

Compte-rendu de la session : Transport Lagrangien

GdR Turbulence, Aussois - Mardi 13 décembre 2011

Animateur de la session : Romain Volk

Rédacteur : Lionel Fiabane

- **Romain Volk**, Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon.

Introduction sur le transport de particules

Après une brève introduction sur la turbulence lagrangienne et l'utilité de son étude, R. Volk introduit le sujet du transport de particules sous l'angle expérimental. L'accent est tout d'abord mis sur les différences existant entre les traceurs, suivant parfaitement la dynamique de l'écoulement, et les particules inertielles dont la dynamique propre diffère de celle de l'écoulement sans qu'il existe toutefois de modélisation parfaitement satisfaisante. M. Gorokhovski soulève notamment la difficulté de la définition de la vitesse de glissement relative à celle du fluide pour une particule de relativement grande taille dans la définition du nombre de Stokes. D'autres difficultés sont soulignées pour les études expérimentales lagrangiennes : la taille parfois très faible des objets à suivre, la fréquence d'échantillonnage élevée ou les temps de mesures longs pour avoir accès aux corrélations. L'orateur présente ensuite deux techniques de mesure permettant de palier ces problèmes : les mesures PTV (Particle Tracking Velocity) et Doppler (acoustique ou optique). Suivent ensuite des résultats obtenus dans le cas d'écoulements de von Kármán pour lesquels il est relativement facile de générer des nombres de Reynolds R_λ élevés : le forçage étant inertiel, les fluctuations de vitesse sont proportionnelles à la vitesse de rotation des disques ; l'anisotropie conduit à des PDFs différentes pour les vitesses axiales et transverses ; les PDFs d'accélération sont plus isotropes mais fortement non-gaussiennes et plus pointues (cette "non-gaussianité" étant reliée à une forte intermittence). Enfin, R. Volk donne quelques résultats d'expériences pour des particules inertielles : effets de concentration préférentielle observés lorsque les nombres de Stokes sont petits, filtrage et réduction de l'intermittence pour les nombres de Stokes élevés. Les PDFs de vitesse du fluide sont inchangées, en revanche la flatness de l'accélération décroît lorsque la taille des particules augmente.

Collaborateurs : M. Bourgoïn, E. Calzavarini, D. Chareyron, L. Fiabane, N. Machicoane, J.-F. Pinton, R. Zimmermann

- **Lionel Fiabane**, Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon.

Concentration préférentielle dans un écoulement turbulent : le cas des particules iso-denses

L. Fiabane rappelle tout d'abord la définition des paramètres utiles aux études relatives aux particules, puis présente quelques résultats expérimentaux et numériques connus sur la concentration préférentielle pour des particules de densité généralement différente de celle du fluide. Il remarque que souvent, seul le nombre de Stokes est utilisé pour indiquer la probabilité de concentration préférentielle. Son travail porte sur l'étude de la dynamique collective de particules iso-denses dans un écoulement turbulent généré par le LEM, un appareil en forme d'icosahédre et muni de douze moteurs permettant de créer une turbulence dans de l'eau plus homogène et isotrope que des écoulements de von Kármán traditionnels. Les particules utilisées ont la même densité que le fluide mais sont de taille entre 5 et 17 fois plus grande que l'échelle de Kolmogorov pour des vitesses de moteur comprises entre 2Hz et 12Hz ; leur dynamique diffère de celle de l'écoulement et ne peuvent à ce titre être considérées comme

des traceurs ; de plus leur nombre de Stokes est non-négligeable et varie avec la vitesse des moteurs. La concentration préférentielle est étudiée à l'aide d'une étude statistique de l'aire de Voronoï sur plusieurs images décorréelées, permettant de déterminer la probabilité de présence d'amas et de trous sur des images prises au centre du LEM. Les différentes expériences (différents nombre de Stokes, plusieurs concentrations de particules) montrent une absence de concentration préférentielle. L. Fiabane conclue que cette classe de particules ne présente le même type de dynamique collective que des particules de densités différentes de celle de l'écoulement porteur, et que le nombre de Stokes n'est pas suffisant pour caractériser à coup sûr la présence de concentration préférentielle.

Collaborateurs : M. Bourgoïn, A. Cartellier, R. Monchaux, J.-F. Pinton, R. Volk, R. Zimmermann

- **Nicolas Rimbert**, ESSTIN / LEMTA , Nancy.

Un modèle simple d'intermittence fondé sur un modèle de vortex étiré aléatoirement et auto-évitant / Un modèle d'atomisation liée aux intermittences de la turbulence

Après quelques rappels théoriques sur l'intermittence et la transition vers la turbulence, N. Rimbert présente deux modèles faisant intervenir l'intermittence appliqués notamment à la dispersion de particules. Ces modèles s'attachent à établir un scénario possible de la turbulence prenant en compte le moins d'hypothèses superflues possibles ; plus concrètement le paramètre clé dans ces modèles est la conservation du moment cinétique. Le modèle simple d'intermittence présenté se base sur un lien entre l'étirement de vortex et des études statistiques sur les polymères. La distribution de la dissipation de turbulence ε est une loi log-stable, dont le paramètre de stabilité est inversement proportionnel à l'exposant de Flory classiquement utilisé dans les études de polymère. Enfin, ce modèle ne contient pas de paramètre ajustable, seule la connaissance des échelles de Kolmogorov et de Taylor est nécessaire. Le modèle d'atomisation utilise une loi log-Lévy stable, avec un paramètre de déplacement lié à la longueur d'onde des instabilités et nécessitant la connaissance de ε .

Collaborateurs : E. Belut, R. Guichard, A. Tanière

- **Mathieu Gibert**, Institut Néel, Grenoble.

Couplage entre un écoulement turbulent et une particule de taille finie

M. Gibert présente des résultats expérimentaux obtenus lors de son post-doc au Max Planck Institut de Göttingen : il s'agit d'une nouvelle technique de mesure donnant accès à la fois à la dynamique d'une particule lagrangienne, et à la dynamique du fluide entourant cette particule. L'orateur rappelle tout d'abord la difficulté de déterminer la dynamique des particules de grande taille et l'insuffisance du nombre de Stokes à ce titre. L'idée de l'expérience est donc d'essayer d'étudier plus précisément la dynamique d'une grande particule et de l'écoulement autour de celle-ci. Pour ce faire, M. Gibert utilise une bille de polymère ayant la capacité de se gorger d'eau jusqu'à constituer une particule de quelques millimètres à 1 ou 2 centimètres, constituée à plus de 98% d'eau et ayant ainsi des caractéristiques physiques similaires à l'eau (indice optique, densité, etc). Des traceurs fluorescents sont ensuite placés dans un écoulement de von Kármán, ainsi que la particule marquée sur sa surface de quelques points fluorescents. Une technique PTV permet ensuite de suivre tous les points/particules fluorescents dans l'espace et le temps. Les trajectoires "liées" sont séparées et combinées pour déterminer la trajectoire (translation + rotation) de la particule lagrangienne. Une étude est ensuite menée sur les corrélations entre les moments de vitesse de la particule et les moments de vitesse du fluide. Il n'y a pas de différence sur les vitesses moyennes loin de la particule. En revanche on observe une corrélation sur les

fonctions de structures d'ordre deux près de la particule (jusqu'à 1 à 2 rayons de la particule). L'orateur présente ensuite quelques résultats concernant la rotation de la particule. Essentiellement, la rotation "moyenne", ou la plus probable, augmente lorsque le nombre de Reynolds augmente. Enfin, on peut observer le champ de vitesse de l'écoulement dans le repère de la particule, dans lequel il semble y avoir un sillage.

Collaborateurs : E. Bodenschatz, S. Klein

- **Robert Zimmermann**, Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon.

L'application du théorème de fluctuations au mouvement des particules

R. Zimmermann propose dans ce travail des applications concrètes du théorème de fluctuation, tout d'abord sur des résultats expérimentaux, puis sur des résultats de simulations 2D et 3D. L'étude expérimentale consiste en l'analyse des mouvements de translation et de rotation d'une grosse particule (taille de l'ordre de l'échelle intégrale). L'énergie de translation est clairement dominante pour ce système, et l'échange d'énergie d'une particule est donc approximativement égale au produit de la vitesse et de l'accélération. L'étude des PDFs de puissance en utilisant des moyennes temporelles glissantes permet d'appliquer le théorème de fluctuations à différentes échelles. Les résultats montrent qu'on peut alors relativement bien définir une "température" à partir de l'exposant des exponentielles obtenues pour les différentes moyennes temporelles. Les résultats pour les simulations de particules dans un écoulement turbulent sont en revanche décevants. En 2D et en 3D avec modèle de turbulence, le théorème de fluctuations n'est pas du tout retrouvé, pour des raisons encore mal définies. En revanche pour les simulations 3D DNS avec particule, les résultats sont encourageants mais font apparaître le besoin de coupler plus avant la particule et l'écoulement, afin de mieux simuler les échanges d'énergie dans le système.

Collaborateurs : M. Bourgoïn, L. Fiabane, Y. Gasteuil, J.-F. Pinton, A. Pumir, R. Volk, M. Voßkuhle.

- **Nathanaël Machicoane**, Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon.

Étude de la signature de la diffusion dans un jet turbulent

N. Machicoane présente ses résultats de stage Master 2 portant sur l'étude d'un mécanisme de diffusion-phorèse, initialement observé dans les études de microfluidique et appliqué ici à un jet turbulent macroscopique. Ce mécanisme consiste en la modification du coefficient de diffusion d'un produit par adjonction de sel. Dans ce travail, plusieurs espèces liées à la rhodamine de coefficients de diffusion différents (rhodamine, dextran et colloïdes) sont injectées dans un jet turbulent, à différents débits. Une nappe laser perpendiculaire au jet est placée en aval et permet, via une analyse par lissage des images prises dans cette nappe (introduite par Villermaux et Duplat), la création d'une échelle de mélange. L'effet attendu est bien observé, et ce quelque soit le débit : les échelles de mélange sont plus grandes pour les espèces dont le coefficient de diffusion est plus important ; de plus l'adjonction de sel à l'espèce mélangée diminue le coefficient de diffusion de même que l'échelle de mélange. Il n'est en revanche pas encore possible, avec les résultats actuels, d'observer un spectre de Batchelor en k^{-1} comme suggéré par L. Danaïla. Le sujet est tout de même prometteur pour l'étude et l'observation de mélanges turbulents.

Collaborateurs : L. Bocquet, M. Bourgoïn, C. Cottin-Bizonne, R. Volk, C. Ybert