



**HAL**  
open science

## Transfert thermique tridimensionnel dans une enceinte cylindrique remplie d'un gaz

Wahiba Kaabar, Souheila Boutebba, Mounir Benzitouni

► **To cite this version:**

Wahiba Kaabar, Souheila Boutebba, Mounir Benzitouni. Transfert thermique tridimensionnel dans une enceinte cylindrique remplie d'un gaz. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00160275

**HAL Id: hal-00160275**

**<https://hal.science/hal-00160275>**

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.

# Transfert Thermique Tridimensionnel dans une Enceinte Cylindrique Remplie d'un Gaz

Wahiba KAABAR<sup>(1)</sup>, Souheila BOUTEBBA<sup>(1)</sup> et Mounir BENZITOUNI<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Département de chimie, faculté des sciences exactes, université Mentouri Constantine

<sup>(2)</sup>Département de génie mécanique, faculté des Sciences de l'ingénieur, université Mentouri Constantine  
*w\_kaabar@yahoo.co.uk*

**Résumé :** On considère le transfert thermique tridimensionnel dans une enceinte cylindrique horizontale simulant une lampe à incandescence. Cette enceinte est remplie d'azote gazeux et chauffée par un filament en tungstène situé sur son axe. Les propriétés physiques du fluide sont thermo dépendantes Le transfert thermique est modélisé par les équations différentielles, aux dérivées partielles, de continuité, de Navier-Stokes et d'énergie. Les équations modélisantes sont numériquement résolues par la méthode des volumes finis. Les résultats obtenus montrent que les champs thermique et dynamique sont tridimensionnels, et que l'effet convectif est plus important que dans le cas correspondant bidimensionnel dû à l'augmentation du nombre de Rayleigh par les effets tridimensionnels.

**Mots clés :** Lampe à incandescence, convection laminaire, transfert thermique, simulation numérique, écoulement gazeux.

## 1. INTRODUCTION

L'étude du transfert thermique dans les lampes à incandescence a commencé avec les travaux de Langmuir au début du vingtième siècle [1]. Les premiers modèles ont été basés sur l'hypothèse de la présence d'une fine couche stagnante autour du filament dominée par la conduction. Ces modèles prédisent une bonne estimation des transferts thermiques, mais sont insensibles à l'orientation et la géométrie de l'enceinte. Le plus important est que ces modèles ne prenaient pas en considération l'effet convectif dû à l'écoulement du gaz.

La description complète du champ de l'écoulement a été obtenue à partir de la solution des équations de Navier-Stokes à deux dimensions dans les lampes horizontales cylindriques [2]. Devonshire et al. [3] ont calculé la distribution de la température autour d'un filament de tungstène dans une lampe à incandescence en utilisant la méthode des différences finies pour étudier l'écoulement d'un gaz par convection libre. Leur résultat été en bon accord avec les mesures expérimentales qu'ils ont effectuées. S. M. Correa [4] a utilisé la méthode des volumes finis pour étudier le transfert thermique par convection dans les lampes à incandescence. Son étude numérique bidimensionnelle prédit des transferts thermiques en bon accord avec ceux des corrélations semi-empiriques établies dans la bibliographie classique de transfert thermique. Récemment László Makai et al. [5] 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. 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 tridimensionnelle dans une enceinte cylindrique horizontale remplie d'un gaz et chauffée par un filament de tungstène. 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. Ce programme est basé sur le travail décrit par Patankar [6]. La définition de la géométrie et la génération du maillage ont été réalisées à l'aide du code générateur de mailles Gambit.

## 2. MODELISATION MATHÉMATIQUE

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. Les équations représentant l'écoulement d'un fluide newtonien compressible sont données par:

### 2-1 Equation de continuité :

Cette équation exprimant la conservation de la masse est donnée comme suit :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \text{div}(\mathbf{u}) \quad (1)$$

### 2-2 Equations de transport de quantité de mouvement :

x- mouvement,

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{Mx}$$

y- mouvement,

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} v) + S_{My} \quad (2)$$

z- mouvement,

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} w) + S_{Mz}$$

$S_{Mx} = -\rho g$ ,  $S_{My} = 0$  et  $S_{Mz} = 0$ .

Une équation de type « poisson » pour la correction de la pression, dérivée de l'équation de continuité et les équations de quantité de mouvement linéarisées, sera résolue pour obtenir les corrections des champs de pression et vitesse nécessaires pour satisfaire la continuité.

### 2-3 Equation de conservation de l'énergie :

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i \mathbf{u}) = -p \text{div} \mathbf{u} + \text{div}(k \text{grad} T) + \Phi + S_i \quad (3)$$

$\text{div}(\mathbf{u}) = 0$  pour un fluide incompressible.  $S_i$  s'annule dans notre cas puisque on est concerné par une seule phase sans réaction chimique et sans transfert radiatif. L'équation générale de transport s'écrit de la manière suivante:

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \phi \mathbf{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + S_\phi \quad (4)$$

On utilise la méthode des volumes finis pour la résolution numérique de ces équations. Les détails de l'application de cette méthode numérique sont documentés dans l'ouvrage de Patankar [6]. La forme intégrée de l'équation 2.3 à l'état stationnaire en utilisant le développement de Taylor est donnée par l'équation 2.4.

$$\int_A \mathbf{n} \cdot (\rho \phi \mathbf{u}) dA = \int_A \mathbf{n} \cdot (\Gamma \text{grad} \phi) dA + \int_{CV} S_\phi dV \quad (5)$$

## 3. DEFINITION DU PROBLEME

Dans ce travail on considère une enceinte 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 a été définie en exploitant la symétrie de l'enceinte. Deux plans de symétrie, un contenant l'axe du filament et l'autre perpendiculaire au filament et

passant par son centre, permettent de réduire le domaine de calcul au  $\frac{1}{4}$  du volume total de la lampe. La géométrie est illustrée dans la figure 1.

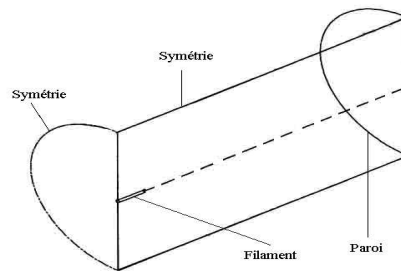


Figure 1 : Schéma de la géométrie

Deux frontières axisymétriques ont été choisies à la section transversale et à la section longitudinale 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

Le code Fluent utilise un système de coordonnées cartésiennes. Concernant le maillage, on a opté pour des formes de mailles quadrilatérales avec un nombre de nœuds de 253790, figure 2. Un raffinement des zones près du filament dans la direction axiale et dans la direction radiale a été envisagé pour prendre en compte les fortes variations se déroulant dans ces zones notamment les gradients de température et de vitesse.

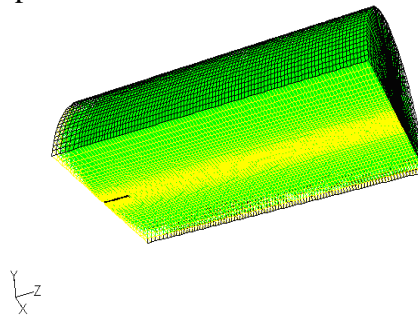


Figure 2 : Schéma du maillage

### 3. RESULTATS

Les résultats obtenus montrent que les champs thermique et dynamique sont tridimensionnels.

#### 3.1 Le champ dynamique

La propriété principale observée de la vitesse est, comme dans le cas bidimensionnel [7], la structure du vortex dans les plans perpendiculaires à l'axe du filament. Les valeurs de la vitesse diminuent en s'éloignant du milieu du filament vers la paroi de l'enceinte. Le tableau 1 montre les valeurs maximales de vitesse dans différents plans perpendiculaires à l'axe du filament et qui correspondent à la position du milieu du filament ( $z=0$ ), à l'extrémité du filament ( $z=11.75\text{mm}$ ), à une distance entre le filament et la paroi ( $z=20\text{mm}$ ) et finalement près de la paroi ( $z=124\text{mm}$ ).

Plan $z$ (mm)	Vitesse maximale (m/s)
0	0.609
11.75	0.427
20	0.366
124	0.061

Tableau 1 : Vitesse maximale dans des plans z perpendiculaires à l'axe du filament.

La composante axiale de la vitesse (Figure 3) conduit le gaz froid de la paroi de la lampe dans la région chaude du filament. Cet effet de refroidissement est la cause de l'abaissement des températures moyennes du gaz comparées à celles dans le cas bidimensionnel [7]. Des températures plus basses signifient un écoulement moins visqueux et donc des vitesses moyennes plus grandes. La vitesse maximale est prédite dans le plan perpendiculaire au filament à son milieu avec une valeur égale à 0.609 m/s comparée à une valeur de 0.275 m/s dans le cas 2D. En outre, dans ce même plan, le mouvement du gaz est plus compact que dans le cas 2D et la vitesse maximale n'est plus observée à côté du filament mais elle est située environ 0.5 centimètres au-dessus du filament. Ceci est aussi une conséquence de l'abaissement de la température moyenne qui résulte en un plus grand nombre de Rayleigh et donc à de plus forts effets de convection.

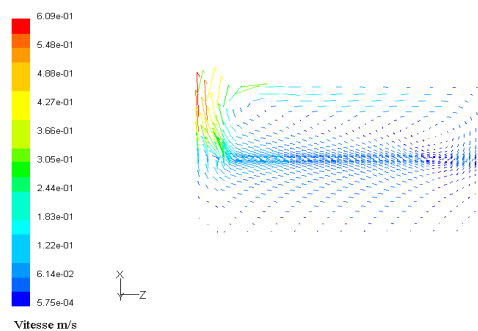


Figure 3 : Vecteurs vitesse dans le plan contenant l'axe du filament.

### 3.2 Le champ thermique

La Figure 4 montre les contours de température dans différentes sections transversales principalement au centre du filament ( $z=0$ ) et à l'extrémité du filament ( $z=11.75\text{mm}$ ).

Dans le plan  $z=0\text{mm}$ , l'effet convectif est plus important que dans le cas correspondant 2D du à l'augmentation du nombre de Rayleigh par les effets 3D. De plus, en s'éloignant du centre du filament vers la paroi de l'enceinte, les effets de la convection deviennent moins importants jusqu'à atteindre une région presque stagnante du gaz à la paroi de l'enceinte.

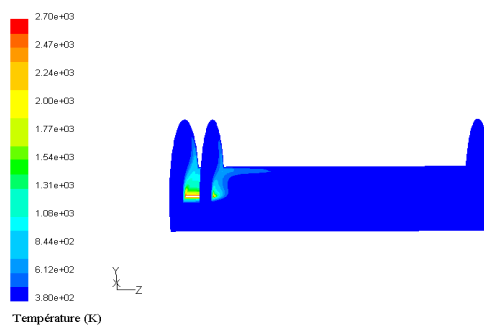


Figure 4: Contours de température dans les sections transversales.

La Figure 5 illustre les contours de température dans le plan longitudinal contenant l'axe du filament. On constate que dans la région située au centre du filament, des contours presque parallèles au filament sont observés, signifiant que, dans cette région les gradients de température selon l'axe du filament sont proches de zéro.

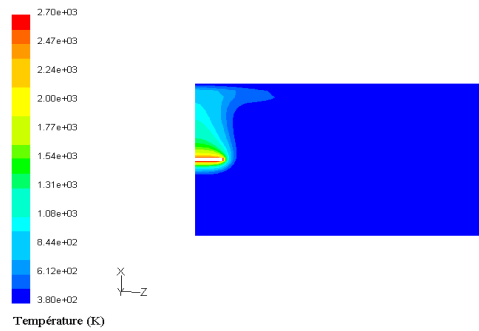


Figure 5: Contours de température dans le plan longitudinal contenant l'axe du filament.

## CONCLUSION

Les figures dans le cas 3D montrent clairement la nature tridimensionnelle des modèles de l'écoulement. Les vitesses les plus fortes du courant se produisent autour des extrémités du filament où on rencontre les plus forts gradients de température. L'effet convectif est plus important que dans le cas correspondant bidimensionnel dû à l'augmentation du nombre de Rayleigh par les effets tridimensionnels. La première étude expérimentale de cette lampe [3] a montré que les plus importants taux de déposition sur la paroi se sont produits également dans ces régions. Cela est une conséquence des modèles de l'écoulement prédits ici puisque l'écoulement du gaz augmente autour des extrémités du filament et cause le transport du tungstène dans ces régions.

## Nomenclature

T	température, $K$	A	surface de la face, $m^2$
P	pression, $atm$	dV	unité de volume, $m^3$
t	temps, $s$	Symboles grecs	
i	énergie interne, $J/kg$	$\rho$	masse volumique, $kg/m^3$
k	conductivité thermique, $Wm^{-1}s^{-1}$	$\mu$	viscosité dynamique, $kg/m.s$
$C_P$	chaleur spécifique à P constante, $J/kgK$	$\Phi$	variable générale
$S_\Phi$	terme source de $\Phi$ par unité de volume	$\sigma$	coefficient d'échange de diffusion de $\Phi$
$S_i$	terme source de l'énergie interne		
u, v, w	vitesses moyennes selon x, y et z, $m/s$		

## Références

- [1] I. Langmuir, Convection and Conduction of Heat in Gases, *Phys. Rev.*, 34, pp 401, 1912.
- [2] E. Fisher et J. Fitzgerald, Heat and Mass Transport in Cylindrical Gas Field Incandescent Lamps, *J. Appl. Phys.*, 45, pp 2895, 1974.
- [3] R. Devonshire, I. S. Dring, G. Hoey, F. M. Porter, D. R. Williams et D. A. Greenhalgh, Accurate CARS Measurement and Fluid Flow Modelling of the Temperature Distribution Around a Linear Incandescent Filament, *Chem. Phys. Lett.*, 129, pp 191, 1986.
- [4] S. M. Correa, Fluid Flow and Heat Transfert in Incandescent Lamps, *Int. J. of Heat and Mass Trans.*, 30, pp 663, 1987.
- [5] László Makai, György Hárs, Gábor Varga et Péter Deák, Computer simulation of the operating pressure of tungsten halogen lamps, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 38, pp 3217, 2005.
- [6] S.V. Patankar, Numerical heat transfer and fluid flow, *Hemisphere Publishing Corporation*, Taylor and Francis Group. New York 1980.
- [7] W. Kaabar, S. Nebti et M. Benzitouni, Fluid Flow Modelling in a Gas Filled Lamp, *12ème Journées Internationales de Thermique*, pp 355, 2005.