REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE



Mémoire de fin d'études de Master
Filière : Génie mécanique

Spécialité : Énergies renouvelables

Thème :

DISTRIBUTION DES TEMPERATURES DES AILETTES POREUSES LONGITUDINALES CONVECTANTES AVEC DES NANOFLUIDES

Présenté par :

SLIMANI ALI

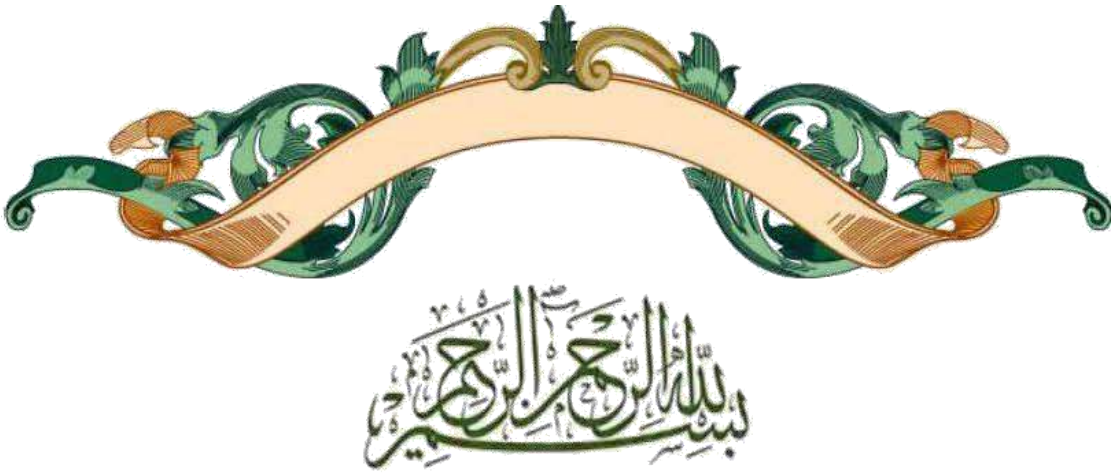
NAMI MOURAD

Proposé et Dirigé par :

Pr M.N BOUAZIZ

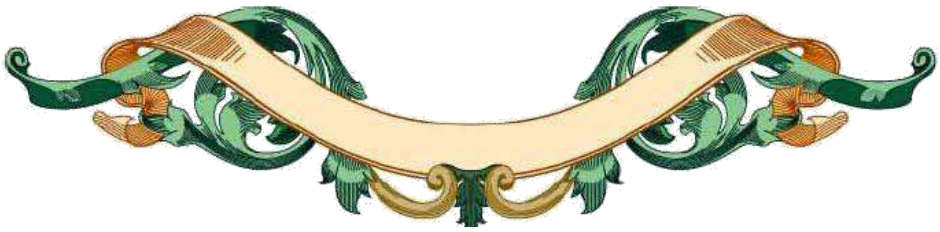
Dr. A.M. BOUAZIZ

Promotion Juin 2022



بسم الله الرحمن الرحيم

"رب أوزعني أن أشكر نعمتك
التي أنعمت عليَ وعلى والديَ
وأن أعمل صالحا ترضاه
وأصلح لي في ذريتي
إني تبت إليك و إني من المسلمين"
صدق الله العظيم



Remerciements

Mes remerciements s'adressent d'abord à Allah le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné la force et la patience pour achever ce modeste travail.

En second lieu, je remercie vivement mes chers promoteurs, Pr. Bouaziz Mohammed Najib ainsi que Dr A. Manal Bouaziz pour leurs disponibilités et leurs conseils précieux, leurs orientations et leurs efforts élaborés pour réaliser ce travail.

Mes profonds remerciements vont également aux responsables de m'avoir facilité l'accès au sein de leur établissement ainsi que pour leurs conseils et disponibilité.

Mes vifs et sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury, de nous avoir fait l'honneur d'évaluer et d'examiner ce travail.

Je remercie infiniment le corps des enseignants de la faculté de Génie mécanique, université Yahia Farès de Médéa pour leurs efforts à nous garantir l'aboutissement du programme de LICENCE et MASTER.

Ces remerciements ne seraient pas complets sans associer toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

.

Dédicace à ma famille
Et mes amis
Et tous qui ont
Contribué de près
Ou de loin.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE....1
Chapitre 1 :Les ailettes....4
I.1. Introduction....5
I.2. Cas où des ailettes ne sont pas employés :....5
I.3 Types d'ailettes qui sont employées dans les échangeurs de chaleur....5
I.4. Choix des ailettes....6
I.5. Généralités sur les ailettes....7
I.6. Distribution de la température dans l'ailette....8
I.6.1. Résistance de l'ailette....8
I.6.2. L'équation de la barre et modèle mathématique....9
Chapitre II : Ailettes poreuses....12
II.1. Introduction....13
II.2. Description de l'historique des échangeurs à ailettes :....13
II.3. Résumé de l'invention....15
II.4. Coefficient de transfert de chaleur et perte de pression....15
II.5. Conclusion :....17
Chapitre III :Les nanofluides....18
III.1. Introduction....19
III.2. Préparation de nano-fluide :....20
III.2.1. Méthode physique....21
III.2.2. Méthode chimique....21
III.3. Types de nanoparticule....23
III.4. Les avantages des nano-fluides....23
III.5. Les inconvénients des nano-fluides....24
III.6. Domaine d'applications des nano-fluides....24
III.7. Définition des nanoparticules :....25
III.8. Propriétés thermophysiques des nanofluides....27
Chapitre VI : Modélisation des ailettes pleines/poreuses....28
IV.1. Ailettes longitudinales....29
IV.2 Efficacité d'une ailette....30
IV.3. Distribution de température dans les ailettes pleines :....30
IV.4. L'efficacité de l'ailette :....31

IV.5. Rendement d'une surface ailette : 32
IV.6 Distribution de température dans les ailettes poreuses: 33
IV.6.1. Introduction : 33
IV.6.2. Modélisation ailette pleine longitudinale 34
IV.6.3. Modélisation d'une ailette poreuse longitudinale 37
Chapitre V : SIMULATIONS NUMERIQUES 39
V.1.. PROGRAMME 40
V.2 Figures suivant la simulation 41
V.2.1 ailette pleine 41
V.2.2 ailette poreuse et effet d'un nanofluide 42
V.2.3 ailette poreuse et effet d'épaisseur 43
V.2.4. ailette poreuse et effet de la température du fluide source 44
V.2.5 ailette poreuse et effet de la perméabilité de l'ailette 45
V.2.6 ailette poreuse et effet de la porosité de l'ailette 46
V.2.7. ailette poreuse et effet de l'épaisseur de l'ailette 47
V.2.8. ailette poreuse et effet du rapport des conductivités solide/nano : 48
CONCLUSION 49
Références Bibliographiques 50

LISTE DES FIGURES

Figure 1: différents types d'ailettes......6
Figure 2: Exemple typique d'une surface étendue continue 7
Figure 3: Quelques exemples typiques de surfaces étendues indépendantes.....7
Figure 4: Distribution des températures le long d'une ailette.....8
Figure 5: Représentation d'une barre encastrée et schéma simplifié.....9
Figure 6: Représentation des flux élémentaires sur une barre encastrée.....10
Figure 7: Echangeur chaleur à tubes plats utilisant des ailettes conventionnelles.....14
Figure 8: Echangeur de chaleur à tubes plats utilisant des ailettes poreuses.....15
Figure 9: Pertes de pressions des ailettes conventionnelles et poreuses par rapport au nombre de Reynolds.....16
Figure 10: Échelle des dimensions, 1 nanomètre = 0,000 001 millimètre.....25
Figure 11: Nanoparticule (Ag) **Figure 12: Nanoparticule (TiO2)**.....27
Figure 13: Ailettes longitudinaux, (a) rectangulaires, (b) trapézoïdaux, (c) triangulaires, (d) concaves paraboliques et (e) paraboliques convexes.....29
Figure 14: Schématisation d'une ailette.....30
Figure 15: Schéma de l'ailette poreuse convective.....34
Figure 16: ailette pleine.....41
Figure 17: effet du nanofluide.....42
Figure 18: effet de l'épaisseur de l'ailette.....43
Figure 19: effet BT/HT.....44
Figure 20: perméabilité du M.P.....45
Figure 21: effet de la porosité du M.P.....46
Figure 22: effet de l'épaisseur de l'ailette poreuse.....47
Figure 23: effet du rapport des conductivités solide/nanofluide.....48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Conductivité thermique de divers fluides de base et matériaux à 20°C.....20

RESUME

Si l'espace est limité et parfois dans un souci de miniaturisation on a recours aux échangeurs à tubes à ailettes ou à plaques à ailettes, ces dernières années et pour un gain de matière, les ailettes poreuses longitudinales ont peu à peu remplacé les ailettes pleines. La porosité induite est le siège de l'écoulement d'un fluide classique, notamment l'air mais souvent les fluides en présence sont de nature liquide et à cet effet on se propose dans ce projet d'évaluer l'intérêt de l'ajout de nanoparticules, formant ainsi un nano-fluide. Dans ces conditions, l'accès à la distribution des températures au sein des ailettes renseigne souvent sur leurs efficacités Cette étude se propose justement de déterminer numériquement cette répartition pour cette nouvelle configuration.

Ce mémoire avait pour objectif donc une compréhension de l'usage d'une ailette poreuse longitudinale dissipant la chaleur dans un milieu de nanofluide.

Après une connaissance des ailettes classiques en général ainsi qu'une introduction aux ailettes poreuse, des caractéristiques des nanofluides ainsi que de l'intensification des échanges thermiques (de dissipation) par voie d'ailettes pleines et puis poreuses constituent le corps du savoir pour aborder l'objectif. Une modélisation classique a été reportée, puis une modélisation particulière relative aux ailettes poreuses et radiales a été établie, tenant compte de l'emploi des nanofluides.

Le modèle mathématique a été implémenté dans Matlab via le Bvp4c dédié aux équations différentielles ordinaires avec les conditions aux limites.

Les principaux résultats ont montré que:

- Un ailette poreuse est avantageuse en rapport de l'ailette pleine en termes de performance, ce qui est économiquement bien.
- Il est préférable d'utiliser les ailettes très poreuses et moins perméables.
- Par contre, un nanofluide comme fluide récepteur de chaleur ne conduit pas à une bonne efficacité de l'ailette.
- L'efficacité de l'ailette poreuse est meilleure dès lors qu'un contraste de rapport est grand entre les conductivités thermiques de l'ailette et du fluide.

  Cependant, une optimisation suivant tel ou tel cas est nécessaire pour le bon choix des paramètres influant en termes de performances technique alliées à l'économie.

INTRODUCTION GENERALE

La théorie du transfert de la chaleur est une science qui étudie la façon dont la chaleur se propage d'une région a une autre sous l'influence d'une différence de température. Les phénomènes du transfert de chaleur sont très importants dans beaucoup de domaines technologiques. Comme la conception des appareils thermiques dans l'industrie. Le calcul thermique dans les constructions, les industries pétrochimiques, etc, il est prouvé que le transfert de chaleur reste un domaine très vaste et compliqué dans les processus réels. La conduction, la convection et parfois le rayonnement interviennent simultanément dans l'amélioration du transfert d'un système avec le milieu extérieur. De ce fait, la conception thermique des appareillages ne peut être menée à bien qu'à la suite d'une connaissance et compréhension des phénomènes liés.

Le développement considérable et récent des recherches traitant des nanofluides est dû au fait qu'il est possible, pour certaines applications, d'accroitre de façon appréciable les transferts de chaleur en introduisant dans un fluide pur une faible concentration de nanoparticules. Rappelons que les nano fluides sont des solutions colloïdales obtenues en dispersant dans un fluide de base des particules solides de taille nanométrique ($10^{-9}m$). A très faible concentrations, certaines de ces solutions se sont révélées très efficaces pour améliorer, sous certaines conditions les transferts de chaleur.
Le transfert de chaleur dans un nanofluide dépend donc à la fois des propriétés thermo physiques de la phase solide et de la phase liquide.

L'étude du transfert thermique dans les échangeurs de chaleur tient aujourd'hui une place capitale dans la conception de ces derniers. Plusieurs méthodes de refroidissement ont été étudiées dans le but d'améliorer le transfert de chaleur et d'augmenter leur efficacité soit par la méthode classique de refroidissement par convection naturelle ou bien par l'utilisation d'un fluide caloporteur adéquat.

Par ailleurs, de nombreuses applications sont concernées par ces nanofluides et on pourra affirmer que là où il est possible de transférer ou d'évacuer plus de chaleur, ces suspensions seront d'un intérêt certain.

Dans les domaines classiques d'évacuation de la chaleur, l'intensification est réalisée souvent par le biais d'ailettes pleines ou classiques permettant d'augmenter les surfaces de convection. En réalité, ces ailettes sont l'objet d'une interaction de conduction-convection avec le fluide externe. Depuis au moins 70 ans que cette technique est largement utilisée, bien que impliquant de la matière jugée onéreuse. Pour pallier à ce défaut économique majeur, l'apparition beaucoup plus récente d'ailettes poreuses et brevetées suscitent un intérêt très prometteur, en raison des couts

moindres et donc des gains appréciables sachant que plusieurs industries sont impliquées. Une autre raison de la possibilité d'utilisation de ces ailettes poreuses réside dans la légèreté du produit étant donné sa porosité élevée, allant dans le sens de la miniaturisation des équipements.

L'objectif de ce travail est donc de simuler numériquement le transfert de chaleur par convection dans les ailettes pleines ou poreuses et longitudinales convectant avec un nanofluide. Le but essentiel de cette étude est de simuler de manière simple les distributions des températures dans de telles configurations, en mettant en évidence les paramètres influant ces distributions, synonymes d'efficacité.

Ce mémoire est organisé en cinq chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons les ailettes classiques ou pleines ainsi que les formes géométriques classiques, les calculs relatifs à ces surfaces auxiliaires. Ainsi la formulation mathématique des équations régissant le phénomène étudié avec les conditions aux limites sera revue et les solutions exprimées. Dans ce même chapitre, l'efficacité recherchée de l'ailette est définie et son lien avec la distribution des températures est montrée.

La nouveauté relative des ailettes poreuses est présentée dans un 2ème chapitre, à travers la description de son implémentation dans un échangeur de chaleur classique.

Le 3ème chapitre, présente les connaissances nécessaires pour la compréhension de ces nouveaux fluides que sont les nanofluides en axant principalement sur leurs propriétés thermophysiques. Si dans une approche plus complexe, faisant intervenir les équations de conservations de la masse, des quantités de mouvement et d'énergie, il sera présenté dans ce mémoire une approche plus simple, liant la conductivité thermique du nanofluide avec la concentration des nanoparticules d'une part et, mettant en exergue le degré de porosité de l'ailette sur la distribution d'autre part. En plus, l'effet de la perméabilité de l'ailette poreuse sera étudié ainsi que le rapport des conductivités thermiques entre le nanofluide et l'ailette, ce qui constituent une originalité dans la compréhension de l'interaction nanofluide/ailette poreuse.

L'exposé est délibérément choisi court et la modélisation de l'ailette longitudinale poreuse est reportée dans un quatrième chapitre, permettant ainsi de différencier sa modélisation mathématique par rapport à celle classique. Là, la présentation est étendue pour permettre l'introduction à la fois de la porosité et la conductivité thermique du complexe poreux/matériau.

Le 5ème et dernier chapitre et consacré à la présentation des distributions des températures de l'ailette longitudinale, poreuse convectante dans un nanofluide à travers une simulation. Les

résultats obtenus via le logiciel Matlab dans lequel le modèle mathématique déduit sera implémenté, sont sous forme de graphes menant à une analyse paramétrique. Ces courbes seront interprétées suivant les écoulements et la thermique.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale qui synthétise les différents résultats obtenus.

Chapitre 1 : Les ailettes

I.1. Introduction

L'ailette comme son nom l'indique est un appendice que l'on dispose sur un dispositif que l'on désire refroidir ou chauffer efficacement. L'idée est d'augmenter la surface d''échange. On peut voir des ailettes sur les radiateurs de chauffage domestique, sur le radiateur de voitures, sur les microprocesseurs dans les systèmes électroniques [1].

est une dispositive qui permet des perturbations et de la turbulence au niveau de l'écoulement du fluide entourant l'ailette (elle permet d'augmenter le niveau de la turbulence dans la couche limite), mais surtout la surface d'échange de chaleur, donc le transfert thermique.

I.2. Cas où des ailettes ne sont pas employés :

1. Si les deux fluides sont des gaz, le coefficient de transfert thermique pour tous les deux sera faible.

2. Tandis que les ailettes sont employées dans la condensation des vapeurs organiques, leur utilisation dans la condensation de vapeur n'est pas habituellement faisable parce que la tension superficielle élevée du condensât (l'eau) a comme conséquence sa conservation dans les ailettes, et diminue considérablement l'utilité des ailettes.

3. Dans des chaudières, des ailettes ne sont pas généralement employées à l'extérieur des tubes parce que le bout d'ailette serait plus chaud que la base due au rayonnement du four de chaudière. Ceci exigerait de longues ailettes d'acier inoxydable de chrome avec une augmentation en coût et la diminution de leur conductivité thermique (Ken Kraus, 1972). En outre, les gaz sont sales et pourraient boucher l'espace entre les ailettes. En outre, la vitesse de gaz est faible, et par conséquent une couche limite épaisse accumulera réduire l'avantage de l'ailette.

4. si le fluide est corrosif ou du type fortement d' encrassement, les ailettes ne sont pas employés, puisque nettoyage mécanique / chimique du dépôt d'encrassement entre les ailettes est difficile.

I.3 Types d'ailettes qui sont employées dans les échangeurs de chaleur

Ils entrent dans deux larges catégories :

1. ailettes longitudinales: ceux-ci peuvent être droites, spirales, etc.…

2. ailettes transversales: ceux-ci peuvent être radiales, hélicoïdales, ou spirales.

D'une façon générale, les ailettes longitudinales posées à l'extérieur d'un tube sont employées pour un écoulement axial tandis que les ailettes transversales sont employées pour un écoulement croisé, Figure 01.

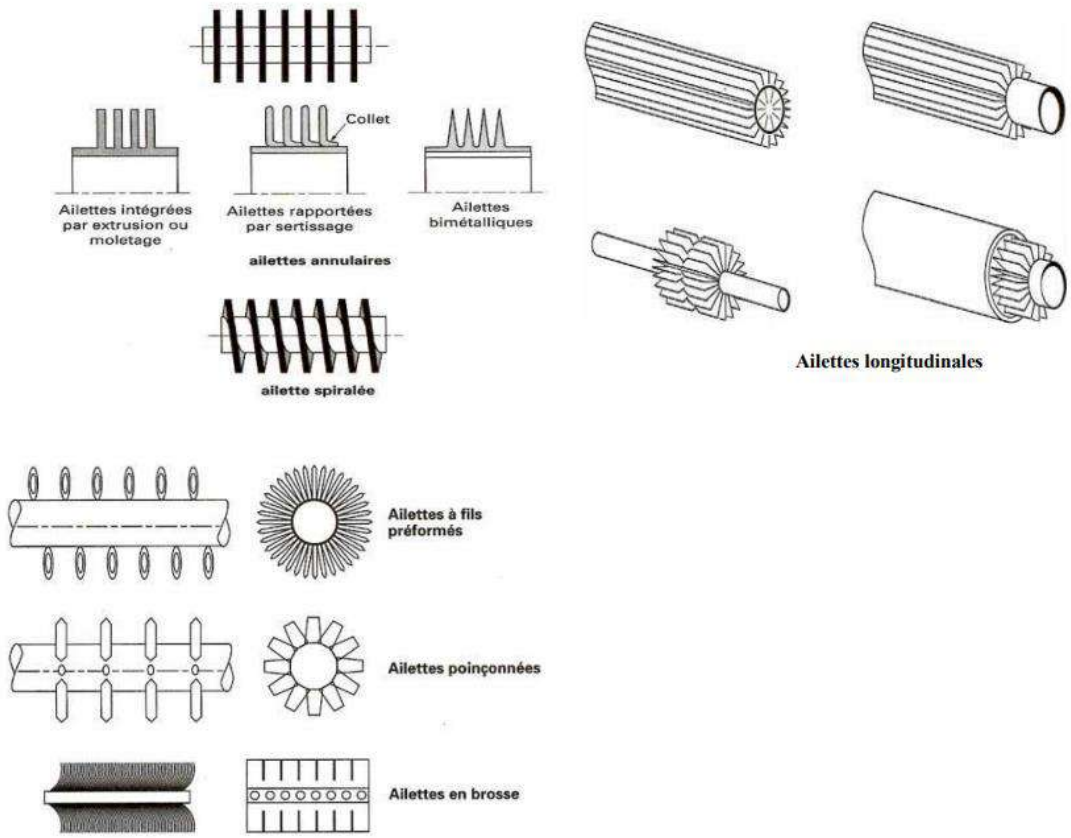


Figure 1: différents types d'ailettes.

I.4. Choix des ailettes

Les ailettes sont utilisées lorsqu'il faut extraire une quantité de chaleur importante dans un encombrement réduit, comme par exemple dans le radiateur d'automobile, le carter de moteur refroidi par air, l'évaporateur de climatiseur, etc. D'une façon générale, l'usage des ailettes est peu utile pour les liquides car le coefficient d'échange convectif est grand mais important dans le cas des gaz car le coefficient d'échange convectif est faible.

Des ailettes étroites et rapprochées sont meilleures que des ailettes plus grandes et espacées mais on est limit par les pertes de charges (elles deviennent trop importante si l'on diminue trop l'écartement des ailettes). L'ailette est d'autant plus performante que sa conductivité thermique λ est élevée. Le échoix des ailettes résulte finalement d'un compromis entre le prix, les pertes de charge et les qualités de chaleur échangés [2].

I.5. Généralités sur les ailettes

I.3.1 Définition d'une ailette L'ailette est un dispositif qui permet de créer des perturbations et de la turbulence au niveau de l'écoulement du fluide entourant l'ailette (elle permet d'augmenter le niveau de la turbulence dans la couche limite) mais surtout la surface d'échange de chaleur, donc le transfert thermique.

Les différents types d'ailettes sont regroupés en deux grandes parties :

- **Ailettes continues**

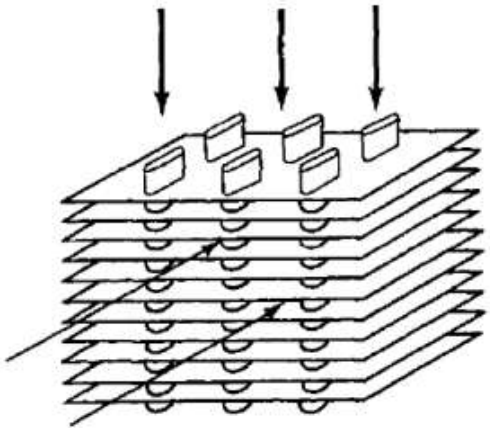


Figure 2: Exemple typique d'une surface étendue continue .

Les ailettes continues sont utilisées dans les échangeurs de chaleur employés dans l'habitat, tandis que les échangeurs de chaleur industriels ont plutôt des ailettes indépendantes.

- **Ailettes indépendantes**

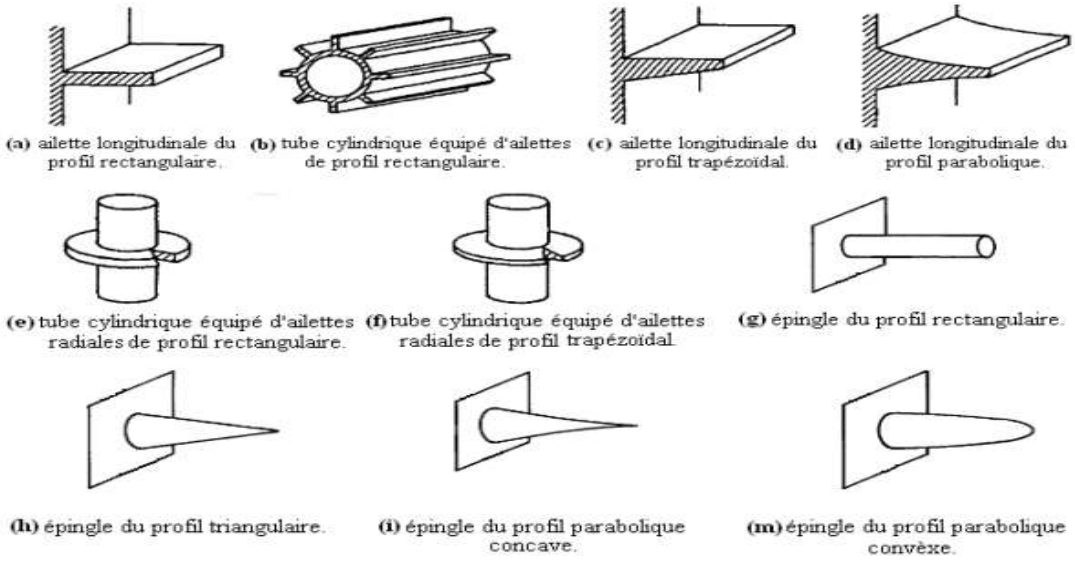


Figure 3: Quelques exemples typiques de surfaces étendues indépendantes

I.6. Distribution de la température dans l'ailette

La distribution de la température dans l'ailette n'est pas constante cela est due à la résistance a transfert thermique dans le matériau d'ailette

Les détails de calcul sont complètement complexes. Les résultats dépendent d'un certain nombre de paramètres incluant la géométrie de l'ailette (forme, hauteur, et épaisseur) le matériau de l'ailette, et la température de fluide extérieur et aussi le coefficient du transfert thermique. Il est nécessaire de faire plusieurs suppositions ; par exemple, la plupart des analyses supposent une température constante du fluide extérieur et un coefficient de transfert constant sur tous les points de la surface de l'ailette.

La distribution de la température dans l'ailette n'est pas constante cela est due à la résistance au transfert thermique dans le matériau d'ailette

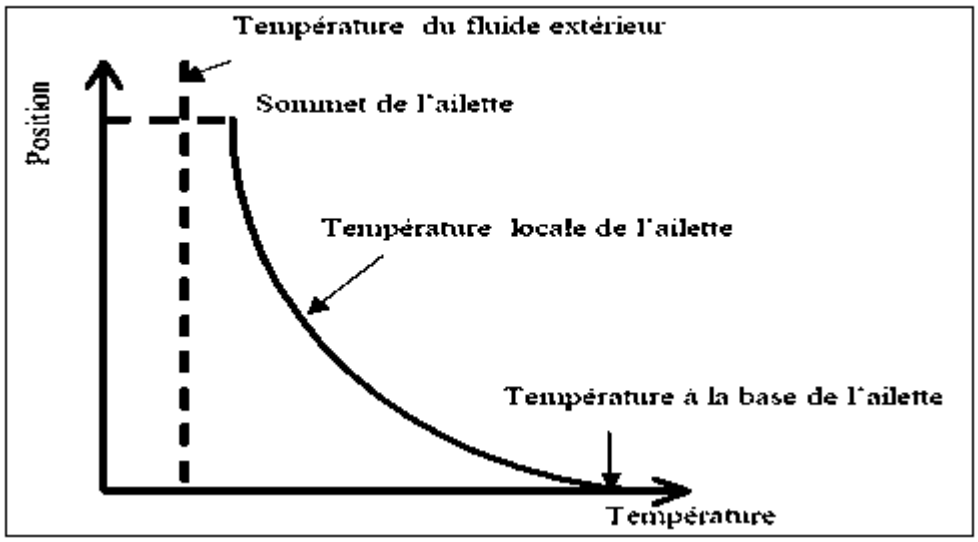


Figure 4: Distribution des températures le long d'une ailette

I.6.1. Résistance de l'ailette

La performance de l'ailette peut également être mesurée en termes de résistance thermique.

Traitant la différence de température entre la base et le fluide comme potentiel de conduite, une résistance d'ailette peut être définie comme :

$$R_{t,f} = \frac{\theta_b}{q_f} \qquad \text{…….. (1)}$$

De l'équation **(22)** l'expression de la résistance thermique due à la convection à la base est :

$$R_{t,b} = \frac{1}{h.b.A_b} \qquad \text{…… (2)}$$

Et substituant de l'équation **(15),** il suit cela :

$$\varepsilon_f = \frac{R_{t.b}}{R_{t.f}} \qquad \text{…….. (3)}$$

Par conséquent le rendement d'ailette peut être interprété comme rapport des résistances thermiques, et pour l'augmentation de il est nécessaire de réduire la résistance de conduction/convection de l'ailette. Si l'ailette doit augmenter le transfert thermique, sa résistance ne doit pas excéder celle de la base exposée.

I.6.2. L'équation de la barre et modèle mathématique

Le problème de la barre encastrée schématise le problème pratique important du refroidissement d'un solide par des ailettes.

Considérons une barre de section constante (épaisseur e et largeur ℓ) encastrée entre 2 surfaces à température T0 et baignant dans un fluide à température T.

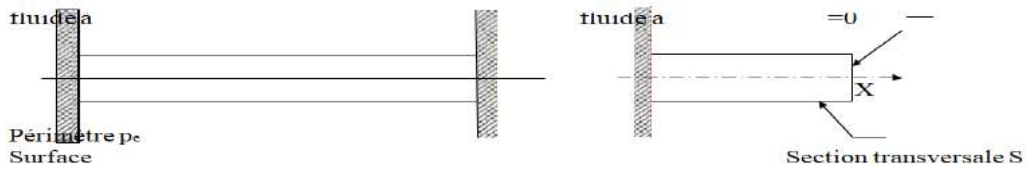


Figure 5: Représentation d'une barre encastrée et schéma simplifié

La symétrie du problème montre l'existence d'un extrémum de la température au milieu de la barre ce qui permet de simplifier la géométrie et de ne considérer qu'une demi-barre avec condition de flux nul à l'extrémité située en contact avec le milieu à T□.

La barre est supposée de section suffisamment faible pour qu'il n'y ait pas de variation de température dans une même section droite à une distance x de l'encastrement dans la paroi à T0.

Effectuons un bilan d'énergie sur le système constitué par la portion de barre comprise entre les abscisses x et x+dx (nous retenons l'hypothèse du régime permanent et nous négligeons le rayonnement) :

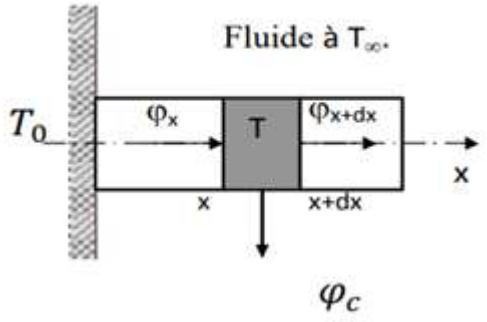


Figure 6: Représentation des flux élémentaires sur une barre encastrée

Avec :

φx: Flux de chaleur transmis par conduction à l'abscisse x

$$\varphi x = -\left(\lambda . s \frac{dT}{dx}\right) x \qquad \text{…….. (4)}$$

φx: +dx Flux de chaleur transmis par conduction à l'abscisse x+dx

$$\varphi_{x+dx} = -(\lambda . s \frac{dT}{dx})_{x+dx} \qquad \text{…….. (5)}$$

φc: De chaleur transmis par convection à la périphérie de la barre entre x et x+dx

φc = h.P_e.dx $(T_{(x)} - T_\infty)$ …… (6)

Le bilan d'énergie s'écrit :

$$\varphi_x = \varphi_{x+dx} + \varphi_c \qquad \text{…… (7)}$$

Soit :

$$-(\lambda . s \frac{dT}{dx})_x + (\lambda . s \frac{dT}{dx})_{x+dx} = h . P_e . dx\ (T_{(x)} - T_\infty) \qquad \text{…….. (8)}$$

Si λ et S sont indépendants de l'abscisse x, nous obtenons :

$\lambda . s(\frac{dT}{dx})_x + dx - (\frac{dT}{dx})_x$ /dx=h.$p_e(T(x) - T(\infty))$ …… (9)

Donc T(x) est solution de l'équation différentielle suivante appelée équation de la barre :

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{h.p_e}{\lambda.s}(T(x - T_\infty) = 0 \qquad \text{…….. (10)}$$

L'ailette est d'autant plus performante que sa conductivité thermique est élevée. Le choix des ailettes résulte finalement d'un compromis entre le prix, les pertes de charge et les qualités de performances du transfert de chaleur.

Chapitre II :

Ailettes poreuses

II.1. Introduction

Notre mémoire a pour objet l'étude des ailettes poreuses et leur intérêt par rapport aux ailettes pleines ou classiques échangeant de la chaleur en milieu de nanofluide. Cette nouvelle configuration est apparue récemment et a montré une utilisation performante. On peut prendre un exemple sur une invention faite par des chercheurs Coréens en Novembre 2000, et qui consiste en un type d'échangeur de chaleur à tubes plats utilisant des ailettes poreuses faites d'une mousse métallique, ce métal peut être de l'Aluminium ou du cuivre.

L'échangeur de chaleur à tubes plats employant de telles ailettes poreuses est d'une excellente possibilité de transfert de chaleur, comparant à un type courant d'échangeur de chaleur à tubes plats utilisant des ailettes conventionnelles.

Ainsi les étapes de production sont plus simples et de ce fait ces échangeurs de chaleur réalisent une excellente rigidité structurale.

II.2. Description de l'historique des échangeurs à ailettes :

Un échangeur de chaleur est un dispositif exécutant un échange de chaleur entre deux fluides, par exemple un gaz et un liquide, ou bien entre un gaz et un autre gaz.

En particulier, quand l'échange de chaleur se fait entre un gaz et un liquide, on peut utiliser un échangeur de chaleur utilisant des ailettes sur son coté de gaz, afin de diminuer la résistance thermique et d'augmenter la surface d'échange avec le gaz.

Un échangeur de chaleur conventionnel peut utiliser une variété de configurations d'ailettes, comprenant des ailettes dites « offset », des ailettes ondulées ou « wavy », des ailettes dites « louvered »

Parmi ces telles configurations d'ailettes, l'ailette « louvered » est connue pour donner de meilleurs résultats.

Pour cette raison, les échangeurs de chaleur à ailettes « louvered » sont généralement appliquées dans les évaporateurs, les condenseurs, dans la climatisation d'une voiture exigeant un type compact d'échangeur de chaleur.

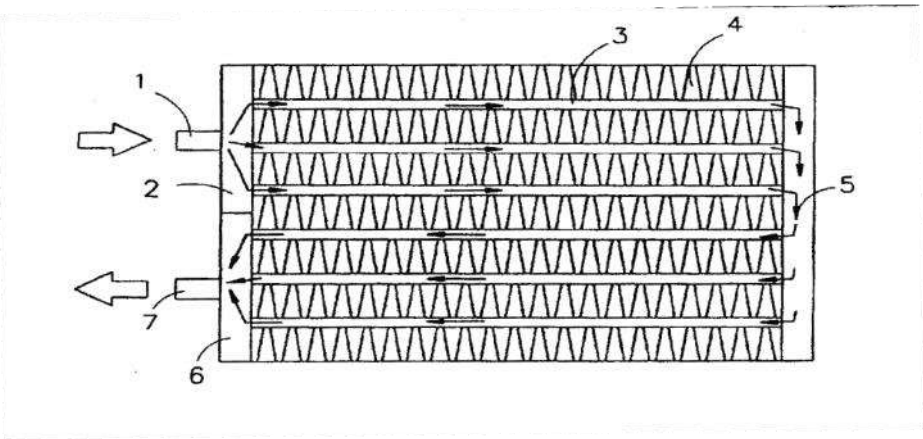


Figure 7: Echangeur chaleur à tubes plats utilisant des ailettes conventionnelles

La figure 07 illustre un exemple d'un échangeur de chaleur à tubes plats utilisant des ailettes « louvered » conventionnelles.

Comme la figure le montre, l'échangeur de chaleur utilisant des ailettes « louvered » contient : le chemin d'arrivée du fluide 1, un réservoir 2, tubes plats 3, ailettes 4, un reservoir5, un réservoir de sortie 6, le chemin de sortie du fluide 7. Ici la résistance thermique des ailettes à travers lesquelles l'air passe est la composante qui influe le plus sur la baisse de l'efficacité de la transmission de la chaleur, et en conséquence il ya beaucoup d'amélioration en ce qui la concerne.

Cependant, les échangeurs de chaleur conventionnels à tubes plats utilisant des ailettes « louvered » sont manufacturés telle une fine plaque en aluminium d'épaisseur d'environ 0.1 mm et continuellement pliée, compliquant de ce fait leur fabrication.

De plus, en raison de sa faiblesse structurale, l'échangeur de chaleur conventionnel peut être tordu une fois exposé à un impact.

Ainsi, il y a une demande d'un nouveau type d'échangeur de chaleur ayant des attributs pour une meilleure transmission de chaleur, une rugosité structurale et un processus de fabrication simplifié.

II.3. Résumé de l'invention

L'objet de cette invention est de surmonter les inconvénients du courant échangeur de chaleur. L'invention consiste en des échangeurs de chaleur à tubes plats employant des ailettes poreuses fabriquées par un métal à bulles tel que l'Aluminium mousseux qui est caractérisé par une très grande porosité, une grande conductivité thermique et une large superficie.

La mousse métallique diminue d'une manière significative la résistance thermique du coté air d'un échangeur de chaleur, pour améliorer de ce fait les caractéristiques de transmission de la chaleur.

Les comparant aux ailettes conventionnelles, les ailettes poreuses sont faciles à fabriquer, et peuvent réaliser une plus grande rigidité structurale. Ces dernières sont formées en traitant la mousse métallique, comme de l'aluminium fondu et du cuivre bulbe (bubbled) en utilisant du gaz.

Une mousse métallique avec une conductivité thermique de plus de 100 W/m K et une porosité de plus de 88 % est applicable pour ces ailettes poreuses.

L'échangeur de chaleur avec ces ailettes poreuses a une large surface d'échange par rapport au volume occupé et un chemin irrégulier du fluide, fournissant de ce fait un effet amélioré de transfert de chaleur résultant du mélange du fluide.

II.4. Coefficient de transfert de chaleur et perte de pression

Nous allons décrire à partir des schémas, l'échangeur de chaleur à ailettes poreuses

La figure 14, montre un échangeur de chaleur à tubes plats s'accordant à cette invention. Le fluide d'apport entre dans le chemin du fluide entrant1, et passe à travers le réservoir d'entrée 2, il passe ensuite à travers les tubes plats 3 ,qui communiquent avec le réservoir d'entrée 2 pour effectuer de ce fait l'échange thermique avec un gaz qui traverse verticalement les ailettes poreuses 4, il passe après à travers le réservoir 5 , ensuite dans les tubes plats 3 qui communiquent avec le réservoir de sortie 6 , le fluide ressort enfin par le chemin de sortie 7.

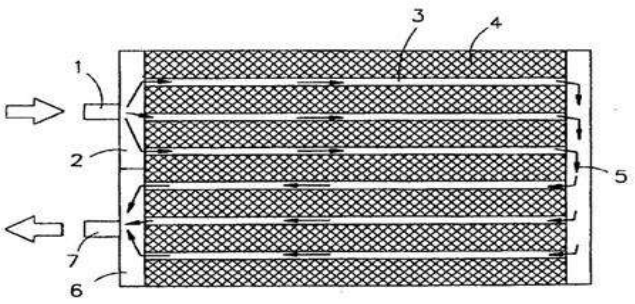


Figure 8: Echangeur de chaleur à tubes plats utilisant des ailettes poreuses

La figure 08 illustre les pertes de pression des ailettes conventionnelles ainsi que des ailettes poreuses en fonction du nombre de Reynolds.

La densité poreuse des ailettes poreuses varie de 10 ppi, 20 ppi et 40 ppi. Ici pour comprendre les caractéristiques de la perte de pression des ailettes poreuses, on définit le facteur f comme

$$f = \frac{\Delta P}{L}\frac{H}{\rho_f V_i^2} \qquad \text{…… (11)}$$

Où H et L sont respectivement la hauteur et la longueur de l'ailette.

Vi est la vitesse moyenne d'entrée du gaz

ρf la densité

ΔP la perte de pression

Le facteur f est le coefficient de perte de charge. (Pour un écoulement laminaire f=64/Re)

Donc ce facteur est inversement proportionnel au nombre de Reynolds.

Selon la figure14 & 15, on remarque que :

Pour un même débit d'air ou pour un même nombre de Reynolds, la perte de pression pour une ailette conventionnelle est moindre que celle pour les ailettes poreuses, et plus le nombre de pores augmentent, plus la perte de pression est grande.

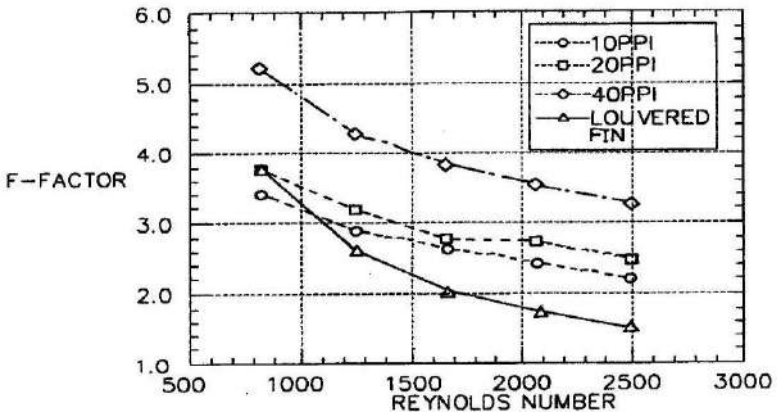


Figure 9: Pertes de pressions des ailettes conventionnelles et poreuses par rapport au nombre de Reynolds

II.5. Conclusion :

Les ailettes poreuses constituent une alternative intéressante aux ailettes conventionnelles, en ce sens qu'elles offrent des coefficients de transferts assez importants, bien qu'à contrario, elles laissent passer les fluides suivant une certaine perte de charge. Comme mentionné, notre contribution s'étendra aux ailettes poreuses convectives, ce qui sera développé dans les prochaines sections.

Chapitre III :

Les nanofluides

III.1. Introduction

Les nanofluides sont des solutions colloïdales composées de particules de taille nanométriques en suspension dans un liquide. Les études de ces fluides composites montrent des aptitudes particulièrement intéressantes du fait d'une meilleure conductivité thermique et d'un coefficient d'échange convectif significativement accru par rapport à des liquides classiques, l'eau en particulier. Une telle augmentation de la conductivité thermique du nanofluide ne peut pas seulement être imputée à la plus grande conductivité thermique des nanoparticules en suspension, l'amélioration vient d'une combinaison de plusieurs facteurs physiques simultanés.

Le choix des liquides de base est primordial pour un nanofluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tout phénomène d'agrégations, la sélection d'un tel fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule. [3]

Les liquides de base les plus utilisés sont :

- L'eau
- L'éthylène glycol, EG.
- Les huiles.
- Le Toluène.
- Les fluides de réfrigération.

L'utilisation de nano fluide en tant que fluide caloporteur est un nouveau domaine qui est encore en phase de recherche. Nous avons présenté dans ce chapitre introductif les différents nano fluide utilisés au cours de cette décennie, leur propriété physiques et leur application dans de nombreux problème En effet, les fluides de base souvent utilisés dans les applications de

Refroidissement ou de chauffage ont des conductivités thermiques très faibles (Tableau I.1) qui limitent leur capacité de transfert de chaleur. L'idée est alors d'insérer au sein des liquides de base des nanoparticules de conductivité très élevée, afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange et ainsi améliorer ces performances thermiques. Les liquides de base généralement utilisés dans la préparation des nano-fluides sont ceux d'usage commun dans les applications de transfert de chaleur tels que l'eau, l'éthylène glycol, l'huile de moteur etc... ; Les nanoparticules peuvent être à base de métaux, d'oxydes, de carbures, de nitrures ou de carbone.

Élément	Conductivité thermique k(W/m.k)
Eau	0.599
Eau 50% eau + 50% éthylène glycol	0.41
Ethylène glycol	0.25
huile de moteur	0.14
Nanotube de carbone	3000-6000
Diamant	1000-2600
Cuivre (métal pur)	401
Nickel (métal pur)	237
Silicone (non métallique)	148
Alumine (Al2O3)	40

Tableau 1: Conductivité thermique de divers fluides de base et matériaux à 20°C

III.2. Préparation de nano-fluide :

Il y a deux méthodes principales pour obtenir un nano fluides

En une étape : vaporisation d'un matériau solide sous vide, puis condensation directe de sa vapeur dans le liquide.

En deux étapes : d'abord la fabrication d'une nano poudre sèche, puis mélange et dispersion de celle-ci dans le liquide.

Les procédés de fabrication sont de nature physique ou chimique. Ils font l'objet de beaucoup de recherche pour améliorer le cout de production qui reste parfois élevé vu les difficultés de mise en œuvre et pour obtenir des particules de taille voulue .Chaque méthode a ses inconvénients et certaines ne sont pas aptes à produire de grandes quantités de nanoparticules pour une production de masse vu les contraintes inhérentes au procédés, notamment les méthodes en une étape.

III.2.1. Méthode physique

La méthode la plus simple consiste à subdiviser un matériau jusqu'à l'échelle nanométrique.

Toutefois, cette méthode présente d'importances limitations car elle ne permet pas un contrôle précis des distributions de taille. Afin d'obtenir un meilleur contrôle de la taille et de la morphologie, on peut utiliser d'autre méthodes physiques plus sophistiquées comme :

- La pulvérisation d'un matériau cible, par exemple à l'aide d'un plasma (pulvérisation cathodique), ou d'un faisceau laser intense (ablation laser).Sakuma and Ishii [4]

- Le chauffage à très haute températures (évaporation thermique) d'un matériau de manière à ce que les atomes qui le constituent évaporent. Ensuite un refroidissement adéquat de ces vapeurs permet une agglomération en nanoparticules, Singh et Al [5].

En général, les méthodes physiques nécessitent un matériel couteux pour un rendement en nanoparticules souvent très limité. Les nanoparticules ainsi synthétisées sont la plupart du temps déposées ou liées à un substrat.

III.2.2. Méthode chimique

Aujourd'hui un grand nombre de méthodes de synthèse par voie chimique sont disponible et présente l'avantage d'être en général simple à mettre en œuvre et d'être souvent quantitatives et peu couteuses. Ces méthodes permettent d'obtenir des particules avec une distribution de tailles relative étroite et de morphologies variées. Comme dans le cas de la voie physique, les nanoparticules peuvent être synthétisées sous deux formes : libres à l'état de poudre relativement facile à disperser dans un liquide ou un gel hôte, ou enrobées dans une matrice solide ou polymère.

 Nous citons ici les méthodes chimiques les plus couramment utilisées :

 Décomposition des précurseurs organométalliques

 L'utilisation des précurseurs organométalliques permet d'élaborer différents systèmes de nanoparticules. Le procédé repose sur la décomposition, dans un solvant organique judicieusement choisi, d'un composé organométallique dans lequel le métal est généralement à bas degré d'oxydation. Ceci permet d'éviter l'emploie de réducteurs chimiques puissant qui engendrent souvent des impuretés qui s'absorbent à la surfaces des particules et sont difficiles à éliminer. La décomposition est réalisée par élimination des ligands de coordination. Cette élimination se fait en général par chauffage D.K.Lee et Al [6].

- Voie radio lytique

- Le principe de la synthèse radio lytique des nanoparticules consiste à réduire des ions métalliques en solution au moyen d'espèces produites (en général des électrons) par radiolyse. Dans de telles solutions, les ions métalliques en solutions sont en concentration suffisamment faible pour qu'il n'y ait pas d'effet direct des rayonnements sur ces ions. La synthèse peut donc se décrire en deux parties (la radiolyse du solvant, et ces réactions et réductions des ions métalliques par les espèces produites par radiolyse suivies par la coalescence des atomes produits).R.Benoit et Al [7].

- Les méthodes chimiques ont souvent un rendement bien supérieur à celui des méthodes physiques.

- Donc les principaux moyens des deux méthodes peuvent être :

- Le mécano synthèses (broyage à haute énergie)

- La précipitation chimique (réduction des sels métalliques par exemple)

- Les dépôts chimiques ou physiques en phase vapeur (CVD ou PVD)

- Les dépôts chimiques en phase vapeur assistés par plasma (PECVD)

- La condensation de vapeur par détente brutale dans les tuyères supersonique

- La pulvérisation cathodique radiofréquence

- La sublimation par ablation laser (vaporisation d'un échantillon par impulsion laser)

- La pyrolyse laser (interaction entre un faisceau laser continu et un flux de réactifs)

- La désintégration d'électrodes submergées par passage d'étincelles (comme pour un usinage par électroérosion)

- Donc comme conclusion, la fabrication des nanoparticules est une industrie nécessitant une technologie très précise, vu la taille et les différentes formes exigées par les expérimentateurs pour avoir plus d'études de cas, et la nécessite de certains traitements chimiques de surface pour les maintenir en suspension.

- La préparation des nano fluides doit tenir compte surtout d'une suspension stable et durable et une agglomération minime des nanoparticules, et doit assurer qu'elles n'entrent pas en échange chimique avec le fluide de base.

III.3. Types de nanoparticule

La production de nouveaux nanomatériaux (nanoparticules) constitue un champ de recherche en pleine expansion, aussi seules les nanoparticules les plus couramment utilisées dans les applications liées aux transferts thermiques sont ici brièvement mentionnées.

D'une manière générale, les nanoparticules peuvent être classées selon leur forme en deux grandes

catégories :

1. Les nanoparticules sphériques pour lesquelles plusieurs types de matériaux peuvent être utilisés pour leur fabrication. Ces nanoparticules sphériques peuvent ainsi être à base de métaux (cuivre Cu, fer Fe, or Au, argent Ag...) ou d'oxydes de cuivre (oxyde d'aluminium Al2O3, oxyde de cuivre CuO, oxyde

de titane TiO2...).

2. Les nanotubes (les nanotubes de carbone NTC, les nanotubes de titane TiO2, Nanotube de

silicium...).

III.4. Les avantages des nano-fluides

- L'avantage de l'emploi des nano fluides en tant que fluides caloporteurs dépend fortement d'un compromis entre l'augmentation de la conductivité thermique (déterminant dans l'intensification des transferts thermique convectifs) et l'augmentation de la viscosité (déterminant dans l'augmentation indésirable de la puissance de pompage). Les futures recherches devront donc être dirigées vers la sélection de matériaux, de forme et de taille de nanoparticules qui augmenteraient la conductivité thermique du mélange avec une augmentation modérée de la viscosité.

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.

- Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi

la miniaturisation du système.

- Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en

faisant varier les concentrations de [articule en fonction des différentes applications.

III.5. Les inconvénients des nano-fluides

- le manque de l'accord des résultats obtenus par différents chercheurs.

- le manque de compréhension théorique des mécanismes responsables de changements des propriétés.

- mauvaise caractérisation des suspensions.

- stabilité des nanoparticules dispersion.

- chute de pression accrue et la puissance de pompage.

- viscosité supérieur, chaleur spécifique Basse.

- Le coût élevé des nano-fluides.

- Difficultés dans le processus de production.

III.6. Domaine d'applications des nano-fluides

- Les nano-fluides peuvent être employés pour améliorer le transfert de chaleur et l'efficacité énergétique dans plusieurs systèmes thermiques. Dans cette section, quelques exemples d'applications :

a. **Refroidissement des systèmes thermiques** Le mélange d'éthylène-glycol et l'eau, sont utilisés comme liquide de refroidissement dans les moteurs des véhicules .L'addition des nanoparticules dans ces liquides améliore le taux de

Refroidissement. Ce point est étudié par plusieurs groupes de chercheurs, Tzeng et Col [8] ont dispersé les nanoparticules AL2O3 et CuO dans l'huile de refroidissement de moteur

b. Refroidissement des systèmes électroniques

Dans les circuits intègres, les nano-fluides ont été considérés comme fluides de refroidissement pour cela plusieurs études ont été effectuées. Tsai et al [9] ont employé un nano-fluide à base d'eau pour refroidir une unité centrale de traitement dans un ordinateur.

c. Refroidissement des systèmes militaires

Les exemples des applications militaires incluent le refroidissement de l'électronique de puissance et les armes d'énergie dirigée. Ces derniers impliquent des flux thermiques très élevés (q>500 à 1000 W/cm2) où les nano-fluides ont montrés leur efficacité pour refroidir ces systèmes, et aussi

les autres systèmes militaires y compris les véhicules militaires, les sous-marins et les diodes lasers a haut puissance.

d. Refroidissement des systèmes spatiaux

Pour les applications dans l'espace. You et al [10] et Vassallo et al [11] ont effectué des études pour montrer que la présence des nanoparticules dans le fluide de refroidissement en électronique générale joue un rôle très important dans les applications de l'espace où la densité de puissance est très élevée

e. Refroidissement des systèmes nucléaires

L'institut de technologie de Massachusetts a réservé un centre interdisciplinaire uniquement pour la nouvelle nanotechnologie (nano-fluide) dans l'industrie de l'énergie nucléaire. Actuellement, ils évaluent l'impact potentiel de l'utilisation des nano-fluides sur la sûreté neutronique de la performance économique des systèmes nucléaires.

f. La biomédecine

Les nano-fluides et les nanoparticules ont beaucoup d'applications en biomédicale. Par exemple, pour éviter quelques effets secondaires des méthodes traditionnelles de traitement de cancer, les nanoparticules à base de fer ont été employées comme transporteur des drogues. Aussi pour une chirurgie plus sûr en produisant le refroidissement efficace autour de la région chirurgicale, Jordan et al [12]

III.7. Définition des nanoparticules :

Les nanoparticules sont des particules dont les 3 dimensions sont dans la gamme 1-100 nm environ. Les nanomatériaux sont des objets dont au moins une de leurs trois dimensions est nanométrique, c'est-à-dire inférieure à 100 nm. Cette définition est cependant encore en discussion et certaines définitions parlent de nanoparticules dès qu'une ou deux de leurs dimensions est inférieure à 100nm. [13][14]



Figure 10: Échelle des dimensions, 1 nanomètre = 0,000 001 millimètre

L'amélioration du transfert thermo convectif a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche, en jouant sur la géométrie, le régime d'écoulement et les conditions aux limites. Les chercheurs ont également essayé d'augmenter la conductivité thermique du fluide de base, par l'ajout de micros particules solides au sein de ce dernier, puisque la conductivité thermique des solides est en général plus élevée que celle des fluides. [15]

Les nanoparticules les plus utilisées pour obtenir des nanofluides sont :

Les nanoparticules des oxydes métalliques :

- l'oxyde d'aluminium (Al 2O3).
- l'oxyde de cuivre (CuO).
- l'oxyde de silicium (SiO 2).
- l'oxyde de titanium (TiO 2).

Les nanoparticules métalliques :

- l'aluminium(Al).
- le cuivre(Cu) l'or (Au).

l'argent (Ag) Les nanoparticules non métalliques :

- les nanotubes de carbone (CNT)
- le diamant(C).

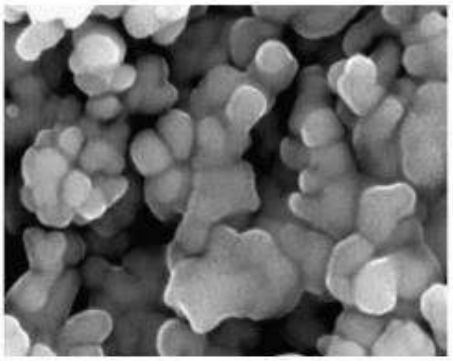


Figure 11: Nanoparticule (Ag)

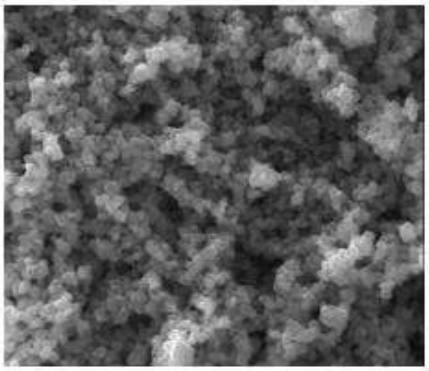


Figure 12: Nanoparticule (TiO2)

III.8. Propriétés thermophysiques des nanofluides

Les propriétés thermophysiques (la masse volumique, la chaleur spécifique, la dilatation thermique, la viscosité dynamique et la conductivité thermique) des solutions sont profondément modifies par l'ajout des nanoparticules. De nombreux paramètres caractérisant ces nanoparticules peuvent avoir un effet notable sur les valeurs des paramètres thermophysiques du nanofluide obtenus (la nature des nanoparticules, leur taille, la fraction volumiqueφ , la conductivité du fluide de base et celle des nanoparticules, la température du milieu .... etc) [16]

Chapitre VI :

Modélisation des ailettes pleines/poreuses

IV.1. Ailettes longitudinales

On peut donner plusieurs formes et géométries à une ailette et ceci selon leurs applications, comme on peut les placées dans différents fluides et être attachées de différentes manières à la surface mère.

Généralement cinq formes des ailettes sont utilisées pour augmenter la surface d'échange (figure 13), sont rectangulaires, trapézoïdaux, triangulaires, paraboliques concaves et paraboliques convexes.

Les expressions analytiques obtenues sont basées sur plusieurs hypothèses.

1. La conduction thermique dans l'ailette est stable et unidimensionnelle.

2. Le matériau de l'ailette est homogène et isotrope.

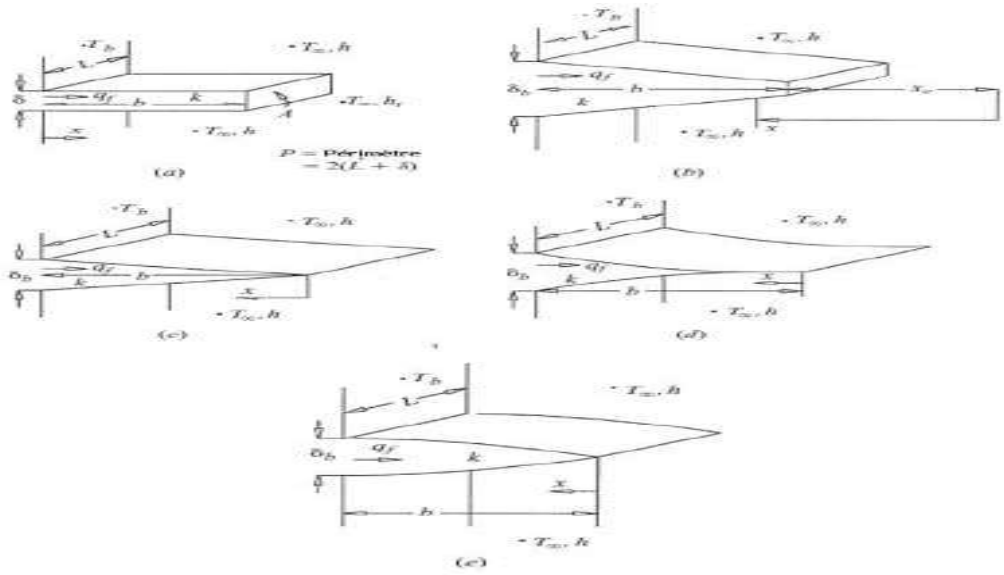


Figure 13: Ailettes longitudinaux, (a) rectangulaires, (b) trapézoïdaux, (c) triangulaires, (d) concaves paraboliques et (e) paraboliques convexes

3. Il n'y a pas de génération d'énergie dans l'ailette.

4. L'environnement convectif est caractérisé par un coefficient de transfert de chaleur et une température uniforme et constante.

5. L'ailette a une conductivité thermique constante.

6. Le contact entre la base de l'ailette et la surface primaire est parfait.

7. L'ailette a une température de base constante.

IV.2 Efficacité d'une ailette

Pour déterminer la qualité et l'efficacité d'une ailette, on compare sa performance thermique effective par rapport à sa performance idéale.

IV.3. Distribution de température dans les ailettes pleines :

Pour des ailettes de section uniforme, on effectue le changement de variable ɵ = T-Tf, l'équation différentielle qui permet de résoudre le problème de l'ailette de section uniforme A, fig 14, et de périmètre P s'écrit :

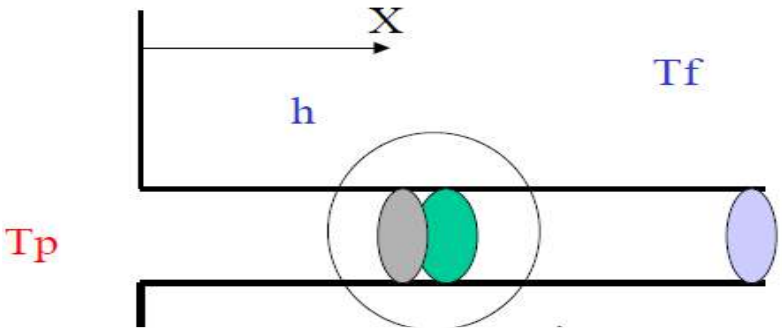


Figure 14: Schématisation d'une ailette

La base de l'ailette étant à la température du mur TP, la solution dépend en définitive de la condition à la limite imposée au bout de l'ailette de longueur L.

Cas où l'on considère la convection au bout de l'ailette

La distribution de température s'écrit :

$$\frac{\theta(x)}{\theta p} = \frac{cosh m(L-x) + \frac{h}{mk}\sinh m(L-x)}{\cosh mL + \frac{h}{mk}\sinh mL} \quad \text{..... (12)}$$

Le flux de chaleur est :

$$q = \sqrt{hPkA}\ \theta p \frac{\sinh mL + \frac{h}{mk}\cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{mk}\sinh mL} \quad \text{..... (13)}$$

Cas où l'on impose la température au bout de l'ailette

La distribution de température s'écrit :

$$\frac{\theta(x)}{\theta p} = \frac{sinhm(L-x)+\frac{\theta_L}{\theta p}\sinh mx}{\sinh mL} \quad \text{..... (14)}$$

Le flux de chaleur est :

$$q = \sqrt{hPkA}\ \theta p \frac{\cosh mL - \frac{\theta_L}{\theta p}}{\sinh mL} \quad \text{..... (15)}$$

Cas où l'on considère le bout de l'ailette adiabatique

La distribution de température s'écrit :

$$\frac{\theta(x)}{\theta p} = \frac{coshm(L-x)}{\cosh mL} \quad \text{..... (16)}$$

Le flux de chaleur est :

$$q = \sqrt{hPkA}\ \theta p\ tanh\ mL \quad \text{..... (17)}$$

Cas limite d'une ailette infinie

La distribution de température s'écrit :

$$\frac{\theta(x)}{\theta p} = e^{-m\ x} \quad \text{..... (18)}$$

Le flux de chaleur est :

$$q = \sqrt{hPkA}\ \theta p \quad \text{..... (19)}$$

IV.4. L'efficacité de l'ailette :

On définit l'efficacité d'une ailette comme le rapport du flux qu'elle échange sur le flux qu'elle échangerait si sa température était uniforme.

$$\eta = \frac{q\ transmise\ dans\ l'ailette}{q\ \ idéale} \quad \text{..... (20)}$$

q idéale c'est la quantité de chaleur qui serait transmise par convection ou rayonnement à partir de la surface de base de la tige si l'ailette était supprimée.

$$q_i = A_a\ h\ \theta_b \quad \text{..... (21)}$$

où qi est le flux de chaleur ideal, Aa Surface totale de l'ailette et ɵb = Tb-T∞

Si on prend le cas du transfert thermique négligeable à la pointe (sommet adiabatique), on aura :

$$\eta = \frac{th\ mL}{mL} \quad \text{…….. (22)}$$

On observe que lorsque la longueur de l'ailette croit, le rendement diminue. Des ailettes démesurément longues accroissent inutilement le poids et encombrent, sans améliorer significativement les échanges de chaleur.

Si on a plusieurs ailettes :

$$q\ total = q\ ailettes + q\ sans\ ailettes \quad \text{……. (23)}$$

$$= \eta A_a\ h\ \theta_b + (S_t - A_a) h\theta_b \quad \text{…….. (24)}$$

Aa surface des ailettes

St est la surface totale sujette au transfert thermique, comprenant les surfaces contenant les ailettes et celles ne contenant pas les ailettes.

IV.5. Rendement d'une surface ailette :

Le rendement d'une surface ailette est défini comme le rapport du flux échangé sur toute la surface, sur le flux qui aurait été échangé si la totalité de la surface était à la température Tb (la température de la base)

$$\eta = \frac{q\ total}{h\ S_t\ (T_b - T_\infty)} \quad \text{……. (25)}$$

Le rendement d'une surface ailette est finalement :

$$\eta = \frac{1 + \eta_a (\frac{Sa}{Sb})}{1 + (\frac{Sa}{Sb})} \quad \text{…….. (26)}$$

Sa surface d'échange des ailettes

Sb surface d'échange des parties de surfaces mères non recouvertes d'ailettes.

ηa efficacité d'une ailette

IV.6 Distribution de température dans les ailettes poreuses:

IV.6.1. Introduction :

La réduction du cout de fabrication et des couts associés pour la fabrication de nombreux équipements utilisant les ailettes, ont amené les industriels à examiner de plus près cette question. Un des postes les plus importants de ces couts est le poids utilisé de matière pour la réalisation des milliers d'ailettes composants l'équipement. Plusieurs voies s'ouvrent pour arriver à la réduction, tout en maintenant les spécifications techniques. Il s'agit de :

- Augmenter la surface d'échange par rapport au volume de l'équipement, ce qui a conduit à fabriquer des échangeurs dits compacts, par exemple dans cette industrie.
- Augmenter la conductivité thermique du matériau.
- Augmenter le coefficient d'échange thermique par différentes techniques passives et actives.

Ces aspects ont conduit aussi à l'optimisation des grandeurs caractérisant l'ailette et les surfaces prolongées, Cependant, il y a un poste important qu'est le poids de la matière utilisée et qui représente l'essentiel du cout global.

Récemment, une direction intéressante combinant une plus grande conductivité thermique et un allègement substantiel de la matière, a été empruntée. Il s'agit des ailettes poreuses, fabriqués par un matériau très bon conducteur, telles les mousses métalliques. L'apparition de ce substrat a suscité des analyses diverses, On cite Alkam and Al-Nimr, Huang and Vafai, et plus récemment Kiwan and Al-Nimr, and Abu Hijleh.

Dans cette section il sera examiné comme mentionné plus haut la convection naturelle dans les ailettes poreuses ; pour ce faire, on prendra un segment de l'ailette poreuse et à partir d'un bilan énergétique, on aboutira à une représentation différentielle qui sera résolue numériquement en utilisant MATLAB.

On groupe tous les paramètres géométriques et d'écoulement qui peuvent influencer la solution du problème en un seul paramètre SH, on trace la température adimensionnelle en fonction de X, pour différentes valeurs de SH, pour trois cas d'ailettes différentes. Les effets de Nusselt et de Darcy sur le flux de chaleur sont aussi tracés et étudiés.

IV.6.2. Modélisation ailette pleine longitudinale

Considérons l'ailette montrée dans la Fig. 15 qui représente la plus simple géométrie. La section transversale est constante. Étant poreuse, l'ailette permet au fluide de s'infiltrer à travers elle.

Les hypothèses simplificatrices sont:

1- Le milieu poreux est homogène, isotrope, est saturé d'un fluide monophasique.
2- Le fluide et la matrice du solide ont tous les deux des propriétés physiques constantes.
3- Les échanges de surfaces apparentes sont négligés.
4- La matrice du solide et le fluide sont à l'équilibre thermique local.
5- La température à l'intérieur de l'ailette est seulement fonction de x.
6- Aucune variation de température à travers l'épaisseur de l'ailette.
7- L'interaction entre le milieu poreux et le fluide net est simulé par la formulation de Darcy.

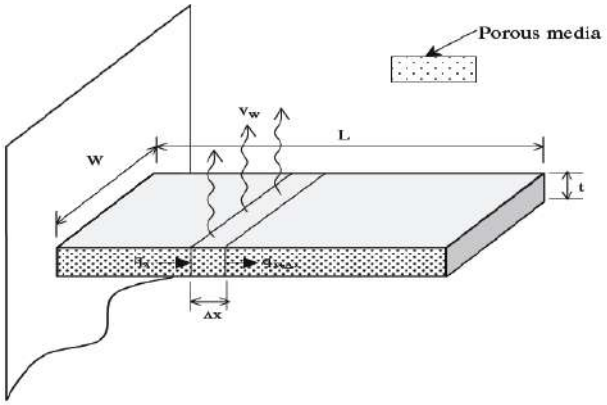


Figure 15: Schéma de l'ailette poreuse convective

Appliquons une balance énergétique pour le segment de l'ailette d'épaisseur Δx :

$$q(x) - q(x+\Delta x) = \dot{m} c_p (T(x) - T\infty) \qquad \text{..... (27)}$$

Le dernier terme de l'équation ci-dessus représente le flux de chaleur perdu au fluide passant par le milieu poreux. Ce fluide est induit par la force d'Archimède crée, due à la différence de température entre l'ailette et l'environnement. On doit noter que l'équation (27) suppose que le fluide entre dans l'ailette à T∞ et la quitte à T(x). Ceci exige que l'épaisseur du fluide soit infinie, et donc cette hypothèse pourrait être irréaliste.

Le flux de transfert de chaleur obtenue de l'équation (27) pourrait représenter le flux maximum pour une ailette poreuse. En conclusion, l'analyse des ailettes pleines conventionnelles utilise beaucoup d'hypothèses incertaines (kakac et Yener,), les analyses donnent toujours de bons résultats pour beaucoup de cas pratiques.

Le débit massique du fluide passant à travers le milieu poreux peut être écrit comme :

$$\dot{m} = \rho v_w \Delta x W \qquad \text{..... (28)}$$

W la largeur de l'ailette

VW la vitesse du fluide passant à travers l'ailette.

L'écoulement dans le milieu poreux sera considéré par rapport à la valeur de vw. En se référant à l'hypothèse, le modèle de Darcy donne :

$$v_W(x) = \frac{K}{\mu}\frac{\partial P}{\partial y} \qquad \text{..... (29)}$$

Mais ici on a la force d'Archimède, donc ;

$$v_W(x) = \frac{K}{\mu}\rho g \beta (T(x) - T\infty) \qquad \text{..... (30)}$$

Car $\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} = g\beta(T(x) - T\infty)$ (loi d'Archimède)

D'où ;

$$v_w(x) = \frac{gK\beta}{\nu}(T(x) - T\infty) \qquad \text{..... (31)}$$

La substitution des équations (28) et (31) dans l'équation (27), donne :

$$\frac{q(x) - q(x+\Delta x)}{\Delta x} = \frac{\rho c_p g K \beta W}{\nu}(T(x) - T_\infty)^2 \qquad \text{..... (32)}$$

$\Delta x \longrightarrow 0$, L'équation (33) devient :

$$\frac{dq}{dx} = \frac{\rho c_p g K \beta W}{\nu}(T(x) - T_\infty)^2 \qquad \text{..... (34)}$$

La loi de fourrier de conduction, nous donne :

$$q = -k_{eff} A \frac{dT}{dx} \quad \text{..... (35)}$$

Où A c'est la surface de la section verticale de l'ailette. (A=w. t) et, k eff la conductivité thermique effective de l'ailette poreuse donnée par :

$$k_{eff} = \varepsilon k_f + (1 - \varepsilon) k_s \quad \text{..... (36)}$$

(S : propriétés du solide, f : propriétés du fluide)

La substitution de l'équation (34) dans l'équation (35) nous donne :

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{\rho c_p K\beta}{t\, v\, k_{eff}} (T(x) - T\infty)^2 = 0 \quad \text{..... (37)}$$

En introduisant la fonction de température adimensionnelle

$$\theta = \frac{T(x) - T_\infty}{Tb - T_\infty} \quad \text{..... (38)}$$

Dans l'équation (39), on aura :

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{S_H}{L^2} \theta^2 = 0 \quad \text{..... (39)}$$

Si on introduit la coordonnée axiale adimensionnelle X=x /L l'équation 39 devient :

$$\frac{d^2\theta}{dX^2} - S_H \theta^2 = 0 \quad \text{..... (40)}$$

La constante $S_H = \frac{\mathrm{Ra\ Da}\ (\frac{L}{t})^2}{\mathrm{Kr}}$ regroupe tous les paramètres géométriques et d'écoulement qui peuvent influencer la solution du problème en un seul paramètre. Les nombres qui constituent ce groupement sont :

$$R_a = \frac{g\,\beta\,(Tb - T_\infty) L_c^3}{\gamma\,\alpha} \quad , \quad Da = \frac{K}{L_c^2} \quad , \quad Kr = {K_{eff}}/{K_f}$$

L'équation (40) représente une équation différentielle non linéaire du second ordre, pour la résoudre, deux conditions aux limites sont nécessaires. Une condition aux limites commune à tous les cas considérés ici, la température à la base de l'ailette est Tb, alors,

$$\theta(0) = 1 \quad \text{..... (41)}$$

La deuxième condition aux limites dépend de la condition au bout de l'ailette.

On considère dans cette étude les cas suivants :

(1) Ailette infiniment longue

(2) Une ailette de longueur finie avec bout isolé

(3) Longueur finie avec le coefficient de convection connue au bout.

Le flux de transfert de chaleur dissipée par l'ailette poreuse peut être calculé :

$$q'_p = \frac{-k_{eff}\theta_b}{\frac{L}{t}}\left(\frac{d\theta}{dX}\right)_{X=0} \quad \text{..... (42)}$$

Où q'p c'est le flux de chaleur par unité de largeur

On obtient une équation non linéaire.

Comparativement à l'ailette pleine, dont la modélisation du transfert obéit à une équation différentielle ordinaire de nature linéaire, l'ailette poreuse est ici modélisée suivant une variation non linéaire, mais l'avantage de la forme obtenue est qu'elle est de même structure que celle classique d'une part. D'autre part, le paramètre de l'ailette prend ici une signification globale regroupant les nombres adimensionnels Rayleigh, Darcy, le rapport des conductivités fluide-solide ainsi que la géométrie propre de l'ailette poreuse.

De ce fait, il est plutôt avantageux d'analyser les performances de l'ailette poreuse, avec cependant le recours à une technique numérique pour tenir compte de cette non linéarité à l'équation différentielle ordinaire. Les résultats seront directement présentés dans le chapitre suivant.

IV.6.3. Modélisation d'une ailette poreuse longitudinale

Si on substitue les équations avec les variables adimensionnelles suivantes

$$\theta = \frac{T(x)-T_\infty}{Tb-T_\infty}$$

avec X=***x/L***

On trouve l'équation gouvernante de l'ailette poreuse longitudinale suivante

$$\theta'' - Ra^*\theta^2 - N^2(1-\varepsilon)\theta = 0$$

L'équation ci-dessus est une ODE non linéaire du second ordre sujette à des conditions aux limites ; à savoir ;

θ (0)=1 et θ′(X=1)=0 pour une ailette à bout isolé

Les paramètres contenus dans ces équations sont définis par :

$$R_a = \frac{g\,\beta\,(Tb - T_\infty)L_c^3}{\gamma\,\alpha} \quad , \quad Da = \frac{K}{L_c^2} \quad , \quad Kr = {K_{eff}}/{K_f}$$

$Ra^* = \frac{RaDa}{\psi k_r}$; *le nombre de Rayleigh modifié.*

Ra le nombre de Rayleigh ${g\beta(Tb - T\infty)L_C^3}/{\nu\alpha}$

N^2 paramètre de l'ailette longitudinale, $\frac{h\ L_c^2}{\delta k_{eff}}$

Da nombre de Darcy K/L_C^2 , *K étant la perméabilité de l'ailette*

$\psi = \delta/L$ *épaisseur relative de l'ailette*

$k_r = k_{eff} / k_f$; *le rapport des conductivités thermiques*

Chapitre V :

SIMULATIONS NUMERIQUES

V.1.. PROGRAMME

Programme des nano-fluides et des ailettes poreuses longitudinales

Il y lieu d'établir les huit figures suivantes :

A. <u>Ailette longitudinale pleine (pas de porosité)</u>

✓ Figure 1 (ailette pleine)

N= 0.1 puis 0.5 puis 1. Puis 5 puis 10

En ayant **G=1; Ra = 0.; Da=0; Psi=0.02; Kr=200; e=0.** pour les courbes dans la même figure

B. <u>Ailette longitudinale poreuse</u>

✓ Figure 2 (effet du nanofluide)

G= 1 puis 1.25 puis 1.5 puis 1.75 puis 2

En fixant **N= 0.1;Ra = 10;Da= 0.001;Psi=0.1;Kr=50; e=0.7;**

pour les courbes dans la même figure

✓ Figure 3 (effet de l'épaisseur de l'ailette))

N= 0.1 puis 0.5 puis 1. Puis 5 puis 10

En fixant **G= 1.5;Ra = 10;Da= 0.001;Psi=0.1;Kr=50; e=0.7;** pour les courbes dans la même figure

✓ Figure 4 (effet BT/HT)

Ra= 1. Puis 10 puis 15 puis 30 Puis 60

En fixant **G= 1.5;N = 0.1;Da= 0.001;Psi=0.1;Kr=50; e=0.7;;**pour les courbes dans la même figure

✓ Figure 5 (perméabilité du M.P)

Da= 0.01 puis 0.001 puis 0.0001 Puis 0.000001

En fixant **G= 1.5;N = 0.1;Ra= 10.;Psi=0.1;Kr=50; e=0.7;**pour les courbes dans la même figure

✓ Figure 6 (effet de la porosité du M.P)

e= 0.2 puis 0.4 puis 0.6 Puis 0.8

En fixant **G= 1.5;N=0.1;Ra = 10;Da= 0.001;Psi=0.1;Kr=50;** pour les courbes dans la même figure

✓ Figure 7 (effet de l'épaisseur de l'ailette poreuse)

Psi= 0.02 puis 0.1 puis 0.15 Puis 0.3

En fixant **G= 1.5;N=0.1;Ra = 10;Da= 0.001; Kr=50; e=0.7** pour les courbes dans la même figure

✓ Figure 8 (effet du rapport des conductivités nanofluide/solide)

Kr= 10 puis 50 puis 100 Puis 200 Puis 1000

En fixant **G= 1.5;N=0.1; Ra = 10;Da= 0.001;Psi=0.1; e=0.7;** pour les 04 courbes dans la même figure

V.2 Figures suivant la simulation

V.2.1 ailette pleine

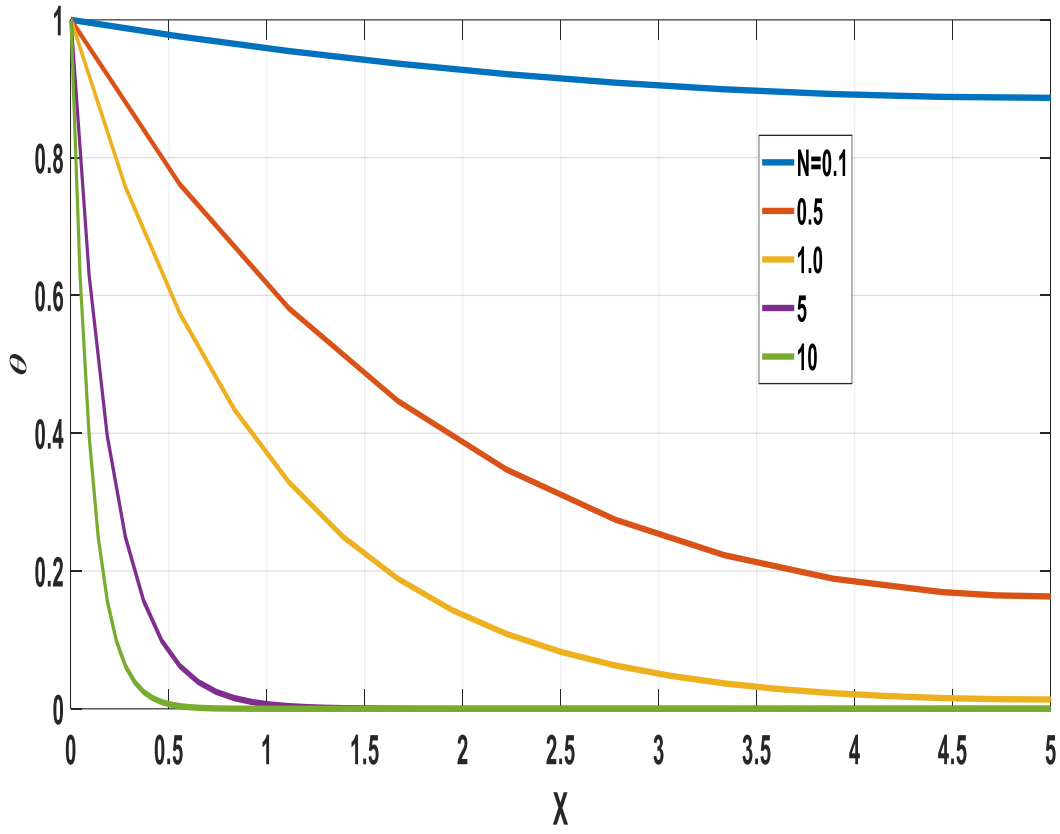


Figure 16: ailette pleine

On remarque dans cette figure, qui représente une ailette pleine (pas de porosité ni de perméabilité), que si le paramètre de l'ailette augmente, équivalent à une ailette fortement convective, la distribution des température est moins uniforme et par conséquent l'ailette devient non efficace

V.2.2 ailette poreuse et effet d'un nanofluide

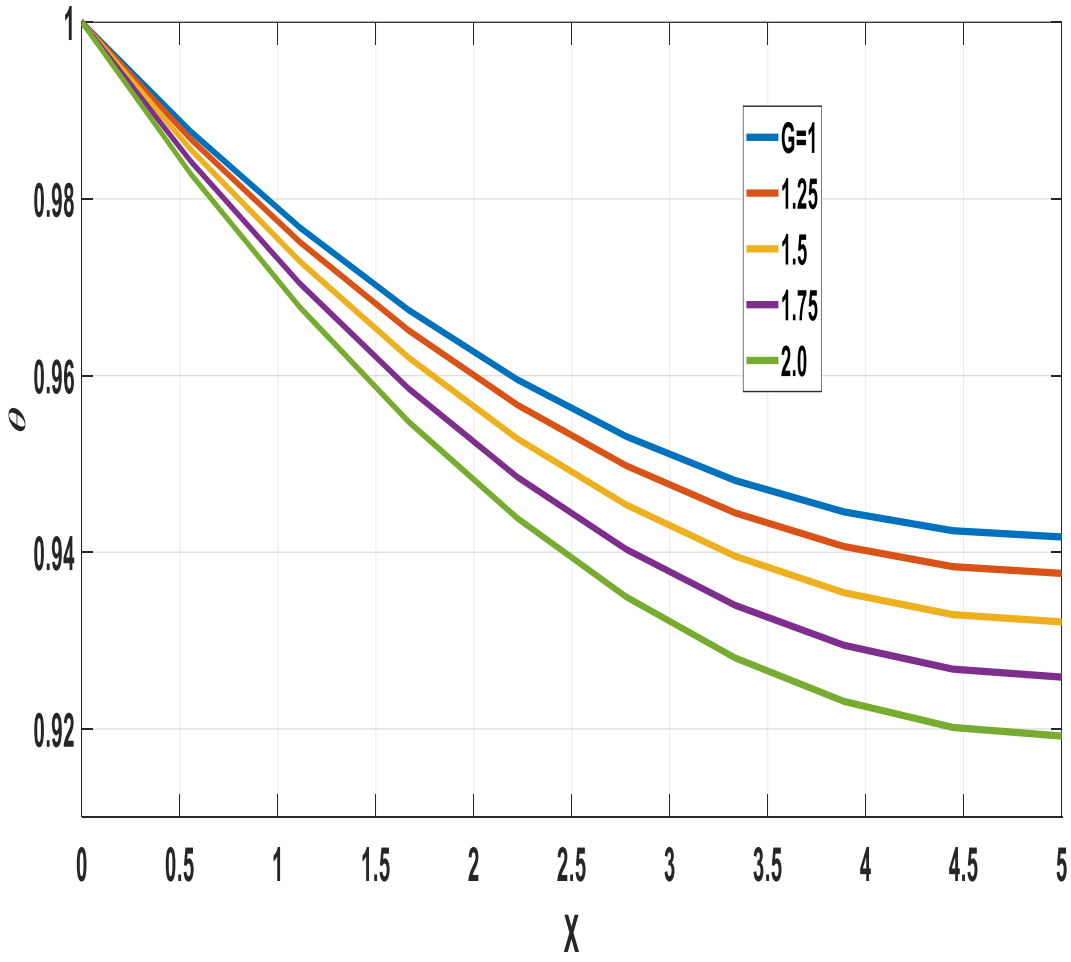


Figure 17: effet du nanofluide

Un nanofluide se distingue par une conductivité thermique élevée, symbolisée par la grandeur G.

Ainsi, que par rapport à un fluide classique (G=1) ou bien selon le fluide base, et à mesure que G augmente par le biais des concentrations des nanoparticules, et quel que soit le couple fluide de base-type de nanoparticules, une dégradation de l'uniformité de la distribution des températures est observée, ce qui rend l'ailette moins efficace. Ceci peut s'expliquer par l'incidence de la conductivité thermique sur le paramètre de N qui augmente ainsi que sur l'augmentation du nombre de Rayleigh, Ra ce qui est par conséquent synonyme d'un milieu plus résistant, étant donné que c'est l'efficacité de l'ailette est un compromis contrastant entre une meilleure conductivité de l'ailette et une moindre à plusieurs fois du nanofluide.

V.2.3 ailette poreuse et effet d'épaisseur

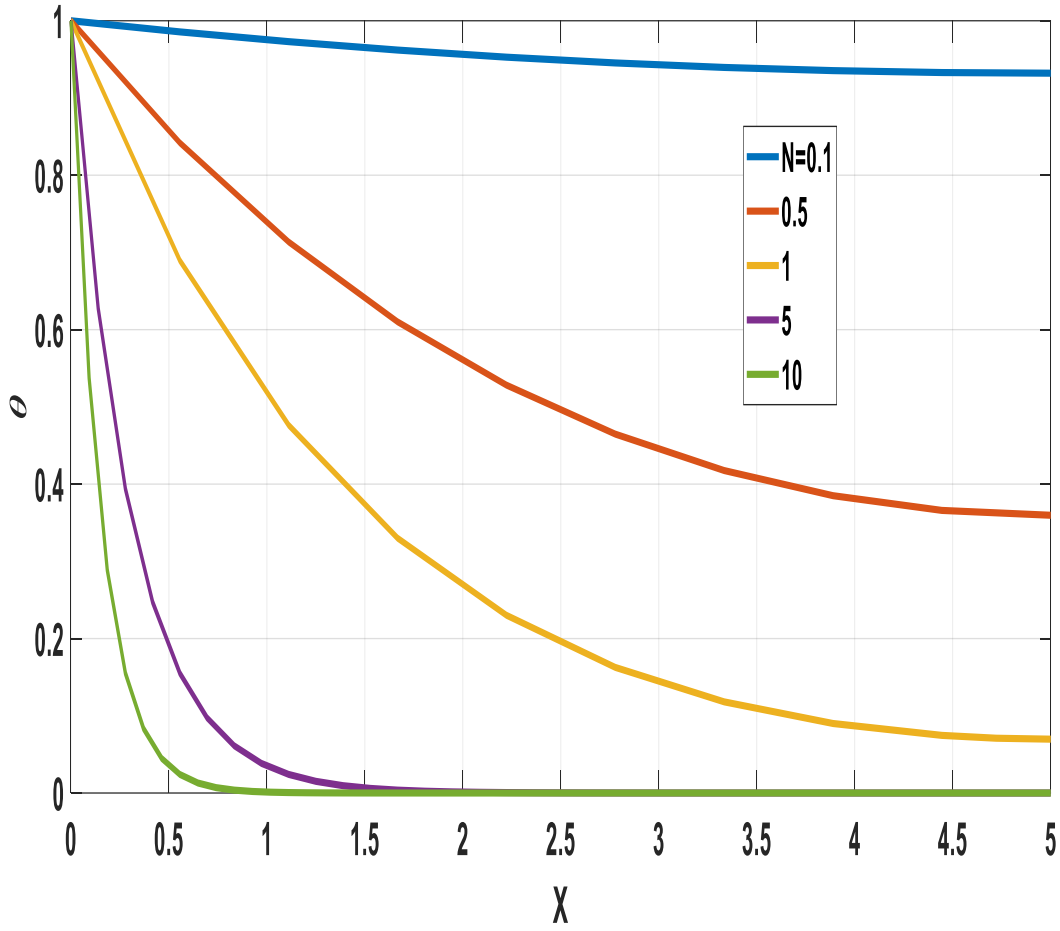


Figure 18: effet de l'épaisseur de l'ailette

Cette figure est celle relative au paramètre de l'ailette mais poreuse, et là on observe que le nanofluide conduit à une légère amélioration de la distribution des températures par rapport à une ailette pleine, donc une meilleur efficacité. On peut physiquement attribuer à une plus grande épaisseur de l'ailette, dans le cas classique, économiquement non acceptable, où dans le contexte d'un nanofluide, équivalent à la signification éxprimée dans la précédente figure.

V.2.4. ailette poreuse et effet de la température du fluide source

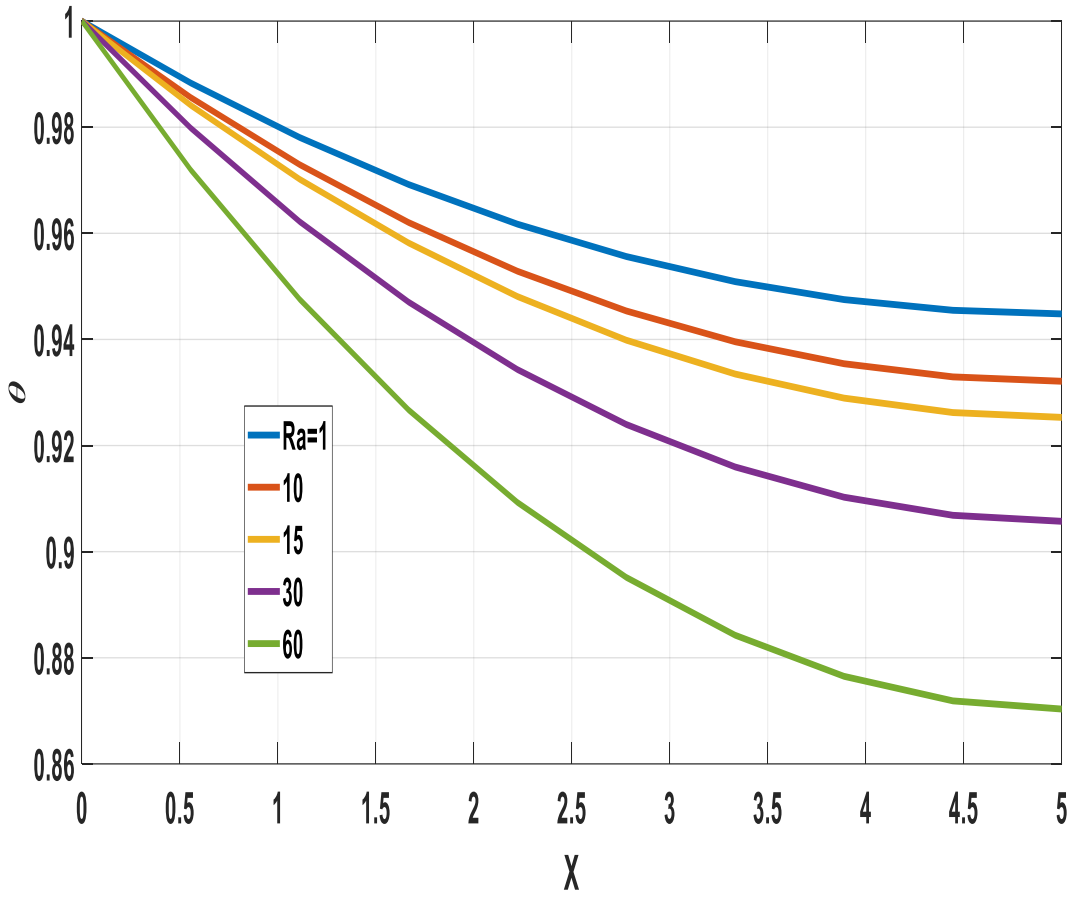


Figure 19: effet BT/HT

Classiquement une différence de température entre l'ailette et le milieu environnant, conduit à un Ra élevée, autrement dit une entrée de la chaleur à la racine de l'ailette très élevée. De ce fait, les ailettes poreuses et chaudes montreront une plus grande efficacité. A contrario, les fluides froids ne nécessitent pas d'ailettes. Cette constatation est valable si on travaille avec un nanofluide comme milieu de dissipation.

V.2.5 ailette poreuse et effet de la perméabilité de l'ailette

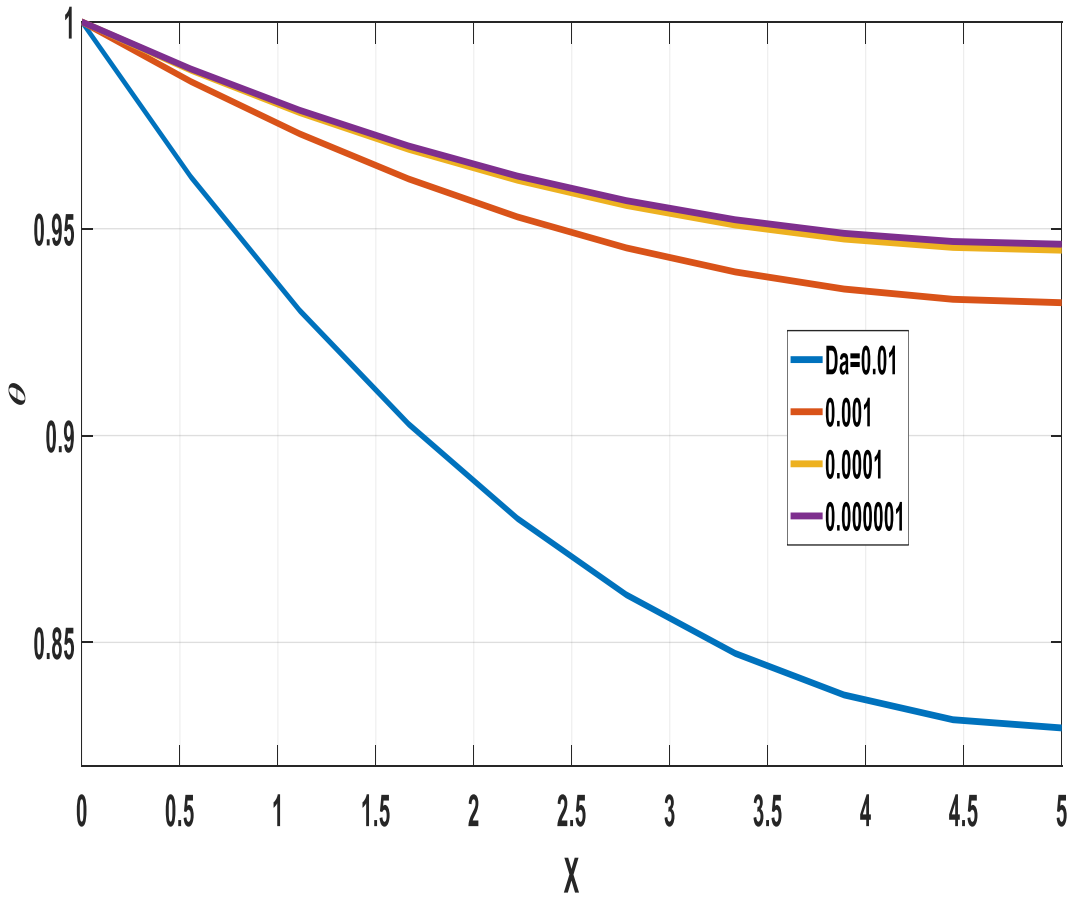


Figure 20: perméabilité du M.P

La perméabilité K de l'ailette poreuse, signifie la plus ou moins capacité à laisser passer le nanofluide dans le milieu poreux. Ce paramètre primitif est représenté en adimensionnel par le nombre de Darcy, Da. Il est ainsi trouvé que une plus grande perméabilité n'est pas avantageuse dans la mesure où le fluide recevant la chaleur de l'ailette doit interagir de manière plus avec les flux provenant de l'ailette.

V.2.6 ailette poreuse et effet de la porosité de l'ailette

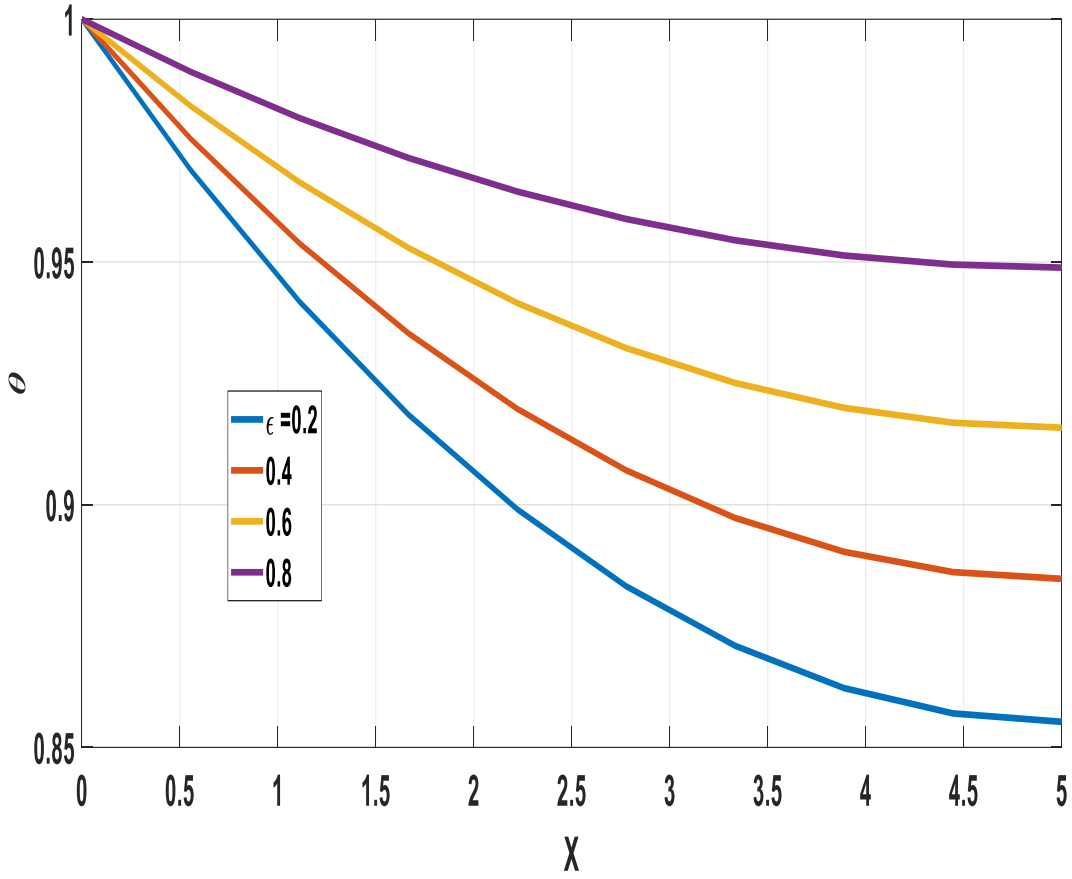


Figure 21: effet de la porosité du M.P

La porosité de l'ailette exprime le vide par rapport à la partie solide. Plus l'ailette est poreuse, plus est son efficacité. La démonstration de l'usage des ailettes fortement poreuses conduit à une économie de matière très forte, sachant que la matière utilisée pour la production des ailettes est un poste lourd dans les dépenses de production.

V.2.7. ailette poreuse et effet de l'épaisseur de l'ailette

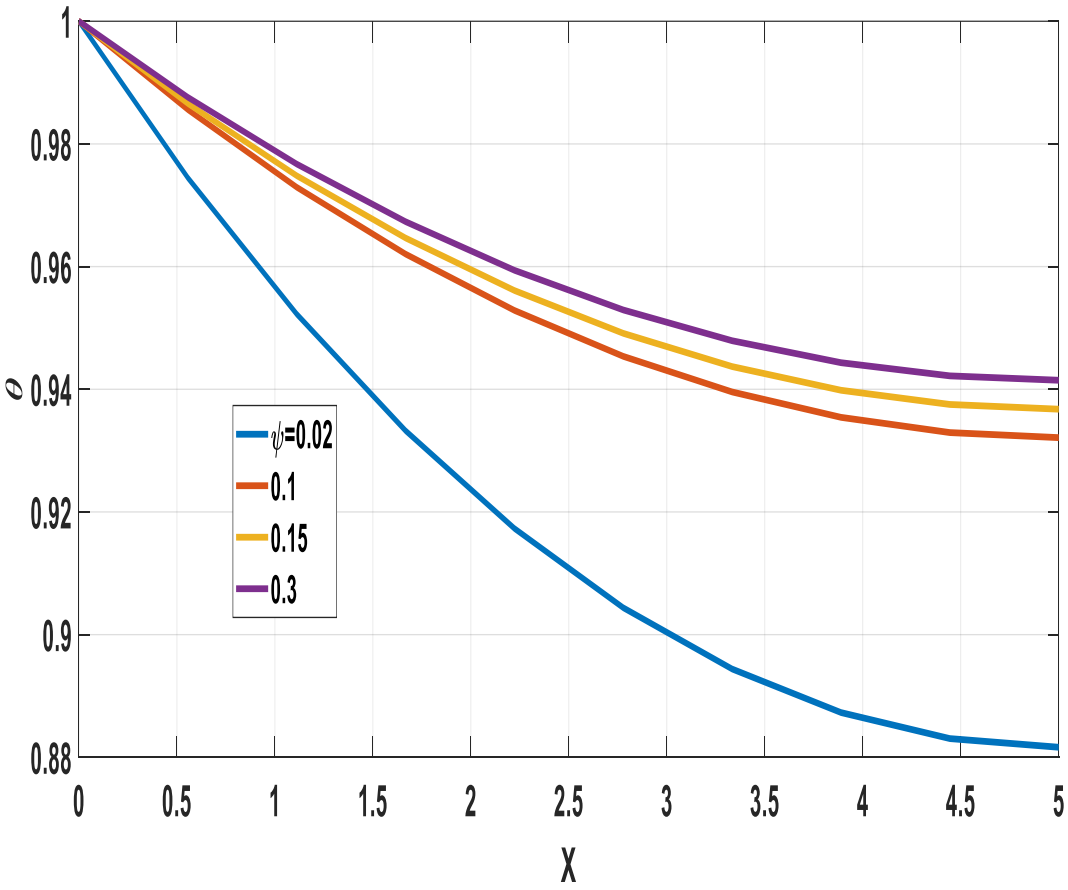


Figure 22: effet de l'épaisseur de l'ailette poreuse

Cette figure est établie pour montrer l'effet de l'épaisseur de l'ailette sur son efficacité. On observe ce que l'on sait déjà, qu'il vaut mieux utiliser des ailettes minces en quantité que des ailettes épaisses. Cependant une ailette poreuse ayant une épaisseur équivalent au tiers du tube de circulation du fluide est encore performante.

V.2.8. ailette poreuse et effet du rapport des conductivités solide/nano :

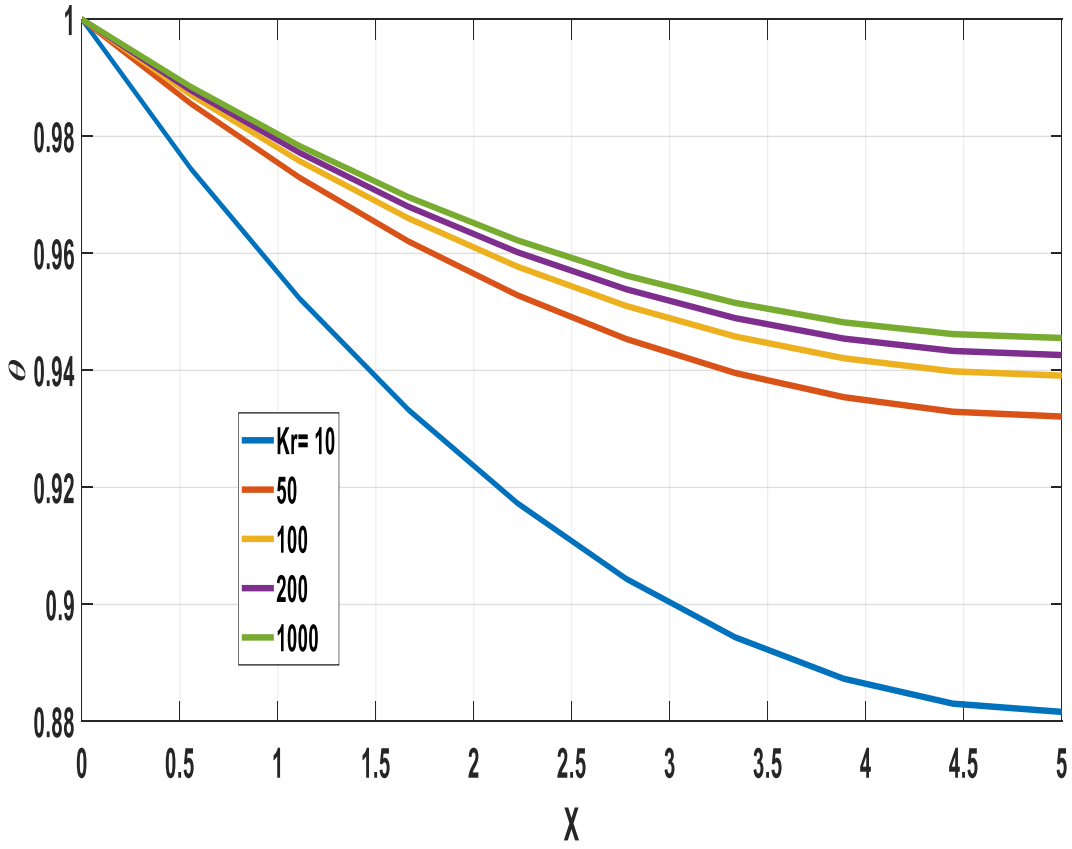


Figure 23: effet du rapport des conductivités solide/nanofluide

Plus l'ailette est conductive par rapport au nanofluide, plus la distribution des températures est favorable. On note alors que les systèmes de dissipation de chaleur sont intéressants en termes de performances si l'ailette est fabriquée à partir d'un métal plutôt qu'un matériau moins conducteur et que de plus, la présence de cette extension de paroi est fondamentale en cas d'un milieu de conductivité thermique très faible. Ceci, est corroboré par la figure montrant l'usage défavorable d'un nanofluide.

CONCLUSION

Ces dernières années et pour un gain de matière, les ailettes poreuses longitudinales ont peu à peu remplacé les ailettes pleines. En particulier, si l'espace est limité cette technique s'avère adéquate pour une miniaturisation des équipements tels les échangeurs à tubes à ailettes ou à plaques à ailettes. La porosité induite est le siège de l'écoulement d'un fluide classique, notamment l'air, mais souvent les fluides en présence sont de nature liquide et à cet effet on se propose dans ce projet de quantifier le gain en efficacités lors de la présence des nanofluides comme agent de dissipation de la chaleur. Dans ces conditions, L'étude se propose cette tache notamment dans le cas des hautes températures.

Ce mémoire avait pour objectif une compréhension de l'usage d'une ailette poreuse longitudinale dissipant la chaleur dans un milieu de nanofluide.

Après une connaissance des caractéristiques des nanofluides ainsi que de l'intensification des échanges thermiques (de dissipation) par voie d'ailettes pleines et puis poreuses, une modélisation classique a été reportée, puis une modélisation particulière relative aux ailettes poreuses et longitudinales a été établie.

Le modèle mathématique a été implémenté dans Matlab via le Bvp4c dédié aux équations différentielles ordinaires avec les conditions aux limites.

Les principaux résultats ont montré que:

- Un ailette poreuse longitudinale est avantageuse en rapport de l'ailette pleine en termes de performance, ce qui est économiquement bien.
- Il est préférable d'utiliser les ailettes très poreuses et moins perméables.
- Par contre, un nanofluide comme fluide récepteur de chaleur ne conduit pas à une bonne efficacité de l'ailette.
- L'efficacité de l'ailette poreuse est meilleure dès lors qu'un contraste de rapport est grand entre les conductivités thermiques de l'ailette et du fluide.

  Cependant, une optimisation suivant tel ou tel cas est nécessaire pour le bon choix des paramètres influant en termes de performances technique alliées à l'économie.

Références Bibliographiques

[1] Bougriou C (1991) Etude de transfert de chaleur par condensation d'air humide sur des tubes à ailettes. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

[2] Nacer-Bey M, Russeil S et Boudoin B (2003) Effet de l'espacement interailettes sur la structure fer à cheval en amont d'un tube muni de deux ailettes. 16ème Congrès Français de Mécanique. Nice, France .

[3] Amin Behzadmehr, Hassan Azarkish An Introduction to the NanoFluid universty of Sistan and Baluchestan, 2000.

[4] João-Paulo RIBEIRO, Jean-Antoine GRÜSS, Nanofluides pour les applications thermiques, techniques ingenieur (2009).

[5] V. Trisaksri et S. Wongwises, Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.11, N° 3,pp. 512 - 523, 2007.

[6] J. A. Eastman, S. R. Phillpot, S. U. S. Choi, et P. Keblinski, Thermal transport in nanofluids. Annual Reviews Materials Research, Vol. 34,pp. 219 - 246, 2004.

[7] Choi S.U.S., Eastman J. H., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Developments Applications of Non -Newtonians Flows, American society of Mechanical Engineers, Vol.66, pp. 99 -105, 1995.

[8] K. Khanafer, K. Vafai, M. Lightstone, Buoyancy-driven Heat Transfer Enhancement in a Two-dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids , Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.46, pp. 3639 - 3653, 2003.

[9] H.F. Oztop, E. Abu-Nada, Numerical Study of Natural Convection in Partially Heated Rectangular Enclosure Filled with Nanofluids, Int. J. Heat Fluid Flow, Vol29, pp.1326 -1336, 2008.

[10] A.H. Mahmoudi, M. Shahi, A.H. Raouf, A. Ghasemian, “Numerical Study of Natural Convection Cooling of Horizontal Heat Source Mounted in a Square Cavity Filled with

Nanofluid", International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 37, pp 1135 - 1141, 2010.

[11] A. Behzadmehr, M. Saffar-Avval et N. Galanis, Prediction of Turbulent Forced Convection of Nanofluid in a Tube With Uniform Heat Flux Using a Two Phase, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 28, N°2, pp. 211 -219, 2007.

[12] Y. Xuan et Q. Li. Heat transfer enhancement of nanofluids. International Journal of Heat fluid flow, Vol. 21N°1, 58-64, 2000.

[13] M.Bouton, Evaluation de l'intérêt énergétique des nanofluides dans l'usage des machines frigorifiques, 2012.

[14] P Vassallo, R Kumar et S D'Amico, Pool Boiling Heat Transfer Experiments in Silicia-water Nanofluids, international Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 47, pp. 407-411,2004.

[15] M. Salari, M. M. Tabar, A. M. Tabar et H. A. Danesh, Mixed convection of nanofluid flows in a square lid-driven cavity heated partially from both the bottom and side walls, Numerical Heat Transfer, Part A, Vol.62, pp. 158-177, 2012.

[16] Y. Xuan, W. Roetzel, Conception for Heat Transfer Correlation of Nanofluids , Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol.19,pp. 3701-3707, 2000.