

EFFET DES CHANFREINS SUR L'AMELIORATION DU REFROIDISSEMENT DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES

Saleha NEMDILI^a, Fadela NEMDILI^b et Abbes AZZI^c

Laboratoire Aero Hydrodynamique Navale, LAHN
Université des Sciences et de la Technologie, Mohamed Boudiaf, Oran
BP 1505 El-Mnaouar, 31000, Oran, Algérie

a. salnem@yahoo.fr; b. turbo_fad@yahoo.fr, c. azzi.abbes@yahoo.fr

Résumé :

Dans cet article, on présente une étude numérique basée sur la méthode des volumes finis résolvant les équations moyennées de Navier-Stokes. La simulation concerne un cas de cube chauffé, exposé simultanément à un courant transversal et un jet perpendiculaire. Les deux courants sont à température plus faible et ont pour objectif de refroidir le cube qui représente un composant électronique. Après une étude de validation du modèle mathématique et du modèle de turbulence, la simulation est conduite pour trois valeurs du nombre de Reynolds du jet impactant. Enfin, l'étude est complétée par une modification de la facette supérieure du cube dans le but d'améliorer l'efficacité du refroidissement. On cassant l'arête vif du cube par un chanfrein, on constate que la structure de l'écoulement autour du cube se trouve sensiblement modifiée. L'étude porte sur la quantification de l'apport thermique lié à cette modification géométrique. Après test, il se trouve que le flux de chaleur global échangé à travers le cube se trouve augmenté d'environ 26% de sa valeur de base pour le cas $Re_j/Re_H=1.5$ et $s=4mm$.

Abstract:

In this paper, we present a numerical study based on the finite volume method solving averaged Navier-Stokes equations. The simulation concerns a case of heated cube simultaneously exposed to a transverse current and a perpendicular jet. The two streams are at a lower temperature and aim to cool the cube representing an electronic component. After a validation study of the mathematical and turbulence model, simulations are conducted for three values of the Reynolds number of impinging jet. Finally, the study has been completed by a modification of the upper side of the cube in order to improve the cooling efficiency. By adding a chamfrain on the top of the cube, the flow structure is radically modified and consequently the heat flux. The study focuses on the quantification of the thermal input related to this geometric change. After testing, it is found that the flow of overall heat exchange through the cube is increased by about 26% of the base value for the case $Re_j / Re_H = 1.5$ and $s = 4 mm$.

**Mots clefs : Composant électronique, efficacité de refroidissement,
Mécanique des fluides numérique, modèle de turbulence**

1 Introduction

Actuellement, il est bien établi que la surchauffe des composants électroniques est la principale raison de leurs limitations de puissance et des échecs rencontrés lors de leurs utilisations intensives. Dans ce contexte, la loi de Moore [1] stipule que la puissance de chaque nouvelle génération de microprocesseur double par rapport à sa précédente, d'où l'intérêt majeur porté par les designers des composants électroniques au problème du refroidissement. Un exemple des effets de la température est mis en évidence par Li et al. [2] qui a montré que dans le cas de la haute puissance des diodes électroluminescentes (LED) lorsque la température augmente de 1°C , l'intensité de luminescence diminue de 1% et la longueur d'onde de la lumière d'onde change de $0,2$ à $0,3\text{ nm}$, ce qui conduit à des changements de couleur de la lumière. Pire encore, si la chaleur dégagée n'est pas dissipée correctement, la durée de vie de ces LED se trouve sérieusement compromise.

Comme solution de refroidissement, l'utilisation des ventilateurs soufflants un débit d'air maintenu dissipe la chaleur dégagée par convection forcée. C'est le système de base utilisé par excellence sur les plaques communément appelée Printed Circuit Board (PCB), voir Meinders [3]. Une solution pratique consiste à rajouter un jet impactant directement sur les composants les plus susceptibles de dégager un maximum de chaleur, Rundstrom et Moshfegh [4, 5]. Cette solution permet de garder le flux d'air principal à des faibles niveaux, ce qui a un effet bénéfique sur la consommation électrique globale et la limitation du bruit des gros ventilateurs. Tummers et al. [6] a conduit une étude expérimentale utilisant un réseau en ligne de cinq cubes. En plus des recherches à caractère expérimentale, les simulations numériques présentent une alternative économique et prometteuse pour tester plusieurs configurations géométriques et thermiques afin d'optimiser le refroidissement en termes de taille, de puissance de soufflage et d'arrangement.

2 Présentation de l'étude

L'étude présentée ici, concerne un cube chauffé à 60°C placé dans un écoulement d'air forcé à 20°C . Le cube est exposé aussi à un jet perpendiculaire à 20°C . La configuration géométrique ressemble sensiblement à celle étudiée expérimentalement par Masip et al. [7]. L'écoulement principal est maintenue à un nombre de Reynolds de 3410 , calculé sur la base de la hauteur du canal ($H=2h$, où h est la dimension de l'arête du cube et vaut 15 mm) et de la vitesse débitante ($U=1.705\text{ m/s}$). Coté jet impactant, trois nombres de Reynolds sont considérés correspondants au rapport suivants : $Re_j/ReH=0.5; 1.0$ et 1.5 . Les nombres de Reynolds du jet sont calculés sur la base du diamètre du jet ($D=12\text{ mm}$) et de sa vitesse débitante. En ne considérant que le rapport des nombres de Reynolds le plus élevé ($Re_j / ReH = 1.5$), la simulation est reproduite pour trois cubes ayants des chanfreins sur leurs facette du haut. La hauteur du chanfrein prend trois valeurs différentes $1, 2$ et 4 mm respectivement. Le but étant de vérifier si l'ajout des chanfreins améliore l'efficacité du refroidissement ou non. En tout, la présente étude concerne sept configurations différentes rassemblées sur le tableau 1.

La figure 1 schématise le domaine de calcul considéré qui se compose d'un canal rectangulaire dans lequel un cube est disposé sur la paroi inférieur. En plus de l'écoulement principal qui va de gauche vers la droite, il existe un jet circulaire pointé perpendiculairement sur la face supérieur du cube. Le cube est maintenu à une température de 60°C alors que les deux jets ainsi que toutes les autres parois sont maintenues à 20°C .

Tableau 1 : Détails des configurations étudiées

	Hauteur du chanfrein	Re_j/Re_H	Re_j	U_j [m/s]
Cas 1, F00	Cube régulier	0.0	0.0	0.0
Cas 2, F05		0.5	1705	2.131
Cas 3, F10		1.0	3410	4.262
Cas 4, F15		1.5	5115	6.393
Cas 5, FC115	1 mm	1.5	5115	6.393
Cas 6, FC215	2 mm	1.5	5115	6.393
Cas 7, FC315	4 mm	1.5	5115	6.393

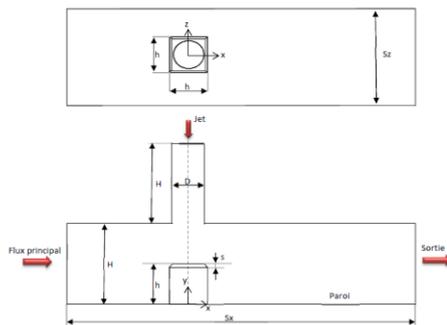


Fig. 1. Domaine de calcul et conditions aux limites

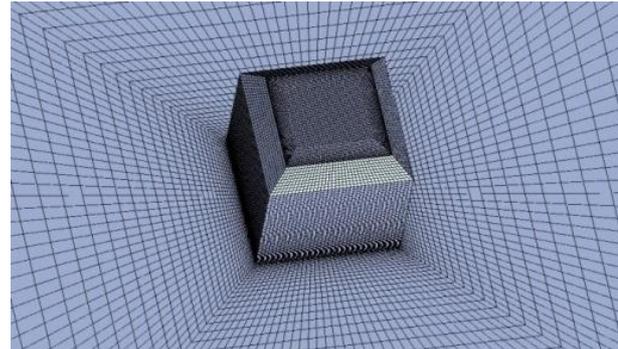


Fig. 2. Vue rapprochée de la grille de calcul

La simulation numérique est conduite via la suite logicielle ANSYS-CFX résolvant les équations moyennées de Navier Stokes et l'équation de l'énergie. Combinant un maillage non structuré et la méthode des volumes finis, la solution est obtenue via un algorithme de couplage pression-vitesse. La turbulence est modélisée moyennant le modèle dit Shear Stress Transport (SST) de Menter [8]. Ce modèle est bien validé pour les écoulements à recirculation et combine les avantages de deux modèles qui sont le $k-\varepsilon$ et le modèle $k-\omega$. Après quelques essais, une grille optimisée (voir Figure 2) d'environ deux million d'éléments est retenue pour le calcul ralliant précision et économie de calcul. La compatibilité de la grille de calcul vis-à-vis du modèle de turbulence est vérifiée à posteriori pour assurer des valeurs de y^+ inférieur à l'unité.

3 Résultats et discussions

La structure longitudinale de l'écoulement est visualisée par les lignes de courants tracées sur le plan XY passant par l'origine à la position $z/h=0$. La Figure 3 montre les résultats comparés à ceux obtenus expérimentalement par Masip et al. [7]. Globalement, la validation est bonne du moins sur le côté qualitatif. Pour la valeur la plus faible de Re_j le jet est clairement dévié par l'écoulement principal et n'atteint pas la surface supérieure du cube. Une bulle de recirculation est maintenue en amont du cube ainsi que sur la face supérieure de celui-ci. En augmentant le Re_j , le jet est plus intense et réussit à atteindre la surface supérieure du cube. Alors que pour le Re_j le plus important le jet impacte le cube et réussit même à se déverser sur la facette amont du cube. On remarque aussi la naissance des recirculations en amont du cube et du jet, témoins de la naissance des deux vortex en forme de fer à cheval. Sur la figure du dernier cas avec chanfrein, le jet impactant est dévié dans une direction oblique au lieu qu'elle soit horizontale. La structure de l'écoulement en aval du cube se trouve ainsi modifiée.

La Figure 4 représente les contours de la vitesse V_{mag} adimensionalisée par la vitesse perpendiculaire du jet. V_{mag} est calculée sur la base des deux composantes de la vitesse de l'écoulement sur le plan XY à $z/h=0$. Exception faite pour le cas de base sans jet, où V_{mag} est adimensionalisée par la vitesse de l'écoulement principal. Les résultats numériques sont confrontés aux mesures expérimentales effectuées par Masip et al. [7].

Là aussi, on remarque la même structure de l'écoulement avec mise en valeur de l'interaction entre le jet, l'écoulement principale et le cube.

La figure 5 montre la morphologie de l'écoulement en $3D$ à travers les iso surfaces du critère Q colorées par la vitesse longitudinale. La figure montre bien le caractère tri dimensionnel de l'écoulement, notamment le développement du tourbillon en forme de fer à cheval autour de la facette amont du cube. L'autre tourbillon qui se développe autour du jet s'intensifie et prend une forme distinguée pour les valeurs élevées de Re_j .

L'étude est complétée par une comparaison quantitative basée sur la comparaison des modules de la vitesse longitudinale sur quatre lignes verticales placées de part et d'autre du cube. La Figure 6 montre la position des mesures alors que la comparaison en elle-même est représentée sur la Figure 7. Globalement, la validation est satisfaisante et reproduit fidèlement la structure de l'écoulement.

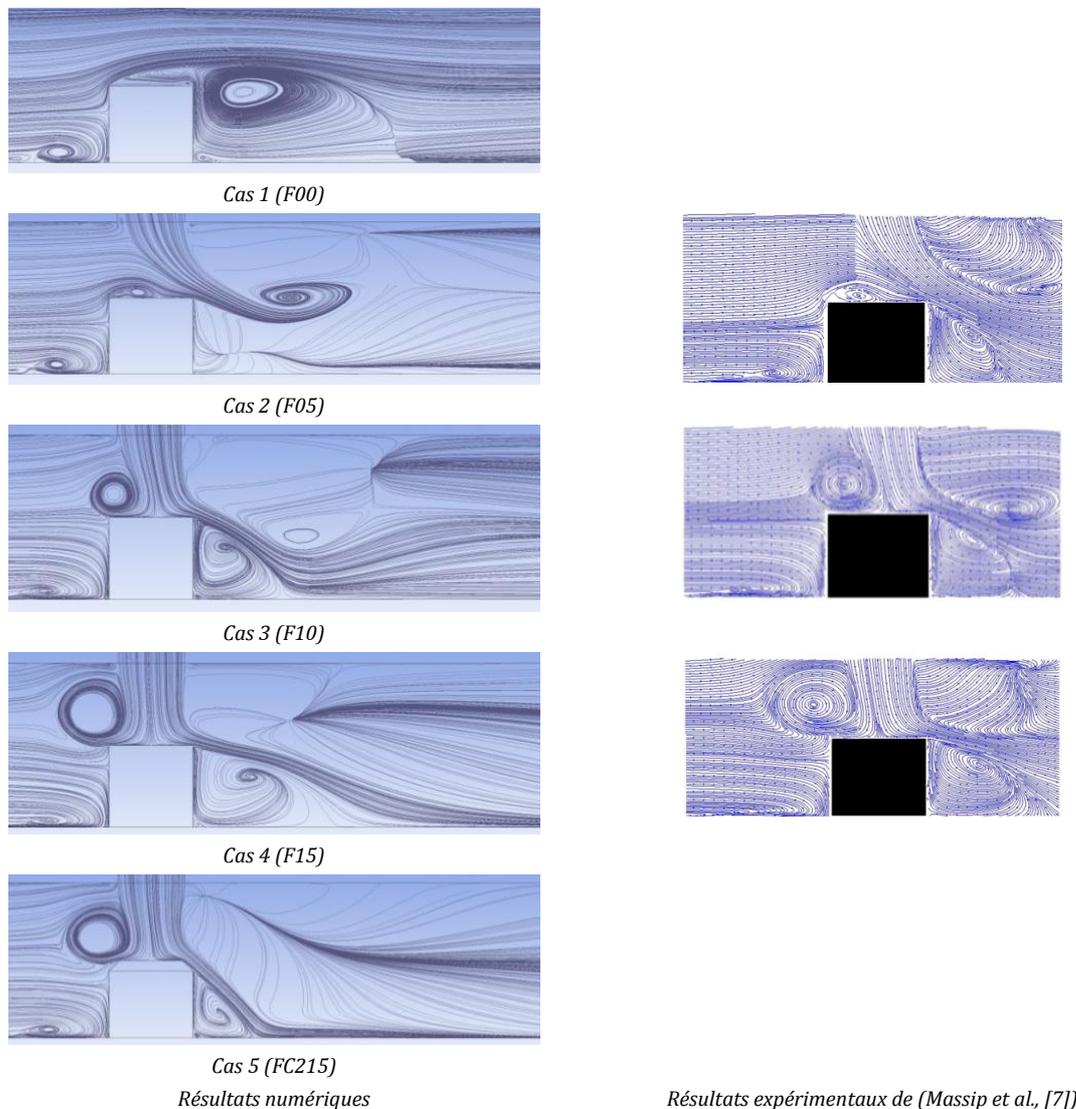


Fig. 3. Lignes de courant sur le plan XY à $z/h = 0$.

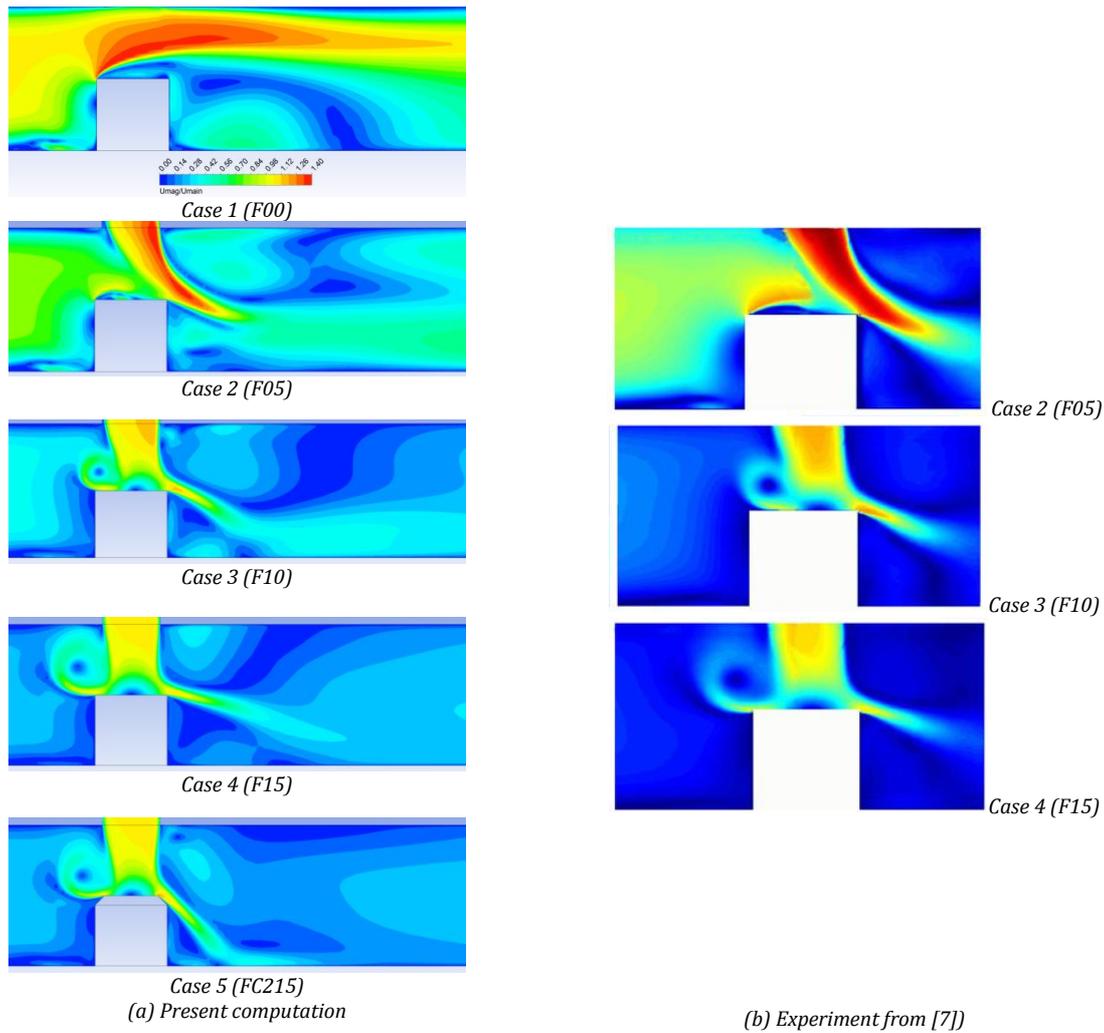


Fig. 4. Contours of V_{mag}/U_j in the XY plane at $z/h = 0$ for $Re_H=3410$

Pour le premier cas sans jet, le profil de l'écoulement principal un peu avant le cube est légèrement modifié par rapport à l'écoulement pleinement établi dans un canal. Sur le cube, on remarque la vitesse négative témoin de la bulle de recirculation au-dessus du cube. Alors qu'après le cube, l'écoulement s'accélère sur la moitié supérieure et se renverse sur la moitié inférieure. Ceci est un résultat naturel de la présence du cube comme obstacle à l'écoulement. Le premier cas du jet le plus faible, modifie légèrement la structure de l'écoulement. La bulle de recirculation au-dessus du cube disparaît et le jet dévié horizontalement participe à l'accélération observée au milieu du canal. L'intensification du jet impactant a pour effet de faire apparaître un écoulement inverse sur la première station en amont du cube. Le jet est tellement intense qu'après impact, il se divise en deux fragments horizontaux allant dans les deux sens de l'écoulement. On remarque aussi, que pour le cas avec chanfrein le flux horizontal est sensiblement incliné vers le bas.

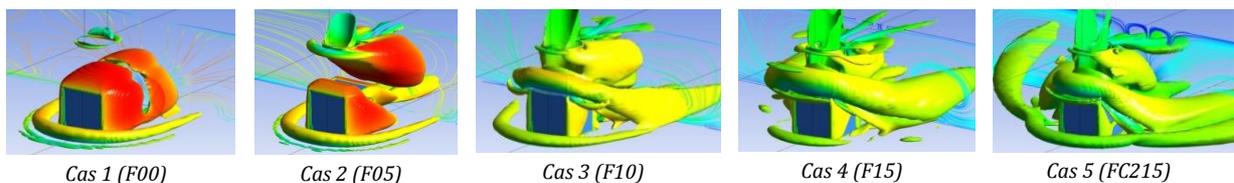


Fig. 5. Isosurfaces du critère Q ($6000 [s^{-2}]$) colorées par la vitesse longitudinale

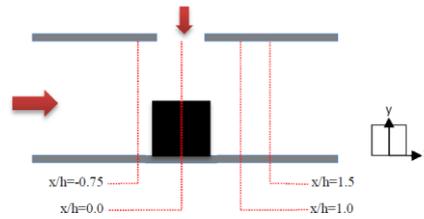
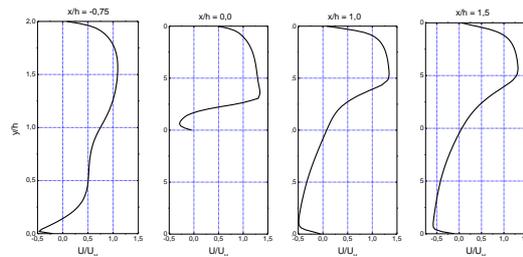
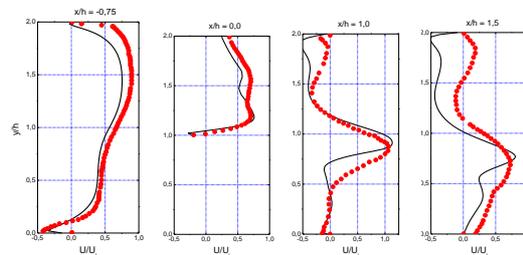


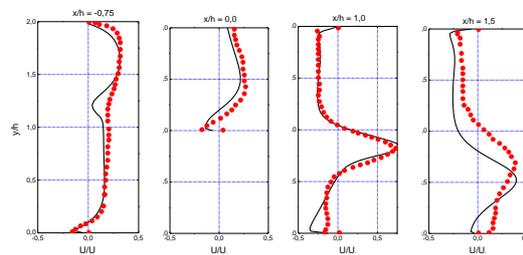
Fig. 6. Position longitudinale des lignes pour validation



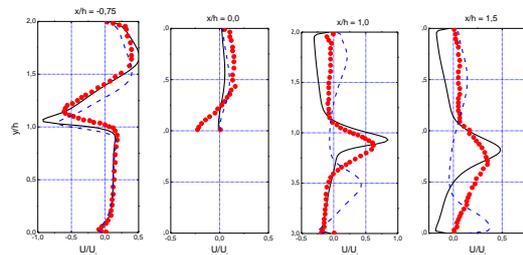
Cas 1 (F00)



Cas 2 (F05)



Cas 3 (F10)



Cas 4 (F15) et Cas 5 (FC215)

— Present computation (regular cube)
 • Experiment [14]
 - - Present computation (cube with chamfer)

Fig. 7. Profil de la vitesse longitudinale à $z/h = 0$, sur les quatre stations de la Figure 5

Enfin, la quantité de flux de chaleur échangée par chaque paroi du cube ainsi et que le flux de chaleur global (sur la totalité du cube) sont présentées à la figure 8. La figure montre que le flux de chaleur de la paroi sur la face avant est sensiblement le même pour toutes les configurations. Il augmente sur les parois latérales jusqu'à $(Re_j / Re_H = 1,0)$, puis reste constante. A part pour le cas de base $(Re_j / Re_H =$

0,0), le flux échangé sur la face arrière est sensiblement identique à celui des facettes latérales. Sur la face supérieure, le flux de chaleur augmente considérablement avec l'intensité du jet impactant. L'augmentation est sensible jusqu'à la valeur de $(Re_j / Re_H = 1,0)$. Au-delà de cette valeur l'augmentation est moins intense.

Afin d'étudier l'effet de la hauteur du chanfrein sur l'efficacité de refroidissement, trois valeurs (1, 2 et 4 mm) de la hauteur de chanfrein sont testés. Elles correspondent aux cas *FC115*, *FC215* et *FC315* respectivement. Les flux de chaleur globaux pour les trois cas sont confrontés sur la figure 9. Comme on peut le voir, la meilleure amélioration sensible, qui est de l'ordre de (26%), est enregistrée pour le jet le plus intense ($Re_j/Re_H = 1,5$) et pour le chanfrein à 4mm de hauteur.

4 Conclusion

L'écoulement complexe autour d'un cube avec jet perpendiculaire ainsi que le champ thermique associé est simulé via une approche numérique utilisant la méthode *RANS* associée au modèle de turbulence *SST*. L'approche adoptée et malgré son caractère économique par rapport aux méthodes directes et de simulation des grandes échelles permet de reproduire les principales caractéristiques associées à ce type de configuration. En plus de la validation, la présente étude a permis de montrer que la modification géométrique du cube (composant électronique) par ajout de chanfreins sur la facette supérieure peut apporter une amélioration sensible sur l'efficacité de refroidissement pour certain cas précis. Pour d'autres cas, l'amélioration est presque inexistante.

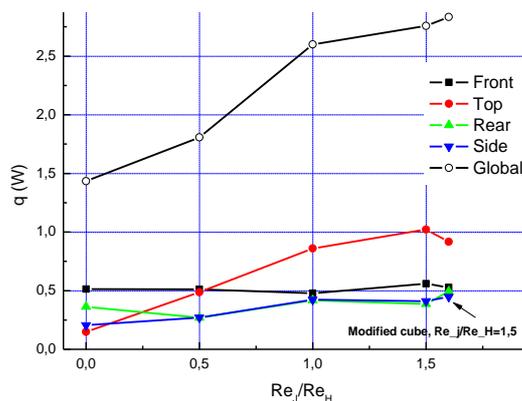


Fig. 8. Flux de chaleur global et par paroi pour les cinq configurations.

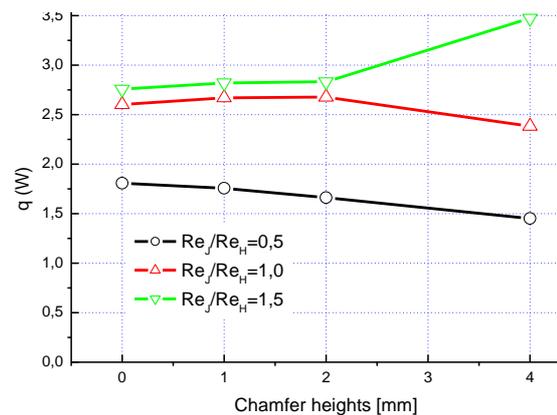


Fig. 9. Effet de la hauteur du chanfrein sur le flux de chaleur échangé.

Références

- [1] MOORE, G., 1965. Cramping more components into integrated circuits. *Electron. Mag.* 38, 114–117.
- [2] LI J, MA BANGKE, WANG R, and HAN L, Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal management of high-power LEDs, *Microelectronics Reliability* 51 (2011) 2210–2215
- [3] E.R. MEINDERS, Experimental Study of Heat Transfer in Turbulent Flows Over Wall-mounted Cubes, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, 1998.
- [4] D. RUNDSTRÖM, B. MOSHFEGH, Investigation of flow and heat transfer of an impinging jet in a cross-flow for cooling of a heated cube, *ASME J. Electron. Pack.* 128 (2006) 150–156.

-
- [5] D. RUNDSTRÖM, B. MOSHFEGH, Large-eddy simulation of an impinging jet in a cross-flow on a heated wall-mounted cube, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52 (2009) 921–931.
- [6] TUMMERS, M.J., FLIKWEERT, M.A., HANJALIC´, K., RODINK, R., MOSHFEGH, B., 2005. Impinging jet cooling of wall-mounted cubes. In: *Proc. of ERCOFTAC, International Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Experiments – ETMM6, Sardinia, Italy.* pp. 773–791.
- [7] YUNESKY MASIP, ALEJANDRO RIVAS, GORKA S. LARRAONA, RAÚL ANTON, JUAN CARLOS RAMOS AND BAHRAM MOSHFEGH, ‘Experimental study of the turbulent flow around a single wall-mounted cube exposed to a cross-flow and an impinging jet’, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 38 (2012), pp. 50–71
- [8] MENTER FR, (1993), Zonal two-equation k-eps turbulence model for aerodynamic flows. AIAA paper, 93-2906