

Pôle des Etudes Doctorales
Centre des Etudes Doctorales Sciences et Techniques et Sciences Médicales

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT

Monsieur EL HAMRI Ahmed
Présentera ses travaux de recherche en vue de l'obtention du Doctorat



Formation Doctorale : Sciences et Techniques de l'Ingénieur
Discipline : Sciences pour l'Ingénieur
Spécialité : Énergétique et mécanique des fluides

Le 11/12/2025 à 09H00 à la Salle de Conférence, Bâtiment F, Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, UAE

Sous le thème

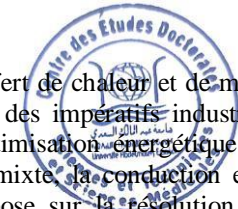
Étude Numérique du transfert de chaleur et de masse dans une cavité ventilée et partitionnée

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Pr. DRAOUI Abdeslam	FST de Tanger, UAE	Président
Pr. CHESNEAU Xavier	Université de Perpignan Via Domitia, UPVD	Rapporteur
Pr. EL ALAJI Rachid	ENSA de Tanger, UAE	Rapporteur
Pr. LAHLAOUTI Mohammed Lhassane	FS de Tétouan, UAE	Rapporteur
Pr. ZEGHMATI Belkacem	Université de Perpignan Via Domitia, UPVD	Examineur
Pr. AROUDAM ELhassan	FS de Tétouan, UAE	Examineur
Pr. BAHRAOUI Fatima	FST de Tanger, UAE	Directrice

Structure de recherche : Materials, Systems and Energy Engineering laboratory (MaSEEL), Département de physique de la Faculté des sciences et techniques de Tanger, Université Abdelmalek Essaadi

Résumé



Cette thèse de doctorat présente une analyse numérique des phénomènes couplés de transfert de chaleur et de masse au sein de cavités partitionnées, impliquant des milieux fluides, solides et poreux. Motivée par des impératifs industriels croissants tels que le refroidissement des composants électroniques à haute performance et l'optimisation énergétique des bâtiments, cette recherche vise à élucider les interactions entre la convection naturelle et bien mixte, la conduction et la diffusion massique dans des géométries confinées et ventilées. L'approche méthodologique repose sur la résolution des équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de l'énergie et de masse via la méthode des différences finies. Afin d'éliminer le couplage pression-vitesse et de simplifier la résolution des équations de Navier-Stokes pour les écoulements bidimensionnels incompressibles, la formulation en vorticités et fonction de courant a été privilégiée. Concernant la modélisation spécifique des milieux poreux, une distinction a été opérée selon le régime d'écoulement : le modèle de Darcy-Brinkman a été adopté pour les cas de convection naturelle afin de prendre en compte la diffusion visqueuse, tandis que le modèle de Darcy-Brinkman-Forchheimer a été implémenté pour la convection mixte afin de capturer avec précision les effets d'inertie prédominants à des vitesses plus élevées.

La première partie de l'étude se consacre à l'analyse de la convection naturelle dans une cavité carrée différentiellement chauffée, équipée de partitions solides conductrices fixées sur les parois verticales. Les investigations ont porté sur l'influence du nombre de Rayleigh ($103 \leq Ra \leq 106$), de la longueur des partitions, de leur conductivité thermique et de leur disposition géométrique (alignée ou décalée). Les résultats ont démontré que la modification de la longueur ou de la configuration des partitions influence de manière significative les modèles d'écoulement et la forme des isothermes. Il a été observé que les configurations alignées engendrent un gradient de température significatif avec l'augmentation de la longueur des partitions solides à faible nombre de Rayleigh, tout en réduisant la circulation de l'air à des nombres de Rayleigh élevés (105 et 106). L'analyse des lignes de chaleur a permis de visualiser les régions d'échange thermique intense, révélant que l'augmentation de la longueur des partitions améliore la quantité de chaleur échangée entre les parois verticales. En termes d'efficacité thermodynamique, la configuration décalée 4 s'est avérée être l'arrangement optimal pour minimiser la génération d'entropie pour des rapports de conductivité thermique faibles, quel que soit le nombre de Rayleigh. À l'inverse, pour des rapports de conductivité thermique élevés, c'est la configuration 5 qui minimise la génération d'entropie tout en offrant les meilleures performances en termes de nombre de Nusselt moyen à haut nombre de Rayleigh.

La deuxième partie des travaux explore les phénomènes de double diffusion (thermique et massique) dans une cavité en forme de « H » partiellement remplie d'un milieu poreux non saturé. Cette configuration complexe a été soumise à une analyse paramétrique incluant le nombre de Darcy (10^{-3} - 10^{-1}), le rapport de flottabilité (N) et l'angle d'inclinaison de la cavité. Les résultats ont mis en évidence que pour de faibles valeurs du nombre de $Da = 10^{-3}$, l'écoulement reste principalement confiné dans la zone fluide en raison de la résistance hydraulique élevée de la couche poreuse, limitant ainsi les échanges. Cependant, l'augmentation du nombre de Darcy favorise la pénétration du fluide dans le milieu poreux, ce qui intensifie les transferts convectifs. L'étude a également révélé que le régime d'écoulement et les performances de transfert sont fortement dépendants de l'angle d'inclinaison de la cavité. Il a été établi qu'une inclinaison de 30° est optimale pour maximiser les transferts couplés de chaleur et de masse, favorisant une interaction efficace entre l'écoulement convectif et les forces gravitationnelles. À l'opposé, une inclinaison de 90° tend à minimiser ces transferts en raison de la suppression de la composante verticale de la flottabilité. De plus, l'analyse des irréversibilités a montré que la génération de l'entropie est majoritairement d'origine thermique et massique, représentant plus 90 % de l'entropie totale pour des rapports de flottabilité élevés, avec une génération maximale localisée à l'interface fluide-poreux.

La troisième et dernière partie de la thèse traite de la convection mixte dans une cavité ventilée contenant des partitions poreuses. L'étude s'est focalisée sur l'interaction entre le flux ventilé et les forces de flottabilité, régie par les nombres de Reynolds ($Re=102-103$) et de Richardson ($Ri=0.1-5$). Les simulations ont démontré que l'augmentation du nombre de Reynolds renforce l'effet d'inertie, améliorant la pénétration de l'écoulement forcé à travers les milieux poreux et élargissant les zones d'échanges thermiques aux parois chauffées. La transition entre un régime dominé par l'écoulement forcé et un régime dominé par la convection naturelle s'opère autour de $Ri = 1$. L'orientation de la cavité joue ici encore un rôle prépondérant : les résultats prouvent qu'une inclinaison de 90° maximise les nombres de Nusselt et de Sherwood moyens, garantissant une ventilation thermique et massique optimisée. Au-delà de cette inclinaison critique, la redistribution de la gravité dégrade l'efficacité des échanges en limitant les recirculations bénéfiques et en favorisant des zones de transfert dominées par la diffusion. Par ailleurs, il a été observé que le rapport de flottabilité module la dominance des effets thermiques ou massiques, des valeurs négatives de N engendrent des cellules de recirculation qui renforcent les transferts en région supérieure, tandis que des valeurs positives tendent à limiter localement les échanges.

En conclusion, cette thèse apporte une contribution significative à la compréhension de la thermo-aéraulique dans les milieux partitionnés. Elle fournit des corrélations prédictives et identifie des configurations géométriques et physiques pour maximiser les transferts thermiques et massiques tout en maîtrisant les irréversibilités thermodynamiques. Ces résultats offrent des pistes concrètes pour l'ingénierie des systèmes thermiques, suggérant notamment l'utilisation de matériaux poreux à haute conductivité combinée à des angles d'inclinaison spécifiques pour optimiser l'efficacité énergétique des enveloppes de bâtiment ou des échangeurs de chaleur.

Mots-clés : Transfert de chaleur et de masse, Convection naturelle et mixte, Milieux poreux, Cavité partitionnée, Modèle Darcy-Brinkman, Génération d'entropie, Lignes de chaleur.