

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA 1
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention d'un diplôme « MASTER »
Option : Energétique

THEME

**Modélisation de trois ailettes (triangulaire ,
rectangulaire , semi-sphérique) en transfert
de chaleur**

RÉALISÉ PAR :

- Mouloua Khaled
- Koul Miloud

PROMOTEUR :

Mr : ROUDANE MOHAMED

Année Universitaire
2017/2018

REMERCIEMENT

Je dédie ce travail :

A mon père qui, par ses conseils judicieux ses encouragements et sa tendresse m'a mené sur le chemin de la réussite. Pour trouver dans ce travail, récompense est très grande

A ma mère qui, par sa douceur et son amour sans limite, a su m'inculquer le sens du devoir, de la persévérance et des responsabilités. Qu'elle trouve dans cet ouvrage ma reconnaissance et mes vifs remerciements

Dédicace

✓ *Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail. Je dédie ce modeste travail :*

✓ *A mon source de douceur, de tendresse, d'amour et affection et grâce au encouragement et aux sacrifices qu'elle a consentis j'ai pu arriver à réaliser ce travail, ma très chère mère.*

✓ *A mon très cher père, pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il m'a cessé d'offrir.*

✓ *A mon chère amie et mon binôme : KOUL MILOUD .*

✓ *A tout les amis*

✓ *A Toute ma promotion.*

✓ *A tout ce qui j'aime et tout ce qu'ils m'aiment.*

Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail en termes d'amour et de profonde gratitude.

Dédicace

- ✓ *Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail.*

Je dédie ce modeste travail :

- ✓ *À mon source de douceur, de tendresse, d'amour et affection et grâce au encouragement et aux sacrifices qu'elle a consentis j'ai pu arriver à réaliser ce travail, ma très chère mère.*

- ✓ *À mon très cher père, pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il m'a cessé d'offrir.*

- ✓ *À mon chère amie et mon binôme : MOULOVA KHALED*

- ✓ *À tout les amis .*

- ✓ *À Toute ma promotion.*

- ✓ *À tout ce qui j'aime et tout ce qu'ils m'aiment.*

Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail en termes d'amour et de profonde gratitude.

DM

Résumé

Résumé :

Les ailettes thermiques jouent un rôle très important dans le domaine du transfert de chaleur et des écoulements de fluide. La conductivité thermique, l'épaisseur des ailettes et le coefficient d'échange thermique influent sur l'efficacité des ailettes.

Nous avons étudié le transfert thermique et comparé les températures de trois différents types d'ailettes. La comparaison en transfert thermique entre ces trois ailettes (rectangulaire, triangulaire, semi-sphérique) nous a permis de comprendre l'effet de la géométrie de l'ailette sur le comportement thermique dans l'environnement qui entoure chaque ailette afin de connaître la distribution de la température dans chaque point et l'état de refroidissement de la paroi.

Dans ce sens, l'ailette semi-sphérique donne les meilleurs résultats par rapport aux ailettes triangulaire et rectangulaire en termes de diminution de la température de la paroi et dégagement maximum de la chaleur autour l'ailette.

ملخص :

تلعب الزعانف الحرارية دورا مهما جدا في مجال نقل الحرارة وتدفق السوائل. تؤثر الموصلية الحرارية . سمك الزعانف ومعامل تبادل الحرارة على كفاءة الزعانف. درسنا نقل الحرارة ومقارنة درجات الحرارة بين ثلاث أنواع من الزعانف (المستطيلة، المثلثية، نصف كرة) بفهم تأثير هندسة الزعانف على السلوك الحراري في البيئة المحيطة بكل زعانف لمعرفة التوزيع لدرجة الحرارة في كل نقطة وحالة التبريد للجدار. بهذا المعنى فان الزعانف نصف الكرة تعطي أفضل نتيجة مقارنة بالزعانف المثلثية والمستطيلة من حيث تقليل درجة حرارة الجدار والإطالة القصوى للحرارة حول الزعانف.

SOMMAIRE

Résumé	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les modes de transfert chaleur

I.1.Introduction	3
I.2 Mécanismes de transfert de chaleur dans les systèmes	3
I.3.convection et Conduction et rayonnement dans une ailette	4
I.3.1Convection	4
I.3.2.Conduction	6
I.3.3.Le rayonnement.....	7

CHAPITRE II: formulation mathématique

II.1. Définition d'une ailette	9
II.2. Formes des ailettes	9
II.3. Types d'ailettes	9
II. 4. L'équation de la barre	10
II.5. Flux extrait par une ailette	12
II.6.1. Ailette rectangulaire longue de section constant	13
II.6.2. Ailette rectangulaire de section constante isolée à l'extrémité	14
II.6.3. Ailette rectangulaire de section constante avec transfert de chaleur à l'extrémité	15
II.6.4. Efficacité d'une ailette	15
II.6.4.1. Ailette rectangulaire isolée à l'extrémité	15
II.6.4.2. Ailette rectangulaire avec transfert de chaleur à l'extrémité	16
II.6.4.3. Ailette circulaire de section rectangulaire	16
II.6.5. Choix des ailettes	17
II.7. Modèle physique d'ailette triangulaire	17
II.7.1. Les conditions aux limites	19
II.7.2. convection avec des contraintes simplifiées	19

SOMMAIRE

II.7.3. L'efficacité de l'ailette	20
II.8. Modèle physique d'ailette semi-sphérique	20
II.8.1. Les caractéristiques de domaine physique de l'écoulement	21
II.8.2. équation de bilan	21
II.8.3. Modélisation finale	22
IV.8.4. Le lien entre l'humidité et de la chaleur	22
II.8.5. Présentation de modèle mathématique	23
II.9. Thermique de l'ailette	23
II.9.1. Distribution de la température dans l'ailette	23
II.9.1.1. Cas où l'on considère la convection au bout de l'ailette	25
II.9.1.2. Cas où l'on impose la température ou bout de l'ailette	25
II.9.1.3. Cas où l'on considère la température ou bout de l'ailette adiabatique	25
II.9.1.4. Cas limite d'une ailette infinie	26
II.9.2. Coefficient de convection	26
II.9.3. Ailette à profil optimal	27
II.10. Rendement de l'ailette	28
II.11. Résistance de l'ailette	29
II.12. expression des efficacités des ailettes suivant le type et la forme	30
II.12.1. Définition L'efficacité de l'ailette	30

Chapitre III: Method numérique

Introduction	32
III.1. La mécanique des fluides numérique (MFN)	32
III.1.1. Méthode de travail	33

SOMMAIRE

III.1.2. Applications de la CFD	34
III.1.3. Méthodes de discrétisation	34
III.1.3.1. Méthodes de différences finies	34
III.1.3.2. Méthode des volumes finis	34
III.1.3.3. Méthode des éléments finis	34
III.1.4. Principe de la méthode des volumes finis	34
III.2. ANSYS, In	35
III.2.1. Principaux produits	35
III.2.2. Les Modules d'ANSYS	35
III.3. ANSYS CFX	35
III.4. Environnements logiciels	36
III.5. Mettre en place une simulation à l'aide d'ANSYS CFX se fait en 4 étapes	36
III.5.1. ANSYS ICEM	37
III.5.2. CFX-pre	37
III.5.3 CFX-solve	39
III.5.4 Organigramme de mise en œuvre d'un calcul	41
III.5.4. CFX-post	42

Chapitre IV : résultats et discussions

IV.1. Les caractéristiques de domaine physique de l'écoulement	43
IV.2 Profils et contours de la température	44
IV.2.1. Profils et contours de la température sans ailette	44
IV.2.2. Profils et contours de la température dans une ailette triangulaire.....	45
IV.2.3. Profils et contours de la température dans une ailette rectangulaire	46
IV.2.4. Profils et contours de la température dans une ailette demi-sphérique.....	47
IV.3. Comparaison entre les profils de température pour les trois ailettes	48
IV.3.1. Profils de température pour $y=0.5$	48

SOMMAIRE

IV.3.2. Profils de température pour $y=0.7$	49
IV.3.3. Profils de température pour $y=1$	50
IV.4. Profils de température sans ailette et avec ailette pour $y=0.5$	51
Conclusion générale.....	52

Liste des tables

Tableau II.1 : Ordre de grandeur des coefficients de transfert convectif h ...28

Tableau II. 2 : Expressions des efficacités des ailettes et des épines32

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma du transfert de chaleur convectif	5
Figure I.2 : Schéma du transfert de chaleur conductif	6
Figure I. 3 : Schéma du transfert de chaleur radiatif	7
Figure II.1 : Types d'ailettes [2](a) ailette longitudinale à profil rectangulaire, (b) tube cylindrique avec ailette de type (a), ailette longitudinale à profil triangulaire(c) ; parabolique (d),Tube cylindrique équipé d'une ailette radiale à profil rectangulaire(e) trapézoïdal(f) Épine cylindrique(g) ; conique(h), parabolique (i)	10
Figure II.2: Représentation d'une barre encastree et schéma simplifié	10
Figure II.3 : Représentation des flux élémentaires sur une barre encastree.....	11
Figure .II.4. Schéma d'une ailette rectangulaire.....	13
Figure .II.5. Schéma d'une ailette triangulaire	19
Figure : II.6.Schéma d'une ailette demi-sphérique	20
Figure II.7: Distribution des températures le long d'une ailette. [3]	23
Figure II.8 : Schématisation d'une ailette	24
Figure III.1 : Les modules principaux du CFX	36
Figure III.2 : Domaine de calcul par ICEM-CFX	37
Figure III.3 : Interface graphique du module CFX-pre	37
Figure III.4 : Interface graphique du module CFX-Solver.	39
Figure III.5: Organigramme de mise en œuvre d'un calcul (Source : documentation CFX)...	41
Figure III.6 : Interface graphique du module CFX-post.	42
Figure. IV.1. domaine de calcule	43
Figure .IV.2.Distribution de la température pour différentes position le long (sans ailette)...	44
Figure.IV .3.contours de la température sans ailette.....	44
Figure .IV .4.Distribution de la température pour différentes position le long d'une ailette triangulaire	45
Figure .IV .5.contours de la température au tours de l'ailette triangle	45
Figure .IV.6. Distribution de la température pour différentes position le long d'une ailette rectangulaire	46
Figure.IV .7.contours de la température au tours de l'ailette rectangle	46

Liste des figures

Figure .IV.8. Distribution de la température pour différentes position le long d'une ailette demi-sphérique.....	47
Figure .IV .9.contours de la température au tours de l'ailette demi-sphère	47
Figure .IV.10.Distribution de la température le long des trois ailettes pour $y=0.5$	48
Figure .IV.11.Distribution de la température le long des trois ailettes pour $y=0.7$	49
Figure .IV.12.Distribution de la température le long des trois ailettes pour $y=1$	50
Figure .IV.13.Distribution de la température sans ailette et le long de trois ailette pour $y=0.5$	51

NOMENCLATURE

NOMENCLATURE

CP	Chaleur spécifique	[J/Kg.K]
h	Hauteur de l'ailette	[m]
Nu	Nombre de Nusselt	
P	Pression adimensionnel	
P	Pression	[Pa]
Pe	Nombre de Peclet	
Pr	Nombre de Prandlt	
Q	Flux de chaleur	[J]
Re	Nombre de Reynolds	
T	Température	[K]
T	Temps	[s]
U	Vitesse adimensionnelle suivant	X
V	Vitesse adimensionnelle suivant	Y
u	Vitesse suivant x	[m/s]
v	Vitesse suivant y	[m/s]
x ,y	Coordonnée cartésien	[m]
X ,Y	Coordonnée adimensionnelle	
W	épaisseur de l'ailette	[m]
λ	conductivité thermique	[w.m ⁻¹ k ⁻¹]
δ_b	épaisseur amusante à sa base	[m]
η	efficacité de l'ailette	%
i_{fg}	la chaleur latente de vaporisation de l'eau	J/Kg
ε_f	rendement de l' ailette	%
L	longueur de l'ailette	[m]

SYMBOLES GREQUES

SYMBOLES GREQUES

α	Diffusion thermique	[m ² /s]
ν	Viscosité dynamique	[kg/m.s]
ρ	Masse volumique	[kg/m ³]
θ	Température adimensionnelle	
\emptyset	Variable dépendante générale	[m/s] ; [K]
ν	Viscosité cinématique	[m ² /s]

Introduction générale :

Un nombre de plus en plus important de disciplines technologiques sont concernées par des transitions d'énergie exigeant le mouvement rapide de la chaleur. Elles produisent une demande en expansion des composants de transferts de chaleur à rendement élevé, avec progressivement des poids, des volumes, des couts plus petits. Le transfert de chaleur avec ces surfaces prolongées est l'étude de ces composants à rendement élevé en termes de transfert de chaleur.

Dans le design et la construction de divers types d'équipement de transfert de chaleur, des géométries simples comme des cylindres, des bars, et des plaques sont utilisées pour mettre en application l'écoulement de la chaleur entre la source et le dispositif, ils fournissent des surfaces absorbantes ou rejetâtes de chaleur, et chacune est connue comme surface principale. Quand une surface principale est prolongée par des annexes intimement liées à elle, la surface additionnelle est connue en tant que surface prolongée. Dans quelques disciplines, la surface principale et son extension sont connues collectivement comme surface prolongée pour les distinguer des surfaces principales utilisées seules.

Les éléments employés pour prolonger les surfaces principales sont connus sous le nom d'ailettes. Quand ces ailettes sont coniques ou cylindriques, on peut les nommer des épines ou des piquets.

Donc l'ailette, comme son nom l'indique est un appendice en métal que l'on dispose sur un dispositif que l'on désire refroidir efficacement. L'idée est d'augmenter la surface d'échange.

L'ailette a pour fonction d'amplifier les échanges de chaleur entre un mur plan et un fluide extérieur. Le transfert entre l'ailette et le mur se fait par conduction, alors que les échanges avec le fluide extérieur ont lieu par convection.

Elles sont généralement utilisées sur des surfaces où le coefficient de transfert Thermique est faible.

L'intensification de l'échange thermique dans l'ailette peut être accomplie à travers les techniques suivantes :

- 1- Augmenter la superficie de la surface par rapport au volume.
- 2- Augmenter la conductivité thermique de l'ailette.
- 3- Augmenter le coefficient de transfert de chaleur par convection entre la surface de L'ailette solide et le fluide environnant.

4) Favoriser la turbulence pour détruire la couche limite thermique.

Dans la littérature, des matériaux poreux d'une grande conductivité thermique ont été utilisés pour augmenter la performance thermique de différents systèmes thermiques.

Récemment, l'apparition du concept d'utilisation d'ailettes poreuses pour augmenter le transfert de chaleur a suscité un engouement considérable.

Les applications sont diverses, on peut trouver des ailettes dans la réfrigération, les processus cryogénique, dans le matériel électrique et électronique, dans les fours et les turbines à gaz, dans les chaudières et les dissipateurs de chaleur.

On peut les voir sur les radiateurs, le radiateur de voiture, une casserole et son manche sont en fait deux ailettes, sur les microprocesseurs qui est une application très contemporaine (on met une plaque recouverte d'ailettes sur certains microprocesseurs pour augmenter la surface de refroidissement ; dont la tendance à l'échauffement est combattue par un abaissement de la tension de fonctionnement d'une part et par des radiateurs à ailettes d'autre part).

Dans ce mémoire n'étudie les distributions des ailettes(semi-sphérique ,triangulaire, rectangulaire) ou a lieu un transfert convectif de chaleur ce dispositif peut-être avantageux dans des nombreuses applications

Pour ce faire, on a organisé le travail de la manière suivante :

- Le Première chapitre on aborde le transfert de chaleur dans les ailettes :à savoir trois modes de transfert de la chaleur la conduction, la convection et le rayonnement. Et Voir aussi les trois modes de condensation, en film en gouttes et condensation mixte
- Dans le deuxième chapitre on présente des généralités sur les ailettes : la forme et le type des ailettes et les formules de transfert de chaleur, calcul des distributions des températures des ailettes
- Le troisième chapitre on présente dans ce chapitre comment fonctionne le programme (Ansys cfx) et comment faire ces calculs et acquis une petite expérience
- Le quatrième chapitre en fait les résultats de simulation et discussion sont présentés.
- A la fin, une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus.

Généralités sur les modes de transfert chaleur

I.1.Introduction :

La théorie du transfert de la chaleur est une science qui étudie la façon dont la chaleur se propage d'une région à 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.

Le transfert de chaleur reste un domaine très vaste et compliqué car dans les processus réels, les trois modes fondamentaux du transfert à savoir, la conduction, la convection et le rayonnement interviennent simultanément.

L'amélioration du transfert de chaleur d'un système avec le milieu extérieur joue un rôle pertinent dans la conception thermique des appareillages, cette amélioration se fait par le biais des ailettes.

Le calcul et la conception des ailettes trouvent leurs places un champ très vaste extrêmement variées. On peut citer par exemple, les échangeurs thermiques, le refroidissement des composantes électroniques, etc.

Le but de notre travail est le calcul de la température de quelques ailettes de formes géométriques simples (triangulaire ,rectangulaire ,demi-sphérique) , Ce choix n'est pas exhaustif, les formes géométriques choisies sont les plus fréquemment rencontrées dans les appareillages thermiques.

I.2 Mécanismes de transfert de chaleur dans les systèmes :

Afin de maintenir sa température dans des limites où la performance et le Fonctionnement ne sont pas compromis, le refroidissement d'un composant générant de la chaleur est essentielle. D'une manière générale, un transfert de chaleur a lieu par trois mécanismes qui sont la conduction, la convection et rayonnement En matière d'évacuation de chaleur par conduction, la technique des plaques de fibres de carbone orientées (conduction anisotrope) est incontestablement la plus performante, mais à ce jour réservée à l'aéronautique et au spatial

pour une question de coût. Plus usuellement, la chaleur est transmise à l'air ambiant par des radiateurs et des ventilateurs.

Si la charge thermique imposée à l'air ambiant est trop importante, on confine cette chaleur directement dans un fluide caloporteur par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur.

Le transfert de chaleur au fluide réfrigérant peut alors fonctionner soit en mode monophasique en utilisant un liquide ou un gaz (eau simple, eau + glycol, CO₂...), soit en mode diphasique (C4 F10, glace binaire (mélange d'eau, méthanol et glace)...))

I.3. Convection et Conduction et rayonnement dans une ailette :

I.3.1. Convection :

Lorsqu'au sein d'un même fluide (liquide ou gaz) se produit une différence de température, la densité du fluide n'est plus égale partout du fait de la poussée d'Archimède "Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de ce fluide une poussée verticale dirigée du bas vers le haut, égale au poids du volume de fluide déplacé", cette différence de densité produit un mouvement au sein du liquide. Ce mouvement de brassage, dans lequel les parties les plus chaudes du fluide ont tendance à s'élever et les parties froides et denses à descendre, s'appelle convection, plus précisément la convection naturelle.

Les mouvements dus uniquement à des différences de température du fluide constituent la convection naturelle comme les mouvements des grandes masses d'air autour de la terre, l'action des vents, la formation des nuages, les courants océaniques ou plus simplement le phénomène d'aspiration d'une cheminée.

La convection forcée est obtenue en soumettant le fluide à une augmentation de pression, qui favorisera le brassage du fluide.

Lorsqu'un fluide de température T_{∞} est placé en contact avec une surface S de température TP, il se crée un flux de chaleur q de la zone chaude vers la zone froide donné par la relation suivante :

$$\varphi = h S (TP - T_{\infty}) \quad (I.1)$$

φ : le flux de transfert de chaleur par convection (Wm^{-2})

h : coefficient d'échange thermique ($W.m^{-2}.K^{-1}$)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide ($^\circ C$)

T_p : Température de surface du solide ($^\circ C$)

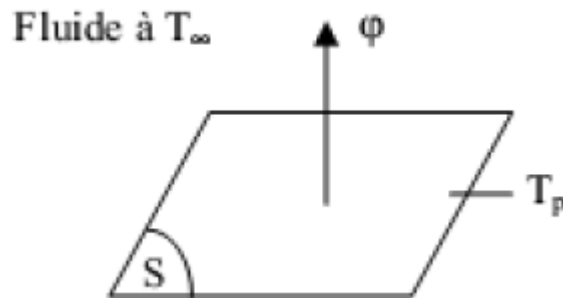


Figure I.1 : Schéma du transfert de chaleur convectif

On remarque clairement dans cette relation que deux facteurs favorisent la convection : la surface de contact et le coefficient h .

Le coefficient h , exprimé en $W / (m^2 \cdot K^{-1})$, est la conductance thermique de convection, ou

Coefficient d'échange thermique par convection. Ce coefficient est assez difficile à calculer car il dépend de la conduction entre les particules du fluide qui se rencontrent et le mélange naturel et/ou forcé du fluide.

Au niveau de la surface de contact on observe un phénomène de conduction entre le solide et le fluide, il est cependant exclu des calculs car il est moindre comparé au transfert convectif.

De façon générale la convection dépend de la surface de contact et des caractéristiques du fluide :

- Vitesse du fluide
- Masse volumique du fluide
- Viscosité dynamique du fluide
- Conductivité thermique du fluide

Concernant la convection entre un radiateur et l'air, on ne peut évidemment pas choisir le fluide en question. Par contre on peut agir sur sa vitesse à l'aide d'un ventilateur mais il ne faut pas non plus que le ventilateur soit trop puissant sinon, on risque une perte de charges trop

importante. Il en va de même pour un système à refroidissement liquide (parfois appelé water-cooling), la pompe ne doit pas être sur dimensionnée par rapport au système. [11]

I.3.2. Conduction :

La conduction thermique est le phénomène de transport de la chaleur mis en jeu dans les solides ; elle est également présente dans les liquides immobiles et à un moindre degré dans les gaz. Le phénomène microscopique (à l'échelle atomique) intervenant dans la conduction thermique est la propagation de l'agitation thermique des particules des zones plus chaudes vers celles des zones plus froides. Le mécanisme microscopique consiste dans la vibration moléculaire ou atomique (liquides, gaz) et la vibration cristallin ainsi que dans le déplacement des électrons libres (métaux).

La conduction thermique est donc le phénomène par lequel l'énergie est transférée des zones à haute température vers des zones à basse température. La loi de Fourier (pour un milieu isotrope, à travers une surface isotherme) montre que le flux thermique, par conduction, dans une direction donnée est proportionnel à l'aire S

normale à la direction du flux thermique et au gradient de température à cette direction. Le flux thermique, conformément à la loi de Fourier est donné par la relation :

$$\varphi = \frac{\lambda S}{e}(T_2 - T_1) \quad \text{I.2}$$

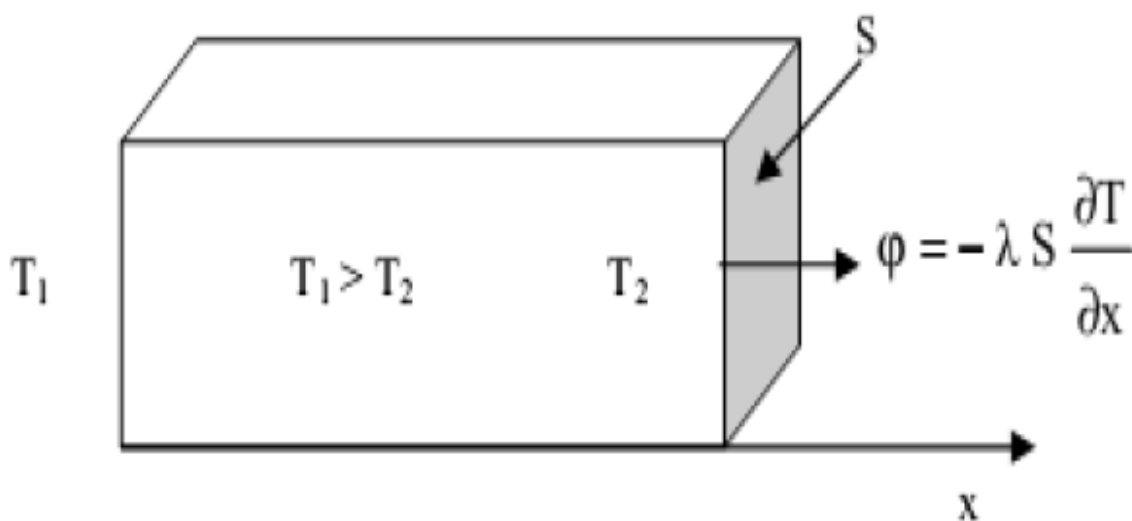


Figure I.2 : Schéma du transfert de chaleur conductif

Le coefficient de proportionnalité, appelé coefficient de conductivité thermique, dépend de la substance (nature, structure, température, pression, densité, etc.) ; il se

mesure en Wm^2/K et il est toujours positif car la chaleur se transmet des zones chaudes vers les zones froides. Si la température décroît dans la direction positive x , alors dT/dx est négatif.

Le flux thermique ϕ_x et la densité du flux thermique φ_x étant des quantités positives dans la direction positive x

En général la conductivité thermique varie en fonction de la température. A des basses températures, cette variation peut être négligée. [11]

I.3.3. Le rayonnement :

Le rayonnement est l'émission par un corps d'ondes électromagnétiques qui sont les vecteurs de ce transfert de chaleur. Les ondes sont émises dans toutes les directions et appartiennent au domaine de l'infrarouge et du visible. Aucun support matériel n'est nécessaire pour leur propagation.

Tous les corps, quel que soit leur état : solide, liquide ou gazeux, émettent un rayonnement de nature électromagnétique. Cette émission d'énergie s'effectue au détriment de l'énergie interne du corps émetteur

Le rayonnement se propage de manière rectiligne à la vitesse de la lumière, il est

Constitué de radiations de différentes longueurs d'onde [12]

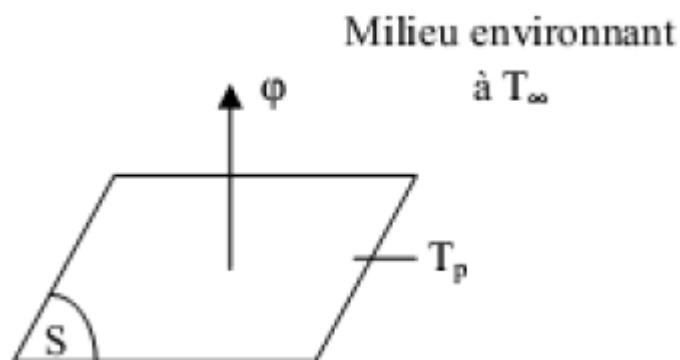


Figure I. 3 : Schéma du transfert de chaleur radiatif

$$\varphi_r = \delta \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4)$$

I.3

Avec

φ_r : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ : Constante de Stefan ($5,67.10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{k}^{-4}$)

ε_p : Facteur d'émission de la surface

T_p : Température de la surface (K).

T_∞ : Température du milieu environnant la surface (K).

S : Aire de la surface (m^2)

CHAPITRE II: formulation mathématique

II.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

II.2. Formes des ailettes :

Les formes des ailettes sont tellement variées qu'il est important de les citer. WEBB, BERGLES et JUNKHAN identifient 329 formes d'ailettes brevetées aux U. S. A. [1] l'auteur note qu'il existe plus de 180 profils et géométrie d'ailette en Aluminium dans le monde. La recherche de nouvelles formes est en développement continu. On distingue classiquement les formes :

- Rectangulaire,
- Triangulaire,
- Parabolique,
- Hyperbolique,

Qui constituent les géométries de base. Elles sont des modèles d'études du point de vue géométrique, et elles sont considérées comme référence en termes de performance. De nouveaux modèles physiques dans la catégorie des échangeurs à plaques sont apparus ces dernières années avec un impact considérable du point de vue pouvoir d'échange

II.3. Types d'ailettes :

Plusieurs structures d'ailettes ont été développées, chacune ayant des caractéristiques Particulières et le choix est en fonction de ce que l'on souhaite minimiser ou maximiser . (Performances pures, puissance de la pompe, perte de charge,...) telle ou telle structure Sera plus adaptée car elles ont chacune leur point fort. La fig.1 nous illustre quelques Types classiques.

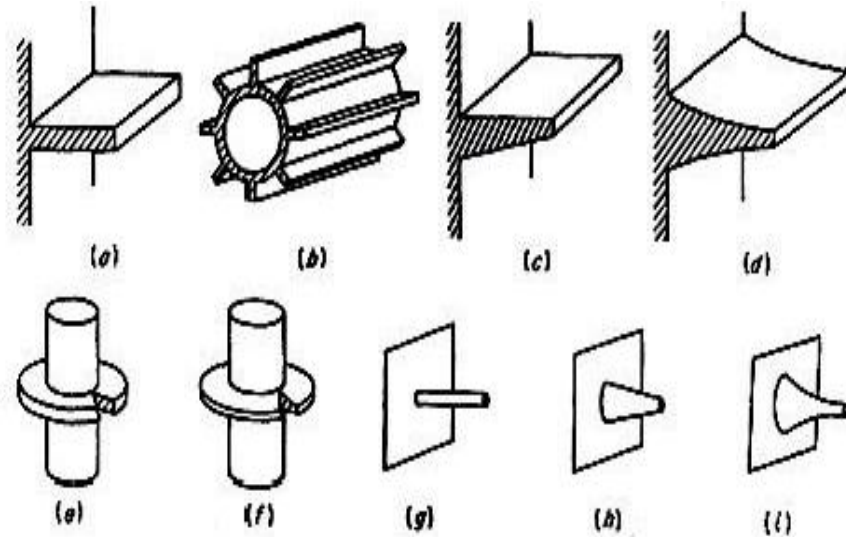


Figure II.1 : Types d'ailettes [2](a) ailette longitudinale à profil rectangulaire, (b) tube cylindrique avec ailette de type (a), ailette longitudinale à profil triangulaire(c) ; parabolique (d),Tube cylindrique équipé d'une ailette radiale à profil rectangulaire(e) trapézoïdal(f) Épine cylindrique(g) ; conique(h), parabolique (i)

II. 4. L'équation de la barre:

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 T_0 et baignant dans un fluide à température T_∞ .

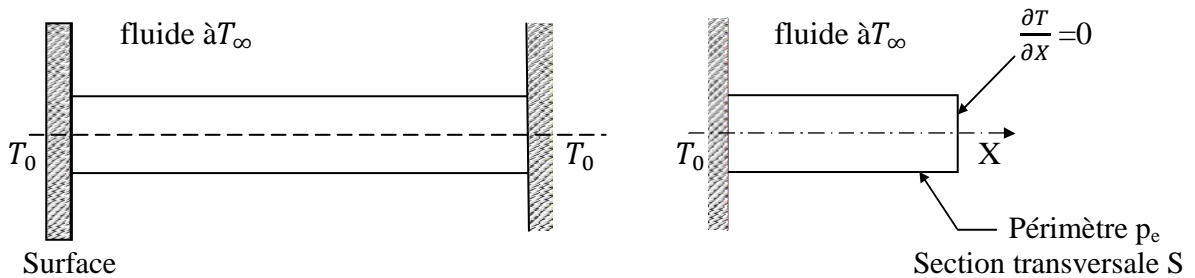


Figure II.2: Représentation d'une barre encastrée et schéma simplifié

CHAPITRE II: formulation mathématique

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_∞ (cf figure 2.18).

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 T_0 .

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) :

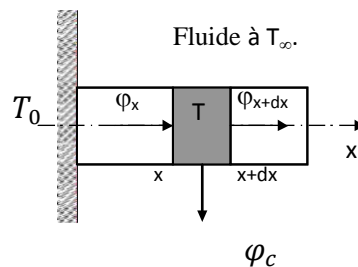


Figure II.3 : Représentation des flux élémentaires sur une barre encadrée

Avec :

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

$$\phi_x = - \left(\lambda \cdot s \frac{dT}{dx} \right)_x \quad \text{II.1}$$

ϕ_{x+dx} : Flux de chaleur transmis par conduction à l'abscisse $x+dx$

$$\phi_{x+dx} = - \left(\lambda \cdot s \frac{dT}{dx} \right)_{x+dx} \quad \text{II.2}$$

ϕ_c Flux de chaleur transmis par convection à la périphérie de la barre entre x et $x+dx$

$$\phi_c = h \cdot P_e \cdot dx [T_{(x)} - T_\infty] \quad \text{II.3}$$

Le bilan d'énergie s'écrit :

$$\phi_x = \phi_{x+dx} + \phi_c \quad \text{II.4}$$

Soit :

$$- \left(\lambda \cdot s \frac{dT}{dx} \right)_x + \left(\lambda \cdot s \frac{dT}{dx} \right)_{x+dx} = h \cdot P_e \cdot dx [T_{(x)} - T_\infty] \quad \text{II.5}$$

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

CHAPITRE II: formulation mathématique

$$\lambda \cdot S \frac{\left(\frac{dT}{dx}\right)_x + dx - \left(\frac{dT}{dx}\right)_x}{dx} = h \cdot p_e [T(x) - T(\infty)] \quad \text{II.6}$$

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

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{h \cdot p_e}{\lambda \cdot S} (T(x) - T_\infty) = 0 \quad \text{II.7}$$

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

II.5. Flux extrait par une ailette:

Une ailette est un milieu bon conducteur de la chaleur dont une dimension est grande devant les autres, exemple : barre d'épaisseur e et de longueur L , avec $e \ll L$. Elles sont utilisées à chaque fois que des densités de flux élevées sont à transmettre dans un encombrement réduit : refroidissement de composants électroniques, refroidissement d'un moteur par air,...

On a établi l'équation différentielle vérifiée par la température $T(x)$ d'une ailette encastrée dans un mur à la température T_0 et baignant dans un fluide à la température T_∞ :

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{h \cdot p_e}{\lambda \cdot S} (T(x) - T_\infty) = 0 \quad \text{II.7}$$

En posant : $\omega^2 = \frac{h \cdot p_e}{\lambda \cdot S}$ et $\theta = T(x) - T_\infty$ elle peut encore s'écrire:

$$(d^2\theta/dx^2) - \omega^2 \cdot \theta = 0$$

Si la section S est constante, c'est une équation différentielle du 2^{ème} ordre à coefficients constants dont la solution générale est de la forme :

$$\theta = A \cdot \exp(\omega \cdot x) + B \cdot \exp(-\omega \cdot x) \quad \text{II.8}$$

où

$$\theta = A_1 \cdot \cosh(\omega \cdot x) + B_1 \cdot \sinh(\omega \cdot x) \quad \text{II.9}$$

II.6.1. Ailette rectangulaire longue de section constant:

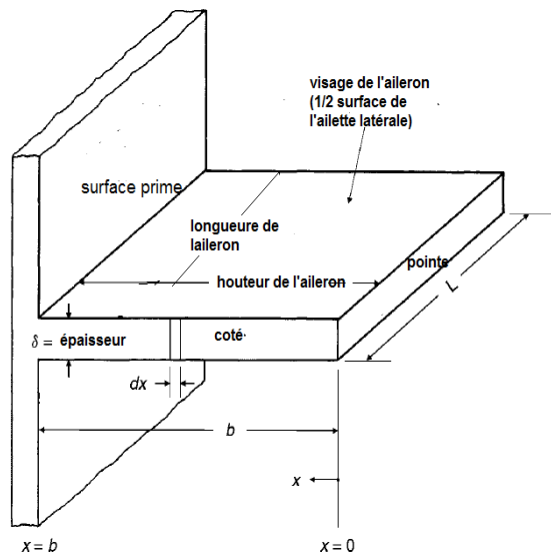


Figure .II.4. Schema d'une ailette rectangulaire

Dans le cas de l'ailette longue, on émet l'hypothèse que : $T(x=L) = T_\infty$, où L est la longueur de l'ailette. Les conditions aux limites s'écrivent alors :

$$\text{en } x = 0 : \theta(0) = T_0 - T_\infty \quad (\text{a})$$

$$\text{en } x = L : \theta(L) = 0 \quad (\text{b})$$

$$(\text{b}) \Rightarrow A = 0$$

$$(\text{a}) \Rightarrow B = T_0 - T_\infty$$

$$\text{D'où : } \frac{T(x) - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \exp.(\omega \cdot x) \quad \text{II.10}$$

Le flux dissipé sur toute la surface de l'ailette peut être calculé par intégration du flux de convection local :

$$\varphi_p = \int_0^L h \cdot p_e [T(x) - T_\infty] dx \quad \text{II.11}$$

Ou plus facilement en remarquant que dans le cas du régime permanent, c'est le même que celui transmis par conduction à la base de l'ailette soit :

$$\varphi_p = \sqrt{h \cdot P_e \cdot \lambda \cdot s \cdot (T_0 - T_\infty)} \quad \text{II.12}$$

II.6.2. Ailette rectangulaire de section constante isolée à l'extrémité:

La solution générale obtenue est identique au cas précédent, ce sont les conditions aux limites qui diffèrent :

$$\begin{cases} T(x=0) = T_0 \\ -h s \left(\frac{dT}{dx}\right) = 0 \end{cases} \text{ conservation du flux de chaleur (x=L)}$$

$$\text{La solution s'écrit : } \frac{T(x)-T(\infty)}{T_0-T_\infty} = \cosh(\omega \cdot x) - \tanh(\omega \cdot L) \sinh(\omega \cdot x) = \frac{\cosh[\omega \cdot (L-x)]}{\cosh(\omega \cdot L)} \quad \text{II.13}$$

Et le flux total dissipé par l'ailette a pour expression :

$$\varphi_p = \omega \cdot \lambda \cdot s \cdot \tanh(\omega \cdot L) (T_0 - T_\infty) \quad \text{II.14}$$

Remarque : si l'épaisseur e de l'ailette est faible devant sa largeur ℓ ,

$$\omega \approx \sqrt{\frac{2 \cdot h}{\lambda \cdot e}} \quad \text{II.15}$$

II.6.3. Ailette rectangulaire de section constante avec transfert de chaleur à l'extrémité:

La solution générale obtenue est identique au cas 2.3.2.1, ce sont les conditions aux limites qui diffèrent:

$$\begin{cases} T(x=0) = T_0 \\ -h \cdot s \cdot \left(\frac{dT}{dx}\right) = h \cdot s [T(x=L) - T_\infty] \end{cases}$$

La solution s'écrit :

$$\frac{T(x)-T(\infty)}{T_0-T_\infty} = \frac{\cosh[\omega \cdot (L-x)] + \frac{h}{\omega \cdot \lambda} \sinh[\omega \cdot (L-x)]}{\cosh(\omega \cdot L) + \frac{h}{\omega \cdot \lambda} \sinh(\omega \cdot L)} \quad \text{II.16}$$

Et le flux total dissipé par l'ailette a pour expression :

$$\varphi_p = \omega \cdot \lambda \cdot s (T_0 - T_\infty) \frac{\tanh(\omega \cdot L) + \frac{h}{\omega \cdot \lambda}}{1 + \frac{h}{\omega \cdot \lambda} \tanh(\omega \cdot L)} \quad \text{II.17}$$

CHAPITRE II: formulation mathématique

Remarque :

Dans le cas où l'épaisseur e de l'ailette est faible devant sa largeur ℓ (ce qui est en général vérifié) :

$$\frac{h}{\omega \cdot \lambda} = \sqrt{\frac{h \cdot e}{\lambda}}$$

Les ailettes étant en général réalisées en matériau bon conducteur (λ élevé) et ayant une épaisseur .

II.6.4 Efficacité d'une ailette:

Elle définit les performances d'une ailette en comparant le flux dissipé à celui qui serait dissipé dans une ailette de mêmes dimensions mais dont la température serait uniforme et égale à celle de la base (conductivité thermique $\lambda \rightarrow \infty$, pas de résistance thermique de conduction donc pas de chute de température dans l'ailette).

Le flux échangé par cette ailette idéale serait :

$$\varphi_{max} = h \cdot p_e \cdot L (T_0 - T_\infty) \quad \text{II.18}$$

pour une ailette rectangulaire de périmètre p_e et de longueur L

$$\varphi_{max} = 2 \cdot h \cdot \pi (r_e^2 - r_0^2) (T_0 - T_\infty) \quad \text{II.19}$$

pour une ailette circulaire de rayon de base r_0 et de rayon externe r_e .

L'efficacité de l'ailette s'écrit donc :

$$\eta = \frac{\varphi_p}{\varphi_{max}} \quad \text{II.20}$$

Nous en déduisons les relation suivants:

$$\eta = \frac{1}{\omega \cdot L} \quad \text{II.21}$$

I.6.4.1 Ailette rectangulaire isolée à l'extrémité :

$$\eta = \frac{\tanh \omega \cdot L}{\omega \cdot L} \quad \text{II.22}$$

II.6.4.2 Ailette rectangulaire avec transfert de chaleur à l'extrémité :

$$\eta = \frac{\tanh(\omega.L) + \frac{h}{\lambda.\omega}}{\omega.L + \frac{h.L}{\lambda} \tanh \omega.L} \quad \text{II.23}$$

$$\text{Avec } \omega = \sqrt{\frac{h.p_e}{\lambda.s}}$$

II.6.4.3 Ailette circulaire de section rectangulaire :

$$\eta = \sqrt{\frac{2.\lambda.e}{h.r_0^2}} \frac{1}{\frac{r_e^2}{r_0^2} - 1} \frac{I_1(r_e.\omega) K_1(r_0.\omega) + I_1(r_0.\omega) K_1(r_e.\omega)}{I_1(r_e.\omega) K_0(r_0.\omega) + I_0(r_0.\omega) K_1(r_e.\omega)} \quad \text{II.24}$$

$$\text{Avec : } \omega = \sqrt{\frac{2.h}{\lambda.e}}$$

Dans le cas de géométries plus complexes (ailettes à section variable, ailettes aiguilles...), il existe des formules ou des abaques (cf. annexe II.8.3) permettant de déterminer l'efficacité des ailettes et ensuite le flux de chaleur φ_p extrait par l'ailette grâce à la relation : $\varphi_p = \eta \varphi_{\max}$.

Remarque : Résistance thermique d'une ailette

Des relations

$$\eta = \frac{\varphi_p}{\varphi_{\max}} \quad \text{et} \quad \varphi_{\max} = h.s_e(T_0 - T_{\infty})$$

$$\text{on déduire :} \quad \varphi_p = \frac{T_0 - T_{\infty}}{\frac{1}{\eta.h.s_e}}$$

Où S_e est la surface d'échange entre l'ailette et le fluide.

La résistance thermique globale entre la base de l'ailette à la température T_0 et le fluide à la température T_{∞} s'écrit donc :

$$R_{\text{ailette}} = \frac{1}{\eta.h.s_e}$$

II.6.5.Choix des ailettes:

Les ailettes sont utilisées lorsqu'il faut extraire une densité de flux importante dans un encombrement réduit, exemples : radiateur d'automobile, carter de moteur refroidi par air, évaporateur de climatiseur,...

D'une façon générale, l'usage des ailettes est :

- peu utile pour les liquides car h est grand,
- utile dans le cas des gaz car h est faible.

Des ailettes étroites et rapprochées sont meilleures que des ailettes plus grandes et espacées mais on est limité par les pertes de charges (elles augmentent si l'on diminue trop l'écartement des ailettes). L'ailette est d'autant plus performante que sa conductivité thermique λ est élevée. Le choix des ailettes est alors un compromis entre le coût, l'encombrement, les pertes de charge et le transfert de chaleur.

II.7.Modèle physique d'ailette triangulaire :

Pour l'ailette longitudinale du profil triangulaire montré à la figure(II.7), il est noté que l'exposant sur le profile générale de l'aileron de l'équation (II.39) satisfait la géométrie lorsque $n=0$ la fonction de profil pour cette ailette devient alors.

$$dq = k \frac{d[f_1(x) \frac{dT}{dx}]}{dx} \quad \text{II.25}$$

$$dq = h.P(T - T_s)dx = 2. h[L + f_2(x)](T - T_s)$$

on a $L \gg f_2(x)$ danc

$$dq = 2. h. L(T - T_s)dx \quad \text{II.26}$$

$$\theta = T - T_s \quad , \quad d\theta = dT$$

$$k \frac{d[f_1(x) \frac{d\theta}{dx}]}{dx} = 2. h. L. \theta. dx$$

$$f_1(x) \frac{d^2\theta}{dx^2} + \frac{df_1(x)}{dx} \frac{d\theta}{dx} - \frac{2.h}{k} \theta = 0 \quad \text{II.27}$$

CHAPITRE II: formulation mathématique

Avec $f_1(x) = 2.L.f_2(x)$

$$2 L f_2(x) \frac{d^2\theta}{dx^2} + \frac{2.L.d.f_1(x)}{dx} \frac{d\theta}{dx} - \frac{2h}{k} \theta = 0 \quad \text{II.28}$$

$$f_2(x) = \frac{\delta_b}{2} \left(\frac{x}{b}\right)^{(1-2n)/(1-n)} \quad \text{II.29}$$

$$\text{Et } \frac{df_2(x)}{dx} = \frac{\delta_b}{2.b}$$

Quand ceux-ci sont substitués dans equ (II.38), le différentiel régissant pour l'excès de température,

$$\theta(x) = T(x) - T_s$$

$$x \frac{d^2\theta}{dx^2} + \frac{d\theta}{dx} - m^2.b.\theta = 0 \quad \text{II.30}$$

Ou encore, $m = (2.h/k.\delta)^{1/2}$.

Equation (II.30) est une équation différentielle ordinaire de second ordre à coefficients variables. Comme indiqué dans la section A ,la solution générale est :

$$\theta(x) = C_1.I_0(2.m\sqrt{b.x}) + C_2.K_0(2.m\sqrt{b.x}) \quad \text{II.31}$$

Et on peut observer que pour avoir un excès de temperature finie à l extrémité de la nageoire ou $x=0$, la canstante arbitraire C_2 doit etre à zéro car $K_0(0)$ est limité ça part

$$\theta(x) = C_1.I_0(2.m\sqrt{b.x})$$

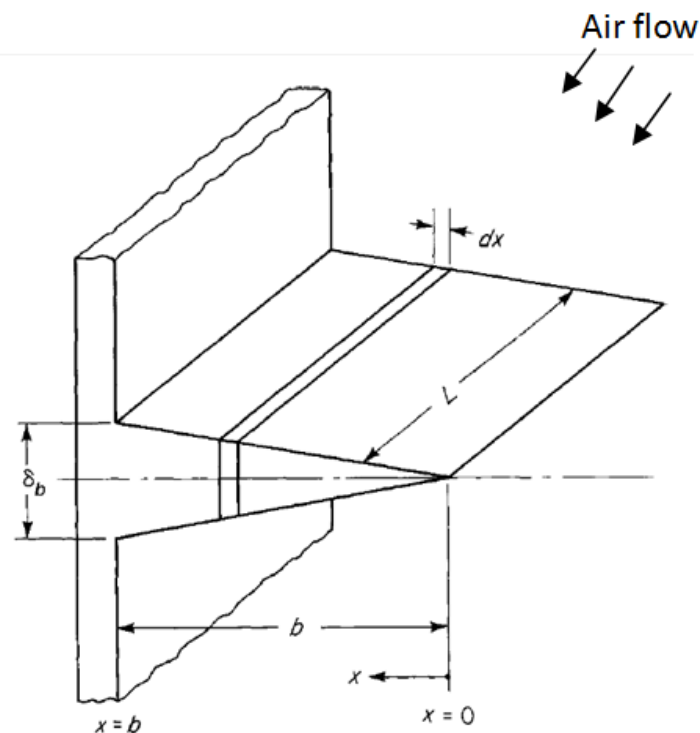


Figure .II.5. Schema d'une ailette triangulaire

II.7.1. Les conditions aux limites :

$$\begin{cases} x=0 , \frac{d\theta}{dx} = 0 \\ x=b , \theta = \theta_b \end{cases}$$

II.7.2.convection avec des contraintes simplifiées :

C_1 est évalué en utilisant la condition aux limites de la solution partic

$$\theta(x) = \frac{\theta_b I_0(2 m \sqrt{b x})}{I_0(2 m b)} \tag{II.32}$$

(La chaleur disséminée par la nageoire doit être égale au flux de chaleur à travers la base de la nageoire et est obtenue en utilisant l'équation (II.32) en notant que $A = \delta_b L$, écrire l'expansion de la série de fonctions Bessel pour

$I_0(2 m \sqrt{b x})$ différencier terme par terme, et évaluer le dérivé à $x=b$ le résultat est

$$q_b = k \cdot A \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=b} = \frac{2 \cdot h \cdot L \cdot \theta_b (2 \cdot m \cdot b)}{m \cdot I_0(2 \cdot m \cdot b)} \tag{II.33}$$

II.7.3.L'efficacité de l'ailette:

L efficacité des nageoire est la rapport entre le flux de chaleur réel donné par l'équation(II.33) au flux de chaleur idéal

$$q_{id} = 2.h.b.L.\theta_b$$

$$\eta = \frac{2.h.L.\theta_b [I_1(2.m.b)/m.I_0(2.m.b)]}{2.h.b.L.\theta_b} = \frac{I_1(2.m.b)}{(m.b)I_0(2.m.b)} \quad \text{II.34}$$

II.8. Modèle physique d'ailette demi-sphérique :

Dans le cas de l'ailette demi-sphérique, diverses opérations très importantes entre les ailettes et l'air humide ont lieu. Si la température de l'air humide est supérieure à la température à l'intérieur de l'ailette, ceci conduit à un transfert thermique. Si la température atteinte est inférieure à la température de rosée, alors il ya condensation de vapeur avec la chaleur latente est alors libérée. En résumé, un transfert thermique a lieu et un transfert de masse va aussi donner naissance à une quantité de chaleur que doit se déplacer.

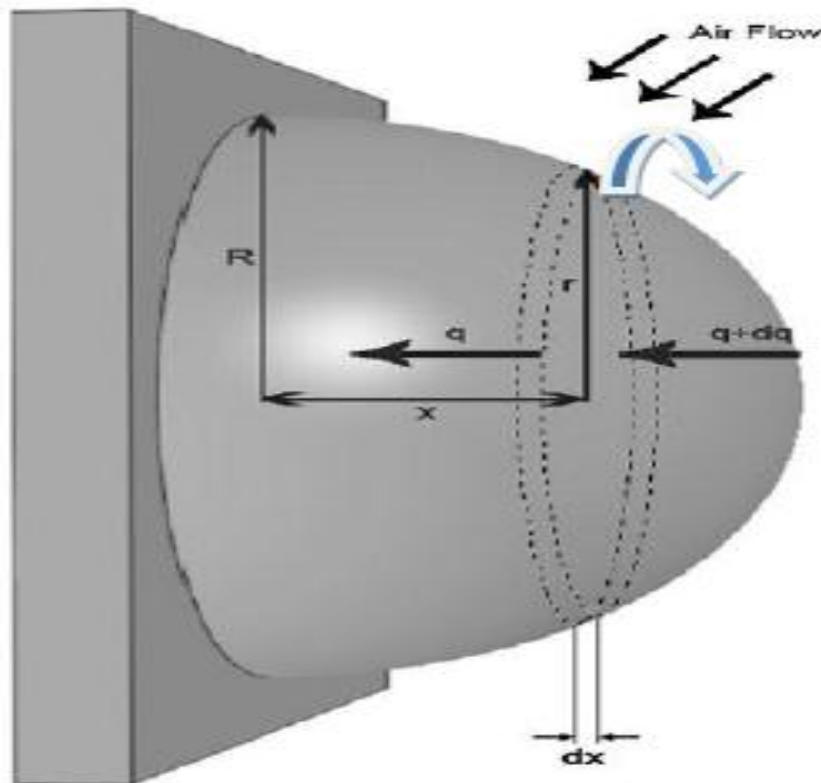


Figure : II.6.Schéma d'une ailette demi-sphérique

I.8.1. Les caractéristiques de domaine physique de l'écoulement :

On utilise la longueur variable x comme la variable indépendante et reliée aux autres dimensions à savoir r et R . dans la nomenclature tous les paramètres seront indiqués.

- Le rayon appartient à $r = 0 : R$
- La conductivité thermique λ
- Ecoulement est supposé permanent

II.8.2.équation de bilan :

Pour un élément, on peut voir sur la figure que le net de conduction est équilibré par la convection selon h et selon la chaleur latente issue du transfert de masse après transformation de phase

$$(q + dq) + 2. \pi. r. h(T_a - T_s)dx + 2. \pi. r. h_d. i_{fg}(w_a - w_s)dx - q = 0$$

Elément dx à surface dA :

$$r = \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$dA = 2. \pi \sqrt{(R^2 - x^2)} dx$$

L'entrée de chaleur est $q+dq$ et la sortie est q

T_a : température de l'ailette

Et A la surface $A=2\pi r dx$

La partie humide donne un transfert $2\pi r dx hD$

Avec hD : Transfer de masse par conduction

Le transfert de masse par convection de l'air humide :

$$2\pi r h_d i_{fg}(w_a - w_s)dx = 0$$

Avec i_{fg} est la chaleur latente de vaporisation de l'eau

En résumé, le transfert de chaleur est par convection avec air :

$$2. \pi. r. h(T_a - T_s)dx = 0$$

Une relation entre h et hD est toujours utilisée

$$\frac{h}{h_D} = c_p \cdot Le^{2/3}$$

Liée avec le nombre de Lewis et la chaleur spécifique

II.8.3. Modélisation finale :

Si on raisonne sur l'élément précédent avec une limite de dr vers 0, alors suivant la loi de

Fourier connue,
$$q = \pi \cdot r^2 \cdot k \frac{dT_s}{dx}$$

Le bilan sera donc:

$$(R^2 - x^2) \frac{d^2\theta}{dx^2} - 2 \cdot x \frac{d\theta}{dx} - m_0^2 \cdot R \sqrt{(R^2 - x^2)} \theta - m_0^2 \cdot R \cdot B \sqrt{(R^2 - x^2)} (w^a - w^s) = 0$$

Avec les grandeurs et paramètres suivants:

$$m_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{k \cdot R}}$$

$$B = \frac{i_{fg}}{c_p \cdot Le^{2/3}}$$

$$\theta = (T_a - T_s)$$

IV.8.4. Le lien entre l'humidité et de la chaleur :

A présent, il faut un passage des humidités aux températures équivalentes

1er cas (McQuiston) [14]
$$(w_a - w_s) = c(T_a - T_s)$$

2ème Cas (Sharqawy et Zubair) [15] modèle plus précis
$$w_s = a_2 + b_2 \cdot T_s$$

Avec :
$$a_2 = w_{s,b} - \frac{w_{s,t} - w_{s,b}}{T_{dp} - T_b} T_b \qquad b_2 = \frac{w_{s,t} - w_{s,b}}{T_{dp} - T_b}$$

Finalement :

$$\left(\frac{(R^2 - X^2)}{R} \right) \frac{d^2\theta}{dx^2} - (2 \cdot x/R) \frac{d\theta}{dx} - m^2 \sqrt{(R^2 - X^2)} \theta = m_0^2 \cdot B \cdot C_2 \sqrt{(R^2 - X^2)}$$

Les conditions aux limites:

$\theta = \theta_b ; x=0$

$d\theta/dx=0 ; x=R$

Avec :
$$m^2 = m_0(1 + b_2 B)$$

$$C_0 = w_a - a_2 - b_2 \cdot T_2$$

II.8.5 Présentation de modèle mathématique :

La modélisation se présente comme une équation différentielle ordinaire avec les deux conditions aux limites, cependant sur traitement passe par une voie numérique. Dans tous les cas, il faudrait savoir les conditions de l'air pour pouvoir déterminer les caractéristiques nécessaires au modèle.

II.9. Thermique de l'ailette :

L'étude du transfert thermique extérieur prolongé dans la plupart des cas comporte deux facteurs qui peuvent commodément être séparés. Un facteur considère seulement le mouvement de la chaleur dans le matériau par la conduction. L'autre facteur considère la façon dont le matériau échange la chaleur dans le milieu environnant, qui comporte habituellement la convection et le rayonnement indépendamment ou simultanément. De ce fait, le thermique de l'ailette est a priori un problème de conduction où l'on intègre la convection par ces faces par l'intermédiaire des coefficients d'échange supposés connus.

II.9.1. 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 au transfert thermique dans le matériau d'ailette [3], un profil typique de la température est montré sur la figure 9

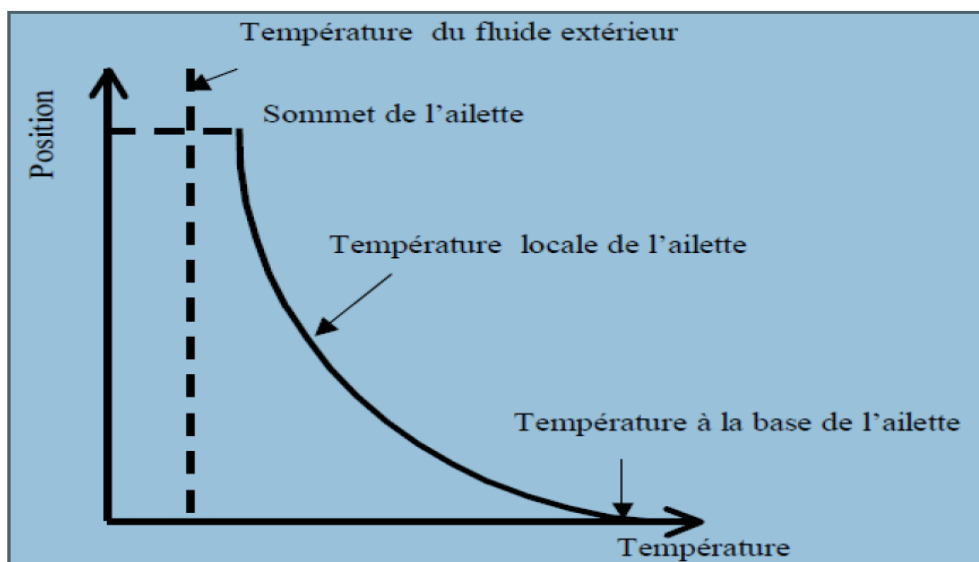


Figure II.7 : Distribution des températures le long d'une ailette. [3]

CHAPITRE II: formulation mathématique

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 [2], un profil typique de la température est montré sur la figure(II.9)

Pour des ailettes de section uniforme, on effectue le changement de variables $\Theta = T - T_f$,

l'équation différentielle qui permet de résoudre le problème de l'ailette de section uniforme A, (Fig. II.10), et de périmètre P s'écrit :

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0 \quad \text{II.35}$$

Où $m^2 = \frac{h \cdot P}{K \cdot A}$ appelé paramètre de l'ailette

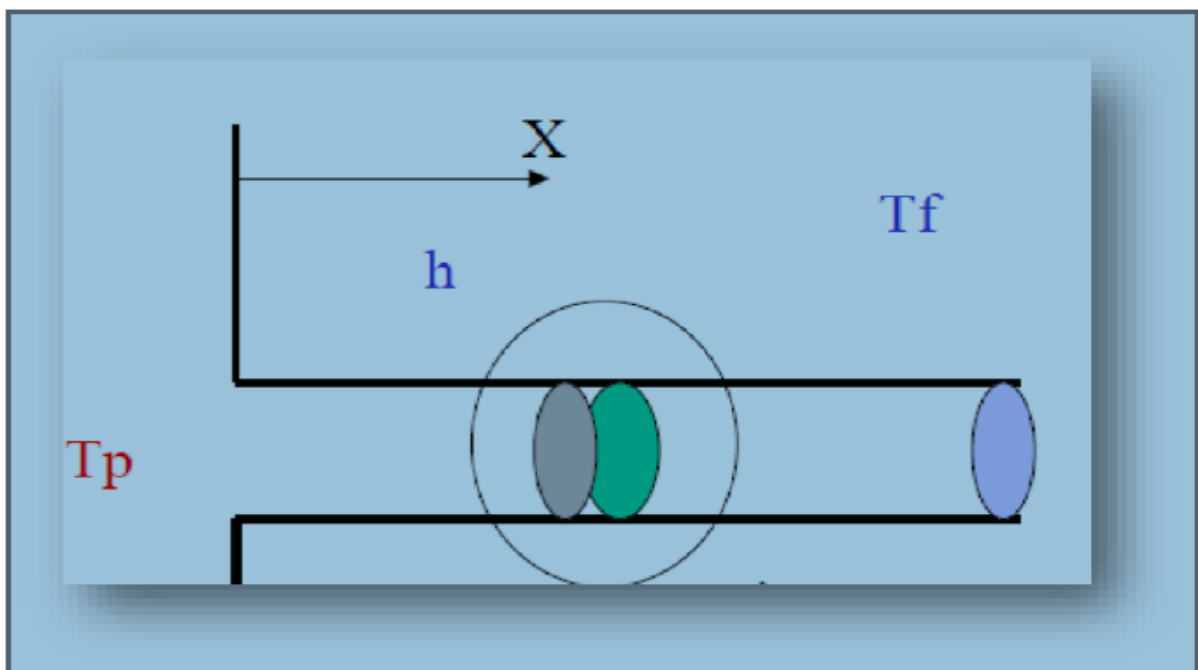


Figure II.18 : Schématisation d'une ailette

La base de l'ailette étant à la température du mur T_p , la solution dépend en définitive de la condition à la limite imposée au bout de l'ailette de longueur L . θ_b c'est la température adimensionnelle à la base de l'ailette (paroi).

II.9.1.1. Cas où l'on considère la convection au bout de l'ailette:

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = \frac{\cos h.m(L-x) + \frac{h}{m.k} \sin h.m(L-x)}{\cos h.m.L + \frac{h}{m.k} \sin h.m.L} \quad \text{II.36}$$

Le flux de chaleur est :

$$q = \sqrt{h p k A} \theta_b \frac{\sin h m.L + \frac{h}{m.k} \cos h m.L}{\cos h m.L + \frac{h}{m.k} \sin h m.L} \quad \text{II.37}$$

II.9.1.2. Cas où l'on impose la température au bout de l'ailette :

La distribution de température s'écrit :

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = \frac{\sin h m(L-x) + \frac{\theta_l}{\theta_b} \sin h m.x}{\sin h m.L} \quad \text{II.38}$$

Le flux de chaleur est:

$$q = \sqrt{h p K A} \theta_B \frac{\cos h m.L - \frac{\theta_l}{\theta_b}}{\sin h m.L} \quad \text{II.39}$$

II.9.1.3 Cas où l'on considère la température au bout de l'ailette adiabatique :

La Distribution de température s'écrit :

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh m.L} \quad \text{II.40}$$

Le flux de chaleur est :

$$q = \sqrt{h.p.K.A} \theta_b \tanh m.l \quad \text{II.41}$$

II.9.1.4. Cas limite d'une ailette infinie :

La Distribution de température s'écrit :

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = e^{-m \cdot x} \quad \text{II.42}$$

Le flux de chaleur est :

$$q = \sqrt{h \cdot p \cdot K \cdot A} \theta_b \quad \text{II.43}$$

II.9.2 Coefficient de convection :

Les flux d'énergie évacués d'une pièce ou d'un système par transfert conducto-convectif dépendent fortement du type de fluide utilisé (air ou eau pour se limiter aux fluides les plus usuels) et du type de convection considéré (forcée ou naturelle) : on se reportera au tableau 1 pour trouver des plages de variation du coefficient de transfert. Le cas de la convection naturelle avec de l'air est à cet égard doublement défavorable. Or c'est le seul type d'échange énergétique envisageable dans de nombreuses applications industrielles pour des raisons de fiabilité (la convection naturelle se produit quoiqu'il arrive tandis que la convection forcée est tributaire du fonctionnement d'organes mécaniques ou de brèches de circuit de refroidissement par eau par exemple). A ces raisons de fiabilité s'ajoutent des raisons économiques évidentes [4].

Le coefficient de transfert convectif à une paroi ne dépend pas en général de la nature de la paroi ; il dépend uniquement des propriétés thermodynamiques du fluide et de la nature de l'écoulement. Cette grandeur peut, dans de nombreuses applications, être considérée comme constante, tant que la température de fluide ne varie pas trop : en géométrie fermée, cette approximation est justifiée loin de l'entrée du conduit ; en géométrie ouverte (plaque plane...), on prend un coefficient de transfert h moyenné sur toute la longueur du système.

Nous avons, à titre indicatif, regroupé dans le tableau 1 les ordres de grandeur des valeurs atteintes par le coefficient de transfert convectif h , suivant le type de convection, la nature du fluide et le régime d'écoulement. Le cas d'échange diphasique est également évalué.

Tableau II.1 : Ordre de grandeur des coefficients de transfert convectif h [5].

Type de transfert	fluide	h ($W m^{-2}K^{-1}$)
Convection naturelle	Gaz	5-30
	eau	100-1000
Convection forcé	gaz	10-300
	eau	300-12000
	huile	50-1700
	métal liquide	6000-110000
Changement de phase	ébullition	3000-60000
	condensation	5000-110000

II.9.3. Ailette à profil optimal :

Sur le plan économique, les ailettes peuvent présenter un profil optimal très variable en fonction de grandeur prise en référence et du type d'ailette considérée (par exemple poids de métal, nature de métal, prix de métal, encombrement, mise en oeuvre ou technique de fabrication, etc...). Sur le plan

thermique, le profil optimal de l'ailette est beaucoup plus facile à définir, en générale, ce profil défini d'après les considérations thermiques est celui qui donnera le plus grand flux de chaleur dissipée pour ce profil. L'étude faite par RIGOT [4] portera sur deux facteurs pris comme référence tant sur le plan économique que sur le plan thermique :

- le facteur de référence sur le plan économique sera considéré comme étant le poids de métal composant l'ailette.

- Le profil optimal sur le plan thermique sera donné par le plus grand flux qu'une ailette est capable de dissiper. Il est évident que ces facteurs ne sont nullement limitatifs et qu'ils serviront uniquement à montrer la forme d'étude nécessaire à la découverte des profils optimaux. En générale, le poids de l'ailette est un critère majeur du prix de revient.

Les métaux constituant les ailettes sont habituellement choisis comme ayant une bonne conductibilité thermique

sont habituellement choisis comme ayant une bonne conductibilité thermique, une bonne résistance mécanique et à la corrosion.

Ces paramètres imposent des métaux relativement chers pour le choix du métal économique en première approximation La grandeur G , qui est le rapport de la conduction thermique au prix de revient de la masse utilisée est un facteur déterminant.

A volume égal, le métal présentant le plus grand G sera le plus intéressant (sous réserve que ce même métal convienne aux autres critères). Cette recherche de profil théorique et les résultats auxquels elle conduit sont souvent pratiquement impossibles à obtenir pratiquement. Toutefois, elle permet une bonne appréciation des dimensions et des formes à donner aux ailettes.

II.10. Rendement de l'ailette :

Rappelons que l'ailette est utilisée pour augmenter le transfert thermique par l'augmentation de la surface effective, de quelque manière, l'ailette elle-même représente une résistance de conduction au transfert thermique de la surface primaire. Pour cette raison il y'a aucune assurance de l'augmentation de flux thermique par l'utilisation de l'ailette. Une estimation de ce transfert peut être faite par l'évaluation du rendement ε_f de l'ailette qui est définie comme le rapport du flux

thermique d'ailette au flux thermique qui existerait sans ailette [6], [7,8]. Par conséquent :

$$\varepsilon_f = \frac{q_f}{h.A_{cb}.\theta_b} \quad \text{II.44}$$

Pour n'importe quelle conception la valeur de ε_f doit être le plus grand possible, et en général l'utilisation de l'ailette peut rarement être justifié pour une $\varepsilon_f \geq 2$ L'installation des ailettes fait changer le coefficient extérieur de convection, cet effet est généralement négligé. Par conséquent, supposant le coefficient de convection à la surface d'ailettes équivalent à celui des parois, donc pour une ailette de longueur infinie :

$$\varepsilon_f = \left(\frac{K.p}{h.A_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{II.45}$$

Plusieurs importantes tendances peuvent être trouvées à partir de ce résultat. Evidemment, le rendement d'ailettes est augmenté par le choix d'un matériau d'une conductivité thermique

élevée, bien que le cuivre soit supérieur du point de vue conductivité thermique, les alliages d'Aluminium sont le choix le plus commun en raison des avantages additionnels liés au coût

Inférieur et de poids. Le rendement d'ailettes est également augmenté en utilisant un grand rapport périmètre section. Pour cette raison l'utilisation des ailettes minces, mais étroitement espacées, est préférée, à condition que l'espace entre ailettes ne doit pas être réduit à une valeur pour laquelle l'écoulement entre les ailettes est sévèrement empêché, réduisant de ce fait le coefficient de convection. Il s'agit alors de la juxtaposition des couches aux limites.

L'équation (II.28) montre également que l'utilisation des ailettes puisse mieux être justifiée dans les conditions pour lesquelles le coefficient de convection h est petit. Par conséquent du tableau 5, il est évident que le besoin d'ailettes soit plus fort quand le fluide est un gaz plutôt qu'un liquide et en particulier quand le transfert thermique extérieur est par convection libre. Si des ailettes doivent être employées sur une surface séparant un gaz et un liquide, ils sont généralement placés du côté de gaz, qui est le côté du coefficient défavorable de convection. Un exemple commun est la tuyauterie dans un radiateur d'automobile. Des ailettes sont appliquées à la surface externe de tube, au-dessus de laquelle il y a écoulement d'air ambiant (petite h), et pas sur la surface intérieure, par laquelle il y a écoulement de l'eau (grande h).

Que $\varepsilon_f > 2$ est employé comme critère pour justifier la performance des ailettes, l'équation (II.28) rapporte la condition que $(KP/hAc) > 4$

L'équation (II.45) fournit une limite supérieure de ε qui est atteinte pour L proche de l'infini. Cependant, il n'est certainement pas nécessaire d'employer les ailettes très longues pour obtenir le maximum de flux thermique. Quand un état adiabatique à l'extrémité est considéré, l'équation de flux thermique et le tableau 5 nous indiquent qu'un flux thermique maximal de 98% est réalisé pour $m.L = 2,3$. Par conséquent il semblerait peu raisonnable de prolonger les ailettes au delà de $L = 2.3/m$ [6].

II.11. 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 :

$$R_{t,f} = \frac{\theta_b}{q_f} \quad \text{II.46}$$

Ce résultat est extrêmement utile, particulièrement en représentant une surface à ailettes par un circuit thermique. Notons que, selon l'état de bout d'ailette, une expression appropriée pour q_f peut être obtenue à partir du tableau

De l'équation (II.46) l'expression de la résistance thermique due à la convection à la base est :

$$R_{t,b} = \frac{1}{h \cdot b \cdot A_b}$$

II.47

Et substituant de l'équation (II.44), il suit cela : $\epsilon_f = \frac{R_{t,b}}{R_{t,f}}$

Par conséquent le rendement d'ailette peut être interprété comme rapport des résistances thermiques, et pour l'augmentation de ϵ_f 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.

II.12. expression des efficacités des ailettes suivant le type et la forme :

II.12.1. Définition 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.

$$\eta = \frac{q \text{ transmise dans l'ailette}}{q \text{ idéale}}$$

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

$$q_i = A_a \cdot h \cdot \theta_b$$

où q_i est le flux de chaleur idéal, A a Surface totale de l'ailette et $\theta_b = T_b - T_\infty$ Si on prend le cas du transfert thermique négligeable à la pointe (sommet adiabatique),

on aura

$$\eta = \frac{th \cdot m \cdot L}{m \cdot L}$$

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










Si on a plusieurs ailettes :

$$q_{total} = q \text{ ailettes} + q \text{ sans ailettes}$$

$$q_{total} = \eta \cdot A_a \cdot h \cdot \theta_b + (S_t + A_a) h \cdot \theta_b$$

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

Tableau II. 2 : Expressions des efficacités des ailettes et des épines [9]

Ailettes droites	rectangulaire $y = \delta$		$\eta = \frac{1}{ml} \tanh ml, \quad m = \sqrt{h/k\delta} \quad A = 2\delta L$
	Parabolique $y = \delta_1(1-x/l)^{1/2}$		$\eta = \frac{1}{ml} \frac{I_2(\frac{2}{3}m_1 l)}{I_1(\frac{2}{3}m_1 l)}, \quad m_1 = \sqrt{h/k\delta_1} \quad A = \frac{4}{3}\delta_1 L$
	triangulaire $y = \delta_1(1-x/l)$		$\eta = \frac{1}{ml} \frac{I_1(2m_1 l)}{I_0(2m_1 l)}, \quad A = \delta_1 L$
	Parabolique $y = \delta_1(1-x/l)^2$		$\eta = \frac{2}{\sqrt{4(m_1 l)^2 + 1} + 1} \quad A = \frac{2}{3}\delta_1 L$
Ailettes annulaires	Rectangulaire $y = \delta$		$\eta = \frac{2}{ml(r_2/r_1 + 1)} \left[\frac{I_1(m_1 r_1) K_1(m r_2) - I_1(m r_2) K_1(m r_1)}{I_0(m r_1) K_1(m r_2) - I_1(m r_2) K_0(m r_1)} \right]$
	Hyperbolique $y = \delta_1(r_2/r_1)$		$\eta = \frac{2}{ml(r_2/r_1 + 1)} \left[\frac{I_2(\frac{2}{3}m_1 r_1) I_2(\frac{2}{3}m_1 r_2 \sqrt{r_2/r_1}) - I_2(\frac{2}{3}m_1 r_2 \sqrt{r_2/r_1}) I_2(\frac{2}{3}m_1 r_1)}{I_1(\frac{2}{3}m_1 r_1) I_2(\frac{2}{3}m_1 r_2 \sqrt{r_2/r_1}) - I_2(\frac{2}{3}m_1 r_2 \sqrt{r_2/r_1}) I_1(\frac{2}{3}m_1 r_1)} \right]$
Epines (à section circulaire)	Rectangulaire $y = \delta$		$\eta = \frac{1}{\sqrt{2} ml} \tanh \sqrt{2} ml,$
	Parabolique $y = \delta_1(1-x/l)^{1/2}$		$\eta = \frac{2}{(2\sqrt{2} m_1 l)} \frac{I_2(\frac{4}{3}\sqrt{2} m_1 l)}{I_1(\frac{4}{3}\sqrt{2} m_1 l)},$
	Triangulaire $y = \delta_1(1-x/l)$		$\eta = \frac{4}{(2\sqrt{2} m_1 l)} \frac{I_2(2\sqrt{2} m_1 l)}{I_1(2\sqrt{2} m_1 l)},$
	hyperbolique		$\eta = \frac{1}{\sqrt{2} ml} \tanh \sqrt{2} ml,$

Introduction :

Il existe différentes approches pour simuler la dispersion des polluants en milieu urbain. Il paraît cependant difficile de diviser les approches selon les échelles. Parmi les approches utilisées et largement répandues nous citons l'approche CFD « **Computational Fluid Dynamics** » dont se base notre présente étude. C'est une méthode numérique basée sur les équations de la mécanique des fluides lesquelles sont impliquées dans l'étude des écoulements et la dispersion des polluants surtout à petite échelle notamment en géométrie complexe [3]. Les simulations numériques se rapprochent le plus de la réalité des phénomènes vu qu'elles résolvent les équations de continuité, de quantité de mouvement, de l'énergie et du transport d'une quantité scalaire (la concentration), tout en tenant compte du phénomène de turbulence. Parmi les codes **CFD** commerciaux les plus utilisés nous citons: **FLUENT** et **ANSYS CFX**.

La résolution de ces équations se fait par des méthodes numériques telles que la méthode des volumes finis, la méthode des différences finis et la méthode des éléments finis.

III.1. La mécanique des fluides numérique(MFN) :

Plus souvent désignée par le terme anglais Computational fluid Dynamics (CFD), consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide. En fonction des approximations choisies, qui sont en général le résultat d'un compromis en terme de besoins de représentation physique par rapport aux ressources de calcul ou de modélisation disponibles, les équations résolues peuvent être les équations d'Euler, les équations de Navier-stokes, etc.

La CFD permet de construire un prototype virtuel d'un produit ou d'un processus. A fin de simuler des conditions de fonctionnement réel, l'approche CFD est un complément aux techniques expérimentales et autres modélisations pour obtenir une description précise des problèmes d'écoulement de fluides. Ce procédé complexe, à l'origine excessivement coûteux, était réservé aux bureaux d'ingénierie des hautes technologies, comme l'industrie aéronautique.

Aujourd'hui, les coûts, les temps de calcul se sont considérablement réduits et la CFD est devenue un outil performant au service de toutes les industries qui manipulent des fluides ou rencontrent des mouvements de fluide dans leurs projets ou procès.

III.1.1 Méthode de travail :

Pour les écoulements simples tels que l'écoulement stationnaire dans un tube circulaire ou celui de la couche limite sur une plaque plane, les équations de Navier Stokes sont directement intégrées et résolues par méthode analytique. Il s'agit de méthodes locales.

Dans le cas général, une méthode de discrétisation est appliquée pour l'approximation des équations différentielles. Ces dernières sont remplacées par des équations algébriques qui sont résolues par méthode numérique. Un maillage est généré dans un domaine d'étude qui entoure l'obstacle considéré (aile, avion, voiture, hélice...) ou un domaine délimité par le contenant du fluide. Les équations algébriques sont résolues pour chaque nœud du maillage. Le plus souvent, une méthode itérative est appliquée. Les calculs sont exécutés à l'aide d'un code CFD.

En pratique, les simulations CFD s'effectuent en trois étapes :

- **Pré-processing** ;
- **Solver**;
- **Post processing**.

Au cours de la première étape, **Pre-processing**, on construit la géométrie et on définit le domaine d'étude. Le maillage est ensuite généré à l'intérieur de ce domaine. Ensuite, on spécifie les propriétés physiques du fluide et on choisit les modèles à appliquer l'algorithme de calcul, les méthodes d'interpolation et autres schémas.

La deuxième étape, **Solver**, c'est la phase de calcul, ou de résolution des équations algébriques.

La troisième et dernière étape, **Post processing**, c'est la phase de traitement et d'interprétation des résultats.

Avec la CFD, on peut faire plus de simulations avec la possibilité de faire varier à moindre coût plus de paramètres et simuler différentes configurations. Mais des résultats expérimentaux sont nécessaires pour valider les calculs CFD.

III.1.2. Applications de la CFD :

Elles sont très nombreuses. On peut citer celles de :

- l'aérodynamique.
- de la médecine : circulation du sang.
- l'hydrodynamique.
- des turbomachines
- du génie électrique pour le refroidissement des machines et autres micro-circuits électroniques.
- du bâtiment : chauffage/ventilation ou action du vent sur les structures.

III.1.3. Méthodes de discrétisation :

III.1.3.1. Méthodes de différences finies :

La méthode des différences finies a une importance historique et est simple à programmer.

Elle n'est actuellement utilisée que dans quelques codes spécialisés.

III.1.3.2. Méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis est une approche commune utilisée dans les codes MFN.

Les équations qui régissent le fluide sont résolues sur des volumes de contrôle discret.

III.1.3.3. Méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis(MEF) est utilisée dans l'analyse structurale des solides, mais est également applicable aux fluides.

III.1.4. Principe de la méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis intégré, sur des volumes élémentaires de forme simple, les équations écrites sous forme de loi de conservation. Elle fournit ainsi de manière naturelle des approximations discrètes conservatives et est donc particulièrement bien adaptée aux équations de la mécanique des fluides : l'équation de conservation de la masse, l'équation de conservation de la quantité de mouvement, l'équation de la conservation de l'énergie et de la masse.

Sa mise en œuvre est simple si les volumes élémentaires sont des rectangles (ou des parallélépipèdes rectangle en 3 dimensions). Cependant la méthode des volumes finis permet d'utiliser des volumes élémentaires de forme quelconque, donc de traiter des géométries complexes, ce qui est un avantage sur les différences finis.

III.2. ANSYS, In :

ANSYS, In c'est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique. L'entreprise a son siège à Canonsburg en Pennsylvanie aux États-Unis. La société possède de nombreuses filiales à travers le monde, notamment en Europe et en Asie.

III.2.1. Principaux produits :

ANSYS Structural : Ce produit permet d'effectuer des simulations mécaniques en calcul de structures. Ses principales capacités sont :

- L'analyse statique
- L'analyse modale
- L'analyse harmonique (réponse forcée)
- L'analyse temporelle
- La gestion de différentes situations non-linéaires (contact, plasticité matériaux, grands déplacements ou grandes déformations).

III.2.2. Les Modules d'ANSYS :

- ANSYS Mechanical
- ANSYS CFX et Fluent
- ANSYS AUTODYN et ANSYS LS-DYNA
- ANSYS Electromagnetics et Ansoft
- ANSYS Multiphysics

Dans le présent travail, on a utilisé le code ANSYS CFX, qui utilise comme plate forme la méthode des volumes finis.

III.3. ANSYS CFX :

ANSYS CFX est un outil de dynamique des fluides (CFD) très performant qui fournit rapidement des résultats fiables et précis pour un large éventail d'applications CFD et multiphysiques. ANSYS CFX est reconnu pour sa précision, sa robustesse et sa rapidité exceptionnelle pour les machines tournantes (pompes, ventilateurs, compresseurs, turbines à gaz et hydrauliques).

ANSYS CFX est un logiciel de CFD généraliste extrêmement performant, utilisé pour résoudre une large variété de problèmes d'écoulement de fluide depuis plus de 20ans. Grâce à son solveur avancé, moderne et parallélisé, les utilisateurs obtiennent rapidement des solutions fiables et robustes. Le vaste choix de modèles physiques proposé permet de représenter la quasi-totalité des phénomènes d'écoulement de fluide. Le solveur tout comme

les modèles physiques, sont accessibles via un environnement utilisateur graphique moderne, intuitif, flexible, personnalisable et automatisable (fichiers de session, scripts, générateur d'expression...).

III.4. Environnements logiciels :

Deux environnements logiciels permettent de mettre en œuvre le code ANSYS :

- **ANSYS Classic** : Chronologiquement, c'est la première solution logicielle développée par le constructeur. Elle est destinée à la construction de modèles éléments finis à la géométrie simple, facilement constructible à l'aide d'opérations basiques. À partir de cet environnement, l'utilisateur construit directement un modèle éléments finis en utilisant le langage de script APDL (*ANSYS Parametric Design Language*). ANSYS classic est donc destiné à des utilisateurs compétents dans le domaine de la simulation numérique.
- **ANSYS Workbench** : Cette plateforme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le logiciel ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plateforme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en logiciel ANSYS avant de lancer la résolution.

III.5. Mettre en place une simulation à l'aide d'ANSYS CFX se fait en 4 étapes :

ICEM, CFX-pre, CFX-solve et CFX-post

Chaque module a une utilisation bien spécifique (figure III.1)

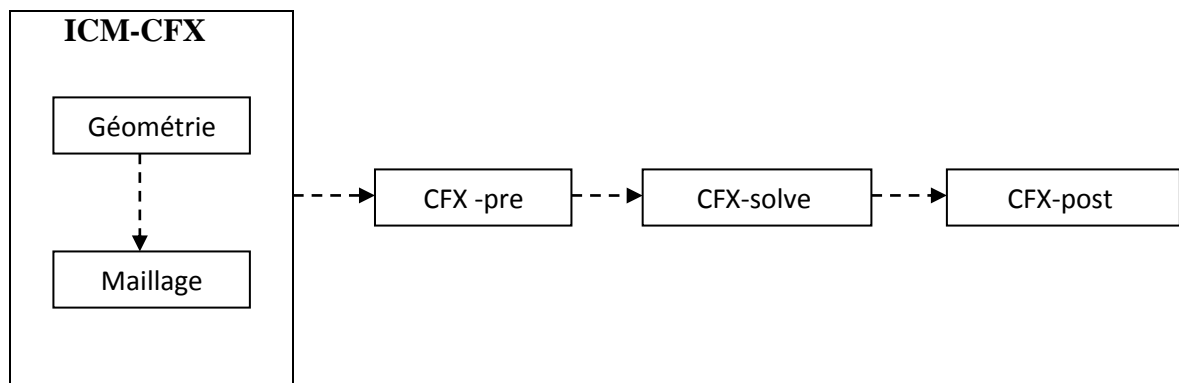


Figure III.1 : Les modules principaux du CFX

III.5.1 ANSYS ICEM :

Le module ICEM permet d'établir la géométrie du système étudié. Il est utilisé comme un logiciel de CAO traditionnel : la géométrie est construite à partir de points, de courbes, de surface et de volume (figure III.2). C'est également ce module qui permet de générer un maillage s'appuyant sur la géométrie.

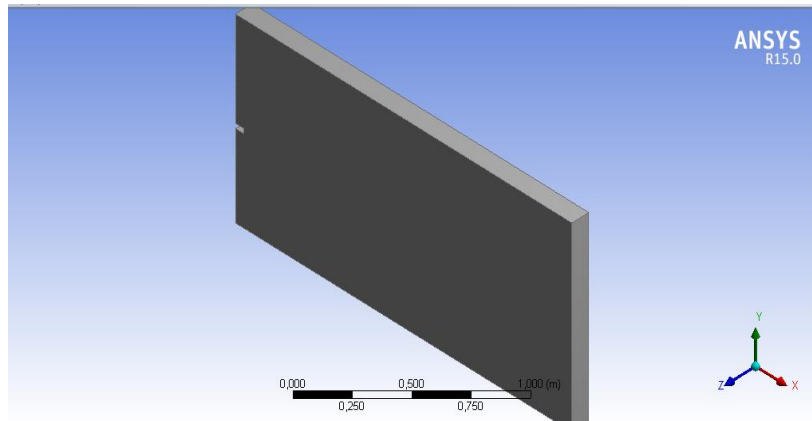


Figure III.2 : Domaine de calcul par ICEM-CFX

III.5.2. CFX-pre :

Le module CFX-pre, Figure (III.3) permet quant à lui de définir les conditions aux limites et initiales du système, ainsi que les équations à résoudre, le type de résolution (régime permanent ou transitoire), les paramètres du solver, parmi lesquels : le pas de temps, le nombre d'itération, le critère de convergence ainsi que la nature des fluides (ou solides) en présence.

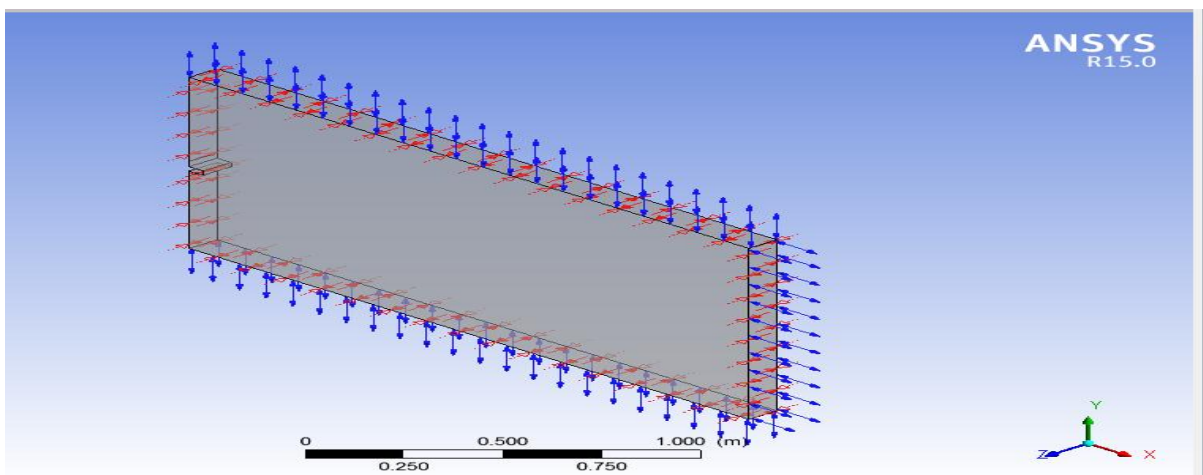
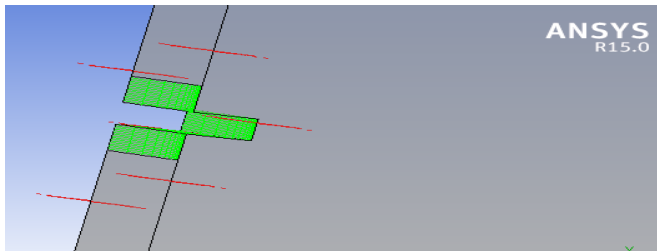


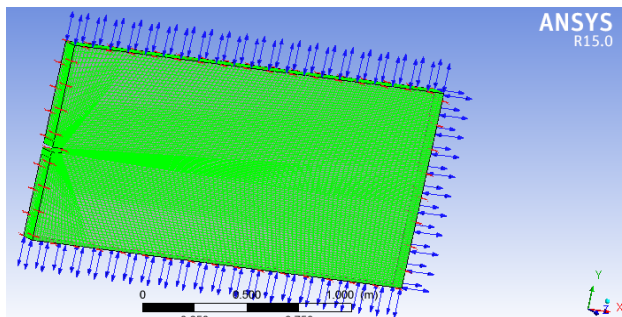
Figure III.3 : Interface graphique du module CFX-pre

Les conditions aux limites sont de 5 types :

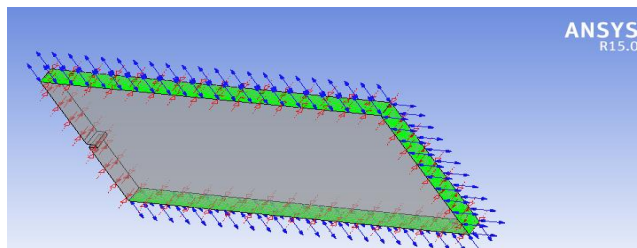
- **INLET**



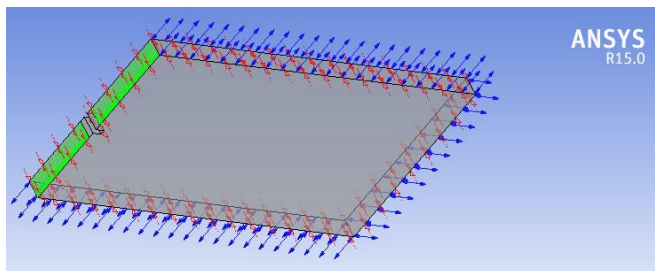
- **OUTLET**



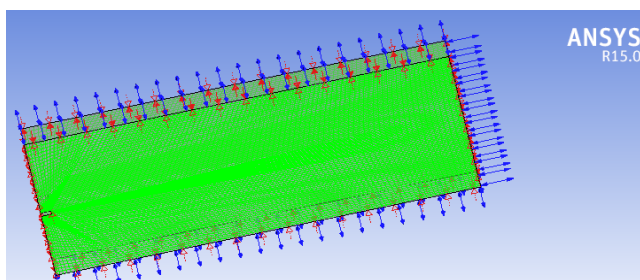
- **OPENING**



- **WALL**



- **SYMMETRY**



Les conditions de type **INLET** sont utilisées dans le cas d'un écoulement entrant à l'intérieur du domaine.

Les conditions de type **OUTLET** sont quant à elles utilisées dans le cas d'un écoulement sortant à l'extérieur du domaine.

La condition **OPENING** est utilisée dans le cas d'une méconnaissance de la nature entrante ou sortante de l'écoulement.

La condition aux limites de type **WALL** est attribuée aux parois imperméables à l'écoulement.

Enfin, si l'écoulement présente un plan de symétrie, il est possible d'attribuer la condition **SYMMETRY** à ce plan.

Une fois tous les paramètres définis, **CFX-pre** génère un fichier «**.def**» qui contient toutes les informations relatives au maillage, aux conditions aux limites et initiales, ainsi que tous les autres paramètres introduit dans **CFX-pre**. C'est ce fichier qui va être à la base de travail du solver.

III.5.3. CFX-solve :

Le module CFX-solve, figure (III.4) est le module qui effectue les calculs. Il est basé sur l'intégration des équations de Navier Stokes dans chaque maille et dispo de modèles additionnels pour prendre en compte la turbulence, le rayonnement thermique.

L'organigramme de mise en œuvre d'un calcul est présenté dans la (figureIII.4)

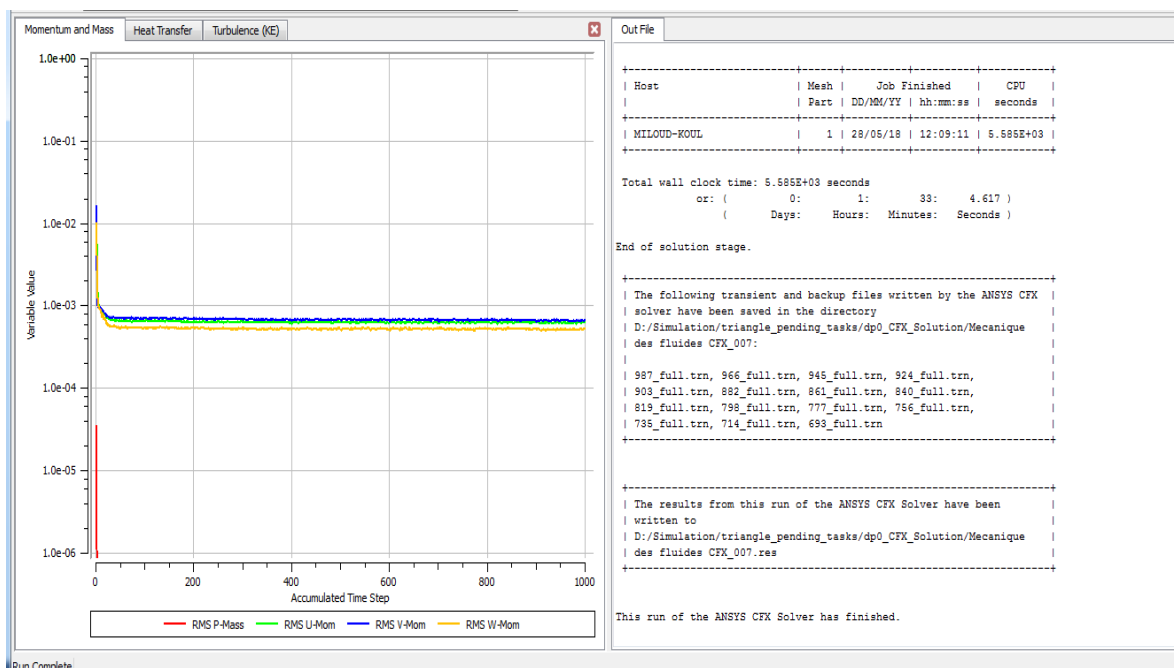


Figure III.4 : Interface graphique du module CFX-Solver.

Dans le cas d'une résolution en régime permanent, le calcul se poursuit jusqu'à ce que, soit le nombre maximal d'itération demandé par l'utilisateur est atteint, soit la solution satisfait au critère de convergence. Dans le cas d'une résolution en régime transitoire, le calcul prend fin lorsque la durée de résolution du phénomène étudiée est atteinte.

A la fin de son calcul, CFX-solve génère deux types de fichiers :

- Un fichier «**.out**» lisible par un éditeur de texte. Ce fichier résume le déroulement du calcul. Il contient, entre autres, les informations du.def, ainsi que le bilan masse du système.
- Un fichier «**.res**» qui contient l'ensemble des résultats. Ce fichier est directement exploitable par CFX-post.

III.5.4 Organigramme de mise en œuvre d'un calcul :

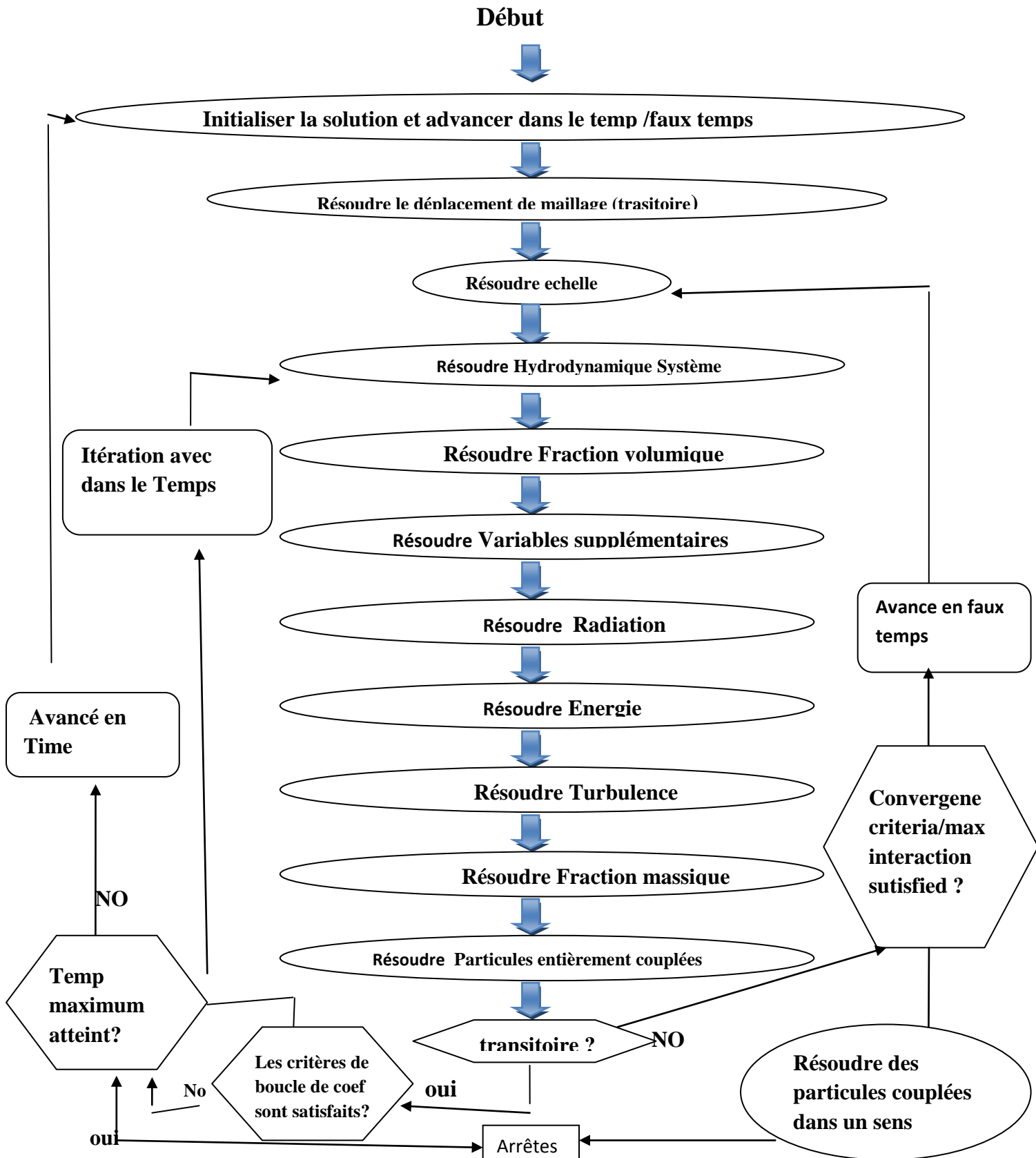


Figure III.5: Organigramme de mise en œuvre d'un calcul (Source : documentation CFX).

III.5.4. CFX-post :

Le module CFX-post, figure III.6, est un outil graphique permettant le traitement et la visualisation des résultats. Il permet d'appliquer des textures sur la géométrie, de visualiser des contours, des iso-surfaces, des lignes de courant, des champs de vitesse. Il permet également l'exportation des résultats sous forme numérique, comme par exemple la valeur des différentes variables sur chaque nœud, sous forme photographique et même sous forme d'animation.

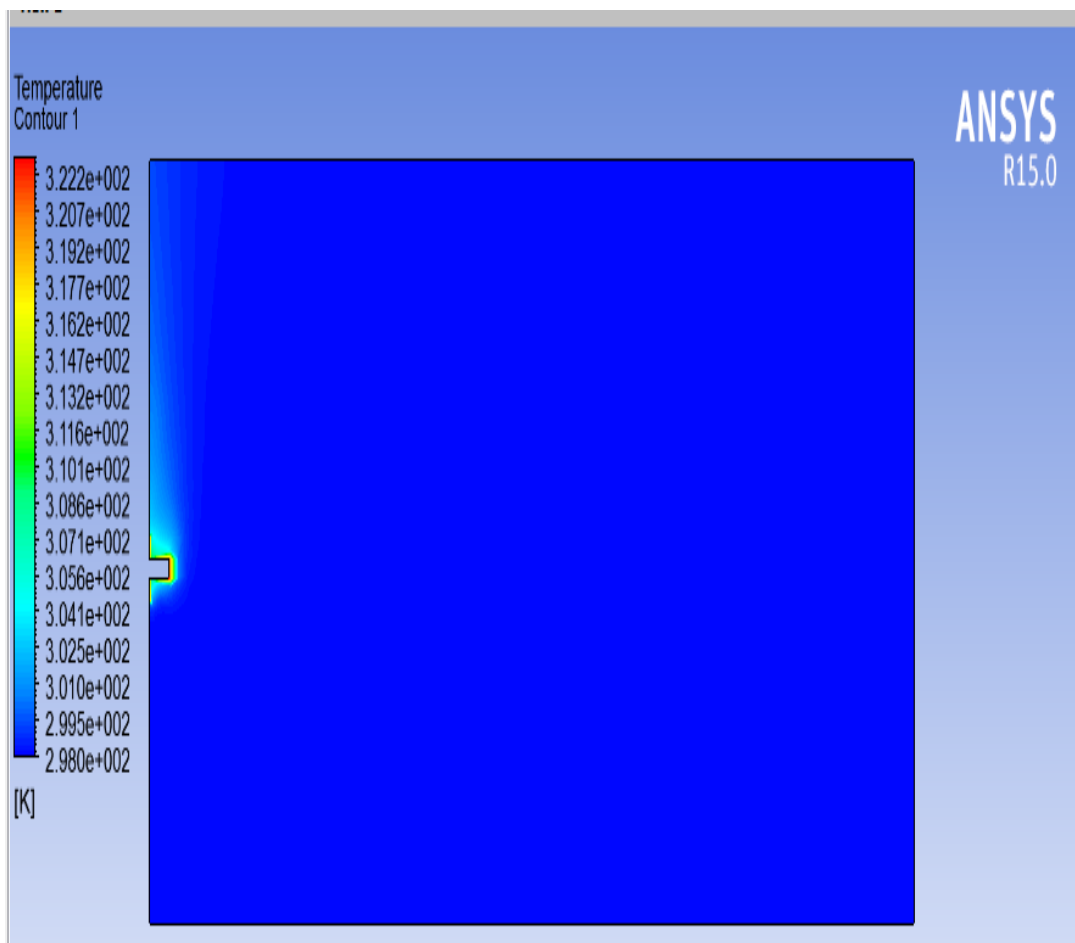


Figure III.6 : Interface graphique du module CFX-post.

IV.1. Les caractéristiques de domaine physique de l'écoulement :

On utilise la longueur variable x comme la variable indépendante et reliée aux autres dimensions à savoir b . dans la nomenclature tous les paramètres seront indiqués.

- épaisseur de l'ailette $b = 0$
- La conductivité thermique λ
- Ecoulement est supposé permanent
- Le fluide (air sec)
- viscosité dynamique $\mu = 1.83 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
- viscosité cinématique $\nu = \frac{\mu}{\rho} = 1.83 \cdot \frac{10^{-5}}{1.183} = 1.54 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- vitesse $v = 0.01 \text{ m/s}$
- la masse volumique $\rho = 1.185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- diamètre $D = 0.05 \text{ m}$
- le nombre de Reynolds $Re = V \cdot L / \nu = 0.01 \cdot \frac{0.05}{1.54} \cdot 10^5 = 32.377$
- Critère de convergence 10^{-6}
- Itération c'est 1000 itérations

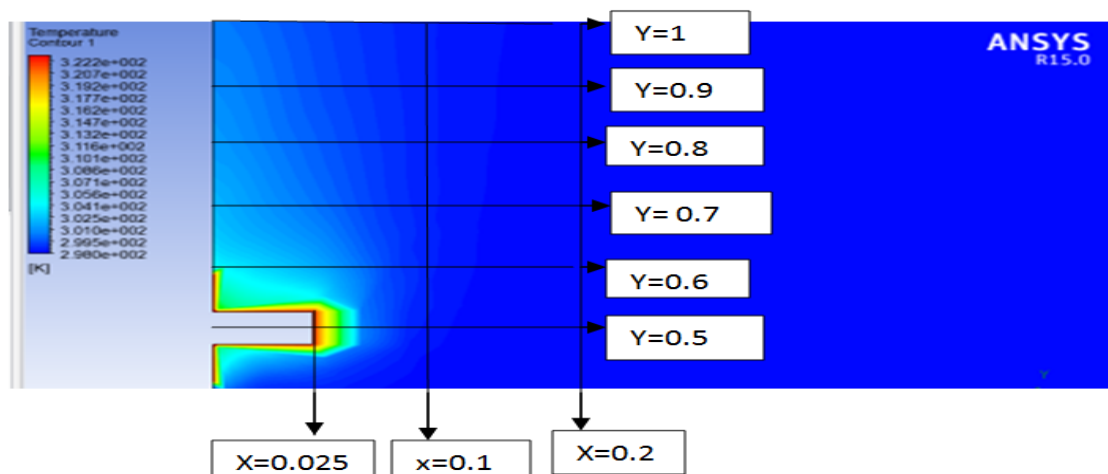


Figure. IV.1. domaine de calcul

IV.2. Profils et contours de la température :

IV.2.1. Profils et contours de la température sans ailette :

Ce graphe représente la variation de la température sans ailette dans un paroi, on peut remarquer que la température diminue lorsque on s'éloigne de la paroi et reste stable à partir de 0.1 mètre jusqu'à 0.2 mètre.

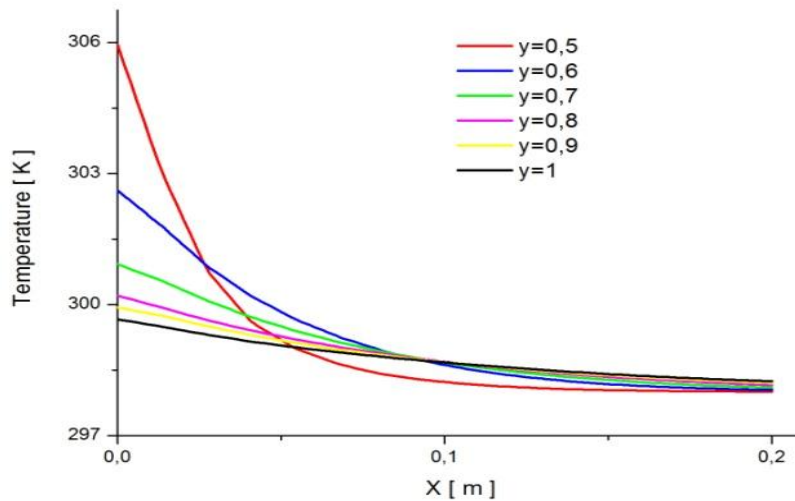


Figure .IV.2. Distribution de la température pour différentes position le long (sans ailette)



Figure.IV .3.contours de la température au tour sans ailette.

IV.2.2 . Profils et contours de la température dans une ailette triangulaire :

Ce graphe représente la variation de la température de l'ailette triangulaire, dans un paroi, on remarque que la température diminue lorsque on s'éloigne de la paroi et aller vert la stabilité a partir de 0.1mètre jusqu'a 0.2 mètre .

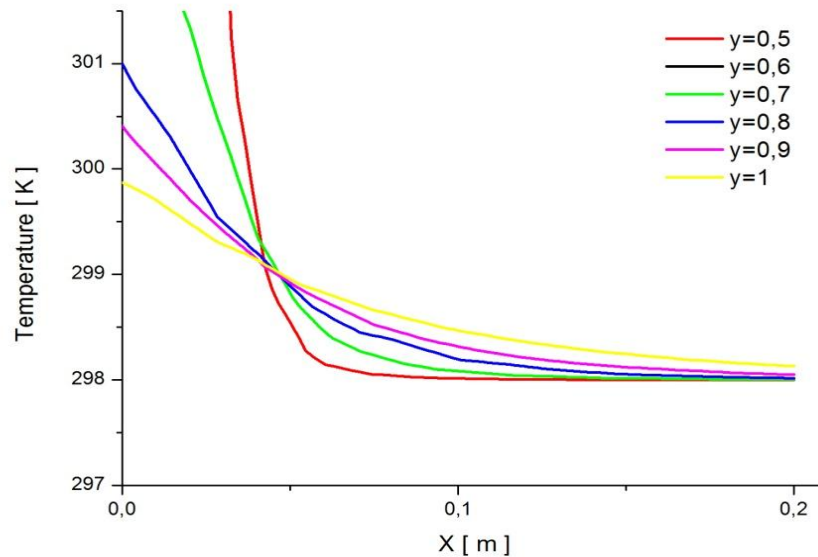


Figure .IV .4.Distribution de la température pour différentes position le long d'une ailette triangulaire

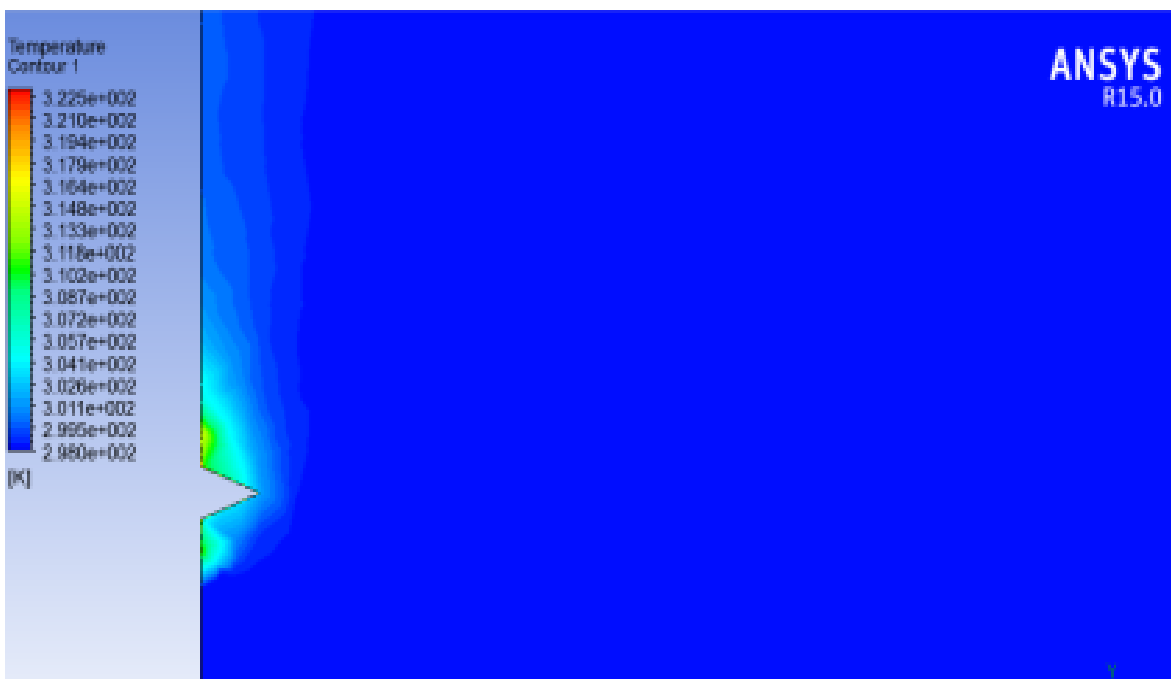


Figure .IV .5.contours de la température au tour de l'ailette triangle.

Chapitre IV : Résultat et discussion

IV.2.3. Profils et contours de la température dans une ailette rectangulaire :

Ce graphe représente la variation de la température rectangulaire dans une paroi. On peut remarquer que la température diminue lorsque on s'éloigne de la paroi et aller vers la stabilité à partir de 0.1 mètre jusqu'à 0.2 mètre.

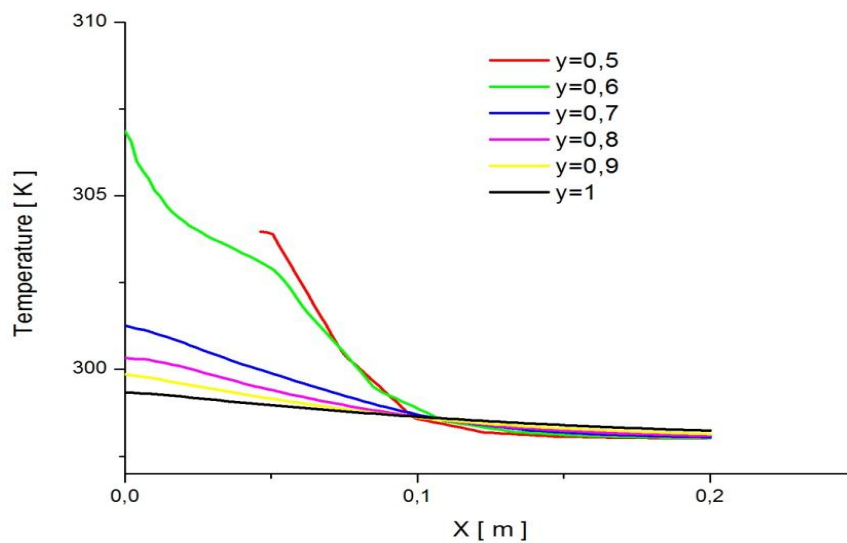


Figure .IV.6. Distribution de la température pour différentes position le long d'une ailette rectangulaire.

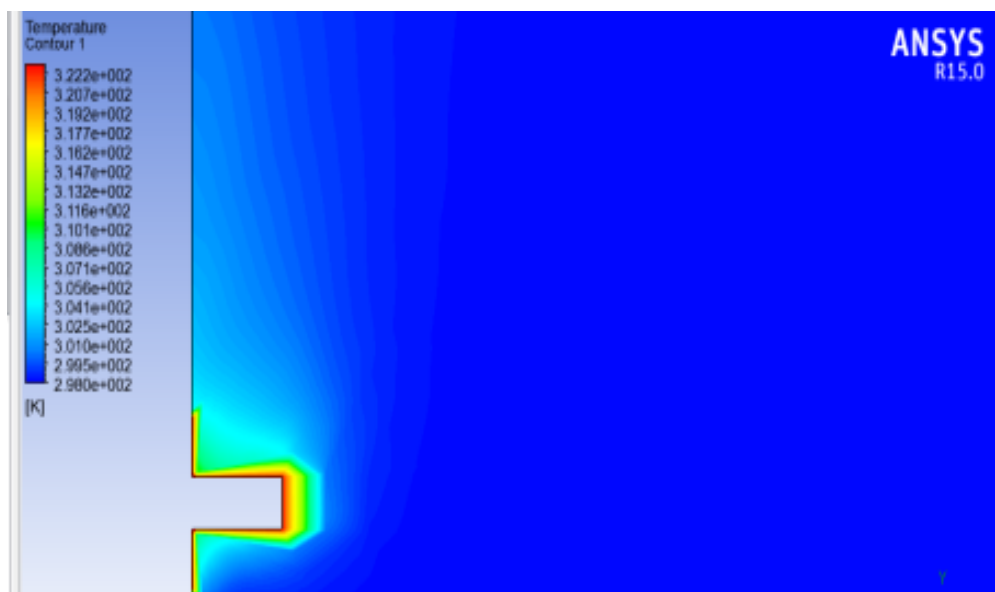


Figure.IV .7.contours de la température au tour de l'ailette rectangle

IV.2.4.Profils et contours de la température dans une ailette demi-sphérique :

Ce graphe représente la variation de la température semi-sphère dans une paroi, on remarquer que la température diminue lorsque on s'éloigne de la paroi, allez a la stabilité a partir de 0.1mètre jusqu'a 0.2 mètre.

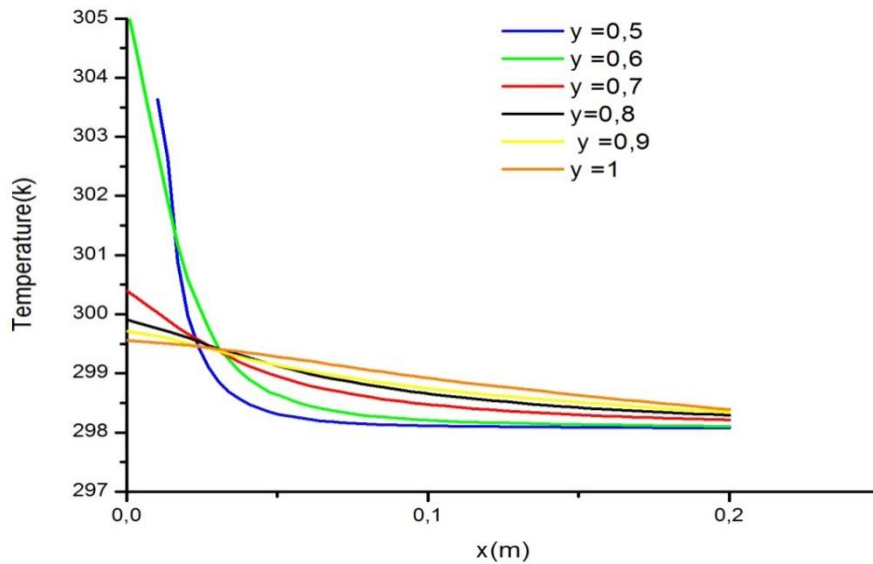


Figure .IV.8. Distribution de la température pour différentes position le long d'une ailette demi-sphérique.

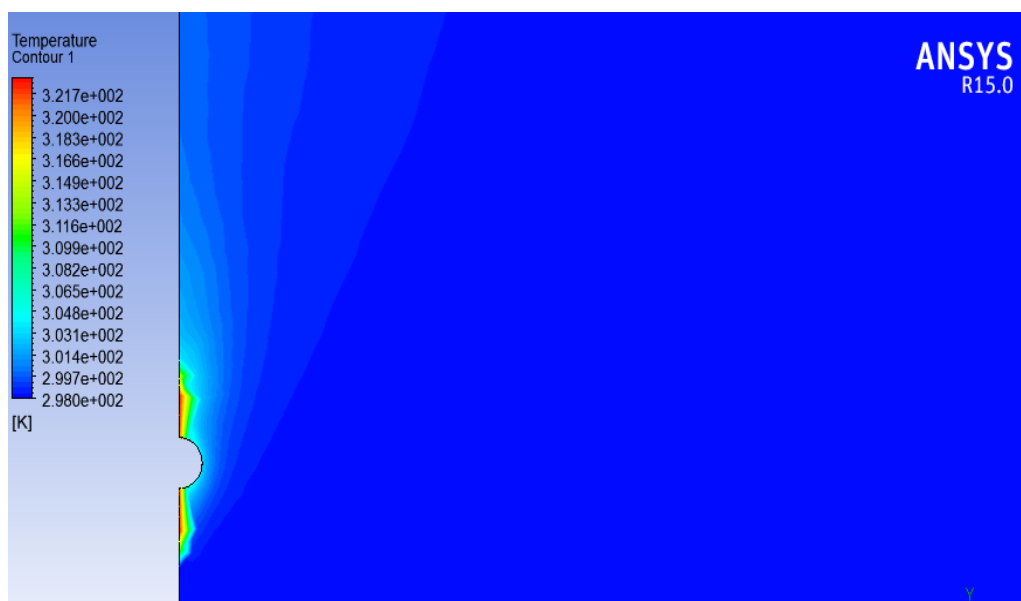


Figure .IV .9.contours de la température au tour de l'ailette demi-sphère .

IV.3.Comparaison entre les profils de température pour les trois ailettes :

IV.3.1. Profils de température pour $y=0.5$:

Ce graphe représente la variation de la température des ailettes (rectangle, triangle, demi-sphère) pour $Y=0.5$, on remarque que la température diminue pour les quartes ailettes lorsque la distance augmente a partir de 305 k jusqu'à 298 k .

Avant la distance $X=0.1$ l'ailette rectangulaire donne une température plus grand que les deux autres ailettes.

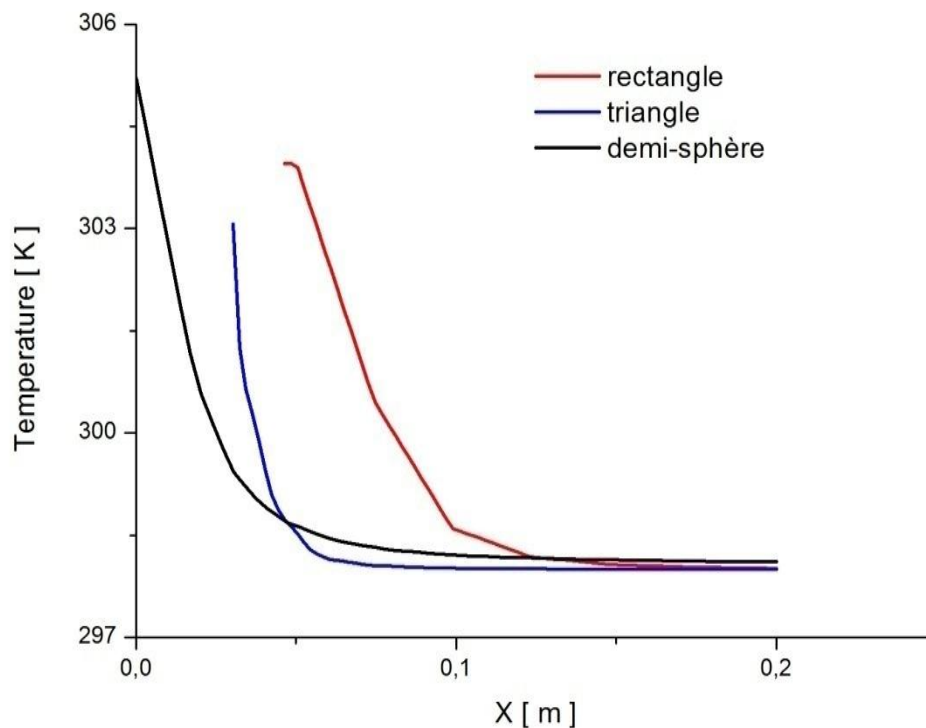


Figure .IV.10.Distribution de la température le long des trois ailettes pour $y=0.5$.

IV.3.2. Profils de température pour $y=0.7$:

Ce graphe représente la variation de la température des ailettes (rectangle, triangle, demi-sphère) pour $Y=0.7$, on remarque que la température diminue pour les trois ailettes lorsque la distance augmente à partir de 301 K jusqu'à 298 K.

Proche de l'ailette, on observe que la température maximum est trouvée pour l'ailette triangulaire.

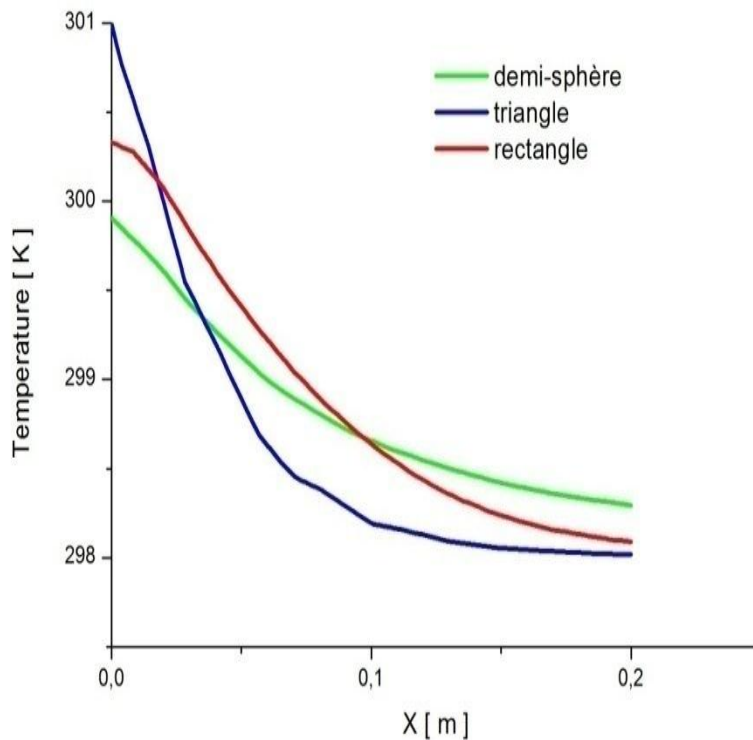


Figure .IV.11. Distribution de la température le long des trois ailettes pour $y=0.7$

IV.3.3.Profils de température pour $y=1$:

Ce graphe représente la variation de la température des ailettes (rectangle, triangle, demi-sphère) pour $Y=1$, on peut remarquer que la température diminue pour les trois ailettes lorsque la distance augmente à partir de 299.5 K jusqu'à 298.1 K. On remarque que l'ailette semi-sphère dégage plus de chaleur si le long de l'espace longitudinale

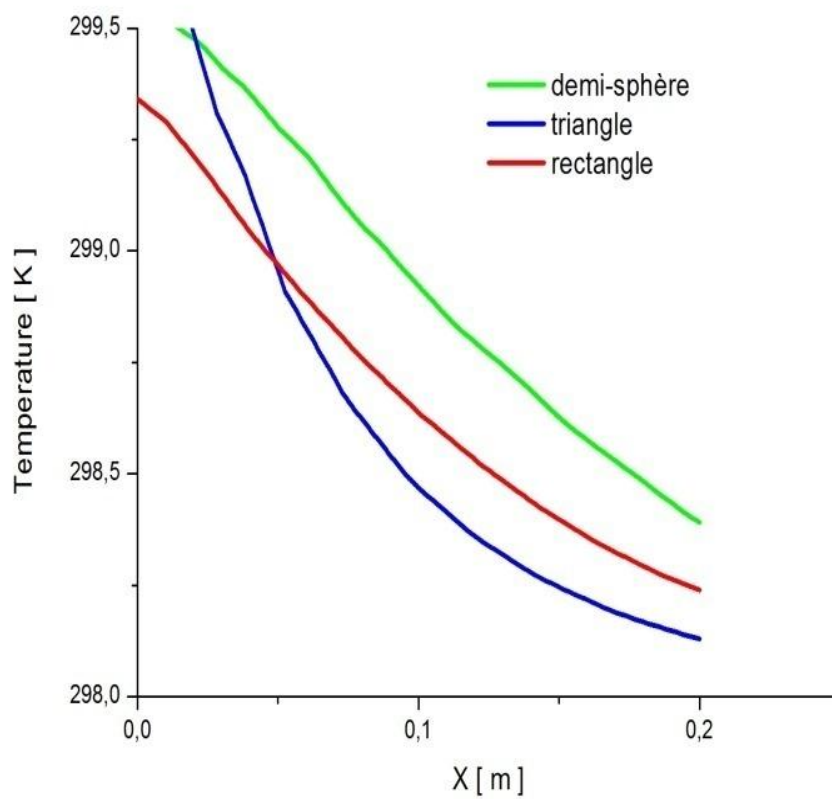


Figure .IV.12.Distribution de la température le long des trois ailettes pour $y=1$

IV.4.Profils de température sans ailette et avec ailette pour $y=0.5$:

Ce graphe représente la variation de température des ailettes (sans ailette , rectangle, triangle, demi-sphère) pour $Y=0.5$, on peut remarquer que la température diminue pour les quartes ailettes lorsque la distance augmente et aller vers la stabilité a partir 0.13 mètre jusqu'à 0.2 mètre .

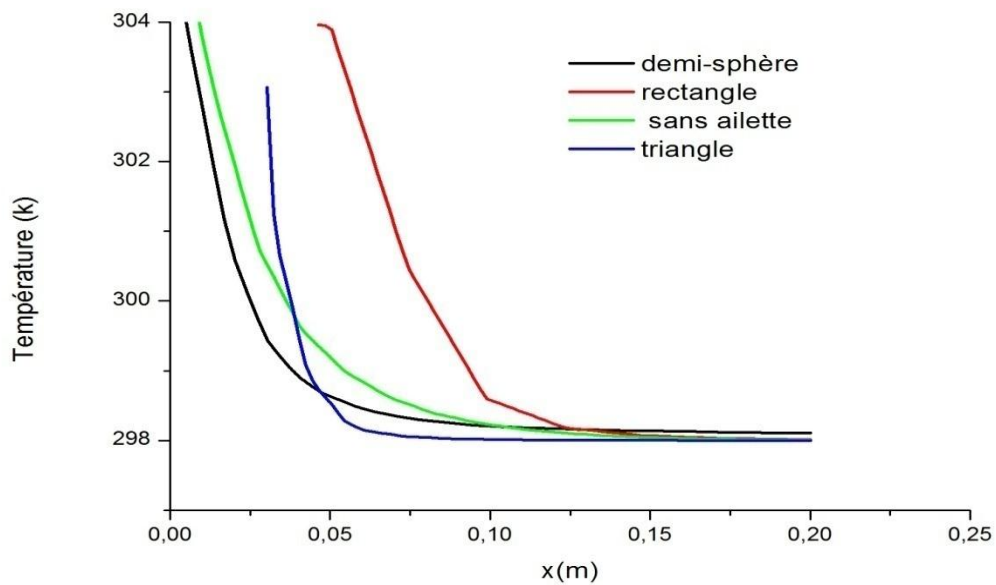


Figure .IV.13.Distribution de la température sans ailette et le long de trois ailette pour $y=0.5$.

Conclusion générale

Dans ce mémoire on s'est intéressé à l'étude comparative de trois ailettes en transfert de chaleur. L'ailette est utilisée avantageusement pour augmenter les transferts thermiques dans de nombreuses applications.

On a étudié le comportement thermique de l'air sec et les ailettes ainsi que les caractéristiques qui sont déterminées entièrement par le programme de Ansys.

La modélisation de ces ailettes avec de l'air sec a été entreprise et une simulation numérique en (Ansys cfx) a été établie. Les résultats de la simulation ont montré que la forme géométrique de l'ailette et l'état de l'air sont des paramètres importants :

- Le paramètre de l'ailette détermine la distribution des températures.
- Les caractéristiques de l'air influent beaucoup sur cette distribution de telle sorte qu'une ailette qui initialement est d'origine convective de rejet devient selon des conditions spécifiques d'humidité et de la température de l'air une ailette qui absorbe de la chaleur.

Ainsi, on a exploité cet effet dont l'objectif est de comparer les températures pour trois ailettes différentes.

Après la comparaison des trois ailettes en terme de transfert de chaleur on a constaté que l'ailette rectangulaire absorbe le maximum de chaleur par rapport aux deux autres ailettes à une distance proche du sommet de l'ailette (avant une certaine distance de la paroi, à $x=0.012$) et après cette distance la température de l'ailette semi-sphérique commence à se stabiliser à une température plus grande que la température des deux autres ailettes, ce qui signifie que cette dernière dégage plus de chaleur et diminue la température de la paroi .

Cette étude nous a permis aussi d'approfondir nos connaissances en transfert thermique en générale et particulièrement le comportement thermique autour des ailettes.

Comme perspectives de cette étude, nous recommandons de suivre ce travail par une autre étude afin de connaître l'effet de la conductivité thermique, le coefficient d'échange et l'épaisseur de l'ailette sur l'efficacité des ailettes ainsi l'emplacement optimal des ailettes sur la paroi en termes de pas et de configuration.

[1]Webb R.L , and Bergels A. E ,and Junkhan G . H , ‘ Bibliography of U.S parent littérature on heat trasfer augmentation techniques ’’. Engineering research institute, HTL-HTL-25, .Iowa state university ,(1980).

[2]Allan.D.Kraus,Abdelaziz,James Welty ,Extended surface Heat Transfert, willey-Interscience Publication , John Willey & Sans , INC. New Yourk /Chichester/Weinheim /Brisbane /Singapore /Toronto

[3]çongel Y.A,Heat trasfer ,practical approach’’,2ndedition ,WCB/Mc Graw-Hill ,Boston(1998),pp ,1004.

[4]Rigot G,Transmission et Echangeurs de chaleur’’.les edetions prisiennes(1991), pp 394.

[5]Devrient A.B., ‘La transmission de la chaleur’’. Gaetom Morni, Vol. 1, tome 2, 2nd ed, (1990), pp. 394.

[6] Incropera F., and Dewitt .D. ‘Fundamentals of heat and mass transfer ‘ ‘ 4th edition , Willey, New York, (1996), pp 482-490.

[7] Lienhand , J.H. ? ‘A Heat Transfert Textbook ‘.Third Edition, JHL IV ,Houston, Texas JHL V, Cambridge, Massachusetts, August (2003), pp. 749.

[8]Hagen K.D., ‘Heat Transfert with applications’’. New Jersey ;Prentice ,(1999),pp,688.

[9] Rohsenow W.M .,and Hartnett J.P.,’ Hand book of heat transfer’’,Mc Graw-Hill. Inc,(1973), section-3.

[10] Yves JANNOT Nancy ‘trasferts thermiques’ Ecole des Mines 2012 de p25.

[11] F.KREITH , R. F. BOEHM, et Al.<< Heah and Mass Transfer >> Mechanical Engineering Handbook Ed Frank Kreith Boca Raton : CRC Press LLC, 1999.

[12] P. ARQUES, « *Moteurs alternatifs à combustion interne* ». De la théorie à la compétition. Edition Ellipses, Paris, 1999.

[13] Threlkeld, J.L. 1970. Thermal Environmental Engineering, second ed Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey .

[14] Mc Quiston , F.C., 1975 . Fin efficiency with combined heat and mass transfer. ASHRAE Trans. 81 (part 1), 350 e 355.

[15] Sharqawy, M.H., Zubair , S.M., 2008 . Efficiency and optimisation of straight fins with combined heat and mass transfert e an analytical solution . Appl . Therm . Eng .28 2279 e 2280