

## ETUDE NUMERIQUE DE LA STRUCTURE D'UN PANACHE THERMIQUE DANS UN CANAL VERTICAL

B. JOUINI<sup>1</sup> ; M. BOUTERRA<sup>1\*</sup> ; O. VAUQUELIN<sup>2</sup> ; A. EL CAFSI<sup>1</sup> ;  
A. BELGHITH<sup>1</sup> ; P. BOURNOT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LETTM, Faculté Sciences de Tunis Campus Universitaire 1060 Tunis TUNISIE.

<sup>2</sup>IUSTI, UMR CNRS 6595, Technopôle de château Gombert, Marseille.

\*mourad.bouterra@fst.rnu.tn

### RESUME

Le travail que nous présentons dans ce papier est une contribution à l'étude de la structure d'un écoulement de panache thermique bidimensionnel se développant dans un canal vertical. Nous proposons une simulation numérique se basant sur un code CFD Fluent de la convection thermique induite par une source de chaleur interne placée à l'entrée d'un canal vertical à parois chauffées. L'étude des champs thermique et dynamique moyens à l'entrée et à la sortie du canal ont été effectuées pour plusieurs valeurs de la température de la source et la hauteur du canal. Les résultats numériques ainsi obtenus, présentant une bonne concordance avec les résultats expérimentaux de la littérature.

**Mots clés :** CFD Fluent, panache thermique, source chaude, canal vertical.

### NOMENCLATURE

$T_s$ Température de la source (K)	$d$ Largeur de la source (m)
$T_p$ Température des parois (K)	$H$ L'espacement source-canal
$T_a$ Température ambiante (K)	$V_z$ Vitesse verticale (m/s)
$L$ Hauteur du canal (m)	$Q_s$ Débit surfacique (m <sup>2</sup> /s)
$D$ Largeur du canal (m)	$P_{ab}$ Puissance absorbée (w/m)

### 1. INTRODUCTION

Afin de profiter de la chaleur et de la lumière du soleil, il faut aménager les bâtiments en fonction des apports solaires. Le principe du chauffage solaire passif est assuré par des ouvertures vitrées adéquates orientées vers le soleil et une isolation convenable pour éviter les risques de déperditions calorifiques. Il faut aussi 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. J. Bezian et G. Arnaud [2] ont conçu un système assez proche du mur trombe à la différence près qu'ils ont disposé des sections remplies d'eau à l'intérieur du mur capteur. Pour une autre configuration étudiée par Melih Tan [3], l'énergie solaire récupérée dans un capteur orienté vers le sud est transférée dans un capteur nord. Ce système n'est pas utilisé pour chauffer directement l'espace intérieur mais pour réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur. En plus, de tels systèmes ne permettent pas toujours d'avoir des températures et des vitesses de sortie convenables aux applications désirées. Pour remédier à cela, certains utilisateurs font appel à des systèmes d'appoint, généralement intégrés à la sortie des dispositifs considérés. 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 [6,7]. La performance de ces systèmes dépend de plusieurs paramètres tels que le débit d'écoulement, le flux solaire

reçu...ainsi que les paramètres géométriques qui sont bien étudié pour la configuration cylindrique par Zinoubi et al. [8].

Il nous est donc apparu nécessaire de développer, d'une part, l'étude de l'interaction de panache thermique avec un écoulement de thermosiphon, ce qui permettra de mieux comprendre et de préciser les caractéristiques de l'écoulement résultant de cette interaction. D'étudier, d'autre part, l'effet de la hauteur du canal sur la structure de l'écoulement.

## 2. CONFIGURATION GEOMETRIQUE

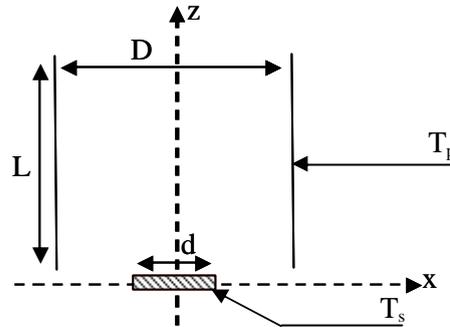


Figure 1 : configuration géométrique

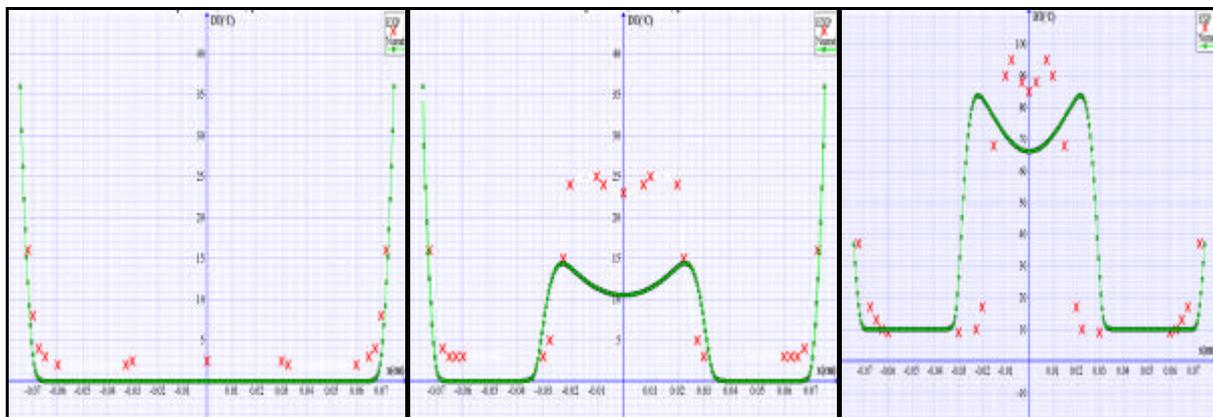
Dans notre travail on va utiliser les grandeurs suivantes :

- 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  $L$ . les parois internes des plaques du canal sont chauffées uniformément à une température de  $329\text{K}$ .
- L'espace source canal  $h = 0$ .
- L'entrée et la sortie du canal sont mises à pression atmosphérique et à la température ambiante  $T_a = 293\text{K}$  (initialement).

## 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1. Confrontation expérience numérique

Dans cette partie on a comparé les résultats trouvés numériquement, en utilisant un code CFD Fluent, aux résultats trouvés par Gammoudi et al. [7]. Pour ce faire, on a représenté les profils de la température et pour  $Z = 4\text{ cm}$  et pour trois températures de la source ( $T_s = T_a$  ;  $370\text{K}$  et  $573\text{K}$ ).



a.  $T_s = 293\text{K}$

b.  $T_s = 370\text{K}$

c.  $T_s = 573\text{K}$

Figure 2 : Profil de la température moyenne de l'écoulement du panache à  $Z=4\text{cm}$

On remarque que le gradient de température augmente avec l'augmentation de température de la source. Entre la source et les parois internes du canal c'est l'air frais qui domine. Pour une température de la source qui est égale 370K ou 573K, on remarque que les profils de la température admettent deux maxima qui sont symétriques par rapport au plan médian du canal et ils ont situé aux niveaux de deux bores de la source et un minimum sur l'axe de symétrie. La différence entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques observées peut être due à l'effet du rayonnement.

Pour des intensités croissantes de la température de la source, l'étude a montré que l'aspiration d'air est très forte et qu'à la sortie, l'écoulement devient de plus en plus homogène. Les résultats obtenus par la simulation numérique, moyennant le code Fluent, sont en bon accord avec les résultats expérimentaux.

### 3.2. Effet de la variation de la hauteur du canal

La température de la source est fixée à 573K dans la deuxième partie. Le seul paramètre mis en jeu est la hauteur du canal  $L$ . Quatre valeurs de  $L$  ont été prises pour l'étude de la variation de la structure en fonction de  $L$  ( $L = 20, 30, 40$  et  $50$ cm).

#### 3.2.1. Etude thermique

La figure 3 représente les isovaleurs de la température pour différentes hauteurs du canal (20 ; 30 ; 40 et 50 cm). En augmentant  $L$ , la température devient plus homogène dans la partie supérieure du canal. On constate également que la zone où on a une dominance d'air frais augmente avec l'augmentation de  $L$ . Pour étudier l'effet de la variation de  $L$  sur le gradient de température au dessus de la source, on a tracé les profils de la température à  $z = 4$ cm pour les différentes valeurs de  $L$  (figure 4).

D'après les profils de la température, on peut dire que le gradient de température du fluide à l'intérieur du canal augmente avec la diminution de la hauteur du canal. On remarque également que la valeur de la température est importante pour des valeurs décroissantes de  $L$ . La valeur minimale sur le plan médian augmente avec la diminution de  $L$  jusqu'à leur disparition pour  $L = 20$  cm. On peut conclure que quantité de l'air frais, qui se dirige vers la source, diminue avec la diminution de la hauteur du canal  $L$ .

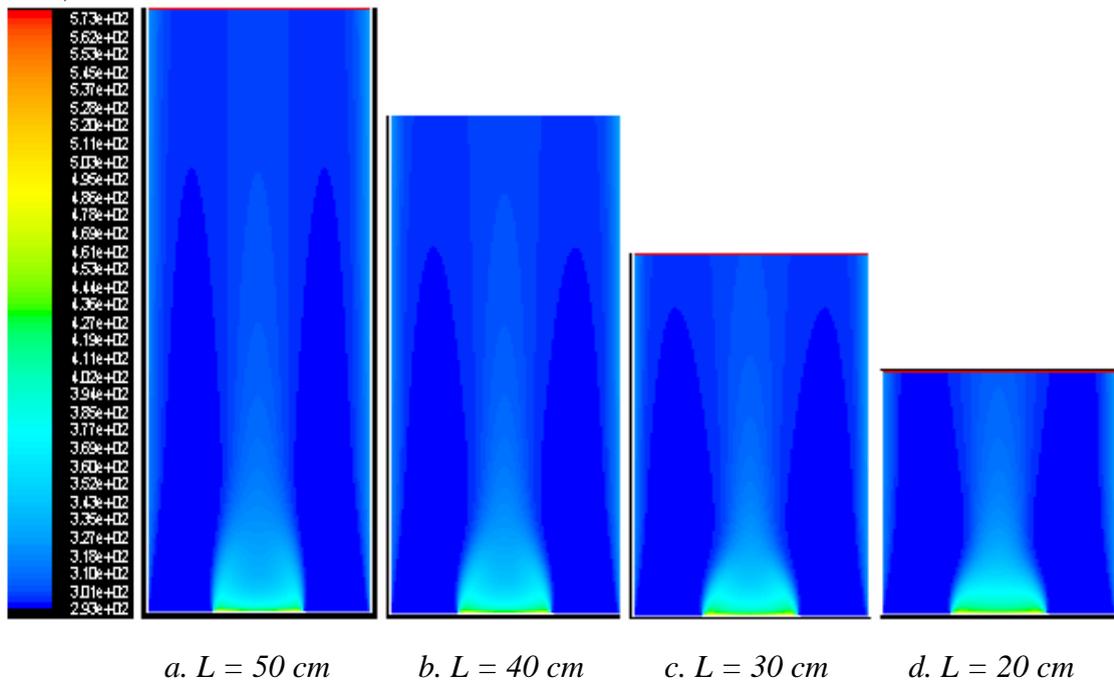


Figure 3 : Les isovaleurs de la température pour différentes  $L$

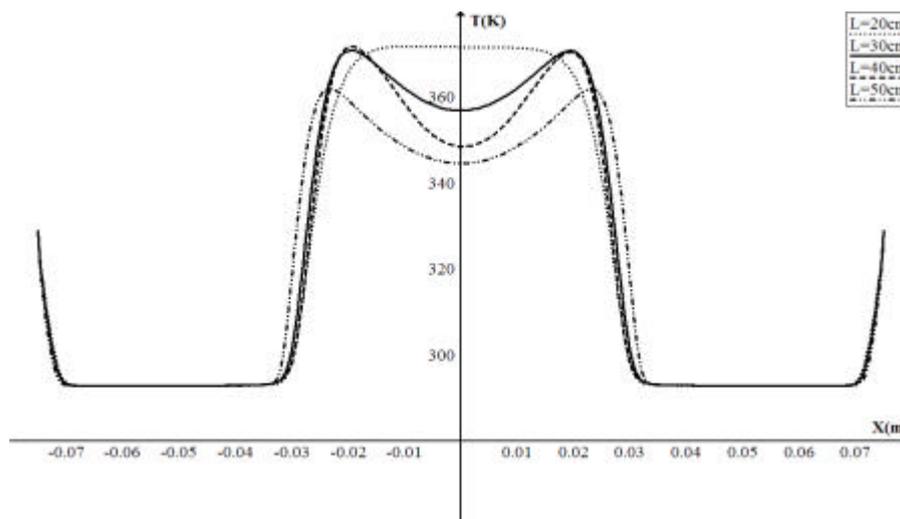


Figure 4 : Profils de la température en fonction de L pour  $z = 4\text{cm}$

### 3.2.2. Etude dynamique

La figure 5 montre les isovaleurs de la composante verticale de la vitesse pour différentes L. Ces isovaleurs nous montrent que la vitesse devient plus homogène avec l'augmentation de L, dans la partie supérieure du canal. On remarque également que la taille de la zone de recirculation, juste au dessus de la source, augmente avec l'augmentation de L.

La figure 6 montre les profils de la composante verticale de la vitesse pour  $z = 4\text{cm}$  à différentes valeurs de L. Ces profils nous montrent que la vitesse de l'écoulement entrant dans le canal augmente avec l'augmentation de la hauteur du canal.

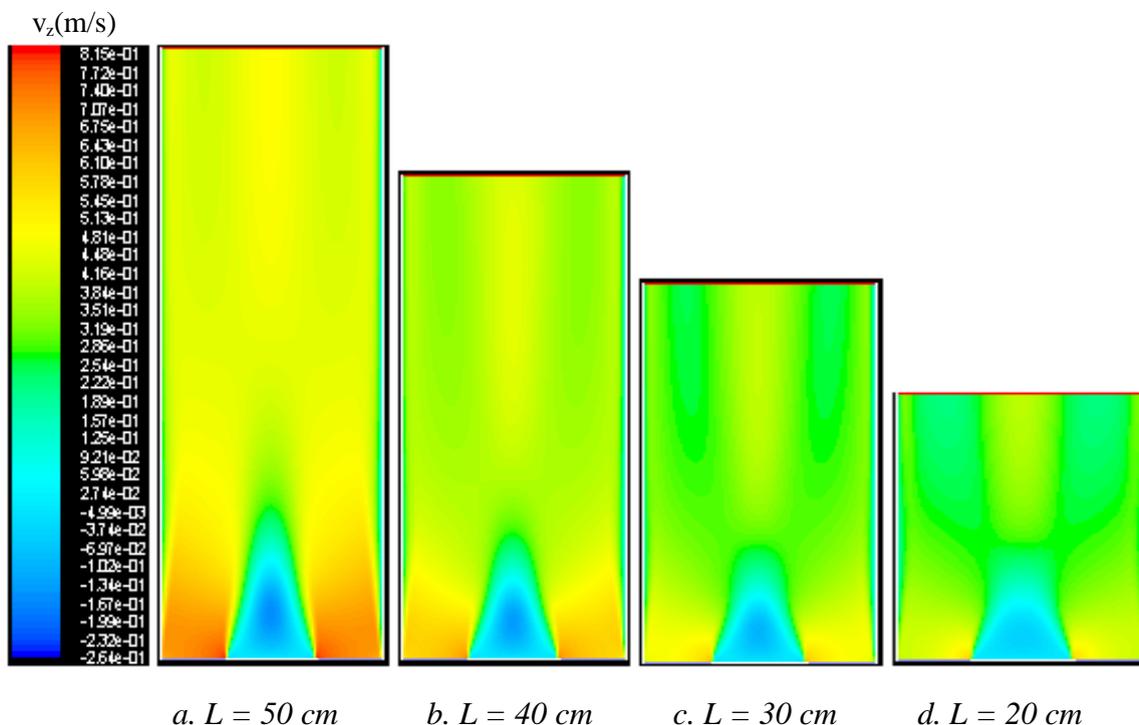


Figure 5 : Les isovaleurs de la composante verticale de la vitesse pour différentes

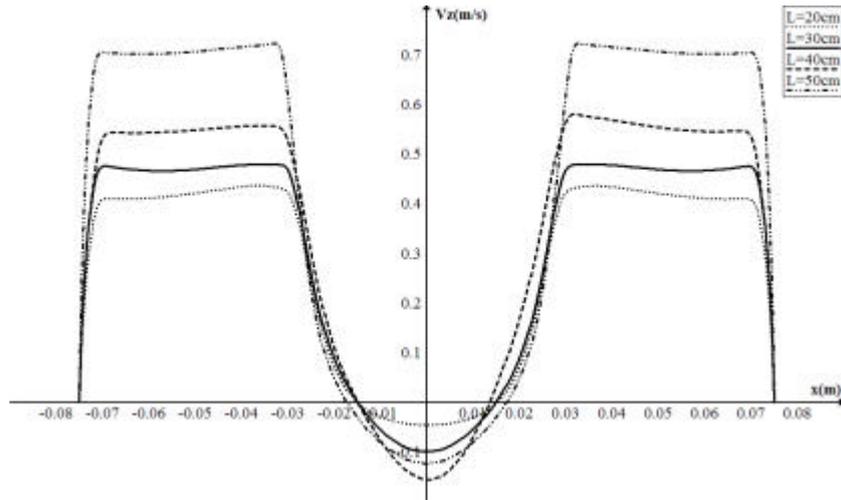


Figure 6 : Profil de la composante verticale de la vitesse pour différentes hauteurs L et pour z = 4cm

Pour déterminer l'effet de la hauteur du canal sur la taille de la zone de recirculation (figure 7), on a représenté le profil de la composante la composante verticale de la vitesse sur l'axe de symétrie (figure 8). La hauteur de la zone de recirculation est définie par H représentant la position de z pour laquelle la vitesse verticale est nulle.

Pour quantifier les résultats trouvés, on a calculé le débit sortant et la puissance absorbée en utilisant respectivement le deux relations suivantes :

$$Q_s = V_{\text{moy}} D \quad \text{et} \quad P_{\text{ab}} = ? C_p Q_s ? T$$

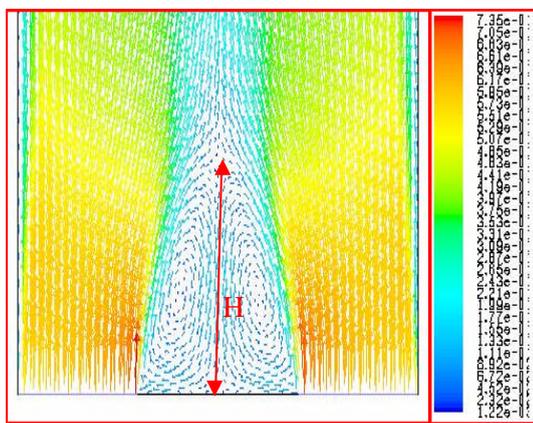


Figure 7 : Zone de recirculation

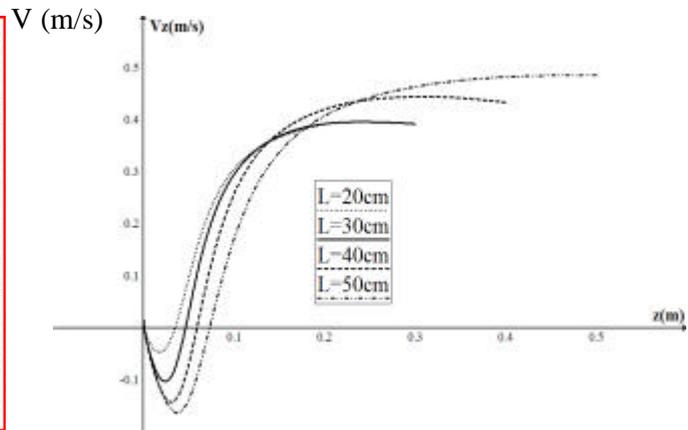


Figure 8 : Variation de la composante verticale de la vitesse en fonction de z sur le plan médian pour différentes hauteurs H

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 1 suivant :

<b>L (cm)</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
<b>Q<sub>s</sub> (m<sup>2</sup>/s)</b>	41.04 10 <sup>-3</sup>	45.52 10 <sup>-3</sup>	55.00 10 <sup>-3</sup>	64.77 10 <sup>-3</sup>
<b>P<sub>ab</sub> (w/m)</b>	336.54	397.47	490.87	578.85
<b>H (cm)</b>	3.5	4.6	6	7.2

Tableau 1

On constate que le débit sortant et la puissance absorbée augmentent avec l'augmentation de L. La hauteur de la zone de recirculation augmente avec l'augmentation de manière affine avec l'augmentation de la hauteur du canal (avec une  $L = 10\text{cm}$  H est à peu près la même).

#### 4. CONCLUSION

Les résultats numériques trouvés dans la première partie présentent une bonne concordance avec les résultats de l'expérience. La deuxième partie de cette étude nous a permis de conclure que la structure du panache dépend de la hauteur du canal. En augmentant la hauteur L, les résultats ont montré que la puissance absorbée et la hauteur de la zone de recirculation augmentent.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. W. CHEN and W. LUI, Numerical analyses transfer in a composite wall solar-collector system with a porous absorber, Applied Energy 78, 2004 pp 137-149.
2. J. J. Bezian and G. Arnaud, Application de la convection naturelle en cavité inclinée au chauffage solaire passif, In : 1982.
3. M. Tan, Opposite sunspaces passive solar air heating system, Solar Energy 60, 1997 pp 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, pp 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, pp 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. Gammoudi, A. Arfaoui, M. Hammami, R. Ben Maad, Amélioration de l'efficacité d'un système passif de captage de l'énergie solaire en exploitant l'effet panache thermosiphon, 12<sup>èmes</sup> Journées Internationales de Thermiques, Maroc 2005.
8. 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, Renewable Energy 32, 2007, pp 351-364.