GDR Turbulence & Dynamo Nice, 6-9 nov. 2006 Compte rendu du thème 8 "Divers"¹ 17 novembre 2006

Michaël Le Bars : effet de la force de Coriolis sur l'instabilité elliptique

(IRPHE, Marseille)



Une instabilité elliptique est caractérisée par la déstabilisation 3D d'un écoulement 2D tournant (voir Kerswell 2002 pour une revue). On peut l'observer dans le sillage d'un avion par exemple. Les travaux présentés ici font suite à la thèse de Laurent Lacaze (IRPHE, Marseille) sur le comportement d'un tourbillon dans une sphère

déformée (spin-over). Il s'agit d'étudier l'effet de la rotation, et donc la force de Coriolis en particulier, sur l'instabilité observée. Il s'agit d'un travail expérimental appuyé par une étude théorique des modes résonants principaux de l'écoulement.

On peut prédire théoriquement que la force de Coriolis modifie les fréquence de résonance d'un facteur $\frac{2\Omega^G}{(1+\Omega^G)}$ ou Ω^G est la rotation globale (en pratique le dispositif est installé sur une table tournante). On peut aussi donner une expression explicite du taux de croissance de l'instabilité.

Des mesures sur une instabilité elliptique dans un cylindre ont d'abord été présentées. On observe des odes de résonances plus ou moins complexes. En mesurant l'amplitude de la forme sinusoïdale du tourbillon on accède au taux de croissance de l'instabilité. Les mesures sont en bon accord qualitatif avec les résultats théoriques. L'expérience reste limitée par les vitesses de rotation accessibles sur la table tournante.

Des résultats similaires ont été présentés pour l'instabilité dans un écoulement sphérique déformé. On peut finalement sélectionner un mode de résonance particulier en jouant sur le rapport $\frac{\Omega^{Fluide}}{\Omega^{Global}}$.

Péter Horvai : transport de particules, exposant de Lyapunov de la séparation de particules inertielles

(travail avec Gawedzki, Fouxon)

Il s'agit de calculer les exposants de Lyapunov associés à la séparation de particules inertielles dans un espace à 2 dimensions, dans l'hypothèse d'un champ de vitesse Gaussien δ corrélé. Si $\vec{R} = (x, y)$ est le vecteur séparation

¹rédigé par Pierre Chainais, pchainai@isima.fr

entre les 2 particules considérées, on pose $z = V/R + 1/(2\tau)$ où V et R sont des nombres complexes (par exemple V = u + iw et $z = (u + iw)/(x + iy) + 1/2\tau$) et τ est le temps de Stokes. Alors, on montre que :

$$\frac{dz}{dt} = -z^2 - \frac{1}{4\tau^2} + U.$$

où U est un mouvement Brownien sur le plan complexe avec des coefficients de diffusion β_L et β_N dans les sens réel et imaginaire respectivement. L'étude théorique de ce système mène à des expressions explicites de l'exposant de Lyapunov recherché. Quand l'un des coefficients de diffusion vaut 0 on peut trouver une solution analytique (et Lyapunov = $\langle z \rangle -1/2\tau$), sinon on obtient seulement le comportement asymptotique pour τ grand (en plus de la valeur $\tau = 0$ bien sûr).

Pierre Chainais : *utilisation de processus stochastiques dans les simulations numériques ?*

(LIMOS UMR CNRS 6158, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand)



La modélisation statistique des écoulements turbulents est souvent limitée à l'identification de propriétés statistiques (moments, distributions, fluctutations...) à partir de données expérimentales ou numériques. On identifie alors implicitement les données à une réalisation d'un processus stochastique. La définition de processus stochastiques ayant de "bonnes pro-

priétés" (spectre en $k^{-5/3}$, évolution des PDF à travers les échelles...) est un problème délicat, à l'interface entre modélisation physique et mathématique. Le travail présenté ici fait état de processus stochastiques, les *cascades infiniment divisibles*, permettant d'obtenir un champ scalaire positif, pouvant par exemple être assimilé au champ de dissipation turbulent $\varepsilon(\mathbf{x}, t)$. On peut ainsi simuler un champ scalaire 3D évoluant dans le temps. Aussi bien la répartition spatiale (dépendance en \mathbf{x}) que lévolution temporelle (dépendance en t) de ce champ sont multifractales. Le processus obtenu est intermittent en temps et en espace. Ses propriétés (inhomogénéité, anisotropie, distributions...) sont facilement contrôlables pour obtenir une grande variété de processus. La prochaine étape sera l'obtention de processus vectoriels. La question se pose de savoir si ce type de processus possède suffisamment de bonnes propriétés pour être utilisés pour simuler les petites échelles d'un écoulement, les grandes échelles étant simulées en utilisant les équations de Navier-Stokes.

Un petit film est disponible à

http://www.isima.fr/ chainais/PUB/FILMS/exempleToulouse.avi Ce petit film montre une succession d'images multifractales, dont l'évolution temporelle est elle-même multifractale.

Références : Multidimensional infinitely divisible cascades. Application to the modelling of intermittency in turbulence, P. Chainais, *European Physical Journal B*, Vol. 51, no. 2, pp. 229-243, 2006.

Daniel Schertzer : stratification, ondes, turbulence, analyses, simulations pour des écoulements géophysiques

(CEREVE, ENPC, Paris; travail avec S. Lovejoy, A.F. Tuck, S.J. Hovde, L.Tramini, G.Blanchet, A. Oguic)

Après le rappel de quelques analyses fondamentales (spectre de Van Der Hoven, diagramme de Stommel,...), les résultats de plusieurs observations expérimentales dans les écoulements atmosphériques utilisant un LIDAR embarqué dans un avion (Pacific 2001) sont présentés. Ces résultats illustrent notamment la stratification atmosphérique. La notion de sphéro-échelle est évoquée (Lilley et al. PRE 2004). Ensuite, les résultats de mesures par des sondes (campagne de 2004) permettent de mettre en évidence une stratification fractale des couches stables et instables de l'atmosphère, avec une structure proche de celle d'un ensemble de Cantor de dimension fractale $D_c = 0.89$. On peut aussi montrer que les contraintes de cisaillements dans une couche sont reliées à son épaisseur par une loi de puissance en 3/5 cohérente avec un modèle de Bolgiano-Obukhov. Les observations sont similaires pour le moment d'ordre 1 en valeur absolue des accroissements de température et de concentration en ozone. Enfin, des illustrations de nuages synthétisées par intégration fractionnaire d'un champ scalaire (FIF pour Fractional Integration of a localized Flux) sont présentées.

Emmanuel Lévêque : *simulation des grandes échelles et turbulence cisaillée*

(Laboratoire de Physique ENS Lyon, travail avec F. Toschi, L. Shao, J.-P. Bertoglio)

Emmanuel Lévêque a présenté un modèle sous-maille pour LES obtenu en modifiant le modèle de Smagorinsky. Un modèle sous-maille décrit le tenseur :

$$\tau_{ij}(\vec{x},t) = \langle u_i(\vec{x},t)u_j(\vec{x},t) \rangle - \langle u_i(\vec{x},t) \rangle \langle u_j(\vec{x},t) \rangle$$

qui apparaît dans les équations de Navier-Stokes lorsqu'on décompose le champ de vitesse en "grandes échelles + fluctuations". On propose alors un modèle de viscosité turbulente qui doit pomper aux grandes échelles la bonne quantité d'énergie. Le modèle de Smagorinsky présente quelques défauts, notamment au voisinage des parois. On peut alors modifier le modèle de différentes manières. On peut utiliser une fonction qui s'annule à la paroi, mais il n'est pas évident d'en ajuster l'épaisseur. On peut aussi proposer un modèle dynamique, mais il risque de s'avérer numériquement instable et très coûteux en temps de calcul. On peut proposer un compromis :

$$\nu_T(\mathbf{x},t) = (C_s \Delta)^2 \left(|\bar{S}(\mathbf{x},t)| - |\langle \bar{S}(\mathbf{x},t) \rangle| \right)$$

où \overline{S} est le taux de cisaillement. Le modèle proposé respecte notamment le cas limite laminaire puisqu'alors $\nu_T = 0$. Le modèle a été validé sur un écoulement dans un canal plan par comparaison avec les résultats d'une DNS : le comportement près des parois semble bon. Une simulation d'un écoulement derrière une marche d'escalier présente elle aussi un bon comportement.

J.-P. Laval a demandé s'il était intéressant de rafiner le modèle de Smagorinsky puisque les hypothèse associées sont contestables. Emmanuel a répondu que ce modèle était intéressant puisque couramment utilisé dans l'industrie pour son rapport performance sur coût de calcul imbattable. Un autre problème concerne l'utilisation de moyennes d'ensemble dans le modèle d'Emmanuel : elles doivent effectivement être estimées pendant la simulation elle-même en utilisant une hypothèse d'ergodicité.

Référence : preprint disponible à

http ://perso.ens-lyon.fr/emmanuel.leveque

Bernard Malraison : actuateurs électroaérodynamiques et influence de la couche limite

(Laboratoire d'Electrostatique et de Matriaux Dilectriques, travail avec Franck Mc Cuskey et F. Pirotais (LEGI))

Il s'agit d'étudier l'interaction éventuelle entre un flux de charges et un écoulement fluide grâce à l'utilisation d'un système essentiellement constitué d'une électrode et d'un circuit imprimé associé. Les chocs entre un flux de charges issues de l'électrode (électro-germes) et les molécules du fluide peuvent engendrer une avalanche électronique par ionisation du gaz par exemple. Il apparaît alors un vent électrique, susceptible de modifier le comportement de la couche limite (au-dessus du circuit imprimé). On pourrait imaginer retarder ainsi le décollement d'une couche limite. Cependant, les ordres de grandeurs sont incompatibles avec une application pratique aux voitures ou aux avions.

Aurore Naso : l'algorithme Physalis : un outil pour la simulation de particules en écoulement turbulent

(Post-Doc à l'Université de Twente aux Pays-Bas, en collaboration avec Andrea Properetti)



En suspension diluée, le rôle des particules dans un écoulement est pratiquement négligeable. Lorsque la densité en particules augmente, on observe une interaction entre les particules et l'écoulement. Lorsque cette densité devient importante, on observe de plus l'effet des chocs entre particules. L'algorithme Physalis (Prosperetti et al. 2003) a pour objectif de simuler la dynamique de sphères 3D ou de cylindres 2D

dans un écoulement gouverné par les équations de Navier-Stokes. L'objectif du travail préenté ici est la simulation d'un écoulement impliquant jusqu'à 1000 sphères de taille finie. Le principe de Physalis est le suivant : en utilisant la condition de non-glissement, on peut résoudre analytiquement l'écoulement au voisinage de la particule dans son rfrentiel de repos ($\psi = \sum_n A_n f_n(r, \theta) + B_n g_n(r, \theta)$). Le reste de l'écoulement est résolu numériquement. Ceci permet d'éviter la complexité géométrique introduite par la frontière de la particule (grille cartésienne). La condition de nonglissement est résolue exactement. Il n'y a pas de modélisation de forces (premiers principes). Le temps de calcul augmente très peu avec le nombre de particules considérées.

Romain Monchaux : un théorème fluctuationdissipation pour les écoulements turbulents axisymétriques

(thèse dirigée par Bérangère Dubrulle, CEA Saclay)

On considère un écoulement turbulent comme un système hors équilibre ayant de nombreux degrés de liberté (cf. les travaux de Sommeria, Robert & Bouchet en 2D).

Romain a commencé par un rappel théorique des travaux de Le Provost, Dubrulle & Chavanis 2005 sur les fluctuations du moment cinétique dans un écoulement de Beltrami. On obtient de manière exacte que $\sigma \propto r^2$.

Les mesures par LDV et PIV dans un écoulement (eau-glycérol) axisymétrique de von Kármán-Couder (machine à laver) montrent que le momenet cinétique devient quasi-proportionnel à la fonction courant ψ lorsque le nombre de Reynolds augmente, ce qui indique un comportement similaire aux hypothèses d'un écoulement de Beltrami. De plus, on observe que :

$$\bar{\sigma^2} - \bar{\sigma}^2 = \frac{r^2}{\beta},$$

où β s'interprète alors comme l'inverse d'une température dépendant de Re. Les travaux futurs devront faire le lien avec les fluctuations d'autres quantités.

Yves Gagne a demandé si l'on pouvait considérer que l'écoulement se "Beltramise" lorsque *Re* augmente. Même si on observe effectivement des comportements similaires du moment cinétique à haut Reynolds, on ne peut cependant pas en déduire que la dynamique de l'écoulement est la même. Des dynamiques différentes peuvent donner lieu à des observations similaires sur certaines quantités.

Référence : Monchaux et al., PRL'2006.

Wouter Bos : forçage périodique de la turbulence et réponse des petites échelles

Postdoc LMSNM Marseille, collaboration avec J.-P. Bertoglio, L. Shao (Ecole Centrale de Lyon) et R. Rubinstein (NASA Langley) La réponse des petites échelles à un forcage aux grandes échelles est étudiée en utilisant une fermeture en deux points (EDQNM) dans le cas de la turbulence isotrope. Dans l'équation pour l'énergie cinétique k,

$$k(t) = P(t) - \epsilon(t) \tag{1}$$

nous appliquons un forcage $P(t) = \bar{P} + \tilde{P}\cos(\omega t)$ avec $\tilde{P} \ll \bar{P}$ et nous évaluons la réponse de la dissipation $\epsilon(t) = \bar{\epsilon} + \tilde{\epsilon}\cos(\omega t + \phi_{\epsilon})$. Sur la figure 1, nous montrons la partie périodique de la dissipation $\tilde{\epsilon}$ en fonction de la fréquence (ω). Nous montrons que la décroissance de $\tilde{\epsilon}(\omega)$ proportionelle en ω^{-3} peut être expliquée par des intéractions triadiques très non-locales.



FIG. 1 – Fig. 1. $\tilde{\epsilon}(\omega)$ pour $30 < R_{\lambda} < 1000$

Référence : W. Bos, T. Clark and R. Rubinstein, Small scale response and modeling of periodically forced turbulence. Soumis à Phys. Fluids.

Laurette TUCKERMAN : Patterns of turbulence

(LIMSI/Warwick)

On s'intéresse à la simulation numérique d'écoulements de Couette plan sur un domaine à grand rapport d'aspect. On observe l'apparition de motifs périodiques (animation issue de la simulation) similaires à ceux observés expérimentalement. Lorsque Re diminue, on observe une transition en passant par une intermittence on-off. En utilisant un modèle $K - \Omega$, on peut étudier l'instabilité et son taux de croissance en fonction de Re. On obtient un Reynolds critique différent dans les simulations et dans les expériences. La question se pose de savoir si on n'observe pas plus l'instabilité du code que de l'écoulement dans ce cas précis.

Nicolas Mazellier : turbulence induite par une grille fractale

(thèse avec Ch. Baudet, LEGI Grenoble, et Ch. Vassilicos, Imperial College de Londres)

Une motivation pour l'utilisation des grilles fractales est l'obtention d'un meileur mélange. C'est une grille de maille carrée qui a été utilisée ici : La géométrie est contrôlée par 5 paramètres, qui permettent en particu-



lier les comparaisons avec une grille régulière (cf. Hurst et al., soumis à Phys. of Fluids). A vitesse moyenne identique, on obtient loin de la grille un écoulement de R_{λ} plus élevé (mesures fil chaud) indiquant un mélange plus intense. En utilisant des mesures d'interférométrie acoustique (Poulain et al. 2004) on peut étudier la fonction d'autocorrélation du champ de vorticité pour un nombre d'onde fixé. Près de la grille, on observe des fonctions d'autocorrélation oscillant sur une échelle de 10 cm environ de manière similaire pour le champ de vitesse $\vec{v}(\vec{x},t)$ (fil chaud) et pour la vorticité $\omega(\vec{k},t)$ (acoustique). L'origine de ces oscillations n'est pas bien comprise actuellement.