



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

N° d'ordre :
N° de série :

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Énergétique

Présenté par :

BEN ALIA MOUSSA

KETMI MOUAD

Thème

**Simulation d'une ailette de refroidissement : cas d'un
Micro processeur**

Soutenu publiquement le : 29/05/2017

Devant le jury composé de :

Mr . Issasfa brahim Présidente Université KasdiMerbah Ouargla

Mr. Khalfi Mahdi Examineur Université KasdiMerbah Ouargla

Dr BouakbaMoustapha Encadreur Université KasdiMerbah Ouargla

Année universitaire : 2016/2017

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل عملوا فسيري الله عملكم ورسوله و المؤمنون)

صدق الله العظيم

الهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ولا يطيب
اللحاض إلا بشكرك ولا يطيب الآخرة إلا بـ\شكرك ولا يطيب الآخرة إلا بحقوقك ولا يطيب

الجنة إلا برويتك

(الله جل جلاله)

الى من بلغ الرسالة و احدى الامانة و نصح الامة الى نبي الرحمة و نور العالمين

(سيدنا محمد صلى الله عليه و سلم)

الى والدي العزيز الذي علمني العطاء بدون انتظار و احمل اسمه بكل افتخار

الى امي العزيزة التي كان دائما لها سر ناجح

الى جميع اخوتي حفظهم الله نجاة و عبد الهادي و مريم و محمد العيد و سميرة

و نفيسة و سارة عبد الله و رميسة و اريج و اسيا

و كما اهدي هذا العمل الى خطيبتي العزيزة زوليدخة

و الى جميع الاصدقاء و بالانص سفيان بوزيان و موسى بن عبيدة و محمد

عطويات

Je dédie ce modeste travail :

*À Mes parents **Mohiédine et Nassira**, symboles de courage et de volonté, qui ont consacré leur vie pour mon bien-être.*

*À Mes frères **Ahmad Rostoum**.*

*À Mes Sisters **Aicha. Mariam. Maria. Saliha .thoria***

*À tous **Mes cousins et cousines**.*

*À Toute la famille **ketmi***

*À tous mes amis notamment, **Nacre, Younes, Alla, Assam, Hicham ban aissa , moussa ban Aida ...etc.***

Enfin à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de Ce travail, je dis merci.

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre **Allah**, pour le courage et la force qu'il nous a donné pour effectuer ce travail. Au moment d'achever ce travail modeste,

Nous remercions Dr **Bouakba Moustafa**

, Qui a passé un temps précieux pour ce travail. Nous ont encouragés à continuer et à persévérer.

Et les membres de jury d'avoir accepté notre travail

Mr. **Khalfi Mahdi**

Mr. **Assasfa Ibrahim**

Et tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin durant toute la période de travail et en particulier :

Mr. **Mourad Boukhatem**



SOMMAIRE

Sommaire

	Page
Nomenclature	I
Listes des figures	II
Liste des tableaux	V
Introduction générale	1

Chapitre 01.....Généralités Sur La Circuits De Refroidissement A Air

1.1. Introduction	3
1.2 Refroidissement à air par ailette	3
1.2.1. Principe du refroidissement à air.....	3
1.2.2. Modes de transferts thermiques	3
1.2.2.1. Conduction thermique.....	3
1.2.2.2. Convection naturelle	4
1.2.2.3. Convection forcée.	5
1.2.2.4 Rayonnement négligeable	8
1.3. Domaine d'application des ailettes de refroidissement	9
1.3.1. Dans le secteur de la motorisation	9
1.4. Refroidissement par ailettes des micro-processeurs.	13
1.4.1. Phénomènes de transport: Refroidissement d'un micro-processeur.....	15
1.4.1.1 Mode de refroidissement.....	17
1.5. Dimensionnement d'une ailette en régime stationnaire.....	19
1.5.1. Définition	19
1.5.2. Champ de température dans une ailette de section constante	20
1.5.2.1 Conservation du flux thermiques.	20
1.5.2.2 Conditions aux limites	21
1.5.3 .Efficacité d'une ailette	22
1.5.4. Rendement d'une surface ailettes	23
1.6.conclition.....	23

Chapitre 02..... Simulation des phénomènes de Transfer de chaleur

<u>2.1. Introduction</u>	24
<u>2.2.. Simulation</u>	24
<u>2.2.1</u> Géométries utilisées.....	24
<u>2.2. 2</u> .Maillage du modèle	24
<u>2.3. Etude thermique des radiateurs à ailettes</u>	25
<u>2.3.1. Pour un radiateur à 1 ailette</u>	28

<u>2.3.2.</u> Pour un radiateur à 2 ailettes_.....	30
<u>2.3.3.</u> Pour un radiateur à 3 ailettes_.....	32
<u>2.3.4.</u> Pour un radiateur à 10 ailettes_.....	35
<u>2.3.5.</u> Étude thermique d'un radiateur à ailette ventilrad_	36
<u>2.4. Conclusion</u>	37
Concoction Générales et Perspectives.....	38
bibliographie.....	

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
C	coefficient d'analyse pour le coefficient de transfert de chaleur.	
H	coefficient de convection	W/m ²
L	Longueur	m
N	Number	-
P	Périmètre	m
Q	flux de la chaleur	W
R	Rapport de rayon	-
R	cordonnée radial rayon	m
S	Surface,	m ²
T	température,	K
Lettres grecques		
λ	Conductance thermique	w/mk
η	Efficacité,	-
μ	Variable de transformation	-
ρ	Rapport des rayons	-
φ	Fonction de terme,	
A:	Extrémité de l'ailette	-
B:	base d'ailette	-
σ	constante de stefan -Boltzmann	
ε	émissivité, indice valant 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau	
S	superficie du corps	
T	température de corps	(en kelvin)

Liste des figures

Chapitre I : Généralités Sur La Circuits De Refroidissement A Air

Figure 1-1 :	Schema de conduction thermique	4
Figure 1-2 :	Convection forcée appliquée à une plaque plane.	6
Figure 1-3 :	Quelques configurations de radiateurs	6
Figure 1-4 :	. Jets et formes d'ailettes de radiateurs	7
Figure 1-5 :	Schéma de transfert par rayonnement	8
Figure 1-6 :	Vue éclatée d'un radiateur	9
Figure 1-7:	. Les Moteurs Aussi ont des Ailettes	10
Figure 1-8:	. Processeur avec son système de refroidissement	10
Figure 1-9:	Refroidissement de Microprocesseur par L'air	11
Figure 1-10:	Tendance de dissipation de puissance de microprocesseur de la société Intel	13
Figure 1-11 :	. Quelques formes de ventilateurs.	14
Figure 1-12:	.Système de refroidissement d'un microprocesseur AMD	15
Figure 1-13:	Schéma des ailettes de Refroidissement	16
Figure 1-14 :	. Radiateur passif	17
Figure 1-15:	.Schéma d'une plaque Peltier de coupe..	18
Figure 1-16:	.. Exemple de surface ailettes	19
Figure 1-17:	. Hypothèse simplificatrice	19
Figure 1-18:	. Définition du système thermodynamique utilisé	20
Figure 1-19:	Correction de longueur.	22

CHAPITRE II : SIMULATION DES PHENOMENES DE TRANSFER DE CHALEUR

Figure 2-1:	Géométrie SOLID70	26
Figure 2-2:	Dimensions du radiateur modèle.	27
Figure 2-3 :	Maillage d'une ailette du CPU. a) modèle 2D, b) modèle 3D	28
Figure 2-4:	surfaces participant à la convection de chaleur	29
Figure 2-5:	distribution du gradient de température dans un radiateur à 1 ailette	30
Figure 2-6:	gradine de température en fonction de la longueur de l'ailette.	30
Figure 2-7:	Maillage du modèle du radiateur à 2 ailettes.	31
Figure 2-8:	Surfaces participant à la convection de chaleur pour 02 ailettes.	31
Figure 2-9:	variation de la température en fonction de la hauteur	32
Figure 2-10:	gradine de température en fonction de la longueur à 2 ailettes	32
Figure 2-11:	Maillage du modèle du radiateur à 3 ailettes.	33
Figure 2-12:	surfaces participant à la convection de chaleur. Pour 03 ailettes..	33
Figure 2-13:	distribution du gradient de température Dans un radiateur à 03 ailettes.	34
Figure 2-14:	gradine de températures En fonction de la longueur pour le cas d'un radiateur à 03 ailettes.	35
Figure 2-15:	distribution du flux de chaleur total dans le corps du radiateur..	35
Figure 2-16:	flux de chaleur total dans le corps du radiateur représenté par les iso lignes..	36
Figure 2-17	Conditions limites pour modèle d'un radiateur avec ventilateurs.	37
Figure 2-18	Conditions limites pour modèle d'un radiateur avec ventilateurs.	37

Liste des tableaux

CHAPITRE II : SIMULATION DES PHENOMENES DE TRANSFER DE CHALEUR

TableauII-1:	Propriétés physiques de l'aluminium	28
---------------------	--	-----------

Simulation d'une ailette de refroidissement : cas d'un micro processeur

Résumé

Le fulgurant développement de l'industrie des micro-ordinateurs et l'amélioration continue des performances de ces derniers tout en abaissant les couts de revient de ceux-ci a été possible en usant de l'outil d'optimisation dans le choix des matériaux, des géométries et des technologies utilisés. Dans ce travail, nous présentons les résultats de simulations des phénomènes de refroidissement par convection naturelle des microprocesseurs et cela pour différents types de radiateurs à ailettes.

Mots clés : micro-ordinateur , microprocesseur

Abstract

The rapid development of the microcomputer industry and the continuous improvement of the performances of the latter while lowering its cost have been possible by using the optimization tool in the choice of materials, geometries and technologies used. In this work, we present the results of simulations of the phenomena of cooling by natural convection of microprocessors for different types of finned radiators.

Keywords: microcomputer , microprocessors

ملخص

التطور السريع لصناعة الحواسيب الصغيرة والتحسين المستمر لأدائها وتخفيض تكلفتها بفضل استخدام أداة تحسين الأمثل في اختيار المواد، هندستها والتقنيات المستخدمة. في هذا العمل نعرض نتائج محاكاة تبريد معالج الحواسيب بواسطة ظواهر الحمل الحراري الطبيعي وهذا لأنواع مختلفة من زعانف المبرد

الكلمات المفتاحية : الحواسيب الصغيرة , معالج الحواسيب

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

La vulgarisation et démocratisation des Nouvelle Technologies de l'Information et de la Communication (N.T.I.C.) a été rendue possible par le fulgurant développement de l'industrie des micro-ordinateurs et l'amélioration continue des performances de ces derniers tout en abaissant les couts de revient de ceux-ci en usant de l'outil d'optimisation dans le choix des matériaux, des géométries et des technologies utilisés. Le système de refroidissement par air est adopté dans la conception des micro-processeurs et généralisé dans la technologie des micro-ordinateurs et cela pour sa simplicité de construction et l'absence d'encombrement et par conséquent son petit prix de revient comparé à sa sécurité de fonctionnement.

Lors des calculs les micro-processeurs des ordinateurs génèrent de la chaleur qui doit être évacuée pour garder ses mêmes processeurs à une température leur permettant de fonctionner normalement, pour ce faire ces micro-processeurs sont équipés d'ailettes jouant le rôle de radiateur à refroidissement par air. Il existe un grand nombre de types de radiateurs ; nous en citerons seulement les radiateurs de construction simple équipés d'ailettes simples et travaillants en convection naturelle. Ce type de radiateurs est destiné aux micro-ordinateurs dont les micro-processeurs ne sont pas enfermés dans des boitiers. Le deuxième type de radiateurs est de construction plus élaboré appelés ventilrad. Ces ventilrad sont des radiateurs à ailettes munis d'un ventilateur donc opérant en convection forcée. Ce type de radiateur est destiné aux micro-ordinateurs dont les micro-processeurs sont enfermés dans un boitier à l'intérieur de l'unité centrale.

Si le micro-processeur n'est pas refroidis correctement il risque de ne plus fonctionner correctement ou pire s'arrêter complètement de travailler. Si au contraire on s'acharne à refroidir les micro-processeurs d'un micro on risque d'encombrer le micro-ordinateur ou pire engendrer des surcouts de fabrication qui se répercuteront sur le prix de vente du micro le rendant par la même peu compétitif. Donc il s'agit de trouver un compromis entre les deux situations extrêmes.

Ce mémoire est divisé en :

- ❖ Un premier chapitre présentant une revue bibliographique sur :
 - les principaux principes de transfert de chaleur ;
 - Principaux radiateurs de refroidissement par ailettes ;
 - Partie concernant le refroidissement par ailette des micro-processeurs de PC.

- ❖ Un deuxième chapitre présentant les simulations des phénomènes de transfert de chaleur dans les micro-processeurs.

Ces deux chapitres sont précédés par une introduction générale et clôturé par une conclusion générale.

CHAPITRE

I

GÉNÉRALITÉS SUR LES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT À AIR

1.1. Introduction :

Le principe de multiplication des surfaces de convection et qui constitue la pierre angulaire de la technique de refroidissement par air est utilisé dans énormément de disciplines et beaucoup d'applications ont vu le jour depuis sa création. Dans ce chapitre nous allons exposer ce principe de refroidissement, ensuite, nous passerons en revue les principales applications de cette technique. Et dans un troisième temps, nous développerons le refroidissement par ailettes des microprocesseurs, objet de ce mémoire.

1.2. Refroidissement à air par ailette:

1.2.1. Principe du refroidissement à air:

Le rôle des ailettes thermiques est de favoriser l'échange de chaleur entre deux milieux, or le nombre de domaines mettant en jeu des échanges thermiques est impressionnant. Étudions le rôle précis des ailettes thermiques dans certains systèmes de notre vie quotidienne Application la plus connue les microprocesseurs des ordinateurs qui génèrent beaucoup de chaleur lors de leur fonctionnement. Afin d'éviter que ceux-ci soient endommagés par une surchauffe, ils sont parfois recouverts par un radiateur.

Le plus souvent en aluminium, ce système d'ailettes transmet directement la chaleur du processeur à l'air. Ainsi, même si leur forme peut beaucoup varier, les ailettes thermiques sont indispensables pour améliorer le rendement de tout échangeur de chaleur. Que le but soit de refroidir un élément en transmettant sa chaleur à l'air ambiant, ou au contraire de chauffer un fluide grâce à une résistance électrique, le principe des échangeurs reste toujours le même, et des ailettes thermiques y sont presque toujours associées.

1.2.2. Modes de transferts thermiques:

1.2.2.1. Conduction thermique:

La conduction thermique est un transfert thermique ayant lieu au cœur d'un matériau c'est-à-dire à l'échelle microscopique [5].

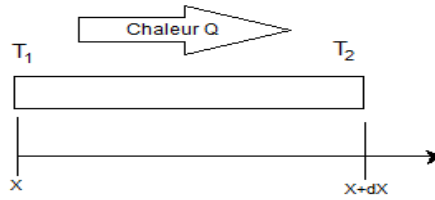


Figure 1.1. Schéma de conduction thermique

Elle résulte de l'élévation ou de la baisse de la température dans une certaine région d'un corps. Ceci provoque une différence de température dans l'intégralité du corps. Ainsi la région la plus froide du corps s'échauffe au contact de la région la plus chaude.

Ce transfert thermique a lieu sans transfert de matière mais avec transfert d'énergie. En effet, on peut considérer la conduction thermique au sein d'un solide comme la transmission de proche en proche de l'énergie microscopique de vibration du réseau cristallin. Car le fait que le corps soit chaud se traduit par une agitation microscopique des atomes composant le réseau cristallin. Dans notre cas, lorsque l'extrémité de l'ailette est mise en contact avec le dispositif de chauffage, le phénomène de conduction thermique se traduit par une élévation progressive de la température dans la totalité de l'ailette et surtout dans les parties froides (l'autre extrémité).

1.2.2.2. Convection naturelle:

La convection naturelle reste de la conduction dans un fluide déformable, mais la variation de la masse volumique en fonction de la température induit des forces d'Archimède qui provoquent le mouvement du fluide.

Toute autre cause de mouvement de molécule d'air telle que les ventilateurs est éliminée. Dans le mode de convection, l'analyse adimensionnelle intervient afin de pouvoir calculer les caractéristiques du régime d'écoulement et le coefficient d'échange convectif(h). Les quatre nombres adimensionnels critiques dans le cas de la convection naturelle sont:

- Nusselt Nu décrit le rapport entre l'échange par convection et par conduction dans la couche fluide.
- Grashof Gr représente la comparaison entre la force de poussée consécutive à l'échauffement et la force de viscosité.
- Prandtl Pr décrit le rapport entre la diffusion de la quantité de mouvement et la diffusion de la chaleur dans un fluide.
- Finalement le critère pour déterminer l'instabilité de l'écoulement est le Rayleigh Ra . Ce dernier est égal au produit : $Gr \cdot Pr$.

La résistance thermique de convection R_{th} est évaluée après le choix de la corrélation adéquate (fonction de Nusselt). Pour une surface d'échange S , les formules de la résistance R_{th} , du coefficient h et du diamètre hydraulique D_c [4] sont :

$$R_{th} = \frac{1}{h \cdot S} \quad h = \frac{\lambda Nu}{D_c} \quad D_c = \frac{4S_c}{P} \quad (1.1)$$

Avec λ la conductivité de l'air, S_c et P caractérisent respectivement la section et le périmètre d'un canal d'écoulement. Dans le cas d'un canal de section circulaire par exemple, D_c est égal au diamètre géométrique de la conduite.

1.2.2.3. Convection forcée:

Comme vu, le refroidissement par air peut être passif ou actif. Étant en convection naturelle c'est la méthode passive et la convection forcée est la méthode active.

Cette dernière méthode est la solution de refroidissement la plus répandue. Nous parlons de convection forcée quand l'écoulement est provoqué par des moyens externes, tels qu'un ventilateur, une pompe, ou les vents atmosphériques. Dans les conditions naturelles, la convection est due au vent qui est lui-même la résultante du gradient local de la pression atmosphérique [3].

Le fluide échange de la chaleur avec des parois, mais son mouvement est pratiquement peu influencé par les différences de températures.

Le transfert thermique à partir d'une surface à la température T_s d'un fluide à la température T_∞ par la convection (voir figure 1.6) est exprimé par la loi de Newton de refroidissement :

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (1.2)$$

Où :

q : Flux de transfert de chaleur convectif (W).

h : Coefficient convectif de transfert de la chaleur ($W/m^2 \cdot K$).

A : Surface d'aire disponible pour la convection (m^2).

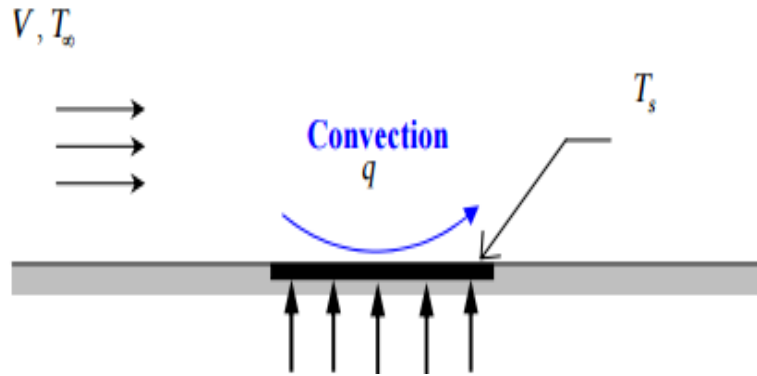


Figure 1.2. Convection forcée appliquée à une plaque plane.

Les radiateurs sont souvent utilisés dans beaucoup d'industries pour augmenter la quantité de chaleur évacuée par convection libre ou forcée. Les radiateurs sont des dispositifs qui mettent en valeur la dissipation thermique d'une surface chaude.

Ils peuvent être trouvés sur divers dispositifs électroniques tels que les microprocesseurs et les cartes vidéo à haute performance. Les radiateurs sont fabriqués en substrats solides ayant habituellement une conductivité thermique élevée, tels que le silicium, le cuivre ou l'aluminium. Une des conceptions de radiateur les plus simples et les plus rentables actuellement utilisées est le radiateur en aluminium extrudé. Plusieurs formes de radiateurs possibles sont présentées dans la figure 1.2.

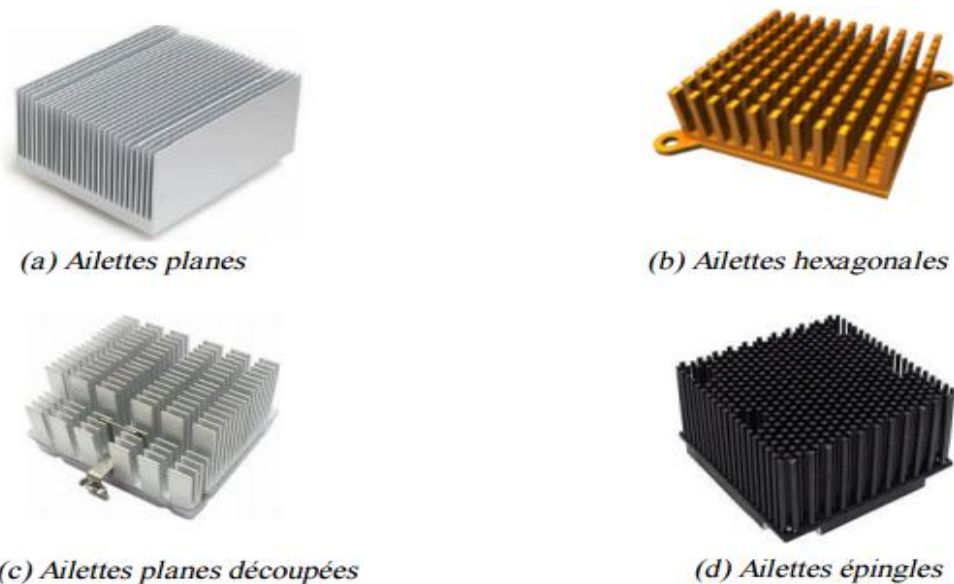


Figure 1.3. Quelques configurations de radiateurs.

Un composant électronique est alors monté sur la surface de base du radiateur. La chaleur produite par le composant est d'abord transférée aux canaux par conduction, ensuite évacuée par convection forcée [3]. Les composants électroniques tels que les diodes et les transistors qui sont attachés aux radiateurs, ont une température de jonction critique vis-à-vis de leurs performances.

C'est un but ultime pour concevoir la géométrie du radiateur afin que la température de jonction estimée du radiateur ne devrait pas être plus grande que la température de jonction prescrite par le fabricant.

Les ailettes sont en contact direct avec de l'air ambiant, ainsi, elles libèrent la chaleur à l'ambiance. Puisque la conductivité thermique de l'air est considérablement inférieure à celle du radiateur, une couche limite thermique se formera autour des ailettes. La présence de cette couche limite est plutôt désavantageuse du point de vue efficacité de refroidissement.

C'est la raison principale d'appliquer un ventilateur additionnel dans un système de refroidissement actif, puisque le transfert de chaleur par convection forcée est beaucoup plus efficace dans le transport de chaleur par convection libre les micro-canaux sont des échangeurs de chaleur intégrés directement avec le composant électronique. Cette technologie augmente la surface pour le transfert thermique et améliore le coefficient de transfert thermique. Cette technologie de refroidissement exige également un schéma efficace pour le rejet de la chaleur à l'ambiance, qui dépend de la conception et de la fabrication des radiateurs sophistiqués.

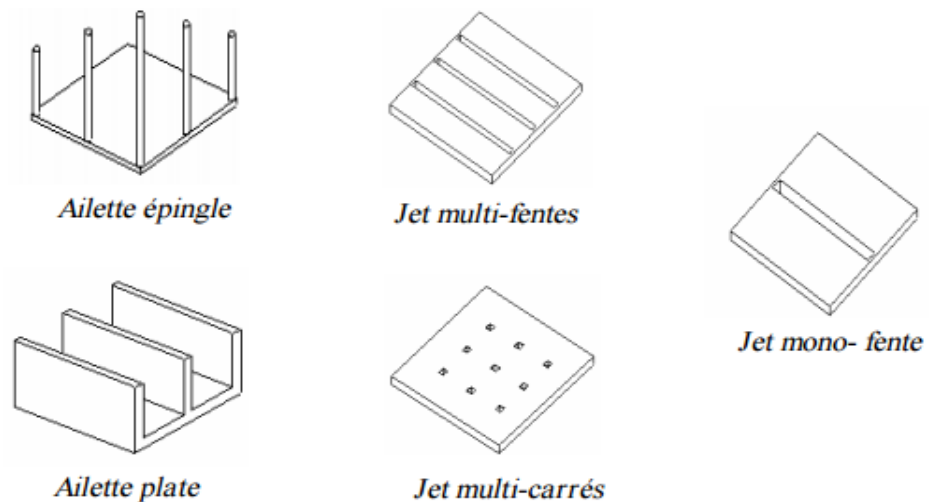


Figure 1.4. Jets et formes d'ailettes de radiateurs.

1.2.2.4. Transfert de chaleur par rayonnement:

Par définition, le transfert se fait par rayonnement électromagnétique. Quelle que soit sa température, un corps émet un rayonnement thermique, celui-ci est plus ou moins intense selon cette température. La longueur d'onde à laquelle est émise ce rayonnement dépend aussi de cette température. Ainsi, le rayonnement thermique émis par le Soleil est situé principalement dans le visible. Des corps plus froids comme les mammifères émettent quant à eux dans l'infrarouge. La loi dite loi du déplacement de Wien permet de donner la longueur d'onde du maximum d'émission en fonction de cette température.

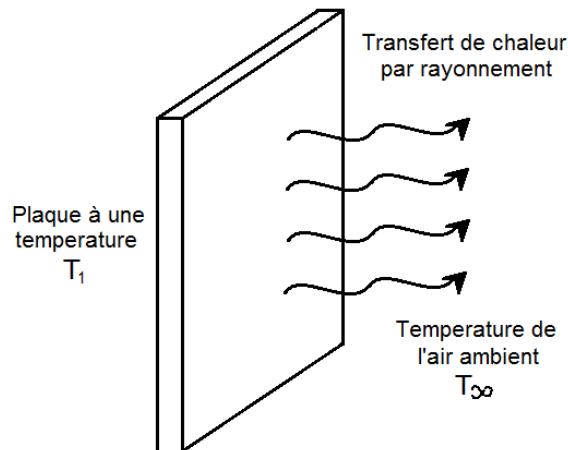


Figure 1.5. Schéma de transfert par rayonnement

Ce mode de transfert est le seul à se réaliser dans le vide, cas du rayonnement solaire arrivant sur Terre. Néanmoins, celui-ci se réalise aussi dans les fluides (l'air par exemple) et dans certains solides (verre).

Exemples de transfert par rayonnement : système de chauffage dit par radiant ; le soleil.

La loi de Stefan-Boltzmann (ou loi de Stefan) permet de quantifier ces échanges. La puissance rayonnée par un corps est donnée par la relation :

$$P = \varepsilon S \sigma T^4$$

avec

- σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,670\ 3 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) ;
- ε : émissivité, indice valant 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau ;
- S : superficie du corps ;
- T : température du corps (en kelvin).

Si le corps récepteur réfléchit certaines longueurs d'ondes ou est transparent à d'autres, seules les longueurs d'onde absorbées contribuent à son équilibre thermique. Si par contre le corps récepteur est un corps noir, c'est-à-dire qu'il absorbe tous les rayonnements électromagnétiques, alors tous les rayonnements contribuent à son équilibre thermique.

1.3. Domaine d'application des ailettes de refroidissement:

Le refroidissement par air est un domaine qui connaît énormément d'applications dont nous allons en citer quelques unes.

1.3.1. Dans le secteur de la motorisation:

Où cette technique est utilisée dans les deux types de refroidissement de moteur à combustion interne, à savoir les refroidissements à eau et à air. Pour le premier type ou le refroidissement à eau est préconisé on fait appel aux ailettes de refroidissement et cela dans les radiateurs de refroidissement, ou l'eau qui circule dans le moteur dans le but de le refroidir est refroidie à son tour dans le radiateur et ceci par le biais des ailettes de refroidissement du radiateur, c'est dire l'importance de ce type de refroidissement, même dans un refroidissement par eau on a recours, en définitive aux ailettes de refroidissement par air pour les véhicules devant travailler dans les régions où les températures sont froides, c'est-à-dire où le risque de gel de l'eau de refroidissement est accru. Dans cette application, le système de refroidissement :

a. Radiateurs de refroidissement :

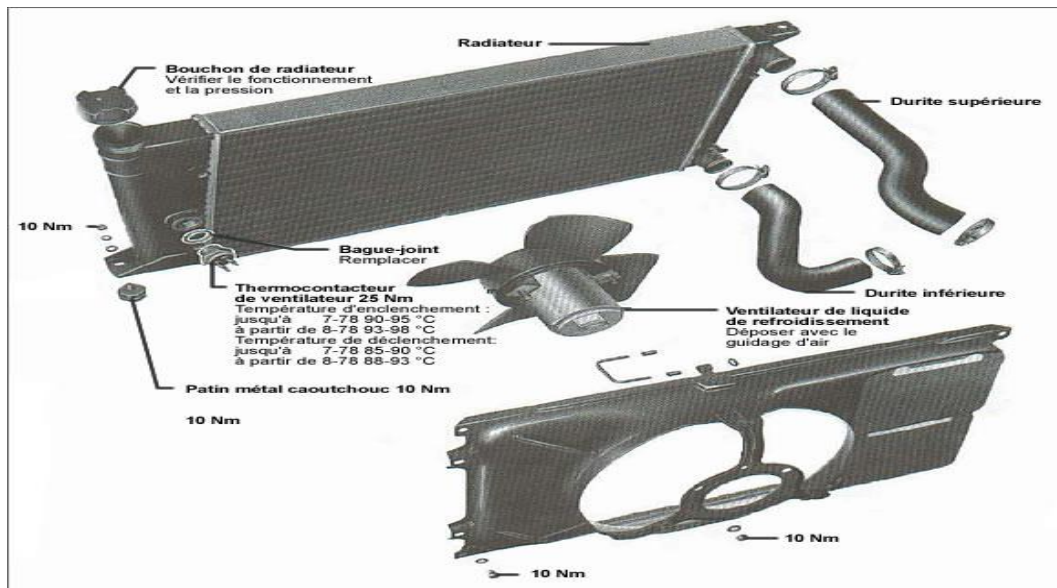


Figure 1.6. Vue éclatée d'un radiateur.

Les cylindres sont munis d'ailettes orientées pour que le courant d'air provoqué par le déplacement du véhicule circule facilement entre elles. En automobile, le système est complété par un ventilateur ou turbine [1]. Les cylindres sont alors enfermés dans un habillage en tôle, destiné à canaliser l'air. Parfois, un volet commandé manuellement ou automatiquement par un thermostat faisait varier la circulation d'air selon la température du moteur et de l'extérieur.

L'eau de refroidissement du moteur est acheminée par les conduites de refoulement vers le carter supérieur puis descend sous l'effet de la gravitation vers celui inférieur. Durant sa descente, le transfert de chaleur s'effectue lors du contact de ces gouttelettes avec les parois des conduites tubulaires conçues dans le corps du radiateur, puis cette chaleur est acheminée par conduction de ces tubulures vers les ailettes de refroidissement, pour enfin évacuée vers l'extérieur par convection à travers ces mêmes ailettes de refroidissement.

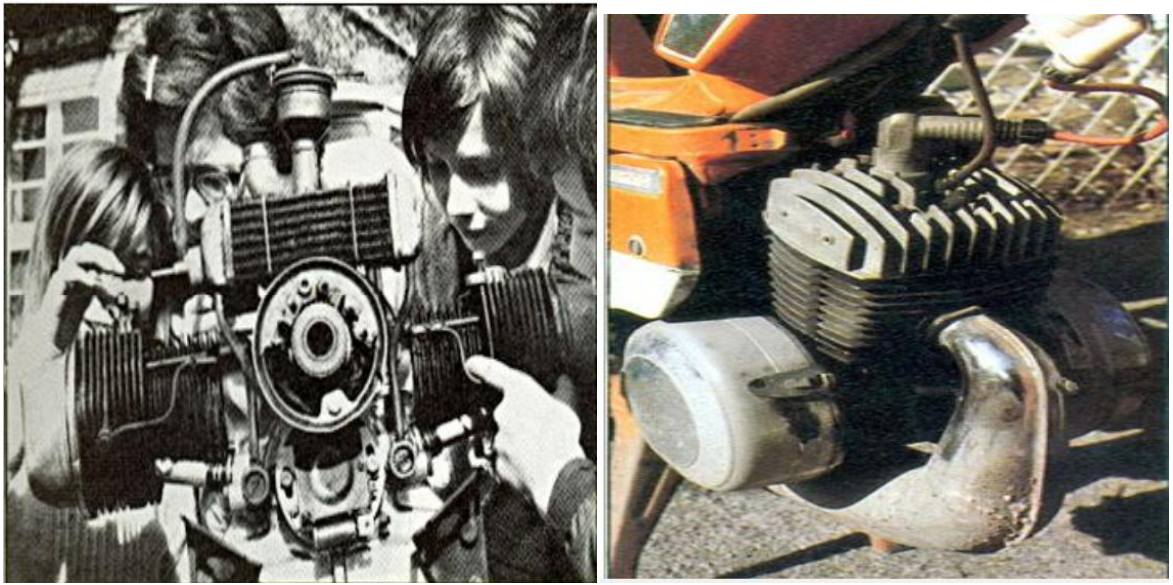


Figure 1.7. Les Moteurs Aussi ont des Ailettes.

Avantages :

- Simplicité et faible coût de construction;
- Gain de poids;
- Peu de défaillances et d'entretien.

Inconvénients :

- Regulation de température imprécise;
- T° moyenne élevée, donc remplissage moins bon;
- Rendement, puissance et consommation moins favorables.
- Pollution moins maîtrisée [6].

a) Refroidissement des microprocesseurs:**Figure 1.8.**Processeur avec son système de refroidissement.

Le processeur est un véritable centre nerveux de l'ordinateur, il contient plusieurs milliers de transistors, qui sont chargés de décoder les informations qui lui sont envoyés. Comme tous les composants électriques, une fois alimentés ces transistors dégagent une certaine quantité de chaleur. Avec les fréquences élevées des processeurs vendus ces derniers mois sur le marché, cette quantité de chaleur n'a malheureusement cessé d'augmenter. Cela explique la présence au-dessus du processeur d'un dissipateur de chaleur et d'un ventilateur. Sans ce dispositif de refroidissement, l'ordinateur ne peut fonctionner correctement.

Bien entendu la température de votre processeur varie en fonction de l'utilisation de votre ordinateur. Plus votre processeur se révèle dans la plupart des cas lors de l'utilisation d'applications gourmandes en ressources comme la lecture de DVD, de Divx, ou le jeu vidéo. Une surchauffe déclenche en général une procédure d'arrêt d'urgence du PC, d'où un gel de l'écran ou un redémarrage.

**Figure: 1.9.** Refroidissement de Microprocesseur par L'air.

L'air-cooling correspond à un refroidissement classique à air: un radiateur en contact avec le processeur permet de collecter la chaleur (conduction naturel), laquelle est évacuée à l'aide d'un ventilateur (convection forcée) [2].

Cependant on constate beaucoup de désavantages à ce système refroidissement: les ventilateurs sont source de nuisances parfois très élevées lorsque l'unité processeur est exploitée à 100%, ou simplement lorsque la température ambiante est élevée.

De plus, qui dit ventilateur dit appel d'air, c'est pour cela que rapidement la poussière s'accumule à l'intérieur du boîtier, ce qui peut créer une gêne dans le refroidissement de certains composants dépourvus de radiateur, cette poussière créant alors une sorte de "coque" qui empêche la chaleur de s'évacuer.

b) Radiateur domestique:

Les radiateurs domestiques ont pour but de chauffer un local et le maintenir à une certaine température de confort. Il existe plusieurs types de radiateurs domestiques. Pour transférer efficacement de la chaleur, un radiateur doit être constitué d'un matériau ayant une forte conductivité thermique (d'où l'utilisation courante de métal) et posséder une grande surface de contact entre les deux systèmes, ce qui explique les formes souvent complexes employées afin de maximiser les échanges thermiques. On fait parfois usage de convection forcée (ventilateur).

La dissipation de chaleur par rayonnement dépend fortement de la température (en T^4 , cf. loi de Stefan-Boltzmann) [2].

La loi de Stefan-Boltzmann ou de Stefan (du nom des physiciens Jožef Stefan et Ludwig Boltzmann) établit que l'existence énergétique d'un corps en watt par mètre carré (puissance totale rayonnée par unité de surface dans le demi-espace libre d'un corps noir) est liée à sa température T exprimée en kelvin par la relation :

$$M^{\circ} = \sigma \epsilon T^4 \quad (1.2)$$

Où σ est la constante de Stefan-Boltzmann, aussi appelée constante de Stefan, et où l'émissivité ϵ (flux radiatif émis par un élément de surface à température donnée, rapporté à la valeur de référence qu'est le flux émis par un corps noir à cette même température) est un coefficient sans unité, compris entre 0 et 1, et qui est l'unité pour un corps noir.

Il est bien entendu que d'autres facteurs interviennent dans le maintien d'une température de confort comme par exemple l'isolation du bâtiment et des pièces, la présence de vanne thermostatique.

1.4. Refroidissement par ailettes des micro-processeurs:

Avec l'amélioration des puissances des circuits et des vitesses d'exploitation des systèmes électroniques avec des composants de tailles diverses dont certains présentent un fort dégagement de chaleur. Cette dissipation de chaleur rend la conception thermique plus critique. Pour assurer la précision du système, il est impératif de garder tous les composants opérant dans les limites des températures optimales. Il en résulte que l'étude du refroidissement des composants électroniques devient nécessaire afin de permettre à ces systèmes de fonctionner sous des contraintes thermiques idéales.

Comme la technologie progresse dans la conception et la fabrication du processeur, la génération de la chaleur de processeur est appelée à augmenter dans les futures conceptions. Le processeur contribue à la plus grande portion de quantité de chaleur totale produite. En 1971, le premier microprocesseur d'ordinateur 4004 conçu par Intel, est constitué d'environ 2300 transistors. En 2000, le Pentium IV fait aussi par Intel, regroupe 42 millions de transistors. La figure 1.2 montre l'évolution temporelle de la dissipation de la chaleur des microprocesseurs d'Intel.

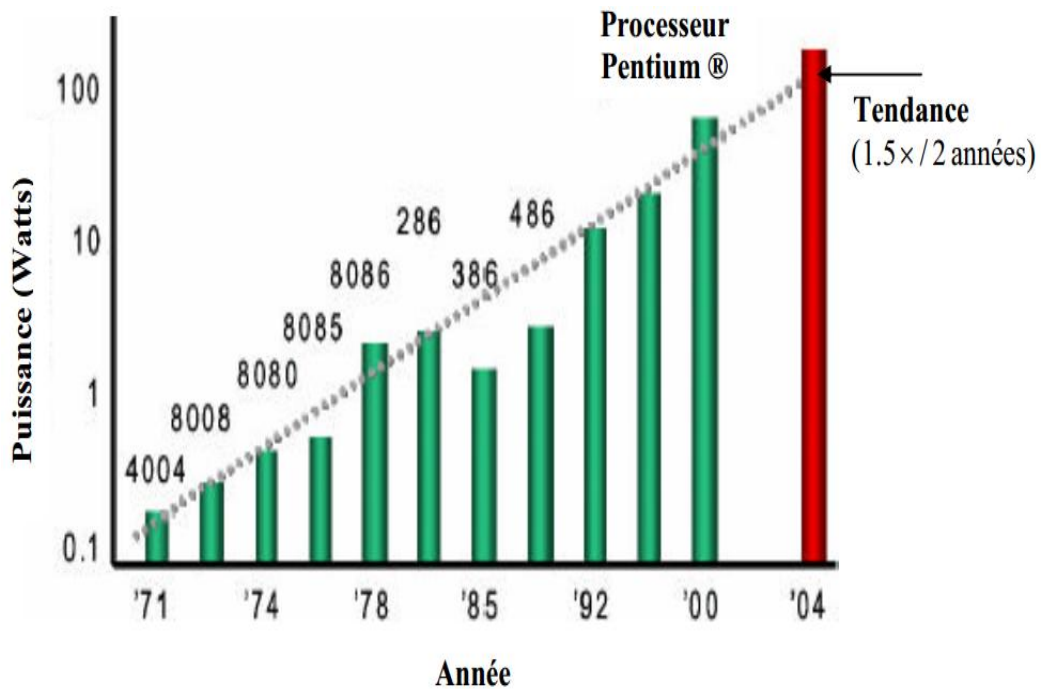


Figure 1.10. Tendence de dissipation de puissance de microprocesseur de la société Intel.

Au début, le refroidissement électronique n'était pas adressé à l'étape de conception des systèmes, il était adressé seulement quant-il y'avait un échec thermique du dispositif électronique. Plus tard, comme les densités de puissance ont augmenté et la fiabilité des composants électroniques est devenue une issue, il est devenu obligatoire d'adresser la gestion thermique à l'étape conception, pour pouvoir quantifier et contrôler l'excès de chaleur [3].

Différentes techniques de refroidissement ont été développées pour augmenter le transfert thermique incluant la convection naturelle, la convection forcée, la conduction, le rayonnement et le transfert de chaleur par changement de phases. La convection forcée a été le mode le plus utilisé pour le déplacement de la chaleur.

Le refroidissement par convection naturelle réduit le bruit acoustique inhérent au refroidissement par convection forcée de l'équipement. Il fonctionne également aux sites éloignés et aux environnements thermiques extrêmes. La conduction transfère la chaleur à partir de l'unité par le contact direct avec les composants extérieurs.

La disponibilité omniprésente de l'air et la facilité de sa manipulation, fait de lui une des solutions les plus préférées pour le refroidissement en électronique. Le refroidissement par air, forme deux catégories, le refroidissement passif par air qui est habituellement utilisé pour des puissances et densités basses des puces, l'autre est le refroidissement par air forcé (actif) qui est utilisé dans la plupart des situations connues.

Soufflant de l'air vers des unités de génération de la chaleur était la méthode la plus Populaire de refroidissement. Le mécanisme à enlever la chaleur consiste à souffler de l'air du ventilateur vers un radiateur, qui est en contact à l'unité de génération de la chaleur. Pour des systèmes où la convection forcée est le mécanisme de refroidissement principal, la sélection du ventilateur joue un rôle important.

Les ventilateurs utilisent le moment de rotation du moteur pour faire sortir un écoulement volumétrique d'air à une pression donnée. Plusieurs types de ventilateurs existent ; à propulseur, à tube axial et à palettes axiales (voir Fig. 1.9).

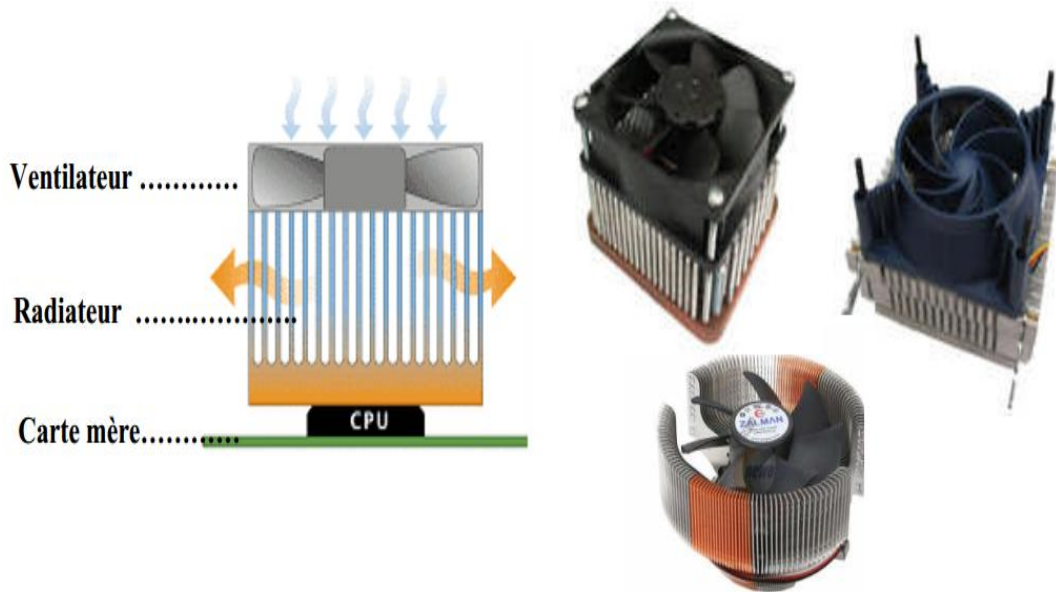


Figure 1.11. Quelques formes de ventilateurs.

1.4.1. Phénomènes de transport: Refroidissement d'un micro-processeur:

Du fait de l'accroissement de la densité des composants élémentaires, les microprocesseurs dissipent de plus en plus d'énergie par unité de volume. Il est impératif d'évacuer la chaleur produite pour maintenir les composants à une température pas trop élevée (typiquement inférieure à 100 °C). On cherche ici à identifier les différents mécanismes de transfert de chaleur pour un microprocesseur placé verticalement dans un boîtier d'ordinateur assez volumineux de type tour [9]. Le microprocesseur à une forme carrée et sa surface L2 est de l'ordre de 10 cm². La puissance à évacuer est de 50 W. Ces mécanismes sont :

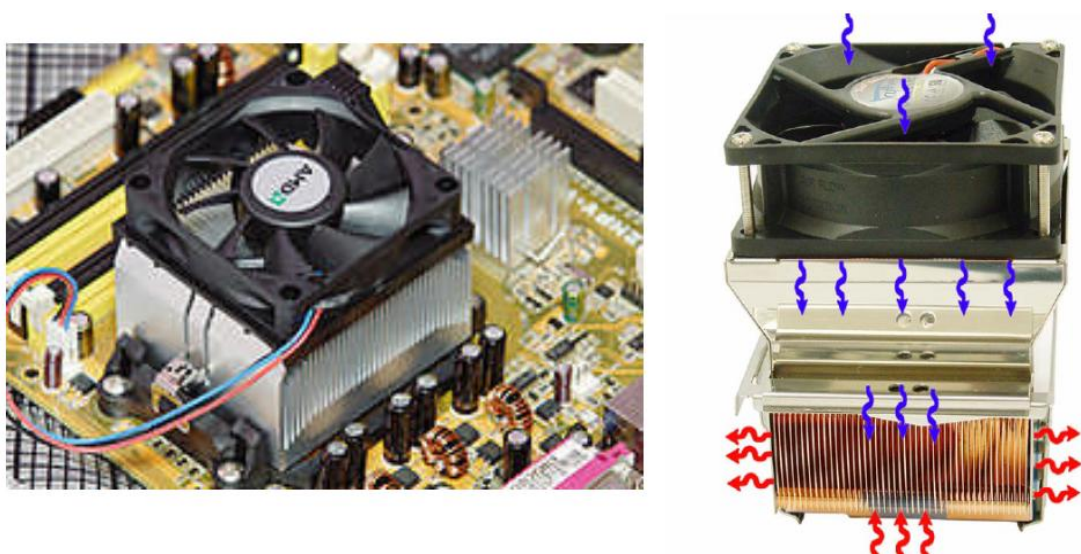


Figure 1.12. Système de refroidissement d'un microprocesseur AMD

- a. Transfert radiatif: estimer l'ordre de grandeur du taux de chaleur échangée par transfert radiatif entre la surface du microprocesseur et l'air ambiant (à une température égale à 30°C).
- b. Transfert par diffusion et convection thermique naturelle: Estimer le nombre de Rayleigh et en déduire l'importance relative du transfert par diffusion et du transfert par convection. A partir des abaques reliant le nombre de Nusselt et le nombre de Rayleigh, estimer le flux de Chaleur qui peut être évacué par convection naturelle sur la surface du microprocesseur. Si l'aire du microprocesseur n'est pas assez grande, par combien faudrait-il multiplier la surface d'échange en utilisant seulement la convection naturelle ?
- c. Ajout d'un radiateur: Pour améliorer le transfert thermique, on dispose un radiateur composé d'ailettes en alliage d'aluminium d'épaisseur t , de hauteur H et d'espacement b . Si les ailettes ont une épaisseur et un espacement de l'ordre du millimètre, quelle est leur hauteur optimale ? et quel gain de surface d'échange peut-on atteindre toujours en utilisant la convection naturelle?

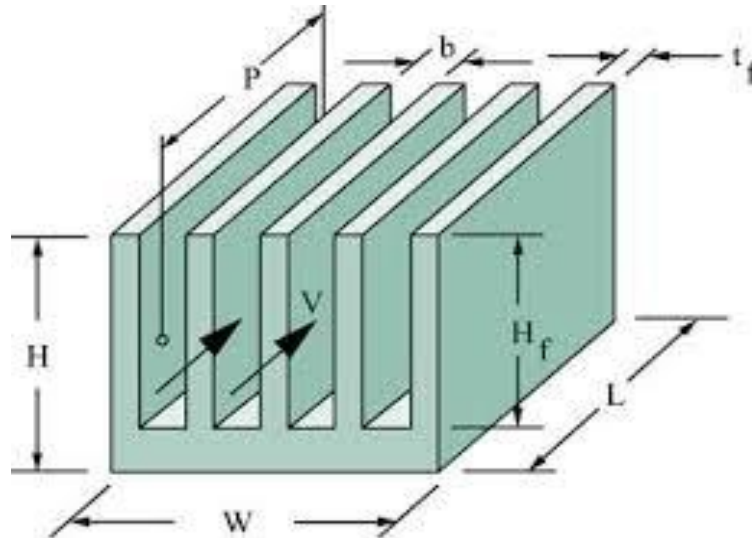


Figure 1.13. Schéma des ailettes de Refroidissement

- d. Convection forcée. Si on ajoute un ventilateur pour forcer l'écoulement de l'air à travers l'ensemble des ailettes, quel débit d'air doit-il assurer pour évacuer les 50 W produites par le micro- processeur ? [9].

1.4.1.1. Mode de refroidissement:

a. Le Refroidissement par ventilation :

Ce système est le plus répandus actuellement, la totalité des microprocesseurs non overclocké fonctionnent correctement avec celui-ci. Il est assez peu onéreux, 2 790DA (soit l'équivalent de 15€) pour un ventilateur homologué et les prix vont jusqu'à plus de 11 000DA (soit l'équivalent de 60€) pour les plus performants.

Il se compose d'un radiateur formé par des ailettes en aluminium ou en cuivre surmonté d'un ventilateur. Les performances sont meilleures avec un modèle ayant un radiateur en cuivre (mais le prix est plus élevé). Pour réduire les coûts certains modèles sont en aluminium mais la zone de contact avec le core du processeur est en cuivre.

Le ventilateur s'alimente à partir de la carte mère, elles disposent toutes d'une prise à 3 pins près du socket du processeur prévu à cet effet. Le diamètre moyen du ventilateur est de 80mm mais il peut varier par exemple certaines personnes choisissent un ventilateur de 120mm car celui-ci est moins bruyant. Tout ventilateur utilisé dans de conditions normales fait que le processeur chauffe entre 45 et 70°C (la température maximale pour un processeur AMD étant de 90°C).

b. Le refroidissement passif :

Le refroidissement passif pour le processeur est identique à celui utilisé pour les autres composants électroniques, il ne se compose que d'un radiateur formé d'ailettes similaire à celui utilisé dans le refroidissement par ventilateur.

Ce système a l'avantage de ne faire aucun bruit et d'être souvent peu onéreux, il était très souvent utilisé, il y a encore 6 ans, sur les Pentium avant 133MH (le dégagement de chaleur du Pentium 75 était de 10W seulement) mais ses capacités de refroidissement ne sont plus suffisantes pour refroidir les processeurs actuels, du moins il est certain que le processeur surchaufferait lors de calculs trop importants [2]. Il demeure très utilisé pour le refroidissement du Chipset.



Figure 1.14. Radiateur passif

c. Le Refroidissement avec Peltier :

Cela consiste à refroidir le processeur à l'aide d'une plaque à effet Peltier (ou module Thermoélectrique).

La plaque se compose de semi-conducteurs positifs et négatifs reliés en série enfermés entre deux plaques de céramique, le courant qui traverse la plaque crée une différence de potentiel rendant un côté chaud et un côté froid.

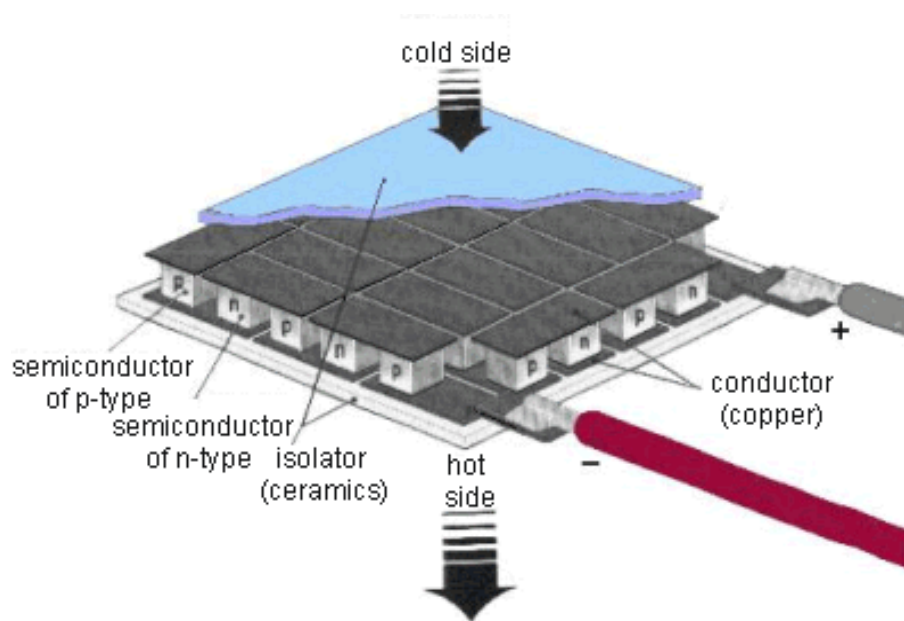


Figure: 1.15. Schéma d'une plaque Peltier de coupe.

La plaque est directement posée sur le processeur, on place généralement une plaque en cuivre entre les deux. La différence de chaleur entre le côté froid et le côté chaud va de 70°C jusqu'à 120°C. Il existe plusieurs modèles de plaques à effet Peltier à des prix allant de 5500 à 90000DA (30 à 500€). Le refroidissement à l'aide de plaques à effet Peltier présente donc plusieurs inconvénients [2]:

- Les risques de condensation lorsque la température est inférieure à la température ambiante (la partie froide étant en dessous de 0°C), il est donc nécessaire d'isoler le système processeur/Peltier/refroidisseur.
- La fiabilité car si la plaque ne fonctionne plus, les conséquences pour le processeur Seront désastreuses.
- Le coût car le coté chaud de la plaque qui dégage plus de chaleur que le processeur doit impérativement être refroidit et nécessite d'être surmonté d'un autre refroidisseur (Ventilateur et radiateur ou refroidissement à eau).

1.5. Dimensionnement d'une ailette en régime stationnaire :

1.5.1. Définition:

Rappelons l'expression de la loi de Newton, qui donne le flux convectif échangé entre un solide de surface S , de température superficielle uniforme T_p , et un fluide à la température T_f :

$$\dot{Q}_a = hS(T_p - T_f)$$

La façon la plus économique d'augmenter le flux de chaleur \dot{Q}_a consiste bien souvent à augmenter S . Ceci peut être obtenu par la réalisation d'ailettes, solution ayant pour avantage de limiter l'encombrement et l'augmentation de poids qui résultent de l'ajout de matière.

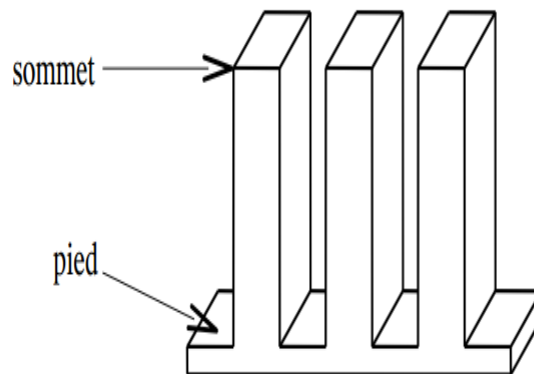


Figure1.16.. Exemple de surface ailettes

Dans les applications, on a besoin de connaître le flux thermique \dot{Q}_a échangé par une ailette. Or, le champ de température dans l'ailette étant à l'évidence multidimensionnel (en d'autres termes, la température dans l'ailette dépend de plusieurs variables d'espace), le flux thermique s'obtient par intégration sur la surface d'échange S_a de l'ailette :

$$\dot{Q}_a = \int \int_{s_a} h dS (T_p - T_f) \quad (Eq.1)$$

Dans l'absolu, l'évaluation de cette intégrale nécessite de résoudre un problème de conduction thermique multidimensionnel, donc compliqué. Heureusement, dans la plupart des cas, il est possible de supposer que la température est quasi-uniforme sur une section droite de l'ailette. En d'autres termes, on suppose que la température ne dépend que de z , distance comptée depuis le pied de l'ailette (cf. figure - 1.15).

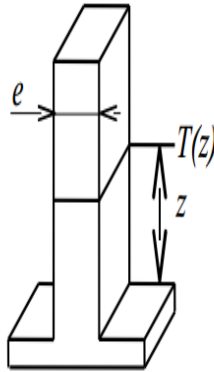


Figure1.17. Hypothèse simplificatrice.

En notant e la plus petite dimension transversale de l'ailette et λ sa conductivité thermique, cette hypothèse est valable dès lors que la résistance à la conductivité thermique $r = e/\lambda$ est très inférieure à la résistance thermique convective $1/h$. Le critère de validité s'écrit :

$$Bi = \frac{he}{\lambda} \ll 1$$

Bi est le nombre de Biot. Dans ce qui suit, on admettra que l'hypothèse selon laquelle la température ne dépend que de z est toujours vérifiée. En outre, on continuera à supposer que l'on se trouve en régime stationnaire [12].

1.5.2. Champ de température dans une ailette de section constante:

1.5.2.1. Conservation du flux thermiques:

Appliquons le premier principe de la thermodynamique à une tranche d'épaisseur dz située à la cote z (représentée en noir sur la figure -1.16)

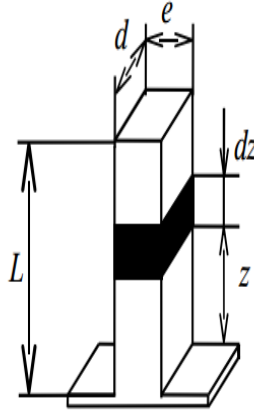


Figure 1.18. Définition du système thermodynamique utilisé.

Avec l'hypothèse de régime stationnaire, et en l'absence de tout travail, le premier principe de la thermodynamique impose que la somme algébrique des flux de chaleur qui entrent dans le système doit être nulle :

$$-\lambda \frac{dT}{dz} |_{z} A_z + \lambda \frac{dT}{dz} |_{z+dz} A_{z+dz} + h p dz (T_f - T_z) = 0 \quad (\text{Eq.2})$$

Le périmètre de l'ailette est noté p . La section de l'ailette à la cote z est notée A_z . L'ailette étant de section constante, on a : $A_z = A_z + d_z = A$. Dans le cas d'une ailette rectangulaire telle que celle, on aurait $p = 2(d + e)$ et $A = e d$. Pour une ailette de section circulaire de diamètre D , on aurait $p = \pi D$ et $A = \pi D^2 / 4$. La suite de l'analyse s'applique à n'importe quelle ailette de section constante. Le développement de Taylor au 1er ordre de la dérivée spatiale de la température s'écrit :

$$\frac{dT}{dz} |_{z+dz} = \frac{dT}{dz} |_{z} + dz \frac{d^2T}{dz^2} |_{z}$$

En injectant cette relation dans la relation (Eq-2), il vient :

$$\frac{d^2T}{dz^2} = m^2 (T - T_f) \quad \text{avec} \quad m = \sqrt{\frac{h p}{\lambda A}} \quad (\text{Eq.3})$$

La quantité m , homogène à l'inverse d'une longueur, est appelée module de l'ailette.

1.5.2.2. Conditions aux limites:

Le champ de température dans l'ailette s'obtient donc en résolvant l'équation différentielle du 2ème ordre (Eq.3), avec les conditions aux limites appropriées en $z=0$ et $z=L$. En général, on peut supposer connue la température au pied de l'ailette [12]:

$$T(z=0) = T_b \quad (\text{Eq-4})$$

Au sommet de l'ailette, on peut tenir compte d'un transfert de chaleur convectif, avec le même coefficient d'échange h que sur les faces latérales. La conservation du flux thermique à l'interface solide/fluide aboutit à :

$$\lambda \frac{dT}{dz} \Big|_{z=L} = h(T_f - T_{z=L}) \quad (\text{Eq-5})$$

Mais si l'ailette est suffisamment longue, la surface d'échange au sommet est négligeable devant celle des faces latérales. Il est alors possible de supposer le sommet adiabatique, ce qui a pour effet de simplifier légèrement les calculs. La condition à la limite s'écrit dans ce cas :

$$\lambda \frac{dT}{dz} \Big|_{z=L} = 0 \quad (\text{Eq-6})$$

Une solution de compromis consiste à supposer le sommet adiabatique (relation Eq-6), tout en utilisant une longueur corrigée $L_c = L + e/2$, ce qui revient à « déplier » le sommet de l'ailette (cf. figure 1.17). Cette correction a pour effet de reporter sur les faces latérales la surface d'échange que l'on perd en négligeant les transferts de chaleur au sommet

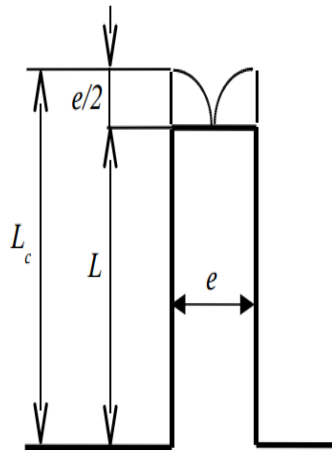


Figure 1.19. Correction de longueur.

1.5.3. Efficacité d'une ailette :

Une fois le champ de température connu, il est possible d'utiliser la relation (Eq.1) pour obtenir le flux de chaleur échangé par l'ailette. Cependant, il est généralement plus facile d'utiliser la conservation du flux de chaleur (régime stationnaire, travail nul), qui stipule que le flux convectif échangé avec l'air est égal en valeur absolue au flux conductif qui entre au pied de l'ailette :

$$\dot{Q}_a = \lambda A \frac{dT}{dz} \Big|_{z=0} \quad (\text{Eq. 7})$$

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 :

$$\eta_a = \frac{\dot{Q}}{hS_a (T_f - T_b)} \quad (Eq. 8)$$

Lorsque la hauteur d'ailette croît, l'efficacité diminue. Des ailettes démesurément longues accroissent inutilement le poids et l'encombrement, sans améliorer significativement les échanges de chaleur [12].

1.5.4. Rendement d'une surface ailettes:

$$\eta_0 = \frac{\dot{Q}_t}{hS_t(T_f - T_b)}$$

S_t : Surface d'échange totale (totalité des ailettes + base)

\dot{Q}_t : flux thermique au travers de la surface totale S_t

n : Nombre d'ailettes sur la surface

S_a : Surface d'échange d'une ailette

S_b : Surface de la base à la température T_b .

Sachant que : $S_t = n.S_a + S_b$

On obtient l'expression suivante pour le rendement d'une surface ailette:

$$\eta_0 = 1 - (1 - \eta_a) \frac{nS_a}{S_t}$$

1.6. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons passé en revue, dans un premier temps, les principes théoriques du transport de chaleur. Ensuite, nous avons exploré les principales applications de ces principes. Enfin, nous avons concentré notre attention sur le refroidissement des micro-processeurs par ailettes.

CHAPITRE

II

SIMULATIONS DES PHÉNOMÈNES DE
TRANSFERTS DE CHALEUR

2. 1. Introduction:

Dans ce chapitre nous procédons à la simulation de phénomènes de transfert de chaleur dans les ailettes de refroidissement d'un processeur de micro-ordinateur, ensuite nous analysons les résultats obtenus et nous terminons par une conclusion.

2. 2 .Simulation:

Pour la simulation de ces phénomènes nous utilisons le logiciel APDL qui est un module de ANSYS INC® s'occupant des différents types d'analyses entre autres , analyses structurales, vibratoires, thermiques etc. Dans ces simulations nous utilisons différents modèles géométriques d'ailettes de refroidissement pour CPU développés dans DesignModeler qui un CAD d'ANSYS. Parmi ces modèles nous citons celui a deux, trois et dix ailettes. Dans un second temps, les modèles sont maillés par un l'élément de maillage SOLID70 dont suivra ci-dessous sa description détaillée.

2. 2.1.Géométries utilisées:

La modélisation des ailettes de refroidissement du processeur du micro-ordinateur est un large domaine, nous en explorerons le volet concernant l'analyse thermique. A ce sujet, les géométries retenues dans le cadre de cette étude sont les suivantes:

- Géométrie simple: modèle de radiateur à une ailette unique.
- Géométries moyennes: modèle de radiateur à deux et trois ailettes.
- Géométries complexes: modèle de radiateur à Dix ailettes.

Ces différentes géométries sont générées dans le CAD APDL du logiciel ANSYS pour les modèles 2D. Et les modèles 3D sont générées dans Workbench 16.0 module d'ANSYS également.

2.2.2 Maillage du modèle:

L'élément que nous utilisons dans les simulations des phénomènes de refroidissement par ailettes est le SOLID70, élément de forme cubique et possédant une capacité de conduction thermique 3D. L'élément comporte huit nœuds avec un seul degré de liberté, de température, à chaque nœud. L'élément est applicable à une analyse thermique 3-D, stable ou transitoire. L'élément peut également compenser le flux de chaleur de transport de masse à partir d'un champ de vitesse constant.

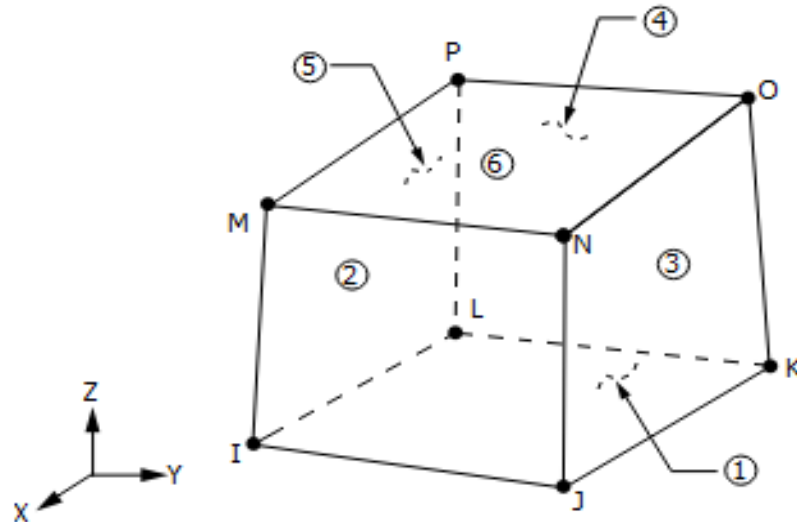


Figure .2.1 Géométrie SOLID70.

a. Données d'entrée à l'élément SOLID70:

La géométrie, les emplacements des nœuds et le système de coordonnées de cet élément sont affichés dans la Figure 2.1. L'élément est défini par huit nœuds et les propriétés des matériaux orthotropes. Les directions des matériaux orthotropes correspondent aux directions des coordonnées de l'élément. La chaleur et la densité spécifiques sont ignorées pour les solutions à l'état d'équilibre. Le flux de convection ou de chaleur et le rayonnement peuvent être entrés en tant que charges de surface sur les faces des éléments, comme le montrent les nombres encadrés sur la Figure 2.1.

Les taux de génération de chaleur peuvent être entrés en tant que charges de corps d'élément aux nœuds. Si le nœud I, le taux de génération de chaleur $HG(I)$ est entré, et tous les autres ne sont pas spécifiés, ils sont par défaut $HG(I)$.

b. Données de sortie de l'élément SOLID70:

La sortie de la solution associée à l'élément est sous deux formes: les températures nodales sont incluses dans la solution nodale globale. Sortie d'élément supplémentaire: Le flux de chaleur par convection est positif hors de l'élément. Les directions de sortie de l'élément sont parallèles au système de coordonnées des éléments.

2.3. Etude thermique des radiateurs à ailettes:

Nous allons proposer le dispositif permettant le meilleur refroidissement possible du micro-processeur. Nous allons nous mettre selon les conditions réelles du schéma suivant :

- Partie Radiateur : Le processeur est fixé sur le radiateur qui n'est d'autre qu'une base en aluminium pour lequel sont fixés une à plusieurs ailettes en aluminium. Le processeur et sa base sont de forme carrée et leurs surfaces exposées sont refroidies par de l'air qui est à une température de $T_a = 20^\circ\text{C}$ et fournit un coefficient de convection de $h = 40\text{W/m}^2/\text{K}$.

Dimensions du radiateur modèle (figure 2.2):

- Base : Largeur-Longueur = 20mm / Epaisseur = 2.5mm
- Ailettes : Largeur = 20 / Epaisseur = 0.5mm

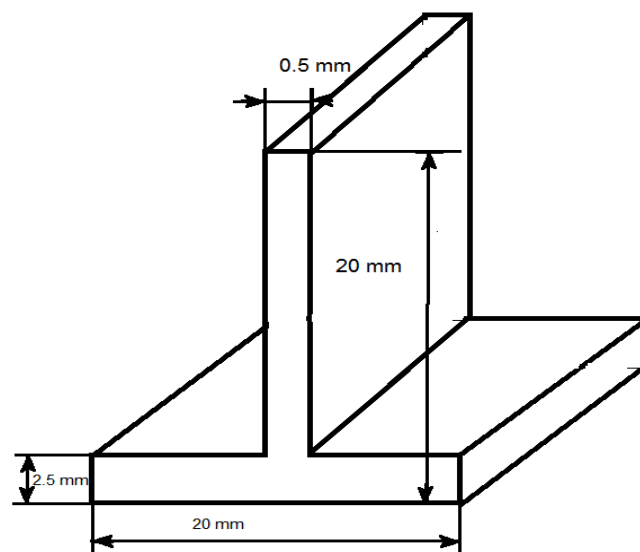


Figure 2.2. Dimensions du radiateur modèle.

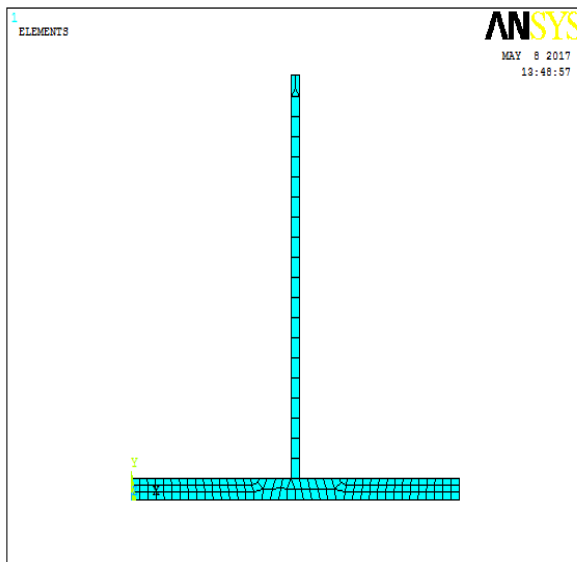
$\Phi = 1000\text{ W/m}^2$. De plus un processeur a généralement des ailettes de longueurs 20mm.

Tableau 2.1 Propriétés physiques de l'aluminium.

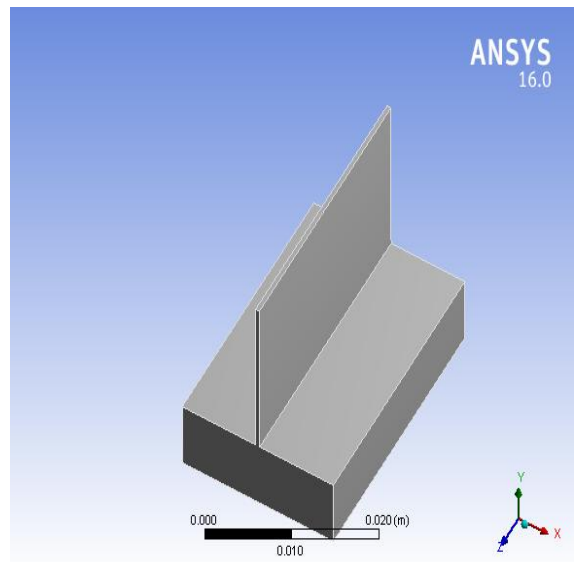
Masse spécifique (g/cm^3)	7,6
Coefficient de dilatation par (de 20° C à 250°C).	10 – 6 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$
Conductivité thermique à 20°C ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2/\text{K}}$)	43 à 63
Convection thermique... à 20°C ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2/\text{K}}$)	8 à 12.
Conductivité électrique (% iacs)	8 à 13,6
Température du liquidus	1040° à 1070° suivant nuance
Température du solidus.	1035° à 1050° suivant nuance
Module d'élasticité approximatif (N/mm^2) ou MPa.	120 000 (module d'Young)
Perméabilité magnétique (μ)	1 à 1,5
Retrait linéaire	1,8 %

2.3.1. Pour un radiateur à 1 ailette :

Après résolution du problème thermique par le logiciel ANSYS voici le profil de température dans l'ailette.



a)



b)

Figure 2.3.Maillage d'une ailette du CPU. a) modèle 2D, b) modèle 3D.

La figure 2.3. présente une ailette de refroidissement d'un CPU maillé par l'élément SOLID70. Dans un premier temps nous avons utilisé un maillage grossier pour ensuite le raffiner au fur et à mesure.

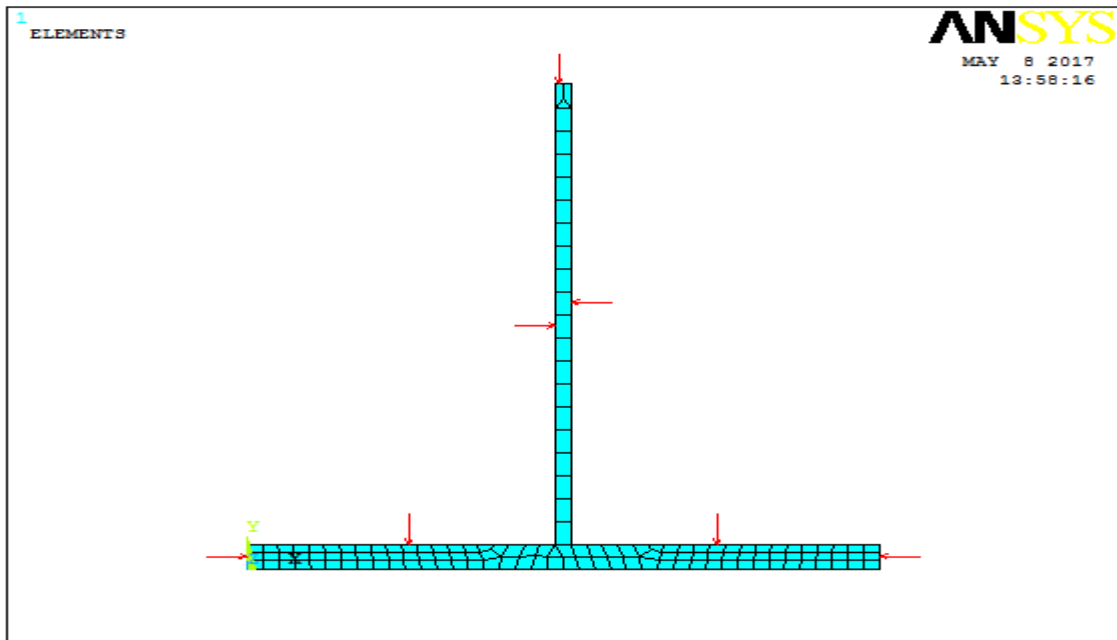


Figure 2.4. Surfaces participant à la convection de chaleur pour 01 ailette

La figure 2.4. Montre les surfaces susceptibles de participer aux phénomènes de transfert de chaleur. Ces surfaces sont désignées par les flèches rouges sur la figure.

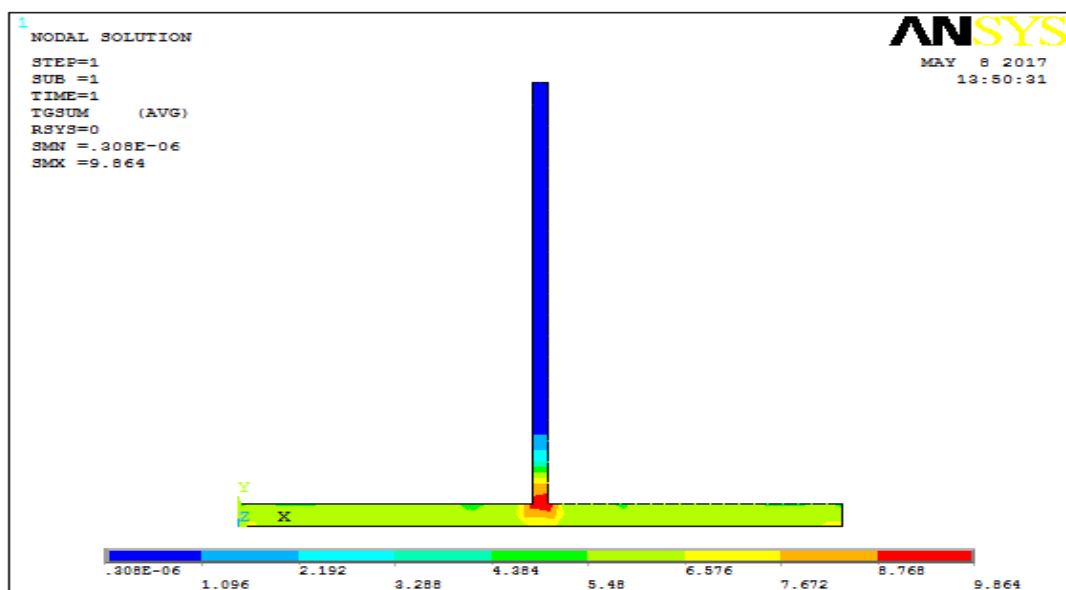


Figure 2.5. distribution du gradient de température Dans un radiateur à 1 ailette.

La figure 2.5 affiche la distribution du gradient de température sur les différentes facettes de l'ailette. La couleur rouge représente la température maximale et celle bleue représente la température minimale. De la figure il est clair que celle maximale se trouve à la base du mur de l'ailette, source de chaleur générée par le microprocesseur et tout en montant la hauteur du mur la température baisse sensiblement.

Dans la figure il est clair que le champ convectif s'arrête au sixième de la hauteur du mur de l'ailette.

On obtient après variation de la longueur de l'ailette, différentes températures pour le processeur représentées sur le graphique et le tableau suivants :

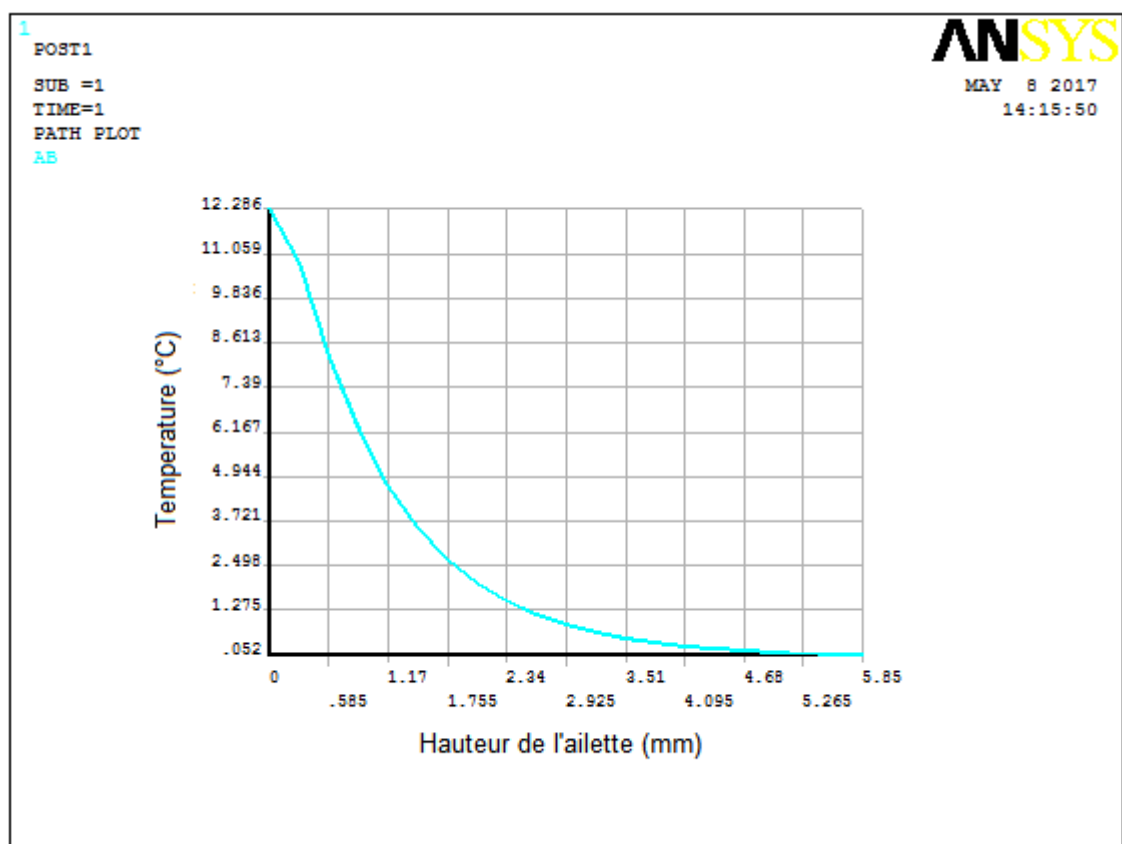


Figure 2.6. tendence de température en fonction de la longueur de l'ailette.

La figure 2.6. Affiche la tendance de la température en fonction de la hauteur du mur de l'ailette, il est clair que à la base du mur la température est maximale et par la suite va descendre asymptotiquement au fur et à mesure que nous montons dans le mur.

2.3.2. Pour un radiateur à 2 ailettes:

Après résolution du problème thermique par le logiciel ANSYS voici le profil du maillage du modèle de radiateurs à 2 ailettes.

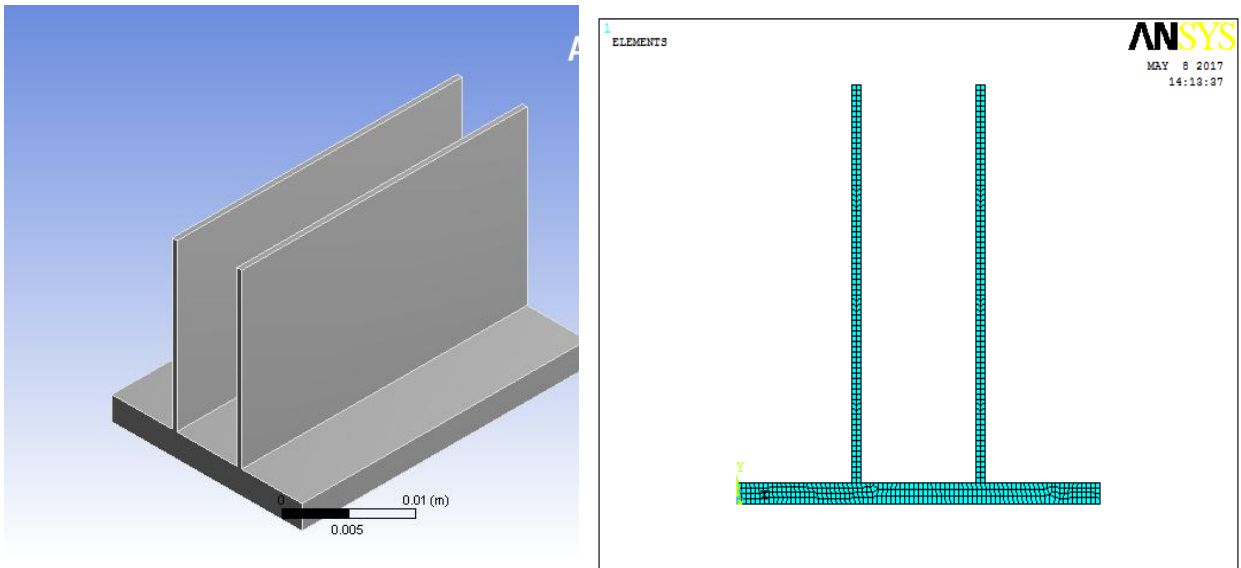


Figure 2.7. Maillage du modèle du radiateur à 2 ailettes.

La figure 2.7. affiche le maillage de la géométrie à deux ailettes du radiateur du CPU.

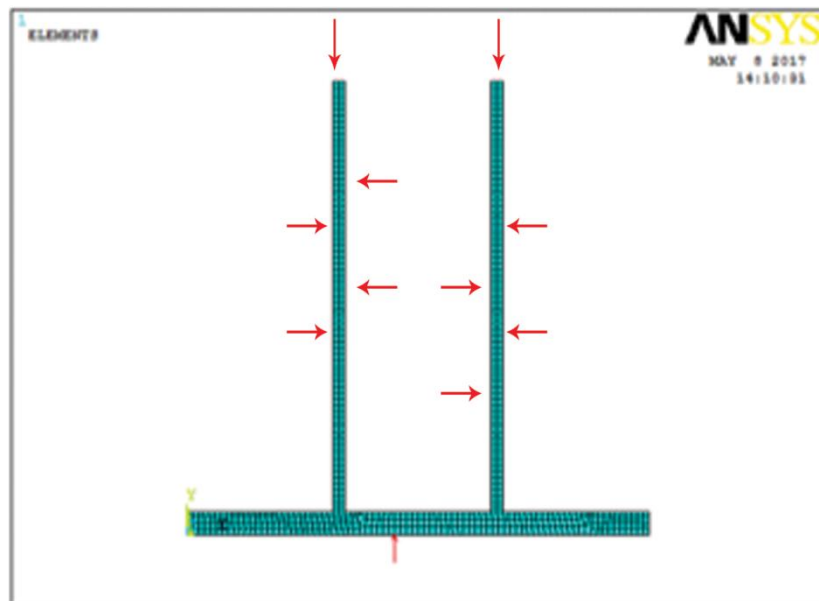


Figure 2.8. Surfaces participant à la convection de chaleur pour 02 ailettes.

On obtient après variation de la longueur des 2 ailettes, différentes températures pour le processeur représentées sur le graphique et le tableau suivants :

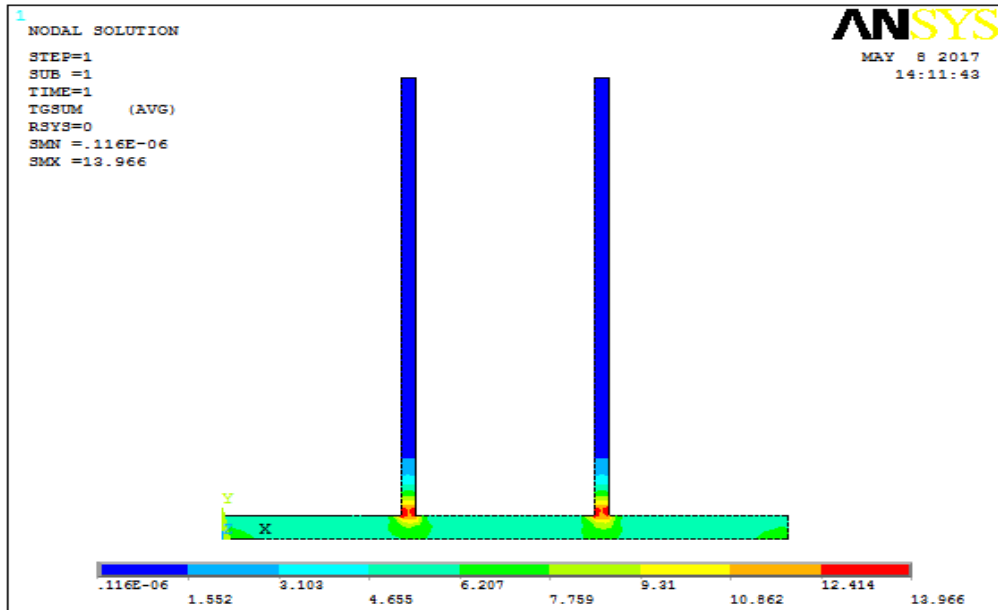


Figure 2.9.

La figure2.9. Figure2.10. distribution du gradient de température dans un radiateur à 2 ailettes.

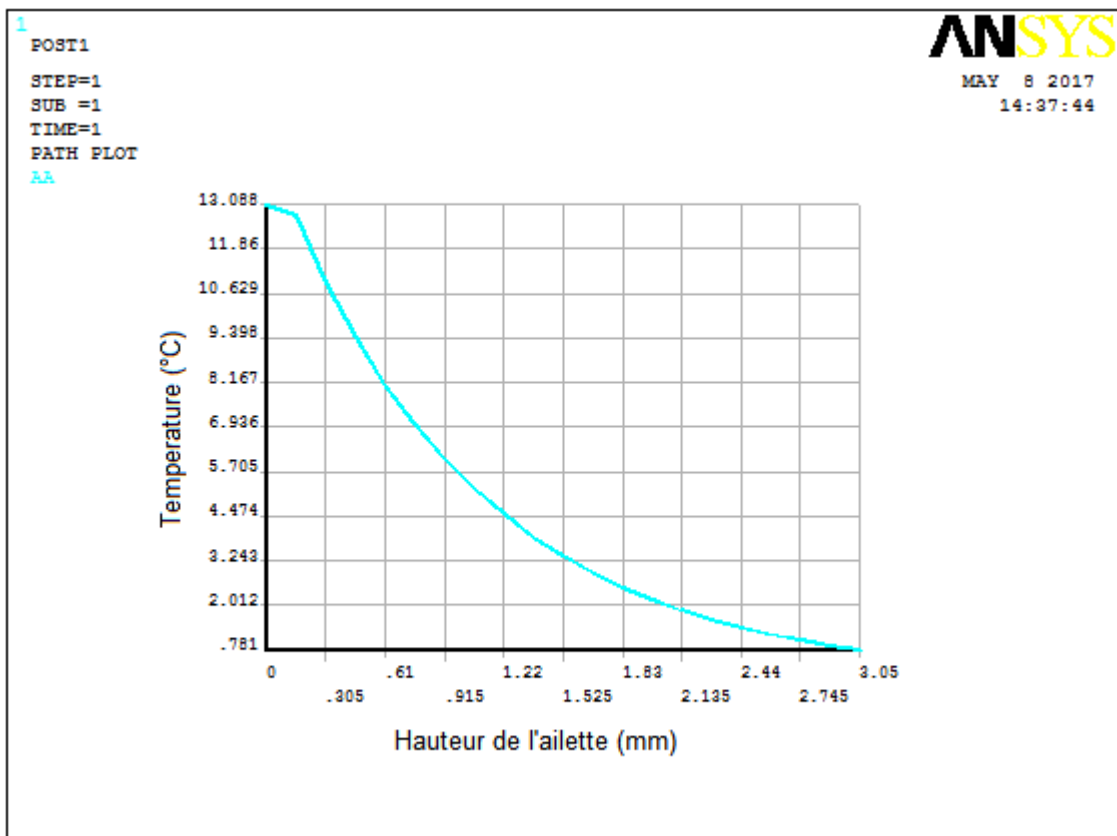


Figure2.10. . gredine de température en fonction de la longueur à 2 ailettes.

La figure 2.10. affiche la distribution du gradient de température sur les différentes facettes de l'ailette. La couleur rouge représente la température maximale et celle bleue représente la température minimale. De la figure il est clair que celle maximale se trouve à la base du mur de l'ailette, source de chaleur générée par le microprocesseur et tout en montant la hauteur du mur la température baisse sensiblement.

2.3.3. Pour un radiateur à 3 ailettes:

Après résolution du problème thermique par le logiciel ANSYS voici le profil de température pour un radiateur à 3 ailettes

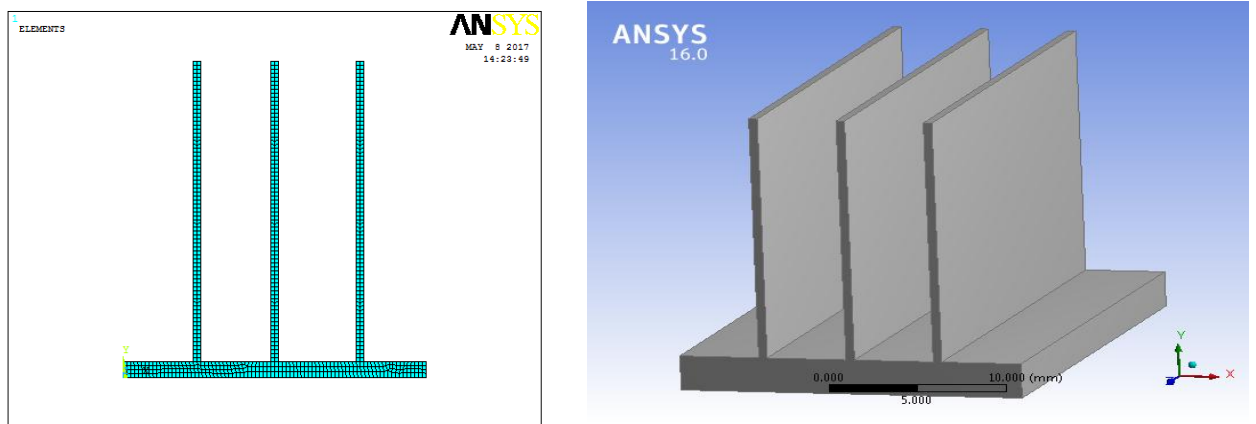


Figure 2.11: Maillage du modèle du radiateur à 3 ailettes.

La figure 2.11: affiche le maillage de la géométrie à trois ailettes du radiateur du CPU.

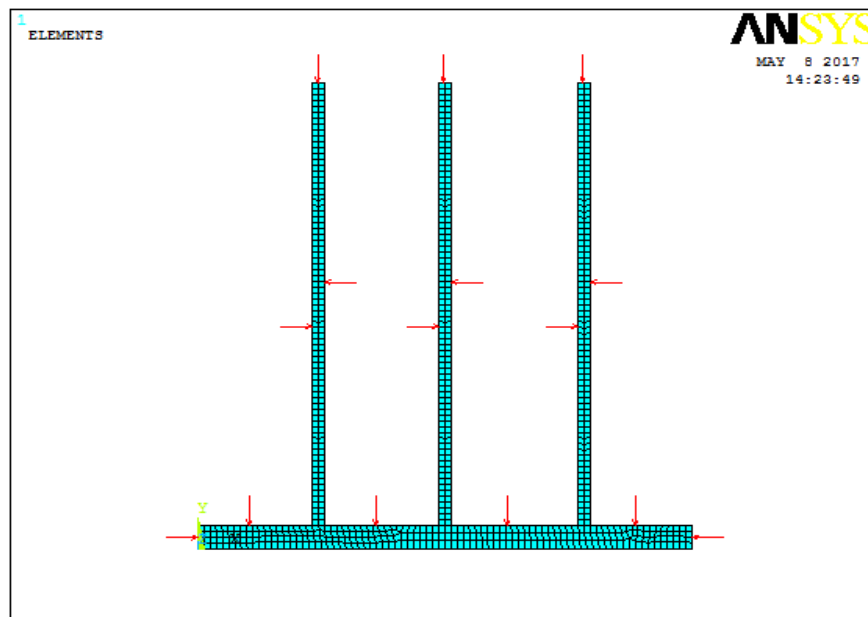


Figure 2.12. Surfaces participant à la convection de chaleur pour 03 aillates.

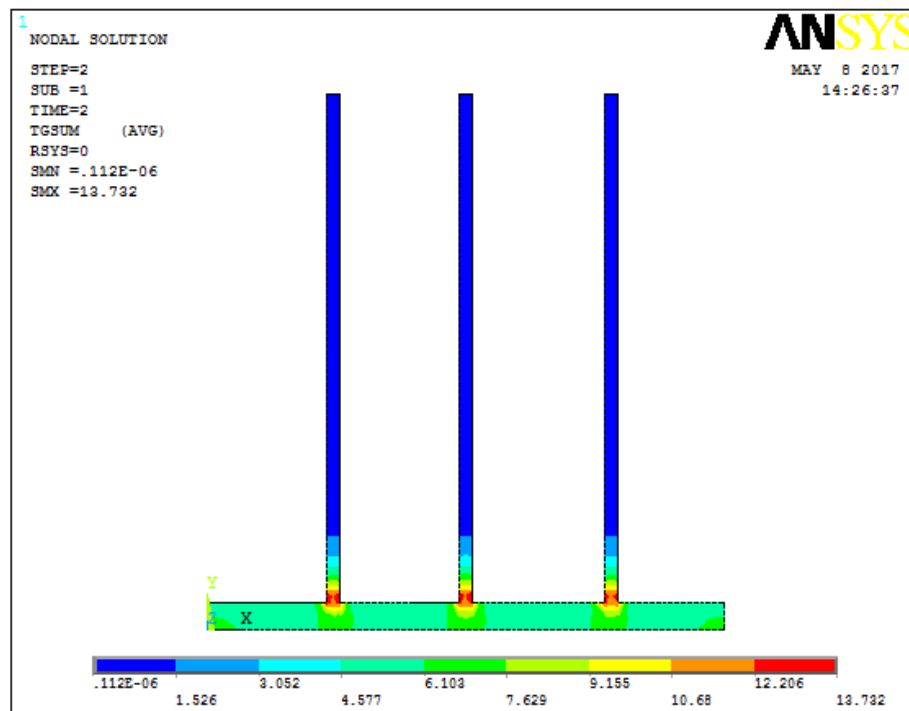


Figure 2.13. distribution du gradient de température Dans un radiateur à 03 ailettes.

La figure 2.13.affiche la distribution du gradient de température sur les différentes facettes du radiateur à 03 ailettes. La couleur rouge représente la température maximale et celle bleue représente la température minimale.

De la figure il est clair que celle maximale se trouve à la base du mur de l'ailette, source de chaleur générée par le microprocesseur et tout en montant la hauteur du mur la température baisse sensiblement. Dans la figure il est clair que le champ convectif s'arrête au sixième de la hauteur du mur de l'ailette. Comme noté dans les précédentes figures, la plus grande différence de températures se trouve entre le bas du mur d'ailette et la petite longueur environnante. Constat fait d'autant plus que la plaque du bas du radiateur atteint cette même température (en vert clair sur la figure).

On obtient après variation de la longueur des 3 ailettes, différentes températures pour le processeur représentées sur le graphique et le tableau suivant :

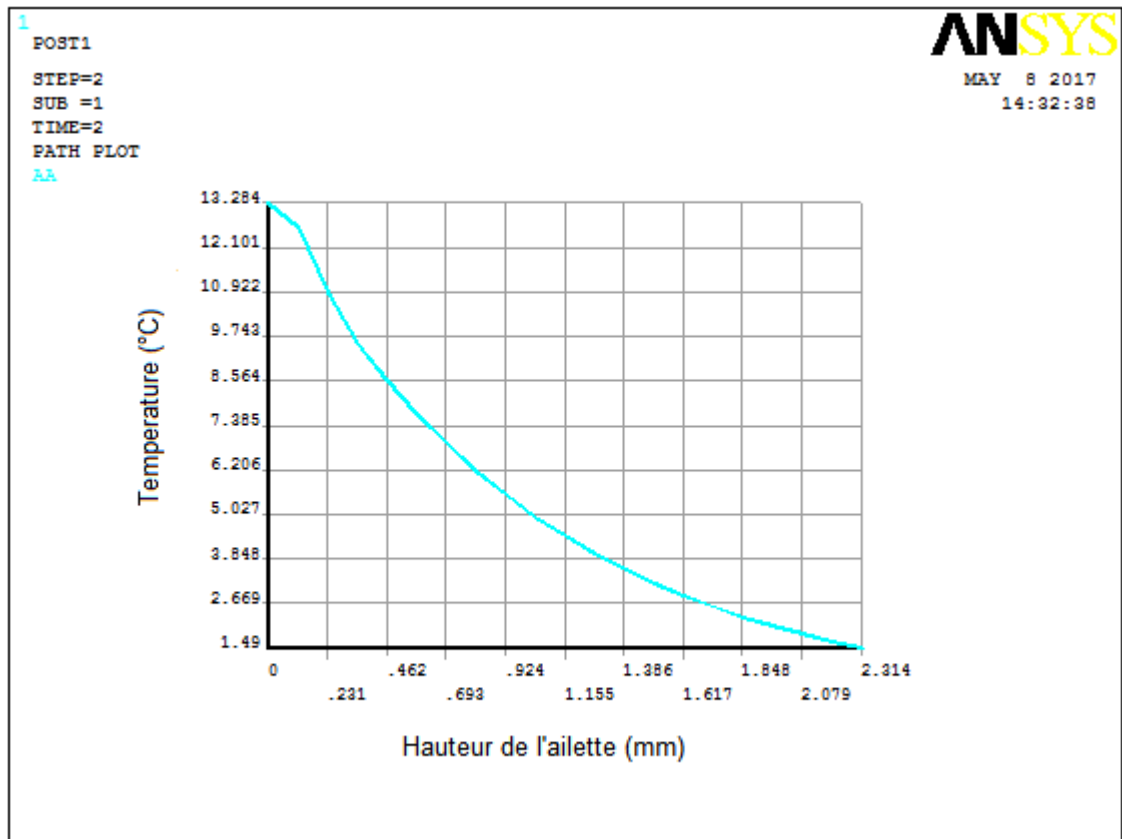


Figure2.14. gradine de températures En fonction de la longueur pour le cas d'un radiateur à 03 ailettes.

La figure2.14.représente la courbe traçant la variation du gradient de température en fonction de la longueur de l (ailette, pour le cas d'un radiateur à trois ailettes.

L'allure de la courbe montre un maximum à la distance zéro de l'ailette c'est-à-dire au pied du mur de l'ailette. Et la courbe a tendance de diminuer au fur et à mesure que nous nous rapprochons de l'extrémité supérieure du mur ou le gradient de température s'annule.

2.3.4. Pour un radiateur à 10 ailettes :

Dans ce qui suit nous entamons la simulation de radiateurs composés de dix ailettes.

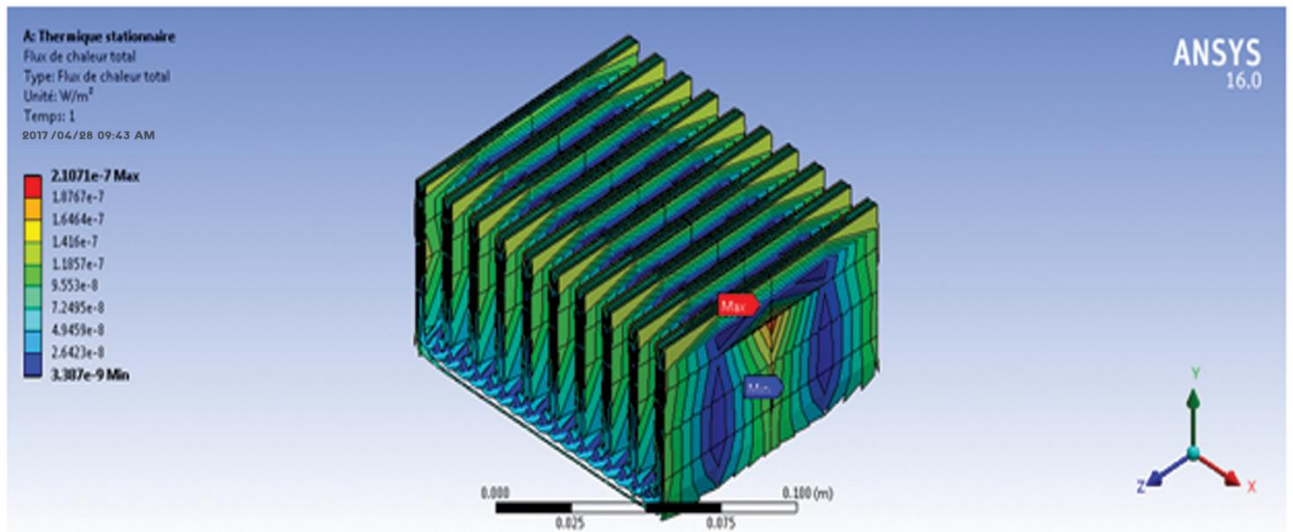


Figure 2.15. distribution du flux de chaleur total dans le corps du radiateur.

La figure 2.15. Présente la distribution du flux de chaleur total dans le corps du radiateur. Les régions bleues centrales font offices de flux minimal de chaleur et celle rouge représente le maximum de flux de chaleur.

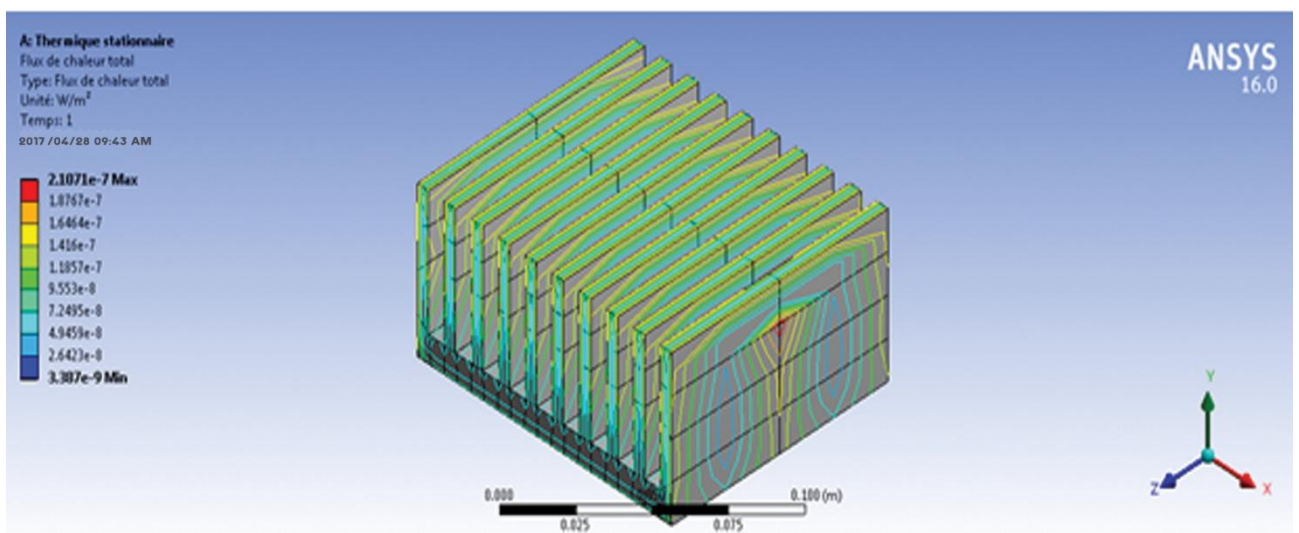


Figure 2.16. Flux de chaleur total dans le corps du radiateur représenté par les isolignes.

La figure 2.16. Présente la distribution du flux de chaleur total dans le corps du radiateur. Les isolignes délimitent les régions à gradients de température variables

2.3.5. Étude thermique d'un radiateur à ailette ventileras:

Nous allons maintenant étudier le comportement thermique lorsque l'on relie le dispositif microprocesseur + ailettes au venteras. Nous allons tenter de trouver la meilleure combinaison ailettes-venteras possible pour refroidir un maximum le microprocesseur de manière optimale. Ainsi, le problème posé est le même que précédemment à la seule différence que le coefficient convectif h vaut maintenant $40 \text{ W/m}^2/\text{K}$ et que le système est situé dans un ordinateur fermé $T_a=20^\circ\text{C}$. Voici les nouvelles conditions limites de cette nouvelle configuration :

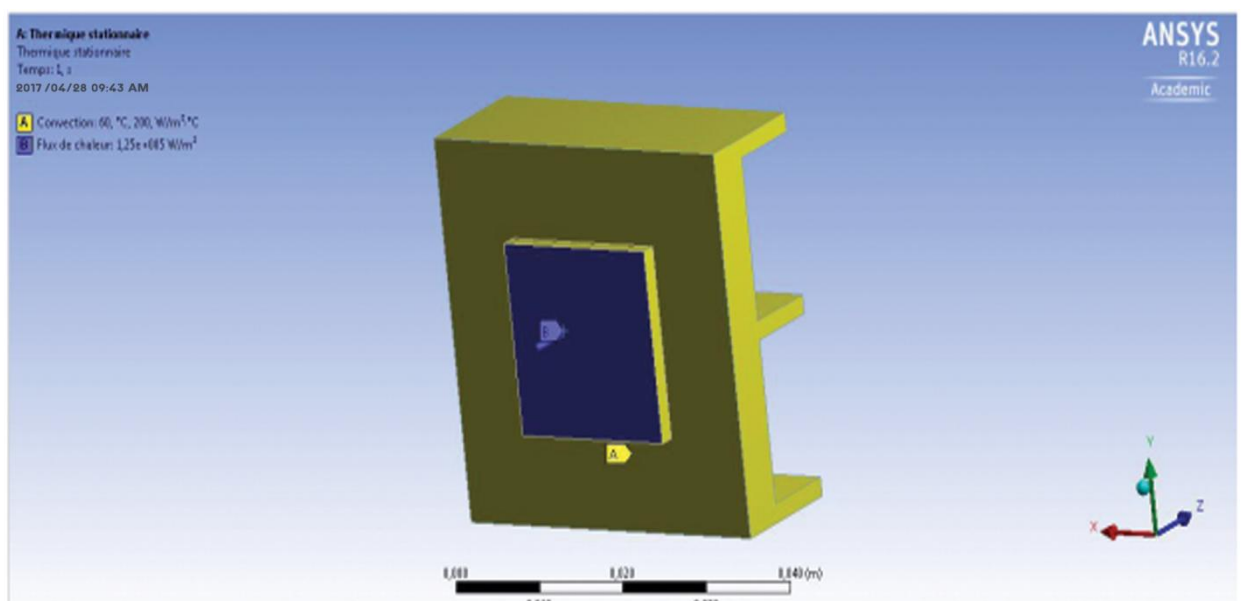


Figure 2.17. Conditions limites pour modèle d'un radiateur avec ventilateurs.

Après résolution du problème thermique par le logiciel ANSYS voici le profil de température pour un radiateur à 3 ailettes et le ventilateur on a :

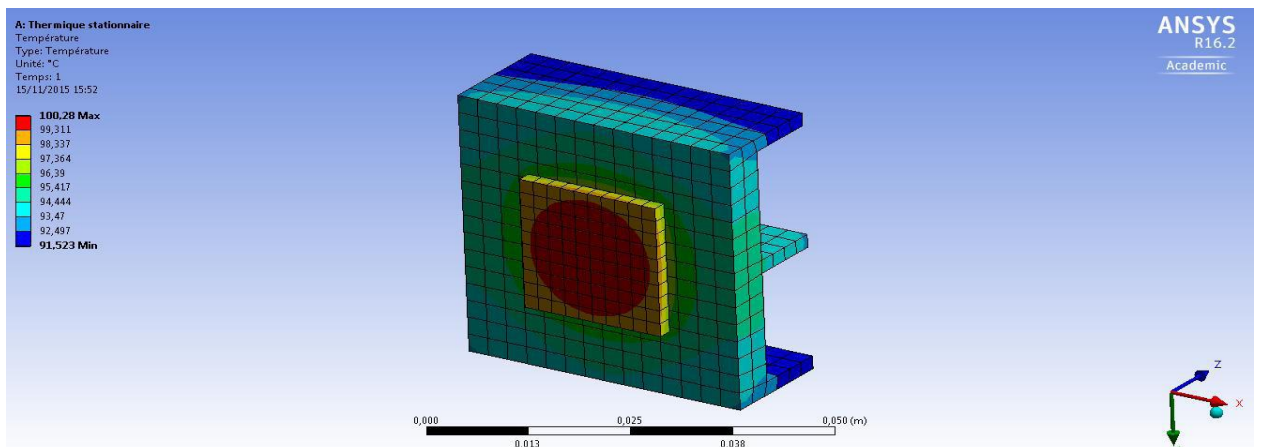


Figure 2.18. Radiateur à 3 ailettes en pour un refroidissement optimal du processeur.

2.4 .Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons exposé les différentes simulations effectuées dans ce mémoire, à savoir le radiateur simple à une ailette, les radiateurs moyens à deux et trois ailettes et les radiateurs complexes à dix et plus ailettes. Nous avons notamment remarqué que l'affectation des ailettes par le gradient de température ne dépasser pas une certaine petite distance de la hauteur du mur de l'ailette. Ceci nous mena à conclure que la même quantité de chaleur sera dégagé par l'ailette longue ou une ailette dont la hauteur est égale à la longueur colorée dans la figure (surface participant réellement à la convection).

CONCLUSION
GENERALE ET
PERSPECTIVE

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

Dans ce mémoire nous avons passé en revue, dans le premier chapitre les principaux principes de transfert de chaleur ; les principaux radiateurs de refroidissement par ailettes et dans la partie finale de ce chapitre nous avons exposé les principes de refroidissement par ailette des micro-processeurs de PC. Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les simulations des phénomènes de transfert de chaleur dans les micro-processeurs.

Dans cette deuxième partie nous avons vu que les micro-processeurs des ordinateurs génèrent de la chaleur qui doit être évacuée pour garder ses mêmes processeurs à une température leur permettant de fonctionner normalement, pour ce faire ces micro-processeurs sont équipés d'ailettes jouant le rôle de radiateur à refroidissement par air.

Il existe un grand nombre de types de radiateurs ; nous en citerons seulement les radiateurs de construction simple équipés d'ailettes simples et travaillants en convection naturelle. Ce type de radiateurs est destiné aux micro-ordinateurs dont les micro-processeurs ne sont pas enfermés dans des boîtiers. Le deuxième type de radiateurs est de construction plus élaboré appelés ventilrad. Ces ventilrad sont des radiateurs à ailettes munis d'un ventilateur donc opérant en convection forcée. Ce type de radiateur est destiné aux micro-ordinateurs dont les micro-processeurs sont enfermés dans un boîtier à l'intérieur de l'unité centrale.

Si le micro-processeur n'est pas refroidis correctement il risque de ne plus fonctionner correctement ou pire s'arrêter complètement de travailler. Si au contraire on s'acharne à refroidir les micro-processeurs d'un micro on risque d'encombrer le micro-ordinateur ou pire engendrer des surcouts de fabrication qui se répercuteront sur le prix de vente du micro le rendant par la même peu compétitif. Donc il s'agit de trouver un compromis entre les deux situations extrêmes. Ce compromis a été trouvé, justement, dans le fait de :

- diminuer l'encombrement des radiateurs à refroidissement par air en diminuant la hauteur de ces ailettes.
- pour une même efficacité de refroidissement, nous ne sommes pas forcés de multiplier les surfaces de refroidissement des radiateurs par l'ajout d'ailettes à petites tailles.
- Jouer sur l'épaisseur des ailettes pour coupler le transfert de chaleur par convection et par conduction.

- Optimiser le choix du matériau pour trouver les meilleures caractéristiques d'un matériau à un prix relativement le plus bas.
- Enfin, optimiser les micro-ordinateurs destinés à recevoir un système ventilrad et donc à travailler en convection forcée

Bibliographie

- [1] Maquette: A. Dhénin, pourquoi des radiateurs? Chauffer et refroidir, 1980- Juliet 2007
- [2] <http://colbertserv.lyceecolberttg.org:8080/m.critelli/TPE/TPE%2020052006/Le%20watercooling/dossier%20le%20watercooling.pdf>
- [3] M. SAIDIA LEILA, " Simulation numérique de la convection forcée dans un conduit a rangées de plaques chauffées", Mémoire de Magister, Dept.Mécq. Université Hassiba Benbouali – CHLEF 16/11/2009
- [4] AKNOUCHE AMINE – DRAME DAOUD – BEDJA Walid, Méthode numériques ANSYS, Esiee Parise.
- [5] INSA ROUEN, Ailettes thermiques, humaine, à l'échelle du monde, Projet de Physique P6 STPI/P6/2013 – 28, A' taille humaine, à l'échelle du monde.
- [6] TECHNOLOGIE AUTOMOBILE, le Refroidissement, Le Refroidissement des Moteurs
- [7] MANSOUR Tawk, "Etude et réalisation d'un système de refroidissement pour l'électronique de puissance basé sur la mise en mouvement d'un fluide conducteur électrique", Universités Grenoble Alpe Français, 15 Apr 2011.
- [8] SAMI RIAHI, Système de mesure de la température d'un Processeur en Tem processeur en temps réel par thermographie infrarouge, Université de Montréal, Dept, Genie informatique, , Ecole polytechniques De Montréal .
- [9] <https://www.google.com/search?q=Ph%13enom%12enes%20de%20transport.%20TD%20n%175%20%3A%20Refroidissement%20d%27un%20micro-processeur>
- [10] Saâd ZOUTENE, Étude numérique et expérimentale du refroidissement des convertisseurs auxiliaires de puissance dans les trains par convection naturelle, film liquide et caloduc, Université de Valenciennes et Du Hainaut-Cambrésis, Le 06/06/2014
- [11] AKREM BEN SAID, MAHMOUD HAMMAM &Rejeb BEN MAAD, Refroidissement d'un microprocesseur à l'aide d'un mini échangeur à eau : comparaison avec le refroidissement à air, Université Marseille, 24-28 août 2009
- [12] FREDERIC DOUMENC, THERMIQUE APPLIQUÉE, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), Licence de Mécanique. L3, Année 2011/2012,
- [13] MOUMRNI ABD EL AMID, Analyse thermique des ailettes et Détermination des profils de températures et des rendements de quelques formes géométriques simples, Université Kasdi Merbah Ouargla, Département de génie des procédés., Année 15/06/2013.
-

ANNEXES



1. Introduction à ANSYS

ANSYS is a general-purpose finite-element modeling package for numerically solving a wide variety of mechanical problems. These problems include static/ dynamic, structural analysis (both linear and nonlinear), heat transfer, and fluid problems, as well as acoustic and electromagnetic problems. In general, a finite-element solution may be broken into the following three stages.

3.2. Modélisation et expérimentations

Afin de modéliser le problème nous avons créé trois esquisses, une pour le processeur, une pour la base des ailettes et une pour la/les ailette(s). Nous avons imposé à chaque esquisse des contraintes géométriques et une extrusion à l'image des données décrites dans la première partie. Nous avons également utilisé l'outil « découper » afin de séparer le processeur de la base et de ses ailettes. On peut voir la représentation de la géométrie ci-dessous pour une ailette (la même méthode sera employée pour plusieurs ailettes).

a)-

Longueur (mm)	Temperature du Surface illates (C°)
0	0
1.49	2.314
3.348	-11.45
6.206	-830
8.564	-462
10.922	-231
13.284	0

b)-

Longueur (mm)	Temperature du Surface illates (C°)
0	0
0.52	4.68
2.498	1.755
4.944	1.17
6.167	-492

8.613	-585
12.286	0

c)-

Longueur (mm)	Temperature duSurface illates (C°)
0	0
0.781	3.05
2.012	2.09
4.474	1.22
6.936	-75
8.167	-61
10.629	-30.5
13.088	0

Le rayonnement est l'un des phénomènes important à prendre en considération lorsqu'il s'agit d'un système où les trois modes de transfert sont réunis. Dans notre étude, le rayonnement est dominé par une convection forcée. C'est pour cette raison que le rayonnement est négligé dans notre modèle

b. Coefficient de transfert de chaleur:

Le coefficient de transfert de chaleur, h , est disponible sous forme tabulée, suivant les propriétés du fluide, les caractéristiques physiques du matériau, du régime d'écoulement et de la géométrie du problème (voir tableau 1.1).

Tableau 1.1. Exemples de coefficients de transfert de la chaleur.

Mode de refroidissement	Coefficient de transfert de chaleur $h(\frac{w}{m^2} \cdot k)$
Ebullition, eau	$10^4 - 3 \times 10^5$
Condensation, eau	$8 \times 10^3 - 10^5$
Condensation, organique vapeur	$9 \times 10^2 - 4 \times 10^4$
Métaux liquides, convection forcée	$9 \times 10^3 - 8 \times 10^5$
Eau, convection forcée	$9 \times 10^2 - 10^4$
Liquides organiques, convection forcée	$2 \times 10^2 - 10^4$
Gaz ,200 atm, convection forcée	$4 \times 10^2 - 2 \times 10^3$
Gaz ,1 atm, convection forcée	$10-4 \times 10^2$
Gaz, convection naturelle	5-50

Cette amélioration dans le transfert de chaleur par le refroidissement à air, peut être accomplie en premier lieu par l'amélioration du coefficient de transfert de chaleur convectif. L'augmentation du coefficient de transfert de la chaleur, h , peut être accomplie par une des manières suivantes :

- Augmentation du débit massique d'écoulement d'air
- Augmentation de la surface d'aire globale d'échange thermique. Dans le transfert thermique convectif, l'augmentation du déplacement de la chaleur est basée sur surface d'aire de refroidissement disponible :
- Combinaison des deux méthodes présentées.

Toutes ces techniques offrent quelques avantages mais sans payer un prix. L'augmentation de débit massique d'air exige des dispositifs plus puissants, et résultent dans une augmentation du bruit acoustique, aussi bien le coût, le poids et le volume global du système. L'augmentation de la surface de dissipation thermique peut être réalisée en incluant des radiateurs à l'intérieur du système. En général, il est plus efficace d'augmenter la surface et de réduire la vitesse. En fait, ce saut dramatique vers l'avant du refroidissement par air a été réalisé principalement par le développement des radiateurs de rendement élevé [8].

Avec une densité plus élevée des composants électroniques sur une puce, les radiateurs deviennent plus denses et les canaux deviennent plus étroits. Selon les lois de la mécanique des fluides, les gaz deviennent visqueux dans des canaux étroits, ce qui gêne de façon considérable le mouvement d'air, et par conséquent, génère des diminutions de l'efficacité de refroidissement. Pour maintenir l'air comme fluide réfrigérant, des systèmes de refroidissement à coefficient de transfert thermique très élevé doivent être développés. Kandlikar (2002) propose la classification suivante en fonction du diamètre hydraulique (D_h) pour les canaux:

- Canaux conventionnels : $D_h > 3mm$
 - Mini-canaux : $200\mu m < D_h \leq 3mm$
 - Micro-canaux : $10\mu m < D_h \leq 200\mu m$
-

Cette classification est significative dans la description des dimensions du canal de l'écoulement. Le flux de la chaleur provenant du dispositif de puissance augmente sensiblement, approchant 500 W/cm^2 . Ce niveau de flux est au-delà des possibilités des radiateurs conventionnels utilisés pour les dispositifs à base de silicium, qui peuvent réaliser seulement environ 20 W/cm^2 en maintenant les températures de jonction sont au-dessous de 150°C .

Par ailleurs, le refroidissement par micro et mini-canaux a prouvé son efficacité très élevée d'évacuation de la chaleur dans des applications telles que le refroidissement des microprocesseurs, d'équipements électroniques de haute puissance, échangeurs de chaleur compacts et même les piles à combustibles. Le diamètre hydraulique réduit, augmente le coefficient de transfert de chaleur dans ces passages.
