

# Convection naturelle dans l'écoulement d'un fluide dans un tube horizontal



Gerardo Ruiz Chavarría  
Facultad de Ciencias, UNAM

Mexique

e-mail: [gruiz@unam.mx](mailto:gruiz@unam.mx)

RESUMÉ

L'écoulement d'un fluide à l'intérieur d'un tube a été étudié depuis longtemps. Au XIXe siècle Osborne Reynolds a montré que l'écoulement reste laminaire si le nombre de Reynolds ne dépasse pas la valeur 2300. L'introduction des effets thermiques ou magnétiques va modifier les propriétés de cet écoulement. A cet égard, Zigakov et al ont observé la formation de cellules de recirculation pour un métal liquide soumis à un champ magnétique. Ces cellules sont parallèles à la direction du champ magnétique. Une autre façon de produire des cellules convectives est à travers d'un effet thermique. Nous étudions ici l'écoulement d'un liquide dans un tube horizontal soumis à un flux de chaleur en son hémisphère inférieure. Les équations de Navier-Stokes et de continuité ont été résolues numériquement. Les résultats dépendent de trois paramètres sans dimension, le nombre de Reynolds ( $Re$ ), le nombre de Grashof ( $Gr$ ) et le nombre de Prandtl ( $Pr$ ). Nous avons considéré que le nombre de Prandtl est égale à 7 (qui correspond à l'eau), tandis que les autres paramètres varient dans les intervalles  $0 < Re < 2000$  et  $50000 < Gr < 500000$ . Nous observons alors la formation de deux cellules de convection dont leur taille dépend des nombres de Reynolds et de Grashof. En outre, au-dessus d'un seuil pour le nombre de Grashof, nous observons l'apparition d'instabilités. Finalement, nous discutons une application de cette recherche dans le domaine de l'énergie solaire.

**MOTIVATION :** une façon d'améliorer le transfert de chaleur d'un liquide qui se déplace à l'intérieur d'un tube est l'insertion d'une lame tordue afin de produire de la convection forcée. Une autre option est celle d'induire de la convection naturelle. La convection naturelle se développe si le flux de chaleur se produit dans l'hémisphère inférieure. Nous avons choisi deux différentes distributions de chaleur.

Les caractéristiques d'écoulement sont étudiées numériquement. Les équations à résoudre sont:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\nabla p + \frac{Gr}{Re^2} T + \frac{1}{Re} \nabla^2 \vec{u}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T = \frac{1}{Pe} \nabla^2 T$$

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

Conditions initiales:  $T=T_0$ ,  $u_r = 0$ ,  $u_\theta = 0$ ,  $u_z = u_{max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$

Paramètres adimensionnels:

Nombre de Reynolds:  $Re = \frac{U D}{\nu}$

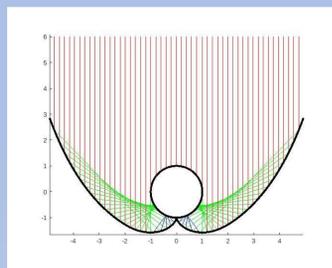
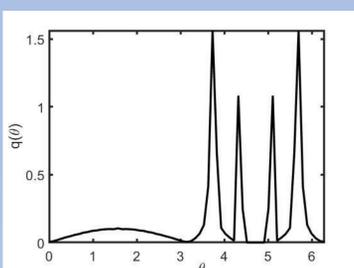
Nombre de Grashof:  $Gr = \frac{g \alpha \Delta T D^3}{\nu^2}$

Nombre de Péclet:  $Pe = \frac{U D}{\kappa}$

$0 < Re < 2000$ ,  $50000 < Gr < 500000$ ,  $Pe=7Re$

Distributions angulaires du flux de chaleur:

a)  $\dot{q}(\theta) = -\frac{1}{2} \sin(\theta)$ ,  $\pi < \theta < 2\pi$



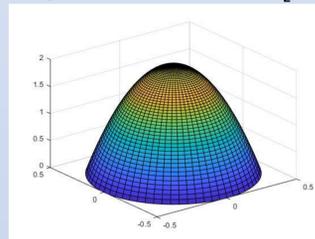
b)

Les cas b) correspond à un flux thermique produit par un concentrateur solaire.

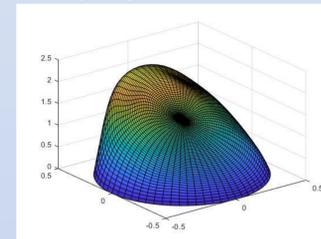
**RESULTATS:**

$Re=1000$ ,  $Gr=500,000$ ,  $Pe=7$

Composant de vitesse  $u_z$  à l'entrée ( $z=0$ ) et à la moitié du tube

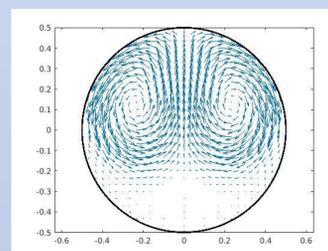


Cas a)

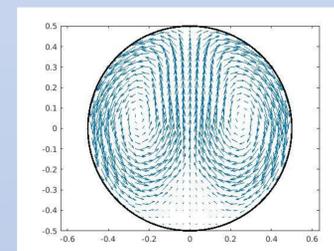


$z=L/2$

Champ de vitesse dans un plan vertical,  $z=0.9L$ ,  $t=16$

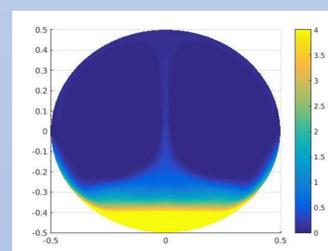


a)

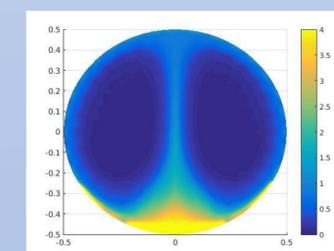


b)

Distribution de température dans le plan vertical,  $z=0.9L$ ,  $t=16$

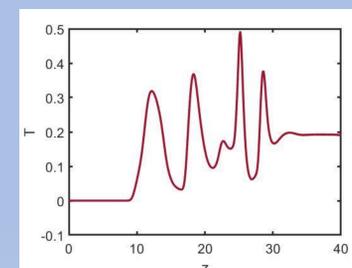
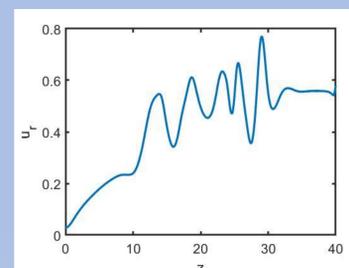


a)



b)

Variation spatiale de la composante verticale de la vitesse et de la température (cas a),  $r=0.25$ ,  $\theta=\pi/2$ ,  $t=24$



Un flux de chaleur non-uniforme dans l'hémisphère inférieure permet la formation des cellules de recirculation, ce qui à son tour produit une augmentation du transfert de chaleur vers le fluide.

Remerciements: l'auteur remercie la DGAPA-UNAM pour le soutien dans le contrat PAPIIT IN-113621 (Transporte de partículas, convección y vorticidad)