



HAL
open science

Simulation numérique de la convection thermique pour un fluide non-newtonien thermodépendant

Meriem Amoura, Nouredine Zeraibi, Mourad Gareche

► **To cite this version:**

Meriem Amoura, Nouredine Zeraibi, Mourad Gareche. Simulation numérique de la convection thermique pour un fluide non-newtonien thermodépendant. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00166801

HAL Id: hal-00166801

<https://hal.science/hal-00166801>

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.

SIMULATION NUMERIQUE DE LA CONVECTION THERMIQUE POUR UN FLUIDE NON-NEWTONIEN THERMODEPENDANT

Meriem AMOURA ^{1*}, Noureddine ZERAIBI ², Mourad GARECHE ²

¹ Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne. Faculté de Physique
B.P. 32 El-Alia, Alger, Algérie

² Université de Boumerdes. Faculté des Hydrocarbures dépt. Transport et équipement. 35000
Avenue de l'indépendance, Boumerdes, Algérie

*am_louni@yahoo.fr

Résumé : Il a été proposé d'étudier numériquement la convection thermique des fluides rhéofluidifiants thermodépendants dans les espaces annulaires cylindriques tournants. Le modèle rhéologique retenu dans cette étude est le modèle d'Ostwald-de-Waele. Les équations de conservation de quantité de mouvement et d'énergie sont traitées par une méthode aux éléments finis mixte. On étudie l'influence de la température sur la structure des champs dynamique et thermique en écoulement.

Mots clés : Eléments finis, visco-thermo-dépendant, transfert thermique, espace annulaire.

1. INTRODUCTION

De nombreux procédés industriels en particulier l'industrie agro-alimentaire, chimique, pétrochimique et pharmaceutique font intervenir la thermisation de fluides dans un espace annulaire. Ces fluides présentent un comportement non-Newtonien et une thermodépendance marquée. Si les mécanismes de la convection thermique semblent actuellement maîtrisés dans le cas des fluides Newtoniens, peu de travaux ont porté sur la convection mixte des fluides non-Newtoniens [1- 4].

Dans le but de déterminer la structure des champs dynamique et thermique pour ces fluides en écoulement laminaire dans un espace annulaire tournant où les cylindres intérieur et extérieur sont chauffés différentiellement, il a été proposé d'élaborer un code de calcul où les équations de conservation de quantité de mouvement et d'énergie sont traitées par une méthode aux éléments finis mixte. Le modèle rhéologique retenu dans cette étude est le modèle d'Ostwald-De-Waele [5]. Ce modèle permet de représenter le comportement de nombreux fluides non-Newtoniens tant rhéofluidifiant que rhéoépaississant utilisés dans les industries chimiques et l'agro-alimentaire.

2. FORMULATION MATHEMATIQUE

On considère l'écoulement laminaire bidimensionnelle axisymétrique d'un fluide non-newtonien incompressible confiné dans l'espace annulaire de deux cylindres coaxiaux de longueur finie H . Le cylindre intérieur, de rayon R_i , tourne à une vitesse angulaire constante et maintenu à une température uniforme T_1 . Le cylindre extérieur de rayon R_e est immobile et isotherme à une température $T_0 < T_1$. (Figure 1)

L'approximation de Boussinesq a été appliquée dans le terme de la force de pesanteur tandis que la dissipation visqueuse a été négligée. Compte tenu de ces suppositions, les

équations de conservation pour un écoulement incompressible s'écrivent sous la forme

$$\text{suiuante [6] : } \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

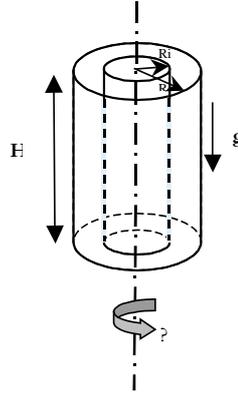


Figure 1 : Schéma du système

$$\rho \left(v \frac{\partial v}{\partial r} + u \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{w^2}{r} \right) = - \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial \left(2r\mu \frac{\partial v}{\partial r} \right)}{\partial r} \right] - \frac{2\mu v}{r^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] \quad (2)$$

$$\rho \left(v \frac{\partial u}{\partial r} + u \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r\mu \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(2\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \rho g \beta (T_1 - T_0) \quad (3)$$

$$\rho \left(v \frac{\partial w}{\partial r} + \mu \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{wv}{r} \right) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \mu \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu r \frac{\partial w}{\partial r} \right) \quad (4)$$

$$\rho c_p \left(v \frac{\partial T}{\partial r} + u \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{1}{r} \left(rk \frac{\partial T}{\partial r} \right) + k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5)$$

La viscosité apparente μ dans le cas d'un fluide en loi de puissance est : $\mu = K \dot{\gamma}^{n-1}$

$$\text{avec : } K = K_0 \exp(-bT) \quad [7] \quad \text{où } K_0 = 21,2 \text{ Pa s}^n \quad \text{et } b = 0,051^\circ\text{C}^{-1} \quad (6)$$

On ramène les équations du problème sous forme adimensionnelle, par les échelles de longueur $R = (R_e - R_i)$, de vitesse $U = \Omega R$, de température $\Delta T = T_0 - T_1$. L'échelle de vitesse de déformation est choisie par U/R et celle de viscosité $K(U/R)^{n-1}$.

Les équations adimensionnelles obtenues font intervenir plusieurs paramètres qui sont les nombres de Reynolds (Re), Rayleigh (Ra) et Prandtl (Pr) généralisés.

3. RESOLUTION NUMERIQUE ET VALIDATION DU CODE DE CALCUL

Pour la résolution des équations, nous avons utilisé une méthode aux éléments finis mixte [8] qui utilise d'une part, une interpolation quadratique à neuf nœuds pour les vitesses et la température et d'autre part une interpolation linéaire à quatre nœuds pour la pression.

Le code de calcul a été validé sur un problème d'une cavité fermée à parois verticales chauffées différentiellement et à parois horizontales adiabatiques. On a aussi effectué des comparaisons avec des solutions analytiques pour les écoulements newtoniens et non-

newtoniens. Nos résultats sont favorablement comparés à ceux trouvées dans la littérature [9].

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Le calcul a été fait pour $n = 0,6$ ($n < 1$ cas des fluides pseudoplastique) et deux différentes valeurs du nombre de rayleigh : $Ra=1000$ et $Ra=10000$.

La figure 2 montre que les isothermes se propagent de gauche à droite confirmant ainsi que le transfert de chaleur s'effectue de la paroi chaude vers la parois froide.

Pour $Ra=1000$ (figure 2) et pour Re croissant, nous remarquons une accentuation du transfert de chaleur au niveau de la paroi intérieure.

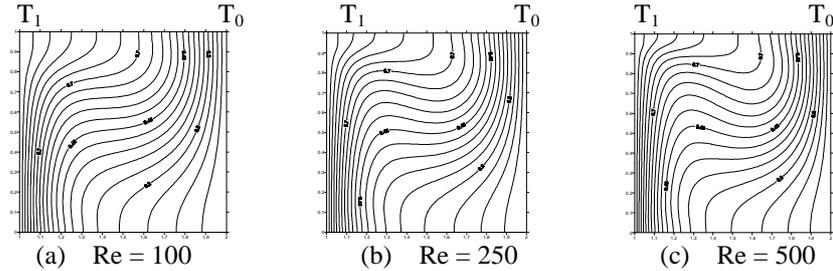


Figure 2 : Isothermes pour $Ra=1000$

Pour $Ra = 1000$ (Figure 3), nous observons la naissance d'une seconde cellule d'écoulement occupant la zone intérieure haute de l'espace annulaire qui est écrasée avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

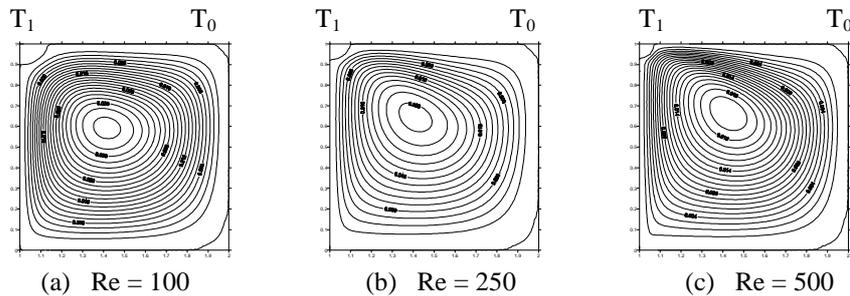


Figure 3 : Isofonctions de courant pour $Ra=1000$

Pour $Ra = 10000$ (Figure 4), nous observons une structure d'écoulement unicellulaire. Pour des valeurs croissantes du nombre de re , l'intensité des cellules diminue. Par contre il n'y a pas de changement pour le champ de température (Figure 5).

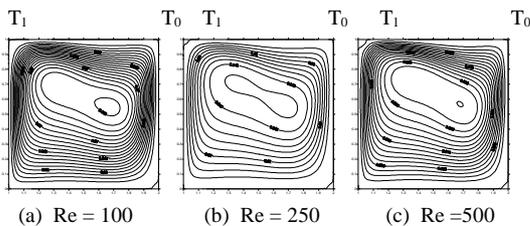


Figure 4 : Isofonctions de courant pour $Ra=10000$

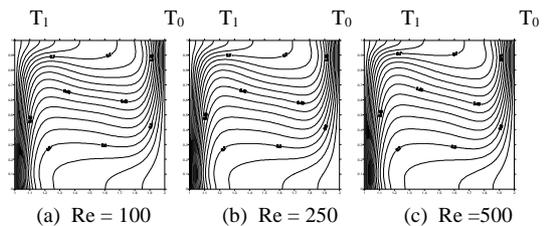


Figure 5 : Isothermes pour $Ra=10000$

Afin d'observer le rôle de l'inertie sur le coefficient de transfert de chaleur, nous avons tracé (figure 6) l'évolution du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour deux valeurs du nombre de Rayleigh.

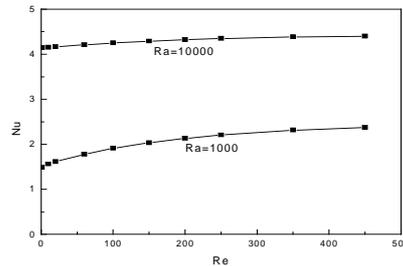


Figure 6 :Evolution du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds.

Pour $Ra = 10000$ et pour toutes les valeurs de Reynolds, le transfert de chaleur est quasiment constant. Ceci traduit principalement que la convection naturelle est prédominante dans l'intervalle de variation du nombre de Re considéré.

Pour $Ra = 1000$, l'effet de la convection forcée contribue à l'augmentation du nombre de Nusselt et cela jusqu'à un nombre de Reynolds $Re = 250$. Au-delà de cette valeur, le nombre de Nusselt tend vers une asymptote de valeur égale à environ 2,4.

Les figures 7 et 8 représentent la répartition de la température dans la configuration considérée pour un fluide thermodépendant et un fluide non thermodépendant.

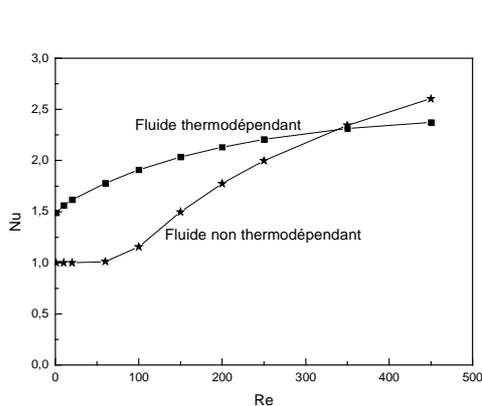


Figure 7: Evolution du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour les deux types de fluides, thermodépendant ou non ($Ra=1000$)

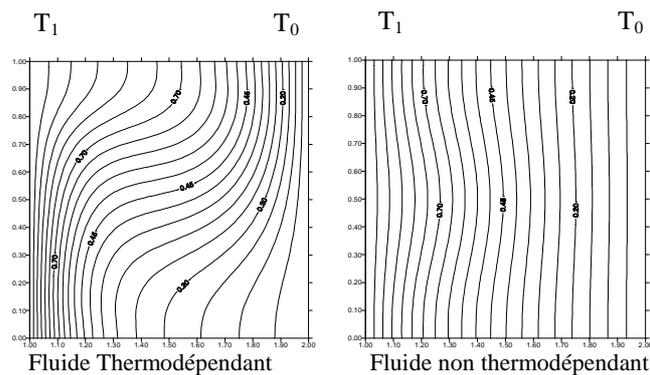


Figure 8: Isofonction de courant pour $Ra=1000$ et $Re=60$

Pour un fluide non thermodépendant, on constate que pour des faibles nombres de Reynolds ($Re < 70$), le régime de transfert est quasiment conductif. Une augmentation de Re entraîne une augmentation du nombre de Reynolds entraîne une augmentation sensible du nombre de Nusselt.

Tandis que pour un fluide thermodépendant et pour toutes les valeurs du nombre de Reynolds, le régime de transfert est convectif. Le nombre de Nusselt augmente légèrement avec le nombre de Reynolds pour atteindre une valeur limite qui est inférieure à celle atteinte par le fluide non thermodépendant.

5. CONCLUSION

L'influence de l'inertie et de la thermodépendance du fluide sur les champs hydrodynamique et thermique dans le cas de l'écoulement entre deux cylindres coaxiaux d'un fluide rhéofluidifiant thermodépendant, a été précisée par la modélisation numérique. L'influence de la thermodépendance du fluide sur le champ thermique est remarquable. Ceci conduit à la conclusion que tenir compte de l'évolution des paramètres rhéologiques en fonction de la température est indispensable pour la bonne compréhension du comportement thermodynamique de ces fluides dans différents secteurs industrielles.

Nomenclature

b	$K = K_0 \exp(-bT)$	u	vitesse verticale, m/s
C_p	chaleur spécifique à pression constante, $J/Kg.^\circ C$	v	vitesse radiale, m/s
g	accélération de la pesanteur, m/s^2	w	vitesse tangentielle, m/s
K	consistance du fluide, $Pa s^n$	z	coordonnée axiale, m
k	conductivité thermique du fluide, $W/m^\circ C$		
n	indice de comportement		
Nu	nombre de Nusselt		
p	pression, Pa		
Pr	nombre de Prandtl		
r	coordonnée radiale, m		
R	rayon du cylindre, m		
Re	nombre de Reynolds		
Ra	nombre de Rayleigh		
T	température, $^\circ C$		

Symbols grecs

$\dot{\gamma}$	vitesse de cisaillement, s^{-1}
μ	viscosité du fluide étudié, $pa.s$
ρ	Masse volumique, Kg/m^3

Indices

i	interne
e	externe

Références

- [1] M. Naimi, R. Devienne, M. Lebouché, Etude dynamique et thermique de l'écoulement de Couette Taylor poiseuille : cas d'un fluide présentant un seuil d'écoulement, *Int. J. Heat Mass transfer*, 33, pp381-391, 1990.
- [2] S.N. Hong, J.C. Matthews, Heat transfer to non-Newtonian fluids in laminar flow through concentric annuli, *Int. J. Heat Mass transfer*, 12, pp1699-1703, 1969.
- [3] C. Nouar, R. Devienne, M. Lebouché, Convection thermique pour l'écoulement de Couette avec débit axial ; cas d'un fluide pseudo-plastique, *Int. J. Heat Mass transfer*, 30, pp 639-647, 1987.
- [4] C. Nouar, R. Devienne, M. Lebouché, Convection thermique pour un fluide de Herschel-Bulkley dans la région d'entrée d'une conduite, *Int. J. Heat Mass transfer*, 37, pp 1-12, 1994.
- [5] N. Midoux., Mécanique et rhéologie des fluides en génie chimique, *technique et documentation (ed Lavoisier)* 1985.
- [6] R. B. Bird, *Dynamics of polymeric liquids, Fluid Dynamics, Vol. I Wiley, New York*, 1987.
- [7] V. Scirocco, *Convection thermique pour un fluide pseudoplastique en conduite cylindrique. Thèse Université de Nancy I*, 1985.
- [8] G. Dhatt, et G. Touzout, *Une présentation de la méthode des éléments finis. 2^{ème} édition* 1984.
- [9] De Vahl Davis, G., Natural convection of air in a square cavity. A bench mark numerical solution, *Int. J. Num. Methods in Fluids*, 3, pp 249-264, 1983.