

ETUDE NUMERIQUE DE LA STRUCTURE D'UN PANACHE THERMIQUE DANS UN MILIEU CONFINE : EFFET DE LA POSITION DE LA SOURCE

B. JOUINI^{1*} ; M. BOUTERRA¹ ; A. EL CAFSI¹ ; A. BELGHITH¹

¹LETTM, Faculté Sciences de Tunis Campus Universitaire 1060 Tunis TUNISIE.

* belgacem_jouini@yahoo.fr

Résumé-Dans ce travail nous proposons d'étudier numériquement, moyennant un logiciel du calcul FDS, un panache thermique issu d'une source situé à l'entrée d'un canal. L'objectif, est d'une part, d'étudier la structure de panache thermique confiné dans un canal vertical, en le comparant avec le panache libre, ainsi que l'effet de la position de la source du panache par rapport à l'entrée du canal. D'autre part, de déterminer la hauteur de la zone d'instabilité située au dessus de la source, ainsi que l'effet de la position de la source sur la hauteur de cette zone

Mots clés : FDS, panache thermique, source chaude, fréquence d'échappement.

Nomenclature

U_j : la composante de la vitesse locale, m/s

U : la vitesse locale, m/s

$U_{ref} = (g\beta(T_s - T_a)d)^{1/2}$, m/s

$U^* = U/U_{ref}$: la vitesse adimensionnelle

p : la pression, Pa

T : la température moyenne locale, °C

T_s : la température de la source, °C

T_a : la température ambiante, °C

$T^* = (T - T_a) / (T_s - T_a)$: température moyenne adimensionnelle

g : Accélération de pesanteur, m/s²

F : Fréquence d'échappement, Hz

d : largeur de la source, m

D : largeur du canal, m

L : hauteur du canal, m

$Gr = (g\beta(T_s - T_a)d^4) / Lv^2$: nombre de Grashof

$St = (F * L) / V_{moy}$: nombre de Strouhal

V_{moy} : vitesse moyenne locale, m/s

Z^* : coordonnée verticale adimensionnelle

X^* : coordonnée horizontale adimensionnelle

β : coefficient de dilatation thermique du fluide, K⁻¹

ρ : masse volumique, Kg/m³

ν : la viscosité cinématique, m²/s

k : diffusivité thermique, m²/s

1. Introduction

De nombreux facteurs tels que l'augmentation du prix des énergies fossiles et les différents problèmes environnementaux (réchauffement de la planète) induisent un attrait croissant des usagers pour les énergies renouvelables. Dans le domaine de l'habitat, l'application la plus répandue est la chauffe eau solaire fonctionnant avec des capteurs plans du fait de sa simplicité et de son faible coût. Il faut donc stocker la chaleur afin de continuer à chauffer le bâtiment lorsque le soleil ne brille plus et la rediriger vers les zones qui n'en bénéficient pas grâce à la thermocirculation (mouvement naturel de l'air chaud qui monte) ou des ventilateurs.

Ces systèmes, développés par Trombe, peuvent assurer le chauffage des locaux d'habitation en disposant un mur en maçonnerie lourde orienté vers le sud derrière un vitrage et muni de deux orifices [1]. J. Bezian et G. Arnaud [2] ont utilisé un système qui proche du mur trompe à la différence près qu'ils ont disposé des sections remplies d'eau à l'intérieur du mur capteur. Et on utilisant une autre configuration Melih Tan [3], on fait une étude qui a pour but la récupération de l'énergie solaire par un capteur orienté vers le sud est transférée dans un capteur nord. Cette énergie n'est pas utilisée pour chauffer directement l'espace intérieur mais pour réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur. Une des solutions proposées

pour remédier à ces inconvénients est d'exploiter de l'interaction panache thermosiphon. Ce dernier a été largement étudié pour la configuration axisymétrique [4,5] ainsi que la configuration cartésienne [6]. La performance de ces systèmes dépend de plusieurs paramètres tels que le débit d'écoulement, le flux de solaire reçu ainsi que les paramètres géométriques qui sont bien étudié pour des configurations cylindriques [7].

R. Ben Maad [8] a étudié expérimentalement et numériquement l'effet d'une grille chauffée, placée à l'entrée d'un canal vertical. Il s'est intéressé à son influence sur la structure de l'écoulement. Il a trouvé une instabilité des champs thermique et dynamique à l'entrée du canal et une intensification du coefficient moyen de transfert. A. Gammoudi et al. [9] ont travaillé sur l'amélioration de l'efficacité d'un système passif de captage de l'énergie solaire en simulant le problème au laboratoire par l'étude d'un panache thermique généré par une source de chaleur rectangulaire placée à l'entrée d'un canal vertical à parois chauffées. Ils ont montré également que l'augmentation de la température de la source permet d'améliorer le débit d'air à l'intérieur du système. T. Naffouti et al. [10] ont étudié expérimentalement la structure fine d'un écoulement qui résulte de l'interaction d'un panache thermique avec un thermosiphon dans un canal vertical. Ils ont montré que cet écoulement est formé de trois zones distinctes qui sont semblables.

B. Jouini et al. [11] ont fait une étude numérique de l'effet de la position d'une source d'un panache thermique ($T_s=300^\circ\text{C}$) par rapport à l'entrée d'un canal vertical. Cette étude est basée la méthode des volumes finis en utilisant le model **k-ε standard**. Ils ont trouvé un bon accord avec les résultats expérimentaux de A. Gammoudi et al. [9]. Ils ont constaté, aussi, que la taille de la zone de recirculation dépend de la position verticale de la source par rapport à l'entrée du canal. D'où, ils ont prouvé que la taille de cette zone augmente avec h (l'espacement source-canal).

Dans ce travail nous avons étudié numériquement, en utilisant un logiciel de calcul **FDS**, un panache thermique mis à l'entrée d'un canal vertical. Nous avons déterminé la fréquence d'échappement des rouleaux tourbillonnaire formées au dessus de la source. Ainsi que, l'effet de l'espacement source-canal sur la fréquence d'échappement en cherchant une corrélation entre le nombre Grashof et le nombre de Strouhal.

2. Configuration géométrique et modélisation numérique

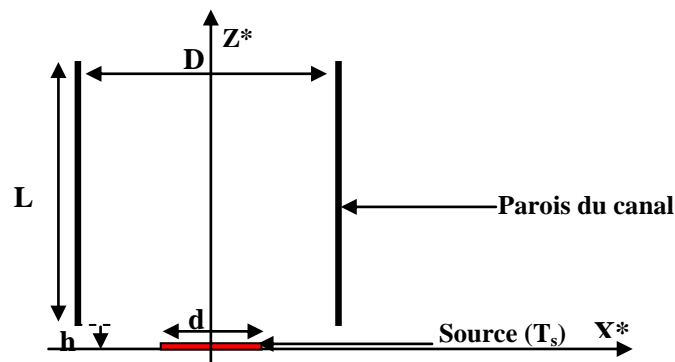


Figure 1 : configuration géométrique

Dans notre travail on va utiliser les grandeurs suivantes :

- La largeur de la source thermique $d = 6\text{cm}$; cette source est placée horizontalement à l'entrée du canal et elle permet de générer un panache.

- Le canal est formé de deux plaques distantes de $D = 15\text{cm}$ et de côté $L = 50\text{cm}$. les parois internes des plaques du canal sont chauffées uniformément à une température de 20°C .
- L'espacement source canal h .
- L'entrée et la sortie du canal sont mises à pression atmosphérique et à la température ambiante $T_a = 20^\circ\text{C}$ (initialement).

Dans notre travail on a utilisé un logiciel commercial **FDS**, qui utilise, pour la résolution des équations de Navier-Stokes, la méthode des grandes échelles (**LES**). Ce modèle est basé sur l'utilisation des équations moyennées dans le temps après l'application de la décomposition de Reynolds.

$$U_i = (\overline{U}_i + U'_i) \text{ and } p = (\overline{p} + p')$$

Le système des équations Navier-Stokes moyennées est :

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial t} + \frac{\partial \overline{U}_i \overline{U}_j}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U'_i U'_j}}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 \overline{U}_i}{\partial x_j^2} \right)$$

Les équations moyennées, après avoir effectué la décomposition de Reynolds, montrent en plus des contraintes visqueuses, la contrainte de la turbulence turbulent ($-\overline{U'_i U'_j}$). Ce terme est appelé les tensions de Reynolds.

$$(\tau_{ij} = \overline{U'_i U'_j})$$

En appliquant l'hypothèse de Boussinesq :

$$(-\overline{U'_i U'_j}) = \nu_t \left(\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$$

Les équations de Navier-Stokes seront :

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial t} + \frac{\partial \overline{U}_i \overline{U}_j}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p^*}{\partial x_i} + (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial^2 \overline{U}_i}{\partial x_j^2} \right) + \nu_t \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \overline{U}_j}{\partial x_i} \right)$$

$$p^* = \overline{p} + \frac{2}{3} \rho \overline{k}$$

L'équation d'énergie est la suivante :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial U_j T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right)$$

3. Résultats et discussions

3.1. Aspect thermique

La structure du panache à l'intérieur du canal est sensible à toute variation des paramètres de la configuration. Le paramètre, qu'on va l'intéresser dans ce travail, est la position de la source du panache thermique par rapport à l'entrée du canal ou ce qu'on appelle l'espacement source canal. La figure 2 nous montre les isovaleurs de la température pour les différents cas étudié.

La figure 2 montre que le gradient de température devient plus important en diminuant la distance entre la source et l'entrée du canal. La température, à l'intérieur du canal, devienne plus importante en mettant la source dans le canal.

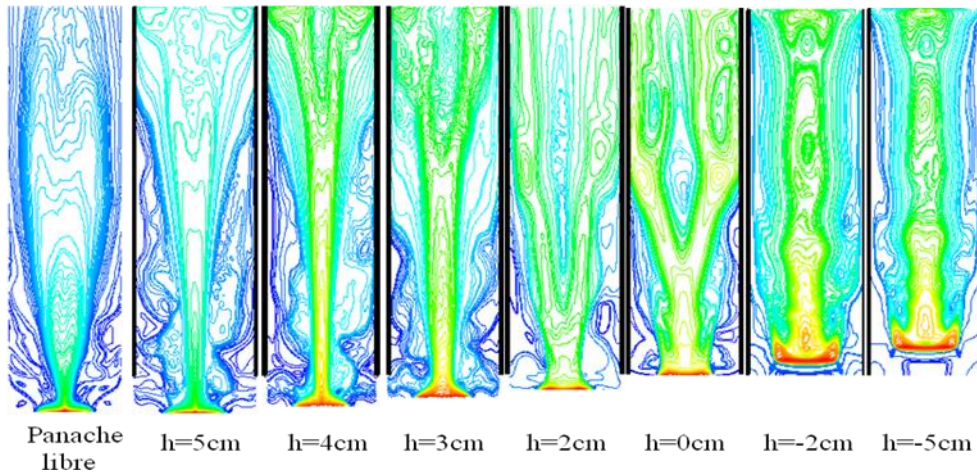


Figure 2 : Champ thermique

Il est clair, aussi, l'apparition de trois zones habituelles du panache confiné [4, 5, 6, 7, 9, 10]. La première zone est, près de source, la zone d'instabilité où on a le gradient la plus important de la température. La deuxième zone, dans la partie centrale du canal, est la zone de développement du panache. La troisième zone, dans la partie supérieure du canal, zone de turbulence où le panache devient plus homogène.

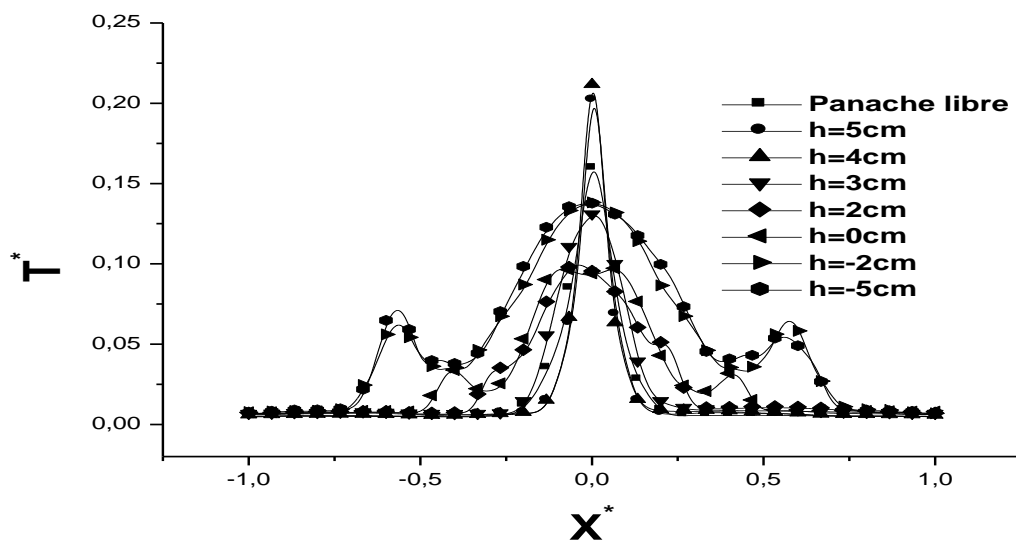


Figure 3 : Evolution longitudinale de la Température moyenne pour $Z^*=0.1$

L'augmentation de l'espacement source-canal h aide à l'atténuation de la première zone et, à partir de $h=4\text{cm}$, nous remarquons l'absence de cette zone. D'où le champ thermique montre que le panache confiné dans le canal devient semblable au panache libre à partir d'un espacement $h=4\text{cm}$.

La figure 3 montre les profils longitudinaux de la température pour $Z^*=0.1$. Ces profils montrent que le confinement aide à la propagation et le développement du panache, d'où on remarque que le gradient de la température devient plus important avec la diminution de h . Le profil gaussien du panache libre apparaît à partir d'une valeur de $h=4\text{cm}$. D'où on peut constater que l'absence de la première zone est assurée pour $h \geq 4$.

3.2. Aspect dynamique

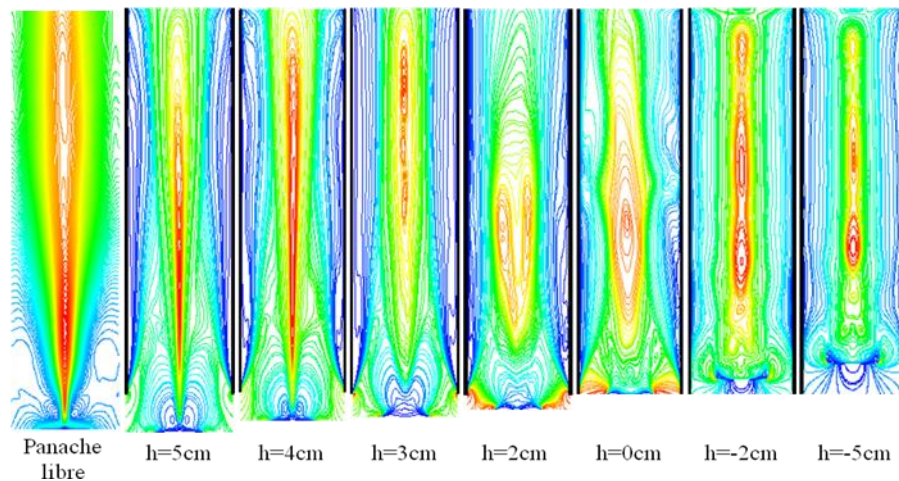
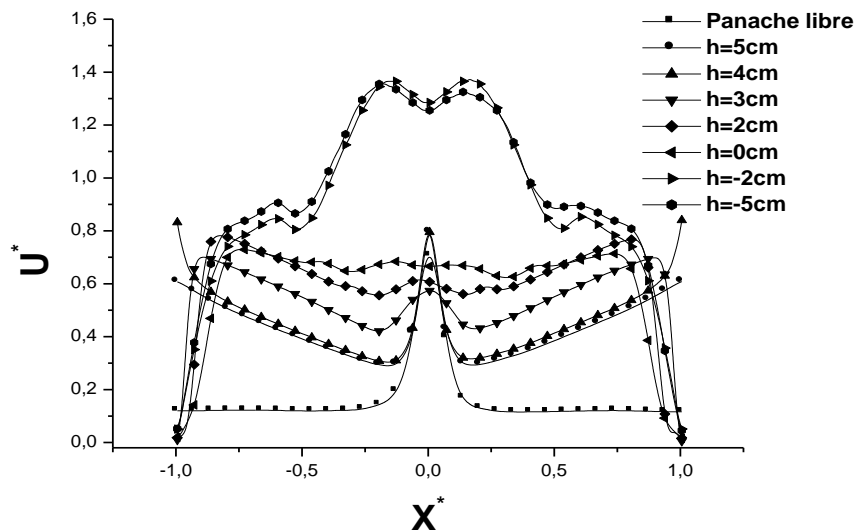


Figure 4 : Champ dynamique

Les isovaleurs du champ dynamique (figure 4) montrent ce qu'on a déduit précédemment. Il est clair que le panache confiné dans un canal est semblable au panache libre à partir d'un espacement source-canal $h=4\text{cm}$. Pour les valeurs négatives de h , on remarque la vitesse est plus intense dans la partie centrale du canal et elle reste avec cette intensité importante jusqu'à la sortie du canal. Alors que pour les autres valeurs de h , la vitesse devient plus homogène à la sortie du canal. Donc l'augmentation de l'espacement source canal aide à l'homogénéisation de l'écoulement dans la partie supérieure du canal.



La figure 5 : Evolution longitudinale de la vitesse moyenne pour $Z^*=0.1$

La figure 5 représente l'évolution longitudinale de la vitesse moyenne pour $Z^*=0.1$, cette figure montre que la vitesse devient plus importante lorsque la source entre dans le canal à partir de sa partie inférieure ($h \leq 0$).

Les profils de la vitesse montrent que le panache confiné devient semblable à un panache libre pour les espacements supérieurs ou égaux à 4 cm, d'où la présence de profil gaussienne.

3.3. Hauteur de la zone d'instabilité (première zone)

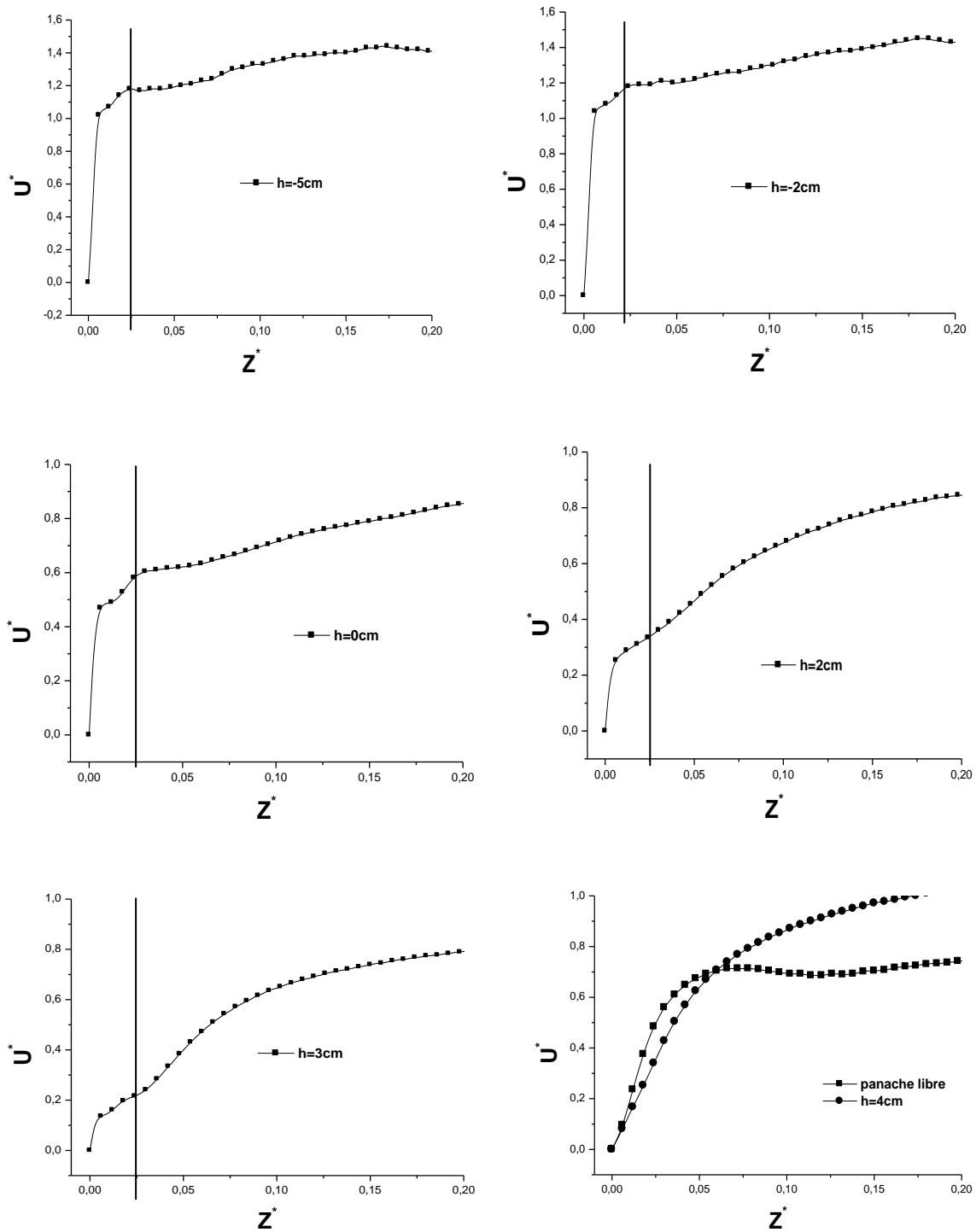


Figure 6 : Evolution axiale de la vitesse moyenne

Pour déterminer la hauteur de la première zone du panache confiné nous avons tracé les profils verticaux de la température moyenne et de la vitesse.

La figure 6 montre l'évolution axiale de la vitesse moyenne. Cette figure montre bien que pour $h=4\text{cm}$ le panache thermique admet la même structure d'un panache libre. Il est clair aussi que le confinement du panache lui permet de plus développé en ascendant avec l'axe Z^* .

Ces profils nous montrent, aussi, que l'apparition de la zone d'instabilité dépend de la position de la source par rapport au canal (h) mais sa hauteur est invariable. La zone d'instabilité, dès qu'elle apparaisse, a la même hauteur quelque soit l'espacement source canal.

4. Conclusion

Dans ce travail, nous avons fait la comparaison de la structure d'un panache thermique confiné dans un canal vertical avec celle d'un panache libre et nous avons déterminé l'effet de l'espacement source canal h sur la structure du panache confiné. Nous avons trouvé que le panache confiné admet la même structure d'un panache pour les espacements $h \geq 4\text{cm}$. Nous avons conclu aussi que le confinement du panache aide à se développer. Dans la dernière partie, nous avons constaté que la hauteur de la zone d'instabilité est indépendante de l'espacement source-canal h mais leur présence dans la structure du panache dépend de h .

Références

- [1] W. Chen and W. Lui, Numerical analysis transfers in a composite wall solar-collector system with a porous absorber, *Applied Energy* 78 (2004) 137-149.
- [2] J. J. Beziau and G. Arnaud, Application de la convection naturelle en cavité inclinée au chauffage solaire passif, *Séminaire sur l'énergie solaire*, Canne: 1982.
- [3] M. Tan, opposite sunspaces passive solar air heating system, *Solar Energy* 60, (1997) 127-134.
- [4] A. O. M. Mahmoud ; R Ben Maad et A. Belghith, interaction d'un écoulement de thermosiphon avec un panache thermique à symétrie axiale : étude expérimentale, *Rev. Gen. Therm.* 37 (1983) 385-396.
- [5] J. Zinoubi, R. Ben Maad et A. Belghith, Experimental study of the resulting flow of plume thermosiphon interaction: application to chimney problems, *Applied Thermal Engineering* 25 (2005) 533-544.
- [6] R. Ben Maad, Etude d'un écoulement de convection naturelle dans un canal vertical chauffé, *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Tunis II- Faculté des Sciences de Tunis 1995.
- [7] A. O. M. Mahmoud, J. Zinoubi et R. Ben Maad, Study of hot air generator with quasi-uniform temperature using concentrated solar radiation: influence of the shape parameters, *Renouvelable Energy* 32 (2007) 351-364.
- [8] R. Ben Maad et A. Belghith, The use of grid-generated turbulence to improve heat transfer impossible solar systems, *Renouvelable Energy* vol 2, N°3 pp: 333-336; Printed in great Britain (1992).
- [9] Gammoudi, A., Zinoubi, J., M., and Maad, R. B., Experimental study of a thermal plume evolving in a vertical heated channel: influence of the temperature of the plume source, *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 288–296, 2010.
- [10] Taoufik Naffouti; Jamil Zinoubi et Rejeb Ben Maad, Experimental characterization of a free thermal plume and in interaction with its material environment, *Applied Thermal Engineering* 30 1632-1643 (2010)
- [11] Belgacem Jouini, Mourad Bouterra, Olivier Vauquelin, Afif El Cafsi, Ali Belghith, Thermal Plume in a Vertical Channel: Effect of the Source–Channel Vertical Spacing, *Heat Transfer Research*, 2011, Vol. 42, No. 6 pp: 557-569.