

Abstract

Title: *Message Passing Interface parallelization of a multi-block structured numerical solver. Application to the numerical simulation of various typical Electro-Hydro-Dynamic flows.*

Several intricately coupled applications of modern industries fall under the multi-disciplinary domain of Electrohydrodynamics (EHD), where the interactions among charged and neutral particles are studied in context of both fluid dynamics and electrostatics together. In this thesis, we numerically investigated some EHD phenomena like unipolar injection, conduction phenomenon in weakly conducting liquids and flow control with dielectric barrier discharge (DBD) plasma actuators. Solving such complex physical systems numerically requires high-end computing resources and parallel CFD solvers, as these large EHD models are mathematically stiff and highly time consuming due to the range of time and length scales involved. This thesis contributes towards advancing the capability of numerical simulations carried out within the EFD group at Institut Pprime by developing a high performance parallel solver with advanced EHD models. In a first part of this thesis, the parallelization of our numerical EHD solver has been undertaken with advanced MPI protocols such as Cartesian topology and Inter-Communicators. In particular a specific strategy has been designed and detailed to account for the multi-block structured grids feature of the code. The parallel code has been fully validated through several benchmarks. Scalability tests carried out on up to 1200 cores on our local cluster showed excellent parallel speed-ups. The second part of this thesis deals with the numerical simulations of several typical EHD flows. We have examined electroconvection induced by unipolar injection between two planar-parallel electrodes, electroconvective plumes generated in the blade-plane electrode configuration as well as conduction mechanism based on the dissociation of neutral molecules of a weakly conductive liquid. Some of these new results have been validated with numerical computations undertaken with the commercial code Comsol. Finally, flow control using DBD plasma actuator has been simulated based on the Suzen-Huang model in various configurations. Impacts of dielectric thickness, gap between the electrodes, frequency and waveform of applied voltage, were investigated in terms of their effect on the induced maximum ionic wind velocity and average electric force.

Keywords: MPI, Cartesian topology, Inter-communicators, Electroconvection, Unipolar injection, conduction phenomenon, Plasma discharge, Suzen-Huang Model

Résumé

Titre: *Parallélisation d'un solveur multi-blocs structurés avec la librairie Message Passing Interface. Application à la simulation numérique de divers écoulements Electro-Hydro-Dynamique typiques.*

Plusieurs types d'applications industrielles complexes, relèvent du domaine multidisciplinaire de l'Electro-Hydro-Dynamique (EHD) où les interactions entre des particules chargées et des particules neutres sont étudiées dans le contexte couplé de la dynamique des fluides et de l'électrostatique. Dans cette thèse, nous avons étudié par voie de simulation numérique certains phénomènes Electro-Hydro-Dynamiques comme l'injection unipolaire, le phénomène de conduction dans les liquides peu conducteurs et le contrôle d'écoulement avec des actionneurs plasma à barrières diélectriques (DBD). La résolution de tels systèmes physiques complexes exige des ressources de calculs importantes ainsi que des solveurs CFD parallèles dans la mesure où ces modèles EHD sont mathématiquement raides et très consommateurs en temps de calculs en raison des gammes d'échelles de temps et d'espace impliquées. Cette thèse vise à accroître les capacités de simulations numériques du groupe Electro-Fluido-Dynamique de l'Institut Pprime en développant un solveur parallèle haute performance basé sur des modèles EHD avancés. Dans une première partie de cette thèse, la parallélisation de notre solveur EHD a été réalisée avec des protocoles MPI avancés comme la topologie Cartésienne et les Inter-communicateurs. En particulier, une stratégie spécifique a été conçue pour prendre en compte la caractéristique multi-blocs structurés du code. La nouvelle version parallèle du code a été entièrement validée au travers de plusieurs benchmarks. Les tests de scalabilité menés sur notre cluster de 1200 cœurs ont montré d'excellentes performances. La deuxième partie de cette thèse est consacrée à la simulation numérique de plusieurs écoulements EHD typiques. Nous nous sommes intéressés entre autres à l'électroconvection induite par l'injection unipolaire entre deux électrodes plates parallèles, à l'étude des panaches électroconvectifs dans une configuration d'électrodes lame-plan, au mécanisme de conduction basé sur la dissociation de molécules neutres d'un liquide faiblement conducteur. Certains de ces nouveaux résultats ont été validés avec des simulations numériques entreprises avec le code commercial Comsol. Enfin, le contrôle d'écoulements grâce à un actionneur DBD a été simulé à l'aide du modèle Suzen-Huang dans diverses configurations. Les effets de l'épaisseur du diélectrique, de l'espacement inter-électrodes, de la fréquence de la tension appliquée et sa forme d'onde, sur la vitesse maximale du vent ionique induit ainsi que sur la force électrique moyenne ont été étudiés.

Mots clés : MPI, Topologie cartésienne, Inter-communicateurs, Electroconvection, Injection unipolaire, Phénomène de conduction, Décharge plasma, Modèle Suzen-Huang.