

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DEL'ENSEIGNEMENTS SUPERIEUR ET DELA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES & TECHNOLOGIES

Visa du Directeur de l'Institut Des
Sciences
et Technologies

Signature:.....

Date:.....

Effet des propriétés thermophysiques variables sur le transfert thermique dans les nanoréfrigérant

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique
en «*Installations Energétiques*»

Encadreur: **Dr. BAGHDAD
Mohammed, MCB**

Signature:

Date:.....

Réalisé par :
Étudiant: **MOHAMED CHERIF
Othmane**

Signature:.....

Date:

Membres du jury

Dr. KAHIL Yacine

(Président)

Dr. KHERRIS Sahraoui

(Examineur)

Dr. BAGHDAD Mohammed

(Encadreur)

Tissemsilt -2016/2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES & TECHNOLOGIES

Visa du Directeur de l'Institut Des
Sciences
et Technologies

Signature:

Date:

Effet des propriétés thermophysiques variables sur le transfert thermique dans les nanoréfrigérant

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique
en «*Installations Energétiques*»

Encadreur: **Dr. BAGHDAD
Mohammed, MCB**

Signature:

Date:

Réalisé par :
Étudiant: **MOHAMED CHERIF
Othmane**

Signature:

Date:

Membres du jury

Dr. KAHIL Yacine	(Président)
Dr. KHERRIS Sahraoui	(Examineur)
Dr. BAGHDAD Mohammed	(Encadreur)

Tissemsilt -2016/2017

Résumé

Dans cette étude, le transfert de chaleur des nanoréfrigérant ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$) dans un tube circulaire horizontal soumis à un flux de chaleur constant et uniforme dont le flux laminaire a été présenté. Les simulations ont été effectuées avec des concentrations volumiques de $\phi = 1, 4$ et 6% et le nombre de Reynolds variant de 400 à 1600. L'objectif du présent travail est d'étudier l'influence de propriétés thermophysiques variables de nanoréfrigérant, la concentration volumique et le nombre de Reynolds sur les caractéristiques hydrodynamique et thermique. Les résultats numériques révèlent que le coefficient moyen de transfert de chaleur avec des propriétés variables est très grand par rapport aux propriétés fixes. Ces résultats abandonne l'hypothèse de propriétés de nanoréfrigérants dépend de concentration de nanoparticules seulement. On constate que la plus forte augmentation du coefficient moyen de transfert de chaleur est obtenue au taux de concentration volumique le plus élevé 6% pour nanofluide.

Abstract

In this study, the heat transfer of nanorefrigerant ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$) in a horizontal circular tube subjected to a constant and uniform heat flux whose laminar flow was presented. The simulations were carried out with voluminal concentrations of $\phi = 1, 4$ and 6% and the Reynolds number is 400 to 1600. The aim of this work is to study the influence of variable nanorefrigerant thermophysical properties, concentration and Reynolds number on hydrodynamic and thermal characteristics. Numerical results reveal that the mean heat transfer coefficient with variable properties is very large in relation to the fixed properties. These results give up the hypothesis of nanorefrigerant properties of nanoparticle concentration only. It is found that the largest increase in the average coefficient of heat transfer is obtained at the highest concentration concentration rate 6% for nanofluid.

ملخص

في هذه الدراسة، نقل الحرارة من نانو مبرد ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$) في أنبوب دائري أفقي يتعرض لتدفق الحرارة ثابتة وموحدة التي تم تقديم تدفق اللامي. أجريت عمليات المحاكاة مع تركيزات كبيرة للجسيمات $\phi = 1\%$ و 4% و 6% ورقم رينولدز يتراوح بين 400 و 1600. والهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير خصائص متغيرة من نانو مبرد ، وتركيز حجم وعدد رينولدز على الخصائص الهيدروديناميكية. أظهرت النتائج العددية أن متوسط معامل انتقال الحرارة للخصائص المتغيرة كبير جدا عند حساب الخصائص الثابتة. هذه النتائج تتخلى عن فرضية خصائص نانوريفريجيرانت تركيز جسيمات متناهية الصغر فقط. وجد أن أكبر زيادة في متوسط معامل انتقال الحرارة يتم الحصول عليها بأعلى تركيز تركيز 6% لنانوفلويد.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu, notre créateur de m'avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance à mon encadreur Mr : Baghdad Mohammed d'avoir accepté de diriger ce modeste travail et d'avoir mis à ma disposition tous les moyens qui m'ont permis de mener à terme cette étude et aussi pour ses précieux conseils et ses encouragements.

Je voulais également remercier tous les étudiants de notre promotion et je souhaite le bon courage à tous les étudiants pour finir leurs études.

Je voulais également remercier tout ce qui m'a aidé à la réalisation de ce travail, ma famille, mes proches et mes amis.

Dédicaces

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail à:

Mes très chers parents, mes grands-parents et sur tout mon grand-père
dé funt Hadj Rabah rabi yerhmou, ma grande mère Hadja Zohra et à
mon oncle paternel feu Hadj Othmane dont je porte son prénom
OTHMANE rabi yerhmou.

À mes proches, mon frère, ma sœur, mes oncles paternels et maternels mes
tantes paternelles maternelles, mes cousins et cousines

A toute la famille Mohammed Cherif,

A tous mes camarades du groupe

A tous les amis d'étude

A tous les enseignants et toutes les enseignantes durant mon parcours
scolaire, primaire moyen et secondaire qui ont contribués à ma formation
mon instruction ma culture ainsi que mon éducation tout au long de mon
par court scolaire.

Nomenclature

Symboles Latins

C_p	Chaleur spécifique du fluide à pression constante.	$J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}$
g	Accélération de la pesanteur	$m \cdot s^{-2}$
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
K	Conductivité thermique	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
L	Longueur de cavité	m
p	Pression du fluide	Pa
T	La température	K
W	Travail	J
q	flux de chaleur	$W \cdot m^{-2}$
HFE	hydrofluoroéther	
u, v	Composante de vecteur de vitesse	m/s
U, V	Composante adimensionnelle de vecteur de vitesse	
x, y	Coordonnées cartésiennes	m

Symboles grecs

μ	La viscosité dynamique	Pa·s
φ	La fraction volumique	
η	La viscosité cinématique	$m^2 \cdot s^{-1}$
ρ	La densité	$Kg \cdot m^{-3}$

Nombres adimensionnels

Nu	Nombre de Nusselt
Re	Nombre de Reynolds

Indice

in	Entrée
out	sortie
bf	Fluide de base
nf	nanofluide
s	Particule solide
ave	moyenne

Liste des figures

Fig. 3.1- Schéma représentant le problème étudié.....	15
Fig. 4.1-Variation de coefficient de transfert de chaleur au nombre différent de Reynolds pour Al_2O_3 -HFE 7000.....	23
Fig 4.2 - Comparaison entre les propriétés fixe et les propriétés variable de coefficient de transfert de chaleur au nombre différent de Reynolds pour Al_2O_3 -HFE7000.....	24
Fig 4.3. Contours de température pour une fraction volumique $\phi = 4\%$	25
Fig 4.4 Profile de température de Al_2O_3 et les différentes valeurs de flux (1%,4%,6%) pour $Re = 1200$	26
Fig 4.5 - Profile de vitesse pour l'entrée, le centre et la sortie de $\phi=4\%$ et différentes valeurs de Reynolds.....	27
Fig 4.6 -Profile de vitesse pour l'entrée, le centre et la sortie de $Re = 1200$ et différentes fractions volumiques $\phi=(1\%,4\%,6\%)$	27

Liste des tableaux

Tableau 3.1- Paramètres et écarts obtenus pour la corrélation de densité en utilisant l'équation(3.16).....	18
Tableau 3.2 - Coefficients et écarts de l'équation (3.16) pour HFE-7000.....	18
Tableau 3.3 - Coefficients d'ajustement de la conductivité thermique pour HFE-7000.....	19
Tableau 3.4. Propriétés thermophysiques des nanoparticules Al_2O_3	19
Tableau 4.1 Résultats des tests d'indépendance de la grille.....	22
Tableau 4.2 valeurs par rapport au nombre de Reynolds.....	24

SOMMAIRE

Chapitre 1 Analyse Bibliographique.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Analyse Bibliographique.....	2
1.3 Objectif du mémoire.....	6
Chapitre 2 La Réfrigération et Nanoréfrigérant.....	7
2.1 Introduction.....	7
2.2 Les Fluides frigorigènes.....	7
2.2.1 Critères thermodynamiques.....	8
2.2.2 Critères de sécurité.....	9
2.2.3 Critères physico-chimiques.....	9
2.2.4 Critères économiques.....	10
2.3 Impacts environnementaux.....	10
2.4 Nanofluides.....	11
2.5 Avantages des nanofluides.....	11
2.6 Applications des nanofluides.....	12
Chapitre 3 Mise en Equation.....	14
3.1 Introduction.....	14
3.2 Description du Problème.....	14
3.3 Mise en Equations.....	15
3.3.1 Equation de continuité.....	15
3.3.2 Equation de quantité de mouvement.....	15
3.3.3 Equation d'énergie.....	16
3.4 Conditions aux limites.....	16
3.5 Transfert de Chaleur.....	16
3.6 Propriétés thermophysiques des nanofluides.....	17
3.6.1 Les propriétés thermophysiques de fluide de base HFE-7000.....	17
3.7. Résolution numérique.....	19
Chapitre 4 Résultats et Discussions.....	21
4.1 Introduction.....	21
4.2 Etude de maillage.....	21
4.3 Validation.....	22

4.4 Effet des propriétés variable sur le transfert de chaleur.....	23
4.5 Contours de température.....	23
4.4 Profil de température.....	24
4.5 Profil de vitesse.....	26
Conclusion générale.....	28
Références Bibliographies.....	29

Chapitre 1

Analyse Bibliographique

1.1 Introduction

La réfrigération joue un rôle clé dans la société d'aujourd'hui, fournissant un confort humain et la préservation des aliments. De la glace et des grandes installations alimentaires aux raffineries de pétrole et à la fabrication de produits chimiques, les procédés industriels dépendent fortement de la réfrigération. Selon l'Institut International de Réfrigération, environ 15% de la consommation mondiale d'électricité est destinée aux systèmes de réfrigération et de climatisation. L'importance de la réfrigération se reflète également dans le nombre toujours croissant de publications et de conférences spécialisées dans le monde entier. Sans aucun doute, il y a beaucoup de méthode à améliorer, surtout en réduisant l'impact de la réfrigération sur l'environnement et en améliorant la conception de l'équipement (améliorant ainsi l'utilisation de l'énergie). L'application systématique de la science du transfert de chaleur à l'ingénierie de la réfrigération contribuera certainement à atteindre ces objectifs.

L'efficacité d'un cycle de réfrigération est principalement dictée par la performance des échangeurs de chaleur qui établissent l'interaction entre le fluide de travail et la source de chaleur et le dissipateur de chaleur. La consommation d'énergie, la capacité de réfrigération et l'efficacité globale seront affectées, d'où la nécessité de se concentrer sur différents problèmes de transfert de chaleur pour améliorer les performances de réfrigération.

Les nanoréfrigérants sont un type spécial de nanofluides qui sont des mélanges de nanoparticules et de réfrigérants et ont une large gamme d'applications dans divers domaines, par exemple la réfrigération, les systèmes de climatisation et les pompes à chaleur.

1.2 Analyse Bibliographique

Le nanofluide est devenu l'un des sujets intéressants pour les ingénieurs travaillant pendant des décennies pour développer un transfert de chaleur plus efficace dans différentes applications.

L'amélioration des caractéristiques de transfert de chaleur dans les systèmes de réfrigération et de climatisation a été intensément étudiée par de nombreux chercheurs. Le nanoréfrigérant, en tant que combinaison de nanoparticules et de réfrigérant, est un nouveau concept qui récemment a été étudié.

Park et al., [1] ont étudié l'effet des nanotubes de carbone sur le transfert de chaleur à l'ébullition. Deux fluides frigorigènes R123 et R134a ont été utilisés comme fluides de base avec une fraction volumique 1 % des nanotubes a été ajouté à eux pour examiner l'amélioration du transfert de chaleur. L'appareil expérimental était composé d'un récipient en acier inoxydable et d'un tube horizontal de longueur 152 mm de diamètre extérieur de 19,0 mm subit à un flux de chaleur de 10-80 kW/m². Les résultats des tests ont montré que les nanotubes augmentent les coefficients de transfert de chaleur à ébullition pour les deux réfrigérants. Une grande amélioration jusqu'à 36,6% a été observée à faible flux de 30 kW/m². Avec un flux de chaleur croissant, cependant, l'amélioration a été supprimée en raison de la génération vigoureuse de bulles. L'influence des nanoparticules de CuO de 30 nm de diamètre avec une fraction volumique jusqu'à 4% sur l'ébullition des mélanges R-134a/polyesters dans un tube horizontal est étudié par Bartelt et al., [2]. Pour une fraction massique de 0,5% n'ont aucun effet sur le coefficient de transfert de chaleur. Pour une fraction de masse de 1%, une augmentation entre 42% et 82% du coefficient de transfert de chaleur est manifeste par rapport au même mélange réfrigérant-huile sans nanoparticules. Une augmentation supplémentaire de la fraction de masse à 2% entraîne une amélioration encore plus grande du coefficient de transfert de chaleur entre 50% et 101%. En plus de l'amélioration du transfert de chaleur, on constate que la présence de nanoparticules a un effet insignifiant sur la chute de pression du système par rapport au fluide de base. Jiang et al., [4] ont étudié la conductivité thermique du nano-réfrigérant et établir un modèle pour prédire la conductivité thermique du nanofluide. Les résultats expérimentaux montrent que la conductivité thermique des nano-réfrigérants augmente considérablement avec l'augmentation de sa fraction de volumique. Initialement, cinq modèles typiques de conductivité thermique des nanofluides ont été utilisés pour prédire la conductivité thermique et les écarts maximaux des prédictions faites par chaque modèle à partir des

données expérimentales étaient supérieurs à 10%. Un nouveau modèle a été développé. Dans le nouveau modèle, la structure spatiale tridimensionnelle d'une grappe de nanoparticules dans le fluide est simulée et l'influence de l'épaisseur de la couche d'adsorption des nanoparticules est reflétée. Kedzierski et Gong [7] ont quantifié l'influence des nanoparticules de CuO sur la performance d'ébullition des mélanges R134a/polyesters sur une surface horizontale et rugueuse. Un nanofluide à base de lubrifiant a été fabriqué avec un fluide synthétique et des particules de CuO. Pour la fraction de masse de 0,5%, les nanoparticules ont provoqué une amélioration du transfert de chaleur par rapport au transfert de chaleur du R134a pur en moyenne 19%. Les mesures de conductivité thermique ont suggéré que la conductivité thermique n'est responsable que d'une faible partie de l'amélioration du transfert de chaleur due aux nanoparticules. L'ébullition nucléate d'un nanofluide à base de réfrigérant a été étudiée à différentes concentrations et pressions des nanoparticules par Trisaksri et Wongwises [8]. Les nanoparticules de TiO₂ ont été mélangées avec le réfrigérant R141b à une fraction volumique de 0.01, 0.03 et 0.05%. L'expérience a été réalisée à l'aide d'un tube de cuivre cylindrique. Les résultats indiquent que les caractéristiques d'ébullition d'un nanofluide sont différentes de leur fluide de base, non seulement en ce qui concerne la dégradation du transfert de chaleur à l'ébullition de nucléate, mais aussi en ce que l'addition de nanoparticules de TiO₂ modifie l'effet de la pression sur le coefficient de transfert de chaleur à ébullition libre. Le coefficient de transfert de chaleur à ébullition diminue avec l'augmentation fraction volumique de particules, en particulier à fort flux de chaleur.

L'utilisation de nanofluides comme refroidisseurs secondaires dans les systèmes de réfrigération par compression de vapeur a été étudiée numériquement par Loaiza et al., [10]. Un modèle de simulation pour une pompe à chaleur de liquide à eau, avec compresseur alternatif et condenseur à double tube et évaporateur a été étudié. La méthode multizone a été utilisée dans la modélisation des échangeurs de chaleur. Le nanofluide à base d'eau était censé s'écouler à travers la section circulaire intérieure de l'évaporateur, tandis que le réfrigérant était laissé au passage annulaire. Un programme de calcul a été développé pour résoudre le système non linéaire résultant d'équations algébriques. Différentes nanoparticules (Cu, Al₂O₃, CuO et TiO₂) ont été étudiées pour différentes fractions volumique et diamètres de particules. Les résultats de la simulation ont montré que, pour une capacité de réfrigération donnée, la surface de l'évaporateur et la chute de pression côté réfrigérant sont réduites lorsque la fraction volumique des nanoparticules augmente et le diamètre des nanoparticules diminue. En outre, la chute de pression du côté

du nanofluide et, par conséquent, la puissance de pompage, augmentent avec la fraction de volume des nanoparticules et diminuent avec la taille des nanoparticules. Les résultats d'une étude de cas typique ont indiqué une réduction de la zone d'évaporation, avec l'utilisation de nanofluides comme agent de refroidissement secondaire, par rapport au fluide de base conventionnel (H_2O). Bi et al., [12] ont été examinés expérimentalement un réfrigérateur domestique fonctionne avec nanoréfrigérant TiO_2 -R600a comme fluide frigorifique. La performance de la réfrigération a mesuré par rapport à la consommation d'énergie. Les tests indiquent que les nanoréfrigérants TiO_2 -R600a marchent normalement et sans risque dans le réfrigérateur. La performance de réfrigérateur est mieux que le système R600a pur, avec 9.6% moins d'énergie utilisée. Kedzierski [13] a été quantifié l'influence des nanoparticules Al_2O_3 sur la performance d'ébullition de mélanges R134a/polyolsters sur une surface horizontale et rugueuse. Les nanoparticules ont amélioré le transfert de chaleur à ébullition par rapport à celui des mélanges R134a/polyolsters pour les trois fractions massique. Pour la fraction de masse de 0.5%. L'amélioration moyenne du flux de chaleur pour les flux de chaleur inférieurs à 40 kW/m^2 était d'environ 105%, 49% et 155% pour les fractions 0,5%, 1% et 2% en masse, respectivement. Un modèle semi-empirique a été développé pour prédire l'amélioration de l'ébullition comme causé par l'interaction des nanoparticules avec les bulles. L'effet de l'utilisation de nanoréfrigérant CuO -R134a dans le système de compression de vapeur sur le coefficient de transfert de chaleur évaporateur est expérimentalement étudié par Abdel-Hadi et al., [14]. Une plateforme de test expérimental est conçue et construite,

Les influences de la composition de nanoréfrigérant sur la déplacement des nanoparticules pendant l'ébullition ont été étudiées expérimentalement par Peng et al., [15]. Les nanoparticules testent Cu (de diamètre 20, 50 et 80 nm), Al et Al_2O_3 (de diamètre 20 nm) et CuO (de diamètre 40 nm). Les réfrigérants comprennent R113, R141b et n-pentane. La fraction de masse de l'huile lubrifiante est de 0 à 10%, le flux de chaleur est de 10 à 100 kW/m^2 . Les résultats expérimentaux montrent que le taux de migration des nanoparticules pendant l'ébullition augmente avec la diminution de la densité des nanoparticules, la taille des nanoparticules, la viscosité dynamique du fluide frigorigène, la fraction massique de l'huile lubrifiante ou du flux de chaleur ; tout en augmentant avec l'augmentation de la densité en phase liquide du réfrigérant. Subramani et Prakash [16] et Kumar et Elansezhian [17] ont testé l'ajout de nanoparticules au réfrigérant R134a sur fonctionnement des réfrigérants. Les expériences indiquent que le système de réfrigération avec des nanoréfrigérant fonctionne normal. On constate que la capacité de congélation est plus

élevée et la consommation d'énergie diminue de 25% lorsque l'huile de POE est remplacée par un mélange d'huile minérale et de nanoparticules d'alumine. Les calculs montrent que le facteur d'amélioration dans l'évaporateur est de 1,53 lorsque des nanoréfrigérants sont utilisés à la place du fluide réfrigérant pur.

Sabareesh et al., [18] ont étudié l'effet de la dispersion d'une faible concentration de nanoparticules de TiO_2 dans le lubrifiant à base d'huile minérale, sur ses caractéristiques de viscosité et de lubrification, ainsi que sur la performance globale d'un système de réfrigération à la vapeur utilisant le R12 comme fluide de travail. Une amélioration du COP du système de réfrigération a été observée et l'existence d'une fraction de volume optimale. L'effet d'utilisation de CuO-R134a dans le système de compression de vapeur sur le coefficient de transfert de chaleur est étudié par Coumaressin et al., [20] en CFD. Un banc d'essai expérimental est conçu à cet effet. Le réfrigérant est évaporé à l'intérieur d'un tube de cuivre interne et la charge de chaleur est fournie à partir d'eau chaude qui passe dans un espace annulaire entourant le tube intérieur. Le flux de chaleur variant de 10 à 40 kW/m^2 , en utilisant des concentrations de CuO (15 à 70 nm) comprises entre 0,05 et 1%. Les mesures ont indiqué que, pour une certaine concentration nanométrique, le flux de chaleur ou le flux de masse augmente, le coefficient de transfert de chaleur augmente. Le résultat du coefficient de transfert de chaleur évaporateur obtenu a été optimisé à sa valeur maximale pour la meilleure concentration de particules.

Des simulations numériques pour le transfert de chaleur à convection mixte turbulente en anneau concentrique utilisant divers Nanorefrigerants ont été présentés par Sidik et Alawi [21]. Les résultats montrent que les nanoparticules de SiO_2 à le plus grand nombre de Nusselt suivi de Al_2O_3 , ZnO, CuO et les valeurs les plus faibles pour le fluide frigorigène pur. Le nanoréfrigérant de $\text{SiO}_2/\text{R-141b}$ a le nombre de Nusselt le plus élevé en comparaison avec d'autres types de nanoréfrigérant. Les propriétés thermodynamiques des nanoparticules suspendues dans le fluide frigorigène et les huiles lubrifiantes des systèmes frigorifiques ont été revues par Alawi et al., [22]. Les effets des nanolubrifiants sur les phénomènes d'ébullition et de flux à deux phases sont également présentés. Sur la base des résultats disponibles dans les littératures, ils ont été constaté que les nanoréfrigérant ont une conductivité thermique beaucoup plus élevée et fortement dépendante de la température à très faibles concentrations de particules que le réfrigérant conventionnel. L'analyse des résultats indique que R134a et l'huile minérale avec des nanoparticules TiO_2 fonctionnent normalement et en toute sécurité dans le réfrigérateur avec de meilleures performances. La propriété thermophysique de nanoréfrigérant, basée sur des nanoparticules mises en

suspension dans le R245fa a été étudiée Faizan et Han [28]. Des modèles d'études existantes ont été utilisés pour déterminer les propriétés thermophysiques comme la conduction thermique, la capacité calorifique, la viscosité et la densité du nanoréfrigérant R245fa. Des fractions volumiques de nanoparticules de 1 à 5% à une température de 293 K ont été utilisées. Une étude numérique a été menée à l'aide du code Fluent afin d'étudier le coefficient de transfert de chaleur monophasé et le nombre de Nusselt proposés à différentes concentrations de nanoparticules. Les résultats de l'étude montrent que la conductivité thermique augmente et la chaleur spécifique diminue avec l'augmentation de la concentration des particules. De plus, la viscosité et la densité augmentent avec l'augmentation de la fraction volumique. Les résultats simulés ont montré une augmentation maximale de 70,2% et 48,9% du coefficient de transfert de chaleur et du nombre de Nusselt respectivement par rapport au réfrigérant pur à une fraction volumique de 5%.

1.2 Objectif du mémoire

Plusieurs enquêtes ont été menées pour aborder le problème du réchauffement climatique et de l'épuisement de la couche d'ozone avec l'utilisation de réfrigérants alternatifs dans le système de réfrigération. Par conséquent, on estime qu'une enquête détaillée sur la possibilité d'explorer un nouveau réfrigérant alternatif et l'ajout de nanoparticules au réfrigérant pure et d'étudier l'effet du tensioactif serait une tentative intéressante.

Une grande gamme des fluides frigorigènes sont des gaz réels avec des propriétés très sensibles à la pression et à la température, l'objectif de ce travail est d'étudier les effets des propriétés thermophysiques de fluides de base sur les performances de transfert de chaleur dans les nanoréfrigérants.

Ce mémoire contient quatre chapitres, introduction au problème dans le premier chapitre suivi d'une revue exhaustive de la littérature sur les nanoréfrigérants et les objectifs de la présente étude. Au chapitre 2, une généralité sur la réfrigération et les nanofluides, les réfrigérants et les nanofluides. Le modèle mathématique et les équations gouvernant les écoulements et le transfert de chaleur, y compris la méthode du calcul des propriétés des nanoréfrigérants ont été présentés au chapitre 3. Le quatrième chapitre présente les détails des résultats de la simulation numérique en termes d'écoulement et de transfert thermique. Les conclusions et la portée des travaux de recherche futurs sont soulignées au chapitre à la fin de ce mémoire.

Chapitre 2

La Réfrigération et Nanoréfrigérant

2.1 Introduction

La réfrigération peut être définie comme le processus d'obtention et de maintien d'une température inférieure à celle de l'environnement, ce qui vise à refroidir un produit ou un espace à la température requise. L'une des applications les plus importantes de la réfrigération a été la préservation des produits alimentaires périssables en les stockant à basse température. Les systèmes de réfrigération sont également largement utilisés pour fournir un confort thermique aux êtres humains grâce à la climatisation.

2.2 Les Fluides Frigorigènes

La substance active qui circule dans un circuit frigorifique est le fluide frigorigène. Le frigorigène évolue d'une manière cyclique dans l'ensemble de circuit basse et haute pressions. Les fluides frigorigènes sont des composés chimiques dotés de caractéristiques physico-chimiques leur permettant d'être facilement liquéfiables et vaporisables. Selon le besoin, on profite de leurs changements d'états physiques, soit comme une source de production de froid ou de chaleur (chaleur latente de vaporisation et de condensation).

Parmi un très grand nombre de fluides frigorigènes existant aujourd'hui, il est évident de concevoir qu'un fluide frigorigène idéal n'existe pas. En effet, devant la diversité des besoins et exigences du domaine, un frigorigène qui conviendrait parfaitement à une condition d'exploitation pourrait ne pas convenir à une autre. Compte tenu de cela, il est donc nécessaire d'établir des critères objectifs qui permettraient de choisir un fluide frigorigène pour une application donnée.

Afin de réaliser un choix rationnel d'un frigorigène, quatre critères majeurs et essentiels ont

été établis, à savoir :

- critères thermodynamiques,
- critères de sécurité,
- critères physico-chimiques,
- critères économiques.

2.2.1 Critères Thermodynamiques

Les critères thermodynamiques ont pour objectif de préciser les performances de la machine. Le niveau de qualité et de performance technique de la machine devraient être le plus élevé possible pour l'ensemble du processus. Cela implique que le cycle réel décrit par le frigorigène se rapproche au maximum à celui d'une machine théorique de Carnot.

Les fluides frigorigènes sont approximativement groupés en trois catégories, selon leur capacité de production du froid. Ces trois catégories sont :

- les frigorigènes ayant un point critique le plus élevé,
- les frigorigènes dont le point critique est moyen,
- les frigorigènes dont le point critique est bas.

La température et la pression critiques doivent être largement supérieures à la température de condensation ; le frigorigène doit évoluer très loin de la température critique sinon l'efficacité de la machine risque d'être compromise.

De même, les frigorigènes peuvent être groupés en trois catégories, selon leurs températures d'ébullition à la pression atmosphériques :

- les frigorigènes dont le point d'ébullition est le plus élevé (R113), 48°C
- les frigorigènes dont le point d'ébullition est moyen (R717), -33.35°C
- les frigorigènes ayant un point d'ébullition très bas (R23, R170). -88.9°C

Le point d'ébullition aura des effets non négligeables sur l'écart et le niveau du palier de condensation et d'évaporation, d'une part et d'autre part, sur l'ensemble de la pression d'exploitation de la machine. Pour une raison d'efficacité et d'économie d'énergie, l'écart et le niveau du palier de condensation et celui du palier d'évaporation doivent être les plus rapprochés possibles.

La capacité de production de froid dépend également des caractéristiques thermodynamiques suivantes :

- la chaleur latente de vaporisation qui doit être assez élevée.
- la chaleur massique de la vapeur saturée doit être aussi faible que possible.

- le volume massique du frigorigène à l'aspiration du compresseur soit aussi faible que possible,
- la surchauffe des vapeurs lors de la compression et au refoulement du compresseur devrait être la plus faible possible ; d'où le rapport des chaleurs massiques à pression et volume constants qui doit se rapprocher de l'unité.
- Le cycle doit pouvoir être décrit en entier, à la fois, loin du point critique et du point triple.

2.2.2 Critères de sécurité

Le critère de sécurité englobe la sécurité du personnel ou de l'utilisateur. Il s'agit notamment de :

- l'inflammabilité,
- l'explosivité,
- la toxicité,
- la compatibilité et la neutralité vis-à-vis de tout ce qui entre en contact avec le frigorigène,
- la pollution et l'environnement.

2.2.3 Critères Physico-chimiques

Les critères physico-chimiques concernent essentiellement la nature de la machine et son interaction avec le frigorigène. Les aspects pris en compte sont :

- la stabilité chimique qui dépend des conditions d'exploitation de la machine (température de refoulement du compresseur, compatibilité avec les différents matériaux)
- la compatibilité avec l'huile de lubrification (miscibilité et réaction chimique),
- l'hygroscopie ou l'affinité du frigorigène pour la vapeur d'eau. Les composés hydratés dérivés de la désintégration d'un fluide frigorigène peuvent exister sous forme de glace (solide) à basse température dans le circuit basse pression. Ces hydrates peuvent boucher la section de passage d'un organe de détente, ainsi provoquer des pannes de dysfonctionnements. Pour cette raison, il est conseillé de maintenir le taux d'humidité dans le circuit frigorifique à un niveau extrêmement bas.
- la facilité de détection et la susceptibilité à la fuite du frigorigène.

2.2.4 Critères Economiques

Avant tout, c'est le critère économique qui pèse le plus lourd sur l'ensemble des critères de choix d'un frigorigène. Suivant le critère économique, les aspects considérés sont :

- le coût, bien entendu un prix de revient faible et compétitif,
- la disponibilité et l'approvisionnement faciles,
- le transport aisé,
- et le système de stockage simple.

2.3 Impacts environnementaux

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) provenant de la combustion de combustibles fossiles pour la production d'électricité et l'émission de fluides frigorigènes halogénés à partir de systèmes de réfrigération à la vapeur, de climatisation et de pompe à chaleur contribuent de manière significative au réchauffement climatique. Une réduction des émissions de GES ne peut être réalisée qu'en utilisant des fluides frigorigènes respectueux de l'environnement et éconergétiques. Les impacts environnementaux élevés en raison des émissions de réfrigérant halogènes ont permis d'identifier une alternative à long terme pour répondre à toutes les exigences du système, y compris la performance du système, l'interaction fluide réfrigérant-lubrifiant, l'efficacité énergétique, la sécurité et le service. Les réfrigérants halogénés sont largement utilisés dans les industries de la réfrigération et de l'air pendant de nombreuses décennies en raison de leurs excellentes propriétés thermodynamiques et thermo-physiques. Selon le Protocole de Montréal de 1987, les pays en développement doivent éliminer tous les carbones ChloroFluro (CFC) d'ici [2010] et tous les hydrocarbures ChloroFluro (HCFC) d'ici [2040]. Les réfrigérants HFC sont considérés comme l'un des six gaz de réserve ciblés dans le cadre du Protocole de Kyoto de la Convention-cadre des Nations Unies sur Changement climatique (CCNUCC) en [1997]. Le premier impact environnemental important qui a frappé les industries basées sur la réfrigération est le potentiel d'épuisement de l'ozone (ODP) en raison des produits chimiques artificiels dans l'atmosphère. Environ 90% de l'ozone existe dans la stratosphère entre 10 et 50 km au-dessus de la surface terrestre. Molena et Rowland (1974) décrivent en détail que les fluides frigorigènes à base de chlore sont suffisamment stables pour atteindre la stratosphère, où les atomes de chlore agissent comme catalyseurs pour détruire la couche d'ozone stratosphérique qui protège la surface de la terre contre les rayons ultraviolets directs.

2.4 Nanofluides

Les nanofluides sont des colloïdes d'ingénierie qui consistent en un fluide de base avec des articles de taille Nano (1-100 nm) suspendus en eux. Les fluides de base communs comprennent l'eau, les liquides organiques (par exemple l'éthylène, les triéthylène-glycols, les réfrigérants, etc.), les huiles et lubrifiants, les bio fluides, les solutions polymères et d'autres liquides communs. Les matériaux couramment utilisés comme nanoparticules comprennent des métaux chimiquement stables par exemple, de l'or, du cuivre, des oxydes métalliques (alumine, silice, zircone, Titania), des céramiques d'oxyde (Al_2O_3 , CuO), des carbures métalliques (par exemple, SiC), des nitrures métalliques (par exemple, AlN , SiN), le carbone sous diverses formes (par exemple, le diamant, le graphite, les nanotubes de carbone, le fullerène) et les nanoparticules fonctionnalisées. En suspendant les nanoparticules dans les fluides de transfert de chaleur classiques, les performances de transfert de chaleur des fluides peuvent être considérablement améliorées. En tant que classe fluide, les Nanofluides ont une caractéristique unique qui est tout à fait différente de celle des mélanges solides-liquides conventionnels dans lesquels des particules de taille millimétrique et / ou micrométrique sont ajoutées. De telles particules s'installent rapidement, obstruent les canaux d'écoulement, érodent les canalisations et causent de fortes chutes de pression. Toutes ces lacunes interdisent l'application de mélanges solides-liquides conventionnels aux micro-canaux, alors que les nanoparticules peuvent être utilisés dans le transfert de chaleur à micro-échelle. Les performances de transfert de chaleur du nanofluide sont supérieures à celles du fluide pur original car les particules ultrafines suspendues augmentent remarquablement la conductivité thermique du mélange et améliorent sa capacité d'échange d'énergie.

2.5 Avantages des nanofluides

La taille des particules est le principal paramètre physique des nanofluides, car elle peut être utilisée pour syntoniser les propriétés thermiques du nanofluide ainsi que la stabilité à la suspension des nanoparticules. Par conséquent, les nanofluides peuvent circuler librement à travers des mini ou des micro canaux avec la dispersion des nanoparticules. Les nano suspensions montrent une conductivité thermique élevée qui est principalement due à une convection accrue entre les nanoparticules et les surfaces liquides de base. Un autre avantage potentiel est que les nanoparticules ont des dimensions inférieures de sorte que les nanoparticules dispersées semblent être comme une molécule fluide de base en suspension. Les avantages de la suspension des nanoparticules dans les fluides de base sont :

- La surface et la capacité calorifique du fluide sont augmentées ;
- La conductivité thermique efficace du fluide est améliorée ;
- La collision et l'interaction entre les particules, la surface du passage d'écoulement et les fluides de base sont intensifiées ;
- Réduction du colmatage des particules plutôt que des boues conventionnelles.

La combinaison de ces facteurs rend les nanofluides hautement préférables pour la conception de fluides de transfert de chaleur.

2.6 Applications des nanofluides

Les concepts nouveaux et avancés des nanofluides offrent des caractéristiques de transfert de chaleur fascinantes par rapport aux fluides de transfert de chaleur classiques. Il existe des recherches considérables sur les propriétés supérieures de transfert de chaleur des nanofluides, en particulier sur la conductivité thermique et le transfert de chaleur par convection. Les applications des nanofluides dans les industries telles que les dispositifs d'échange de chaleur semblent prometteuses avec ces caractéristiques. Les nanofluides peuvent être utilisés dans des domaines spécifiques suivants :

- Nanofluides de transfert de chaleur ;
- Nanofluides tribologiques ;
- Surfactant et nanofluides de revêtement ;
- Nanofluides chimiques ;
- Nanoréfrigérants ;
- Nanofluides de processus / extraction ;
- Nanofluides environnementaux (nettoyage de la pollution) ;
- Bio-pharmaceutiques-nanofluides ;
- Nanofluides médicaux (interaction tissulaire-cellule fonctionnelle).

Les nanofluides peuvent être utilisés pour refroidir les moteurs automobiles et les équipements de soudage et pour refroidir les dispositifs à haut flux de chaleur tels que les tubes hyperfréquences haute puissance et les réseaux à diodes laser à haute puissance. Un liquide de refroidissement nanofluide pourrait couler à travers de minuscules passages pour améliorer son efficacité. La mesure du flux de chaleur critique des nanofluides dans une boucle de convection forcée est utile pour les applications nucléaires. Les nanofluides peuvent être utilisés efficacement pour une grande variété d'industries, allant du transport à la production d'énergie et dans les systèmes électroniques comme les microprocesseurs, les systèmes microélectro-mécaniques et dans le domaine de la biotechnologie. Récemment, le

nombre de potentiel d'application industrielle de la technologie des nanofluides et leur mise au point pour des applications industrielles spécifiques augmente.

Chapitre 3

Mise en Equations

3.1 Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie numérique utilisée pour étudier l'écoulement et le transfert de chaleur dans un tube cylindrique désigné pour l'échange de chaleur d'un fluide frigorigène. Les simulations ont été réalisées à l'aide de code commercial Fluent. Basant sur la méthode des volumes finis pour résoudre les équations gouvernant l'écoulement et le transfert de chaleur.

Les équations de Navier-Stokes forment un système d'équations différentielles partielles qui régissent le flux de fluide compressible et instable dans le cadre de référence eulérien. Pour obtenir la forme des équations utilisées dans les solveurs, plusieurs transformations sont appliquées à la forme cartésienne tridimensionnelle des équations de Navier-Stokes.

Les transformations sont : la non-dimensionnalisation des équations, la moyenne de Reynolds et la transformation des coordonnées curvilignes. La non-dimensionnalisation contribue à réduire les inexactitudes numériques, la moyenne de Reynolds est requise pour éviter de modéliser toutes les échelles de turbulences, et la transformation des coordonnées curvilignes simplifie l'application des algorithmes numériques. Les équations transformées sont ensuite discrétisées dans l'espace et le temps pour former un système d'équations algébriques couplées qui sont résolues numériquement pour obtenir diverses propriétés du flux.

3.2 Description du Problème

Dans cette étude, un écoulement laminaire avec un transfert de chaleur dans un tube cylindrique de longueur 1.2 m et de rayon 0.00475 m, contient un nanoréfrigérant et soumis un flux de chaleur uniforme constant 1000 W/m^2 est examiné. La géométrie du problème considéré est représentée dans Figure 3.1.

Le problème est concédé asymétrie et le domaine de calcul est réduit à rectangulaire de

Llongueur et de R largeur. Le fluide de base et nanoréfrigérant entrent dans le tube à la température de 283 K et la pression de 1 bar, cette température d'admission est choisie en raison des conditions de température de pression de saturation.

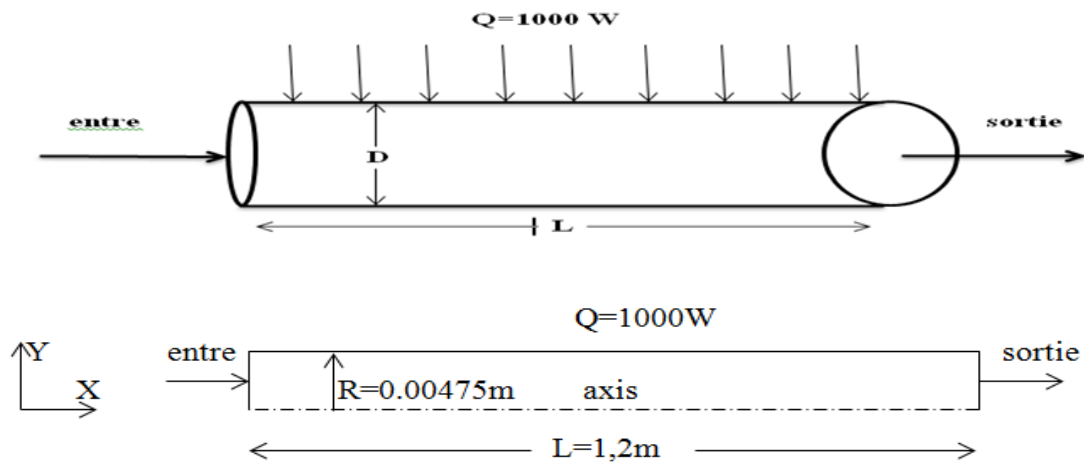


Figure 3.1. Schéma représentant le problème étudié

3.3 Mise en Equations

Les équations régissant l'écoulement sont les équations de continuité, de Navier-stokes et l'équation d'énergie, qui expriment, respectivement, la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

Les champs de vitesses et de températures issues de ces équations peuvent être utilisés pour évaluer les paramètres de transfert de chaleur (nombre de Nusselt).

3.3.1 Equation de continuité

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} V) = 0 \quad (3.1)$$

où ρ_{nf} est la masse volumique de nanofluide, V est le vecteur de vitesse.

3.3.2 Equation de quantité de mouvement

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent. D'après la deuxième loi fondamentale de la dynamique l'équation de la conservation de la quantité de mouvement écrit sous la forme suivante :

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} W) = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu_{nf} \nabla V) \quad (3.2)$$

où P est une force par unité de volume.

3.3.3 Equation d'énergie

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique.

$$\nabla (\rho_{nf} V C_p T) = \nabla (k_{nf} \nabla T) \quad (3.3)$$

3.4 Conditions aux limites

Afin de résoudre les équations régissant ci-dessus, les conditions aux limites appropriées sont appliquées et exprimées comme suit :

Condition de limite de vitesse uniforme en fonction de la valeur du nombre de Reynolds et la température d'entrée sont définis à l'entrée du tube :

$$\begin{aligned} u(0,r) &= U, \quad v(0,r) = 0 \\ T(0,r) &= T_{in} \end{aligned} \quad (3.4)$$

La paroi est lisse et imprimable :

$$u(x,R) = v(x,R) = 0 \quad (3.5)$$

3.5 Transfert de Chaleur

Le coefficient local de transfert de chaleur est exprimé comme suit :

$$h(x) = \frac{q''}{T(x)_w - T(x)_{f,m}} \quad (3.6)$$

où $T(x)_w$ représente la température de la paroi à un emplacement donné x le long du tube et il est calculé comme suit :

$$T(x,R) = T(x)_w \quad (3.7)$$

x représente une position axiale donnée le long du tube et R est Le rayon du tube.

$T(x)_{f,m}$ est la température moyenne de fluide à n'importe quel position suivant x , qui peut être calculé par :

$$T(x)_{f,m} = \frac{\int_0^R u r T dr}{\int_0^R u r dr} \quad (3.8)$$

u est la vitesse dans la direction axiale x .

Le coefficient moyen de transfert de chaleur par convection est calculé comme suit :

$$h_{ave} = \frac{1}{L} \int_0^L h(x) dx \quad (3.9)$$

Le nombre moyen de Nusselt et la température de fluide sont donnés par :

$$Nu_{ave} = \frac{h_{ave} D}{k} \quad (3.10)$$

$$T_{ave} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\ln\left(\frac{T_{in}}{T_{out}}\right)} \quad (3.11)$$

3.6 Propriétés thermophysiques des nanofluides

Les propriétés thermophysiques des nanoréfrigérant sont calculées en utilisant les formules suivantes :

La densité de nanofluide peut être calculée par l'équation Développé par Pak et Chao :

$$\rho_{nf} = \phi \rho_s + (1 - \phi) \rho_{bf} \quad (3.12)$$

Où ϕ est la concentration en volume des nanoparticules, ρ_s et ρ_f sont les masses volumiques de nanoparticules et de fluide de base, respectivement.

La chaleur spécifique à pression constante qui est basé sur le concept de capacité thermique du nanofluide est présentée ci-dessous :

$$C_{p,nf} = \frac{\phi(\rho C_p)_s + (1 - \phi)(\rho C_p)_{bf}}{\phi \rho_s + (1 - \phi) \rho_{bf}} \quad (3.13)$$

La conductivité thermique efficace du nanofluide est obtenue dans le formulaire suivant :

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{[k_s + (n-1)k_{bf} + (n-1)\phi(k_s - k_{bf})]}{[k_s + (n-1)k_{bf} - \phi(k_s - k_{bf})]} \quad (3.14)$$

$n = 3$ pour des particules solides sphériques.

La viscosité dynamique du nanofluide est estimée à l'aide d'équation d'Einstein basée sur la théorie cinétique

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} (1 + 2.5\phi) \quad (3.15)$$

3.6.1 Les propriétés thermophysiques de fluide de base HFE-7000

HFE-7000 (methoxyheptafluoropropane) est un fluide de transfert de chaleur non inflammable et à faible potentiel de réchauffement planétaire capable d'atteindre -120 °C. Il est également utile en tant que réfrigérant à expansion directe.

La masse volumique de HFE-7000 s'exprime le plus généralement en kg/m^3 (Qi et al., [2014] pour une pression maximal égale à 100 MPa.

$$\rho(T, p) = \frac{\rho_0(T)}{1 - C \ln((B(T) + p)/(B(T) + 0.1))} \quad (3.16)$$

$$\rho_0(T) = A_0 + A_1T + A_2T^2 + A_3T^3 \quad (3.17)$$

$$B(T) = B_0 + B_1T + B_2T^2 \quad (3.18)$$

Tableau 3.1. Paramètres et écarts obtenus pour la corrélation de densité en utilisant l'équation(3.16)

Parameters	HFE-7000
$A_0/\text{g.cm}^{-3}$	3.346
$A_1/\text{g.cm}^{-3}.\text{k}^{-1}$	-1.497×10^{-2}
$A_2/\text{g.cm}^{-3}.\text{k}^{-2}$	4.419×10^{-5}
$A_3/\text{g.cm}^{-3}.\text{k}^{-3}$	-5.312×10^{-8}
B_0/MPa	298.5
$B_1/\text{MPa.k}^{-1}$	-1.378
$B_2/\text{MPa.k}^{-2}$	1.600×10^{-3}
C	0.08315
AAD/ % ^b	0.019
Bias/ % ^c	-4.85×10^{-6}

À une augmentation de la température correspond une augmentation de volume du liquide. Les molécules s'éloignant les unes des autres, les interactions intermoléculaires s'affaiblissent avec l'augmentation de la température. Hu et *al.*, [2015] exprime une formulation de la diminution de la viscosité avec une telle augmentation pour $P_{max}=30\text{MPa}$.

$$\eta(p,T) = A \left(\frac{p + E(T)}{p_{ref} + E(T)} \right)^D \exp \left(\frac{B}{T - C} \right) \quad (3.19)$$

Lorsque η est la viscosité dans MPa.s, T est la température dans K, P est la pression dans MPa, $p_{ref} = 0.1 \text{ MPa}$ est la pression de référence, $E(T) = E_0 + E_1T + E_2T^2$ et A, B, C, D, E_0 , E_1 et E_2 sont les coefficients T_0 qui évaluent les performances des corrélations

Tableau 3.2. Coefficients et écarts de l'équation (3.16) pour HFE-7000

Parameters	HFE-7000
A	$4.82989.10^{-4}$
B	3415.99
C	-205.365
D	0.917886
E_0	97.4060
E_1	$-6.97495.10^{-2}$
E_2	$-2.86316.10^{-4}$
AAD/%	0.44
MAD/%	2.21
Bias/%	0.002
RSD/%	0.59

la conductivité thermique de HFE-7000 est varié en fonction de la température selon le modèle de Shengshan et al., [2016] par :

$$\lambda = B_0 + B_1T + B_2T^2 + B_3T^3 \quad (3.20)$$

Tableau 3.3. Coefficients d'ajustement de la conductivité thermique pour HFE-7000

B_0	B_1	B_2	B_3
-0.13633	2.45715×10^{-3}	-9.09221×10^{-6}	1.04344×10^{-8}

La chaleur spécifique à pression constante varie en fonction de la température par l'expression suivante : [24]

$$C_p (J / Kg.K^0) = 1223.2 + 3.0803T (C^0) \quad (3.21)$$

Les nanoparticules utilisées dans cette étude sont Al_2O_3 , leurs propriétés thermophysiques sont données dans le tableau suivant :

Tableau 3.4. Propriétés thermophysiques des nanoparticules Al_2O_3

$\rho [kg / m^3]$	$C_p [J / kg K]$	$k [W / m K]$	$\mu [Kg/m S]$
3970	765	40	$8,5 \times 10^{-4}$

La température d'un mélange à deux composants, tel qu'un nanofluide, dépend de la température du composant solide ainsi que du milieu fluide. Dans un nanofluide, l'augmentation de la température améliore la collision entre les nanoparticules et la formation d'agrégats de nanoparticules, ce qui entraîne une variation drastique de la conductivité thermique des nanofluides. Diaf et al.[2] a mesuré la conductivité thermique des nanofluides à base d'eau consistant en nanoparticules Al_2O_3 , SiO_2 et TiO_2 à différentes températures. On a constaté que le rapport de la conductivité thermique a diminué avec l'augmentation de la température. Mais les résultats expérimentaux d'autres ont été contradictoires avec ce résultat. La dépendance à la température de la conductivité thermique des Nanofluides Al_2O_3 /eau et CuO /eau, mesurée par Kedzierski et al.[3], ont montré que pour 1% en volume de nanofluide d'eau, la conductivité thermique augmentait de 2% à 210 °C à 10,8% à 510 °C. Malgré ces résultats expérimentaux, les résultats théoriques basés sur le modèle de Park et al[1] ne soutiennent pas l'argument d'une variation significative de la conductivité thermique avec la température.

3.7. Résolution numérique

Dans cette étude, les équations gouvernantes (continuité, mouvement et l'énergie) avec les conditions limites appropriées sont résolus par en utilisant le code commercial Fluent 6.3.

Le problème a été résolu asymétriquement. Les propriétés des nanoréfrigérant ont été introduites par *UDF* élaboré en langage C.

L'algorithme SIMPLE est utilisé pour modéliser le couplage de la vitesse et de la pression. Le critère de convergence est choisi quand les résidus sont inférieurs à 10^{-6} pour toutes les variables.

Chapitre 4

Résultats et Discussions

4.1 Introduction

Ce chapitre est consacré principalement à la présentation et la discussion des résultats de la simulation numérique de transfert de chaleur dans le nanoréfrigérant $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$ dans un tube cylindrique pour un régime laminaire avec un nombre de Reynolds variant de 400 à 1600 et une fraction volumique de nanoparticules de 1, 4 et 6%. Les parois extérieures du tube sont soumises à un flux de chaleur constant et uniforme.

Les propriétés des nanofluides sont dépendent de propriétés de fluide de base et de propriétés de nanoparticules. Les nanoréfrigérants sont utilisés un fluide frigorigène comme fluide de base, qui change fortement ces propriétés dépendent de température et de pression. Toutes les simulations numériques des travaux précédents ont montré que les propriétés des nanoréfrigérants indépendantes de températures et de pression, dans cette étude on montre l'effet des propriétés variables sur les performances de transfert de chaleur dans les nanoréfrigérants. Basant sur la simulation numérique de Helvaci et Khan [2017], le même fluide et les mêmes conditions sont utilisés. La section d'essai est un tube droit avec un rayon intérieur de 4,75 mm et une longueur de 1200 mm, un flux de chaleur constant de 1000 W le long du tube. Le nanoréfrigérant est composé de HFE-7000 comme fluide frigorigène et Al_2O_3 comme nanoparticules.

4.2 Etude de maillage

Un test d'indépendance de la grille est réalisé pour garantir l'exactitude des résultats numériques. Quatre grilles uniformes ont été utilisées pour vérifier l'indépendance de la grille. Les tests ont été effectués pour HFE-7000 pur et nanoréfrigérant $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$ à $\text{Re} = 800$ et 1600 pour chacune des grilles. Le tableau 4.1 montre la comparaison des résultats en termes de coefficient de transfert de chaleur. On peut voir que la valeur de

coefficient de transfert la chaleur converge lorsque le nombre de cellules de la grille augmente.

La grille 3 présente peu de différence (0,11% pour $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$ et 0,41% pour HFE-7000 pur) à partir des résultats obtenus pour Grille 3. Donc, dans la présente étude, la grille 3 est utilisée pour l'analyse numérique. Il est également important d'assurer la taille appropriée des cellules de grille dans afin d'obtenir des résultats de simulation précis.

Tableau 4.1 Résultats des tests d'indépendance de la grille.

Re	Nombre de nœuds suivant x	Nombre de nœuds suivant y	h ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$)	h (HFE-7000pur)
800	1000	20	117, 868	118,538
	2000	40	127,152	127,502
	3000	40	130,952	114.21
1600	1000	20	145,529	146,293
	2000	40	157,044	157,739
	3000	40	159,962	160,389

4.3 Validation

Le point le plus important dans la simulation numérique est de validé les résultats avec des travaux très ressèment publié, les résultats sont comparé avec les résultats de Helvacı et Khan [2017] en termes de coefficient de transfert de chaleur, La figure 4.1 est illustré la variation de coefficient de transfert de chaleur en fonction de nombre de Reynolds pour trois fraction volumique de nanoparticules. La comparaison montre une bonne concordance pour toutes les valeurs de Reynolds et les fractions volumiques testées.

Les graphes montrent une augmentation quasi linière de coefficient de transfert de chaleur en fonction de nombre de Reynolds, cette augmentation est plus grande pour les fractions volumiques plus élevées.

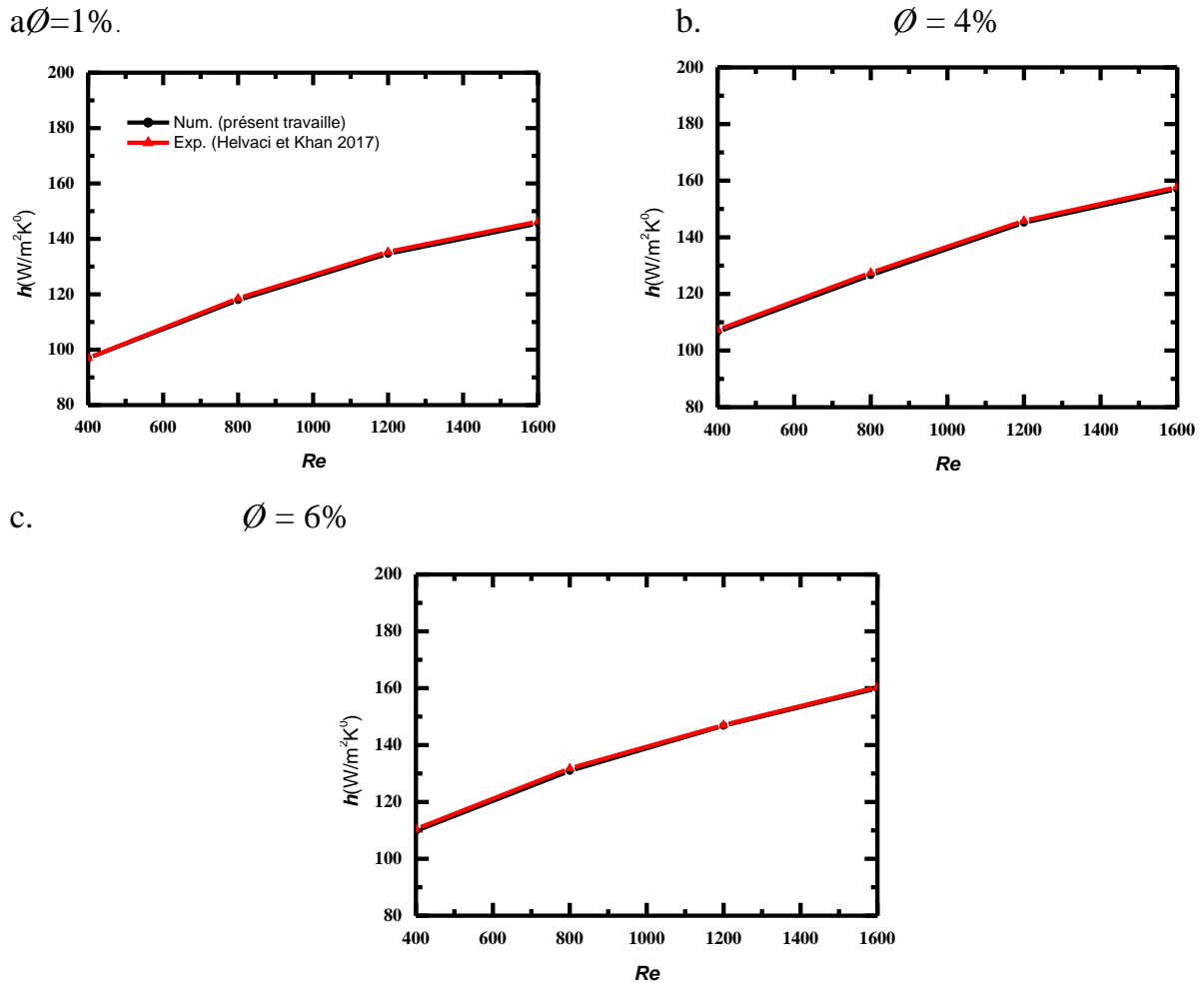


Figure 4.1. Variation du coefficient de transfert de chaleur au nombre en fonction de Reynolds pour différente fraction volumique $Al_2O_3/HFE-7000$

4.4 Effet des propriétés variable sur le transfert de chaleur

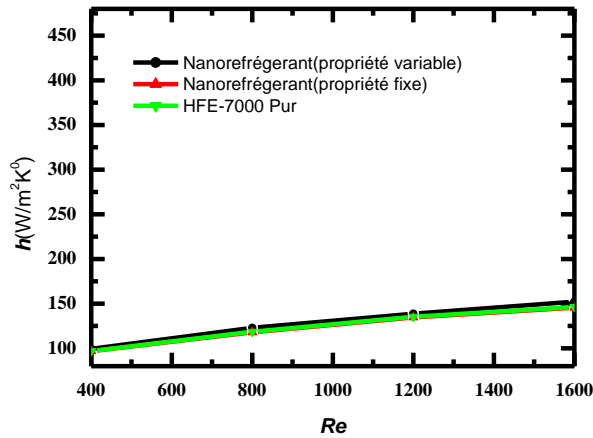
On peut observer à partir de la figure 4.2 que le coefficient moyen de transfert de chaleur de nanoréfrigérant est supérieur au fluide de base à n'importe quel rapport volumétrique et nombre de Reynolds. Les coefficients de transfert de chaleur de nanoréfrigérant augmentent avec l'augmentation du taux de concentration volumique dans le flux de régime laminaire. Ceci est raisonnable car la concentration de volume plus élevée de nanoparticule conduite à une conductivité thermique plus élevée dans nanoréfrigérant que le liquide conventionnel qui se traduit par une augmentation transfert d'énergie thermique.

Le coefficient de transfert de chaleur de nanoréfrigérant $Al_2O_3/HFE-7000$ calculé avec des propriétés variables est augmenté par rapport nanoréfrigérant $Al_2O_3/HFE-7000$ avec des propriétés thermophysiques fixe, cette augmentation est plus remarquable pour les fractions volumiques élevées. Par exemple, à $Re = 400$ et $\phi = 4\%$, l'amélioration du coefficient de transfert de chaleur est d'environ 70%, elle n'est pas stable, cela s'explique par les propriétés thermophysiques variable telle que comme conductivité thermique de

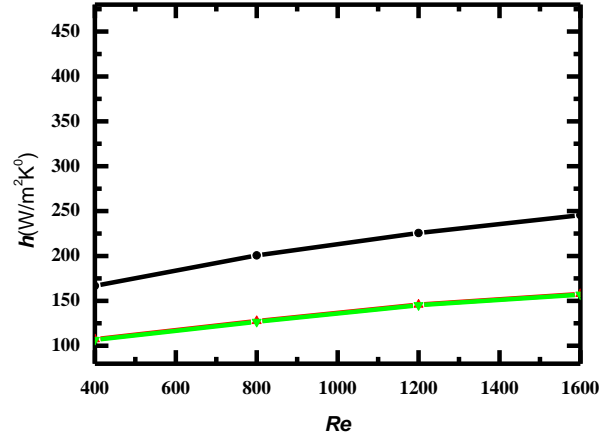
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$ en fonction de température et pression.

Cette amélioration en termes de transfert de la chaleur est très dépend de régime d'écoulement et la fraction volumique de nanoparticules.

a. $\varnothing = 1\%$



b. $\varnothing = 4\%$



c. $\varnothing = 6\%$

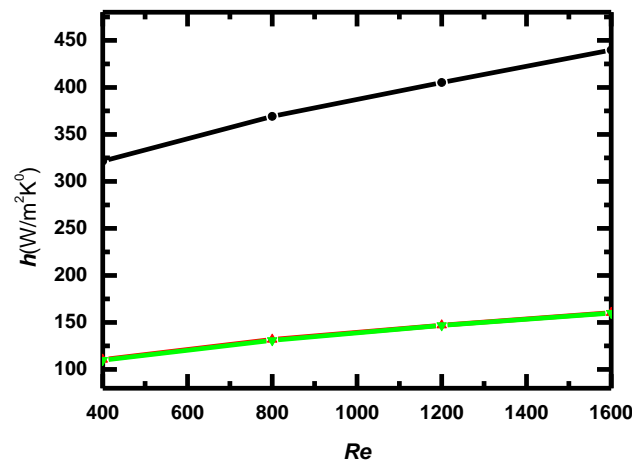


Figure 4.2. Effet des propriétés variable sur le coefficient de transfert de chaleur pour $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$: a. $\varnothing = 1\%$; b. $\varnothing = 4\%$; c. $\varnothing = 6\%$.

4.5 Contours de température

La distribution de la température de nanorefrigerant $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HFE-7000}$ pour la fraction volumique $\varnothing = 4\%$ et nombre de Reynolds $Re = 400$ et 1600 sont montrés dans la figure 4.3. Une couche limite thermique a été observé le long de la paroi de tube, elle épaisse avec l'avancement vers la sortie du tube. L'épaisseur de la couche limite thermique est démunie avec l'augmentation de nombre de Reynolds et le fluide devient moins chaud près de la paroi.

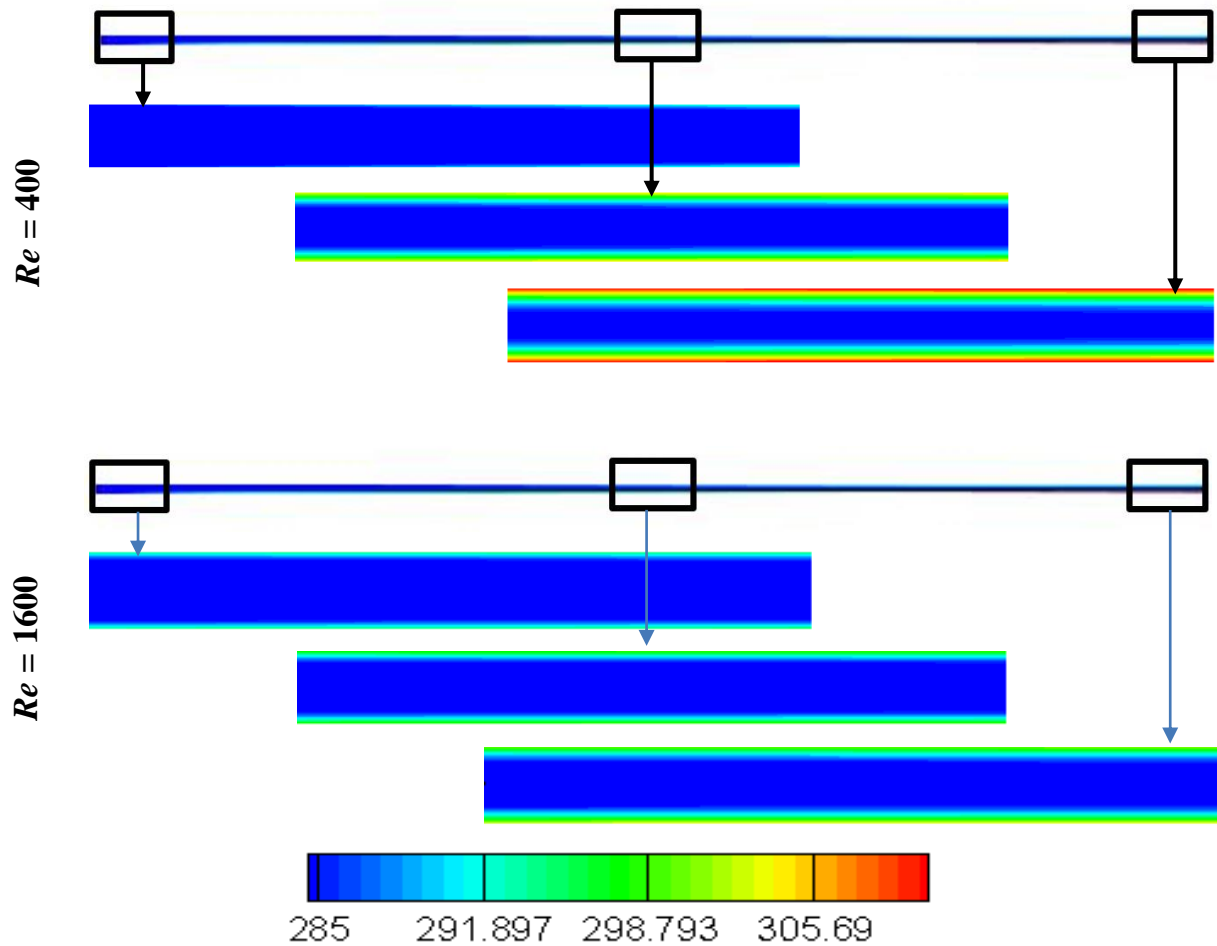


Figure 4.3. Contours de température pour une fraction volumique $\phi = 4\%$

4.6 Profil de température

La figure (4.4) montre la variation de température sur le rayon dans trois stations le long du tube. La courbure de profils montre l'épaisseur de la couche limite thermique, cet épaisseur est plus grand pour les faible nombre de Reynolds car la vitesse de fluide qui permette au transfert de chaleur entre les particules fluide.

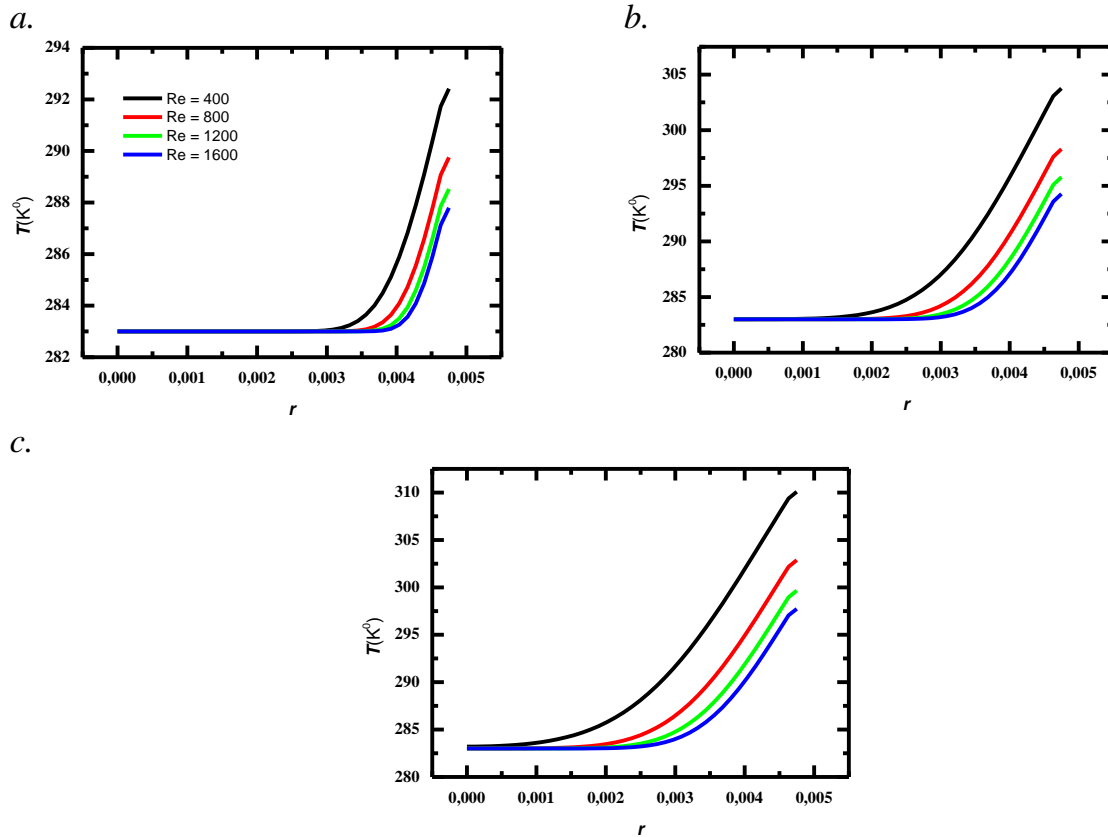


Figure 4.4. Effet de régime d'écoulement sur le profil de température : *a.* $x/l = 0.1$; *b.* 0.5 ; *c.* 0.9

4.7 Profil de vitesse

Les figures (4.5) et (4.6) illustrent la variation de vitesse sur le rayon dans trois stations le long du tube. Près de l'entrée, les profils présentent une ligne droites signifié le non développement total de l'écoulement, loin de l'entrée, les profils sont similaire avec des grandeurs défèrent et l'écoulement est totalement développé. Il est claire que l'écoulement est reste laminaire le long du canal.

L'effet de la fraction volumique ϕ sur les profils de la vitesse dans la conduite pour nanoréfrigérant est représenté sur la figure 4.6. Une faible variation sur les vitesses en termes quantitative. Augmentation de la fraction de 1 à 6 % provoque une élévation d'ordre 1 % sur la vitesse.

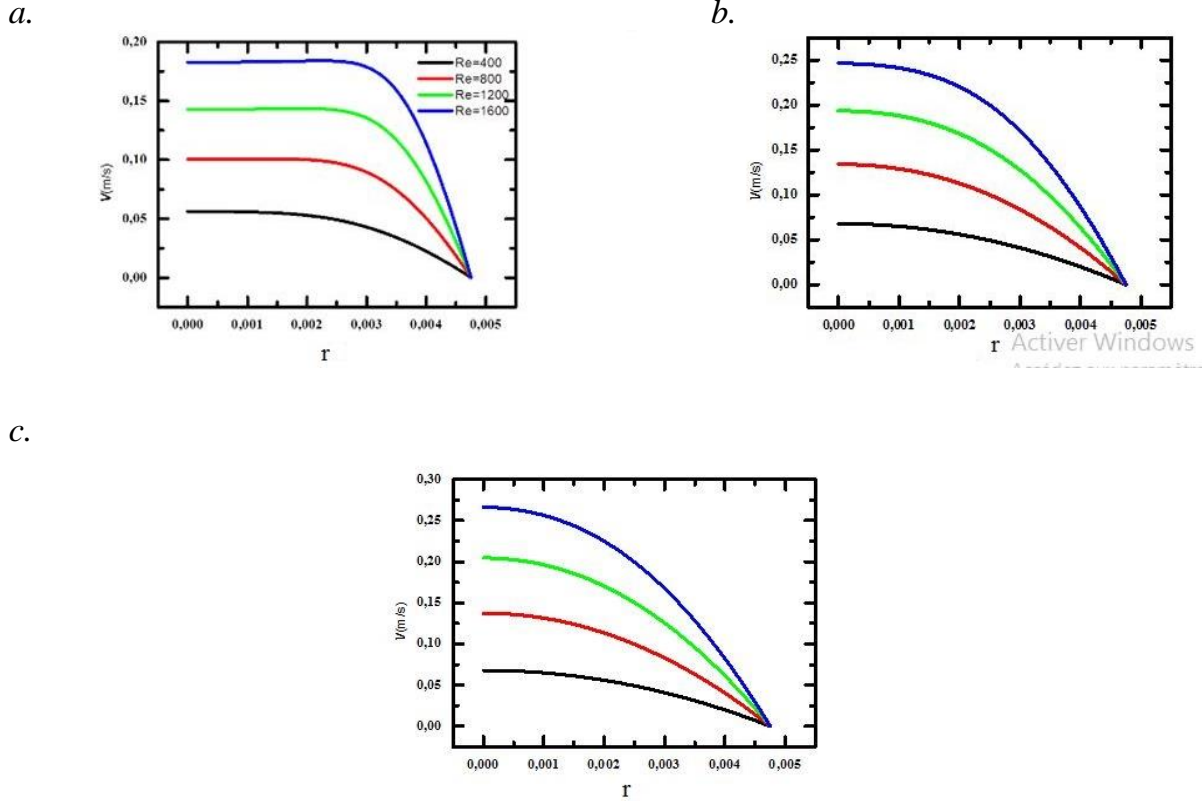


Figure 4.5. Effet de régime d'écoulement sur le profil de vitesse : $a. x/l = 0.1$; $b. 0.5$; $c. 0.9$

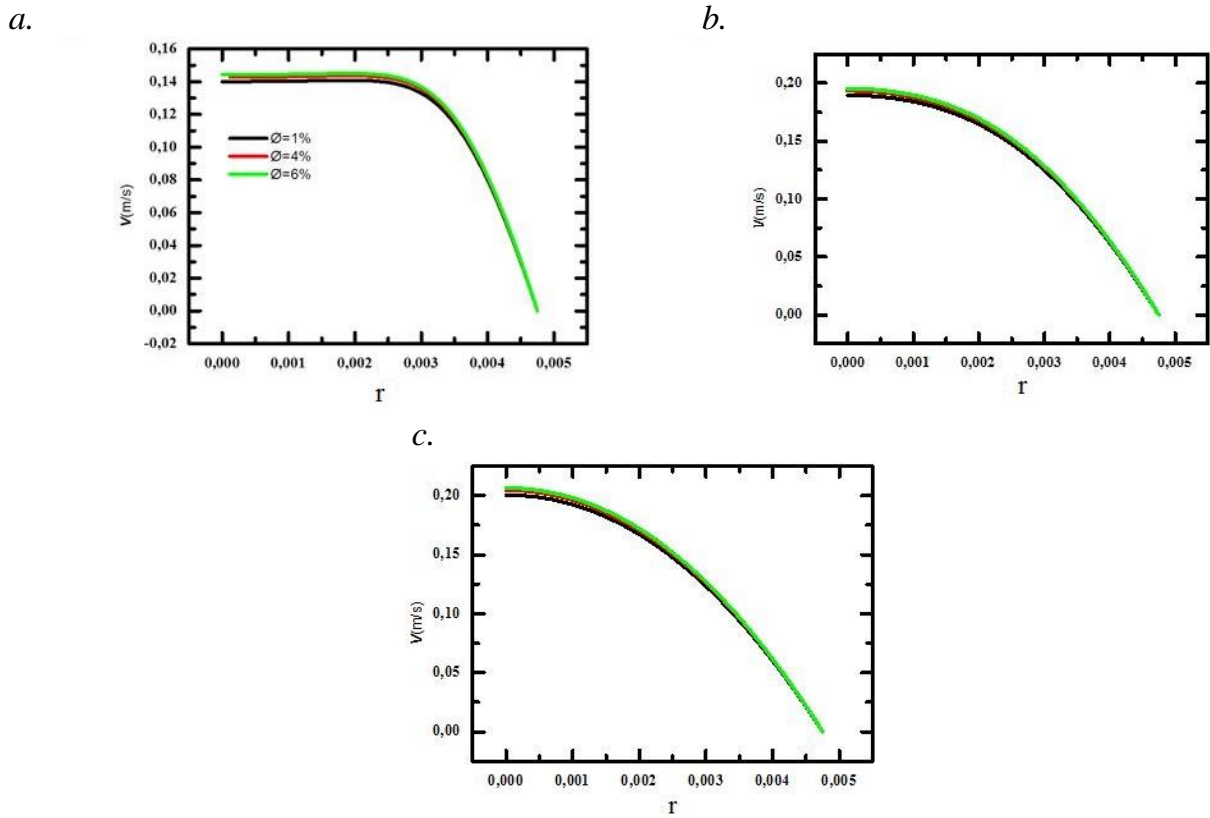


Figure 4.6. Effet de la concentration des nanoparticules dans le nanoréfrigérant sur le profil de vitesse : $a. \phi = 1$; $b. 4$; $c. 6 \%$

Conclusion générale

Le rôle de transfert de chaleur est très important dans divers processus industriels et l'efficacité de ses processus est généralement limitée par les propriétés thermophysiques des fluides utilisés, les fluides utilisés généralement pour le refroidissement présentent un souci de volume, qu'il peut être considérable. Le refroidissement d'un système demande un grand volume de fluide de refroidissement et même sa prise de temps. Les nanofluides sont utilisés pour augmenter le transfert de chaleur, il est considéré comme une technique nouvelle qui peut répondre aux exigences de l'industrie.

Dans ce mémoire on a présenté une étude numérique du transfert de chaleur dans une conduite remplie d'un nanoréfrigérant, la configuration géométrique est une conduite axisymétrique avec un flux de chaleur constant et différentes fractions volumiques ($\phi=1, 4, 6\%$) avec un régime laminaire.

Les résultats montrent l'effet des propriétés thermophysiques sur le transfert de chaleur avec la variation de la fraction volumique et le nombre de Reynolds en régime laminaire, on conclut que la propriété de fluide de base a un effet important sur le transfert de chaleur dans les nanoréfrigérants. L'amélioration du transfert de chaleur s'accompagne d'une viscosité croissante ainsi qu'une augmentation de la chute de pression. Alternativement, les modèles à deux phases peuvent être utilisés afin d'évaluer les caractéristiques de transfert de chaleur des nanoréfrigérants.

Références bibliographies

- [1] K. J. Park, D. Jung, 2007, Boiling heat transfer enhancement with carbon nanotubes for refrigerants used in building air-conditioning, *Energy and Building*, 39, pp. 1061–1064
- [2] D. Diaf et A. Malek , 2007, Simulation des propriétés thermodynamiques du fluide R134a, *thermodynamiques du fluide R134a* ,22,pp. 101 – 108
- [3] M.A. Kedzierski , M. Gong, 2008, Effect of CuO nanolubricant on R134a pool boiling heat transfer, *Prediction of Pressure Drop*,35,pp. 791 – 799
- [4] P. Bhramara, V. D. Rao, K. V. Sharma , and T. K. K. Reddy, 2008, CFD Analysis of Two Phase Flow in a Horizontal Pipe, *Nanorefrigerant Thermal Conductivity*,42,pp.1259 –1270
- [5] K. Bartelt, Y. Park, L. Liu, Anthony M. Jacobi-Flow,2008,Boiling of R-134a/POE/CuONanofluids in a Horizontal Tube,*nanofluide*,40,pp. 944–951
- [6] V. Trisaksri, S. Wongwises,2008, Nucleate pool boiling heat transfer of TiO₂-R141b nanofluids-heat transfer,23,pp.151 -165
- [7] W. Jiang , G. Ding, H. Peng , Y. Gao et K. Wang , 2008, Experimental and Model Research on Nanorefrigerant Thermal Conductivity, *experimental measure*,32,pp. 844 – 872
- [8] K. Henderson, Y. Park, L. Liu, Anthony M. Jacobi,2009, Flow-boiling heat transfer of R-134a-based nanofluids in a horizontal tube,*nanofluide*,29,pp. 498.508
- [9] M.A. Kedzierski, 2010, Effect of Al₂O₃ nanolubricant on R134a pool boiling heat transfer-heat transfer,28,pp. 780-802
- [10] J. LOAIZA, F. PRUZAESKY, J. PARISE,2010, A Numerical Study on the Application of Nanofluids in Refrigeration Systems-*systeme refrigeration*,42,pp. 1254-1260
- [11] S. Bi, K. Guo, Z. Liu, J. Wu,2010, Performance of a domestic refrigerator using TiO₂-R600a nano-refrigerant as working fluid,*work nanorefrigerant*,30,pp. 504-520
- [12] E. Abdel-Hadi, S. Torki , S. Hamad,2011, Heat Transfer Analysis of Vapor Compression System Using Nano CuO-R134a *thermodynamiques du fluide R134a* ,22,pp 103-132
- [13] M. J. Assaelb , J.-A. M. Assael, 2011, Correlation of the Thermal Conductivity of Normal and Parahydrogen from the Triple Point to 1000 K and up to 100 MPa,*nanofluide*,22,pp. 120-155
- [14] I.M. Mahbubul, R. Saidur , M.A. Amalina, 2011, INVESTIGATION OF VISCOSITY OF R123, TiO₂ NANOREFRIGERANT,22,pp. 122-135
- [15] H. Peng, G. Ding, H. Hu, 2011, Influences of refrigerant-based nanofluid composition and heating condition on the migration of nanoparticles during pool boiling. Part I., *Experimental measurement*,24,pp. 145-170
- [16] D. Sendil Kumar, R. Elansezhan, 2012, Experimental Study on Al₂O₃-R134a Nano Refrigerant , *Refrigeration System*,42,pp. 1180-1225
- [17] I.M. Mahbubul, R. Saidur and M.A. Amalina,2012, INVESTIGATION OF VISCOSITY OF R123, TiO₂ NANOREFRIGERANT,22,pp. 108-136

- [18] N. Subramani, M. J. Prakash, 2012, Experimental studies on a vapour compression system using nanorefrigerants, *system nanorefrigerants*, 22, pp. 110-145
- [19] R. Krishna Sabareesh, N. Gobinath, V. Sajith, Sumitesh Das, C.B. Sobhan, 2012, Application of TiO₂ nanoparticles as a lubricant-additive for vapor compression refrigeration systems e An experimental Investigation, *system nanorefrigerant*, 22, pp. 140-175
- [20] Gurprinder Singh Dhindsa, LalKundan, Kamaldeep Singh, 2013, Experimental Investigation of Various Parameters on Thermal Conductivity of Al₂O₃ Based Nanorefrigerant, *systeme nanorefrigerant*, 22, pp. 124-153
- [21] M. Rashmi, G. Walvekar, M. beigy, Farhood S. javadi, 2013, Efficient Air, Condition Unit By Using Nano-Refrigerant, 23, pp. 105-120
- [22] N. A. CheSidik, a, O. Adnan Alawi, 2014, Computational Investigations on Heat Transfer Enhancement Using Nanorefrigerants, *systeme nanorefrigerant*, 23, pp. 130-145
- [23] T. Coumaressin, K. Palaniradja, K. Velmurugan, 2014, Optimize the evaporating heat transfer coefficient of Refrigeration, *System Using Nano Fluid*, 24, pp. 122-154
- [24] Omer A. Alawi, NorAzwadiCheSidik, M'hamedBeriache, 2015, Applications of nanorefrigerant and nanolubricants in refrigeration, air-conditioning and heat pump systems: A review, *system heat pump*, 22, pp. 111-133
- [25] S. Singh, K. Sharma, K. Lal, N. Tripathi, 2015, TO STUDY THE BEHAVIOUR OF NANOREFRIGERANT IN VAPOUR COMPRESSION CYCLE- A REVIEW, *systeme nanorefrigerant*, 23, pp. 114-148
- [26] A. Faizan, D. Han, 2016, Thermophysical Property and Heat transfer Analysis of R245fa/Al₂O₃ Nanorefrigerant, *heat transfer*, 22, pp. 160-175
- [27] I. BELL, A. LAESECKE, 2016, Viscosity of refrigerants and other working fluids from residual entropy scaling, *work nanofluid*, 24, pp. 140-155
- [28] M. Kourchi, A. Rachdy, 2016, Calcul Rapide des Propriétés Thermodynamiques des Frigorigènes, *système nanorefrigerant*, 23, pp. 106-127