

Activités de l'Equipe Turbulence d'IRPHE (Juillet 2001)

L'équipe « turbulence » a pour objectif l'étude du phénomène de turbulence en milieu fluide et ses interactions avec d'autres phénomènes physiques en associant les approches expérimentales, théoriques, les fermetures statistiques et les simulations numériques. Fortement couplé aux études fondamentales, le champ des applications est vaste et couvre à la fois les problèmes industriels et environnementaux.

Etudes des petites échelles de la turbulence

M. Amielh, F. Anselmet, M. Coantic, L. Danaïla, J.J. Lasserre, P. Le Gal

Collaborations : R.A. Antonia (Univ. de Newcastle, Australie), J. Dusek (Univ. de Strasbourg),

J.F. Pinton (ENS, Lyon), A. Pumir (INLN, Nice)

Contrats EDF-LNH, Peugeot

Nous avons développé une approche analytique pour prendre en compte de façon explicite l'influence des grandes échelles sur les propriétés statistiques des échelles inertielles et dissipatives. Par exemple, pour une turbulence de grille, l'équation de Kolmogorov (qui constitue le bilan à chaque échelle de l'énergie moyenne du champ dynamique) et l'équation de Yaglom (son homologue pour un scalaire passif tel que la température) doivent être chacune complétées par un terme supplémentaire, découlant directement de la non-homogénéité en aval de la grille. Ceci traduit donc l'existence d'une corrélation non-négligeable entre les échelles d'injection, de transfert et de dissipation de l'énergie, et ce d'autant plus que le nombre de Reynolds est faible [A11]. Pour le cas légèrement plus complexe du mélange associé à un gradient moyen de température (\bar{G}), il faut prendre en compte à la fois la non-homogénéité et l'anisotropie sur la direction parallèle à \bar{G} , l'isotropie tridimensionnelle étant alors relaxée à une isotropie bidimensionnelle, valable dans un plan perpendiculaire à \bar{G} [A12]. Enfin, sur l'axe d'un canal turbulent pleinement développé, c'est la diffusion turbulente latérale qui doit être prise en compte dans l'équation de Kolmogorov, sans avoir besoin de relaxer les hypothèses d'isotropie [A97].

En ce qui concerne la mesure du taux de dissipation de l'énergie cinétique de la turbulence (basé sur les variances des dérivées de vitesse), les résultats les plus marquants sont liés à l'évolution des spectres des quantités ΔU en fonction de la séparation Δy entre deux fils chauds parallèles et des différents paramètres du problème (nombres de Reynolds, surchauffes des fils, ...): contrairement à ce qui avait été avancé par certains auteurs, il n'y a pas d'interaction thermique entre les fils, et ceci n'est donc pas la raison de la divergence à l'origine des quantités $\langle \Delta U^2 \rangle / \Delta y^2$. Au contraire, ces spectres sont très altérés sur toute la gamme de fréquences, résultat tout à fait nouveau, de sorte qu'un bruit classique, d'origine purement électronique liée aux circuits des anémomètres, ne semble pas non plus être la cause des erreurs de mesure des dérivées avec des sondes à fils parallèles. De nombreuses autres causes d'erreur possibles (imprécisions liées à l'étalonnage, cross-talk électronique, ...) ayant été analysées en détail, il ne semble rester à ce jour comme source principale d'erreur que l'altération de l'écoulement par la présence des sondes: ceci est en cours d'approfondissement à l'aide des signaux que J.J. Lasserre a obtenus pendant sa thèse (soutenue en 2000).

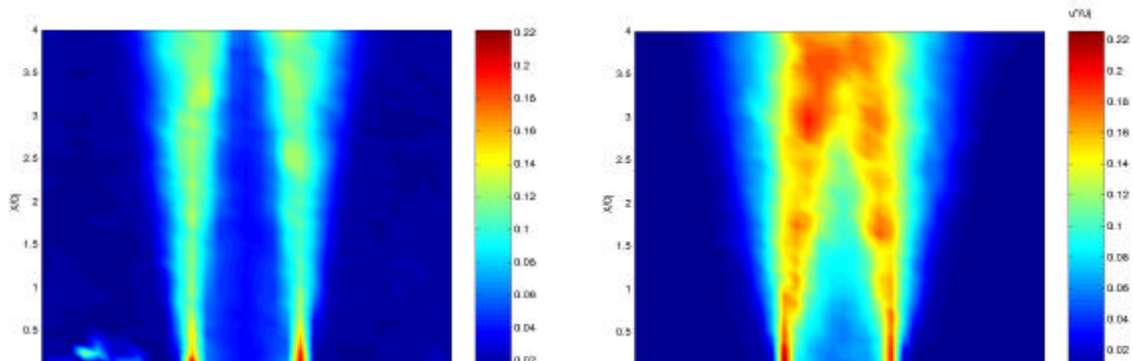
Jets turbulents à masse volumique variable

M. Abid, M. Amielh, F. Anselmet, M.P. Chauve, S. Ravier

Collaborations : A. Burluka (Univ. de Leeds, U.K.), P. Chassaing (IMFT, Toulouse),

L. Pietri (Univ. de Perpignan), A. Gharbi (Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie)

Contrat EDF-LNH



Mesures par PIV de l'intensité de turbulence de vitesse longitudinale u/U_c dans la zone de proche sortie du jet d'air ($Re=21\ 000$) et du jet d'hélium ($Re=7000$).

Ce thème de recherche s'intéresse à la structure des jets turbulents sièges de fortes variations de masse volumique résultant du mélange d'hélium ou de CO₂ avec l'air ambiant, le cas d'un jet d'air faiblement chauffé servant de base. Ce sujet d'étude s'est trouvé assez nettement ralenti depuis la fin 1998, par le fait principal que n'avons pas pu recruter de nouvel étudiant thésard. Néanmoins, un système de mesures de vitesse par PIV a été mis au point et validé, dans la zone s'étendant principalement de la sortie de la buse jusqu'à environ 20 fois D_j. En accord avec nos résultats antérieurs, la figure présentée illustre les possibilités de la PIV pour l'analyse fine du champ turbulent de vitesse. On se propose maintenant d'utiliser la PIV, en interaction avec des simulations numériques, pour cerner l'origine des propriétés spécifiques aux jets légers, comme leur capacité à favoriser le mélange. En effet, il a été avancé que des effets baroclines générant de la vorticité supplémentaire, résultant de la réorientation du gradient de pression vis à vis de la vorticité, pourraient intervenir en zone de proche sortie. Ceci sera l'objet du travail de thèse de S. Ravier, qui débutera à l'automne 2001.

Etudes liées à l'environnement

M. Amielh, F. Anselmet, R. Borghi, O. El Ganaoui

Collaborations : J.Y. Bottero (CEREGE, Aix-en-Provence), P. Boyer (IPSN, CEA-Cadarache),
C. Grenz (LOB-COM, Marseille)

Nos connaissances acquises sur les écoulements tels que les jets et les couches limites et sur la maîtrise de diverses techniques de mesures nécessaires à leur exploration nous ont conduit à nous intéresser à des problématiques liées à l'environnement, où ces types d'écoulements sont naturellement présents. Ainsi, nous nous intéressons aux mécanismes de dynamique sédimentaire en liaison avec les problèmes radioécologiques, ce qui fait l'objet du travail de thèse de O. El Ganaoui. Afin de quantifier leurs propriétés d'érosion et de dépôt (éléments essentiels dans la modélisation développée au CEA-IPSN), des sédiments prélevés dans le Rhône sont analysés dans le canal à courant du LOB. Les capacités d'adsorption-désorption des radionucléides évoluant d'une classe granulométrique à une autre, l'originalité de ce travail est de distinguer différentes classes de particules dans le modèle sédimentaire afin de tenir compte de ces différences de comportement radioécologique en fonction de la granulométrie des sédiments. Notons que cette collaboration entre l'IRPHE et le LOB débouche sur la construction d'un nouveau canal à courant (dont les propriétés hydrodynamiques seront mieux maîtrisées) qui permettra l'étude expérimentale de remise en suspension de sédiments à la fois en milieu marin et en milieu fluvial. Ce projet, soutenu par le Réseau de Mécanique des Milieux Naturels de l'Université de la Méditerranée (Responsable: C. Kharif), est financé par le BQR de celle-ci. Par ailleurs, dans le cadre de ce Réseau, nous avons initié avec le CEREGE une réflexion dans le but de définir une expérience d'hydrodynamique qui permette d'analyser les mécanismes de floculation au sein d'écoulements agités (que ce soit en milieu naturel ou industriel). Le rôle du cisaillement et/ou de la turbulence dans la formation-destruction de floes en solution étant loin d'être connu et maîtrisé, notre attention se porte sur un écoulement de Couette qui permet de contrôler à la fois le cisaillement et la durée d'exposition des floes à celui-ci.

Etude des fluctuations de pression en paroi d'une couche limite turbulente

B. E. Forestier, G. Giovanelli, D. Hespeel

Contrats DCN et DRET

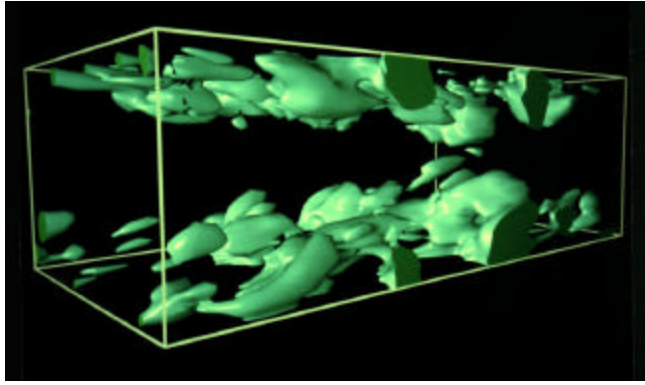
Cette activité concerne l'étude expérimentale des couches limites turbulentes se développant sur différents modèles de véhicules (plaque plane avec et sans gradient de pression, ogive, cylindre circulaire longitudinal à l'écoulement). Elle est orientée vers la mesure des grandeurs – frottement moyen, fluctuations de pression, fluctuations de frottement – et la compréhension des mécanismes impliqués dans la mise en vibration et le rayonnement acoustique des structures.

Écoulements turbulents instationnaires

A. Dejoan, R. Schiestel

Collaborations : B. Chaouat (ONERA), H. Wengle (Univ. Der Bundeswher, M nich),
B.E. Launder (UMIST, Manchester, U.K.)
Contrat ONERA/CNES

Les écoulements turbulents soumis à des instationnarités en moyenne, conduisent à des situations de non-équilibre spectral qui posent bien des problèmes de modélisation. Nous avons essentiellement étudié l'écoulement turbulent pulsé en canal plan, par LES [F9]. Les résultats expérimentaux sur les écoulements pulsés en canal montrent que si les moyennes temporelles sont peu affectées par rapport au canal stationnaire [



Structures d'iso-pressions en turbulence de canal plan non perturbé

A135], des effets importants apparaissent sur les amplitudes et les déphasages des quantités en moyenne de phase. Ce résultat ne peut être représenté par les modèles classiques basés sur une hypothèse d'équilibre comme de modèle de Smagorinsky. Nous proposons pour cela un nouveau modèle de sous-maille composé d'une ou plusieurs équations de transport. Le modèle à une équation qui se place dans la ligne des travaux de Horiuti , 1986, permet de prendre en compte ces effets de retard. Lorsque le maillage est très peu dense, la coupure spectrale peut se placer avant la zone inertielle du spectre et l'on a une simulation de très grandes échelles. Si de plus, l'écoulement est en non-équilibre spectral, la taille de la maille de calcul ne sera plus une

bonne estimation de l'échelle de longueur caractéristique de la turbulence. Dans ce cas l'introduction d'un modèle de sous-maille à deux équations de transport est proposée (pour l'énergie cinétique de sous-maille et le taux de dissipation). Dans ce modèle les coefficients sont des fonctions de la largeur du filtre. Ce modèle a permis une détermination correcte des déphasages sur l'intensité turbulente, tandis que le modèle de Smagorinsky présente des écarts importants. L'étude du canal pulsé à l'aide de modèles statistiques multiéchelles est prévue en collaboration avec le Prof. B.E. Launder.

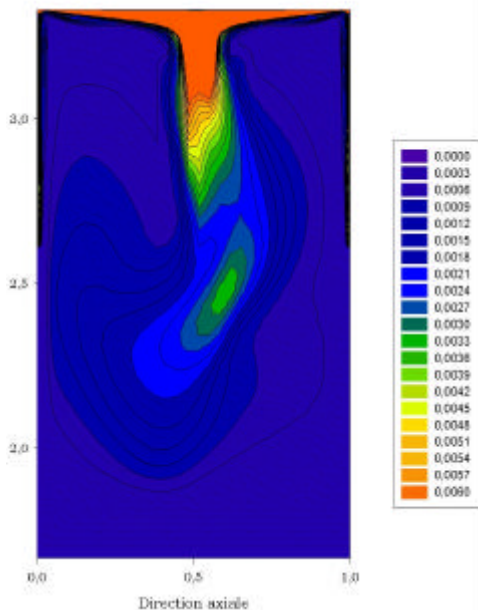
Sur un plan applicatif, une collaboration avec l'ONERA (B. Chaouat, M. Fabignon) est développée sur les problèmes posés par la modélisation de la turbulence dans les moteurs à propergol solide (MPS) qui présentent des régimes d'instationnarité naturelle. La collaboration porte sur la mise en oeuvre de modèles statistiques au second ordre ainsi que de simulations utilisant le précédent modèle de sous-maille à équations de transport.

Turbulence soumise à la rotation

M-P. Chauve, A. Randriamampianina, R. Schiestel

Collaborations : J.M. Owen & M. Wilson (Univ. de Bath,U.K.)

L'étude de l'influence de la rotation sur la turbulence en milieu confiné est menée sur le plan fondamental en



Energie turbulente instantanée, modélisation au second ordre.

conjuguant plusieurs approches : la simulation directe par méthode spectrale (A. Randriamampianina [A71, A127]), la simulation de grandes échelles (A. Randriamampianina et R. Schiestel), les fermetures statistiques au deuxième ordre (R. Schiestel). L'approche numérique réalisée à l'IRPHE est testée sur la base des données d'expériences en écoulements interdisques de l'Université de Bath (J.M. Owen et M. Wilson).

Les études en simulation directe s'intéressent aux régimes de transition et sont orientées vers les phénomènes d'instabilité, prémices de la turbulence [A126, A132]. Le cas, plus particulièrement étudié, d'une cavité cylindrique tournante fermée avec enveloppe externe fixe présente des phénomènes d'instationnarités dans la région centrale du courant de retour centripète ainsi qu'une forte non-homogénéité du champ turbulent. Il est remarquable que ce comportement instationnaire a été obtenu par les modélisations statistiques au second ordre (R. Schiestel). L'extension aux simulations de grandes échelles est en cours de développement.

Par ailleurs, les bancs d'essai expérimentaux d'IRPHE avec écoulement rotor-stator et flux centrifuge/centripète pourront être utiles pour l'analyse physique de tels écoulements.

Ecoulement turbulent en couche de mélange non cisailée

I. Befeno, R. Schiestel

Collaborations : H. Wengle (Univ. Der Bundeswher, München),

Coopération CNRS/DFG

La diffusion de la turbulence en l'absence de gradient de vitesse possède des propriétés spécifiques qui ne sont pas bien représentées par les modèles de fermeture classiques. De plus, le mélange de deux courants turbulents d'échelles différentes peut donner lieu à des distributions spectrales de non-équilibre [B13]. Cela nous a conduit à l'étude de la couche de mélange non cisailée confinée en canal, réalisée par simulation de grandes échelles à l'aide de modèles de sous maille à équations de transport. Les résultats obtenus (I. Befeno) sont comparés avec ceux obtenus par le modèle classique de Smagorinsky et avec l'expérience de Veeravalli et Warhaft, 1989. Nous avons pour cela introduit une technique de génération d'un champ analytique pseudo-aléatoire anisotrope afin d'étudier l'influence de la structure de la turbulence imposée à l'entrée sur l'évolution de la couche de mélange. On peut ainsi jouer sur les paramètres d'anisotropie des vitesses et d'anisotropie structurelle (au sens de W.C. Reynolds et C. Cambon). Le modèle de Smagorinsky s'est avéré peu adapté à l'étude de la turbulence non cisailée, avec une sous estimation de l'épaisseur de la zone de mélange. Ainsi, les deux outils développés, que sont le modèle de sous-maille à équations de transport et la technique de génération de champs initiaux pseudo-aléatoires analytiques ont montré d'intéressantes potentialités pour décrire le mélange d'échelles en écoulements turbulents. Ce thème est aussi mené en relation avec le Prof. H. Wengle de l'Univ. de München qui réalise des simulations de grandes échelles avec calcul fin de l'écoulement autour des grilles génératrices et qui servent de données de comparaison.

Bilan

L'équipe Turbulence est composée de 4 Chercheurs CNRS, 1 Enseignant-chercheur-émérite, 1 Ingénieur de Recherche et 6 Doctorants. Depuis janvier 1999, elle a produit 29 publications parues dont 21 dans des journaux spécialisés à comité de lecture. L'équipe a géré dans cette période un total de 1,1 MF HT environ de contrats et subventions.

M. Amielh et F. Anselmet ont co-organisé une conférence internationale sur les écoulements à masse volumique variable à Banyuls en juin 2000.

Depuis janvier 2000, F. Anselmet est responsable du GDR-Turbulence du CNRS.

COLLABORATIONS :

Prof. R. A. Antonia (Univ. de Newcastle, Australie)

Prof. J.M. Owen & Dr. M. Wilson (Univ. de Bath, U.K.)

Prof. H. Wengle (Univ. de Munich, Allemagne)

Prof. B.E. Launder (Univ. de Manchester, U.K.)

Prof. T. Lili (Univ. de Tunis, Tunisie)

LISTE DE NOS PUBLICATIONS RECENTES :

Anselmet F., Chassaing P., Pietri L. Proceedings of the international conference on Variable density turbulent flows. Edité par les Presses Universitaires de Perpignan, 2000.

1- Anselmet F., Antonia R.A., Danaila L. Turbulent flows and intermittency in laboratory experiments. *Planetary and Space Science*, vol. 49, p. 1177-1191, 2001.

2- Anselmet F., Antonia R.A., Ould-Rouis M. Relations between third-order and second-order structure functions for axisymmetric turbulence. *Journal of Turbulence*, vol. 1, p. 3.1-3.10, 2000.

3- Antonia R.A., Zhou T., Danaila L., Anselmet F. Streamwise inhomogeneity of decaying grid turbulence. *Physics of Fluids*, vol. 12, p. 3086-3089, 2000.

4- Benaissa A., Lemay J., Anselmet F. Conditional correlation between a passive scalar and its dissipation in a turbulent boundary layer. *Experiments in Fluids*, vol. 26, p. 488-496, 1999.

5- Bouslimi M., Gharbi A., Amielh M., Lili T. Scalar triple moments in variable-density turbulent jets: experiment and model. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2001, Sous presse.

- 6- Coantic M., Lasserre J.J. On pre-dissipative bumps and Reynolds number dependent spectral parameterization of turbulence. *European Journal of Mechanics/B Fluids*, vol.18, p.1027-1047, 1999.
- 7- Danaïla L., Anselmet F., Zhou T., Antonia R.A. Turbulent energy scale-budget equations in a fully developed channel flow. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 430, p. 87-109, 2001.
- 8- Danaïla L., Anselmet F., Zhou T., Antonia R.A. A generalization of Yaglom's equation which accounts for the large-scale forcing in heated decaying turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 391, p. 359-372, 1999.
- 9- Danaïla L., Dusek J., Le Gal P., Anselmet F., Brun C., Pumir A. Planar isotropy of passive scalar turbulent mixing with a mean perpendicular gradient. *Physical Review E*, vol. 60, p. 1691-1707, 1999.
- 10- Danaïla L., Le Gal P., Anselmet F., Plaza F., Pinton J.F. Some new features of the passive scalar mixing in a turbulent flow. *Physics of Fluids*, vol. 11, p. 636-646, 1999.
- 11- Danaïla L., Zhou T., Anselmet F., Antonia R.A. Calibration of a temperature dissipation probe in decaying turbulence. *Experiments in Fluids*, vol. 28, p. 45-50, 2000.
- 12- Gregoire O., Souffland D., Gauthier S., Schiestel R. A two-time-scale turbulence model for compressible flows : Turbulence dominated by mean deformation interaction. *Physics of Fluids*, vol.11, n°12, p.3793-3807, 1999.
- 13- Louchard O., Randriamampianina A., A spectral iterative domain decomposition technique for the incompressible Navier-Stokes equations. *Applied Numer. Math.*, vol. 33, p. 233-240, 2000.
- 14- Pietri L., Amielh M., Anselmet F. Simultaneous measurements of temperature and velocity fluctuations in a slightly heated jet combining a cold wire and laser Doppler anemometry. *International J. of Heat and Fluid Flow*, vol. 21, p. 22-36, 2000.
- 15- Raddaoui M., Schiestel R., Chauve MP. Le mélange d'échelles en écoulement turbulent non-cisaillé. *C.R. Acad. Sci. Paris*, vol. 328, série II b, p 247-253, 2000.
- 16- Randriamampianina A., Schiestel R., Wilson M., Spatio-temporal behaviour in an enclosed corotating disk pair. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 434, p.39-64, 2001.
- 17- Raspo I., Hugues S., Serre E., Randriamampianina A., Bontoux P. Spectral projection methods for the simulation of complex three-dimensional rotating flows. *International Journal of Computers and Fluids*, 2001, Sous presse.
- 18- Serre E., Hugues S., Crespo Del Arco E., Randriamampianina A., Bontoux P. Axisymmetric and three-dimensional instabilities in an Ekman boundary layer. *International J. of Heat and Fluid Flow*, vol. 22, p.82-93, 2001.
- 19- Viazzo S., Dejoan A., Schiestel R., Spectral features of wall-pressure fluctuations in turbulent wall flows with and without perturbations using LES. *International J. of Heat and Fluid Flow*, vol. 22, p. 39-52, 2001.
- 20- Zhou T., Antonia R.A., Danaïla L., Anselmet F. Transport equations for the mean energy and temperature dissipation rates in grid turbulence. *Experiments in Fluids*, vol. 28, p. 143-151, 2000.
- 21- Zhou T., Antonia R.A., Danaïla L., Anselmet F. Approach to the 'four-fifths law' for grid turbulence. *Journal of Turbulence*, vol. 1, p. 5.1-5.12, 2000.