

**MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'obtention du diplôme  
**MASTER EN GENIE MECANIQUE**  
Spécialité : Génie Energétique

**Thème**

---

**Application des matériaux composites pour améliorer les échanges thermiques pour refroidir  
les composantes électroniques**

---

**Présenté par :**

✉ AMARA Abd El hak  
✉ CHAIR Fadhil

**Encadrés par :**

✉ Mr Medjahed Driss Meddah

**Soutenu publiquement le :** 22 /05 / 2017 , devant le jury :

-Boukhadia Karima  
-Djellouli Omar

# *Remerciement*

*Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la Volonté de mener à terme ce présent travail.*

*Nous remercions énormément Mr. Medjahed Driss Meddah d'avoir accepté de nous encadrer et nous lui somme très reconnaissant pour ces précieuses aides pendant les moments difficiles.*

*Nous remercions l'ensemble de jury qui a bien voulu examiner et évaluer ce mémoire.*





# Dédicace

*Au nom de Dieu qui nous a éclairé les chemins du savoir et de la sagesse.*

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect de reconnaissance à toute ma famille ;*

*A mon père adoré que Dieu lui protège et lui garde ;*

*A ma mère, ma seule précieuse, je remercie le bon Dieu qui m'a bénie d'une mère merveilleuse, qui Dieu lui donne la bonne santé ;*

*Mon encadreur Mr Medjahed Driss Meddah, pour son aide et ses précieux conseils durant la réalisation de ce mémoire.*

*A ceux qui sont présent dans mon cœur :*

*Mes sœurs et frères que j'aime beaucoup*

*Mes amis(e)*

*Et je dédie aussi à tous mes collègues de notre promotion et tous les étudiants et Tous les enseignants de génie mécanique 2017*

*A tous et à toutes qui me connaissent, j'espère que ce travail soit pour eux l'expression de mon profond et affectueux amour et attachement.*

***Amara abd el hak***





# Dédicace

*Je dédie ce mémoire  
A mes chers parents ma mère et mon père  
Pour leur patience, leur amour, leur soutien  
et leurs encouragements.*

*A mes frères.*

*A mes amies et mes camarades.*

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du primaire,  
du moyen, du secondaire ou de l'enseignement  
supérieur.*

**Chair Fadhil**



# Sommaire

<b>I.1. INTRODUCTION :</b> .....	13
<b>I.2. DEFINITION :</b> .....	13
<b>I.2.1. FLUX DE CHALEUR :</b> .....	13
<b>I.2.2. DENSITE DE FLUX THERMIQUE :</b> .....	13
<b>I.3. TRANSFERT THERMIQUE PAR CONDUCTION :</b> .....	14
<b>I.3.1. CONDUCTION :</b> .....	14
<b>I.3.2. DEFINITION :</b> .....	14
<b>I.3.2.1. LOI DE FOURIER :</b> .....	14
<b>I.3.2.2. CONDUCTIVITE THERMIQUE :</b> .....	15
<b>I.4. TRANSFERTS THERMIQUES PAR CONVECTION :</b> .....	15
<b>I.4.1 CONVECTION :</b> .....	15
<b>I.4.2. LES DEFERENTS TYPES DE CONVECTION :</b> .....	16
<b>I.4.2.1. LA CONVECTION NATURELLE OU LIBRE :</b> .....	16
<b>I.4.2.2. LA CONVECTION FORCEE :</b> .....	16
<b>I.4.3. LOI DE NEWTON.....</b> .....	16
<b>I.5. TRANSFERT THERMIQUE PAR RAYONNEMENT :</b> .....	16
<b>I.5.1. RAYONNEMENT :</b> .....	16
<b>I.5.2. DEFINITION :</b> .....	16
<b>I.5.2.1. LOI DE PLANCK.....</b> .....	16
<b>I.5.2.2. CORPS NOIR :</b> .....	17
<b>II.1. THEORIE DES AILETTES :</b> .....	19
<b>II.1.1. INTRODUCTION :</b> .....	19
<b>II.1.2. UTILITE DES AILETTES :</b> .....	19
<b>II.1.3. PROBLEME MONODIRECTIONNEL :</b> .....	20
<b>II.1.3.1. VALIDITE DE L'HYPOTHESE DE BARRE-AILETTE :</b> .....	20
<b>II.1.3.2. MISE EN EQUATION :</b> .....	20
<b>II.1.3.3. EFFICACITE D'UNE AILETTE :</b> .....	22
<b>II.1.3.4. RENDEMENT D'UNE AILETTE :</b> .....	22
<b>II.2. LE CHAMP DE TEMPERATURE ET LE FLUX DE CHALEUR EVACUE ET L'EFFICACITE DE DIFFERENTES AILETTES :</b> .....	23
<b>II.2.1. AILETTES LONGITUDINALES CONVECTIVES :</b> .....	23
<b>II.2.1.1. AILETTE RECTANGULAIRE :</b> .....	23
<b>II.2.1.2. AILETTE TRAPEZOÏDALE :</b> .....	27
<b>II.2.1.3. AILETTE TRIANGULAIRE :</b> .....	28
<b>II.2.1.4. AILETTE CONCAVE PARABOLIQUE :</b> .....	28
<b>II.2.1.5. AILETTE CONVEXE PARABOLIQUE :</b> .....	29
<b>II.2.1.6. AILETTES RADIALES CONVECTIVES :</b> .....	30
<b>II.3. CHOIX DES AILETTES.....</b> .....	32
<b>II.4. CONCLUSION :</b> .....	32
<b>III.2. CARACTERISTIQUES D'UN MATERIAU COMPOSITE :</b> .....	35
<b>III.3. CLASSIFICATIONS DES MATERIAUX COMPOSITES :</b> .....	36

<i>III.3.A) LES FIBREUX :</i>	36
<i>III.3.B) LES PARTICULES :</i>	37
<i>III.4. TERMINOLOGIE FONDAMENTAL DES MATERIAUX COMPOSITES :</i>	38
<i>III.5. LES AVANTAGES DES MATERIAUX COMPOSITES :</i>	39
<i>III.6. LES COMPOSITES DE TYPE PLAQUES LAMINEES (STRATIFIES) :</i>	40
<i>IV.1. INTRODUCTION :</i>	43
<i>IV.2. VARIATION DE L'EPAISSEUR DE LA BASE DU DISSIPATEUR SIMPLE (ALUMINIUM) :</i>	43
<i>IV.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS :</i>	44
<i>IV.3.1 DISSIPATEUR AVEC SIMPLE GEOMETRIE B=1MM.....</i>	44
<i>IV.3.2 DISSIPATEUR AVEC SIMPLE GEOMETRIE B=3MM.....</i>	44
<i>VI.3.3 DISSIPATEUR AVEC SIMPLE GEOMETRIE B=5MM.....</i>	45
<i>IV.3.4 DISSIPATEUR AVEC SIMPLE GEOMETRIE B=7MM.....</i>	45
<i>IV.4. COMPARAISON ENTRE LES MODELES AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE SIMPLE.....</i>	47
<i>EN CUIVRE AVEC DIFFERENTS EPAISSEURS :</i>	47
<i>IV.4.1 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE SIMPLE D'EPAISSEUR E=2MM .....</i>	47
<i>IV.4.2 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE SIMPLE D'EPAISSEUR E=3MM .....</i>	47
<i>VI.4.3 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE SIMPLE D'EPAISSEUR E=4MM .....</i>	48
<i>VI.4.4 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE SIMPLE D'EPAISSEUR E=5MM .....</i>	48
<i>IV.4.4 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE SIMPLE D'EPAISSEUR E=6MM .....</i>	48
<i>IV.5. COMPARAISON ENTRE LES MODELES AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE EN CUIVRE AVEC DES RAINURES RECTANGULAIRE DE DIFFERENTS LARGEURS Y :</i>	49
<i>IV.5.1 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES Y=7MM .....</i>	49
<i>IV.5.2 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES Y=6MM .....</i>	50
<i>IV.5.3 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES Y=5MM .....</i>	50
<i>IV.5.4 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES Y=4MM .....</i>	50
<i>IV.5.5 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES Y=3MM .....</i>	51
<i>IV.6. COMPARAISON ENTRE LES MODELES AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE EN CUIVRE AVEC DES RAINURES RECTANGULAIRES DE DIFFERENTES HAUTEURS X :</i>	52
<i>IV.6.1 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES X=1MM.....</i>	52
<i>IV.6.1 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES X=1.25MM.....</i>	52
<i>IV.6.1 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES X=1.5MM.....</i>	53
<i>IV.6.1 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES X=1.75MM.....</i>	53
<i>IV.6.1 DISSIPATEUR AVEC UN AJOUT D'UNE PLAQUE AVEC RAINURES X=2MM.....</i>	53
<i>IV.7 CONCLUSION :</i>	54
<i>CONCLUSION GENERALE :</i>	55
<i>BIBLIOGRAPHIE.....</i>	56
<i>RESUME: .....</i>	57

## TABLE DE FIGURE

Figure 1 : la densité de flux de chaleur. ....	13
Figure 2 : Tube de flux de chaleur. ....	15
Figure 3 : Principe d'une ailette. ....	19
Figure 4 : La distribution de la température dans un mur. ....	20
Figure 5 Ailette rectangulaire.....	23
Figure 6 : Ailette trapézoïdale.....	27
Figure 7 : Ailette triangulaire. ....	28
Figure 8 : Ailette concave parabolique. ....	28
Figure 9 : Ailette concave parabolique. ....	29
Figure 10 : Efficacité d'ailettes longitudinales Convectives. ....	29
Figure 11 : Efficacité d'ailette radiale Convective rectangulaire[11].....	30
Figure 12 : Efficacité d'ailette radiale Convective triangulaire [11]. ....	31
Figure 13 : Efficacité d'ailette radiale Convective hyperbolique [11]. ....	31
Figure 14 : l'importance de développement matériel à travers histoire (d'après ashby). ....	35
Figure 15 : Schéma représentant les composites à fibres.....	36
Figure 16 : Schéma représente les composites à particules. ....	37
Figure 17 : Classification des matériaux composites. ....	37
Figure 18 : l'usage de fibres du carbone de 1977 à 1998 dans le monde.....	40
Figure 19 : Schéma représente la couche composite unidirectionnelle et tissu. ....	41
Figure 20 : vue schématique d'une couche composite. ....	41
Figure 21 : vue schématique d'une stratifié à 3 couches [0/45/90]. ....	41
Figure 22 : Le montage. ....	43
Figure 23 : Variation de la température du dissipateur $b=1$ et le modèle en 3D.....	44
Figure 24 : Variation de la température du dissipateur $b=3$ et le modèle en 3D.....	44
Figure 25 : Variation de la température du dissipateur $b=5$ et le modèle en 3D.....	45
Figure 26 : Variation de la température du dissipateur $b=7$ et le modèle en 3D.....	45
Figure 27 : Variation de la température du dissipateur $b=9$ et le modèle en 3D.....	46
Figure 28 : Variation de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de du dissipateur la base $b$ . ....	46
Figure 29 : Variation de la température du dissipateur $e_{Cu}=2$ et le modèle en 3D. ....	47
Figure 30 : Variation de la température du dissipateur $e_{Cu}=3$ et le modèle en 3D. ....	47
Figure 31 : Variation de la température du dissipateur $e_{Cu}=4$ et le modèle en 3D. ....	48
Figure 32 : Variation de la température du dissipateur $e_{Cu}=5$ et le modèle en 3D. ....	48
Figure 33 : Variation de la température du dissipateur $e_{Cu}=6$ et le modèle en 3D. ....	48
Figure 34 : Variation de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de la plaque en cuivre. ....	49
Figure 35 : Variation de la température du dissipateur $y=7$ et le modèle en 3D.....	49
Figure 36 : Variation de la température du dissipateur $y=6$ et le modèle en 3D.....	50
Figure 37 : Variation de la température du dissipateur $y=5$ et le modèle en 3D.....	50
Figure 38 : Variation de la température du dissipateur $y=4$ et le modèle en 3D.....	50
Figure 39 : Variation de la température du dissipateur $y=3$ et le modèle en 3D.....	51
Figure 40 : Variation de la résistance thermique en fonction de la largeur « $y$ » de la rainure . ....	51
Figure 41 : Variation de la température du dissipateur $x=1$ et le modèle en 3D.....	52
Figure 42 : Variation de la température du dissipateur $x=1.25$ et le modèle en 3D.....	52
Figure 43 : Variation de la température du dissipateur $x=1.5$ et le modèle en 3D.....	53
Figure 44 : Variation de la température du dissipateur $x=1.75$ et le modèle en 3D.....	53
Figure 45 : Variation de la température du dissipateur $x=2$ et le modèle en 3D.....	53
Figure 46 : Variation de la résistance thermique en fonction de la hauteur « $x$ » de la rainure. ....	54

## Liste des tableaux

Tableau 2 : Caractéristique mécanique des fibres.....	40
Tableau 3 : Les conditions aux limites.....	43



## Nomenclature

$\Phi$ : Flux de chaleur	(W.m <sup>-2</sup> )
Q : La quantité de chaleur	(W)
S : La surface	(m <sup>2</sup> )
l : La longueur	(m)
$\Omega$ : La densité de flux de chaleur	(W.m <sup>-2</sup> )
T : La température	(K)
Ts: La température de surface	(K)
T $\infty$ : La température du fluide	(K)
T <sub>1</sub> : Temperature à l'entrée du mur	(K)
T <sub>2</sub> : Temperature à la sortie du mur	(K)
h : Coefficient de transfert thermique par convection	(W.m <sup>-2</sup> .K-1)
$\lambda$ : Coefficient de transfert thermique par conduction	(W.m-1.K-1)
E : L'énergie	(J)
$\varphi_a$ : L'efficacité d'une ailette	
$\eta_a$ : Le rendement d'une ailette	
P : Le périmètre de l'ailette	(m)
A <sub>t</sub> : La section transversale de l'ailette	(m <sup>2</sup> )
$\eta$ : L'efficacité	
Qt : Flux échangé par la totalité de la surface ailette	(W.m <sup>-2</sup> )
St: Surface d'échange totale (totalité des ailettes base)	(m <sup>2</sup> )
n : Nombre d'ailettes sur la surface	
Sa: Surface d'échange d'une ailette	(m <sup>2</sup> )
Sb: Surface de la base	(m <sup>2</sup> )
Tb : la température de base	(K)
R <sub>th</sub> : Résistance thermique	(W/m <sup>2</sup> )
q : la quantité de chaleur imposé par le microprocesseur.	(W)

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale :**

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 la recherche d'un dissipateur optimale pour refroidir les composantes électroniques, on a ajouté une plaque en cuivre avec différentes épaisseurs et différentes formes. Le présent manuscrit s'organise autour d'une introduction générale, de quatre chapitres et une conclusion finale :

Dans le premier chapitre, nous allons commencer par une présentation des notions de base sur le transfert de chaleur. Faisant suite à ce chapitre. le deuxième chapitre est consacré à une étude analytique du Thermiques par les ailettes.

Ensuite, dans le troisième chapitre sera des initiations sur les matériaux composites.

En fin, le dernier chapitre dans ce mémoire sera sur une simulation numérique d'un dissipateur pour refroidir les composantes électroniques.

Finalement, la conclusion de ce manuscrit permettra aux lecteurs d'obtenir un aperçu rapide et inclusif de tout notre travail.

Chapitre I :  
**Notions de base sur le transfert  
de chaleur**

### **I.1. Introduction :**

Les Transferts thermiques forment une discipline qui étudie la propagation de la chaleur. Le transfert de chaleur est en fait un échange de calories, toujours d'un milieu chaud à un milieu froid.

Il existe trois modes de transfert de chaleur différent :

- La conduction
- La convection
- Le rayonnement

Deux corps ayant la même température sont dits en " équilibre thermique ". Si leur température est différente, le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid : il y a transfert thermique, ou par chaleur.

L'étude des transferts thermiques complète l'étude de la thermodynamique en décrivant la manière dont s'opère le transfert d'énergie. À la différence de la thermodynamique, la thermocinétique fournit des informations sur le mode de transfert en situation de non équilibre ainsi que sur les valeurs de flux de chaleur. [1]

### **I.2. Définition :**

#### **I.2.1. Flux de chaleur :**

La chaleur s'écoule sous influence d'un gradient de température par conduction des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'air de la surface isotherme est appelées densités de flux de chaleur :

$$\Phi = \frac{1}{S} \cdot \frac{dQ}{dt} \text{ (W. m}^{-2}\text{)} \quad (01)$$

Où S est l'air de la surface (m<sup>2</sup>)

On appel flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps [2] :

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} \text{ (W)} \quad (02)$$

#### **I.2.2. Densité de flux thermique :**

Soit un élément de surface  $d\Omega$ , orienté par la normale  $\vec{n}$ ,  $d\Phi$  est le flux d'un vecteur  $\vec{\varphi}$  au travers la surface élémentaire  $d\Omega$  :

$$d\Phi = \vec{\varphi} \vec{n} d\Omega = \varphi \cos \alpha d\Omega \quad (03)$$

Où  $\cos \alpha d\Omega$  représenté la surface utile.

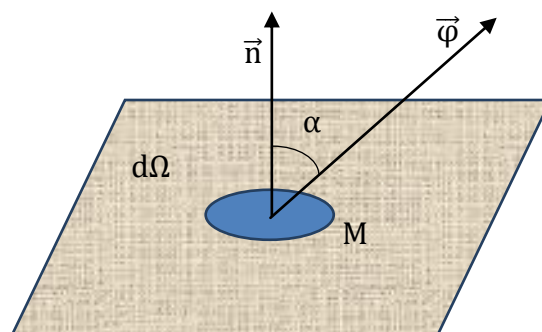


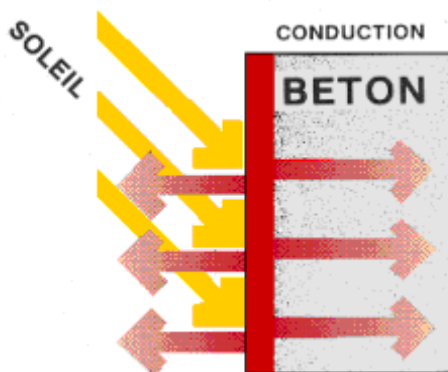
Figure 1 : la densité de flux de chaleur.

$\vec{\varphi}$  Est la densité locale de flux de chaleur au point M. Ce vecteur caractérise, en chaque point du milieu, la direction, le sens et l'intensité du flux de chaleur. [2]

### **I.3. Transfert thermique par conduction :**

#### **I.3.1. Conduction :**

La conduction est le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche dans un matériau ou passe d'un corps à un autre en contact physique direct, par simple interaction moléculaire. Les molécules du secteur le plus chaud se heurtent vivement entre elles et transmettent leur énergie de vibration aux molécules voisines. Le flux de chaleur va toujours des zones chaudes vers les zones froides.



transmettent leur énergie de vibration aux molécules voisines. Le flux de chaleur va toujours des zones chaudes vers les zones froides.

Lorsque les molécules s'échauffent à la surface d'un corps sous l'effet du rayonnement solaire, elles transmettent cette chaleur aux molécules voisines ; et de proche en proche, la chaleur captée se répartit dans toute la masse du corps, jusqu'à atteindre à l'uniformité des températures.

La vitesse de progression du flux de chaleur à travers un corps, sa conductivité thermique, dépend de l'aptitude de ses molécules et de ses électrons à recevoir et à transmettre la chaleur. Par exemple, un métal paraîtra

plus froid au toucher qu'un morceau de bois, pourtant à la même température. Cela tient au fait que le métal a une conductivité plus élevée et que la chaleur s'écoule de la surface vers l'intérieur plus rapidement que dans le bois. La sensation de froid est d'autant plus intense que la chaleur retirée de la main vers le métal par conduction est plus importante.

Les gaz sont généralement de mauvais conducteurs. Les matériaux comportant de minuscules cellules d'air en grand nombre sont habituellement de mauvais conducteurs et donc de bons isolants. Les matériaux d'isolation utilisés dans la construction illustrent bien cela : ils renferment une multitude de petits espaces d'air et se caractérisent par leur légèreté. [3]

#### **I.3.2. Définition :**

##### **I.3.2.1. Loi de Fourier :**

La loi de Fourier est une loi semi-empirique analogue à la loi de Fick pour la diffusion de particule ou la loi d'Ohm pour la conduction électrique (Ohm s'est d'ailleurs servi d'une analogie entre thermique et électricité pour construire sa théorie). Ces trois lois peuvent s'interpréter de la même façon : l'inhomogénéité d'un paramètre intensif (température, nombre de particules par unité de volume, potentiel électrique) provoque un phénomène de transport tendant à combler le déséquilibre (flux thermique, courant de diffusion, courant électrique).

La relation de Fourier est phénoménologique, c'est-à-dire issue de résultats expérimentaux. Pour bien comprendre la signification de cette relation, reportons-nous à la figure. Sur cette figure est représenté un matériau homogène et isotrope sous la forme d'un tube supposé parfaitement isoler à sa périphérie.

On note  $S$  la section du tube et  $l$  sa longueur. Les températures aux extrémités du tube, notées  $T_1$  et  $T_2$ , sont imposées et constantes au cours du temps. Un flux de chaleur apparaît dans la direction des hautes températures vers les basses températures. J. Fourier obtient expérimentalement que lorsque les températures sont stabilisées dans le temps (régime stationnaire), il existe une relation liant le flux à l'écart de température entre l'entrée et la sortie sous la forme [4] :

$$\vec{\Phi} = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{l} \vec{x} \quad (04)$$

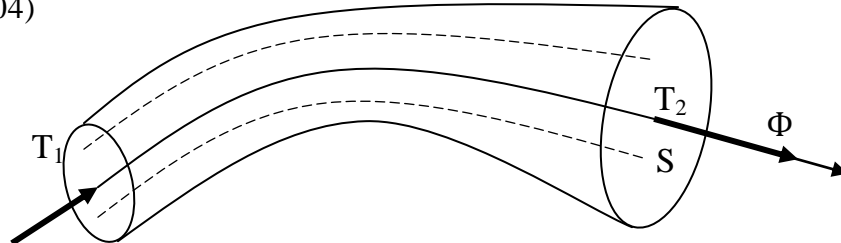


Figure 2 : Tube de flux de chaleur.

### **1.3.2.2. Conductivité thermique :**

La conductivité thermique est la grandeur physique qui caractérise l'aptitude d'un corps à conduire la chaleur. Elle est symbolisée par la lettre grecque  $\lambda$  (lambda). La conduction thermique est le mode de transfert de chaleur associée à cette grandeur.

Plus la conductivité thermique d'un matériau est élevée, plus celui-ci conduit la chaleur, et donc moins il est isolant. Dans le système international d'unités, la conductivité thermique est exprimée en watts par mètre par kelvin ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ). La conductivité thermique dépend principalement de la nature du matériau et de la température mais d'autres paramètres tels que l'humidité et la pression interviennent également.

Quand la température augmente, un isolant perd de sa capacité d'isolation et, à l'inverse, un conducteur perd de sa capacité de conduction.

En général, la conductivité thermique va de pair avec la conductivité électrique. Par exemple, les métaux, bons conducteurs d'électricité sont aussi de bons conducteurs thermiques. Il y a toutefois des exceptions, le diamant par exemple a une conductivité thermique élevée, entre 1000 et 2600  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ , alors que sa conductivité électrique est basse. [4]

## **1.4. Transferts thermiques par convection :**

### **1.4.1 Convection :**

C'est un transfert qui résulte d'un mouvement d'ensemble du matériau le supportant. La convection a donc lieu dans les fluides (gaz ou liquides). Elle est souvent caractéristique de l'échange à la frontière entre un solide et un fluide et est donc très liée à l'écoulement fluide mais aussi aux géométries d'échange et aux états de surface si un solide intervient. Il convient de distinguer la convection forcée dans laquelle le fluide est mis en mouvement par un apport d'énergie mécanique extérieur (pompe, ventilateur,.....) de la convection naturelle dans laquelle le fluide prend, en son sein, l'énergie nécessaire au mouvement (variation de masse volumique associée à une variation de température par exemple). De façon macroscopique elle est décrite par la loi de Newton (1701). [3]

## **I.4.2. Les différents types de convection :**

### **I.4.2.1. La convection naturelle ou libre :**

Le fluide est mis en mouvement sous le seul effet :

- Des différences de masses volumiques résultant des différences de températures sur les frontières ;
- D'un champ de forces extérieures (la pesanteur).

### **I.4.2.2. La convection forcée :**

Le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température (pompe, ventilateur...). Compte tenu du lien entre le masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de considérer la nature du régime d'écoulement.

On distingue :

Écoulement en régime turbulent

Écoulement en régime laminaire.

## **I.4.3. Loi de Newton**

La loi de Newton donne l'expression de la quantité d Q échangée entre la surface d'un solide à la température Ts et le fluide à la température T.

## **I.5. Transfert thermique par rayonnement :**

### **I.5.1. Rayonnement :**

La matière émet des ondes électromagnétiques (émission qui se produit en surface pour les solides et les liquides opaques, dans tout le volume pour les gaz ou liquides transparents). Ces ondes dépendent de la température. Il s'agit d'une onde électromagnétique et qui donc ne nécessite aucun support matériel pour se propager. Outre le rayonnement thermique on peut s'intéresser à des ondes comme les micro-ondes et leur génération dans le volume. Ce mode de transfert est décrit par la loi de Stefan (1879). [3]

### **I.5.2. Définition :**

#### **I.5.2.1. Loi de Planck**

Le passage du niveau d'énergie E à un niveau d'énergie E -  $\nu$  s'accompagne de l'émission d'un rayonnement de fréquence  $\nu$  et d'énergie  $h\nu$  ou h est la constante de Planck : [6]

$$E = h\nu \quad \text{avec} \quad h = 6.62 \cdot 10^{-34}$$

Avec [E] = J    [h] = J. s    [ $\nu$ ] = S<sup>-1</sup> (05)



### **1.5.2.2. Corps noir :**

Un corps noir est une surface idéale (qui n'existe donc pas dans la nature) possédant les propriétés suivantes :

Il absorbe tout éclairement indépendamment de la longueur d'onde et de la direction de cet éclairement ;

A une température de surface équivalente, le rayonnement d'un corps noir est plus grand que celui de toute autre surface ;

Le rayonnement d'un corps noir est isotrope. [5].

Chapitre II :  
Etude Analytique Du  
Transfert Thermique Par  
Les Ailettes

## II.1. Théorie des ailettes :

### II.1.1. Introduction :

Une ailette est un dispositif thermique visant à augmenter la surface de contact avec un fluide extérieur pour augmenter les échanges convectifs, et donc le transfert de chaleur.

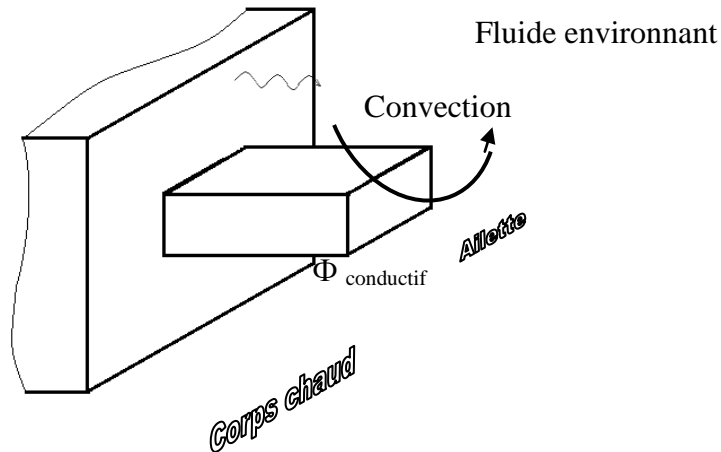


Figure 3 : Principe d'une ailette.

L'ailette est en contact avec le corps chaud, la chaleur se propage par conduction à travers l'ailette qui est refroidie par convection par le fluide environnant. [6]

### II.1.2. Utilité des ailettes :

Pour intensifier le flux de transfert thermique, il est possible de :

- 1) Augmenter le coefficient d'échange par conduction (qui dépend du matériau choisi).
- 2) Augmenter le coefficient d'échange par convection  $h$  (il est défini par le type du fluide utilisé, de la vitesse d'écoulement et de la forme et disposition des surfaces d'échange).
- 3) Augmenter la vitesse d'écoulement.
- 4) Favoriser la turbulence pour détruire la couche limite thermique.
- 5) Augmenter la surface d'échange.

Le choix de ces différents paramètres reste à étudier car dans la plupart des cas, il faudra extraire une densité de flux importante dans un encombrement réduit, tel que :

Micro processus.

Evaporateur de climatisation.

Radiateur automobile.

Carter moteur.

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. [6]

### **II.1.3. Problème monodirectionnel :**

Quand le transfert thermique entre une surface et un fluide est faible, on place sur celle-là des ailettes conductrices pour augmenter les échanges.

Ces ailettes qui pénètrent dans le fluide dans une direction Ox sur une profondeur L peuvent être à section uniforme ou non.

L'approximation dite de la " barre " consiste à dire que le gradient de température est essentiellement dans une direction Ox c'est à dire que dans une section  $x = \text{Cste}$ , le champ de température est en première approximation, uniforme.

Toutefois, et contrairement à l'hypothèse de " mur thermique ", on ne néglige pas les échanges de chaleur dans les directions transversales, on en tient compte par l'intermédiaire d'un coefficient h traduisant les échanges par convection et rayonnement [6]

#### **II.1.3.1. Validité de l'hypothèse de barre-ailette :**

On considère un mur en contact avec un fluide.

$$(T_1 - T_2) = \varphi \frac{L}{\lambda}$$

$$\varphi = h(T_2 - T_\infty) \quad (\text{II. 6})$$

$$\frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_\infty} = \frac{hL}{\lambda} = \text{Bi} \quad (\text{nombre de biot})$$

$T_1$  : Température à l'entrée du mur  
 $T_2$  : Température à la sortie du mur  
 $T_\infty$  : Température d'ambient

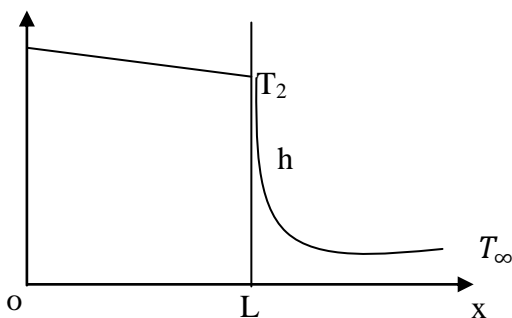


Figure 4 : La distribution de la température dans un mur.

Si le nombre de Biot est faible, on peut considérer que le gradient de température est nul en première approximation dans la direction considérée.

#### **II.1.3.2. Mise en équation :**

Comme exemple simple, on considère une ailette ayant la forme d'une barre prismatique dont la base est liée à un mur porté à la température  $T_s$  supposée constante. Nous sommes donc en régime permanent. L'ailette est refroidie le long de sa surface par un fluide à température  $T_\infty$ . L'ailette de section transversale A constante est faite d'un matériau ayant une conductivité thermique uniforme  $\lambda$  et le coefficient d'échange de chaleur entre la surface de l'ailette et le fluide est h.

Hypothèse :  $\text{Bi} < 01$

On supposera que les gradients radiaux de température sont si petits que la température est uniforme dans n'importe quelle section transversale de la barre, c'est-à-dire :  $T = T(x)$  L'étude des limites de cette simplification, laquelle rend le problème de l'écoulement de la chaleur unidimensionnel, a montré que l'erreur commise dans une solution unidimensionnelle est au-dessous de un pour cent, même pour une ailette relativement épaisse. Une manière de s'exprimer de façon plus générale est de dire que lorsque le nombre de Biot est inférieur à 0.1 dans deux directions de l'espace, il est possible de réduire un problème tridimensionnel en un problème unidirectionnel.

Le bilan thermique appliqué à un petit élément de l'ailette permettra d'obtenir une équation définissant la répartition des températures. En régime permanent, la quantité de chaleur qui entre, par conduction, par la face gauche de l'élément est égale à celle qui sort, par conduction, par la face droite de l'élément et, par convection de la surface vers le milieu extérieur, ou :

Flux thermique qui entre, par conduction, dans l'élément par la face située à la distance $x$ $\dot{Q}_x$	=	Flux thermique qui sort, par conduction, de l'élément par la face située à la distance $x + dx$ . $\dot{Q}_{x+dx}$	+	Flux thermique qui sort, par convection, de la surface entre $x$ et distance $x + dx$ . $\dot{Q}_{conv}$
--	---	---	---	---

Le flux qui rentre par la face  $x$  est :

$$\dot{Q}_x = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x}$$

Le flux qui sort par la face  $x + dx$  est :

$$\dot{Q}_{x+dx} = -\lambda A \frac{\partial}{\partial x} \left( T_{(x)} + \frac{\partial T}{\partial x} dx \right)$$

Le régime étant permanent, le flux de convection s'écrira :

$$\dot{Q}_{conv} = hPdx(T_{(x)} - T_{\infty})$$

Avec  $P$  : périmètre de la section de la pièce

Dès lors :

$$\begin{aligned} \dot{Q}_x &= \dot{Q}_{x+dx} + \dot{Q}_{conv} \\ -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} &= -\lambda A \frac{\partial}{\partial x} \left( T_{(x)} + \frac{\partial T}{\partial x} dx \right) + hPdx(T - T_{\infty}) \\ 0 &= -\lambda A \frac{d^2 T}{dx^2} + hPdx(T_{(x)} - T_{\infty}) \\ \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{hP}{\lambda A} (T_{(x)} - T_{\infty}) &= 0 \end{aligned}$$

Posons :  $m^2 = \frac{hP}{\lambda A} = [m^{-2}]$

L'équation finale devient :

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - m^2 (T_{(x)} - T_{\infty}) = 0 \quad (\text{II. 7})$$

L'équation (III. 7) est appelée équation de l'ailette en régime permanent.

### II.1.3.3. Efficacité d'une ailette :

#### Définition :

L'efficacité d'une ailette est définie comme étant le rapport entre le flux de chaleur dissipé par l'ailette et le flux de chaleur qui quitterait la même surface s'il n'y avait pas s'ailette et si la température de base restait identique.

$$\varphi_a = \frac{\dot{Q}_{\text{ailette}}}{hA(T_s - T_\infty)} = \frac{\text{Taux de transfert de chaleur de l'ailette}}{\text{Taux de transfert de chaleur sans l'ailette}} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$h$  : coefficient de transfert thermique par convection

$A$  : aire transversale de l'ailette (à la base)

$T_s$  : température de surface

$T_\infty$  : température du fluide

#### Cas particulier de l'ailette infinie

$$\varphi_a = \frac{\dot{Q}_{\text{ailette}}}{hA(T_s - T_\infty)} = \frac{\sqrt{hP\lambda A}(T_s - T_\infty)}{hA(T_s - T_\infty)} = \sqrt{\frac{\lambda P}{hA}} \quad (\text{II.9})$$

Donc, l'efficacité d'une ailette augmente si :

- 1) la conductivité thermique  $\lambda$  augmente ;
- 2) le coefficient de transfert thermique par convection  $h$  diminue ;
- 3) le rapport  $P/A$  augmenté (ailette mince).

### II.1.3.4 Rendement d'une ailette :

Définition : Le rendement d'une ailette est défini comme étant le rapport entre le taux de transfert de chaleur réel de l'ailette et le taux de transfert thermique de l'ailette qui existerait si elle était toute à la température de la base.

$$\eta_a = \frac{\Phi_{\text{ailette}}}{hA_{\text{tot surf}}(T_s - T_\infty)} = \frac{\text{Taux de transfert de chaleur de l'ailette}}{\text{Taux de transfert de chaleur maximal de l'ailette}} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

$h$  : coefficient de transfert thermique par convection

$A_{\text{tot surf}}$  : aire totale de la surface de l'ailette

$T_s$  : température de surface

$T_\infty$  : température du fluide

Cette notion de rendement est plus rationnelle et plus utilisée que celle d'efficacité. En effet, la dernière condition de l'efficacité : "et si la température de base restait identique" recèle le point faible de cette notion d'efficacité, dans la réalité, la température de base peut quelque peu changer si l'on enlève l'ailette.

En nous plaçant dans les conditions d'une ailette de longueur finie avec extrémité isolée :

$$\eta_a = \frac{\sqrt{hP\lambda A}(T_s - T_\infty)\tanh(\tilde{m}l)}{hPl(T_s - T_\infty)} = \sqrt{\frac{\lambda P}{hA}} \frac{\tanh(\tilde{m}l)}{l} = \frac{\tanh(\tilde{m}l)}{ml} \quad (\text{II. 11})$$

## II.2. Le champ de température et le flux de chaleur évacué et l'efficacité de différentes ailettes :

### II.2.1. Ailettes longitudinales Convectives :

Les cinq types d'ailettes longitudinales les plus répandus sont :

1. rectangulaire (Figure 5)
2. trapézoïdale (Figure 6)
3. triangulaire (Figure 7)
4. concave parabolique (Figure 8)
5. et convexe parabolique (Figure 9)

**Hypothèses :** Les solutions analytiques obtenues sont fondées sur plusieurs hypothèses.

1. La conduction de chaleur dans l'ailette est régulière et unidimensionnelle.
2. Le matériel de l'ailette est homogène et isotrope.
3. Il n'y a aucune génération d'énergie dans l'ailette.
4. L'environnement convectif est caractérisé par un coefficient de transfert de chaleur uniforme et une température constante
5. L'ailette a une conductivité thermique constante.
6. Le contact entre la base d'ailette et la surface primaire est parfait.
7. L'ailette a une température de base constante. [6]

#### II.2.1.1. Ailette rectangulaire :

la distribution de la température, le taux de transfert de chaleur, et le

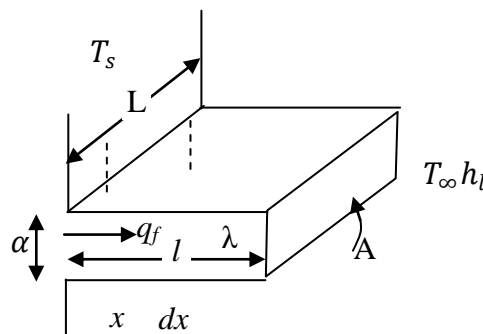


Figure 5 Ailette rectangulaire

Coefficient d'efficacité sont donnés pour cinq cas de conditions aux limites :

**A) Flux extrait par l'ailette de longueur infinie**

La solution de l'équation (III. 7) de forme classique est :

$$T_{(x)} - T_{\infty} = C_1 \exp(mx) + C_2 \exp(-mx) \quad (\text{II. 12})$$

Les différentes conditions limites sont :

Si  $x = 0 \rightarrow T_{(x=0)} = T_s$  (température de surface)

Si  $x = \infty \rightarrow T_{(x=\infty)} = T_{\infty}$  (température ambiante du fluide)

$$1^{\text{ere}} \text{ Condition aux limites } (x = 0) : T_s - T_{\infty} = C_1 + C_2$$

$$2^{\text{eme}} \text{ Condition aux limites } (x = \infty) : 0 = C_1 \exp(m\infty) + C_2 \exp(-m\infty) \\ \Rightarrow C_1 = 0 \text{ et } C_2 = T_s - T_{\infty}$$

La solution est :

$$\frac{T_{(x)} - T_{\infty}}{T_s - T_{\infty}} = \exp(-mx) \quad (\text{II. 13})$$

$$\text{Avec } m = \sqrt{\frac{hP}{\lambda A_t}} = [m^{-1}]$$

$P$  : étant le périmètre de l'ailette et  $A_t$  la section transversale de l'ailette.

La quantité de chaleur (flux) transmise par l'ailette au fluide peut être obtenue par deux méthodes différentes. Comme la chaleur s'écoulant par conduction, à travers la base de l'ailette doit être transmise par convection à partir de la surface de la barre au fluide. Nous aurons donc :

$$\dot{Q}_{ailette} = -\lambda A_t \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = \int_0^{\infty} hP(T_{(x)} - T_{\infty}) dx$$

Prenons la première égalité, dérivons l'équation (II. 12) et la remplaçons dans l'équation ci-dessus. Nous obtenons :

$$\dot{Q}_{ailette} = -\lambda A_t (-m(T_s - T_{\infty}) \exp(-m \cdot 0)) = \lambda A_t m (T_s - T_{\infty}) \\ \dot{Q}_{ailette} = \sqrt{hP\lambda A_t} (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{II. 14})$$

Les équations (II. 13) et (II. 14) sont approximativement valables pour la répartition des températures et du flux de chaleur transmis pour une ailette limitée si sa longueur est relativement grande par rapport à l'aire de sa section transversale  $A_t$ .

Soit :  $l > 10A_t$

**B) Ailette de température constante à la base et bout convectif :**

(Longueur finie avec dissipation de chaleur à l'extrémité)

En tenant compte des déperditions calorifiques par convection à l'extrémité de la barre, la chaleur s'écoulant par conduction de la face :  $x=l$ , doit être égale à la chaleur transmise par convection de la section finale de la barre au fluide, ou :

$$-\lambda A_t \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=l} = A_t h_l (T_{(x=l)} - T_{\infty})$$

Le coefficient d'échange de chaleur à l'extrémité de la section terminale  $h_l$  n'est pas forcément égal à la valeur de  $h$  sur la surface extérieure de la barre. En remplaçant  $T_{(x=l)}$  et  $\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=l}$  par leur tirée de l'équation :

$T_{(x)} - T_{\infty} = C_1 \exp(mx) + C_2 \exp(-mx)$  On obtient "aisément que" :



$$\frac{T_{(x)} - T_{\infty}}{T_s - T_{\infty}} = \frac{\cosh(m(l-x)) + (h_l/m\lambda)\sinh(m(l-x))}{\cosh(ml) + (h_l/m\lambda)\sinh(ml)}$$

$$\dot{Q}_{\text{aillette}} = \sqrt{hP\lambda A_t}(T_s - T_{\infty}) \frac{\sinh(ml) + (h_l/m\lambda)\cosh(ml)}{\cosh(ml) + (h_l/m\lambda)\sinh(ml)} \quad (\text{II. 15})$$

On pose

$$\theta_l = T_s - T_{\infty} ; \quad \theta = T_x - T_{\infty} ; m^2 = \frac{hP}{\lambda A_t} = 2h/\lambda\alpha ; H = \frac{h_l}{\lambda m}$$

$$\frac{\theta}{\theta_l} = \frac{\cosh m(l-x) + H \sinh m(l-x)}{\cosh ml + H \sinh ml} \quad (\text{II. 16})$$

Le flux de chaleur évacué :

$$\dot{Q}_{\text{aillette}} = \lambda m A \theta_l \frac{\sinh(ml) + H \cosh(ml)}{\cosh(ml) + H \sinh(ml)} \quad (\text{II. 17})$$

### **Remarque :**

1) Seuls les seconds termes du numérateur et du dénominateur contiennent  $hl$ . Ces termes indiquent l'influence des pertes de chaleur par l'extrémité de la barre et modifient les résultats obtenus lorsque ces pertes sont négligées.

2) Si :  $hl = 0 \rightarrow$  barre de longueur finie mais isolée à son extrémité.

3) Si nous recherchons la température à l'extrémité de la barre :  $x=l$ .

On constate qu'il est inutile de faire des ailettes trop longues. En pratique :  $l \approx (6 \dots 10)e$  avec ( $l$  : longueur et  $e$  : épaisseur de l'ailette).

En outre, il faut les écarter suffisamment pour que l'air de refroidissement puisse circuler facilement entre-elles.

La géométrie et la disposition les plus favorables des ailettes de refroidissement d'organes très chargés s'étudient expérimentalement.

**C) Ailette à température de la base constante et bout isolé ( $q=0$ ) (extrémité adiabatique).**

Le champ de température :

$$\frac{\theta}{\theta_l} = (\cosh m(l-x))/(\cosh ml) \quad (\text{II. 18})$$

Le flux de chaleur évacué :

$$\dot{Q}_{\text{ailette}} = \lambda m A \theta_l \tanh ml \quad (\text{II. 19})$$

L'efficacité :

$$\eta = \frac{\tanh ml}{ml} \quad (\text{II. 20})$$

**D) Ailette à température de la base et de l'extrémité constante.**

Le champ de température :

$$\frac{\theta}{\theta_l} = \frac{(\theta_t/\theta_l) \sinh mx + \sinh m(l-x)}{\sinh ml} \quad (\text{II. 21})$$

Le flux de chaleur évacué :

$$\dot{Q}_{\text{ailette}} = \lambda m A \theta_l \frac{\cosh mb - (\theta_t/\theta_l)}{\sinh ml} \quad (\text{II. 22})$$

$$\dot{Q}_{\text{base}} = (hPl + h_t A) \theta_l \quad (\text{II. 23})$$

L'efficacité :

$$\eta = \frac{q_{\text{ailette}}}{q_{\text{id}}} \quad (\text{II. 24})$$

$$q_{\text{base}} = (hPl + h_t A) \theta_l$$

**E) Ailette à base convectif et extrémité (adiabatique)**

Le champ de température :

$$\frac{\theta}{\theta_l} = \frac{Bi \cosh m(l-x)}{Bi \cosh ml + ml \sinh ml} \quad (\text{II. 25})$$

Le flux de chaleur évacué :

$$q_{\text{ailette}} = \lambda m A \theta_l \frac{Bi \sinh ml}{Bi \cosh ml + ml \sinh ml} \quad (\text{II. 26})$$

$$Bi = \frac{h_f l}{\lambda}$$

L'efficacité : 
$$\eta = \frac{q_{\text{ailette}}}{q_{\text{base}}}$$



Le flux de chaleur évacué :

$$q_{\text{ailette}} = \lambda m \delta_b L \theta_1 \frac{I_1(2m l) K_1(2m \sqrt{l x_e}) - K_1(2m l) I_1(2m \sqrt{l x_e})}{I_0(2m l) K_1(2m \sqrt{l x_e}) - K_0(2m l) I_1(2m \sqrt{l x_e})} \quad (\text{II. 31})$$

$$q_{\text{base}} = 2Lh\theta_b$$

$I_i$  et  $K_i$  sont les fonctions de Bessel modifiées apparaissant ici. [9]

**II.2.1.3 Ailette triangulaire :**

L'ailette triangulaire est un cas spécial de l'ailette trapézoïdal avec :

$$m^2 = \frac{hP}{\lambda A} = \frac{2h}{\lambda \delta} T_b$$

Le champ de température :

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{I_0(2m \sqrt{l x})}{I_0(2m l)}$$

Le flux de chaleur évacué

$$q_{\text{ailette}} = \lambda m \delta_b L \theta_b$$

L'efficacité :  $\eta = \frac{I_1(2m l)}{ml I_0(2m l)}$

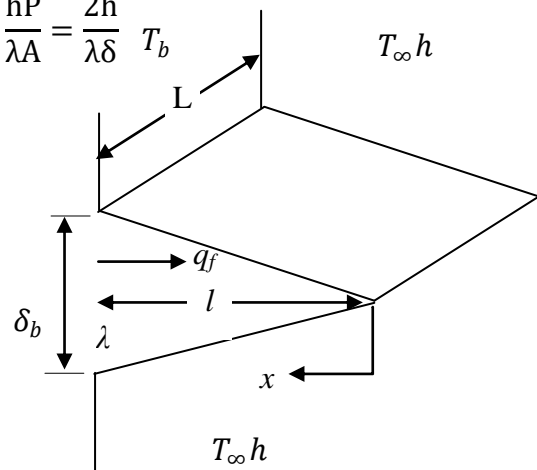


Figure 7 : Ailette triangulaire.

**II.2.1.4 Ailette concave parabolique :**

L'ailette triangulaire est un cas spécial de l'ailette trapézoïdal avec  $X_e = 0$

Le champ de température :

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \left(\frac{x}{l}\right)^{-1/2} + \frac{1}{2}(1+4m^2 l^2)^{1/2}$$

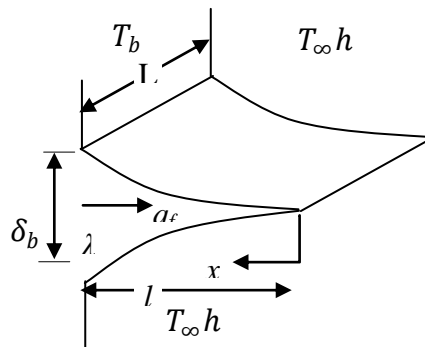


Figure 8 : Ailette concave parabolique.

Le flux de chaleur évacué :  $q_f = \frac{\lambda \delta_b L \theta_b}{2l} [-1 + (1 + 4m^2 l^2)^{1/2}]$

L'efficacité :  $\eta = \frac{2}{1+(1+4m^2 l^2)^{1/2}} \quad [6]$

**II.2.1.5 Ailette convexe parabolique :**

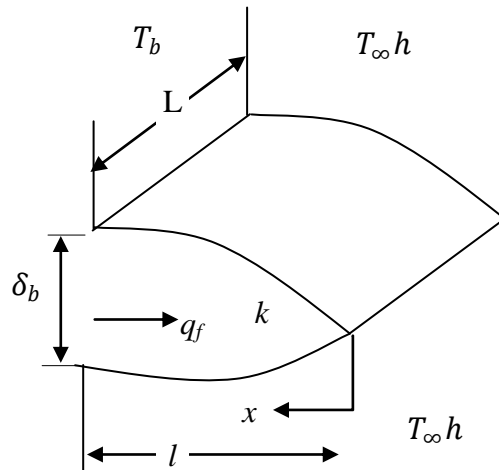


Figure 9 : Ailette concave parabolique.

Le champ de température :  $\frac{\theta}{\theta_b} = \left(\frac{x}{l}\right)^{1/4} \left[ \frac{1 - \frac{1}{3} \left(\frac{4}{3} ml\right)^{1/4} x^{3/4}}{1 - \frac{1}{3} \left(\frac{4}{3} ml\right)^{1/4}} \right]$

Le flux de chaleur évacué :  $q_f = \lambda m \delta_b L \theta_b \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} ml\right)^{1/4}}{1 - \frac{1}{3} \left(\frac{4}{3} ml\right)^{1/4}}$

L'efficacité :  $\eta = \frac{1}{ml} \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} ml\right)^{1/4}}{1 - \frac{1}{3} \left(\frac{4}{3} ml\right)^{1/4}}$

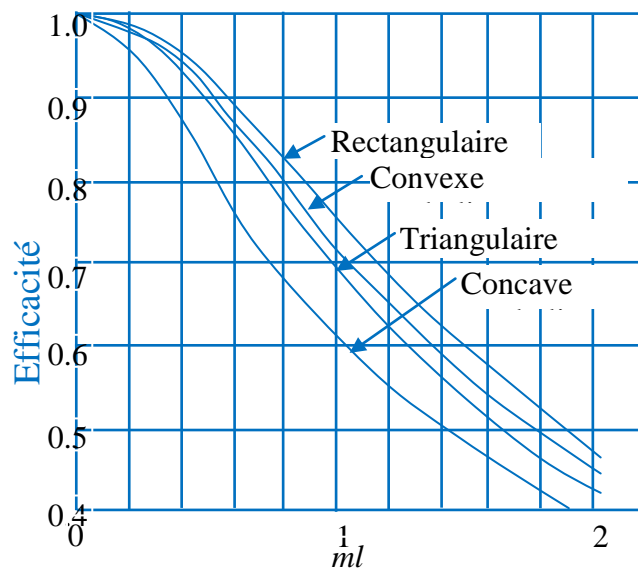


Figure 10 : Efficacité d'ailettes longitudinales Convectives.

### II.2.1.6 .Ailettes radiales Convectives :

Les trois types d'ailettes radiales les plus répondu sont

1. Triangulaire
2. Rectangulaire
3. Hyperbolique

#### 1) Ailette triangulaire:

Le champ de température :

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\lambda_1(m r_a)I_0(mr) + I_1(m r_a)\lambda_0(mr)}{I_0(m r_b)\lambda_1(mr_a) + I_1(m r_a)\lambda_0(mr_b)}$$

Le flux de chaleur évacué :

$$q_f = 2\pi r_b k m \delta \theta_b \frac{I_1(m r_a)\lambda_1(mr_b) - \lambda_1(m r_a)I_1(mr_b)}{I_0(m r_b)\lambda_1(mr_a) + I_1(m r_a)\lambda_0(mr_b)}$$

$$L'efficacité : \eta = \frac{2r_b}{m(r_a^2 - r_b^2)} \frac{I_1(m r_a)\lambda_1(mr_b) - \lambda_1(m r_a)I_1(mr_b)}{I_0(m r_b)\lambda_1(mr_a) + I_1(m r_a)\lambda_0(mr_b)}$$

$$m^2 = L^2 \frac{2h}{k\delta_b}$$

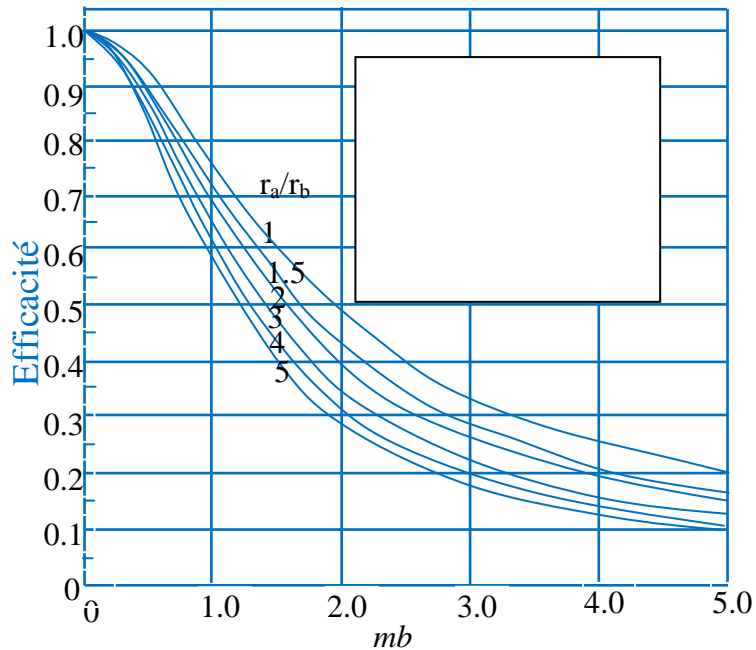


Figure 11 : Efficacité d'ailette radiale Convective rectangulaire[11].

**2) Ailette rectangulaire**

Le  $\eta$  est une fonction de  $m$ , de  $r_a/r_b$  et de  $\delta a/\delta b$  Une fois que le  $\eta$  est connu

$$q_f = 2\pi(r_a^2 - r_b^2)h\theta_b\eta$$

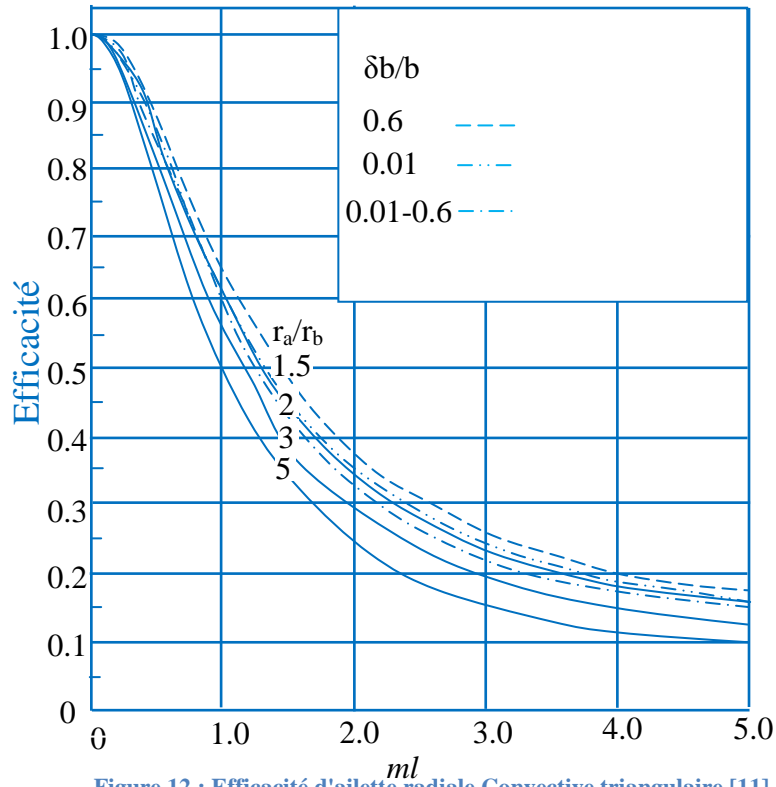


Figure 12 : Efficacité d'ailette radiale Convective triangulaire [11].

$$m^2 = L^2 \frac{2h}{k\delta_b}$$

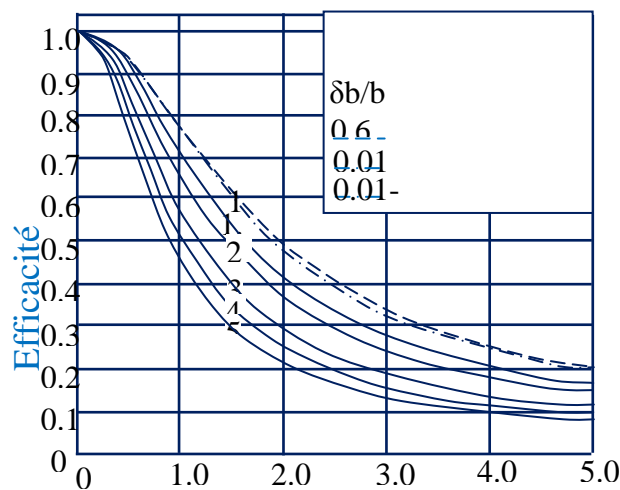


Figure 13 : Efficacité d'ailette radiale Convective hyperbolique [11].

### **II.3 .CHOIX DES AILETTES**

#### **Paramètre de conception**

Lorsque, pour un système donné, on doit concevoir un système d'ailettes, il conviendra de faire :

La détermination du champ de température

La détermination du flux de chaleur évacué par une ailette,

Etude des aspects coût,

Etude de la quantité de matière ou poids,

Etude de l'encombrement,

Etude de la perte de charge,

Le calcul du rendement thermique ou nombre d'ailettes que l'on peut fixer sur la paroi mère

#### **Le choix des ailettes est un compromis entre :**

Le coût

L'encombrement

Les pertes de charges

Le transfert de chaleur

Des ailettes étroites et rapprochées sont meilleurs que des ailettes plus grandes 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 est élevée. [12]

### **II.4. CONCLUSION:**

Plusieurs conclusions importantes peuvent être tirées de l'équation (II-13) :

D'abord, l'efficacité d'ailette est augmentée en choisissant un matériel avec la conductivité thermique élevée. Par exemple, le Cuivre a des valeurs élevées ( $\lambda=401\text{ W/m}^{\circ}\text{K}$  à  $300\text{K}$ ), mais il est lourd et cher. Les ailettes d'aluminium ont  $\lambda$  inférieur ( $\lambda = 168$  à  $237\text{ W/m}^{\circ}\text{K}$  à  $300\text{ K}$ ).

En second lieu, les ailettes sont plus efficaces quand le fluide convectif est un gaz (bas  $h$ ) plutôt qu'un liquide (plus haut  $h$ ). D'ailleurs, il y a une plus grande incitation pour employer les ailettes sous la convection normale ( $h$ ) petit que sous convection forcée (plus haut  $h$ ).

Troisièmement, plus le rapport périmètre/section est grands ( $P/A$ ), plus l'efficacité est haute. Ceci, alternativement, suggère l'utilisation des ailettes minces et étroitement aligné. Cependant, l'espace entre les ailettes adjacentes doit être suffisant pour empêcher l'interférence des couches limites sur les surfaces adjacentes.



**Chapitre III :**  
**Initiations sur les matériaux**  
**composites**

### III.1.Introduction et Commentaires historiques :

De manière générale, un composite est un matériau qui est constitué de deux matériaux ou plus : constituants ou phases. Les matériaux de l'industrie traditionnelle (acier, aluminium etc.) contiennent des impuretés représentées dans des phases différentes du même matériau et sont donc de ce point de vue, des composites au sens large de la définition des composites. Cependant, ils ne sont pas considérés comme des composites parce que le module d'élasticité ou la résistance de la phase impureté sont presque identiques au matériau pur. Ainsi, la définition d'un matériau composite est flexible et peut être élargie pour élaborer des exigences spécifiques. Dans notre travail, nous considérons un matériau composite comme un matériau contenant deux ou plusieurs composants distincts avec un comportement macroscopique, considérablement différent et une interface distincte pour chaque constituant (au niveau microscopique).

Les matériaux composites existent depuis plusieurs siècles, aucun rapport n'a déterminé à quand remonte leurs premières utilisations. mais beaucoup s'accorde à présenter les anciens égyptiens comme les premiers qui ont utilisés les composites par la fabrication, par exemple, des contreplaqués, papier-mâché et l'utilisation des pailles dans les boues pour les briques renforcés. De la même façon, les anciennes civilisations Maya et Inca ont utilisé les fibres des plantes pour renforcer les briques et les poteries. Dans les temps médiévaux les épées et les armures ont été plaquées pour augmenter leurs résistances. Ainsi l'épée du Samouraï japonais était produite par des pliages répétés et reformés pour construire une multicouche composite. Cependant Tous ces exemples sont des exemples des matériaux composites artificiels. Le bambou, l'os et le céleri sont des exemples de cellulaires composites qui existent dans la nature, Le tissu du muscle est un laminé fibreux multidirectionnel. Il y a de la vie courante s'est infiltrée dans la population générale et a changé beaucoup d'aspects des sociétés. Généralement, les composites utilisés dans des applications structurelles sont classés comme ayant des meilleurs performances. Ils sont faits spécifiquement de matériaux synthétiques, ayant un facteur résistance/poids élevé et exige des environnements industriels contrôlés pour une performance optimum .a été reproduit partiellement dans la Fig. 14. L'importance des composites a prouvé une augmentation stable depuis 1960 et projetée pour continuer son augmentation à travers les prochaines nombreux autres exemples de matériaux composites naturels et artificiels. Les matériaux structurels utilisés les plus communément peuvent être catégorisés en quatre groupes primaires : métaux, polymères, composites et céramiques. Ces matériaux ont été utilisés à plusieurs degrés depuis le début des temps, Leur importance est relative à plusieurs sociétés parallèles à la progression de l'histoire. Ashby [7] présente une variation chronologique de l'importance relative de chaque groupe de 10,000 av J-C et extrapole leur importance à travers l'année 2020, l'information contenue dans l'article d'Ashby décennies. Historiquement, il y a une progression dans la technologie matérielle, ayant souvent son origine dans les applications militaires. Par la suite, cette technologie par le biais d'objet

L'industrie aéronautique utilise des composites pour satisfaire les exigences de la performance au-delà des capacités de métaux. Les composites sont aussi utilisés dans les voitures de course, les produits de loisir, les raquettes de tennis, les clubs de golf et autres sports. Bien que

la technologie des matériaux composites se soit développée rapidement mais pas complètement, des nouvelles combinaisons de système fibre/résine et même de nouveaux matériaux se développent constamment.

### III.2. Caractéristiques d'un matériau composite :

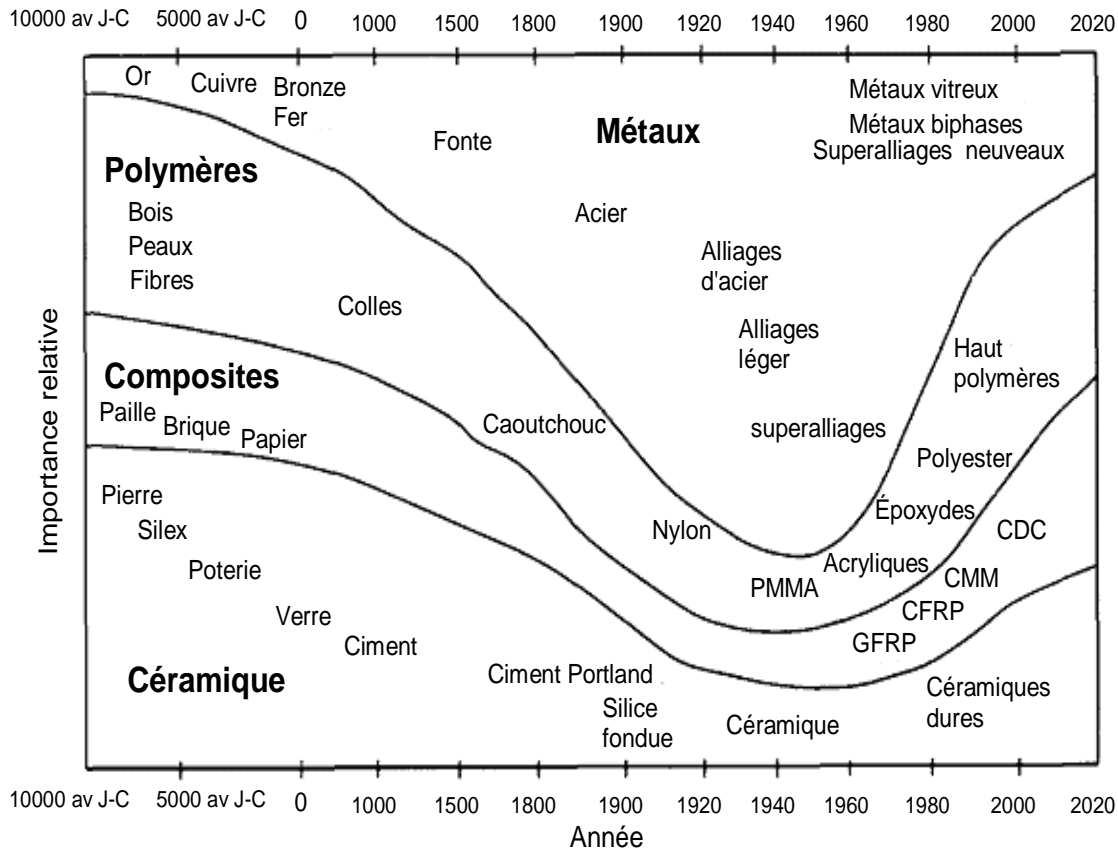


Figure 14 : l'importance de développement matériel à travers l'histoire (d'après Ashby).

Les composants d'un matériau composite sont arrangés généralement afin qu'une ou plusieurs phases discontinues soient enfoncées dans une phase continue. La phase discontinue est appelée le renfort et la phase continue la matrice. Une exception faite pour les particules de caoutchouc suspendues dans une matrice de caoutchouc rigide, qui produit une classe de matériaux connus comme les polymères modifiés de caoutchouc. En général, les renforts sont plus forts et plus rigides que la matrice. Les deux composants sont imposés, et chacun doit accomplir des tâches spécifiques dans l'exploitation d'un composite. Un matériau est généralement plus fort et plus rigide sous forme de fibre que sous forme d'un bloc. Les défauts microscopiques agissent comme une rupture initiale dans les matériaux en bloc et sont amoindris quand le matériau est fibreux. Par conséquent, la résistance de la fibre est plus grande que celle en bloc. Les fibres individuelles sont difficiles à contrôler et à former dans des composants utiles. Sans un liant de séparation, ils peuvent être noués, tordus et difficiles à séparer. Le liant (la matrice) doit être continu et périphérique sur chaque fibre afin qu'il ait une séparation distincte des fibres adjacentes et ainsi le système matériel entier est plus facile à manipuler et à traiter.[8]

Les caractéristiques physiques et mécaniques des composites sont dépendantes des propriétés, des géométries, et de la concentration des composants. L'augmentation de volume de renforts peut augmenter la résistance et la rigidité d'un composite. Si le contenu de volume du renfort est trop élevé il n'y aura pas assez de la matrice pour les séparer, et ils peuvent être enchevêtrés. Il y a plusieurs facteurs à considérer quand nous concevons les matériaux composites : Le type de renfort et la matrice, l'arrangement géométrique et la classe du volume de chaque constituant, les

charges mécaniques probables, l'environnement d'exploitation de composite, etc...., tous doivent être pris en considération.

**III.3. Classifications des Matériaux composites :**

Les matériaux composites sont classés d'après leurs type des renforts utilisés .Deux classes générales des composites se distinguent : les fibreux et les particules. Chacun a des propriétés uniques et leur application peut se subdiviser dans des catégories spécifiques comme développé ci-dessous :

**III. 3 .a ) Les Fibreux :**

Un composite fibreux consiste en des fibres continues (long) et d'autres découpées (courts) suspendus dans le matériau de la matrice. Les fibres continues et découpées peuvent être identifiées d'un point de vue géométrique :

Les fibres continues : Une fibre continue est caractérisée géométriquement comme ayant un facteur longueur/diamètre très élevé. Elles sont généralement plus fortes et plus rigides que les matériaux en volume. le diamètre de la fibre est généralement entre 3 et 200 µm [9].

Les fibres découpées : ce type de fibres est considéré généralement comme courts, elles peuvent être définies largement pour avoir un facteur longueur/diamètre de  $5 < l/d < 1000$  au-delà [10], le diamètre de ces fibres est généralement entre 0,02 et 100 µm

Les composites des fibres discontinues ou courts peuvent être produits afin que les renforts aient une orientation aléatoire ou partielle et ils sont considérés comme des composites d'une seule couche. La discontinuité produit un comportement d'un matériau anisotrope mais dans plusieurs exemples, les renforts aléatoires produisent presque un composite isotrope.

Les composites des fibres continues peuvent être considérés comme un composite laminée à une couche ou multicouche. Les composites d'une seule couche des fibres continues peuvent être unidirectionnels ou tissés, et les composites multicouches sont connus généralement comme des stratifiés (laminés). Le comportement d'un composite des fibres continues est généralement orthotrope. Les schémas de deux types de composites fibreux sont illustrés dans (Fig 15).

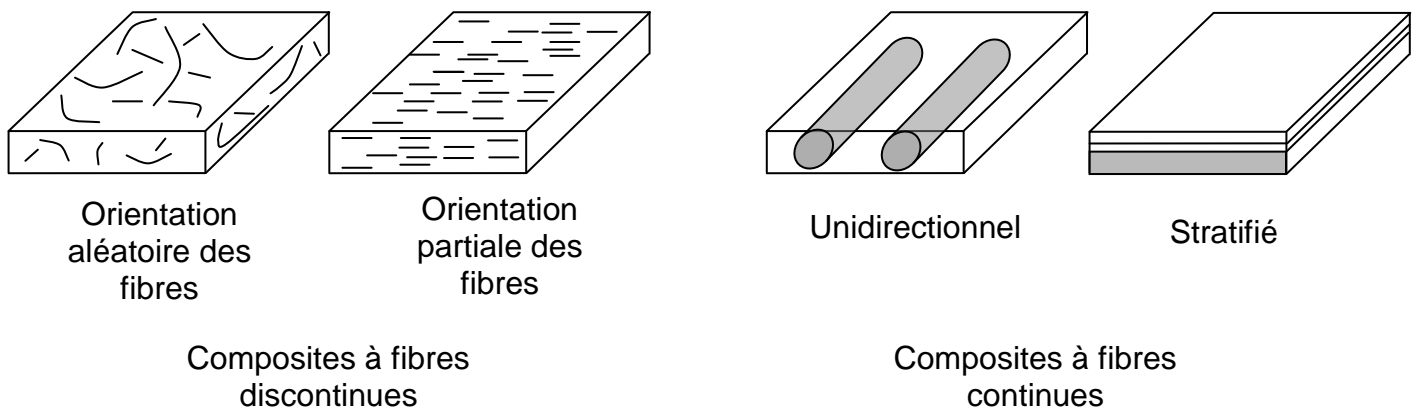


Figure 15 : Schéma représentant les composites à fibres.

**III.3.b) Les Particules :**

Un composite à particules est caractérisé comme étant composé de particules suspendues dans une matrice. Les particules peuvent avoir virtuellement toutes les formes, les dimensions ou les configurations. Les exemples connus des composites à particules sont les bétons et les agglomérats.

Il y a deux sous-classes de particules les écailles et squelettique/chargé :

Les écailles : ce type est généralement composé des écailles suspendues dans le matériau de la matrice (agglomérats par exemple) avec un facteur de plateforme/épaisseur grand.

Les squelettique/chargé : ce type de composites est formé d'une matrice squelettique continue remplie par un deuxième matériau : par exemple, le nid d'abeilles rempli par un matériau isolant.

Le comportement de ces composites est considéré anisotrope ou orthotrope. Un schéma de plusieurs types des composites à particules est illustré dans la Fig 16.

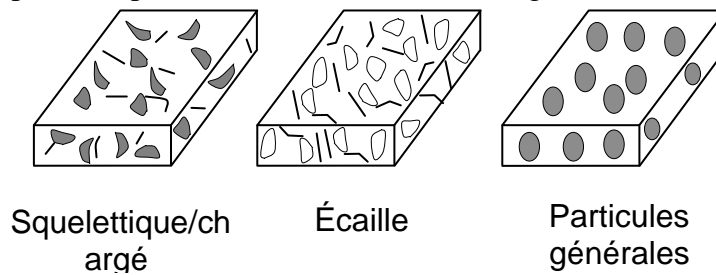


Figure 16 : Schéma représente les composites à particules.

Nous résumons toutes ces classes dans le plan suivant qui présente la classification communément employée pour les matériaux composites

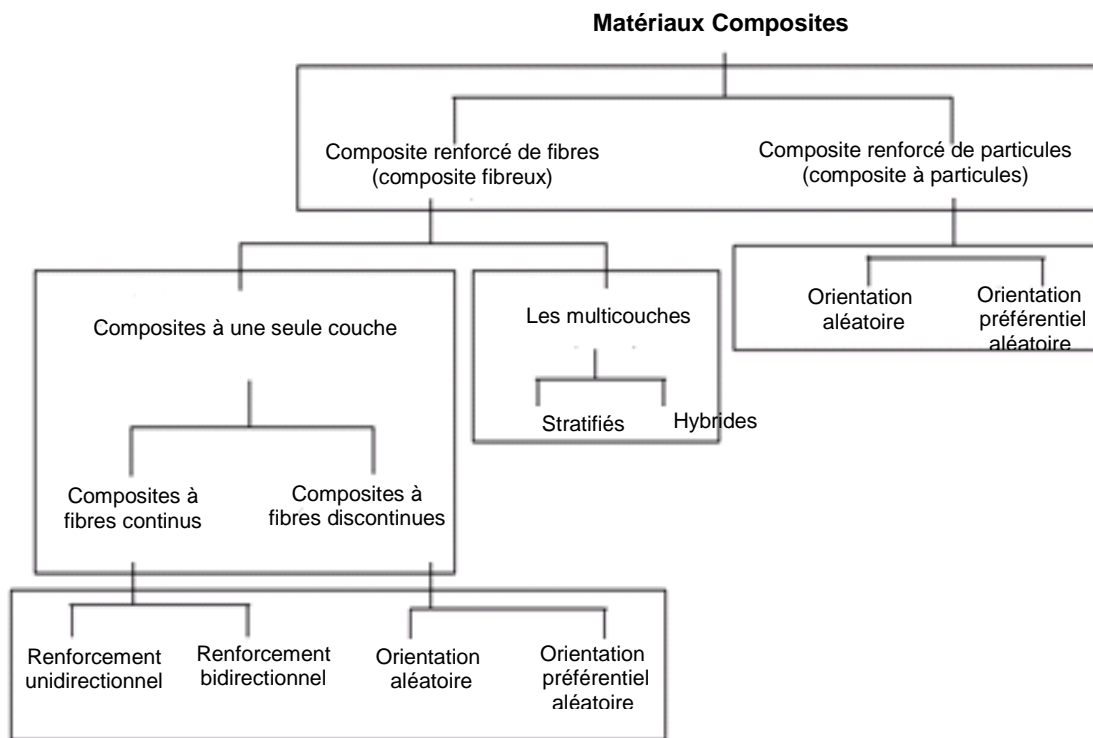


Figure 17 : Classification des matériaux composites.

### **III.4. Terminologie fondamentale des matériaux composites :**

Quelques-uns des termes les plus importants utilisés dans les matériaux composites sont définis ci-dessous. Une liste plus détaillée peut être trouvée dans Tsai [11], Gay [8], Berthelot [9]

III.4 .a) Renforts : les renforts sont utilisés pour former des structures composites ou composant plus fort. Les renforts les plus communément utilisés sont le bore, verre, Carbone et la fibre d'aramide (F.T.C). Mais il y a d'autres types de renforts tels que l'alumine, l'aluminium, le carbure de silicium, le nitrure de silicium et le titane.

III.4 .b) Fibres : Les fibres sont un cas spécial de renforts. Ils sont généralement continus et ont des diamètres de 3 à 200  $\mu\text{m}$ . Les fibres sont typiquement élastique linéaire ou parfaitement plastique et sont généralement plus résistant et plus rigide que la même forme en volume du matériau. Cette technologie est changeante d'une façon continue [9, 10,12].

III.4 .c) Matrice : La matrice est le liant qui supporte, sépare et protège les fibres. Il fournit un support par lequel la charge est transférée et redistribuée aux fibres. La matrice a typiquement une faible densité, rigidité et résistance par rapport aux fibres. La matrice peut être fragile, ductile, élastique ou plastique. Elle peut avoir un comportement contrainte-déformation linéaire ou non linéaire. De plus, le matériau de la matrice doit être forcée autour du renfort durant les étapes de fabrication du composite. Les fibres doivent souvent être traitées chimiquement pour assurer une bonne adhérence à la matrice. Les matrices plus communément utilisés sont : carbone, céramique, verre, métal et polymère. Chacun a une appellation et une utilisation spéciale, Richardson [12] présente une discussion complète sur les matrices qui a guidé la présentation suivante :

Matrice carbonique : Une matrice carbonique a une haute capacité de résistance à la chaleur par unité du poids. Elles ont été utilisées comme tuyère de fusée, comme embrayage et semelle-frein pour les avions.etc...

Matrice céramique : Une matrice céramique est habituellement fragile. Le carbone, la céramique, le métal et les fibres de verre sont utilisés typiquement avec les matrices céramiques dans les régions où les environnements extrêmes sont anticipés (hautes températures, etc.).

Matrice de verre : Le verre et les composites du verre-céramique ont habituellement un module élastique faible que celui du renfort. Le carbone et les fibres d'oxyde métallique sont les renforts les plus communs avec les composites de la matrice de verre. Les meilleures caractéristiques de verre ou composites de la matrice de la céramique sont leurs résistances à hautes températures. Les applications fondamentales des composites de la matrice de verre sont pour les parties thermorésistantes dans les moteurs, le système d'échappement et les composants électriques.

matrice métallique : Une matrice métallique est particulièrement bonne dans une haute température et pour l'utilisation dans les environnements oxydants. Les métaux plus communément utilisés sont le fer, le nickel, le tungstène, le titane, le magnésium et l'aluminium. Il y a trois classes de composites de la matrice métallique :

Classe I : Le renfort et la matrice sont insolubles, Les combinaisons de la matrice renfort dans cette classe incluent le tungstène ou l'alumine/cuivre, BN – couvert B ou le bore/aluminium et le bore/magnésium.

Classe II : Le renfort/matrice expose quelque solubilité, et l'interaction changera les propriétés physiques du composite. Les combinaisons renfort/matrice incluses dans cette classe sont le carbone ou le tungstène/nickel, le tungstène/columbium et le tungstène/cuivre (chrome).

Classe III : Les situations les plus critiques de renfort/matrice sont dans cette classe, Les problèmes rencontrés ici sont généralement d'une nature industrielle et peuvent être résolus à travers les processus de contrôle. Dans cette classe les combinaisons renfort/matrice incluent l'alumine, le bore, le carbure du silicium/titane, le carbone ou silice/aluminium et le tungstène/cuivre (titanium).

Matrice polymère : Les matrices polymères sont les plus communs et moindres coûts. Ils se trouvent dans la nature comme l'ambre, le goudron et la résine. Quelques uns des premiers composites étaient posés en couches de fibre, tissu et les goudrons. Les polymères sont faciles à traiter, offrant des bonnes propriétés mécaniques, en général les renforts sont humide et fournissent une bonne adhérence. Ce sont des matériaux de faible densité. À cause de la température du traitement qui est basse, beaucoup de renforts organiques peuvent être utilisés. Une matrice polymère typique est viscoélastique ou viscoplastique.

**III.5. Les avantages des matériaux composites :**

Les composites offrent des caractéristiques convenables pour plusieurs utilisations dans l'industrie qui exige une meilleure conception. Le module élastique et la résistance à la traction apparente pour plusieurs types de fibres sont exposés dans le Tableau 2.1 qui indique une grande variété possible de comportement des matériaux, qui peuvent être modifié en changeant la procédure utilisée pour chaque fibre. Les propriétés des fibres montre que le carbone offre une variété plus avantageuse. Agarwal et Broutman [13] identifient un total de 38 fibres du carbone avec un module élastique et résistance de 28-607 GPa et 966-3105 MPa respectivement. En 1980 à 1986, il y avait 17 fabricants mondiaux qui produisent 74 différents grades de fibres de carbone à haute ténacité. d'après les Institut des Plastiques et du Caoutchouc [12]. L'augmentation d'utilisation des fibres de carbone est illustrée dans Fig 2.5 pour l'aérospatiale, le sport, et "autres" qui commence en 1977 et va jusqu' à 1998 [14].

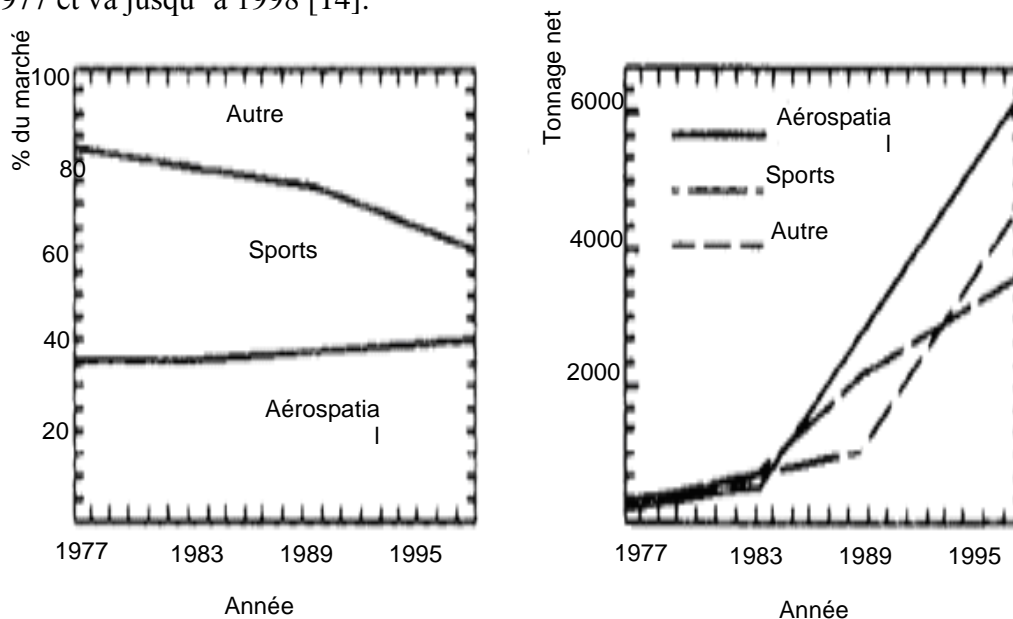


Figure 18 : l'usage de fibres du carbone de 1977 à 1998 dans le monde.

Le module élastique et la résistance dans le tableau 2.1 ne révèlent pas le comportement réel d'un composite quand les fibres sont suspendues dans une matrice. Les propriétés de la matrice contribuent aussi à la résistance et la rigidité du composite. Comme la matrice est généralement plus faible et moins rigide que la fibre, le composite ne sera pas résistant ou rigide comme les fibres elles-mêmes. De plus, les propriétés citées dans le tableau font référence seulement à la direction des fibres. Dans un composite, il y a trois directions à considérer, une parallèle aux fibres (direction longitudinale) et deux perpendiculaires aux fibres (directions transversales). Les propriétés dans la direction longitudinale sont supérieures à celles dans les directions transversales dans lesquelles la matrice est le composant dominant.

<i>Fibre</i>	<i>Module de tension (GPa)</i>	<i>Résistance à tension (MPa)</i>
Bore	385	2800
Carbone	70 – 600	1750 – 3500
PAN (polyacrylonitrile)	200 – 390	2100 – 3400
Poix (mésophase)	170 – 690	1300 – 2400
Verre : verre 'E'	72,4	3500
Verre 'S'	85,5	4600
Verre 'M'	110	3500
Aramide -29	59	2640
Aramide -49	128	2800
Silice	7,4	5800
Tungstène	414	4200

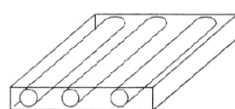
Tableau 1 : Caractéristique mécanique des fibres.

La matière première et beaucoup de techniques de fabrications utilisées avec les composites sont plus chers que les matériaux classiques. Il y a beaucoup d'utilisations possibles pour les composites que nous ne développerons pas dans ce travail. Un échantillonnage d'applications courantes et techniques varient de parties automobiles aux applications orthopédiques sont trouvés dans Drozda [14].

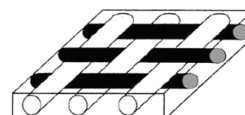
Dans ce mémoire, les composites concernés sont les plaques stratifiées. Cependant, pour plus d'information concernant les composites et leurs mode de fabrications on peut consulter les ouvrages de Agarwal et Broutman [15], Berthelot [9], Gay [8], Vinson et Sierakowski [17].

### **III.6. Les composites de type Plaques Laminées (Stratifiées) :**

Une couche est une structure fondamentale des plaques composites. Une couche est une tôle mince de fibres unidirectionnelles liées par le matériau de la matrice développée pendant la fabrication. La stratifié est formée de la superposition des couches unidirectionnelles du même matériau avec une orientation différente pour chaque couche des fibres qui sont suspendues dans une matrice. Dans la pratique, les fibres n'ont pas une distance égale, mais pour les buts schématiques, la couche représentée dans la Fig 19 a un espace universel des fibres. Chaque couche représente un comportement orthotrope dont les propriétés sont différentes dans les trois plans perpendiculaires alignés avec la direction de la fibre montrée comme 1, 2, 3 dans la Fig 19 alors les propriétés du matériau sont définies dans les trois directions qui correspondent à ces plans.



Unidirectionnelle



Tissu



Figure 19 : Schéma représente la couche composite unidirectionnelle et tissée.

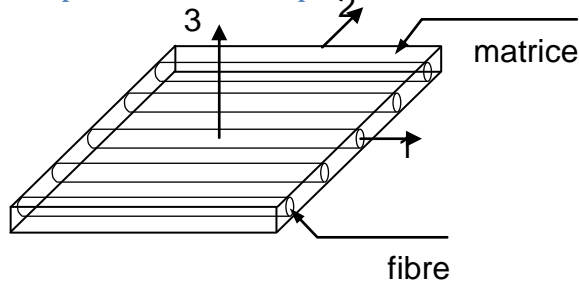


Figure 20 : vue schématique d'une couche composite.

Cette couche est superposée avec les fibres alignées à des angles différents pour former ce qui est appelé une stratifié comme il est montré dans la Fig 20. La couche est marquée d'après son angle de la fibre relatif à une direction globale (axe x). Par exemple, [0/45/90] est une stratifié composée de trois couches à épaisseur égale dont les fibres sont orientées respectivement 0°, 45° et 90° à la direction de la référence principale qui commence avec la couche inférieure (comme fait dans la Fig 20). L'indice s,[90/45/0]s, indique un assemblage symétrique d'où les couches supérieures sont superposés dans un ordre inverse ou [90/45/0/0/45/90] et l'indice numérique indique le nombre

des couches répétées, [902/454/02] = [90/90/45/45/45/45/0/0] par exemple. Le comportement mécanique d'une stratifié est différent de la couche individuelle qui le forme. Le comportement du stratifié dépend des propriétés de chaque couche, aussi bien que l'ordre dans lequel la couche est superposée. Les propriétés générales sont déterminées expérimentalement pour les couches unidirectionnelles de matériaux composites. La résistance de la couche est constituée avec les équations constitutives pour prédire les propriétés macroscopiques. Une des théories de rupture [13] détermine la résistance de l'ordre de superposition des stratifiés. Le test des spécimens est utilisé pour mesurer expérimentalement les propriétés matérielles. Le test des spécimens, par conséquent, forme une base idéale pour les composites.

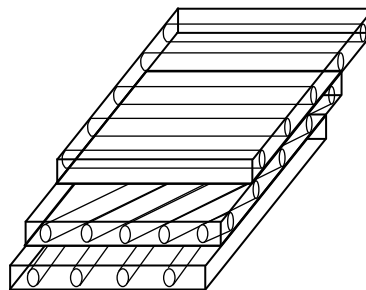


Figure 21 : vue schématique d'une stratifié à 3 couches [0/45/90].

# Chapitre IV

## Simulation numérique d'un dissipateur pour refroidir les composantes électroniques

### IV.1. INTRODUCTION:

Dans les chapitres précédents nous avons présenté une étude analytique des ailettes et une démonstration théorique des matériaux composites.

Afin d'appliquer les notions de base concernant les ailettes et l'intégration des matériaux composites, nous avons fait une modélisation d'un dissipateur thermique, nous sommes basés sur les calculs des résistances thermiques et la température maximale de la base du dissipateur, ce dernier est très important car il illustre est ce que le modèle est bon ou pas, nous avons commencé dans la première partie par une géométrie préliminaire et par la suite nous avons fait des modifications sur cette géométrie pour trouver l'optimale qui nous donne un bon transfert thermique, dans la deuxième partie nous avons intégré une plaque de matière différent de la matière du dissipateur (le cuivre) sous forme une plaque simple pour étudier son influence sur le transfert thermique, ensuite dans la troisième partie nous avons changé la forme de cette plaque avec des différentes cotes et nous avons vérifié l'influence de ce nouveau changement pour l'échange thermique.

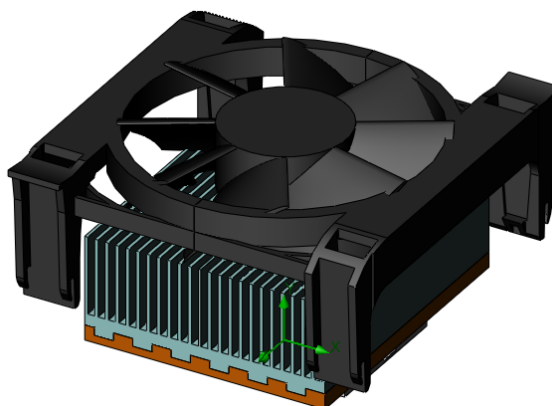


Figure 22 : Le montage.

### IV.2. Variation de l'épaisseur de la base du dissipateur simple (Aluminium) :

On a commencé par des dissipateurs simple, et à chaque fois on a changé l'épaisseur de la base de la plaque, nous mettons le modèle sous les conditions aux limites citées dans le tableau suivant :

Matière du dissipateur	Aluminium ( $\rho = 2688.9 \text{Kg/m}^3$ )
Matière la plaque en cuivre	Cuivre ( $\rho = 8920 \text{Kg/m}^3$ )
Fluide	Air
Température de l'ambient	300K
Vitesse du ventilateur	460 Rad/S
Source de chaleur	75W

Tableau 2 : Les conditions aux limites.

## Simulation numérique d'un dissipateur pour refroidir les composantes électroniques

Nous avons trouvé les résultats sous forme de contours de températures de chaque modèle, et nous avons pris en considération les températures maximales pour calculer à chaque fois la résistance thermique par la formule de S.V. Patankar et W.Q. Tao [19-20] sachant que la puissance thermique utilisée dans la simulation est  $q=75\text{w}$ .

$q$  : la quantité de chaleur imposé par le microprocesseur.

$$R_{th} = \frac{T_{max} - T_{inlet}}{q} \quad (\text{VI. 1):}$$

### IV.3. Résultats et discussions :

#### IV.3.1 Dissipateur avec simple géométrie $b=1\text{mm}$

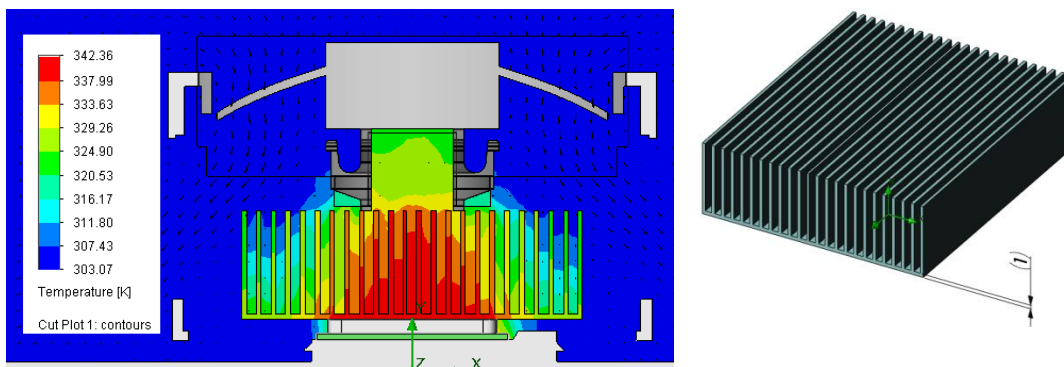


Figure 23 : Variation de la température du dissipateur  $b=1\text{mm}$  et le modèle en 3D.

#### IV.3.2 Dissipateur avec simple géométrie $b=3\text{mm}$

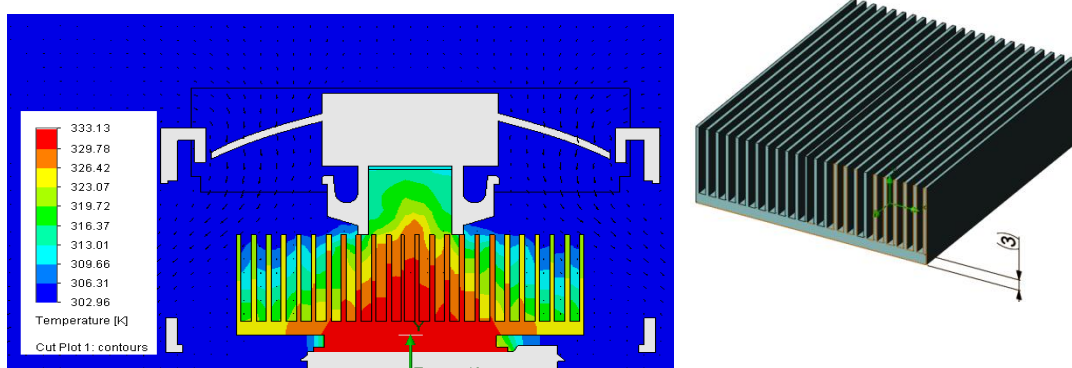


Figure 24 : Variation de la température du dissipateur  $b=3\text{mm}$  et le modèle en 3D.

### VI.3.3 Dissipateur avec simple géométrie $b=5mm$

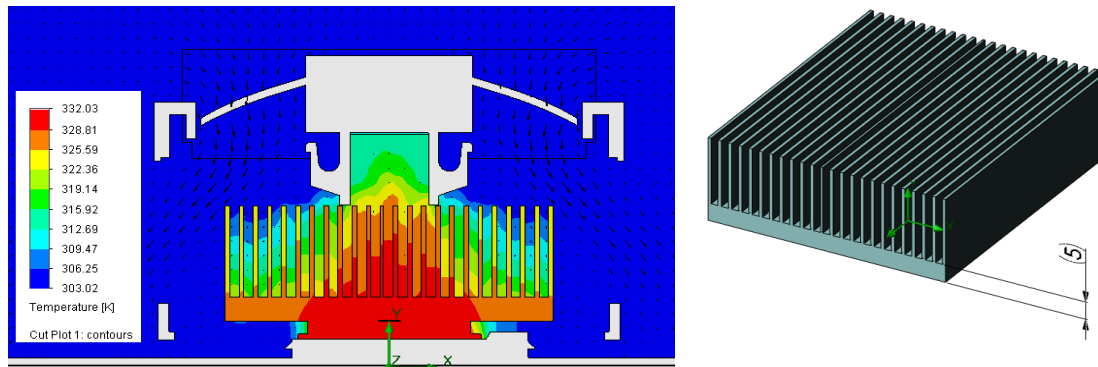


Figure 25 : Variation de la température du dissipateur  $b=5$  et le modèle en 3D.

### IV.3.4 Dissipateur avec simple géométrie $b=7mm$

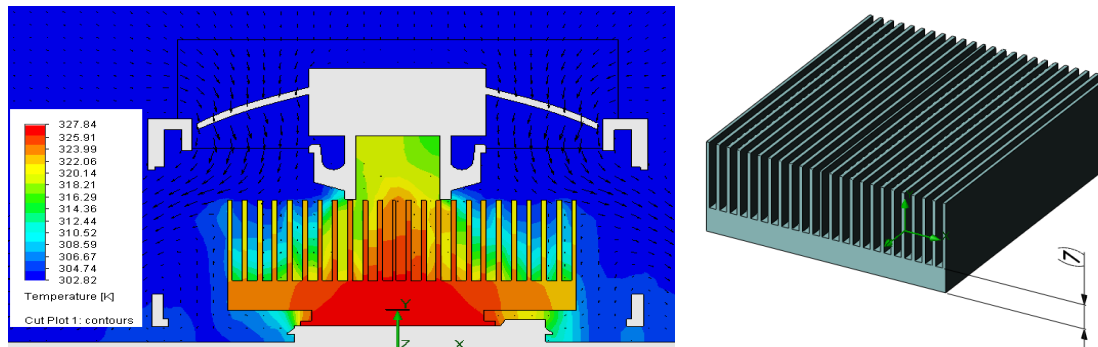


Figure 26 : Variation de la température du dissipateur  $b=7$  et le modèle en 3D.

### IV.3.5 Dissipateur avec simple géométrie $b=9\text{mm}$

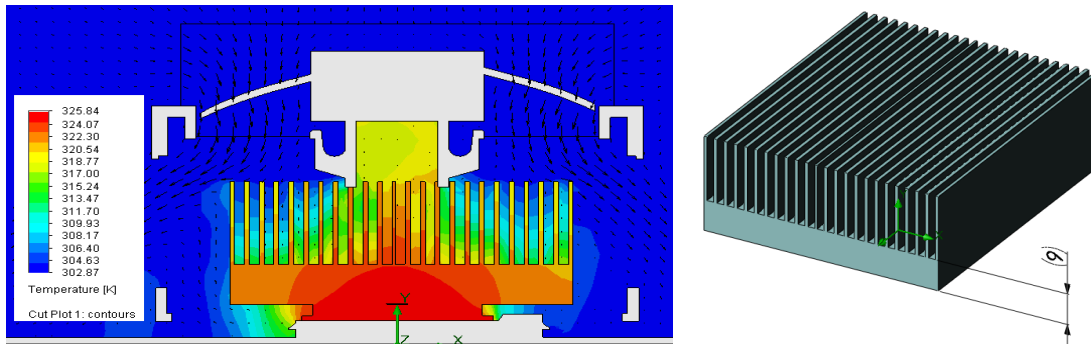


Figure 27 : Variation de la température du dissipateur  $b=9$  et le modèle en 3D.

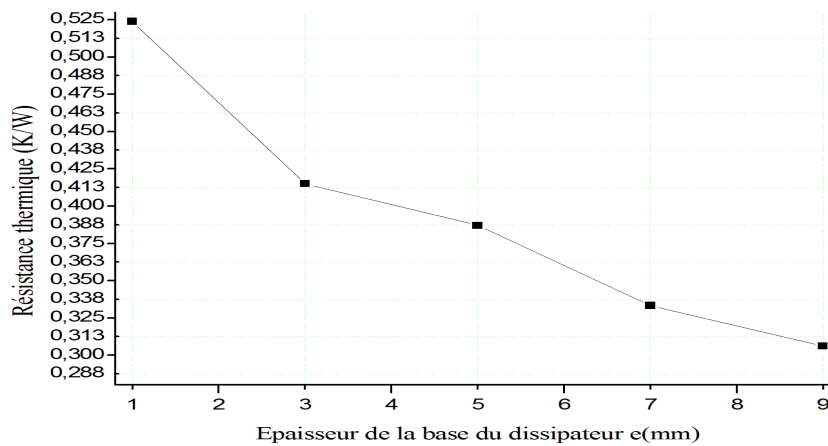


Figure 28 : Variation de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de du dissipateur la base  $b$ .

Après avoir obtenu ces contours de température pour chaque modèle, et partir du graphe Fig 28 nous pouvons dire que le dissipateur avec l'épaisseur de la base  $b=9$  est le meilleur, parce que la zone rouge est plus petite par rapport aux autres, et aussi la résistance thermique de ce dissipateur est minimale ( $R=0.306\text{K/W}$ ), les autres dissipateurs presque avec les mêmes résistances thermiques, et avec une grande zone rouge de température maximale, le premier dissipateur ( $d=1\text{mm}$ ) avec une grande résistance thermique, donc il n'est pas efficace pour refroidir les microprocesseurs.

#### ***IV.4. Comparaison entre les modèles avec un ajout d'une plaque simple en cuivre avec différents épaisseurs :***

Dans cette partie nous avons gardé le quatrième modèle avec ( $b=7\text{mm}$ ) on a ajouté une plaque de cuivre simple collé au-dessous de dissipateur d'aluminium et on a répété la même étude précédente avec les mêmes conditions aux limites, seulement à chaque fois on a changé les épaisseurs de la plaque et de la base du dissipateur gardant le même épaisseur globale 7mm.

##### ***IV.4.1 Dissipateur avec un ajout d'une plaque simple d'épaisseur $e=2\text{mm}$***

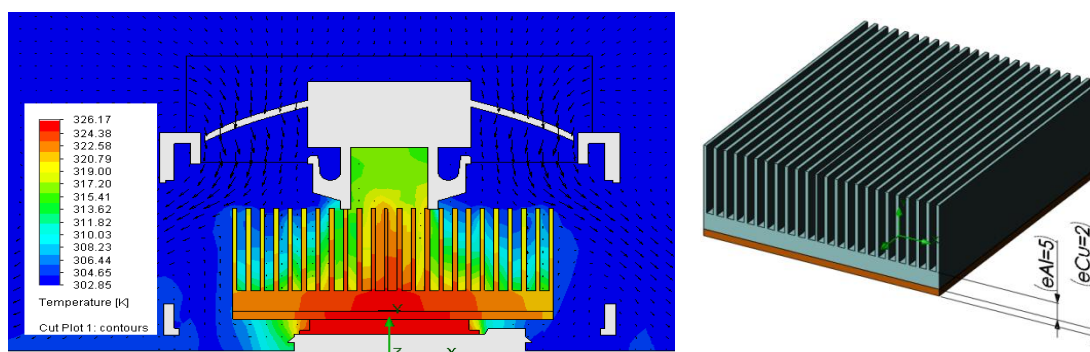


Figure 29 : Variation de la température du dissipateur  $e_{Cu}=2$  et le modèle en 3D.

##### ***IV.4.2 Dissipateur avec un ajout d'une plaque simple d'épaisseur $e=3\text{mm}$***

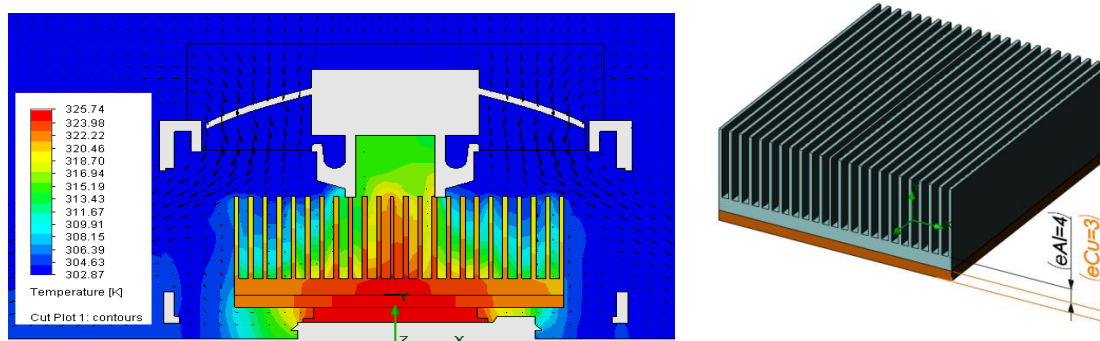


Figure 30 : Variation de la température du dissipateur  $e_{Cu}=3$  et le modèle en 3D.

### ***VI.4.3 Dissipateur avec un ajout d'une plaque simple d'épaisseur $e=4\text{mm}$***

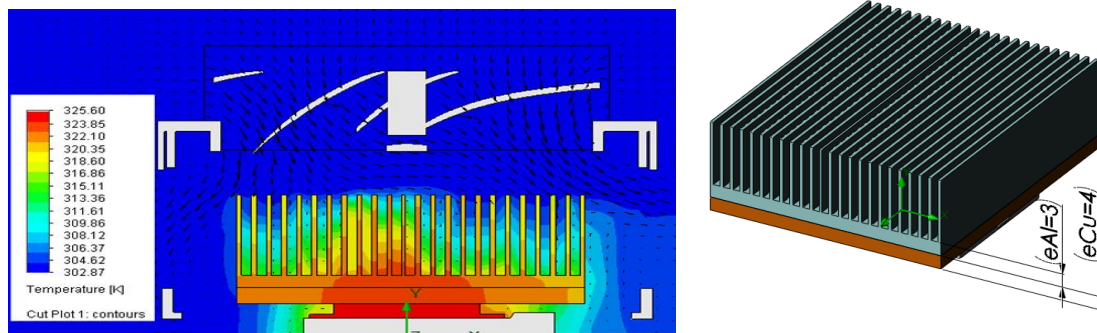


Figure 31 : Variation de la température du dissipateur  $eCu=4$  et le modèle en 3D.

### ***VI.4.4 Dissipateur avec un ajout d'une plaque simple d'épaisseur $e=5\text{mm}$***

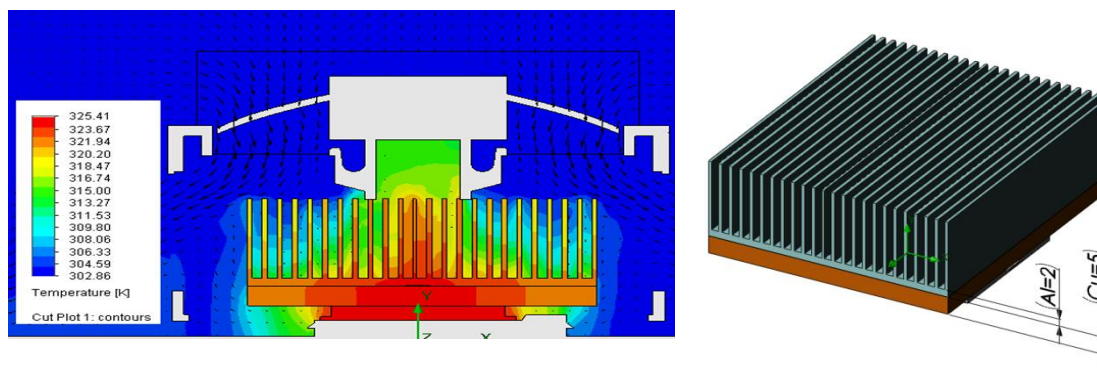


Figure 32 : Variation de la température du dissipateur  $eCu=5$  et le modèle en 3D.

### ***IV.4.4 Dissipateur avec un ajout d'une plaque simple d'épaisseur $e=6\text{mm}$***

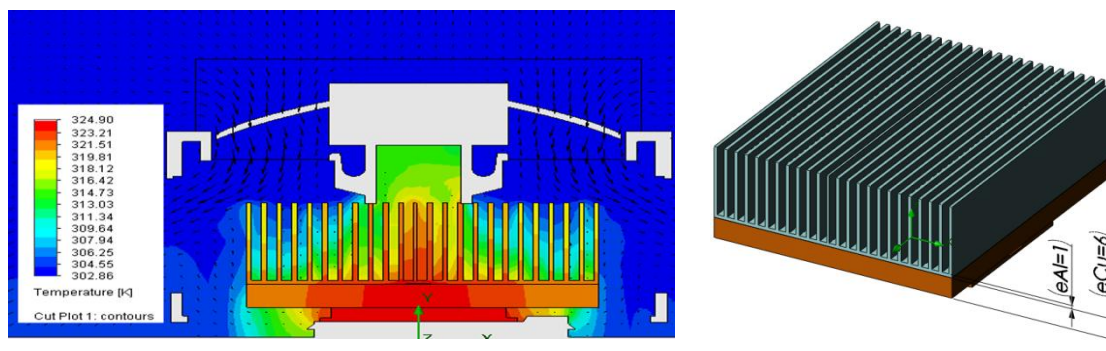


Figure 33 : Variation de la température du dissipateur  $eCu=6$  et le modèle en 3D.



## Simulation numérique d'un dissipateur pour refroidir les composants électroniques

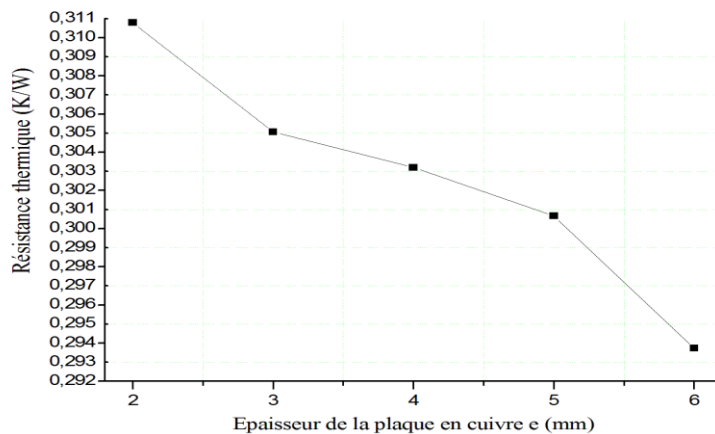


Figure 34 : Variation de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de la plaque en cuivre.

Il est clair qu'il y a une proportion directe entre la valeur d'épaisseur de cuivre et la température minimale et la résistance thermique, pour les grandes épaisseurs de la plaque en cuivre la température ' $R=0.2933\text{K/W}$ ' est minimale, donc l'épaisseur  $e=6\text{mm}$  est l'optimale.

### IV.5. Comparaison entre les modèles avec un ajout d'une plaque en cuivre avec des rainures rectangulaire de différents largeurs $y$ :

Dans cette partie nous avons gardé le troisième modèle avec ( $e=4\text{mm}$ ) pour la plaque en cuivre et on a ajouté des rainures de hauteur de  $x=2\text{mm}$  dans la plaque de cuivre et au-dessous du dissipateur d'aluminium et on a changé la largeur ( $y$ ) de ces rainures à chaque fois pour les mêmes conditions aux limites.

#### IV.5.1 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures $y=7\text{mm}$

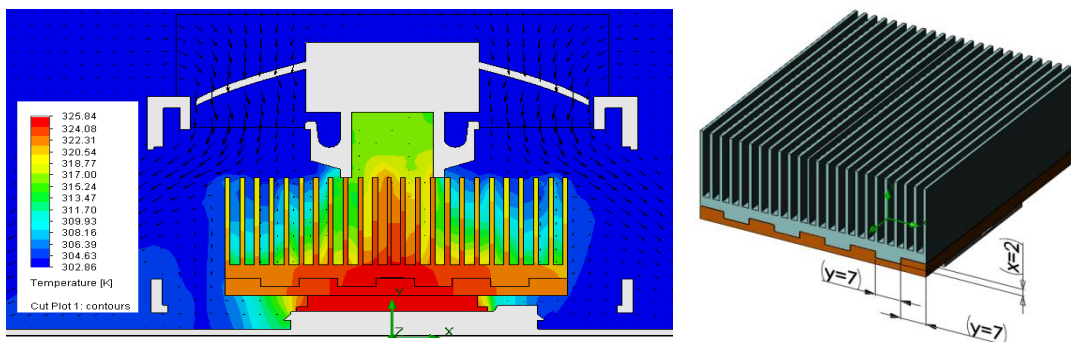


Figure 35 : Variation de la température du dissipateur  $y=7$  et le modèle en 3D.

### ***IV.5.2 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures $y=6\text{mm}$***

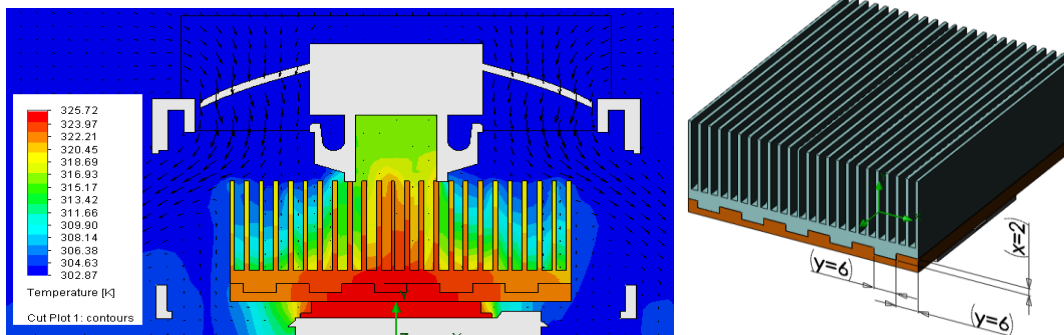


Figure 36 : Variation de la température du dissipateur  $y=6$  et le modèle en 3D.

### ***IV.5.3 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures $y=5\text{mm}$***

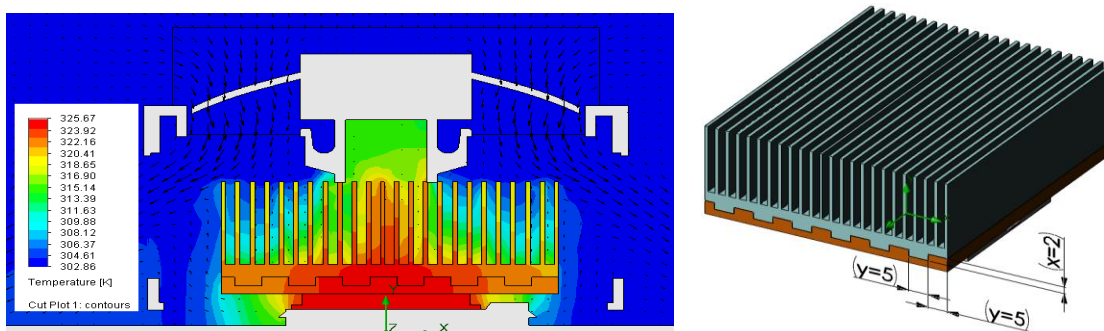


Figure 37 : Variation de la température du dissipateur  $y=5$  et le modèle en 3D.

### ***IV.5.4 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures $y=4\text{mm}$***

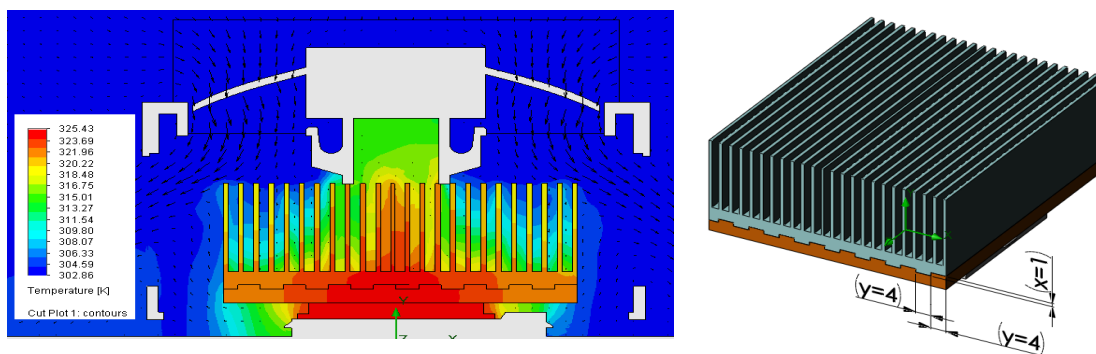


Figure 38 : Variation de la température du dissipateur  $y=4$  et le modèle en 3D.

### IV.5.5 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures $y=3\text{mm}$

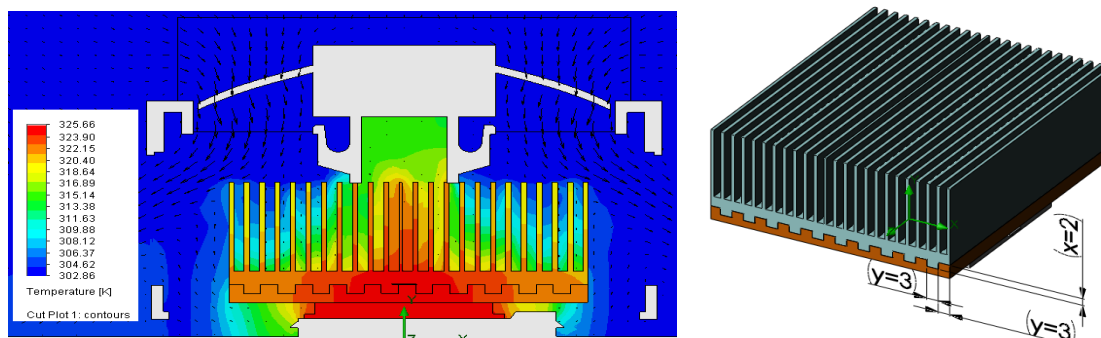


Figure 39 : Variation de la température du dissipateur  $y=3$  et le modèle en 3D.

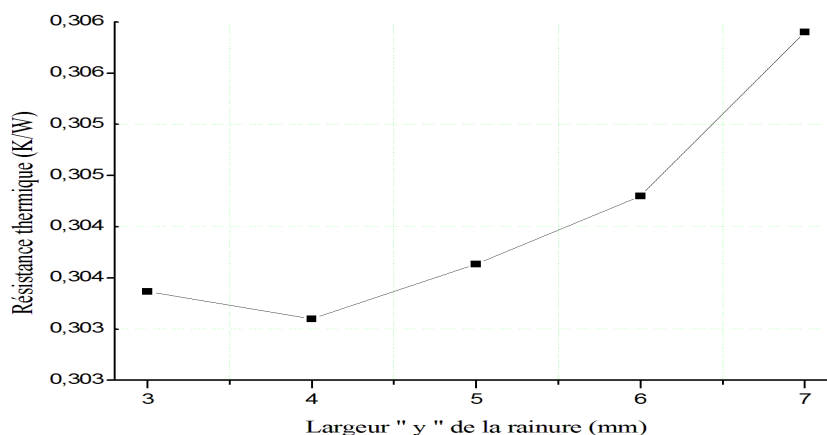


Figure 40 : Variation de la résistance thermique en fonction de la largeur « y » de la rainure .

Après ces résultats nous pouvons facilement déduire qu'il n'y a pas d'efficacité de ces rainures, parce que on a obtenu presque la même résistance thermique sauf pour le cas de la largeur ( $y=4\text{mm}$ ) la résistance thermique est optimale 'R=0.3033' K/W'.

### IV.6. Comparaison entre les modèles avec un ajout d'une plaque en cuivre avec des rainures rectangulaires de différentes hauteurs $x$ :

Dans cette partie nous avons gardé le troisième modèle avec rainure ( $y=4\text{mm}$ ) et on change les hauteurs ( $x$ ) à chaque fois pour les mêmes conditions aux limites.

#### IV.6.1 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures $x=1\text{mm}$

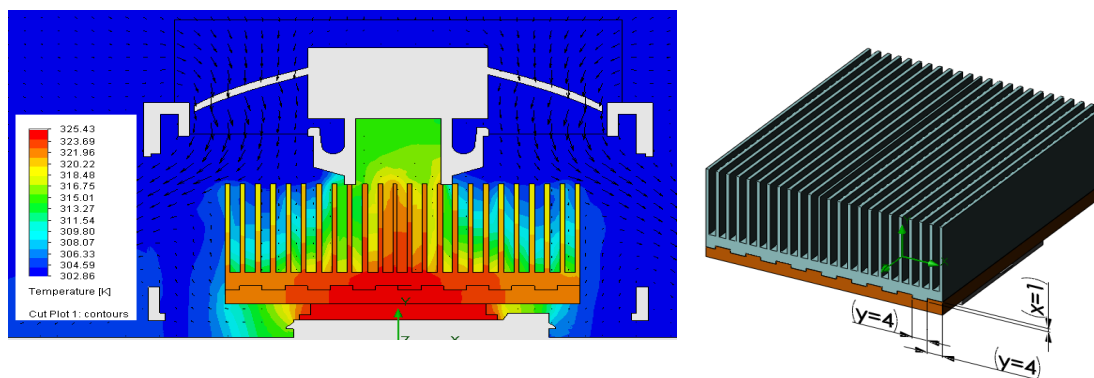


Figure 41 : Variation de la température du dissipateur  $x=1$  et le modèle en 3D.

#### IV.6.1 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures $x=1.25\text{mm}$

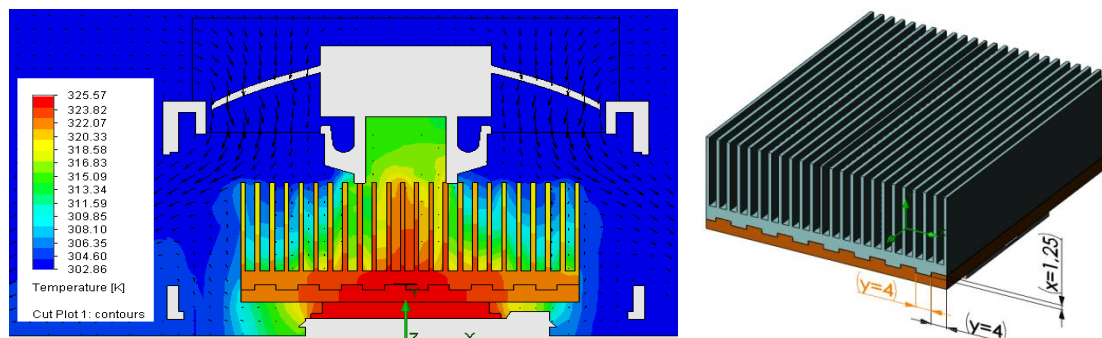


Figure 42 : Variation de la température du dissipateur  $x=1.25$  et le modèle en 3D.

***IV.6.1 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures  $x=1.5\text{mm}$***

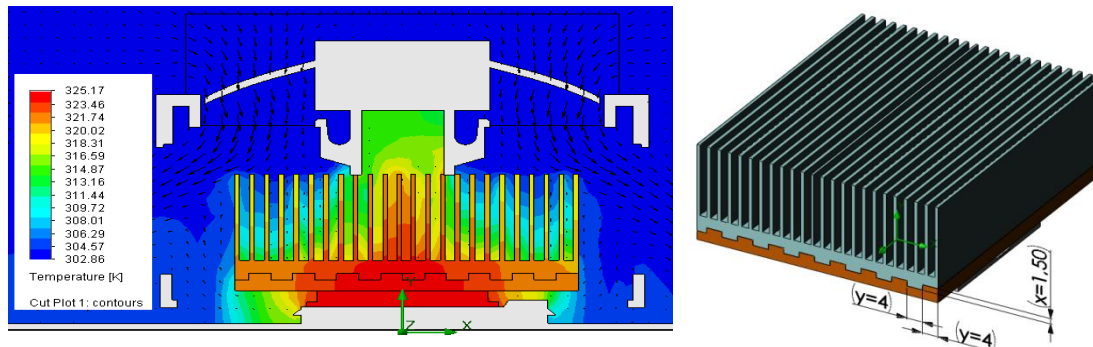


Figure 43 : Variation de la température du dissipateur  $x=1.5$  et le modèle en 3D.

***IV.6.1 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures  $x=1.75\text{mm}$***

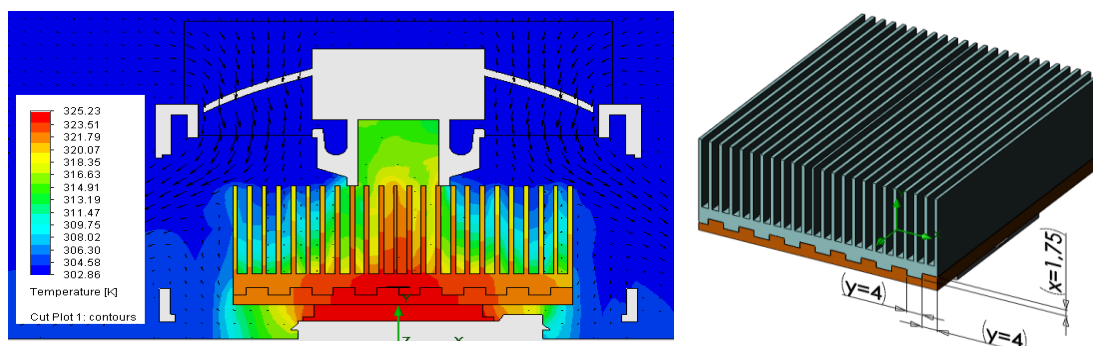


Figure 44 : Variation de la température du dissipateur  $x=1.75$  et le modèle en 3D.

***IV.6.1 Dissipateur avec un ajout d'une plaque avec rainures  $x=2\text{mm}$***

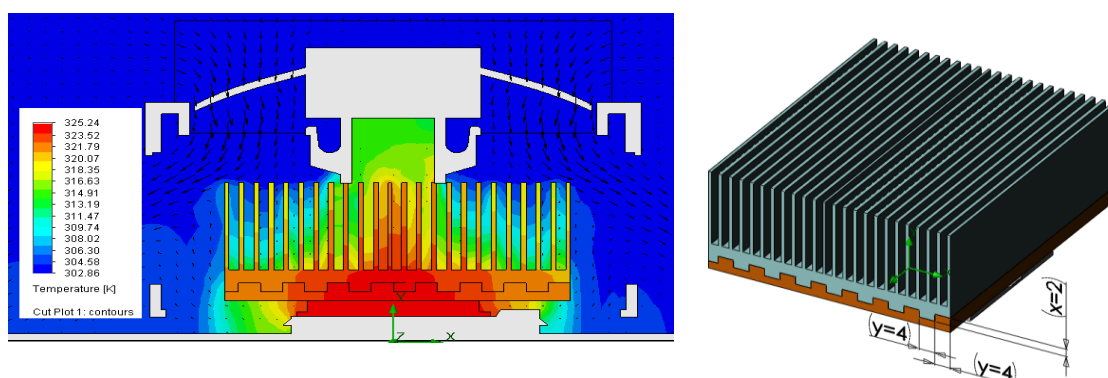


Figure 45 : Variation de la température du dissipateur  $x=2$  et le modèle en 3D.

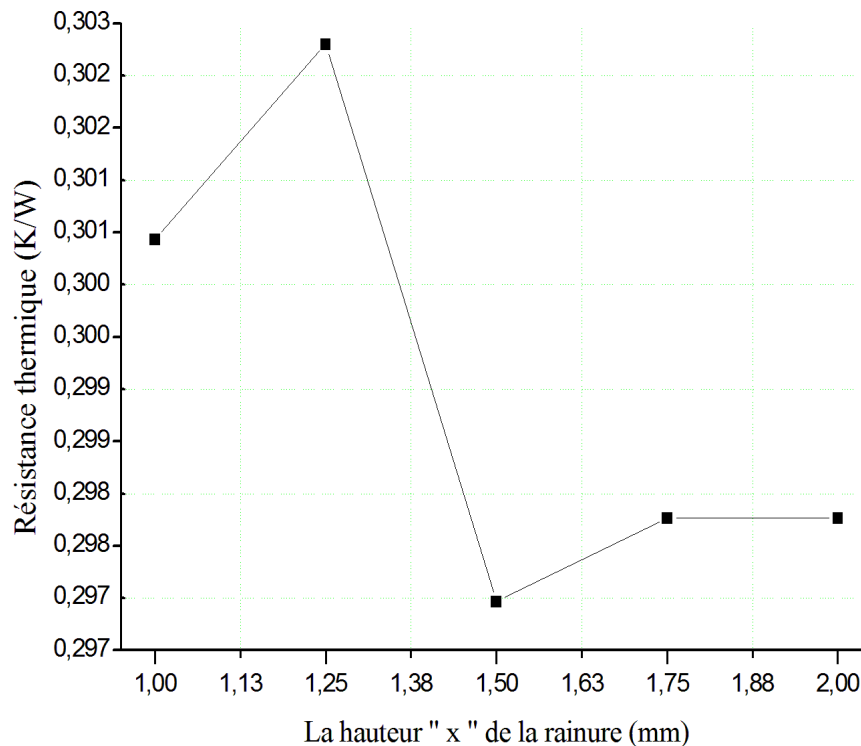


Figure 46 : Variation de la résistance thermique en fonction de la hauteur « x » de la rainure.

Le dissipateur avec rainure de largeur ( $y=4\text{mm}$ ) et hauteur de ( $x=1.5\text{mm}$ ) nous donne la basse température maximale ' $R=0.297\text{ K/W}$ ' donc la basse résistance thermique, nous pouvons facilement considérer que ce dissipateur est le meilleur.

### **IV.7 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude numérique dans le code FLOW WORK intégré dans le logiciel SolidWorks, en étudiant l'influence de la variation des dimensions de la géométrie d'un dissipateur qui refroidit un microprocesseur d'un micro-ordinateur, nous avons constaté que l'augmentation de la base de ce dissipateur améliore l'échange de chaleur, donc le refroidissement, l'ajout d'une plaque de cuivre nous permet d'améliorer considérablement le refroidissement.

### **Conclusion Générale :**

Le besoin croissant des systèmes de refroidissement adaptés et performants est la conséquence logique de l'augmentation des puissances dissipées associées à une compacité de plus en plus accrue des systèmes électroniques. Les densités de chaleur mises en jeu à l'heure actuelle peuvent facilement atteindre quelques centaines de  $W/cm^2$ . L'étude thermique de ces dispositifs devient alors primordiale lors de la conception de l'architecture des composants et des cartes électroniques.

Ce travail a été consacré à l'étude du refroidissement d'un élément chauffé (microprocesseur) par des ailettes.

Malgré l'efficacité remarquable de refroidissement par eau dans la plus part des études menés par les chercheurs dans ce domaine, le refroidissement par air reste toujours utilisé fréquemment, surtout dans les ordinateurs, portable ou ordinateurs de bureau, il était donc nécessaire de se concentrer sur ce type, en particulier dans notre étude, nous avons consacré tout un chapitre étudiant le refroidissement par air.

Si nous avons une chance dans le futur, pour faire une étude dans le même sujet on pourrais faire des essais, expérimentaux pour valider nous simulation, et on pourrais faire des recherches des géomètres optimales.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] [http://fr.wikibooks.org/wiki/transferts\\_thermiques/introduction](http://fr.wikibooks.org/wiki/transferts_thermiques/introduction)
- [2] Yves JANNOT, « transfert thermique » 2002
- [3] [www.energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20chaleur/3-2htm](http://www.energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20chaleur/3-2htm)
- [4] Jean-Luc Battaglia, Andrzej Kusiak et Jean-Rodolphe Puiggali « introduction aux transferts thermiques », Dunod, paris ,2010
- [5] [www-energie 2.arch.ucl.ac.be/transfert %20 chaleur/3.2htm](http://www-energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20chaleur/3.2htm)
- [6] Medjahed Driss Meddah Mémoire de magister (2011) “Mémoire de magister. Etude de l’Optimisation des Echanges Thermiques par Utilisation des Ailettes dans les composants Electroniques. Application au Refroidissement des Microprocesseurs”.
- [7] Ashby, M. F. “Technology in the 1990s: Advanced Materials and Predictive Design,” Philosophical Transactions of the Royal Society of London, A322 (1987).
- [8] Gay D. " Matériaux composites ", Hermès, 1997.
- [9] Berthelot J.-M. " Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures", 3ème édition. Technique & Documentation 1999.
- [10] Reinhart, T. J., "Engineered Materials Handbook Volume 1, Composites Materials ", Park, OH: ASM International, 1987.
- [11] Tsai, S. W. "Composites Design", Dayton, OH: Think Composites, 1986.
- [12] Richardson, T. "Composites: A Design Guide". Industrial Press Inc., New York, 1987.
- [13] Agarwal, B. D., et Broutman L. J. " Analysis and Performance of Fiber Composites". New York: John Wiley and Sons, 1980.
- [14] Drozda, T., " Composites Applications: The Future Is Now ". Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1989.
- [15] Staab, G-H. "Laminar composites", Butterworth-Heinemann, 1999.
- [16] Vasiliev V.V & Morozov E.V "Mechanics and Analysis of Composite Materials", Elsevier, 2001.
- [17] Vinson J.R., Sierakowski.R.L. "The Behavior of Structures Composed of Composite Materials " KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2004
- [18] László P.K, Springer G. S. "mechanics of composite structures ".Cambridge University Press. 2003.
- [19] S.V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere,NY, (1980).
- [20] W.Q. Tao, Numerical Heat Transfer, second ed., Xi’an Jiaotong, (2001).



## **Résumé:**

Plusieurs études numériques de transfert de chaleur par convection forcée à travers des ailettes verticales ont été réalisées.

Les équations élaborées par le modèle mathématique ont été résolues numériquement par la méthode des éléments finis.

Les résultats obtenus pour les différentes températures de base montrent que la présence de l'ailette et l'ajout des plaques en cuivre avec différentes épaisseurs et différentes formes influe considérablement sur le champ thermique et le transfert de chaleur est nettement amélioré.

## **Mots clés:**

convection forcée, les ailettes , la méthode des éléments finis ,nombre de Reynold

## **Abstract:**

Several numerical studies of heat transfer by forced convection through vertical fins have been carried out. The equations developed by the mathematical model have been solved numerically by the finite element method. The results obtained for the different basic temperatures show that the presence of the fin and the addition of the copper plates with different thicknesses and different shapes greatly influences the thermal field and the heat transfer is markedly improved

## **Keywords:**

forced convection, fins, the finite element method , Reynold number

## **ملخص:**

وقد أجريت العديد من الدراسات العددية لنقل الحرارة عن طريق الحمل الحراري القسري من خلال الزعانف العمودية. وقد تم حل المعادلات التي وضعتها النموذج الرياضي عددياً من خلال طريقة العناصر المحدودة. النتائج التي تم الحصول عليها لمختلف درجات الحرارة الأساسية تبين أن وجود الزعانف و إضافة الألواح النحاسية ذات السماكات المختلفة والأشكال المختلفة تؤثر بشكل كبير على الحقل الحراري وتحسن نقل الحرارة بشكل ملحوظ

## **الكلمات المفتاحية :**

الحمل القسري ، زعانف ، طريقة العناصر المنتهية ، عدد رينولد