

ED SMAER
Sujet de thèses 2014

Laboratoire : Institut Jean Le Rond d'Alembert

Etablissement de rattachement : Université Pierre et Marie Curie

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Thomas Gomez (Section 60)

Codirection et section CNU et CNRS : Philippe Druault (section 60) et Jean François Krawzinski (section 60)

Titre de la thèse : Influence de l'anisotropie sur la dynamique du champ scalaire passif en écoulement turbulent : approche théorique et numérique.

Mots clés : Scalaire passif - Décroissance libre - EDQNM - Fermeture en deux points - Incompressible - Anisotropie - Nombre de Reynolds - Nombre de Prandtl - Cisaillement

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

1 Résumé du sujet :

La dynamique du scalaire passif est essentielle dans de nombreux phénomènes physiques liés aux écoulements turbulents comme par exemple le mélange d'espèces, la combustion ou la pollution atmosphérique. Nous nous proposons dans cette thèse d'explorer l'influence de l'anisotropie sur la dynamique d'un scalaire passif dans le cas d'une turbulence en décroissance libre. Suite à de nombreux travaux antérieurs nous avons choisi d'aborder ce problème par le développement de fermeture en deux points de type EDQNM que l'on étendra au cas scalaire et anisotrope en tenant compte de la directionnalité et de la polarité de l'anisotropie. Nous serons alors en mesure d'explorer numériquement l'influence de l'anisotropie sur les lois de décroissance de l'énergie cinétique, de la variance du scalaire et du flux scalaire pour une large gamme de paramètre : nombre de Reynolds, nombre de Prandtl ainsi que l'intensité des gradients moyens de vitesse $S = \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial z}$ et du scalaire $\Gamma = \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial z}$. Ces travaux sont essentiels pour obtenir une meilleure compréhension de l'influence de l'anisotropie sur la physique de la turbulence

et sont donc une étape essentielle dans l'optique de produire des modèles de turbulence anisotrope basés sur la physique des transferts à travers les échelles comme par exemple les fermetures de type "eddy viscosity" qui peuvent être utilisées dans les méthodes LES (Large Eddy Simulation).

2 Sujet développé :

2.1 Contexte :

1. Pourquoi s'intéresser au scalaire ?

Un scalaire passif est un contaminant qui a une certaine capacité diffusive et qui est transporté par l'écoulement sans rétroaction sur la dynamique de l'écoulement. La dynamique du scalaire passif est essentielle dans de nombreux phénomènes physiques liés aux écoulements turbulents comme par exemple le mélange d'espèces, la combustion ou la pollution atmosphérique.

2. Difficultés liées à la turbulence

La difficulté à prédire la dynamique du scalaire provient essentiellement du caractère turbulent de l'écoulement qui transporte le scalaire. Les effets non linéaires sont prédominant dans les écoulements turbulents et de ce fait les rendent particulièrement difficiles à prédire. Pour résoudre ce problème de nombreuses études théoriques et numériques ont fait suite aux premiers travaux de Kolmogorov 1941, décrivant par une approche essentiellement phénoménologique la turbulence comme une cascade d'énergie cinétique à travers les échelles. Ces travaux sont essentiels dans la compréhension de la turbulence même si de nombreuses études ont depuis montré que les hypothèses d'isotropie locale introduites par Kolmogorov, aux échelles inertielles et dissipatives n'étaient pas fondées (voir [1] pour une revue). Nous garderons de l'approche à la Kolmogorov la notion de séparation d'échelle notamment entre l'échelle intégrale à laquelle l'énergie est injectée et l'échelle dissipative de Kolmogorov à laquelle l'énergie est transformée en chaleur par frottement moléculaire. Ces hypothèses de séparation d'échelle ont notamment été utilisées par Comte Bellot Corrsin 1966 [2, 3] pour obtenir les lois de décroissance de l'énergie cinétique des fluctuations turbulentes dans le cas d'une turbulence homogène et isotrope (THI). Les prédictions théoriques de ces modèles ont été confirmées par des calculs de type EDQNM (Eddy Damped Quasi Normal Markovian Model) et montrent que la décroissance de l'énergie cinétique totale de l'écoulement (et de la variance du scalaire) est pilotée par le comportement infrarouge, c'est à dire à grandes échelles du spectre. Cette étude a été étendue au cas de la décroissance de la variance du scalaire toujours dans le cas d'une THI notamment par Lesieur et al. [4] et dans des travaux postérieurs [9, 10, 11]. Il est à noter que les hypothèses d'homogénéité et d'isotropie sont des hypothèses fortes qu'il est impossible de satisfaire strictement dans les expériences de grille ou de jet réalisées pour étudier

la turbulence en décroissance libre et qui sont de fait rarement satisfaites dans les écoulements turbulents couramment rencontrés.

La question que l'on pose dans cette thèse est :

Comment évoluent les lois de décroissance du scalaire dans le cas où l'on s'éloigne du cadre "idéal" de l'hypothèse d'isotropie? La décroissance étant pilotée par les grandes échelles de l'écoulement, il faudra caractériser les grandes échelles à l'aide de la forme du spectre d'énergie et scalaire infrarouge puis jouer sur le type et l'intensité de l'anisotropie imposée à la partie cinétique et/ou scalaire de l'écoulement.

3. Etat de l'art :

La version anisotrope du modèle EDQNM a été développée la première fois par Cambon et al. [5] dans le cas purement cinétique en introduisant un cisaillement moyen du type $S = \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial z}$, où \bar{U}_x est une composante du champ moyen de vitesse. Une paramétrisation angulaire du tenseur spectral d'ordre deux a été introduite dans le but d'intégrer analytiquement les termes de transfert sur des surfaces sphériques de rayon k dans l'espace des nombres d'onde. Les solutions du modèle numérique ont ainsi été obtenues pour le spectre cinétique pour une turbulence cinétique anisotrope dans le cas forcé (stationnaire). L'extension scalaire a été réalisée par Bos et al. [7, 6] en ajoutant au gradient de vitesse moyen $S = \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial z}$, la possibilité d'y superposer un gradient moyen de scalaire $\Gamma = \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}$. Ces travaux ont permis d'obtenir un modèle EDQNM pour le flux scalaire $\overline{u\theta}$. La résolution numérique de ce modèle EDQNM a permis d'obtenir des solutions spectrales dans le cas stationnaire pour différentes valeurs des gradients moyens cinétique S et scalaire Γ , pour un Prandtl proche de 1 et une large gamme de nombres de Reynolds. La résolution numérique de ce modèle donne des résultats en bon accord avec les simulations numériques directes réalisées à des nombres de Reynolds modérés [8], $Re_\lambda < 582$, où Re_λ est le nombre de Reynolds basé sur l'échelle de Taylor.

2.2 Objectifs

1. Réaliser une extension du modèle EDQNM homogène anisotrope de Cambon 1981 [5] au cas de la dynamique du scalaire en définissant un cisaillement homogène à la fois pour la partie cinétique $S = \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial z}$ et son homologue scalaire $\Gamma = \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}$. Une seconde extension du modèle EDQNM anisotrope pour le flux scalaire $F_{u\theta}$ par Bos et al. [7, 6] sera aussi réalisée. Ces extensions incluront en plus des termes d'anisotropie directionnelle introduit par Cambon et al. [5], des termes tenant comptes de la polarité des modes dans un souci d'avoir une anisotropie la plus générale possible.
2. Faire une étude numérique paramétrique des écoulements en décroissance libre en résolvant les modèles EDQNM exposés dans le point précédent pour une gamme de Reynolds allant du régime pleinement turbulent au régime visqueux. L'influence

du nombre de Prandtl sur la décroissance sera aussi étudiée pour une large gamme de nombre de Prandtl. L'influence des paramètres d'anisotropie S et Γ sera aussi explorée.

3. L'influence des spectres cinétique $E \sim k^\sigma$ et scalaire $E_\theta \sim k^{\sigma_\theta}$ à grande échelle sur les lois de décroissance sera aussi étudiée et comparée au comportement du cas purement isotrope. Le code numérique sera réalisé par extension du code EDQNM développé antérieurement au sein de l'institut [9, 10, 11].

2.3 Résultats attendus

Ces travaux permettront de mieux comprendre l'influence de l'anisotropie sur les transferts d'énergie, de variance du scalaire et du flux scalaire à travers les échelles de l'écoulement turbulent pour une large gamme de nombre de Reynolds (visqueux et turbulent) et de nombre de Prandtl. Cette compréhension des transferts à travers les échelles est essentielle dans la perspective du développement de modèles prenant en compte le caractère anisotrope très largement répandu dans les écoulements turbulents.

Références

- [1] Z. Warhaft, "Passive Scalars in Turbulent Flows", *Annu. Rev. Fluid Mech.* 32 :203–240, 2000.
- [2] G. Comte-Bellot and S. Corrsin, "The use of a contraction to improve the isotropy of a grid generated turbulence", *J. Fluid Mech.* 25, 1966.
- [3] P. Sagaut, T. Gomez "Lecture Notes on Turbulence : Problems and Solutions", *Imperial College Press.* à paraître en Novembre 2014.
- [4] M. Lesieur, C. Montmory and J.P. Chollet, "The decay of kinetic energy and temperature variance in three-dimensional isotropic turbulence", *Phys. Fluids.* 30, 1987.
- [5] C. Cambon, D. Jeandel and J. Mathieu, "Spectral modelling of homogeneous non-isotropic turbulence", *J. Fluid Mech.* 104, 1981.
- [6] W. Bos, J.P. Bertoglio, "Inertial range scaling of scalar flux spectra in uniformly sheared turbulence", *Phys. Fluids.* 19, 2007.
- [7] W. Bos, H. Touil, J.P. Bertoglio, "Reynolds number dependency of the scalar flux spectrum in isotropic turbulence with a uniform scalar gradient", *Phys. Fluids.* 17, 2005.
- [8] L. Mydlarski, Z. Warhaft, "Passive scalar statistics in high Peclet number grid turbulence", *J. Fluid Mech.* 358, 1998.
- [9] S. Memari, T. Gomez, P. Sagaut "On the passive scalar decay in homogeneous isotropic turbulent mixing", *En cours de rédaction pour soumission à J. Fluid Mech.*

- [10] S. Memari "Lois d'échelle pour un scalaire passif dans un écoulement turbulent isotrope en décroissance libre", *Stage de Master sous la direction de T. Gomez et P. Sagaut*, UPMC, 2013.
- [11] A. Briard "Self similarité en décroissance libre pour un scalaire passif en turbulence homogène isotrope", *Stage de Master sous la direction de T. Gomez et P. Sagaut*, UPMC, 2014.