

Titre : Approche expérimentale du problème des singularités de Navier-Stokes

Mots clés : Turbulence, singularités, TPIV, Navier-Stokes

Résumé : L'objectif de cette thèse est de chercher, dans un écoulement turbulent réel, d'éventuelles traces des singularités que pourraient développer les solutions des équations d'Euler ou de Navier-Stokes 3D. En effet, la question de leur régularité mathématique est toujours ouverte. Dans cette thèse, on postule l'existence de singularités dans les équations d'Euler ou de Navier-Stokes, et on cherche des traces de ces singularités dans des champs de vitesse 3D mesurés dans un écoulement turbulent tourbillonnaire modèle, l'écoulement de von Kármán. La répartition de ces possibles empreintes de singularités, la structure de l'écoulement en leur voisinage ainsi que leur évolution temporelle sont étudiées. Nous nous appuyons sur le travail des mathématiciens Duchon et Robert pour chercher des traces de singularités et cherchons des valeurs extrêmes du terme de Duchon-Robert calculé à toute petite échelle, c'est-à-dire dans la zone dissipative : c'est ce que l'on appelle « traces de singularités ».

Nous calculons le terme de Duchon-Robert à partir de champs de vitesse obtenus expérimentalement au centre d'un écoulement de von Kármán turbulent. Les champs de vitesse sont mesurés par vélocimétrie par image de particules tomographique (TPIV), résolue en temps ou non. Dans un premier temps, nous analysons les statistiques du terme de Duchon-Robert échelle par échelle et les comparons à celles de la dissipation visqueuse et à celles du terme de transfert inter-échelles apparaissant dans les équations LES. Dans un deuxième temps, nous analysons la topologie du champ de vitesse autour des événements extrêmes du terme de Duchon-Robert, d'abord à partir des invariants du gradient de la vitesse, puis par observation directe des champs de vitesse. Dans un troisième temps, nous présentons les résultats préliminaires d'une étude eulérienne de l'évolution temporelle des événements extrêmes du terme de Duchon-Robert.

Title : Experimental approach to the problem of the Navier-Stokes singularities

Keywords : Turbulence, singularities, TPIV, Navier-Stokes

Abstract : This thesis is devoted to the experimental search for prints of the singularities that might occur in the solutions of the 3D Euler or Navier-Stokes equations. Indeed, the existence of solutions to these partial differential equations has been proven but it is still unknown whether these solutions are regular, i.e. whether they blow up in finite time or not. In this thesis, we postulate the existence of such singularities and look for prints of them in 3D velocity fields acquired experimentally in a turbulent swirling flow. The distribution, 3D structure and time evolution of these prints are detailed.

Our detection of prints of possible singularities is based on the work of the mathematicians Duchon and Robert. We look for extreme values of the Duchon-Robert term at small scales, i.e. in the dissipative range. That is what we call prints of singularities. We compute the Duchon-Robert term on velocity

fields which are acquired experimentally at the center of a von Kármán turbulent swirling flow. The velocity field is measured by tomographic particle image velocimetry (TPIV), either time-resolved or not.

In a first part we perform a scale-by-scale analysis of the statistics of the Duchon-Robert term and compare them to the statistics of the viscous dissipation and of the inter-scale energy transfer terms involved in the LES equations.

In a second part, we analyze the topology of the velocity field around the extreme events of the Duchon-Robert term. We first use a method based on the invariants of the velocity gradient tensor (VGT) and then observe directly the velocity fields.

A third part presents preliminary results of an Eulerian study of the time-evolution of the extreme events of the Duchon-Robert term.

