

Caractérisation expérimentale des performances d'un dissipateur de chaleur à mini-canaux

Abdelillah Abed BELARBI^{1*}, M'hamed BERIACHE², Ahmed BETTAHAR³

¹Laboratoire de Rhéologie et mécanique, Département de génie mécanique, Faculté de technologie Université Hassiba Benbouali de Chlef, 02000 Algérie

²Département de génie mécanique, Faculté de technologie Université Hassiba Benbouali de Chlef, 02000 Algérie

³Laboratoire de Contrôles, Essais, Mesures et Simulations Mécaniques, département de génie mécanique, Faculté de technologie Université Hassiba Benbouali de Chlef, 02000 Algérie

* (auteur correspondant : a.belarbi@univ-chlef.dz)

Résumé - Les dissipateurs de chaleur jouent un rôle important dans l'évacuation de la chaleur des puces électroniques. Leur importance est affectée par les progrès technologiques réalisés en électronique, ils deviennent de plus en plus performants, conjointement leur taille décroît et la fréquence de fonctionnement augmente. Ils peuvent par conséquent dissiper plusieurs centaines de watts. L'évacuation de cette chaleur est devenue un vrai problème à résoudre pour maintenir leur température de fonctionnement dans la limite des valeurs préconisées par les constructeurs. Cela implique que la conception d'un microprocesseur doit être accompagnée d'une étude thermique pour assurer et approuver son fonctionnement. Donc, le refroidissement efficace des microprocesseurs est devenu impératif afin d'éviter leur surchauffe. Le refroidissement par convection forcée d'air avec refroidisseur à ailettes, est généralement utilisé comme un moyen efficace de refroidissement des microprocesseurs en raison de sa simplicité et de sa rentabilité inhérente. Une étude expérimentale est effectuée pour la caractérisation des performances thermiques et aérodynamiques d'un refroidisseur à ailettes planes à mini canaux rectangulaires, soumis à un jet d'air impactant destiné pour un microprocesseur de type Intel Core i5 bicœur 2,5 GHz. L'écoulement dans les mini-canaux est laminaire où le nombre de Reynolds varie de 150 à 640 selon la vitesse du jet. Cette étude va permettre d'analyser l'effet de plusieurs paramètres thermiques et dynamiques (température de jonction, vitesse d'écoulement, pertes de pression induites par le radiateur) sur les performances du système et par conséquent, l'amélioration du refroidissement du microprocesseur. La résistance thermique ainsi que les pertes de pression du refroidisseur constituent les performances thermiques et dynamiques recherchées. On mesure pour cela, les vitesses et les températures ainsi que les pressions du fluide refroidisseur à l'entrée et à la sortie du dissipateur de chaleur. Les températures physiquement significatives au niveau du dissipateur sont aussi mesurées. L'étude expérimentale comprend la conception et la réalisation d'un banc d'essai, sur lequel les expériences seront menées.

Nomenclature

| | | | |
|-------|-------------------------------------|------------|--------------------------------------|
| B | largeur du radiateur, m | R_{th} | résistance thermique, K/W |
| D | déplacement transversal de la sonde | Re | nombre de Reynolds |
| h | hauteur de l'ailette, m | S | largeur d'entrée du jet, m |
| L | longueur de l'ailette, m | t_b | épaisseur de la base, m |
| l_a | épaisseur de l'ailette, m | T_j | température de jonction, $^{\circ}C$ |
| l_c | largeur du canal, m | V | vitesse du jet d'air, m/s |
| Nb | nombre d'ailettes | ΔP | perte de pression, Pa |
| P_m | périmètre mouillé, m | | |

1. Introduction

Les dernières générations des micro processeurs CPU (Central Processing Unit) sont de forme de plus en plus mince et petite. Cette miniaturisation sans cesse croissante, mène à une augmentation de leur température de fonctionnement, pouvant entraîner de grandes difficultés d'évacuation et de transport de la chaleur. Par conséquent, un système de refroidissement efficace doit être conçu pour évacuer la plus grande quantité de chaleur possible, pour maintenir la stabilité et la fiabilité des CPU.

Les dissipateurs de chaleur à ailettes, soumis à un jet d'air impactant, sont largement utilisés pour le refroidissement des CPU, en raison de leur prix, poids et fiabilité favorables. Cette technique est la méthode la plus adaptée pour améliorer le refroidissement. Les dissipateurs de chaleur sont utilisés pour augmenter la surface de transfert de chaleur dans les composants électroniques, ils sont généralement fixés au dessus du dispositif électronique à refroidir. En général, les dissipateurs de chaleur sont réalisés en aluminium ou en cuivre, matériaux à grande conductivité thermique. Dans les applications pratiques, les différentes tailles et formes de dissipateurs de chaleur dépendent de la forme du dispositif électronique et de l'espace disponible pour l'installation [1]. En outre, le mouvement du fluide à un rôle d'accélérateur du phénomène d'évacuation de chaleur. Le jet d'air peut être impactant (figure1) ou parallèle (figure 2) [2].

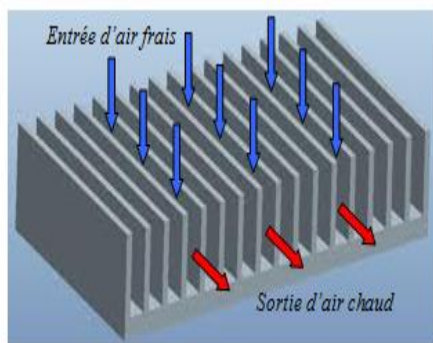


Figure 1 : Jet d'air impactant

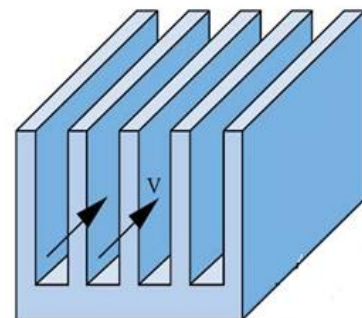


Figure 2 : Jet d'air parallèle

Il est tout à fait logique de dire que l'évacuation de chaleur augmente avec celle de soufflage, mais un taux de circulation d'air accrue risque d'entraîner une augmentation du bruit acoustique, de coût global, de poids et de volume du système. Parmi les modèles les plus utilisés, simples et rentables, les dissipateurs de chaleur extrudés en aluminium [3].

Dans la dernière décennie, de nombreux chercheurs ont intensivement étudié les caractéristiques thermique et aérodynamique des différents dissipateurs de chaleur. Duan et

Muzychka [4] ont mené une étude expérimentale sur des radiateurs à ailettes planes, soumis à un jet d'air impactant, afin d'étudier l'influence de la largeur du jet, de l'espacement entre les ailettes, de la hauteur des ailettes et de la vitesse d'écoulement sur les pertes de charges. Ces mêmes auteurs ont également étudié expérimentalement [5] les performances thermiques de quatre radiateurs sous jet d'air impactant où l'espacement entre les ailettes, la hauteur d'ailette et la vitesse d'écoulement sont les paramètres d'influence sur la résistance thermique. Li et Chao [6] ont étudié expérimentalement l'influence de la hauteur, de la largeur du canal du radiateur et du nombre de Reynolds, sur les performances d'un dissipateur de chaleur à ailettes planes. Les résultats obtenus montrent que les performances thermiques sont meilleures pour une largeur constante et une hauteur et un Reynolds plus élevé. Andrea Diani et al [7] ont développé un modèle numérique sur les performances thermique et hydraulique d'un radiateur à ailettes planes trapézoïdales, qu'ils ont pu valider par des mesures expérimentales sur le radiateur. Les expériences ont été réalisées en variant le débit massique de l'air pour deux flux de chaleur différents. Ils trouvent que le coefficient de transfert thermique global augmente avec le débit et la température au niveau de la paroi du radiateur diminue.

L'objectif de cette étude réside en la caractérisation expérimentale des performances thermique et aérodynamique d'un dissipateur de chaleur à mini-canaux rectangulaires, fabriqué en aluminium et destiné au refroidissement des microprocesseurs d'ordinateurs de bureau.

2. Dispositif expérimental

Le banc d'essais expérimental (figure 3) est constitué d'un ventilateur de soufflage axial (1), d'un dissipateur de chaleur (4) et d'un ensemble d'instruments et d'appareils de mesure. Le ventilateur axial (1) de 70 mm de diamètre, alimenté par une source de tension continue (2), génère un jet d'air impactant. La vitesse de rotation du ventilateur varie avec la tension d'alimentation de ce dernier. L'écoulement de l'air est acheminé depuis le ventilateur jusqu'au dissipateur de chaleur via un conduit en plexiglas (3), pour éviter les déperditions de l'air. Le dissipateur de chaleur à ailettes planes à mini-canaux rectangulaires (4), est en aluminium, dont les dimensions sont présentées dans le tableau 1. Une source de chaleur (5) de 80 watt et 35x35 (mm²) simulant le microprocesseur, est fixée à la base du radiateur et entourée d'un isolant pour minimiser les déperditions thermiques. Une pâte thermique est utilisée pour assurer le bon contact entre la source de chaleur et le radiateur. Un thermomètre (6) KIMO TM 200 ($\pm 3\%$), est destiné à l'affichage des températures par le biais d'un thermocouple. Un anémomètre à fil chaud (7) KIMO VT 200 ($\pm 3\%$) destiné à mesurer la vitesse de l'écoulement et enfin un manomètre (8) différentielle KIMO MP 100 ($\pm 5\%$), destiné à la mesure des pertes de pression en amont et en aval du radiateur. L'ensemble ventilateur, conduit en plexiglas et radiateur, est fixé sur un bâti (9).

Le banc d'essai est conçu pour caractériser les performances thermique et aérodynamique du dissipateur de chaleur. Le jet d'air est placé au dessus du radiateur à des hauteurs de soufflage variables (20, 40 et 60 mm) qui auront une influence notable sur la vitesse d'écoulement mesurée avec la sonde à fil chaud, le long de la surface d'impact air/radiateur et perpendiculairement à l'axe du canal du dissipateur de chaleur.

Quant aux températures du flux d'air et celles au niveau du radiateur, elles sont mesurées à l'aide de thermocouples de type K, les pertes de pression entre l'entrée et la sortie du radiateur, sont mesurées à l'aide d'un manomètre à pression différentielle.



Figure 3: *Banc d'essais expérimental*

Le banc est exploité sous plusieurs vitesses moyennes de soufflage allant de 0.8 m/s à 3.5 m/s sous un régime d'écoulement laminaire ($150 \leq Re \leq 640$) dans les canaux du dissipateur de chaleur.

| | N_b | B | h | L | t_b | l_c | l_a | S |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Dimensions | | m | m | m | m | m | m | m |
| | 27 | 0.066 | 0.032 | 0.082 | 0.004 | 0.0015 | 0.001 | 0.068 |

Tableau 1: *Dimension du dissipateur de chaleur*

3. Résultats et discussions

D'après les mesures que l'on a pu conduire, notons que la vitesse de soufflage dans le système de refroidissement considéré est faible au niveau de la zone centrale du conduit. Ceci est dû d'après nos observations, à la position du moteur du ventilateur axial, au dessus du dissipateur de chaleur, causant une faible zone de soufflage. Malheureusement, cette zone de faible jet est la plus chaude au niveau du radiateur, émanant de la source de chaleur fixée au centre de la base du radiateur. Pour évacuer le maximum de chaleur à travers les canaux du radiateur, tout en améliorant la circulation de l'air dans la zone à faible vitesse, on fait varier la hauteur H (figure 4) de soufflage pour avoir la vitesse de soufflage qui convient le mieux à la dissipation de cette chaleur. En effet, on constate (figure 5), que pour une vitesse de fonctionnement constante du ventilateur, le profile de vitesse de soufflage qui répond le mieux au souci d'obtenir une meilleure dissipation de chaleur possible, correspond à une hauteur de soufflage $H=40$ mm depuis le ventilateur.

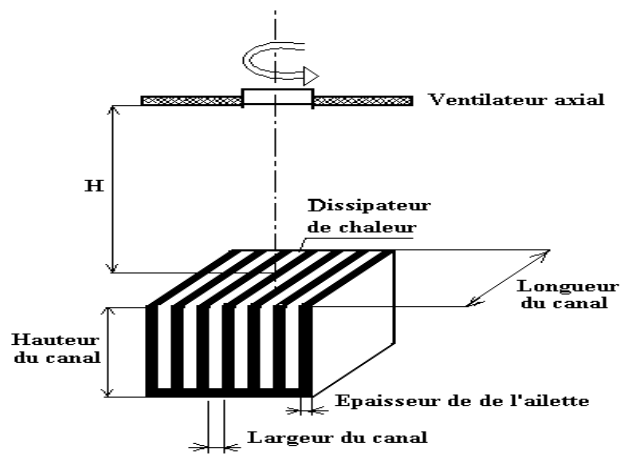


Figure 4 : Hauteur de soufflage H

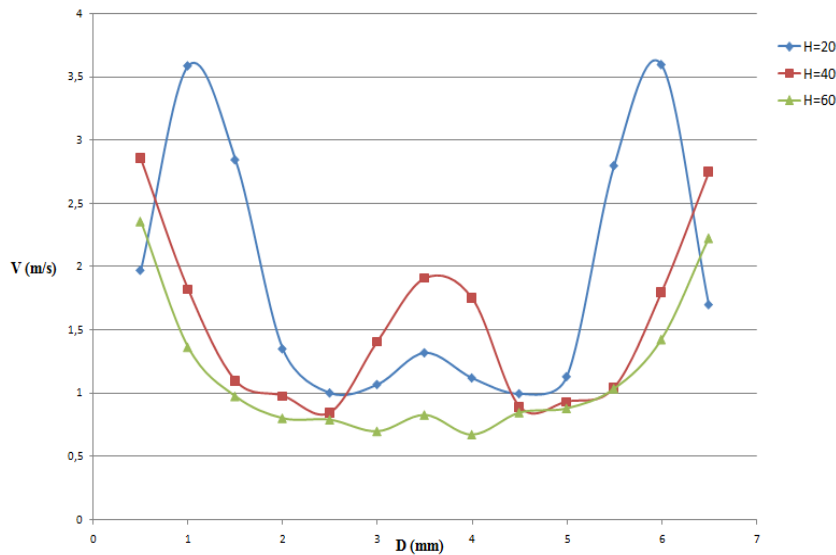


Figure 5 : Profile de vitesse pour différentes hauteurs

La différence de pression est mesurée pour la hauteur de soufflage optimale $H=40$ mm, en fonction de la vitesse moyenne du jet d'air. D'après la figure 6, les pertes de pression augmentent de manière lente jusqu'à une vitesse 2 m/s, au-delà de laquelle, elles augmentent plus rapidement que précédemment. Ce résultat est comparable à celui obtenu par Duan et Muzychka [4]. Une grande différence de pression à travers les canaux est à éviter afin d'avoir une bonne circulation d'air.

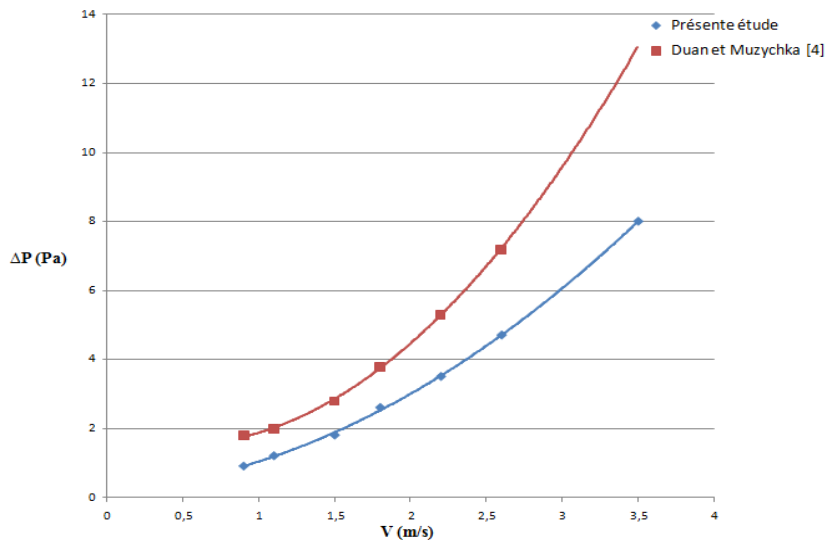


Figure 6 : Pertes de charges dans le canal du radiateur en fonction de la vitesse du jet pour une hauteur de jet $H=40$ mm

La figure 7, illustre l'évolution de la température de jonction T_j en fonction de la vitesse moyenne du jet. La température de jonction décroît avec une allure sensiblement linéaire lorsque la vitesse du jet augmente. Le microprocesseur a une température de fonctionnement élevée pour des faibles vitesses et minimale pour des grandes vitesses. C'est pourquoi il serait intéressant de trouver un compromis entre les évolutions des paramètres caractérisant le radiateur en l'occurrence ΔP , R_{th} pour trouver la température de jonction optimale.

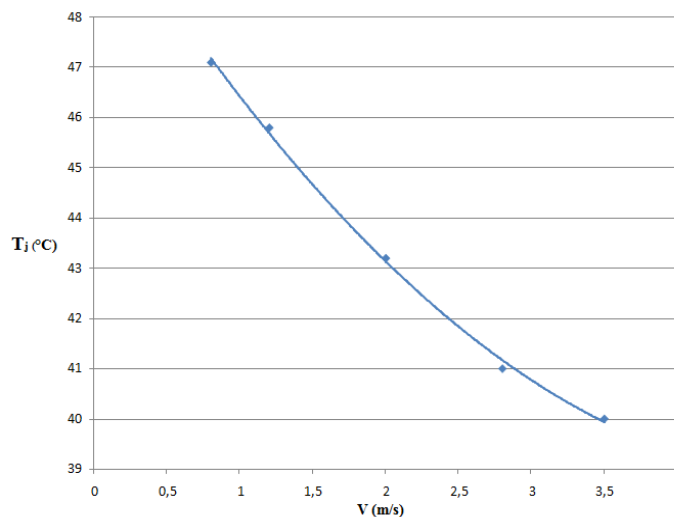


Figure 7 : Température de jonction en fonction de la vitesse du jet

La figure 8 montre l'évolution de la résistance thermique en fonction de la vitesse moyenne du jet. On constate que lorsque la vitesse de soufflage augmente, la résistance thermique diminue, d'abord avec une pente plus accentuée jusqu'à une vitesse 2.6 m/s, puis elle chute moins rapidement au de-là de cette vitesse. Cette chute de la résistance thermique lorsque la vitesse de soufflage augmente, montre bien la bonne dissipation de chaleur. Ce résultat est comparable à celui obtenu expérimentalement par Duan et Muzychka [5]. néanmoins un

certain décalage y est enregistré, dû probablement aux différences entre les deux configurations de dissipateur testées

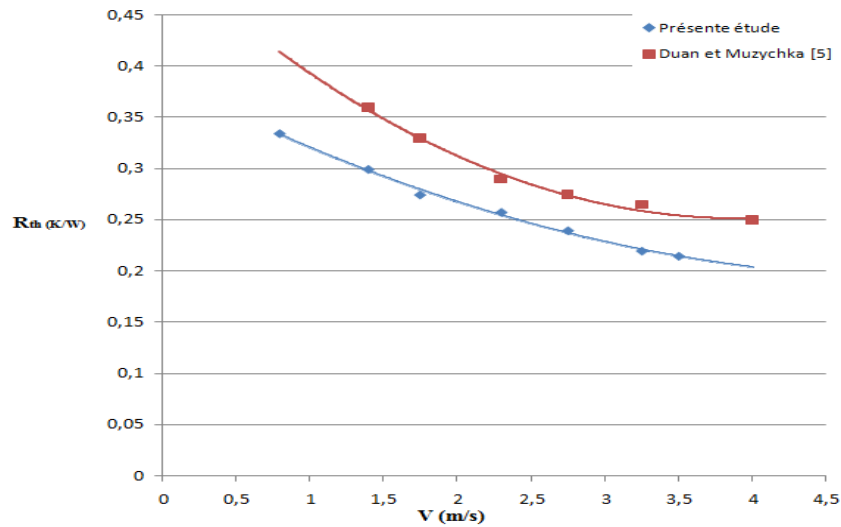


Figure 8 : Résistance thermique en fonction de la vitesse du jet

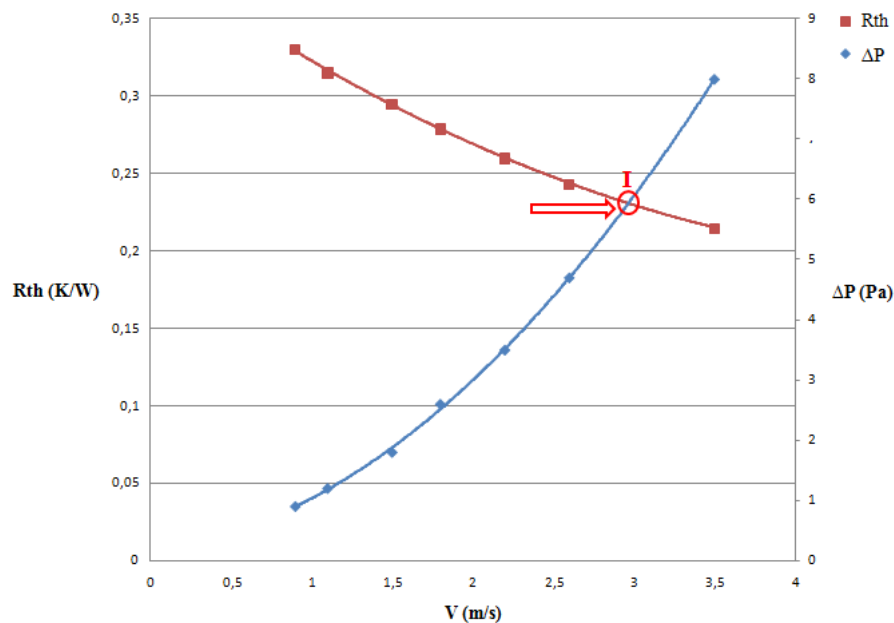


Figure 9 : Point de fonctionnement optimal du système de refroidissement

Dans la figure 9, nous avons superposé les courbes des deux performances thermique et aérodynamique. Notre objectif est de trouver un point de fonctionnement commun qui tient compte des deux caractéristiques pour en tirer la vitesse de soufflage optimale de refroidissement. L'incréméntation de la vitesse de soufflage induit la diminution de la résistance thermique du radiateur, ce qui est très recherchée, en revanche, la perte de charge enregistrée augmente jusqu'à un point (I) où la vitesse de soufflage V_I est commune et avoisine les $3m/s$. Ce point commun I constitue un compromis qui offre au système de refroidissement une performance optimale.

4. Conclusion

L'étude expérimentale conduite, a été consacrée au refroidissement des microprocesseurs d'ordinateur de bureau par le biais d'un dissipateur de chaleur à ailettes planes rectangulaires, soumis à un jet d'air impactant. Dans un premier temps, il a été nécessaire de trouver le profil de vitesse optimal possible au centre du radiateur, où se trouve la zone la plus chaude en raison du positionnement du microprocesseur (source de chaleur). Sur la base du profil de vitesse de soufflage qui offre la meilleure dissipation de chaleur, on a procédé à la caractérisation des performances thermique et aérodynamique du radiateur. Nous avons pu mesurer et tracer les distributions des pertes de pression à travers le radiateur, la résistance thermique R_{th} et la température de jonction T_j du microprocesseur. La hauteur du jet H est un paramètre important dans la caractérisation des performances des dissipateurs de chaleur. Les résultats obtenus sont comparables à ceux rapportés dans la littérature. Par ailleurs, la superposition des deux caractéristiques thermique et aérodynamique, a permis de localiser un point commun offrant un fonctionnement optimal du système de refroidissement.

Références

- [1] S.Chingulpitak, S.Wongwiset, A review of the effect of flow directions and behaviors on the thermal performance of conventional heat sinks, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 81 (2015) 10–18.
- [2] M.Beriache, Analyse numérique de la convection forcée dans une rangée de plaque chauffées, Thèse de doctorat Es-sciences (2012), Université Abdelhamid Benbadis de Mostaganem
- [3] S. B. Sathe, B. G. Sammakia, An Analytical Study of the Optimized Performance of an Impingement Heat Sink, *American Society of Mechanical Engineers* Vol. 126 December (2004) 528-534
- [4] Duan, Z.P.; Muzychka, Y.S.: Impingement air cooled plate fin heat sinks Part I-pressure drop model. In: Proceedings of 9th Int. Soc. Conf. Therm. Phenom. Electronic Syst., pp. 429– 435 (2004)
- [5] Duan, Z.P.; Muzychka, Y.S.: Impingement air cooled plate fin heat sinks Part II-Thermal resistance model. In: Proceedings of 9th Int. Soc. Conf. Therm. Phenom. Electronic Syst., pp. 436–443 (2004)
- [6] H.-Y. Li, S.-M. Chao, Measurement of performance of plate-fin heat sinks with cross flow cooling, *Int. J. Heat Mass Transfer* 52 (2009) 2949–2955.
- [7] A.Diani, S.Mancin, C.Zilio, L.Rossetto, An assessment on air forced convection on extended surfaces: Experimental results and numerical modelin, *International Journal of Thermal Sciences* 67 (2013) 120-134