

Monsieur Le YIN

Spécialité "Mécanique des milieux fluides"

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Analyse non locale, échelle par échelle, de l'énergie et de la quantité de mouvement d'un écoulement turbulent dans un canal plan

dirigés par Monsieur John Christos VASSILICOS et Monsieur Yongyun HWANG
Cotutelle avec l'université "Imperial College" (ROYAUME-UNI)

Soutenance prévue le **jeudi 11 décembre 2025** à 13h45
Lieu : LMFL, Bâtiment M6, Avenue Paul Langevin, 59650 Villeneuve-d'Ascq
Salle : M6 - 004

Composition du jury proposé

M. John Christos VASSILICOS	CNRS LMFL	Directeur de thèse
M. Yongyun HWANG	Imperial College London	Co-directeur de thèse
Mme Bérengère PODVIN	CNRS EM2C	Examinatrice
M. Sergei CHERNYSHENKO	Imperial College London	Examineur
M. Rémi ZAMANSKY	IMFT et Institut National Polytechnique de Toulouse INP/ENSEEIH	Rapporteur
M. Andrea CIMARELLI	Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia	Rapporteur

Mots-clés : Turbulence, Turbulence proche paroi, Couche Limite,,

Résumé :

Nous étudions les propriétés statistiques et dynamiques des bilans d'énergie et de quantité de mouvement dans un écoulement turbulent pleinement développé dans une conduite plane. Nous analysons l'effet de la paroi sur le bilan de l'énergie cinétique turbulente et les interactions non locales entre la paroi et l'écoulement extérieur via des équations exactes issues des premiers principes. Des simulations numériques directes sont réalisées dans un domaine minimal adapté à la plus grande structure énergétique et capturant les fluctuations temporelles des moyennes spatiales. Les moyennes volumétriques de l'énergie cinétique turbulente (TKE) et du taux de dissipation (TDR) sont corrélées dans le temps avec des décalages, mais leurs moyennes planes à la même distance de la paroi n'en montrent pas. Ce décalage résulte de la corrélation non locale entre la TKE dans la couche d'équilibre et la TDR dans la région centrale et proche de la paroi. Le chemin de corrélation maximal dans la région centrale présente un décalage en distance proportionnel au décalage temporel multiplié par la vitesse de frottement. La corrélation proche de la paroi montre une dispersion des décalages croissante avec le nombre de Reynolds. Bien que la production turbulente (TPR) précède la TKE, des corrélations non locales complexes entre TKE et TPR apparaissent, liées au cisaillement moyen et aux contraintes de Reynolds. La contrainte de cisaillement sur la paroi (WSS) agit comme un évier de quantité de mouvement. Nous dérivons des équations intégrales exactes pour la moyenne dans le plan, la variance et la covariance à deux points de la WSS depuis l'équation de quantité de mouvement longitudinale, sans modélisation. Un terme de cisaillement et d'accélération domine ces équations. La moyenne et la variance de la WSS sont bien approchées en intégrant ce terme et un terme de cisaillement-gradient de pression de la paroi à la couche tampon. La covariance cisaillement-accélération présente un pic dans la sous-couche visqueuse, dominé par les sweeps. La WSS et l'écoulement interne ne sont pas indépendants de l'écoulement extérieur. Pour comprendre cette dépendance, nous utilisons corrélations temporelles et équations intégrales exactes. La WSS moyenne est approchée par les propriétés intégrées de la paroi à la couche tampon, mais d'importantes corrélations temporelles existent entre la moyenne plane de la WSS et l'écoulement extérieur jusqu'à la région centrale. La covariance à deux points de la WSS est dominée par la covariance cisaillement-accélération à toutes les séparations dans le sens de l'envergure r_z . Pour $r_z > 100$ unités visqueuses, cette covariance présente un pic extérieur croissant linéairement avec r_z . Sa valeur est faible, mais son évolution est nette. Un pic intérieur dans la sous-couche visqueuse reste fixe en position, mais change de signe quand r_z dépasse une fraction de la demi-largeur du canal, montrant le lien entre grandes échelles et paroi. Enfin, nous étudions l'influence directe des grandes échelles extérieures sur la paroi via une longueur de Taylor de la WSS, λ_{au} , utilisée pour analyser les passages par zéro des fluctuations de WSS. La distance moyenne entre passages par zéro et λ_{au} diverge car les valeurs extrêmes de WSS et ses dérivées spatiales sont corrélées. Cette dépendance, et l'intermittence qu'elle révèle, augmentent avec le nombre de Reynolds. La distribution des distances l entre passages par zéro consécutifs présente une queue exponentielle pour les grandes distances, $\exp(-l/\sqrt{\delta u})$, dépendant de l'unité visqueuse δu et de la demi-largeur du canal δ . Les grandes échelles extérieures s'impriment directement sur les fluctuations de la WSS, pas seulement via leurs corrélations avec l'écoulement interne.