

## Instabilités des écoulements stratifiés cisailés

Demande de bourse Post-doctorale à l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie

P. Le Gal, B. Favier, S. Viazzo, U. Harlander

### Contexte de la demande :

Ce projet vise à renforcer les liens qui existent entre l'Université Technique du Brandenburg (BTU) en Allemagne et Aix-Marseille Université, plus particulièrement entre les laboratoires IRPHE et M2P2 et le département d'aérodynamique et de Mécanique des fluides à Cottbus. En effet, différentes opérations de recherche ont été menées en collaboration entre les deux universités ces dernières années. Celles-ci ont été financées par divers outils de coopération internationale : Programme Procope du partenariat Hubert Curien, programme Euhit de l'Union Européenne, laboratoire international du CNRS...

Plusieurs succès sont à mettre à l'actif du consortium Franco-Allemand, dont très récemment la mise en évidence au laboratoire d'une instabilité de l'écoulement de Poiseuille où la densité du fluide est stratifiée stablement le long de l'axe vertical, perpendiculairement au plan de cisaillement. Alors que la prédiction de l'analyse linéaire (S. Le Dizès) ainsi que les simulations numériques directes réalisées à l'IRPHE par B. Favier avaient prédit l'instabilité, les expériences ont été réalisées par P. Le Gal et U. Harlander à Cottbus. Un article commun vient d'être publié sur ce sujet [1].

Une autre publication récente [2] a également réuni les chercheurs Marseillais du M2P2 de l'équipe TONIC (S. Viazzo) et ceux de BTU sur le thème de l'instabilité strato-rotationnelle. Avec un schéma similaire à la recherche sur l'écoulement de Poiseuille, les simulations numériques ont été réalisées principalement à Marseille (thèse de G. Meletti dans le cadre d'un doctorat en co-tutelle avec l'Allemagne) alors que les expériences ont été réalisées à Cottbus. Notons de plus que des travaux précurseurs de cette instabilité avaient été réalisés à l'IRPHE en 2007 [3].

A côté de cette instabilité SRI, des études sont actuellement en cours à Cottbus sur l'instabilité barocline afin de simuler en laboratoire les dynamiques atmosphériques et en particulier l'émission spontanée d'ondes internes. Le dispositif utilisé est unique au monde de part sa grande taille [4]. En parallèle, S. Abide (Univ. Perpignan) développe un solveur Navier-Stokes haute précision et parallèle qui a été adapté aux écoulements annulaires stratifiés avec l'appui du M2P2 [5]. Ces avancées méthodologiques ont permis de simuler l'instabilité Strato rotationnelle [2] et barocline [5]. En particulier, dans le cadre du PROCOPE-46672RE BTU/M2P2/Univ. Perpignan les simulations numériques préliminaires mettent en évidence la génération des ondes internes par les écoulements zonaux de l'instabilité comme observée expérimentalement en Allemagne. [5]. Notons, que toujours à propos de ces simulations expérimentales de l'atmosphère terrestre, P. Le Gal avait réalisé à Cottbus en 2016, des expériences sur une variante de l'instabilité barocline (dite l'instabilité « barostrat ») [6].

Comme on peut le voir au travers de ce résumé, les actions croisées entre AMU et BTU se sont multipliées ces dernières années. En plus des résultats scientifiques de premier plan que nous escomptons, nous proposons par ce projet de post-doc commun de renforcer ces collaborations Franco-Allemandes mais également interne à l'AMU entre l'IRPHE et le M2P2. Le chercheur ou la chercheuse post-doctorant sélectionné(e) à Marseille, sera de plus invité(e) à postuler dès cette année à une bourse similaire du programme « Flagship » de BTU (2021-2023), afin d'effectuer sa deuxième année de recherche à Cottbus sur les versions expérimentales des recherches menées au M2P2 et à l'IRPHE.

### **Contexte scientifique :**

Dans les différents exemples mentionnés précédemment et particulièrement pertinents pour la compréhension de la transition vers la turbulence des écoulements stratifiés géophysiques, l'apparition des instabilités se fait par la résonance d'ondes internes se propageant dans le fluide cisailé [2,3,4]. Pour l'écoulement de Poiseuille, ce sont les ondes de Tollmien-Schlichting interagissant avec les ondes de gravité qui donnent naissance à l'instabilité. Pour l'instabilité strato-rotationnelle, il s'agit d'une interaction des ondes gravito-inertielles piégées aux parois alors que l'instabilité barocline s'interprète comme la résonance d'ondes de Rossby se propageant sur des couches séparées verticalement.

### **Organisation du projet :**

Comme expliqué précédemment, nous désirons par cette demande poursuivre les différentes recherches sur les écoulements géophysiques en intensifiant la collaboration internationale entre AMU et BTU par un projet de deux ans s'appuyant sur deux stages post-doctoraux successifs. Le premier aurait lieu à Marseille la première année et est en ce sens l'objet précis de cette demande de moyen à l'Institut IMI. Le programme précis de la recherche sera développé ci-après. La deuxième année du projet serait financée par une demande similaire faite en parallèle à BTU au travers de son programme Flagship (<https://www.b-tu.de/en/researchschool/funding-opportunities/flagship-fellowship>). Un premier contact a été pris par U. Harlander auprès des administrateurs de ce programme (ouvert dès à présent et jusqu'en 2023) qui ont accueilli avec bienveillance notre démarche en précisant que pour le côté allemand, c'est l'étudiant pressenti qui devra soumettre son projet. Notre préférence ira dans le choix d'un candidat unique pour les deux stages, mais ceci n'est pas obligatoire. Ainsi l'articulation dans le temps des deux stages post-doctoraux ne semble pas poser problème.

### **Recherche proposée :**

Comme nous l'avons vu en introduction, le laboratoire du Prof. Harlander est particulièrement bien équipé pour mener à bien des missions d'ordre expérimental sur des installations dédiées aux écoulements géophysiques (à noter que ce laboratoire était laboratoire d'accueil du programme Européen EUhit). Inversement à Marseille, et en particulier pour les recherches décrites précédemment, les collaborations se sont appuyées sur les expertises numériques du M2P2 et de l'IRPHE.

Ainsi, nous proposons pour la **première année** du stage post-doctoral (qui serait donc pris en charge par l'IMI) la poursuite de nos recherches par simulations numériques sur la dynamique non linéaire des instabilités des écoulements stratifiés cisailés. Deux actions seront menées de front : la première sur l'écoulement de Poiseuille stratifié. Les recherches seront supervisées par B. Favier qui a déjà réalisé les premières simulations de l'écoulement et remarqué des comportements non linéaires originaux et intéressants comme des cycles périodiques de croissance/décroissance de l'instabilité. A côté de ce travail à Marseille, des missions auront lieu en Allemagne afin de partager les résultats numériques et théoriques et de procéder aux préparations d'éventuelles modifications du dispositif expérimental ainsi que la réalisation de quelques expériences préliminaires.

La deuxième action de cette première année de travail sera supervisée par S. Viazzo au M2P2. Il s'agira de réaliser des simulations numériques de l'instabilité barocline avec gradient de densité vertical (l'instabilité barostrat). Des missions auront lieu à Cottbus afin de partager les résultats expérimentaux précédemment acquis.

De plus et en vue de renforcer les liens entre les deux laboratoires Marseillais, une confrontation entre les différents outils numériques propres à chaque laboratoire sera également envisagée.

Inversement, nous envisageons que la **deuxième année** du stage post-doctoral (financée par BTU) soit consacrée principalement à la réalisation des expériences en Allemagne. Comme pour la première année Marseillaise, deux types d'instabilités seront étudiées : l'écoulement de Poiseuille fera l'objet de campagnes de mesures par PIV dans des régimes non linéaires non atteints jusqu'à présent. En particulier, une instabilité secondaire de type Kelvin-Helmholtz sera particulièrement recherchée mais les investigations seront pilotées par les découvertes faites numériquement préalablement à Marseille.

Dans la deuxième partie du projet, l'étudiant ou l'étudiante post-doctoral(e) consacrera une partie de son temps à l'étude de l'instabilité barostrat générée d'ailleurs sur la même plateforme expérimentale. En particulier, il ou elle comparera les résultats numériques obtenus par les simulations faites au M2P2 et les mesures faites à Cottbus récemment ou lors de nouvelles campagnes de mesure qu'il ou elle effectuera dans des conditions qui auront été précisées par les résultats du calcul numérique.

[1] Le Gal, P., Harlander, U., Borgia, I., Le Dizès, S., Chen, J., & Favier, B. (2021). Instability of vertically stratified horizontal plane Poiseuille flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 907.R1

[2] G. Meletti, S. Abide, S. Viazzo, A. Krebs & U. Harlander (2020) Experiments and long-term high-performance computations on amplitude modulations of strato-rotational flows, *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*. On line.

[3] Le Bars, M. & Le Gal, P. 2007 Experimental analysis of the stratorotational instability in a cylindrical Couette flow. *Phys. Rev. Lett.* 99, 064502.

[4] C. Rodda, I. D. Borcia, P. Le Gal, M. Vincze & U. Harlander (2018). Baroclinic, Kelvin and inertia-gravity waves in the barostrat instability experiment. *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*, 112:3, 175-206.

[5] Stéphane Abide, Stéphane Viazzo, Isabelle Raspo, Anthony Randriamampianina (2018) Higher-order compact scheme for high-performance computing of stratified rotating flows, *Computers & Fluids*, Volume 174, Pages 300-310.

[6] Th. v. Larcher, S. Viazzo, U. Harlander, M. Vincze, and A. Randriamampianina. Instabilities and small-scale waves within the Stewartson layers of a thermally driven rotating annulus. *J. Fluid Mech.*, 841, 380-407, 2018.

[7] Miklos Vincze, Ion Borcia, Uwe Harlander and Patrice Le Gal (2016). Double-diffusive convection and baroclinic instability in a differentially heated and initially stratified rotating system: the barostrat instability. *Fluid Dynamics Research*, Volume 48, Number 6, 061414.