

Résumé

Par le biais du code CFD Fluent, une simulation numérique en trois dimensions a été menée pour étudier l'effet d'un champ magnétique axial et l'effet d'un gradient de température radial sur l'écoulement laminaire de Taylor-couette. La géométrie du système est composée de deux cylindres coaxiaux verticaux, électriquement isolants, ayant un rapport de rayons $\tilde{\eta}=0.91$ et un rapport d'aspect $=40$. L'espace annulaire est rempli par le Gallium liquide qui est caractérisé par un faible nombre de Prandtl ($Pr=0.025$) et un faible nombre de Prandtl magnétique ($Pm=2.64 \cdot 10^6$). Le cylindre intérieur est mis en rotation et est porté à une température T_1 .

Une validation du modèle numérique a été faite pour le champ dynamique, ensuite généralisée pour le champ thermique et le modèle MHD.

L'intervention d'un champ magnétique engendre des changements importants sur le mouvement du fluide, notamment un fort freinage de tout le mouvement. La rotation du cylindre intérieur et le champ magnétique appliqué provoquent l'apparition de fines couches visco-magnétique au niveau des parois inférieure et supérieure (couche d'Ekman-Hartmann) où le gradient de vitesse est très élevé jouant un rôle significatif. A partir d'une valeur critique du champ magnétique ($Ha=40$), une zone de diffusion magnétique est créée. Dans cette zone, le courant axial de Hartmann change de direction et devient radial. Cette perturbation de courant radial interagit avec le champ magnétique induit axial provoquant ainsi la décélération de la force du volume électromagnétique, ceci conduit à l'augmentation du cisaillement alors que l'inverse a été constaté pour $Ha<40$.

Pour trouver l'instabilité secondaire, on a augmenté la vitesse de rotation du cylindre intérieur du système jusqu'à atteindre la valeur critique, pour un champ magnétique donné. Les modes d'instabilités sont les mêmes que pour un écoulement hydrodynamique dans le cas $Ha < 20$, des rouleaux de Taylor couette axisymétrique sont observés. Pour des fortes valeurs du nombre d'Hartmann ($Ha>20$), l'écoulement de couette circulaire bifurque vers un écoulement non axisymétrique, formé de deux spirales droite et gauche contra-propagatives axialement, avec une périodicité spatiale et les deux spirales sont séparées par un puits.

En raison de l'existence du gradient de température, dans le cas $Re=0$, un courant de convection naturelle prend naissance. L'écoulement prend la forme d'une cellule convective. À partir d'un nombre de Grashof critique ($Gr_c=12250$), l'écoulement devient désordonné.

L'application d'un gradient de température radial, sur les rouleaux axisymétriques de Taylor apparaissant pour un Reynolds $Re_c=137$, crée une stratification radiale de la masse volumique du fluide et stabilise l'écoulement.

En augmentant le nombre de Reynolds ($Re>Re_c$), une série de transitions non-axisymétriques, à différents régimes d'écoulement, apparaît dans le système. Pour les faibles nombres de Grashof, une instabilité de forme spirale régulière. À Gr moyen, l'écoulement bifurque vers un écoulement convectif avec des cellules co-rotatives parallèles et uniformes. A grand Gr , un écoulement avec des cellules co-rotatives parallèles non uniformes et aléatoire. Lorsqu'on augmente davantage Re , des spirales avec dislocations apparaissent puis un nouveau mode d'instabilité intervient sous la forme d'une spirale ondulée obtenue pour tous les nombres de Grashof. Ensuite, un motif de rouleaux axisymétriques ondulés se forme et coexiste d'abord avec la spirale ondulée. Pour de plus grandes valeurs de Re , la spirale ondulée disparaît et laisse place au motif de rouleaux axisymétriques ondulés, caractéristiques de l'écoulement isotherme, par conséquent les effets du gradient de température devenant négligeables devant les effets centrifuges.

Les propriétés des rouleaux dépendent du gradient radial de température. Nous avons constaté que le nombre de Reynolds, le nombre et la taille des rouleaux diminuent avec le nombre de Grashof.

Le transfert de chaleur augmente avec le nombre de Reynolds et de Grashof par contre le coefficient de frottement moyen augmente seulement avec le nombre de Reynolds.

L'application du champ magnétique B_z sur les structures d'écoulement convectif ralentit la transition et par conséquent stabilise l'écoulement. Comme il permet aussi de diminuer les dislocations dues aux fluctuations de la température.