



HAL
open science

Ecoulement laminaire non-isotherme d'un fluide viscoplastique à seuil de contrainte à travers un élargissement brusque

Lazhar Serir, Hamid Boualit, Nouredine Zeraibi

► **To cite this version:**

Lazhar Serir, Hamid Boualit, Nouredine Zeraibi. Ecoulement laminaire non-isotherme d'un fluide viscoplastique à seuil de contrainte à travers un élargissement brusque. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00156662

HAL Id: hal-00156662

<https://hal.science/hal-00156662>

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.

ÉCOULEMENT LAMINAIRE NON-ISOTHERME D'UN FLUIDE VISCOPLASTIQUE A SEUIL DE CONTRAINTE A TRAVERS UN ELARGISSEMENT BRUSQUE.

L.SERIR (*), H. BOUALIT (*), N.ZERAIBI (**)

* Unité de recherche appliquée aux énergies renouvelables (U.R.A.E.R – Ghardaïa)
Email : hamidboulit@yahoo.fr

** Université de Boumerdès, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie.
Laboratoire de Génie Physique des Hydrocarbures.
hamidboulit@yahoo.fr

Résumé :

L'analyse numérique de l'établissement hydrodynamique et thermique de l'écoulement d'un fluide semi- solide de Bingham à travers un élargissement brusque de rapport 1/2 a été réalisée. Cette étude a permis d'analyser l'influence exercée par les caractéristiques rhéologiques du fluide sur la structure tourbillonnaire de l'écoulement, l'évolution du champ thermique en tenant compte de l'effet de la dissipation visqueuse, ainsi que l'évolution du coefficient de perte de charge locale.

Mots clés :

Viscoplastique ; dissipation visqueuse ; fluide de Bingham ; Nusselt ; dissipation visqueuse.

1. INTRODUCTION

Les écoulements à travers des conduits munis d'expansions ou de contractions brusques ont constitué depuis plusieurs décennies, un centre d'intérêt d'une multitude d'investigations numériques, analytiques et expérimentales [1, 2, ...]. Ces études ont considéré essentiellement le cas des fluides newtoniens en régime laminaire et turbulent. Cependant, les travaux recensés dans le cas des fluides non newtoniens restent peu nombreux.

Dans ce travail nous nous proposons l'étude du développement hydrodynamique et thermique de l'écoulement d'un fluide non newtonien (fluide de Bingham) à travers un élargissement brusque de rapport géométrique 1:2. Cette étude consiste donc, à analyser l'influence simultanée de l'inertie et de la contrainte seuil sur la structure de l'écoulement, à savoir, la zone tourbillonnaire, la perte de charge locale et le champ thermique.

2. EQUATIONS GOUVERNANT LE PROBLEME

L'écoulement stationnaire, incompressible et laminaire d'un fluide de Bingham à travers un élargissement brusque est gouverné par les équations adimensionnelles suivantes :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Re} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(2\eta_{ap}^* \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\eta_{ap}^* \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (2)$$

$$\text{Re} \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\eta_{ap}^* \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\eta_{ap}^* \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (3)$$

$$Pe \left(u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + Br \eta_{ap}^* \dot{\gamma}^2 \quad (4)$$

- L'équation constitutive :

$$\eta_{ap}^* = \frac{\eta_{ap}}{\mu_p} = 1 + \frac{Ye}{\dot{\gamma}} \left(1 - \exp(-m \dot{\gamma}) \right) \quad (5)$$

Les variables et les nombres adimensionnels associées sont :

$u = U/U_m$, $v = V/U_m$, $x = X/H_2$, $y = Y/H_2$, $p = (PH_2)/(\mu_p U_m)$ [Pression adimensionnelle], $Ye = (\tau_0 H_2)/(\mu_p U_m)$ [Contrainte seuil adimensionnelle], $Pr = \mu_p / (\rho K)$ [Nombre de Prandtl], $Re = (\rho U_m H_2) / \mu_p$ [Nombre de Reynolds], $Pe = Pr Re = (U_m H_2) / K$ [Nombre de Peclet]. Pour le cas de la température, on a considéré : $\theta = (T - T_e) / \Delta T$ avec $\Delta T = (\mu_p U_m^2) / K$ et $Br = (\mu_p U_m^2) / (K \Delta T) = 1$ [Nombre de Brinkman].

3. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions considérées aux limites représentées dans la figure [1] sont en variables adimensionnelles comme suit: une vitesse établie à l'entrée Γ_1 : $u = f(y, Ye)$, $v = 0$, condition de non glissement aux parois Γ_2 et Γ_3 : $u = 0, v = 0$, un profil de vitesse établi à la sortie Γ_4 : $\partial u / \partial x = 0, v = 0$, condition de symétrie sur l'axe de symétrie Γ_5 : $\partial u / \partial y = 0, v = 0$, une température uniforme à l'entrée Γ_1 : $\theta_{x=0} = 0$, la paroi est considérée adiabatique Γ_2 et Γ_3 : $\partial \theta / \partial y = 0$, un profil de température établi à la sortie Γ_4 : $\partial \theta / \partial x = 0$ et une condition de symétrie sur l'axe de symétrie Γ_5 : $\partial \theta / \partial y = 0$.

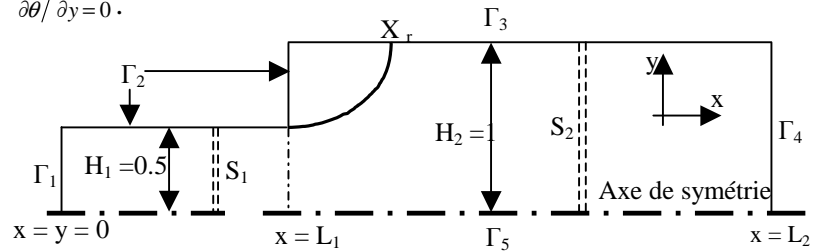


Figure 1 : Domaine de calcul

4. RESULTATS ET INTERPRETATION

4.1. Régime hydrodynamique

4.1.1. Influence de l'inertie sur le profil axial de vitesse

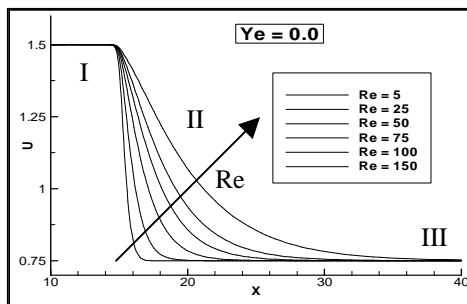


Figure 2 : L'influence de l'inertie sur le profil de vitesses axial (Ye = 0.0)

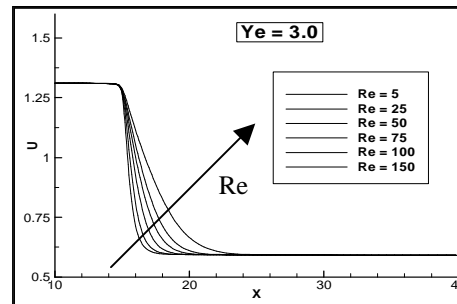


Figure 3 : L'influence de l'inertie sur le profil de vitesses axial (Ye = 3.0)

L'évolution de la vitesse axiale (u), considérée sur l'axe de symétrie de l'élargissement, est représentée dans les figures [2] et [3]. Les courbes représentatives de cette évolution présentent toutes une même allure formée par trois (3) zones distinctes. Les zones (I) et (III) sont caractérisées par l'uniformité de la vitesse ($u = Cte$). Elles traduisent de ce fait, un écoulement en régime établi. La zone (II) correspond à un état de transition entre les deux régimes établis situés à l'amont et en aval de l'élargissement. Cette transition localisée donc au niveau du changement de section, s'étale de plus en plus vers l'aval que le nombre de Reynolds devient important (figure [2]). La figure [3] indique clairement, la restriction de la zone (II) occasionnée par la présence d'un seuil de contrainte. Un fait qui est justifié par la diminution de la vitesse sur l'axe de symétrie, causée essentiellement par l'existence d'un écoulement bouchon.

4.1.2. Influence de la contrainte seuil sur le profil axial de vitesse

L'existence d'un seuil de contrainte est à l'origine de la formation d'un écoulement bouchon. Celui-ci est caractérisé par son envahissement de la section d'écoulement avec l'accroissement de la valeur du Ye , accompagnée d'une diminution de plus en plus aiguë de sa vitesse et par conséquent de la longueur nécessaire à l'établissement hydrodynamique de l'écoulement après le passage à travers l'élargissement (figure [4]).

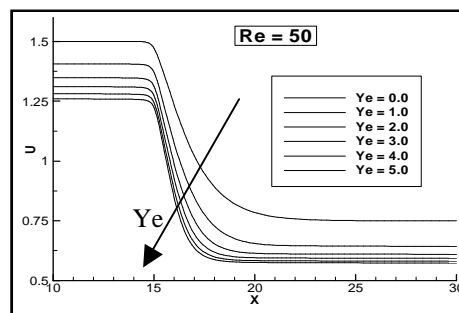


Figure 4 : L'influence de la contrainte seuil sur le profil de vitesses axial ($Re = 50$)

4.1.3. Influence de l'inertie sur la zone tourbillonnaire

L'évolution de la valeur du point de recollement présente une forme linéaire pour des valeurs importantes du nombre de Reynolds. Cette évolution par contre, tend vers une valeur asymptotique lors d'un écoulement rompant (faibles nombres de Reynolds). Ce constat, illustré par la figure [5], correspond avec ce qui formulé par Pinho et al [3] en considérant l'écoulement d'un fluide de puissance à travers un élargissement brusque axisymétrique de rapport géométrique 1:2.6.

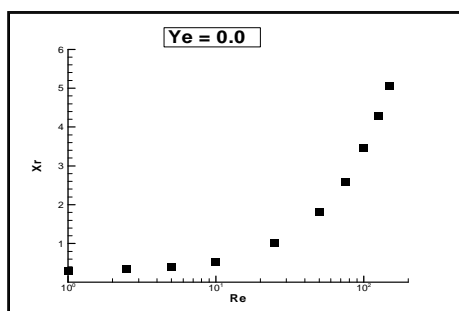


Figure [5] : Evolution du point de Recollement en fonction de Re ($Ye=0$).

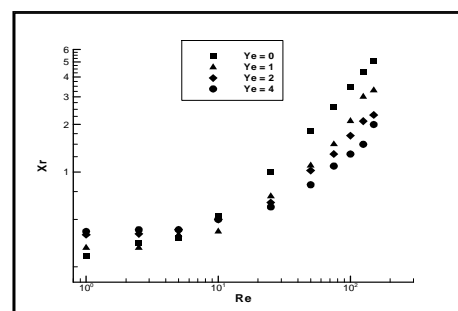


Figure [6] : L'évolution du point de recollement (Xr) en fonction de Re pour $Ye = 0 ; 1 ; 2$ et 4

4.1.4. Influence de la contrainte seuil sur la zone tourbillonnaire

On constat que, contrairement à l'inertie, le seuil de contrainte réduit la taille de la zone tourbillonnaire. Cette réduction s'accroît avec l'accroissement des valeurs du Y_e . La diminution de la zone tourbillonnaire est engendrée par les fortes valeurs de viscosité localisées au niveau du bouchon de fluide. La figure [6] montre que, pour des faibles valeurs de Reynolds (cas d'un écoulement rampant), l'accroissement de Y_e entraîne un léger éloignement du point de recollement vers l'aval qui résulte de l'augmentation de la zone tourbillonnaire, contrairement aux cas des fortes valeurs de Re .

4.1.5. Champ de pression

On remarque d'après les figures [7-a et b], que la perte de pression est nettement plus importante lorsque le fluide possède un seuil de contrainte (figure [7-b]).

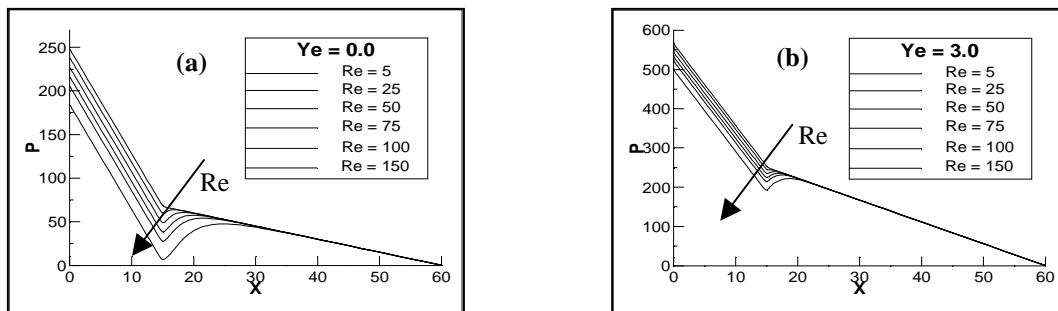


Figure [7] : L'évolution de la pression sur l'axe de symétrie pour différentes valeurs de Re , (a) : $Y_e = 0$; (b) : $Y_e = 3$

4.2. Régime thermique

4.2.1. Influence de l'inertie (Re) sur le champ thermique

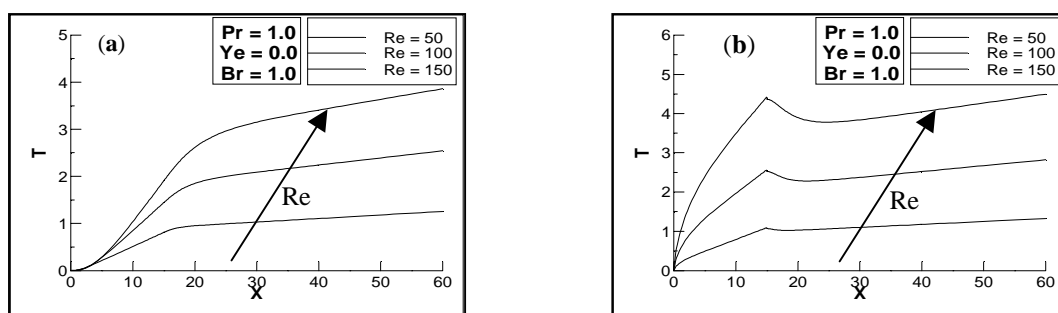


Figure [8] : Evolution de la température pour $Pr=1$, $Y_e=0$, et différentes valeurs de Re . (a) sur l'axe de symétrie, (b) au niveau des parois solides.

L'accroissement du nombre de Re engendre une augmentation de la température au niveau de l'axe de symétrie de l'expansion (figure [8]). Ce constat résulte de l'augmentation de la longueur nécessaire à un établissement hydrodynamique de l'écoulement et qui constitue une importante source de chaleur du fait de ces forts taux de cisaillement.

4.2.2. Influence de la contrainte seuil sur le champ thermique

L'accroissement de la contrainte seuil engendre une augmentation de plus en plus importante de la température au niveau de l'axe de symétrie et de la paroi (figure [9]).

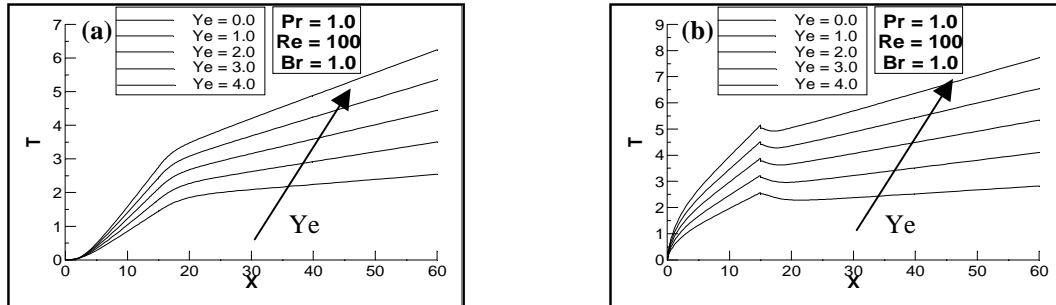


Figure [9] : Evolution de la température pour $Re=100$, $Pr=1$, et différentes valeurs de Ye . (a) sur l'axe de symétrie, (b) au niveau des parois solides.

5. CONCLUSION

L'écoulement laminaire à travers un élargissement brusque d'un fluide à seuil de contrainte a été investi dans notre travail. Nous avons remarqué particulièrement l'effet antagoniste exercé par l'inertie et la contrainte seuil sur les zones de recirculation, les longueurs d'établissement ainsi que sur les longueurs de recollement. L'analyse de l'importance du champ thermique généré par la dissipation visqueuse nous a permis de conclure que celui ci ne peut être négligé dans le cas des fluides non-newtoniens fortement visqueux.

Nomenclature :

C_1	Coefficient de perte de charge irréversible	$\dot{\mu}$	Taux de déformation ($1/s$)
K	Diffusivité thermique (m^2/s)	μ	Viscosité dynamique ($Pa.s$)
S_1	Section d'écoulement établi amont	ρ	Densité (Kg/m^3)
S_2	Section d'écoulement établi aval	η	Viscosité dynamique ($Pa.s$)
T_e	Température d'entrée ($^{\circ}C$)	τ	Contrainte seuil (Pa)
U_m	Vitesse moyenne de l'écoulement (m)	μ	Viscosité plastique ($Pa.s$)
X_r	Point de recollement	η	Viscosité apparente ($Pa.s$)
ΔT	Ecart de température ($^{\circ}C$)		

Références :

- [1] L. Back et E. Roshke, Shear layer regimes and wave instabilities and reattachment lengths downstream of an abrupt circular channel expansion, *J. Appl. Mech.*, 94, 677-681, 1972.
- [2] D. Fletcher, S. Maskel et M. Patrick, Heat and mass transfer computations for laminar flow in axisymmetric sudden expansion, *Computers Fluids*, 13, 207, 1985.
- [3] F.T. Pinho, P.J. Oliveira et J.P. Miranda, Pressure loss in the laminar flow of shear-thinning Power-law fluids across a sudden axisymmetric expansion. *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 24, 747-761, 2003.
- [4] P.J. Oliveira et F.T. Pinho, A general correlation for the local loss coefficient in Newtonian axisymmetric sudden expansion. *International journal of heat and fluid flow*, 19, 655-660, 1998.