

Monsieur Jin GE

Spécialité "Mécanique des milieux fluides"

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Évolution de l'incertitude dans la turbulence Navier-Stokes tridimensionnelle

dirigés par Monsieur John Christos VASSILICOS et Monsieur Joran ROLLAND

Soutenance prévue le **mardi 10 décembre 2024** à 13h30

Lieu : Bâtiment M6, Av. Paul Langevin, 59650, Villeneuve-d'Ascq

Salle : M6-004, Salle de Réunion

Composition du jury proposé

M. John Christos VASSILICOS	Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille - Kampé de Fériet	Directeur de thèse
M. Guido BOFFETTA	Università di Torino	Rapporteur
M. Jérémie BEC	Institut de Physique de Nice	Rapporteur
M. Arjun BERERA	University of Edinburgh	Examineur
Mme Florence RAYNAL	florence.raynal@ec-lyon.fr	Examinatrice
M. Joran ROLLAND	Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille - Kampé de Fériet	Co-directeur de thèse

Mots-clés : Échanges énergétiques turbulents, Équation de Navier-Stokes, flux incompressibles, chaos, stochasticity,

Résumé :

Nous étudions l'évolution de l'incertitude dans la turbulence de Navier-Stokes. Nous dérivons l'équation qui régit l'évolution de l'énergie moyenne d'incertitude, montrant que l'incertitude augmente avec la compression et diminue avec l'étirement. À partir de simulations numériques directes (DNS) de turbulence périodique non-décroissante, nous identifions un régime de similarité où : (a) la production et la dissipation d'incertitude augmentent ensemble, (b) les composantes du taux de production d'incertitude liées aux taux de déformation moyens et fluctuants croissent également ensemble, (c) l'énergie d'incertitude le long des trois axes principaux du taux de déformation conserve un ratio constant par rapport à l'énergie totale, (d) le spectre d'énergie d'incertitude reste auto-similaire lorsqu'il est normalisé par l'énergie d'incertitude et l'échelle correspondante, et (e) le taux de production d'incertitude est intermittent et dominé par des événements extrêmes de compression. Ces observations suggèrent une croissance exponentielle de l'énergie moyenne d'incertitude dans ce régime. Le taux de croissance (exposant de Lyapunov) dépend de l'échelle de temps de Kolmogorov et de l'échelle de temps eulérienne, indiquant une contribution des balayages aléatoires des petites structures dissipatives par les grands structures. Dans deux cas de turbulence stationnaire, cette croissance exponentielle est suivie d'une croissance exponentielle d'exponentielle, puis d'une croissance linéaire où le forçage de Navier-Stokes génère également de l'incertitude. Les résultats DNS montrent que l'exposant de Lyapunov augmente plus vite que prévu avec le nombre de Reynolds. Pour

comprendre cet échelonnement, nous dérivons une relation pour l'exposant de Lyapunov. Deux hypothèses sont posées : (i) le temps caractéristique de la production d'incertitude correspond à celui de la convection des fluctuations moyens, et (ii) l'incertitude existe dans les plus petites fluctuations. Nous déduisons que l'exposant de Lyapunov, multiplié par le temps de Kolmogorov, s'échelonne avec le nombre de Reynolds de Taylor à la puissance $1/3$, en accord avec les résultats DNS. Nous abordons ensuite la croissance de l'incertitude dans la gamme inertielle, dominée par la stochasticité plutôt que par la chaotité. Nous dérivons l'équation du bilan énergétique échelle par échelle. Les résultats théoriques et numériques montrent une cascade d'équilibre auto-similaire de décorrélation dans la gamme inertielle des échelles d'incertitude, accompagnant la croissance en loi de puissance de l'incertitude dans une turbulence statistiquement stationnaire. La cascade inverse est provoquée par les compressions du tenseur de déformation relative et son alignement avec le champ de vitesse de l'incertitude. Trois mécanismes subdominants de cascade sont identifiés : deux vers l'avant et un inverse. Les échelonnements de production et dissipation d'incertitude issus de cette cascade sont également étudiés. Nous réexaminons la croissance de l'incertitude liée à la chaotité. Nous cherchons à prédire les événements extrêmes de production d'incertitude, qui dominent la séparation entre deux simulations turbulentes. Les dérivations montrent que la déformation de la vorticité, le taux de déformation et la vorticité sont des prédicteurs possibles. La production extrême d'incertitude se localise le long de la ligne à discriminant nul de l'équation cubique définissant les valeurs propres du gradient de vitesse dans le plan des invariants Q et R du tenseur du gradient de vitesse, mais également dans le quadrant $Q > 0$ et $R < 0$. Les prévisions probabilistes, basées sur la fonction de committor, révèlent que le taux de déformation est le meilleur prédicteur d' v nements extrêmes. Une région d'imprévisibilité probabiliste est identifiée, où le taux de déformation et la vorticité égaux à leurs valeurs moyennes spatiales présentent une probabilité extrêmement instable d'évoluer en  v nements extrêmes.