

Influence de l'inertie dans les écoulements forcés électromagnétiquement

Boisson¹, Monchaux¹ & Aumaître^{2,3}

¹ IMSIA, ENSTA ParisTech, CNRS, CEA, EDF, Université Paris-Saclay, 828 Boulevard des Maréchaux, 91762 Palaiseau Cedex France

² SPHYNX, Service de Physique de l'Etat Condensé, CNRS UMR 3680, CEA Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France,

³ Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure de Lyon, CNRS and Université de Lyon, 46 allée d'Italie, F-69364 Lyon cedex 07, France

jean.boisson@ensta-paristech.fr

Nous avons étudié expérimentalement l'écoulement entraîné par une force de Lorentz induite par un champ magnétique axial \vec{B} et un courant électrique radial I appliqué entre deux cylindres de cuivre concentriques et fixes. La géométrie de l'entrefer correspond à une section rectangulaire de rapport d'aspect $H/\Delta r = 4$. Nous examinons les profils de vitesse azimutale et axiale de l'écoulement le long de l'axe vertical par vélocimétrie Doppler ultrasonore. Nous avons réalisé plusieurs essais à des intensités de champ magnétique modérées, correspondant à des nombres de Hartmann modérés $M \leq 300$. Avec ces paramètres de forçage et en raison du petit rayon de courbure de l'entrefer de notre dispositif, nous montrons que les termes inertiels sont prédominants. Cet équilibre induit que la vitesse azimutale dépend de $\sqrt{I \cdot B}$ à la différence des expériences précédentes où les effets de couches limites visqueuses dominent.

À partir des mesures de la vitesse verticale, nous nous concentrons sur les caractéristiques des écoulements secondaires : les profils de vitesse moyenne en temps sont compatibles avec un écoulement secondaire présentant deux paires de tourbillons stables comme l'ont souligné des études numériques antérieures [1]. Nous montrons une transition entre deux modes dynamiques, un à haute fréquence et un à basse fréquence. Le mode haute fréquence qui émerge pour les forçages à faible champ magnétique correspond à la propagation dans la direction r de tourbillons inclinés. Ce mode est compatible avec notre expérience précédente [2] et avec l'instabilité décrite dans [3] se déroulant dans une géométrie de conduite allongée. Le mode basse fréquence, observé pour les forçages à fort champ magnétique, consiste en de grandes excursions des tourbillons. La dynamique de ces modes correspond à la première instabilité axisymétrique décrite dans [4] et se déroulant dans une géométrie carrée.

Nous avons démontré que cette transition est contrôlée par une épaisseur magnétique inertielle H' qui est la longueur caractéristique que nous introduisons comme un équilibre entre l'advection et la force de Lorentz plutôt qu'entre le terme visqueux et la force de Lorentz pour une couche d'Hartmann classique. Le point-clé, ici, est que lorsque l'épaisseur magnétique inertielle H' est comparable à une longueur caractéristique géométrique ($H/2$ dans la verticale ou Δr dans la direction radiale), le mode correspondant est favorisé. Par conséquent, lorsque $H'/(H/2) \approx 1$ on observe le mode haute fréquence dans la géométrie des conduits allongés, et lorsque $H'/\Delta r \approx 1$ on observe le mode basse fréquence en géométrie carrée et en champ magnétique élevé.

Références

1. S. VANTIEGHEM, AND B. KNAEPEN, Numerical simulation of magnetohydrodynamic flow in a toroidal duct of square cross-section, *Int. J. Heat Fluid Fl.*, **32**, 1120–1128 (2011)
2. J. BOISSON, A. KLOCHKO, F. DAVIAUD, V. PADILLA, S. AND AUMAITRE, Travelling waves in a cylindrical magnetohydrodynamically forced flow, *Phys. Fluids*, **24**, 044101 (2012)
3. Y. ZHAO, O. ZIKANOV, AND D. KRASNOV, Instability of magnetohydrodynamic flow in an annular channel at high Hartmann number, *Phys. Fluids*, **23**, 084103 (2011)
4. Y. ZHAO, AND O. ZIKANOV, Instabilities and turbulence in magnetohydrodynamic flow in a toroidal duct prior to transition in Hartmann layers, *J. Fluid. Mech.*, **692**, 288–316 (2012)