

ETUDE NUMERIQUE DES CHAMPS THERMIQUES ET DYNAMIQUES D'UN ECOULEMENT DANS UNE ENCEINTE CYLINDRIQUE CHAUFEE PAR UN FILAMENT

S.BOUTEBBA* W. KAABAR et R.HADJADJ

*Département de chimie, faculté des sciences exactes, université Mentouri Constantine, ALGERIE
bouteb.souha@yahoo.fr, w_kaabar@yahoo.co.uk*

RESUME

Nous avons considéré le cas d'une enceinte cylindrique horizontale en pyrex remplie d'azote. L'intervalle de la température du gaz s'étend de 400K à l'enveloppe de la lampe jusqu'au 3000K à quelques centimètres du filament de tungstène chauffé. Les principes physiques qui régissent ce problème sont modélisés par les équations de conservation de la masse, des quantités de mouvement et de l'énergie. Les équations modélisantes sont numériquement résolues par la méthode des volumes finis. Les résultats numériques de notre étude ont montré que la distribution des champs thermique et dynamique dépend du déplacement vertical et horizontal dans la lampe par rapport au filament, de la température du filament et de la pression du gaz. Ces résultats sont en bon accord avec ceux d'une étude expérimentale conduite avec les mêmes paramètres géométriques, dynamiques et thermiques.

1. INTRODUCTION

Les premiers modèles de l'écoulement d'un gaz à l'intérieur d'une source de lumière à incandescence ont supposé la dominance d'une couche mince de conduction autour du filament, qui favorise la transition de la température du filament vers la paroi. Ces modèles fournissent des estimations raisonnables du transfert thermique [1], mais ils sont insensibles à l'orientation et à la géométrie et ils n'expliquent pas l'écoulement convectif du gaz qui se passe à l'intérieur de l'enceinte lumineuse. Le domaine complet de l'écoulement est obtenu par la solution des équations de Navier-Stokes, qui décrivent la conservation de l'énergie, de mouvement et de la masse. Fisher et Fitzgerald [2] ont résolu les équations de conservation à deux dimensions et ont prédit avec succès le modèle de l'écoulement et le transport de tungstène dans une lampe cylindrique horizontale. En 1987, Correa [3] a calculé le mouvement d'un fluide et le transport de chaleur dans une lampe d'halogène à tungstène en utilisant une grille curvilinéaire. Ce modèle a été appliqué aux lampes orientées verticalement et horizontalement et contenant un gaz inerte à forte pression. Récemment László Makai et al. [4] ont étudié une lampe à Halogène avec un filament de tungstène. La simulation de la convection libre à l'intérieur de la lampe a été faite par l'équation d'énergie et les équations de Navier-Stokes. Ce modèle a été développé pour déterminer la distribution de la température, du champ de vitesse et de la pression dans la lampe. Les résultats leur ont permis de calculer la dépendance de la pression des nombres adimensionnels.

Dans la présente étude, on considère la simulation numérique du transfert thermique par convection naturelle bidimensionnelle dans une enceinte cylindrique horizontale chauffée par un filament. La modélisation numérique de l'enceinte simulant la lampe à incandescence a été réalisée en utilisant le code puissant de la dynamique des fluides, Fluent 6.3.26. Ce programme est basé sur le travail décrit par Patankar [5].

2. DEFINITION DU PROBLEME

Dans ce travail on considère la simulation numérique du transfert thermique par convection naturelle dans une enceinte cylindrique horizontale. Cette enceinte est remplie d'azote gazeux et chauffée par un filament de tungstène situé sur son axe. L'enceinte est de longueur 250mm et de diamètre 75mm. Le filament est modélisé par un cylindre solide avec une longueur de 23.5mm et un diamètre de 1.58mm. La géométrie de la lampe est définie dans trois dimensions et modélisée dans l'orientation horizontale. La symétrie du problème (2 plans de symétrie: horizontal et vertical) réduit le domaine de calcul au 1/4 du volume total de la lampe. La géométrie est illustrée dans la figure 1.

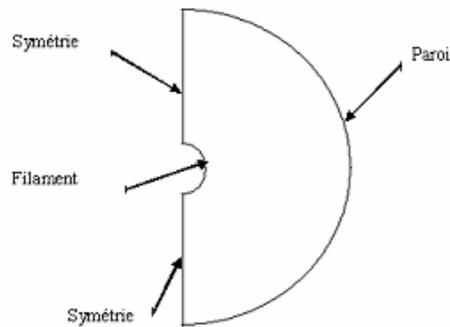


Figure 1 : Schéma de la géométrie

Une frontière axisymétrique est choisie à la section transversale de la lampe. Pour les autres frontières on a opté pour des conditions de température données comme suit :

Température de la paroi de l'enceinte = 380K

Température du filament = 2700K

Une semi-circulaire (exploitant le plan de symétrie vertical de la lampe) non uniforme grille a été construite avec 20000 points nodaux où le plus grand nombre de mailles est concentré dans les régions à fortes variations de gradients de température, à savoir les zones près du filament, figure 2. La définition de la géométrie et la génération du maillage ont été réalisées à l'aide du code générateur de mailles Gambit 2.3.16.

Les principes physiques qui régissent ce problème sont modélisés par les équations de conservation de la masse, des quantités de mouvements et de l'énergie.

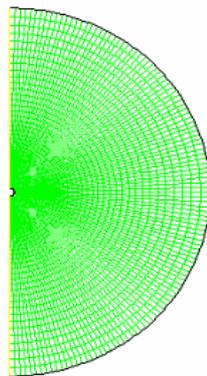


Figure 2 : Schéma du maillage

3. RESULTATS

3.1 Variation de la vitesse et de la température avec le déplacement horizontal

Pour explorer la variation des champs thermique et dynamique avec le déplacement le long d'une section transversale, trois positions verticales au-dessus du filament, ont été sélectionnées. Ces positions correspondent à $d=0\text{mm}$ (variation à partir du centre du filament), $d=2\text{mm}$ (variation à partir de la position d'intersection des faisceaux lasers) et $d=10\text{mm}$ (variation près de la paroi de l'enceinte). Les profils des variations de vitesse et de température pour les différentes positions verticales sont présentées dans la Figure 3.

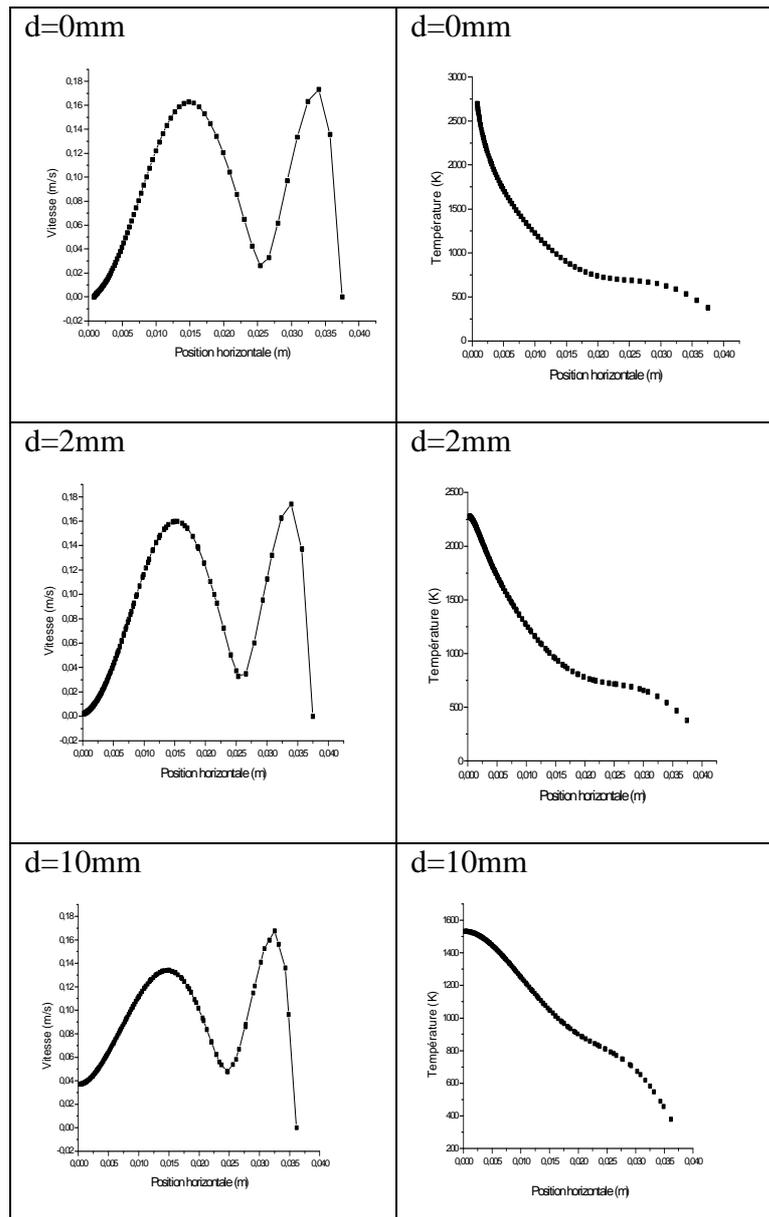


Figure 3 : Profils des variations de la vitesse et de la température avec le déplacement horizontal

Dans la figure 3, on constate que le gaz est accéléré vers le haut de l'enceinte à cause de la poussée thermique. En s'approchant de la paroi supérieure, le gaz décélère à partir d'une vitesse maximale de 0.16m/s jusqu'à atteindre un minimum de 0.02m/s . Dans cette région le gaz change de direction et suit un mouvement descendant jusqu'au bas de l'enceinte. Le gaz accélère puis décélère en

s'approchant d'une région stagnante à basse température à la base de l'enceinte. Une augmentation considérable a lieu lorsque le gaz est alors balayé jusqu'à la région du filament. Les profils de température montrent que le gaz passe la majorité du temps dans les régions à basse température. On constate une décroissance rapide de la température jusqu'à 0.025m où une région stagnante à basse température est atteinte pour $d=0\text{mm}$, $d=2\text{mm}$ et $d=10\text{mm}$. Dans cette région la vitesse augmente considérablement. Près de la paroi la température décroît continuellement et lentement.

3.2 Effets de la variation de la température du filament

Dans cette section on montre l'effet de l'abaissement progressif de la température du filament à partir de 2700K, pour les températures suivantes: 2500K, 2000K, 1500K, 1000K, 500K. Les filaments sont considérés isothermes. La figure 4 montre les profils de température pour les différentes températures du filament. La présence de la région stagnante à basse température est maintenue pour les différents cas et qui devient plus importante quand la température du filament diminue. On peut dire que la température du filament est un paramètre important pour ajuster le gradient de température à l'intérieur de l'enceinte.

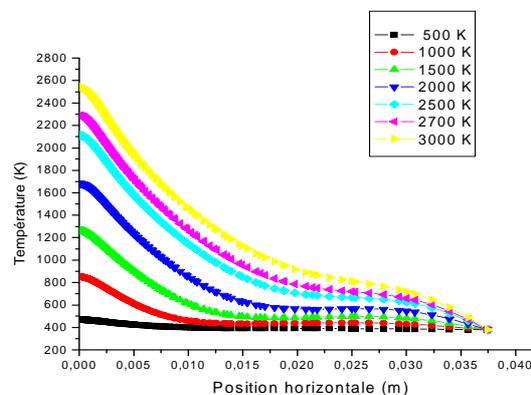


Figure 4 : Variation de la température avec le déplacement horizontal pour différentes températures du filament

3.3 Effet de la variation de la pression

Dans cette section on montre l'effet de la variation de la pression du gaz à l'intérieur de l'enceinte. L'étude a été faite pour quatre différentes valeurs de pression: 0.066atm – 0.253atm – 0.658atm – 0.987atm. Les contours de température pour les différentes valeurs de la pression sont illustrés dans la Figure 5. On constate que l'abaissement de la pression engendre une expansion graduelle de contours concentriques de la région du filament vers la paroi de l'enceinte, jusqu'à $P=0.066\text{atm}$, où seulement des contours de température concentriques sont observés dans tout le volume de l'enceinte. Réduire les pressions au-dessous de l'atmosphère revient à abaisser les densités du gaz et les forces de poussée thermique de la convection libre. L'effet de la convection naturelle devient plus petit et les champs thermiques ressemblent à ceux prédits par un modèle de la convection purement forcé.

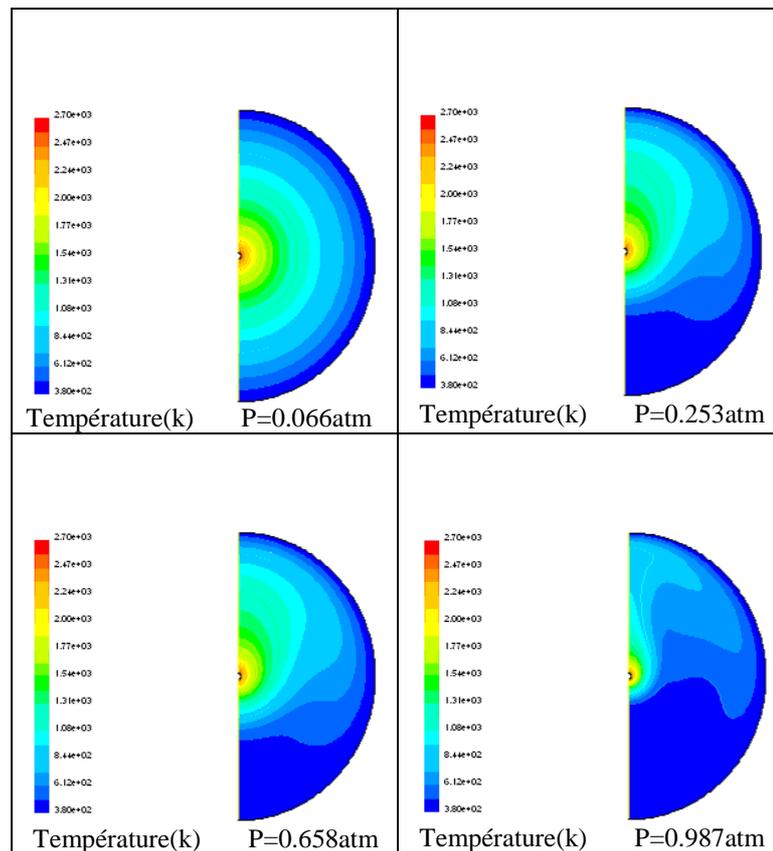


Figure 5 : Contours de température pour différentes valeurs de pression

4. CONCLUSION

Les résultats numériques de cette étude ont montré que les gradients de température entraînent la génération de la force de poussée thermique qui induit un mouvement de convection naturelle dans l'enceinte. La température décroît radialement du filament jusqu'à la paroi latérale de l'enceinte. D'importants gradients de température existent dans la région du filament, particulièrement, au-dessous du filament. La température du filament est un paramètre important pour ajuster le gradient de température à l'intérieur de l'enceinte. Réduire les pressions au-dessous de l'atmosphère revient à diminuer l'effet de la convection naturelle

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. S. Howe, A Predictive Theory of Power Balance in Incandescent Lamps, *Proc. North Amer. Illum. Eng. Soc.*, Atlanta, paper 13, 1982.
2. E. Fisher et J. Fitzgerald, Heat and Mass Transport in Cylindrical Gas Field Incandescent Lamps, *J. Appl. Phys.*, volume 45, pp 2895, 1974.
3. S. M. Correa, Fluid Flow and Heat Transfert in Incandescent Lamps, *Int. J. of Heat and Mass Trans.*, volume 30, pp 663, 1987.
4. László Makai, György Hárs, Gábor Varga, Gábor Fülöp et Péter Deák, Computer simulation of the operating pressure of tungsten halogen lamps, *J. Phys. D: Appl. Phys.* Volume 38, pp 3217, 2005.
5. S.V. Patankar, Numerical heat transfer and fluid flow, *Hemisphere Publishing Corporation*, Taylor and Francis Group. New York 1980.