

Contribution à l'étude théorique des transferts thermiques combinés aux écoulements de fluide dans un conduit annulaire fixe et en rotation soumis à un gradient de température

Résumé :

Ce travail de recherche est une simulation numérique de la convection forcée et mixte ($Gr=0$, $e3 < Gr < e4$) tridimensionnelle d'un fluide (eau distillé a $Pr=8.082$) caractérisé par la thermo-dépendance des propriétés physiques (viscosité et conductivité thermique), confiné entre deux cylindres horizontaux en rotation de type Rotor-Stator. Soumis à un gradient différentiel de température imposé sur les surfaces latérales des deux cylindres inférieur et extérieur ($T_i=200^\circ$, $T_o=100^\circ$) respectivement, ce conduit est fermé aux deux extrémités par deux parois fixes et adiabatiques.

La méthode des volumes finis est utilisée pour la discrétisation des équations de conservation qui régissent cet écoulement ainsi que les conditions initiales et aux limites. Des schémas de discrétisation de second ordre sont utilisés tel que le schéma d'Adams-Bashforth, et le schéma des différences centrées totalement implicite. Le couplage vitesse-pression est traité avec l'algorithme SIMPLER et les systèmes d'équations algébriques obtenus sont résolus de manière itérative par la méthode TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm) en faisant appel à l'algorithme de Thomas.

la modélisation des équations gouvernantes (conservation de la masse, conservation de la quantité de mouvement ainsi que l'équation de l'énergie) vont apparaître des nombres non dimensionnels qui vont être des paramètres essentiel contrôlant la solution du problème, qui sont le nombre de Taylor (Ta) qui traduit les forces dynamiques de rotation appliqué sur le fluide au sein de l'entrefer, le nombre de Prandtl (Pr) qui est une caractéristique du fluide et enfin le nombre de Richardson (Ri) qui traduit l'effet des forces thermiques par rapport aux forces dynamiques de rotation appliquées sur le fluide..

Les résultats sont réalisés en trois étapes avec une étude sur l'effet géométrique dans la toute dernier partie des résultats, la première partie est l'étude de la convection forcée

($Gr=0$) ou l'effet de la flottabilité est inexistant et une grande dominance dynamique, la variation de la vitesse de rotation du cylindre intérieure ($284.4 < Ta < 2559.6$) a donné une naissance de différents régimes du fluide, qui passe du régime laminaire à $Ta=284.4$ avec la présence des cellules d'Ekman aux extrémités avec celles qui sont proches du cylindre intérieure sont plus petites et bien structurées que celles proches du cylindre extérieure, les lignes thermiques sont stratifiées du cylindre intérieur vers le cylindre extérieur sauf aux deux extrémités où il y a une ondulation due à la présence des Ek, à cet endroit il y a le maximum de transfert thermique représenté par le Nusselt local ($Nu=2.42$), au régime laminaire avec un développement des cellules des extrémités vers le centre avec une grande symétrie suivant l'axe (Z^*) et entre les deux gaps du cylindre, à cet régime les forces dynamiques ou centrifuges deviennent de plus en plus fortes que les forces thermiques ou centripètes ne peuvent empêcher l'instabilité dynamique, les lignes thermiques sont de plus en plus ondulées à l'intérieur du gap, le transfert thermique local prend l'allure des cellules contrarotatives et il augmente avec leurs développements il passe de ($Nu=5.7345$, $Nu=8.8246$ à $Nu=11.2887$), la même chose pour le Nusselt axiale la présence des pics représente les cellules contrarotatives développées dans le gap, avec l'augmentation de la vitesse du cylindre intérieure la première instabilité est atteinte à $Ta_{c1}=2024.4$ où les cellules contrarotatives sont bien structurées bien alignées d'où le nom de (TVF), les lignes thermiques sont bien ondulées dans tout le gap avec la même longueur et largeur et le transfert thermique local il est au maximum avec l'allure des cellules contrarotatives $Nu=12.8460$, la même chose pour le Nusselt axiale où il est constitué de pics qui représentent l'échange thermique dans toute la direction axiale (z^*), jusqu'à la deuxième instabilité où les cellules se penchent entre elles du centre aux extrémités créant des vagues d'où le nom (WVF), les lignes thermiques sont toujours ondulées dans tout le gap mais ils n'ont plus la même taille celles au centre sont plus minces que le reste et le transfert thermique local est diminué par rapport au précédent et il est à $Nu=12.4681$,

La deuxième partie est l'étude de la convection mixte ($Gr \neq 0$) où il y a la présence des deux forces dynamiques et thermiques, la variation de ces deux forces ($1 < Ri < 6.25$, $505.6 < Ta < 2559.6$) donne de différents régimes qui sont classés suivant la dominance thermiques ;

Au deux effets de la flottabilité (faible et modérer) il y'a de faible développent des cellules contrarotatifs au niveau du gap inferieur et donc une dominance thermique, alors un développement des cellules des extrémités au centre jusqu'à une grande symétrie dans les deux plans (r^*, θ) et (r^*, z^*) au niveau du gap supérieure du cylindre et donc une dominance dynamique la premier instabilité est atteint a $(Ta=2559.6, Ri=0.1234)$, les lignes thermiques se développe du cas stratifier a la forme ondulatoire, alors qu'au fort effet de la flottabilités $(4 < Ri < 6.25, 505.6 < Ta < 790)$ aucun développement des cellules même pas la présence des cellules d'Ek aux extrémités, a ce stade le fluide a un très faible mouvement presque fixe donc il y'a une très grande dominance thermique, les lignes thermique ont la forme stratifié séparer par un vide pour le gap supérieur, alors que pour le gap inferieur sont stratifier au voisinage du cylindre intérieur avec un vide près du cylindre extérieur, le transfert thermique a ce stade est chuté est égale a $Nu=12.7613$.

la toute dernier étude été sur l'effet géométrique, la premier instabilité est atteinte plus rapidement avec la diminution du rapport d'aspect et en même temps il y'a une diminution des paire des cellules contrarotatif $(\Gamma=37.361$ a $Ta_c=2851.9/ \Gamma=18.680$ a $Ta_c=2559.6/ \Gamma=4.670$ a $Ta_c=2022.4)$, (28 pairs, 13 pairs et 3 pairs) respectivement, alors que pour le cas du rapport de rayon la premier instabilité est atteinte plus rapidement avec l'augmentation du rapport de rayon $(\eta=0.627$ a $Ta_c=2851.9/ \eta=0.727$ a $Ta_c=2559.6/ \eta=0.827$ a $Ta_c=2022.4)$ respectivement et avec le même nombre de cellules contrarotatifs qui est a 19 pairs de cellules contrarotatifs.

Mots Clés :

Cylindres horizontaux en rotation, Configuration Rotor-Stator, Cellules contrarotatives, Convection mixte, Thermo-dépendance des propriétés physiques, Simulation numérique, symetrie dans les deux plans (r^*, θ) , (r^*, z^*) , Premier instabilité Ta_{c1} , deuxieme instabilité Ta_{c2}