HAL
open science

Etude de la structure fine d'un écoulement de panache thermique à l'intérieur d'un canal rectangulaire

Taoufik Naffouti, Mahmoud Hammami, Jamil Zinoubi, Rejeb Ben Maad

To cite this version:

Taoufik Naffouti, Mahmoud Hammami, Jamil Zinoubi, Rejeb Ben Maad. Etude de la structure fine d'un écoulement de panache thermique à l'intérieur d'un canal rectangulaire. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00154731

HAL Id: hal-00154731

https://hal.science/hal-00154731v1

Submitted on 29 Aug 2007

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.

ETUDE DE LA STRUCTURE FINE D'UN ECOULEMENT DE PANACHE THERMIQUE A L'INTERIEUR D'UN CANAL RECTANGULAIRE

Taoufik NAFFOUTI[1], Mahmoud HAMMAMI[1], Jamil ZINOUBI[2] et Rejeb BEN MAAD[1*]

[1]Laboratoire d'Energétique et des Transferts Thermique et Massique, Faculté des Sciences de Tunis, Département de Physique, El Manar 2092, Tunis - Tunisie
[2]Institut Préparatoire aux Etudes d'Ingénieurs de Nabeul, Tunisie.
[*] *Rejeb.BenMaad@fst.rnu.tn*

Résumé : On présente dans ce travail une étude expérimentale d'un écoulement de convection naturelle, résultant de l'interaction d'un panache thermique avec un thermosiphon. Le panache est produit par une source rectangulaire chauffée à une température constante et uniforme et placée à l'entrée d'un canal vertical. Les parois internes du canal s'échauffent sous l'effet du rayonnement thermique émis par la source génératrice. La visualisation de l'écoulement et l'exploration du champ thermique nous ont permis de constater l'apparition d'une zone supplémentaire juste au-dessus de la source, en plus des deux zones classiques rencontrées dans le cas d'un panache libre. L'étude des spectres des fluctuations de température a permis de confirmer l'existence des trois zones et de mieux comprendre l'évolution de la taille des tourbillons durant leur ascension dans le canal.

Mots clés : convection naturelle / panache / thermosiphon / tourbillons / densité spectrale.

1. INTRODUCTION

L'interaction d'un panache avec son milieu matériel a fait l'objet de quelques travaux, vue que ce type d'écoulement se rencontre dans différents systèmes thermiques. A.O.M.Mahmoud [2], s'est intéressé à l'étude d'un panache thermique produit par un disque plat chauffé à 300°C et placé à l'entrée d'un cylindre vertical. Il a remarqué en plus des deux zones classiques décrites précédemment, l'existence d'une zone supplémentaire à proximité de la source chaude. Par la suite J.Zinoubi [1] a continué ce travail en étudiant l'influence de l'emplacement de la source par rapport à l'entrée du cylindre. Il a constaté un certain blocage de l'écoulement ascendant dans la partie supérieure du cylindre dû à l'expansion latérale du panache. D'autre part, il a remarqué qu'un choix judicieux de l'emplacement de la source permet une augmentation de l'énergie absorbée par le fluide. Pour simuler le développement d'un panache thermique dans un milieu confiné où les parois verticales interagissent étroitement avec celui-ci, tel que par exemple les incendies dans les cages d'escalier ou d'ascenseur, on va étudier expérimentalement l'évolution d'un panache thermique généré par une source rectangulaire placée à l'entrée d'un canal rectangulaire.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental est constitué d'une source rectangulaire (1) de longueur 42 cm et de largeur 6 cm. La plaque constituant la source est chauffée électriquement à une température uniforme et constante de 300°C. Celle-ci est placée à l'entrée d'un canal vertical (2) de forme parallélépipédique. Ce canal est constitué de deux plaques planes carrées, parallèles en Duralumin de côté 40 cm. Pour fermer le canal, deux plaques rectangulaires en plexiglas (40x15cm) ont été utilisées. Afin de minimiser les perturbations de l'écoulement et permettre au système une alimentation en air frais par le bas, l'ensemble est placé sur un

châssis (3) à une hauteur de 80 cm du sol (figure1). Au cours des expériences, la différence de température, entre le milieu et les bords de la source, reste inférieure à 5°C. Les plaques en Duralumin ont été isolées thermiquement par leur face arrière. Pour éviter toute perturbation de l'écoulement, le dispositif expérimental a été placé dans une salle fermée et indépendante. Les mesures de température et de vitesse de l'air à l'intérieur du canal sont relevées à l'aide d'une sonde à fil chaud à courant constant préalablement étalonnée (4). La sonde est introduite verticalement, par la sortie du canal, de telle sorte que son fil sensible reste constamment perpendiculaire à l'écoulement moyen ascendant évitant ainsi toute perturbation en amont. Un dispositif de déplacement de la sonde suivant trois direction (6) permet d'explorer l'écoulement. Une carte d'acquisition commandée par un micro-ordinateur permet de prélever des mesures instantanées de la température toutes les 15 ms et d'enregistrer les données pour un traitement statistique ultérieur (5, 7,8).

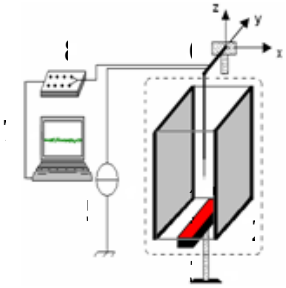

Figure 1 : Dispositif expérimental

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

3.1. Visualisation de l'écoulement

La visualisation de l'écoulement résultant par plan laser nous a permis d'avoir une vue globale sur l'évolution de celui-ci tout au long du canal. Les photos tirées des enregistrements vidéo de la visualisation (figures 2, 3 et 4), montrent que le système ne s'alimente en air frais que par le bas. Le fluide ainsi aspiré de part et d'autre de la source chaude se scinde en trois filets (figure 2). Le premier filet ainsi que son symétrique par rapport au plan médian longitudinal s'acheminent vers la zone centrale de l'écoulement pour former une enveloppe au dessus de la source chaude. Cette enveloppe infranchissable sur les cotés oblige l'air frais provenant du bas du système à s'y introduire par le haut, empêchant momentanément ces filets de continuer leur chemin. Cet air reste piégé, s'échauffe rapidement en contact de la source et remonte sous l'effet des forces de flottabilité sous forme de tourbillons de grandes tailles qui finissent par s'échapper. Notons cependant l'existence d'une certaine alternance entre la formation et l'échappement des tourbillons de part et d'autre du plan médian (figure 4). Le second filet d'alimentation, relativement proche de la paroi du canal, subit au départ une forte attraction de la part du panache avant de remonter le long de celle-ci pour alimenter la couche limite qui s'y développe. La figure 2 montre que ce filet est entièrement influencé par le cycle formation-échappement des tourbillons. En effet, au moment de l'échappement des tourbillons ce filet est repoussé vers la paroi pour continuer son chemin le long de celle-ci. Parallèlement, le filet symétrique subit l'important effet attractif du panache lors de la formation des tourbillons. Le troisième filet, qui joue le rôle d'une source d'approvisionnement au panache et à la couche limite, subit au départ, une interaction plus au moins forte entre le panache et la paroi du canal. Par la suite, ce filet poursuit son chemin directement vers la partie centrale de l'écoulement, pour former un tourbillon qui finit par s'échapper verticalement. La figure 3 montre que l'écoulement ascendant subit une contraction transversale vers une hauteur de 10 cm de la source. Par la suite, il s'élargit pour

occuper toute la partie supérieure du canal où les tourbillons sont de tailles plus petites. Ces constatations nous amènent à rejoindre A.O.M. Mahmoud [2] et Jamil Zinoubi [1], quant à l'existence de trois zones bien distinctes caractérisant l'écoulement à l'intérieur du canal. En effet dans la première zone, nous assistons au développement d'un écoulement fortement influencé par la source. Ce comportement change complètement dans la deuxième zone et l'écoulement devient homogène à partir d'une hauteur proche de 25 cm.

Figure 2 : Filet d'alimentation du système

Figure 3 : contraction de l'écoulement résultant

Figure 4 : Formation et échappement des tourbillons

3.2. Champ thermique moyen

Les réseaux d'isothermes mesurés dans un plan transversal du canal sont représentés sur la figure 5. Ils montrent que l'écoulement résultant évolue suivant trois zones bien distinctes. Une première zone, au dessus de la source chaude ($Z \leq 7$ cm), se caractérise par la formation d'une enveloppe infranchissable où l'air s'échauffe rapidement et atteint des températures relativement importantes avec de forts gradients thermiques traduisant une transformation brutale de l'air frais en panache. Dans l'espace intermédiaire entre la source et les parois verticales du canal, l'air frais domine l'écoulement sauf près des parois où on enregistre une légère hausse de température en raison de l'échauffement de ces dernières par rayonnement thermique de la source. Dans la zone intermédiaire (7 cm $\leq Z \leq 23$ cm), on assiste à une contraction de l'écoulement qui s'accompagne d'une atténuation de la température dans la partie centrale. Dans la troisième zone ($Z \geq 23$ cm), on note une expansion latérale de l'écoulement et l'homogénéisation de la température dans la partie supérieure du canal.

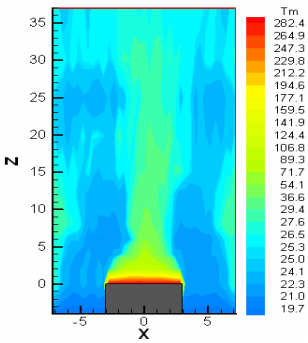

Figure 5 : Réseau des isothermes

3.3. Intensité de turbulence thermique

Les profils de l'intensité de turbulence thermique représentée sur la figure 6, pour cinq sections d'étude ($0.1 \leq Z^* \leq 0.94$), confirme l'existence des trois zones de l'écoulement

signalées précédemment. Pour la zone proche de la source (Z* = 0.1), la figure 6.a montre l'existence d'un minimum sur le plan médian du canal et deux maxima de part et d'autre de celui-ci. Le minimum de l'intensité de turbulence est dû à la forte dominance du panache. Les pics du taux de turbulence, correspondants aux régions de l'écoulement où les gradients thermiques transversaux sont maximaux, sont dus à la forte interaction du panache avec l'air frais d'alimentation. Au voisinage des parois du canal, nous notons des taux de turbulence relativement faibles. Dans la deuxième zone de l'écoulement (Z* = 0.2 et Z* = 0.325), nous constatons que le taux de turbulence augmente dans la zone centrale et au dessus de la source (figure 6.b). L'existence de ce maximum de la turbulence est liée au cycle formation et échappement des tourbillons de l'enveloppe centrale. Dans la troisième zone (Z* = 0.75 et Z* = 0.94), les profils d'intensité de turbulence thermique s'auto-préservent traduisant ainsi l'établissement de la turbulence dans toute la partie supérieure du canal (figure 6.c).

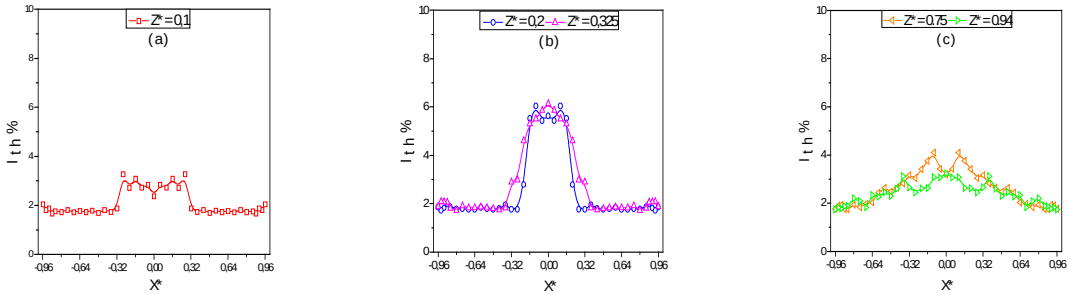

Figure 6 : Evolution transversale de l'intensité de turbulence thermique

3.4. Analyse spectrale des fluctuations de température

En raison de la ressemblance qu'on a constaté entre les spectres de fluctuations de la température dans chaque zone de l'écoulement, on va présenter ceux relatifs aux trois sections d'étude suivantes : Z* = 0.1, Z* = 0.2 et Z* = 0.75. Ces spectres sont présentés pour trois points fixes situés sur le plan médian (X* = 0), au bord de la source (X* = 0.4) et près de la paroi verticale (X* = 0.96), et un point variable correspondant au maximum d'intensité de turbulence thermique ($X^* = X_{I\,max}$). Sur les figures 7.a, b et c, les spectres de fluctuations de température sont représentés dans un système de coordonnées semi-logarithmique. Cette représentation permet la mise en évidence des bandes spectrales contenant une énergie notable, en prenant simplement en considération les aires délimitées par les spectres [3]. L'évolution transversale de ces spectres montre qu'une grande partie de l'énergie se trouve concentrée dans une bande de fréquence assez large comprise entre 1 et 10 Hz. Pour la zone proche de la source (Z* = 0.1), la figure (7.a) montre le glissement de la bande spectrale centrée à 4.6 Hz vers la fréquence 2.3 Hz pour un déplacement des parois du canal vers le plan médian. Ceci traduit que la proportion des tourbillons de grandes structures augmente devant celle des petites structures au fur et à mesure qu'on se rapproche du plan médian. Dans la deuxième zone de l'écoulement (Z* = 0.2), la figure 7.b montre une bande d'énergie spectrale autour de 5 Hz, fréquence tout à fait caractéristique d'un écoulement de transition vers la turbulence [3]. Lorsqu'on s'éloigne de la source génératrice du panache, on constate que la proportion d'énergie correspondant aux structures tourbillonnaires de taille moyenne augmente devant celle des grandes échelles qui prennent naissance à l'entrée du système [4]. Dans la zone supérieure du canal (Z* = 0.75), un glissement général des spectres d'énergie vers les hautes fréquences est constaté (figure 7.c) indiquant ainsi la dominance des petites structures dissipatives où l'écoulement atteint un régime pleinement turbulent [5].

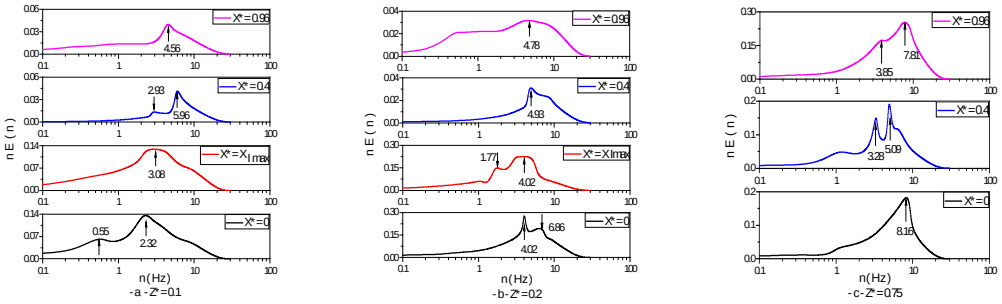

Figure7 : Spectres des fluctuations de température

4. CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude constituent une contribution à la compréhension de la structure fine de l'écoulement résultant de l'interaction d'un panache thermique avec un thermosiphon. La visualisation par plan laser montre que l'écoulement se scinde en trois zones bien distinctes : une première zone d'instabilité située juste au dessus de la source génératrice, une zone intermédiaire de contraction préparant l'écoulement à la turbulence et une troisième zone où l'écoulement devient pleinement turbulent. L'étude des champs thermiques moyen et fluctuant a permis de confirmer la structure à trois zones décrite précédemment. L'analyse spectrale nous a permis de retrouver les trois zones de l'écoulement résultant. En plus, elle nous a permis de constater une évolution de la taille des tourbillons à mesure que nous nous éloignons de la source chaude. En effet, les tourbillons de grosses structures porteurs d'énergie, dépendants des conditions d'entrée, subissent un étirement dans le sens de l'écoulement ascendant et donnent naissance à des tourbillons de structures moyennes. Au cours de leur progression, ces derniers produisent des tourbillons de taille plus faible. Cette évolution s'accompagne d'un transfert d'énergie vers des tourbillons de plus en plus petits jusqu'à ce que les forces visqueuses dominent l'écoulement.

Nomenclature

I_t	intensité de turbulence thermique,	n	fréquence, *Hz*,
n E (n)	densité spectrale d'énergie, unité arbitraire,	X*	longueur adimensionnelle,
Z*	hauteur adimensionnelle,	(x, y, z)	coordonnées cartésiennes,

References

[1] J.Zinoubi R. B. Maad, A. Belghith, Influence of the vertical source-cylinder spacing on the interaction of thermal plume with a thermosiphon flow: an experimental study, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 28, pp 329-336, 2004.

[2] A.O.M. Mahmoud, R. B. Maad, A. Belghith, Interaction d'un écoulement de thermosiphon avec un panache thermique à symétrie axiale : étude expérimentale, *Rev. Gén. Therm*. 37, pp 385-396,1998.

[3] Agator J.-M, Doan K.S., Turbulent structure of axisymetric thermal plume, *Mech. Rec. Commun*. pp 159-164, 1982.

[4] J. C. Elicer-Cortés, R. Contreras, D. Boyer, M. Pavageau and R. H. Hernández, Temperature spectra from a turbulent thermal plume by ultrasound scattering , *Experimental thermal and fluid science*, Volume 28, Issue 8, pp 803-813, 2003.

[5] Jamil Zinoubi, A. Ould Mohamed Mahmoud, Taoufik Naffouti, Rejeb Ben Maad, and Ali Belghith, Study of the Flow Structure of A Thermal Plume Evolvingin an Unlimited and in A Semi-Enclosed Environment, *American Journal of Applied Sciences* 3 (1): pp 1690-1697, 2006.