

Etude numérique tridimensionnelle de la structure d'un panache thermique : Effet de mode d'entraînement

Belgacem JOUINI¹ ; Mourad BOUTERRA^{1*} ; Olivier VAUQUELIN² ; Afif EL CAFSI¹ ; Ali BELGHITH¹ ; Philippe BOURNOT²

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

²IUSTI, UMR CNRS 6595, Technopôle de château Gombert, Marseille.

Résumé- L'objectif de cette étude est de mettre en évidence, par la simulation numérique tridimensionnelle moyennant le code Fluent, les effets du mode d'entraînement de l'air sur le développement du panache thermique. Il s'agit de simuler l'expérience réalisée par Mahmoud et al. (2008) qui consiste à étudier et comparer la structure des panaches issus de deux sources chaudes situées au niveau et à une altitude h du sol.

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

Nomenclature

T_s : température de la source	U^* : vitesse moyenne local
D : diamètre de la source	T^* : température moyenne locale
r : coordonnée radiale	U_{max} : vitesse maximale axiale
$R=2 r/D$: coordonnée radiale adimensionnelle	$U=U^*/ U_{max}$: vitesse adimensionnelle
z : coordonnée verticale	T_a : température ambiante
$Z=z/L'$: coordonnée verticale adimensionnelle	$T=(T^*-T_a)/(T_s- T_a)$: température adimensionnelle
	L' : l'hauteur du panache

1. Introduction

Les écoulements types thermosiphons peuvent être définis comme des systèmes de circulation de fluide où l'écoulement est canalisé entre parois de telle sorte qu'on crée une différence de pression motrice, due à l'effet cumulatif des poussées d'Archimède sur le fluide confiné. Dans de telles configurations, l'effet de thermosiphon apparaît prédominant, l'écoulement possédant localement des propriétés voisines de celles d'un écoulement de convection forcée.

L'étude théorique et expérimentale des panaches thermiques a fait l'objet de nombreux travaux. Commençons par les travaux précurseurs de Schmidt (1941) [1] qui ont été repris et complétés par Batchelor (1954) [2] et Morton et al. (1956) [3] qui proposèrent des solutions auto-semblables applicables à des panaches axisymétriques ou bidimensionnels. En adoptant l'hypothèse de Boussinesq, les solutions ont été obtenues, en supposant que les profils de vitesse et de température sont auto-semblables et que le taux d'entraînement de l'air ambiant est proportionnel à la vitesse maximale pour la hauteur considérée. De plus la source est supposée ponctuelle. Morton (1959) [4] et Lee et Emmons (1962) [5] ont étendu ces travaux au cas des sources de dimensions finies. Les auteurs ont montré que le panache pouvait être décrit par des solutions proposées par Batchelor (1954) [2], à condition de tenir compte d'une origine virtuelle de l'écoulement. Les études de Lee et Emmons (1962) [5] ont montré que le comportement de la zone d'établissement est étroitement lié à la valeur du nombre de Froude initial. La zone d'établissement a été mise en évidence expérimentalement (Lee et Emmons

(1962) [5], Jaluria et Gebhart (1975) [6], Seban et Behnia (1976) [7], Guillou et al. (1986) [8], Mahmoud et al. (1998) [9], Bouslimi et al. (2003) [10] et récemment par Mahmoud et al. (2008) [11]. Dans les bâtiments, les sources de chaleur sont situées dans un espace confiné et sont généralement adossées à une paroi. Il y a donc lieu de tenir compte des effets de l'environnement sur le panache thermique.

A travers tous les travaux que nous venons d'évoquer, il apparaît que les paramètres agissant sur l'évolution de l'écoulement sont très nombreux. Malgré l'augmentation de la puissance de calcul et la diffusion de la simulation numérique, il nous est apparu, à travers la synthèse bibliographique, le manque d'études numériques sur les panaches thermiques. Dans ce contexte, on se propose d'étudier l'effet d'entraînement d'air frais sur l'alimentation de la source du panache.

2. Simulation du problème

Dans le but de simuler l'expérience de Mahmoud et al. (2008) [11], nous adopterons les deux configurations géométriques représentées sur les figures 1 et 2.

Pour la configuration A, le domaine est composé d'une source thermique (un disque plat de 0.075 m de diamètre), placée horizontalement qui permet de générer un panache. La température de la source maintenue constante est égale à $T_s=300\text{ °C}$. La source est contenue dans une plaque horizontale de grandes dimensions et maintenue au niveau du sol. Cette position permet d'assurer au panache un entraînement d'air frais purement latéral.

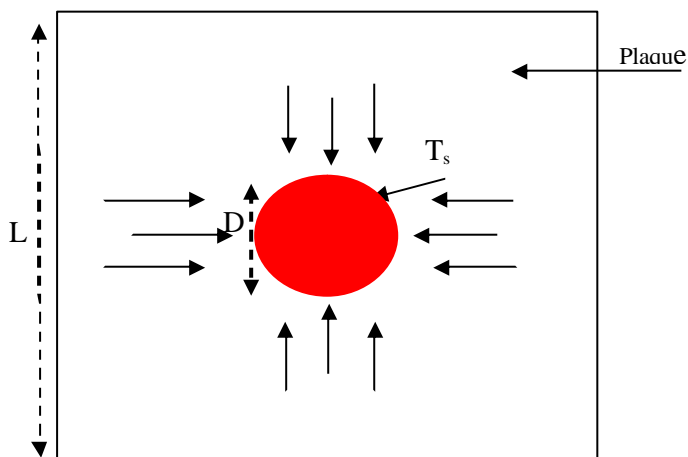


Figure 1 : Configuration A

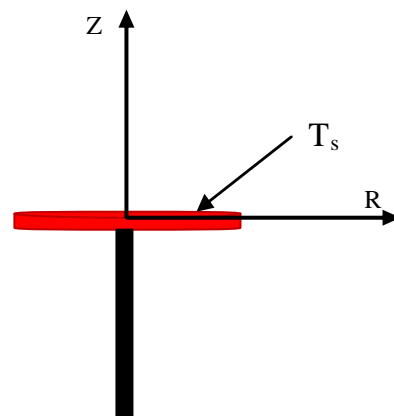


Figure 2 : Configuration B

Pour la deuxième configuration B, on garde la même forme géométrique de la source et la température est toujours de l'ordre de 300 °C . La position de la source, placée sur un support à une hauteur de 0.8 m do sol, est choisie cette fois ci pour s'assurer que le panache à un effet d'entraînement d'air frais à la fois latérale et verticale.

3. Résultats et discussion

3.1. L'effet d'entraînement vertical d'air frais sur la structure du panache thermique (configuration A)

Pour la première configuration A, Les vecteurs vitesse sont représentés sur la figure 3. Cette dernière a permis de s'assurer que l'entraînement d'air frais se fait d'une façon latérale.

Nous présentons sur les figures 4 et 5 les isovaleurs des champs moyens thermique et dynamique. Les figures mettent en évidence l'évolution de l'écoulement et la structure du panache. Elles montrent également que l'écoulement est constitué de plusieurs filets fluides, évoluant dans la direction verticale. La structure de panache évolue en trois zones. La première zone, proche de la source, est une zone de développement où les gradients de la température et de la vitesse sont relativement forts. L'autre est une zone de développement de la turbulence. La troisième se caractérise par une diminution des gradients. Ces zones ont été confirmées par les études antérieures (Agator (1983) [12], Brahim (1987) [13], Bouslimi et al. (2003) [10] et Mahmoud et al. (2008) [11]).

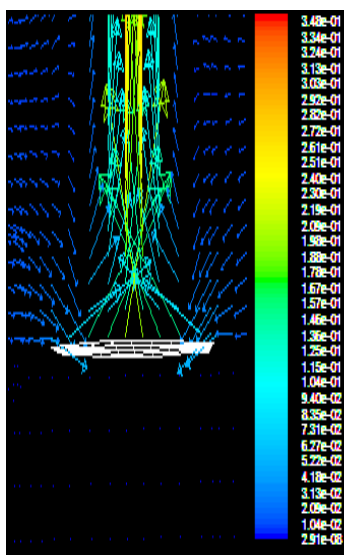


Figure 3 : Les vecteurs vitesses (configuration A)

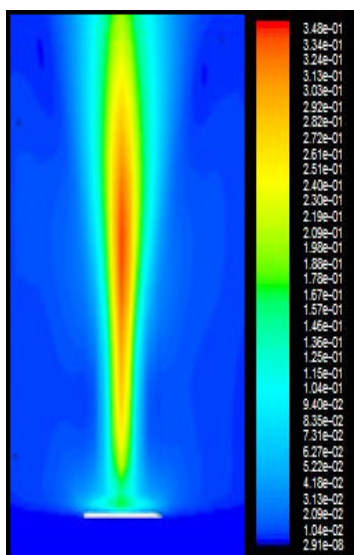


Figure 4 : Les isovaleurs du champ dynamique (configuration A)

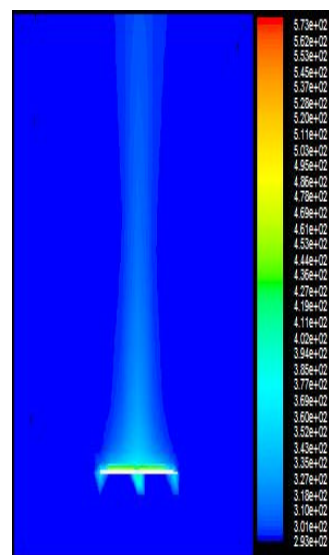


Figure 5 : Les isovaleurs du champ thermique (configuration A)

L'évolution axiale de la composante verticale de la température ainsi que de la vitesse moyenne de l'écoulement du panache est présentée sur les figures 6 et 7. Les données expérimentales ont été implantées dans les figures pour faire la confrontation.

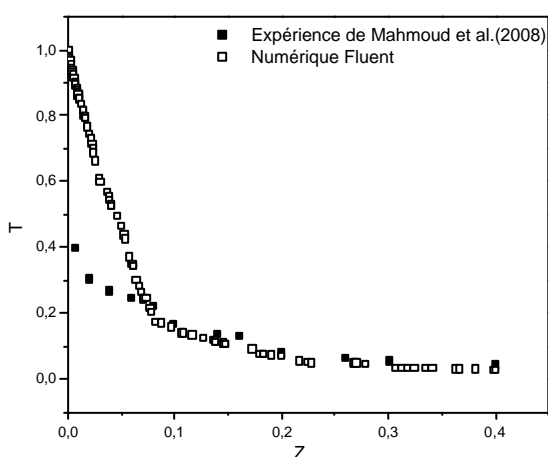


Figure 6 : Evolution axiale de la température moyenne adimensionnelle (configuration A)

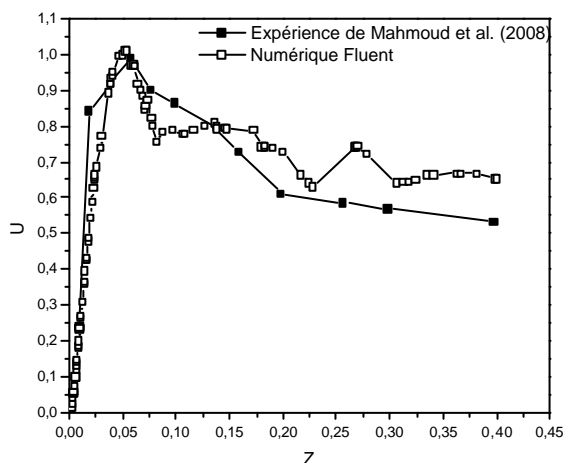


Figure 7 : Evolution axiale de la vitesse verticale moyenne adimensionnelle (configuration A)

Ces profils montrent l'existence de trois zones distinctes. La première est juste au niveau de la source chaude pour $Z \leq 0.06$. On assiste, dans cette zone, à des gradients longitudinaux forts de la température et de la vitesse. La deuxième zone est au niveau de $Z = 0.06$ où la vitesse axiale atteint son maximum ce qui se manifeste par un équilibre entre les forces de flottabilité et la viscosité. Pour $Z > 0.06$, on assiste à une variation graduellement décroissante. Ce dernier comportement révèle le changement de caractère ce qui prouve l'existence de la troisième zone. Ces profils montrent également la bonne concordance entre l'expérience de Mahmoud et al. (2008) [11] et la simulation numérique (code CFD Fluent) basée sur le modèle de la turbulence LES.

Sur la figure 8 sont présentées les répartitions radiales de la température moyenne adimensionnelle aux différents niveaux. Ces profils montrent la présence de trois zones. Un rétrécissement vers l'axe du panache est observé pour des valeurs croissantes de l'altitude Z . Ce dernier phénomène indique une contraction de l'écoulement moyen dans cette zone. La bonne concordance entre les profils expérimentaux et numériques est bien illustrée.

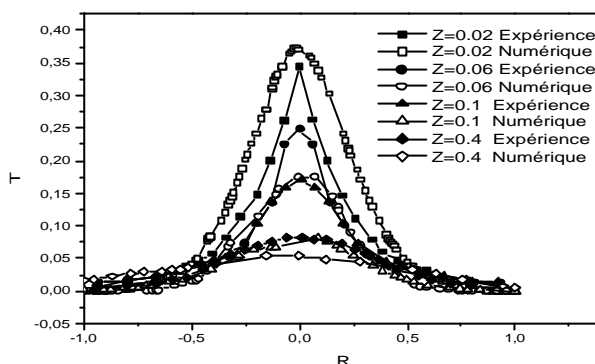


Figure 8 : Evolution radiale de la température moyenne adimensionnelle (configuration A)

3.2. Panache thermique à aspiration simultanément latérale et verticale (configuration B)

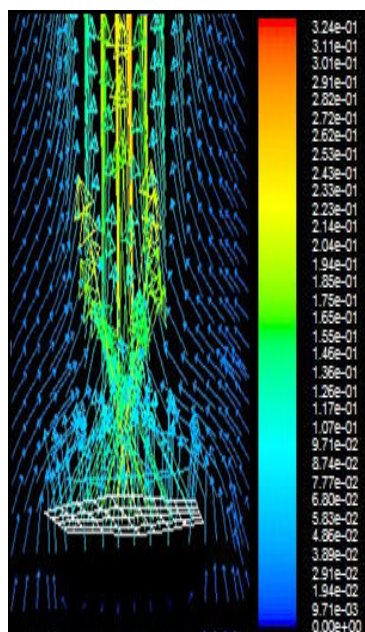


Figure 9 : Les vecteurs vitesses (configuration B)

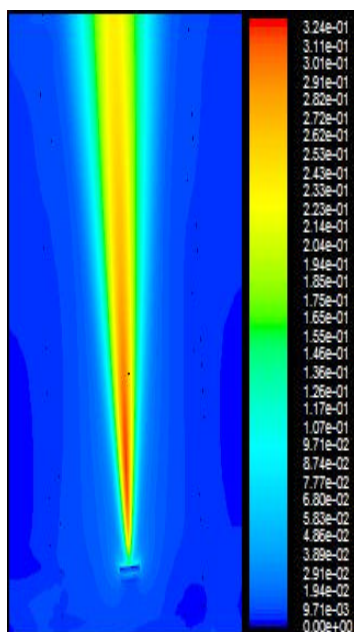


Figure 10 : Les isovaleurs du champ dynamique (configuration B)

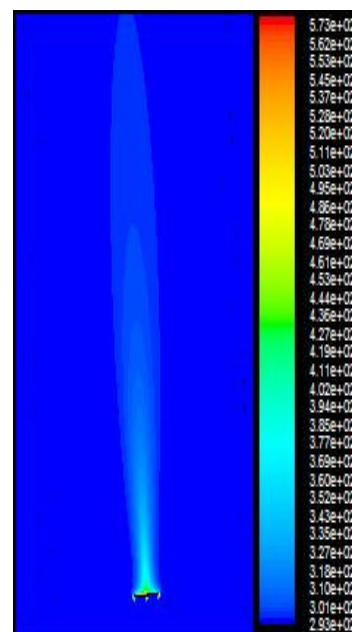


Figure 11 : Les isovaleurs du champ thermique (configuration B)

Les vecteurs vitesse sont représentés sur la figure 9. Les vecteurs vitesses montrent le sens d'aspiration qui se fait à la fois latéral et vertical. Sur les figures 10 et 11, sont représentés les isovalues des champs moyens de la température et de la vitesse. Globalement on retrouve la même structure trouvée dans le premier cas, malgré la forte pénétration de l'air frais provenant du bas. On montre l'existence de trois zones différentes. On constate également des gradients dynamiques transversaux très importants avec une légère survitesse de part et d'autre de l'axe du panache. Une atténuation de l'expansion latérale du panache ainsi qu'un prolongement de la hauteur sont aussi illustrées sur les figures 10 et 11. Les figures 12 et 13 présentent respectivement l'évolution axiale de la vitesse et de la température moyennes adimensionnelles de l'écoulement.

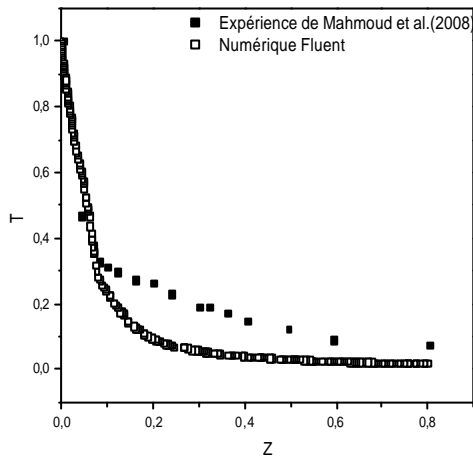


Figure 12 : Evolution axiale de la température moyenne adimensionnelle (configuration B)

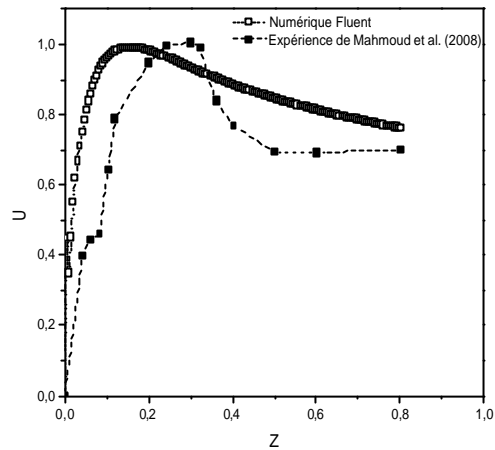


Figure 13 : Evolution axiale de la vitesse verticale moyenne adimensionnelle (configuration B)

Ces profils présentent deux aspects différents. Un côté près de la source chaude où le gradient est très intense. Dans la deuxième zone, on assiste à une diminution de la température et le gradient devient très faible. Nous présentons sur la figure 14, l'évolution des profils adimensionnels moyens de la température de l'écoulement à différents niveaux.

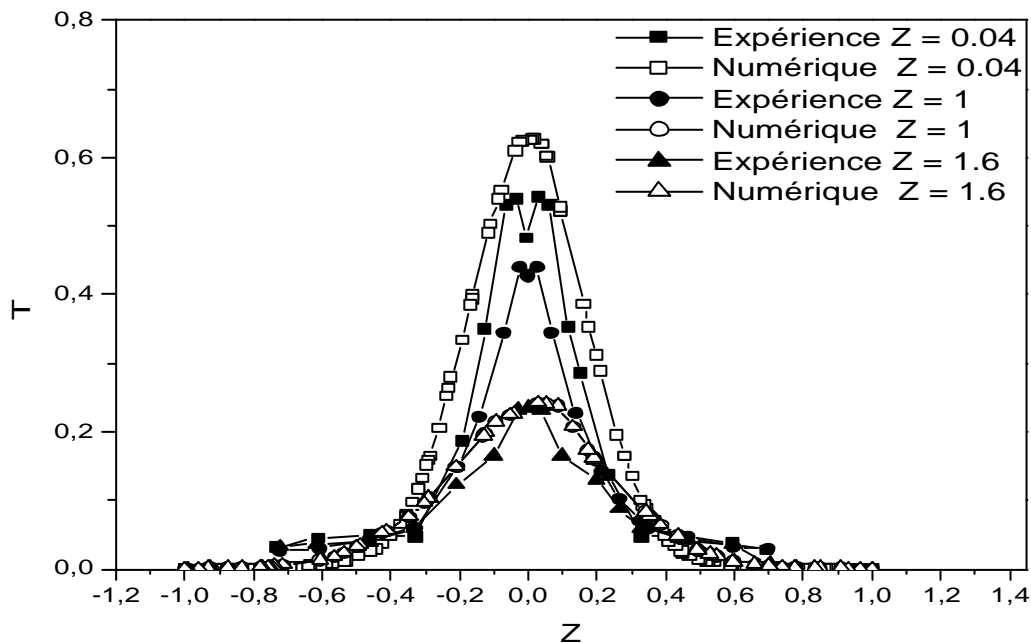


Figure 14 : Evolution radiale de la température moyenne adimensionnelle (configuration B)

Une différence a été relevée entre les profils numériques et expérimentaux. Mahmoud et al. (2008) [11] ont attribué la diminution de l'axe du panache à la contribution de l'aspiration verticale du système en air frais, interprétation tout à fait différente de celle des études de Agator (1983) [12], Brahim (1987) [13] et Guillou (1984) [8]. Les profils numériques moyennant le code Fluent ne présentent pas cette diminution sur l'axe du panache. La forme générale de ces profils reste comparable à celle trouvée par aspiration latérale.

4. Conclusion

Dans ce travail, on a mis en évidence les effets du mode d'entraînement d'air frais du panache seul, sur la structure turbulente d'un écoulement induit par deux sources de chaleur, dont l'une est placée au niveau du sol, l'autre est maintenue à une hauteur du sol. Les résultats numériques, moyennant le code Fluent, basé sur le modèle turbulent LES ont permis de mettre en évidence l'apport vertical d'entraînement d'air sur la structure globale et les caractéristiques du panache seul. La comparaison entre l'apport d'air latéral où latéral et vertical en même temps, nous a permis de montrer :

- le changement de la structure de l'écoulement du panache,
- le prolongement de la hauteur du panache,
- l'atténuation de l'expansion latérale du panache.

Pour conclure sur les applications de ce type d'écoulement, nous pouvons affirmer que l'entraînement purement latéral de l'air est défavorable à la propagation des incendies.

Références

- [1] Schmidt W. (1941), Turbulent propagation of a stream of heated air, *Z. Angew Math Mech* 21, 256-278 & 351-363.
- [2] Batchelor W.K. (1954), Heat convection and buoyancy effects in fluids, *Quart J. Royal Meteorological Society* 80, 339-358.
- [3] Morton B. R., Taylor G., Tunner J. S. (1956), turbulent gravitational convection from maintained instantaneous sources, *Proc. Royal Society* 234, series A, 1-23.
- [4] Morton B. R. (1959), Forced plume, *J. Fluid Mech.* 5, 151-163.
- [5] Lee S.L., Emmons H.W. (1962), A study of natural convection above a line fire, *J. Fluid Mech.* 11, 353-368.
- [6] Jaluria Y., Gebhart B. (1975), On the buoyancy induced flow arising from a heated hemisphere, *Int. J. Heat Mass Transfer* 18, 415-431.
- [7] Seban R.A., Behnia M.M. (1976), Turbulent buoyant jets in unstratified surroundings, *Int. J. Heat Mass Transfer* 19, 1197-1204.
- [8] Guillou B., Brahim M., Doan Kim Son (1986), Structure turbulente d'un panache thermique. Aspect dynamique. *J. Mécanique Théorique et Appliquée* 5, 371-401.
- [9] Mahmoud A.O. M., Ben Maad R., Belghith A. (1998), interaction d'un écoulement de thermosiphon avec un panache un panache thermique à symétrie axiale : étude expérimentale, *Rev. Gen. Therm. Vol* 37, 385-396.
- [10] Bouslimi J. (2003), Etude de la structure turbulente d'un panache thermique se développant à l'intérieur d'un cylindre vertical, *thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar*.
- [11] Mahmoud A.O. M., Bouslimi J., Ben Maad R. (2008), Experimental study of the effects of a thermal plume entrainment mode on the flow structure: Application to fire, *Fire Safety Journal* 44, 475-486.
- [12] Agator J.M. (1983), Contribution à l'étude de la structure turbulente d'un panache thermique à symétrie axiale. Interaction du panache avec son environnement limité, *thèse, université de Poitiers*.
- [13] Brahim, M. (1987), Structure turbulente des panaches thermique-interaction, *Thèse, Université de Poitiers*.