thèse sera de mener conjointement des expériences et des simulations numériques. Au laboratoire, plusieurs codes généralistes (Sunfluidh, Blue, Sfamans) de simulation numérique directe performants et parallélisés ont été développés. Il existe aussi d'autres codes en dehors du laboratoire comme Gerris qui pourraient convenir. De manière complémentaire à ces codes tridimensionnels, des codes plus spécifiques de calcul de stabilité enrichissent les outils de compréhension et d'analyse des écoulements. La thèse de Lyes Kahouadji [4],[5] a porté en partie sur l'adaptation d'un code de stabilité linéaire pour prendre en compte la déformation de la surface libre. Les développements expérimentaux sur ce type d'écoulements sont nettement plus récents au laboratoire. Ces deux dernières années, deux expériences ont été successivement montées. Une première version relativement modeste a été exploitée au cours de l'été 2012 lors d'un stage de M1 [6] en faisant des mesures de déformation de la surface libre stationnaire et axisymétrique. Puis, au printemps 2013, à l'aide d'un financement BQR de l'UPMC, d'une action incitative du LIMSIS et de prêt de matériel par le laboratoire FAST, une deuxième version nettement mieux contrôlée a été montée, qui a permis de défricher l'espace des paramètres (Fr, Re, G) : nombre de Froude  $Fr = \Omega^2 R/g$ , nombre de Reynolds  $Re = \Omega R^2/\nu$ , rapport de forme  $G=h/R$ , avec  $\Omega$  la vitesse de rotation, R le rayon du cylindre, h l'épaisseur du fluide au repos, g l'accélération de la pesanteur et  $\nu$  la viscosité cinématique. Ce dispositif a été exploité au cours de l'été 2013 dans une configuration d'instabilités n'impliquant pas la dynamique de la déformation de la surface libre (faibles nombres de Froude) [7].

L'objectif de la thèse est d'explorer des régimes à grands nombres de Froude où des ondes peuvent apparaître à la surface libre, en fonction du nombre de Reynolds et du rapport de forme. Nous souhaitons caractériser les fortes déformations qui peuvent apparaître dans ces conditions autrement que qualitativement, comme cela a été fait jusqu'à présent dans la littérature.

A cette fin, il faudra développer les techniques optiques permettant de mesurer à chaque instant en tout point la hauteur de déplacement du fluide, en collaboration avec l'équipe Architectures et Modèles pour l'Interaction du LIMSIS. Sur le plan numérique, un bilan devra être fait sur les avantages et les limitations de chacun des codes à disposition, afin de trouver celui qui répond le mieux aux exigences de précision et de temps de calcul. Les simulations menées parallèlement aux expérimentations devraient aider à appréhender la physique des phénomènes observés. Le futur doctorant pourra en outre s'appuyer sur les codes d'instabilité existants pour entreprendre une description en termes de systèmes dynamiques.

### Références :

- [1] T.R.N. Jansson et al, Polygons on a Rotating Fluid Surface, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 174502, 2006
- [2] G.H. Vatistas, A note on liquid vortex sloshing and Kelvin's equilibria, *J. Fluid Mech.*, **217**, 241-248, 1990
- [3] S. Poncet et al, Shear-layer instability in a rotating system, *J. Flow Visualization & Image Processing*, **14**, p.85-105, 2007
- [4] L. Kahouadji. Analyse de stabilité linéaire d'écoulements tournants en présence de surface libre. *Thèse*, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France, Octobre 2011
- [5] L. Kahouadji, L Martin Witkowski, Free surface due to a flow driven by a rotating disk inside a vertical cylindrical tank, soumis à *Phys Fluids*, 2014
- [6] E. Pélissier, Mesures et calculs de la déformation d'une surface libre engendrée par un disque en rotation, *Notes et Documents LIMSIS-CNRS (2012-26)* Septembre 2012
- [7] A. Faugaret , Détermination expérimentale des seuils d'instabilité d'un écoulement engendré par un disque tournant en présence de surface libre. *Rapport de stage M1*, Septembre 2013.