



HAL
open science

Refroidissement microprocesseur simulé à l'aide d'un mini échangeur à eau : comparaison avec le refroidissement à air

Akrem Ben Saïd, Mahmoud Hammami, Rejeb Ben Maad

► To cite this version:

Akrem Ben Saïd, Mahmoud Hammami, Rejeb Ben Maad. Refroidissement microprocesseur simulé à l'aide d'un mini échangeur à eau : comparaison avec le refroidissement à air. CFM 2009 - 19ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2009, Marseille, France. <hal-03390846>

HAL Id: hal-03390846

<https://hal.science/hal-03390846v1>

Submitted on 21 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Refroidissement d'un microprocesseur à l'aide d'un mini-échangeur à eau : comparaison avec le refroidissement à air

Akrem BEN SAID*, Mahmoud HAMMAMI & Rejeb BEN MAAD

Laboratoire d'Energétique et des Transferts Thermique et Massique (LETTM)

Faculté des Sciences de Tunis, 2092 El Manar2-Tunisie

*Auteur correspondant (bsakram@gnet.tn)

Résumé

Dans de ce travail, nous présentons les résultats d'une étude expérimentale relative au problème du refroidissement d'un microprocesseur simulé en utilisant d'abord un refroidissement à air par convection forcée directe à partir de la surface, puis en y intégrant un mini-échangeur à eau dont les canaux sont rectangulaires et de diamètre hydraulique $D_h = 3$ mm. Dans le premier cas, malgré que la vitesse de soufflage a été doublée par rapport à celle utilisée conventionnellement avec un ventilateur, nous avons montré que la puissance maximale qu'on peut évacuer n'excède guère les 5 Kw.m^{-2} sans que la température de surface ne dépasse le seuil toléré. Dans le cas du refroidissement par mini-échangeur, et avec des débits d'eau distillée très faibles ($< 7 \text{ l.h}^{-1}$), nous avons réussi à évacuer des flux beaucoup plus importants pouvant atteindre les 50 Kw.m^{-2} sans que la température du système ne dépasse les 80°C .

Abstract

In this work, we present the results of an experimental study on the problem of cooling a simulated microprocessor using first an air cooling by forced convection directly from the surface, then, by incorporating a water mini - exchanger of which the channels are rectangular and of hydraulic diameter that the blowing velocity $D_h = 3\text{mm}$. In the first case, although that the blowing velocity was doubled compared to that conventionally used with a fan, we have shown that the evacuated maximum power can not exceed the 5kW.m^{-2} without that surface temperature exceeds the threshold tolerated. In the case of mini-cooling heat exchanger, and with distilled water flow rates very low ($< 7 \text{ l.h}^{-1}$), we managed to evacuate much larger fluxes of up to 50 kW.m^{-2} without that system temperature exceeds 80°C .

Mots clefs : convection forcée, refroidissement à air, refroidissement à eau, mini-échangeur, mini-canaux.

1. Introduction

Durant ces dernières années, on continue à assister au développement sans égale subi par l'électronique de puissance et notamment sur le plan de la technologie de miniaturisation. Mais ce développement se trouve handicapé par la limitation du refroidissement nécessaire à l'évacuation de flux de chaleur de plus en plus élevés à partir de surfaces encore plus petites. La première génération de composants d'électronique de puissance était simplement refroidie par convection naturelle à l'aide de radiateurs à air. Ensuite, et comme cela devenait insuffisant, on y a intégré des ventilateurs permettant un soufflage d'air directement sur les ailettes constituant le radiateur avec des vitesses pouvant atteindre les 5m.s^{-1} . De nos jours, le refroidissement à air est devenu à son tour insuffisant et on s'oriente de plus en plus vers un refroidissement à liquide en monophasique ou en diphasique.

Dans ce cadre, nous avons mené une étude expérimentale relative au refroidissement d'un système chauffant simulant un microprocesseur comme ceux qui équipent les PC. Dans une première phase, et afin de mettre en évidence les carences du premier type de refroidissement, nous avons procédé à un refroidissement à air par convection forcée directe en utilisant des vitesses de soufflage variant entre 3 et 12 m.s^{-1} . Dans une seconde

phase, nous avons usé d'un refroidissement à eau en circulation dans un mini échangeur à canaux rectangulaires et ce afin de montrer l'efficacité d'un tel refroidissement d'une part et de déterminer les paramètres qui peuvent l'affecter d'autre part.

2. Refroidissement à air

2.1 Dispositif expérimental

Le montage expérimental (FIG. 1) conçu et réalisé pour cette étape de l'étude est constitué essentiellement, d'un système chauffant simulant un microprocesseur, d'une soufflerie offrant un écoulement uniforme à vitesse réglable et d'un système d'anémométrie à fil chaud à température constante.

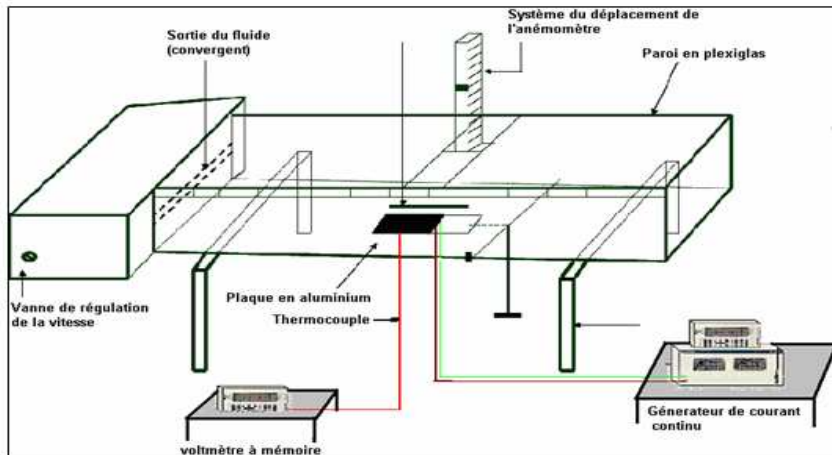


FIG. 1 – Vue générale de l'installation expérimentale

Pour simuler un microprocesseur, nous avons utilisé une plaque plane rectangulaire en aluminium, d'épaisseur relativement faible. Afin de connaître le flux de chaleur traversant la plaque et éviter le problème des pertes, nous avons utilisé deux plaques identiques de longueur $L = 5,7\text{cm}$, de largeur $l = 5\text{cm}$ et de $0,5\text{cm}$ d'épaisseur, entre lesquelles nous avons placé en sandwich une résistance chauffante. Ainsi le flux fourni sera évacué par les deux plaques de manière symétrique.

Le système chauffant est constitué d'un fil résistant de faible diamètre enfilé sur une feuille de samicanite (isolant électrique et très bon conducteur de chaleur) d'épaisseur $0,2\text{cm}$ et de mêmes dimensions que les plaques. Ensuite, la résistance ainsi enroulée est placée entre deux autres feuilles de Samicanite pour éviter tout court-circuit. L'ensemble est placé en sandwich entre les deux plaques en aluminium décrites précédemment (FIG. 2) et qui sont ensuite serrées l'une contre l'autre.

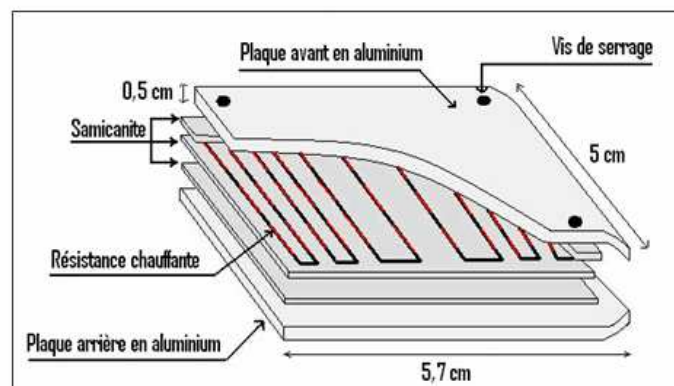


FIG. 2 – Constituants du bloc chauffant

Trois thermocouples de type K, insérés dans des orifices aménagés à différentes profondeurs dans chaque plaque, permettent de mesurer la température moyenne de celles-ci. La vitesse de l'écoulement d'air est mesurée à l'aide d'un anémomètre à fil chaud à température constante.

Enfin, le bloc chauffant ainsi constitué est placé horizontalement dans la soufflerie.

2.2 Résultats et discussions

La vitesse au bord d'attaque du système a été variée entre 3 m.s^{-1} et 12 m.s^{-1} . Le flux de chauffage du microprocesseur a été varié de 500 W.m^{-2} à 5000 W.m^{-2} . La température ambiante T_a était voisine de 22°C .

Les figures 3 et 4 montrent la variation de la température moyenne du microprocesseur en fonction de la vitesse de soufflage et du flux imposé. Nous constatons que cette température diminue avec la vitesse de soufflage d'air et reste inférieure au seuil toléré (80°C) pour des flux inférieurs à 4 Kw.m^{-2} . Pour des flux supérieurs à 5 Kw.m^{-2} , ce seuil est dépassé pour les vitesses inférieures à 7 m.s^{-1} .

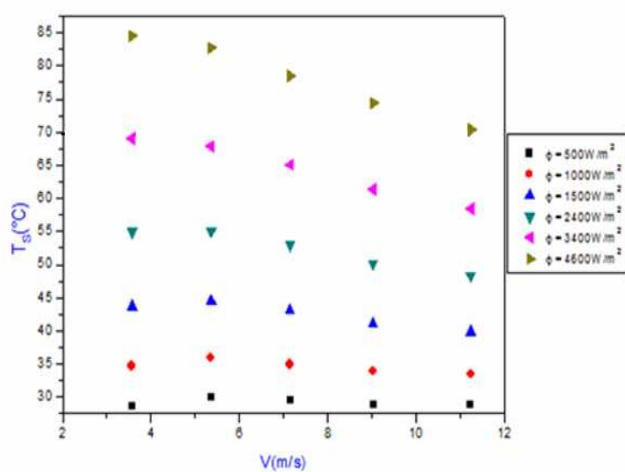


FIG. 3 – Evolution de la température moyenne en fonction de la vitesse

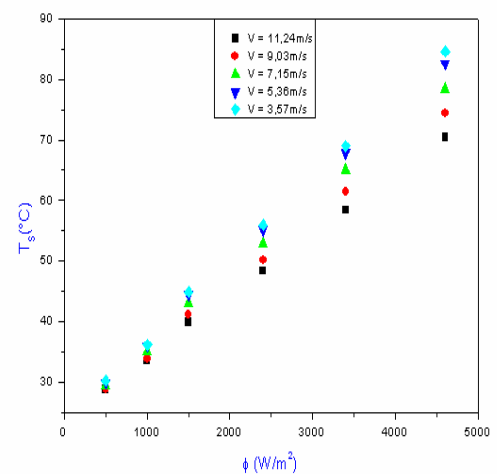


FIG. 4 – Evolution de la température en fonction du flux imposé

Ces résultats montrent clairement les limites de ce type de refroidissement et ce, malgré l'utilisation d'un soufflage direct sur la surface à refroidir avec des vitesses plus importantes que celles délivrées par les ventilateurs utilisés actuellement. En outre, les puissances calorifiques ainsi évacuées sont modestes par rapport à celles dégagées par les microprocesseurs actuels.

3. Refroidissement à eau

Pour protéger les microprocesseurs à fréquences élevées contre un échauffement excessif, le recours à un autre système de refroidissement s'impose. Nous nous sommes alors proposé d'effectuer une étude expérimentale sur un prototype d'un mini-échangeur à eau afin d'évacuer la chaleur émanant d'une source thermique simulant un microprocesseur.

3.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental que nous avons conçu et réalisé pour mener cette étude est composé également d'un système chauffant placé en sandwich entre deux mini-échangeurs, d'un réservoir d'eau et d'une pompe de refoulement (FIG.5).

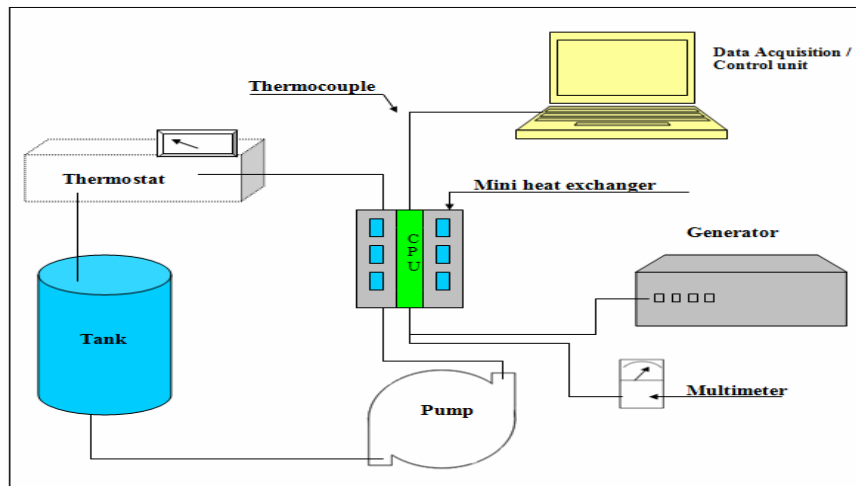


FIG. 5– Schéma général du montage expérimental.

Nous avons conçu et fabriqué deux mini-échangeurs identiques, entre lesquelles nous avons placé en sandwich l'élément chauffant décrit précédemment. De cette manière, le flux de chaleur dégagé par la résistance électrique sera évacué de la même manière par les deux mini-échangeurs (FIG.6).

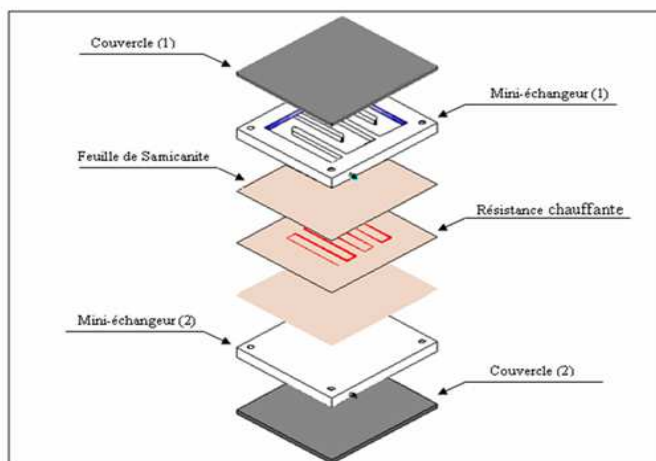


FIG. 6 –Différents constituants du bloc chauffant

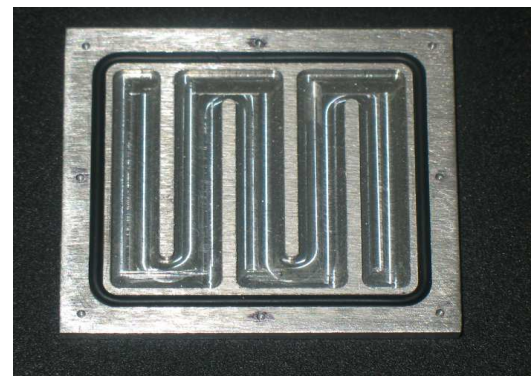


FIG. 7– Forme des mini-canaux

Les échangeurs sont usinés dans des plaques en aluminium de 56X 50 mm et de 5 mm d'épaisseur. Nous avons choisi des mini-canaux de section rectangulaire. Le nombre et les dimensions de ces canaux étaient dictés par les dimensions extérieures utilisées pour le système chauffant d'une part, et par le souci d'efficacité de l'échangeur qui doit offrir une grande surface d'échange, d'autre part. Nous avons opté pour un diamètre hydraulique de 3mm ($D_h = 3 \text{ mm}$) qui constitue la limite entre les domaines des mini-canaux et le conventionnel. Deux joints toriques assurent l'étanchéité des deux échangeurs.

La température des deux blocs de refroidissement est prélevée à l'aide de thermocouples de type K insérés dans des orifices aménagés en différents endroits du côté de l'élément chauffant.

Le fluide caloporteur utilisé était constitué d'un mélange composé de 90% d'eau dé-ionisée et 10% de glycol. Le débit d'eau est mesuré en collectant le volume d'eau sortant de l'échangeur pendant un certain intervalle de temps.

Notons enfin que le système utilisé est placé verticalement durant toute l'expérimentation où l'eau pompée est injectée par le bas.

3.2 Résultats et discussions

3.2.1 Influence du débit d'eau sur le refroidissement

Le refroidissement du microprocesseur est effectué par convection forcée en faisant circuler de l'eau dans le mini-échangeur à des débits variant de $0,36 \text{ l.h}^{-1}$ à $6,4 \text{ l.h}^{-1}$. Le flux de chauffage du microprocesseur a été varié de 2 KW.m^{-2} à 50 KW.m^{-2} . Les résultats obtenus en régime permanent sont représentés sur la figure 8 où nous constatons que pour tous les débits utilisés, la température moyenne du microprocesseur n'a pas dépassé les 80°C et ceci malgré l'importance des flux imposés.

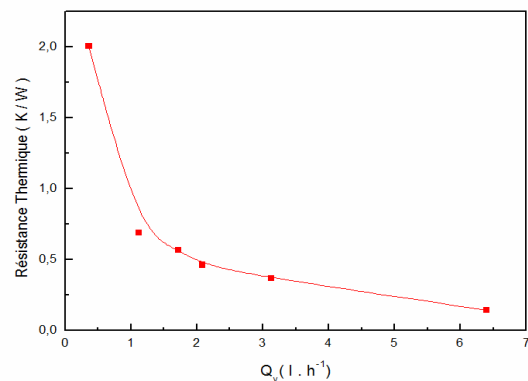
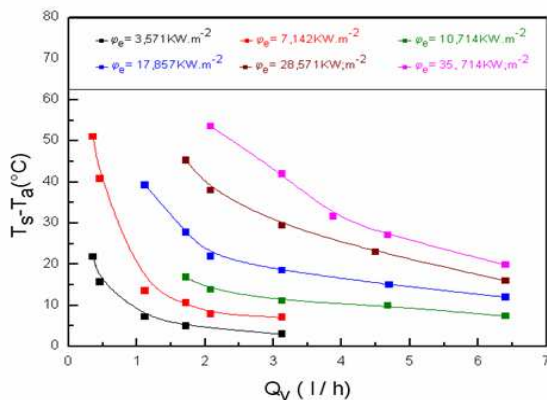


FIG. 8 – Ecart de la température ΔT_s en fonction du débit FIG. 9 – Résistance thermique équivalente

Nous notons une chute importante de la température du microprocesseur dès que l'on fait circuler de l'eau dans l'échangeur même à très faibles débits ($Q_v < 1 \text{ l.h}^{-1}$). Cette chute est observée pour les différents flux de chauffage utilisés. Pour des débits plus importants, la chute de température diminue de façon qu'il nous paraisse inutile d'augmenter encore le débit vu que le gain en refroidissement devient minime. Le même type d'évolution a été observé par Cong Tam Nguyen [5] pour un refroidissement utilisant, en plus de l'eau distillée, d'autres nano-fluides.

Sur la figure 9, nous avons représenté la variation de la résistance thermique équivalente du bloc en fonction du débit volumique. On note que cette résistance chute brusquement dès qu'il y ait circulation d'eau même à très faibles débits et tend à se stabiliser pour des débits supérieurs. D'autre part, la variation de la température d'eau entre l'entrée et la sortie de l'échangeur (FIG.10 & 11) suit le même comportement que celui de la température moyenne du microprocesseur que ce soit en fonction du débit ou en fonction du flux imposé.

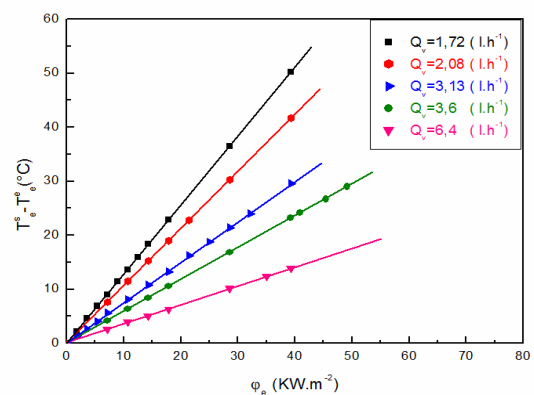
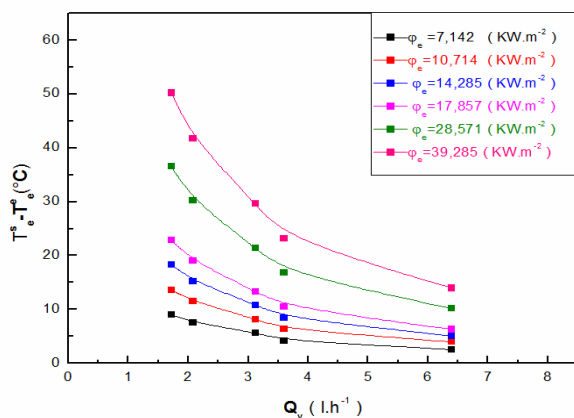


FIG. 10 Variation de la différence de température d'eau en fonction du débit.

FIG. 11 Variation de la différence de température d'eau en fonction du flux imposé.

3.2.2 Coefficient moyen de transfert

Un bilan thermique au niveau de l'échangeur en régime permanent nous a permis de déterminer le coefficient moyen de transfert \bar{h}_{int} . Ce coefficient a été calculé pour différents flux et différents débits. Les résultats obtenus ont montré que pour un débit donné, celui-ci garde pratiquement la même valeur (\bar{h}_{int}) ^{moy} quel que soit le flux φ_e utilisé. La figure 12 montre une croissance monotone de (\bar{h}_{int}) ^{moy} en fonction du débit volumique Q_v et qui tend à se stabiliser pour les débits importants. Ce sens d'évolution du coefficient moyen de transfert a été rapporté également par Cong Tam Nguyen [5].

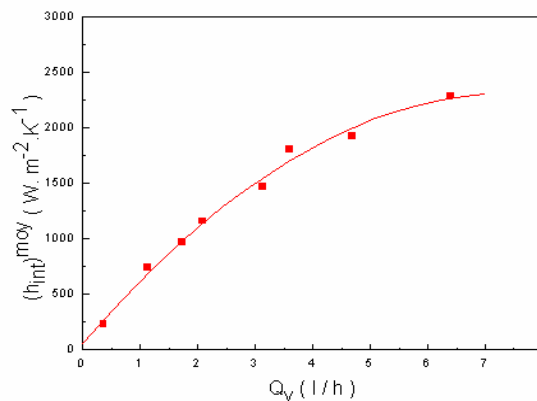


FIG. 12 – Variation de (\bar{h}_{int}) ^{moy} en fonction du débit volumique Q_v

4 Conclusion

Au cours de ce travail, nous avons expérimenté deux méthodes de refroidissement d'une petite surface chaude simulant celle d'un microprocesseur.

La première démarche a consisté en un refroidissement par soufflage d'air directement sur la surface concernée. Bien qu'on ait utilisé des vitesses de soufflage importantes ayant atteint les 12m.s⁻¹, la chaleur maximale évacuée n'a pas dépassé les 5 Kw.m⁻² sans que la température de surface ne dépasse la valeur seuil tolérée.

Pour améliorer le refroidissement, nous avons usé d'un mini-échangeur à eau. Les résultats obtenus se sont avérés satisfaisants témoignant ainsi de l'efficacité du refroidissement à eau. En effet, avec des débits d'eau qui n'ont pas dépassé les 7 $\ell.h^{-1}$, nous avons évacué d'importantes quantités de chaleur qui ont approché les 50 Kw.m⁻² tout en assurant au microprocesseur une température inférieure au seuil toléré de 80°C.

References

- [1] Tuckerman, D.B. and Pease, R.F.W., IEEE Electron Device Letter, 2(5), 1981, 126-129.
- [2] Alain Bricard, Charlotte Gillot, integrated micro heat sink for power components, Mécanique et Industries Volume 2, 435-442 (2001)
- [3] Kwang-Soon Kim, Myong-Hee Won, Jong-Wook Kim, Byung-Joon Back. Heat pipe cooling technology for desktop PC CPU, Applied Thermal Engineering 23 (2003) 1137 1144.
- [4] Kandlikar, S.G., Grande, W.J, Evolution of microchannel flow passages - thermohydraulic performance and fabrication technology, Heat transfer engineering, vol.24 (1), 3-17(2003)
- [5] Cong Tam Nguyen Gilles Roy, Christian Gauthier and Nicolas Galanis, Heat transfer enhancement using Al2O3-water nanofluid for an electronic liquid cooling system Available online 27 November 2006.
- [6] Wang Y and G-F Ding, Experimental investigation of heat transfer performance for a novel microchannel heat sink, J. Micromech. Microeng. 18 (2008) 035021 (8pp).