

Titre : Structure des « panaches » en convection turbulente de Rayleigh-Bénard

Directeur(s) de Thèse : Dusek J., Professeur Unistra,
Funfschilling D., Chargé de Recherche CNRS

Unité(s) d'Accueil(s) : ICube UMR 7357, Equipe Mécanique des Fluides

Établissement de rattachement : Université de Strasbourg et CNRS

Collaboration(s) (s'il y a lieu) : Collaboration envisagée avec le Max Planck Institut for Dynamics and Self-Organization de Göttingen (Allemagne) et avec Dr. G. Castanet du LEMTA, Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée (Nancy)

Rattachement à un programme (s'il y a lieu) :

Résumé(1500 caractères au maximum) :

La convection de Rayleigh-Bénard est communément rencontrée dans la nature, par exemple à la surface du soleil, dans l'atmosphère terrestre ou bien encore dans le manteau terrestre.

Le but de cette thèse est d'étudier expérimentalement et numériquement les *plumes ou panaches*, i.e. les blobs ou particules de fluides chaudes ou froides qui se détachent des couches limites thermiques chaudes et froides respectivement et qui sont le principal vecteur de l'échange de chaleur.

Une LIF (Laser Induced Fluorescence) deux couleurs sera mise au point pour mesurer la température et la forme des plumes dans le plan médian de la cellule.

Le but de la partie expérimentale est de permettre une meilleure caractérisation des plumes, de connaître leur loi de fragmentation ainsi que l'origine de la fréquence caractéristique de la circulation à grande échelle ainsi que de l'oscillation de cette circulation. Les interactions entre plumes et couches limites sont aussi un domaine à explorer. Il est probable que la naissance des plumes perpendiculairement à la couche limite visqueuse déstabilise cette dernière entraînant une transition précoce vers des couches limites turbulentes.

Au point de vue numérique, on s'efforcera de simuler la forme, la température et l'hydrodynamique des plumes et de les comparer aux résultats expérimentaux.

Le deuxième objectif sera d'effectuer un zoom sur les couches limites thermiques et visqueuses et d'étudier le comportement des plumes au niveau de l'interaction couches limites / bulk.

Contexte : La convection de Rayleigh-Bénard aussi appelée convection naturelle, est très présente dans la nature. Elle est présente à la surface du soleil (la surface du soleil étant plus froide que son intérieur), dans l'atmosphère terrestre (les températures au niveau du sol étant

plus élevées que dans l'atmosphère) d'où des mouvements de convection qui influent sur le climat, ou bien encore dans le manteau terrestre, entre le noyau interne chaud et la croûte terrestre. Très schématiquement, la convection de Rayleigh-Bénard est l'ensemble des phénomènes de convection qui ont lieu dans une cellule chauffée par le bas et refroidie par le haut. Elle fait actuellement l'objet de nombreuses recherches dans divers laboratoires (Université de Santa Barbara, ENS Lyon, Max Planck Institut de Göttingen, Université de Hong-Kong, Université de Twente...).

Les grandes orientations actuelles sont : (i) la recherche du régime ultime à très grand nombre de Rayleigh, (ii) l'étude de l'influence d'une rotation de la cellule sur le transfert de chaleur, (iii) la compréhension du rôle joué par les *plumes*. Cette proposition de thèse porte sur ce dernier point.

La communauté scientifique s'accorde sur le rôle déterminant des *plumes*, blobs ou particules de fluides chaudes ou froides qui se détachent respectivement des couches limites thermiques chaudes et froides. Ces plumes transportent l'essentiel de la chaleur entre les deux couches limites thermiques. Elles s'organisent et créent une circulation à grande échelle (Funfschilling et Ahlers, 2004). Malgré l'importance des plumes, leur comportement présente beaucoup de zones d'ombre du fait de la difficulté à les visualiser. Il est possible de mesurer leur température par de petites thermistances, mais cela ne donne pas d'informations sur leur organisation spatiale. Il est aussi possible d'avoir recours aux cristaux liquides dichroïques, mais leur gamme de température d'utilisation est très étroite. Dans ce contexte, des essais préliminaires ont été réalisés au LEMTA. Une LIF deux couleurs a été utilisée pour visualiser les plumes dans la cellule sur l'axe de symétrie de la circulation à grande échelle.

Etude expérimentale : La LIF (Laser Induced Fluorescence) consiste à éclairer la cellule par une nappe laser qui est absorbée par un ou deux colorants fluorescents. Ces derniers émettent en retour un signal de fluorescence. Pour certains colorants comme la rhodamine B, le signal de fluorescence est très sensible à la température, il est possible de déterminer la température à partir de l'intensité de ce signal.

Les premières expériences effectuées de cette manière ont montré que les variations d'indice de réfraction par les plumes (température différente, d'où une densité et un indice de réfraction différents) peuvent affecter la mesure de température. Ils empêchent d'avoir un éclairage constant et induisent ainsi des artefacts dans les champs de température mesurés. Pour résoudre ce problème, la méthode consiste à détecter le signal de fluorescence de deux bandes spectrales ayant des sensibilités très différentes à la température. Le rapport des signaux de ces deux bandes permet d'éliminer la dépendance de la mesure à l'intensité locale de l'excitation laser tout en étant sensible à la température. Une grande campagne de recherche, menée en collaboration avec le LEMTA, a permis d'identifier un couple de traceurs présentant une dépendance en température importante et des spectres d'émission suffisamment décalés. Une lame séparatrice et des filtres passe-bandes étroits sont placés devant les deux caméras utilisées pour la mesure (voir figure 1).

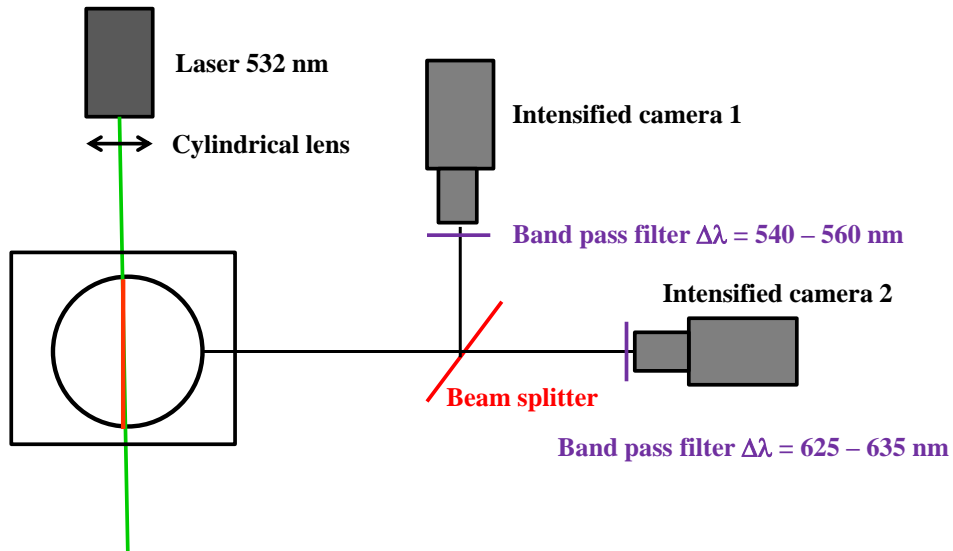


Figure 1 : Montage de la LIF 2 couleurs, vue de dessus. Les traceurs fluorescents sont la sulforhodamine 640 et la fluoresceine disodium à des concentrations de 7×10^{-7} et 5×10^{-5} mol/l respectivement

Lors des études préliminaires, les plumes ont pu être clairement identifiées. La circulation à grande échelle est bien visible sur la Figure 2. De plus, des variations de températures de l'ordre de quelques dixièmes de degrés semblent accessibles à la mesure.

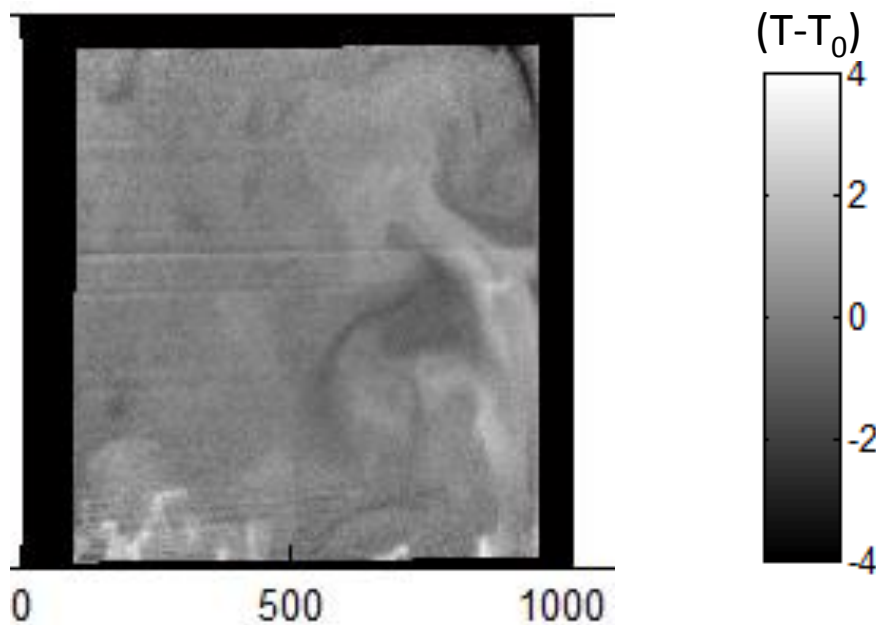


Figure 2: Les plumes chaudes (en forme de champignons très lumineux), issues de la couche limite thermique chaude (en bas) sont clairement visibles. On voit aussi nettement la circulation à grande échelle avec une montée du fluide chaud du côté droit et une descente du fluide froid du côté gauche

- Le premier volet de cette partie expérimentale sera de mettre au point un montage expérimental sur Strasbourg et de valider la technique de mesure.
- Les mesures expérimentales permettront de mieux caractériser la température et la forme des plumes dans la cellule. Les plumes ont tendance à perdre de leur chaleur lors de l'ascension, mais la cinétique de cet échange de chaleur n'est toujours pas bien identifiée. Les *plumes* présentent également un comportement collectif encore incompris. Par exemple, elles s'organisent dans une circulation à grande échelle, elles remontent d'un côté de la cellule et descendent de l'autre. Le plan de symétrie de cette circulation oscille à une fréquence bien déterminée mais les mécanismes engendrant ce phénomène ne sont toujours pas bien identifiés. L'étude des plumes devra éclaircir cette question.
- Une étude récente (Bosbach et al. 2012) a montré que les plumes se fragmentaient et que la distribution de taille des *plumes* était log-normale. La distance entre *plumes* est fonction du nombre de Rayleigh et, en dehors des couches limites, est proportionnelle à l'échelle de Kolmogorov des fluctuations. Nos mesures expérimentales des plumes, associées aux simulations pourront confirmer ou infirmer ces observations par une autre technique de mesure.
- Si la résolution spatiale de la LIF est assez bonne, on essaiera de faire un zoom au niveau des couches limites pour connaître la dynamique de naissance et de croissance des plumes
- Si le temps le permet, la cellule de Rayleigh-Bénard sera mise sur une table en rotation et les modifications du comportement des plumes seront étudiées. Il devrait être possible d'observer le pompage d'Eckmann ainsi que la modification de la circulation à grande échelle du fait des effets de centrifugation des plumes.

Etude numérique

J. Dusek a développé un code de calcul particulièrement bien adapté aux géométries cylindriques (Ghidessa & Dusek 2000). Le code, dans sa version séquentielle, a permis d'effectuer de nombreuses études paramétriques de la transition à la turbulence dans les sillages et des instabilités des trajectoires de sphères, disques, cylindres et ellipsoïdes. Actuellement, il est en voie de parallélisation en collaboration avec M. Uhlmann (IfH, KIT) réaliser des simulations directes d'écoulements turbulents aux nombres de Reynolds correspondants à la configuration expérimentale. Il sera utilisé pour simuler la convection de Rayleigh-Bénard dans la cellule expérimentale dans l'hypothèse du modèle de Boussinesq de couplage des champs de vitesse et température, modèle couramment utilisé dans la littérature.

- Le premier objectif sera de simuler la forme, la température et l'hydrodynamique des plumes et de les comparer aux résultats expérimentaux.

- Le deuxième objectif sera d'effectuer un zoom sur les couches limites thermiques et visqueuses (ces dernières peuvent devenir turbulentes pour des grands nombres de Rayleigh) et d'étudier le comportement des plumes au niveau de l'interaction couches limites / bulk.

Bibliographie

Bosbach J., Weiss S. and Ahlers G., (2012) *Plumes Fragmentation by Bulk Interactions in Turbulent Rayleigh-Benard Convection*, Phys. Rev. Lett. **108**, 054501

D. Funfschilling and G. Ahlers (2004) *Plumes Motion and Large-Scale Circulation in a Cylindrical Rayleigh-Benard Cell* Physical Review Letters **92**.194502

B. Ghidersa and J; Dusek (2000) *Breaking of axisymmetry and onset of unsteadiness in the wake of a sphere* J. Fluid Mech. **423** (2000), pp. 33-69.

Contacts

Denis Funfschilling, Chargé de Recherche CNRS
ICube, UMR 7357, Equipe MécaFlu
2, rue Boussingault
67000 Strasbourg
Email : dfunfschilling@unistra.fr
Tel : 06 69 66 10 19

Jan Dusek, Professeur Unistra
ICube, UMR 7357, Equipe MécaFlu
2, rue Boussingault
67000 Strasbourg
Email : dusek@unistra.fr
Tel : 03 68 85 28 93