Rev. Ivoir. Sci. Technol., 29 (2017) 1 - 15
ISSN 1813-3290, http://www.revist.ci

ÉTUDE NUMÉRIQUE DE LA CONVECTION ROTATOIRE PURE AUTOUR D'UN CÔNE DE RÉVOLUTION

Germain BEZANDRY [1*], **Raymond RANDRIANARIVELO** [1], **Ulrich CANISSIUS** [2] **et Edouard ALIDINA** [1]

[1] *Université d'Antsiranana, Faculté des Sciences, Laboratoire de Mécanique des Fluides et Systèmes Energétiques Appliqués (LMFSEA), BP O, Madagascar*
[2] *Laboratoire de Mécanique et de Métrologie (LMM), Ecole Normale Supérieure pour l'Enseignement Technique, Université d'Antsiranana, BP O, Madagascar*

____
*Correspondance, e-mail : *bezandriantallah@gmail.com*

RÉSUMÉ

Le présent travail porte sur une étude de la convection rotatoire pure autour d'un cône tournant autour de son axe de révolution, avec une vitesse angulaire constante. L'objectif est de simuler l'échange massique et thermique entre le cône et le fluide qui est supposé comme l'air. A l'aide d'un modèle numérique, les équations de continuité, de Navier-Stokes et de conservation de l'énergie sont résolues par une méthode implicite aux différences finies et l'algorithme de Thomas. L'influence de la vitesse de rotation du cône sur les transferts est analysée. Les résultats sont présentés par des profils adimensionnels de vitesses et de températures, ainsi que le nombre de Nusselt et les coefficients de frottements sont présentés graphiquement.

Mots-clés : *convection, rotatoire, pure, cône de révolution, étude numérique, laminaire.*

ABSTRACT

Numerical study of the pure rotatory convection around a revolution cone

This present work is about a survey of the pure rotational convection around a cone rotating around it ascis of revolution, with a constant angular speed. The objective is to simulate the massic and thermal exchange between the cone and the fluid which is supposed as the air. With the help of a numeric model, the equations of continuity, Navier-Stokes and conservation of the energy are solved by an implicit method to the finished differences and Thomas' algorithm. The influence of the speed of rotation of the cone on the transfers is analyzed. The results concerning the profiles of speeds and temperatures adimensionnelles, as well as the number of Nusselt and the coefficients of rubbings are presented graphically.

Keywords : *convection, rotatory, pure, revolution cone, numerical study, laminar.*

NOMENCLATURES

Lettres latines		*Lettres grecques*	
a	*diffusivité thermique ($m^2.s^{-1}$)*	α	*angle d'inclinaison du cône (rad)*
Cfu	*coefficient de frottement suivant x*	φ	*coordonnée azimutale (rad)*
Cfw	*coefficient de frottement suivant φ*	λ	*conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)*
Cp	*chaleur massique ($J.\ kg^{-1}.K^{-1}$)*	μ	*viscosité dynamique ($kg.(m.s)^{-1}$)*
L	*longueur de la génératrice du cône (m)*	ν	*viscosité cinématique ($m^2.s^{-1}$)*
Nu	*nombre de Nusselt*	θ	*coordonnée azimutale (rad)*
Pr	*nombre de Prandtl*	θ_0	*demi-angle au sommet du cone (rad)*
r	*rayon (m)*	τ_x	*contrainte de frottement suivant x*
Re_ω	*Reynolds de rotation*	τ_φ	*contrainte de frottement suivant φ*
T	*température (K)*	ρ	*masse volumique ($kg.m^{-3}$)*
T_P	*température à la paroi (K)*	Ω	*vitesse de rotation ($rad.s^{-1}$)*
T_∞	*température à l'infini (K)*		
T^+	*température réduite*		
U^+	*vitesse méridienne adimensionnelle*		
V^+	*vitesse normale adimensionnelle*		*Exposant*
W^+	*vitesse azimutale adimensionnelle*		
$V_x,$	*vitesse méridienne ($m.s^{-1}$)*		
$V_y,$	*vitesse normale ($m.s^{-1}$)*		+ *grandeurs adimensionnelles*
V_φ	*vitesse azimutale ($m.s^{-1}$)*		
x, y	*coordonnée méridienne et normale (m)*		

I - INTRODUCTION

Les transferts thermiques autour des corps à symétrie de révolution ont fait l'objet de nombreuses études étant donné leur intérêt théorie et pratique. Bien que de nombreuses études aient été réalisées sur les convections au voisinage de cône de révolution, parmi ces études on peut citer : [3] a étudié les transferts convectifs tridimensionnels autour d'un cône de révolution fermé sur sa partie supérieure par une calotte sphérique et incliné par rapport à la verticale. Il a déterminé la distribution de la vitesse extérieure à la couche limite en utilisant la méthode des singularités, et analysé l'influence de l'angle d'inclinaison du cône par rapport à la verticale sur l'écoulement et le transfert thermique dans la couche limite qui se développe autour de ce cône. Et très récemment, [4] a consacré une étude numérique de la convection naturelle autour d'un cône de révolution incliné. Il a étudié l'influence de l'angle d'inclinaison du cône sur le transfert thermique. [5] traite la convection naturelle thermique et massique dans la couche limite autour d'un cône. Il a montré sur les champs dynamique et thermique l'influence de la variation de viscosité dynamique en fonction de la température.

[6] traitent, en régime permanent, la convection naturelle thermique et massique dans la couche limite laminaire autour d'un tronc de cône à paroi sinusoïdale. Ils ont montré que l'augmentation de l'amplitude de la sinusoïde décrivant la forme de la paroi du tronc de cône ainsi que du rapport entre les forces volumiques d'origine thermique et celles d'origine massique est à l'origine de la diminution des nombres de Nusselt et de Sherwood locaux et moyens. L'objectif de ce travail est d'analyser par une simulation numérique, l'influence de la vitesse de rotation sur les comportements thermique et dynamique d'un écoulement laminaire en convection rotatoire pure le long d'un cône isotherme en rotation autour de son axe de révolution, ainsi que les coefficients de frottement et le nombre de Nusselt.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Modèle physique

Considérons un cône de révolution immergé dans un fluide newtonien en rotation uniforme à la vitesse ω autour de son axe de révolution ***(Figure 1)***. La paroi du cône est maintenue à une température constante T_p, différente de la température T_∞ du fluide loin de la paroi qui est également constante.

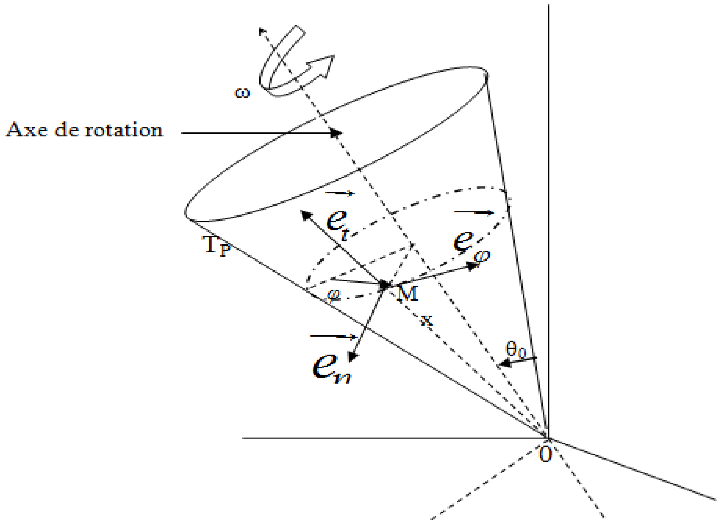


Figure 1 : *Schéma du modèle physique*

II-2. Formulation mathématique du problème

II-2-1. Hypothèses simplificatrices

Nous avons adopté les hypothèses suivantes afin de développer notre modèle numérique :

- L'écoulement est permanent et en régime laminaire ;
- Le fluide est Newtonien et incompressible ;
- Les propriétés physiques du fluide sont constantes, hormis la masse volumique, dans l'équation du mouvement, qui dépend de la température ;
- La fonction de dissipation visqueuse est négligeable.

II-2-2. Équations générales de conservation

- ***Équation de continuité***

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{V_x}{r}\frac{dr}{dx} = 0 \qquad (1)$$

- ***Équations de quantité de mouvement***

$$V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{V_\varphi^2}{r}\frac{dr}{dx} = \nu \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \qquad (2)$$

$$V_x \frac{\partial V_\varphi}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_\varphi}{\partial y} + \frac{V_\varphi}{r} V_x \frac{dr}{dx} = \nu \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial y^2} \tag{3}$$

- ***Équation de la chaleur***

$$V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \tag{4}$$

A ces ***Équations***, nous associons les conditions aux limites suivantes :

- A la paroi $y = 0$

$$T = T_p \;;\quad V_x = 0 \;;\quad V_y = 0 \;;\quad V_\varphi = r\,\omega \tag{5}$$

- loin de la paroi $y \longrightarrow \infty$

$$T = T_\infty \;;\quad V_x = 0 \;;\quad V_\varphi = 0 \tag{6}$$

II-2-3. Principales grandeurs physiques

- Nombre de Nusselt : $Nu = -\frac{L}{(T_p - T_\infty)} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}$ (7)

- Nombre de Reynolds de rotation : $Re_\omega = \frac{L^2 \omega}{\nu}$ (8)

- Contraintes à la paroi :

$$\tau_x = \mu \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} \right)_{y=0} \quad \text{et} \quad \tau_\varphi = \mu \left(\frac{\partial V_\varphi}{\partial y} \right)_{y=0} \tag{9}$$

- Coefficients de frottement :

$$Cf_u = \frac{\tau_x}{\frac{1}{2} \rho L^2 \omega^2} \quad \text{et} \quad Cf_w = \frac{\tau_\varphi}{\frac{1}{2} \rho L^2 \omega^2} \tag{10}$$

II-2-4. Formulations adimensionnelles

En utilisant les variables adimensionnelles suivantes :

$$x^+ = \frac{x}{L} \qquad y^+ = \frac{y}{L}\sqrt{R_{e\omega}} \qquad \varphi^+ = \varphi \qquad r^+ = \frac{r}{L} \qquad Y^+ = \frac{y}{L} \qquad \Omega^+ = \omega$$

$$V_x^+ = \frac{V_x}{L\omega}\mathrm{Re}_\omega^{\frac{1}{4}} \qquad V_y^+ = \frac{V_y}{L\omega}\mathrm{Re}_\omega^{\frac{3}{4}} \qquad V_\varphi^+ = \frac{V_\varphi}{L\omega}\mathrm{Re}_\omega^{\frac{1}{4}} \qquad T^+ = \frac{T - T_\infty}{T_p - T_\infty}$$

, les ***Équations*** adimensionnelles dan les couches limites, le nombre de Nusselt et les coefficients de frottement s'écrivent :

- ***Équation de continuité***

$$\frac{\partial V_x^+}{\partial x^+} + \frac{\partial V_y^+}{\partial y^+} + \frac{V_x^+}{r^+}\frac{dr^+}{dx^+} = 0 \tag{11}$$

- ***Équations de quantité de mouvement***

$$V_x^+ \frac{\partial V_x^+}{\partial x^+} + V_y^+ \frac{\partial V_x^+}{\partial y^+} - \frac{V_\varphi^{+2}}{r^+}\frac{dr^+}{dx^+} = \mathrm{Re}_\omega^{\frac{1}{4}} \frac{\partial^2 V_x^+}{\partial y^{+2}} \tag{12}$$

$$V_x^+ \frac{\partial V_\varphi^+}{\partial x^+} + V_y^+ \frac{\partial V_\varphi^+}{\partial y^+} + \frac{V_x^+ V_\varphi^+}{r^+}\frac{dr^+}{dx^+} = \mathrm{Re}_\omega^{\frac{1}{4}} \frac{\partial^2 V_\varphi^+}{\partial y^{+2}} \tag{13}$$

- ***Équation de la chaleur***

$$V_x^+ \frac{\partial T^+}{\partial x^+} + V_y^+ \frac{\partial T^+}{\partial y^+} = \frac{1}{\mathrm{Pr}}\mathrm{Re}_\omega^{\frac{1}{4}} \frac{\partial^2 T^+}{\partial y^{+2}} \tag{14}$$

A ces ***Équations***, nous associons les conditions aux limites suivantes :

- A la paroi : $y^+ = 0$

$$T^+ = 1 \qquad V_x^+ = 0 \qquad V_y^+ = 0 \qquad V_\varphi^+ = r^+ \mathrm{Re}_\omega^{\frac{1}{4}} \tag{15}$$

- Loin de la paroi $y^{+} \longrightarrow \infty$

$$T^{+} = 0 \qquad V_{x}^{+} = 0 \qquad V_{\varphi}^{+} = 0 \tag{16}$$

- nombre de Nusselt : $Nu\, R_{e\omega}^{\frac{-1}{2}} = -\left(\dfrac{\partial T^{+}}{\partial y_{+}} \right)_{y_{+}=0}$ (17)

- coefficients de frottement :

$$\frac{1}{2} C f_{u} \sqrt{R_{e\omega}} = \left(\frac{\partial V_{x}^{+}}{\partial y_{+}^{+}} \right)_{y_{+}=0} \quad \text{et} \quad \frac{1}{2} C f_{w} \sqrt{Re_{\omega}} = \left(\frac{\partial V_{\varphi}^{+}}{\partial y_{+}^{+}} \right)_{y_{+}=0} \tag{18}$$

III - RÉSOLUTION NUMÉRIQUE

Les ***Équations*** de continuité, de quantité de mouvements et de la chaleur associées aux conditions aux limites sont discrétisées à l'aide d'une méthode implicite aux différences finies. Les ***Équations*** de quantité de mouvement et de la chaleur se mettent sous la forme de $A_{j} X_{j-1} + B_{j} X_{j} + C_{j} X_{j+1} = D_{j}$ $\quad 2 \le j \le J\max - 1$ et résolues par l'algorithme de Thomas. La composante normale V^{+} de la vitesse est déduite de l'équation de continuité :

$$V^{+}\left({}^{i+1}_{k,j+1} \right) = V^{+}\left({}^{i+1}_{k,j} \right) - \Delta y^{+} \left[\frac{U^{+}\left({}^{i+1}_{k,j} \right) - U^{+}\left({}^{i}_{k,j} \right)}{\Delta x^{+}} + \frac{U^{+}\left({}^{i+1}_{k,j} \right)}{\Delta x^{+}} \left(1 - \frac{r^{+}(i)}{r^{+}(i+1)} \right) \right] \tag{19}$$

Le critère de convergence, vérifié simultanément pour T^{+}, U^{+}, V^{+}, et W^{+}, est :

$$\left| \frac{\max\left(F^{n+1} - F^{n} \right)}{\max\left(F^{n} \right)} \right| \le 10^{-6} \tag{20}$$

Les dérivées partielles des expressions de Nusselt local et des coefficients de frottement pariétal sont approchées par une discrétisation à trois points.

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

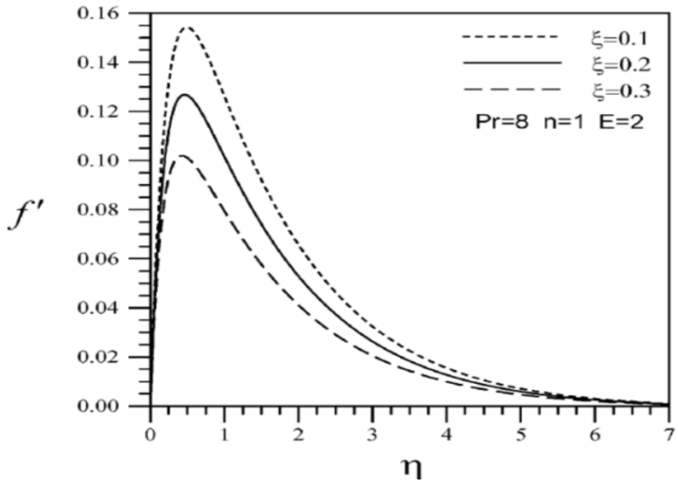
Nous fixons : Pr = 0.72, $\Delta x = 0.0025$, $\Delta y = 0.0001$, L = 1 m et $\theta_0 = 20°$ Nous comparons les résultats relatifs à la convection naturelle autour d'un cône issus de notre code de calcul à ceux obtenus par [5]. La ***Figure 2 a*** et la ***Figure 2b*** représentant la variation de la composante méridienne adimensionnelle en fonction de la coordonnée normale y+, montrent que nos résultats sont en bon accord avec ceux de la littérature, l'écart relatif ne dépassant pas 5 %. La ***Figure 3*** montre que, pour une même vitesse angulaire ω du cône, la composante U^+ varie le long de la paroi. En effet, plus on s'éloigne du sommet du cône, le rayon du cône augmente, et que par conséquent cette composante est importante. Par ailleurs, la ***Figure 4*** représente pour différentes valeurs de Ω^+, l'évolution et la rapidité avec laquelle U^+ croît jusqu'à son maximum caractérisé par un pic puis décroît; les courbes s'étalent et leurs maxima varient dans le même sens que les valeurs de Ω^+ et que, plus ces dernières sont importantes, plus ces variations sont accentuées du fait du phénomène d'adhérence du fluide à la paroi. Les ***Figures 5 et 6*** présentent la variation de la composante normale V^+. La vitesse réduite V^+ est négative et est fonction décroissante de Y^+ jusqu'à un palier ; la rapidité avec laquelle elle atteint son palier est fonction croissante de Ω^+ : les particules fluides sont aspirées vers la paroi et plus la vitesse angulaire ω est importante, plus l'aspiration est brusque.

Les ***Figures 7 et 8*** illustrent la variation de la composante azimutale W^+. D'une part, à la paroi, sa valeur est maximale et est fonction croissante de x^+ ; d'autre part, elle diminue linéairement en s'écartant de la paroi et enfin plus Ω^+ est grande, moins W^+ est importante. En effet, à la paroi, à cause du phénomène d'adhérence à la paroi, les particules fluides épousent la vitesse angulaire du cône et que pour ω donnée, en s'éloignant du sommet O, le rayon du cône prend en importance et qu'il en est de même de W^+ ; d'autre part, en s'éloignant de la paroi, les particules fluides sont moins influencées par la rotation du cône et enfin, à cause de leur inertie, plus Ω^+ s'intensifie, moins elles arrivent à suivre et à se synchroniser au mouvement du solide. A la ***Figure 9***, plus la vitesse du cône augmente ou plus on est loin du sommet O, le rayon r du cône plus important, alors moins la température réduite T^+ du fluide est élevée et cela au fur et à mesure que y^+ augmente : à cause de la vitesse de rotation du solide, la chaleur n'a pu convenablement se transmettre par convection des particules adhérant à la paroi aux particules qui leur avoisinent et ainsi de suite. Ce phénomène est plus marqué pour les particules plus éloignées. Par ailleurs, il est remarquable que plus on s'éloigne du sommet O, plus la vitesse Ω^+ est importante. Sur les

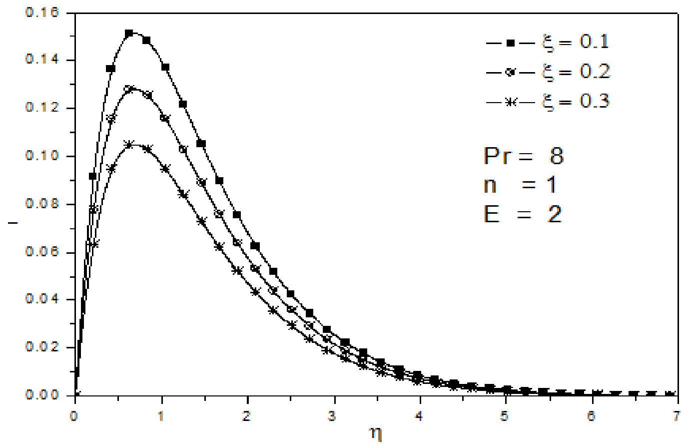
Figures 10 et 11, $\frac{1}{2}Cf_u\sqrt{\mathrm{Re}_\omega}$ est fonction croissante de Ω^+. En effet, la vitesse méridienne est un des responsables du frottement pariétal alors qu'elle croît quand on passe du sommet O du cône vers le haut. La même remarque s'observe pour $\frac{1}{2}Cf_w\sqrt{\mathrm{Re}_\omega}$ seulement pour cette dernière, la vitesse azimutale décroît avec Ω^+ contrairement à la vitesse méridienne et, qu'ainsi, $\frac{1}{2}\sqrt{\mathrm{Re}_\omega}$ est fonction croissante de Ω^+. A la ***12ème Figure***, $Nu\,\mathrm{Re}_\omega^{\frac{-1}{2}}$ est fonction décroissante de Ω^+ c'est-à-dire que plus la rotation est élevée, moins le transfert de chaleur par convection a pas le temps de s'établir et donc moins important. Cela s'explique du fait que les particules, agent de convection sont d'autant refoulées vers la paroi que la vitesse de rotation est élevée.

V - CONCLUSION

L'objectif de cet article est de présenter les résultats qui se rapportent à la couche limite autour d'un cône en convection rotatoire pure. A l'issue de ces études, nous pouvons dégager les points suivants : les vitesses méridienne, azimutale, normale, et la température, sont indépendantes de l'angle azimutal φ^+ à cause de la bidimensionnalité du système. De même, les quantités adimensionnelles représentant l'échange de chaleur Nu et l'adhérence Cf_u et Cf_w se présentent de la même manière. Pour une même coordonnée normale Y^+, le fait de s'éloigner du sommet Oaugmente la vitesse méridienne. La valeur maximale ainsi que la rapidité de croissance puis de décroissance de la vitesse méridienne en fonction de Y^+ varie dans le même sens que la vitesse de rotation Ω^+ du cône. Cela est dû à l'amincissement de la couche limite provoquée par la rotation du cône. La vitesse normale V^+ est négative et est fonction décroissante de Y^+ puis atteint un palier ; cela témoigne que les particules sont aspirées vers la paroi et on a observé que plus la vitesse angulaire Ω^+ est grande ou plus on est loin du sommet O, plus l'aspiration est intense et plus on atteint rapidement le palier. A la paroi, la valeur de la vitesse azimutale est maximale et est fonction croissante de x^+ ; d'autre part, elle diminue linéairement en s'écartant de la paroi et enfin plus Ω^+ est grande, moins W^+ est importante. En effet, à la paroi, à cause du phénomène d'adhérence à la paroi, les particules fluides épousent la vitesse angulaire du cône et que pour Ω^+ donnée, en s'éloignant du sommet O, le rayon du cône prend en importance et qu'il en est de même de W^+ ; d'autre part, en s'éloignant de la paroi, les particules fluides sont moins influencées par la rotation du cône et enfin, à cause de leur inertie, plus Ω^+ s'intensifie, moins elles arrivent à suivre et à se synchroniser au mouvement du solide.



(a) résultat de [5]



(b) notre résultat

Figure 2 : *Comparaisons de notre résultat et à celui de* [5]

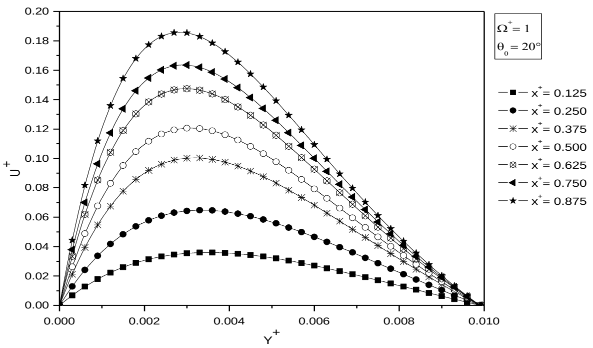


Figure 3 : *Vitesse réduite suivant x en fonction de* Y^+ *pour plusieurs valeurs de x+,* $\Omega^+ = 1$*,* $\theta_0 = 20°$

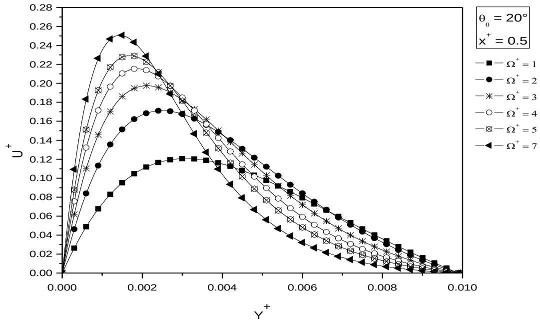


Figure 4 : *Vitesse réduite suivant x en fonction de* Y^+ *pour plusieurs valeurs de* Ω^+*, x+ = 0.5,* $\theta_0 = 20°$

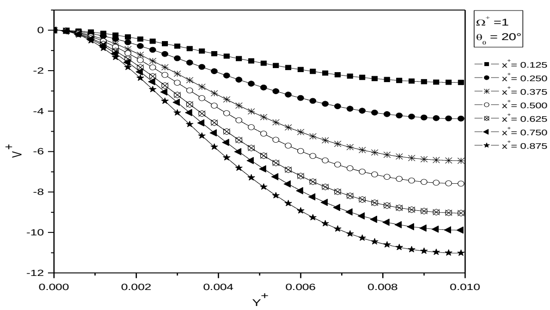


Figure 5 : *Vitesse réduite suivant y en fonction de* Y^+ *pour plusieurs valeurs de x+,* $\Omega^+ = 1$ *,* $\theta_0 = 20°$

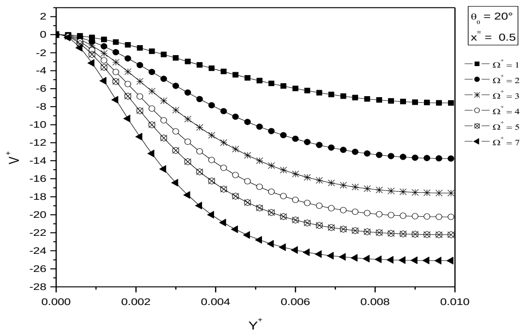


Figure 6 : *Vitesse réduite suivant y en fonction de* Y^+ *pour plusieurs valeurs de* Ω^+ *,x + = 0.5,* $\theta_0 = 20°$

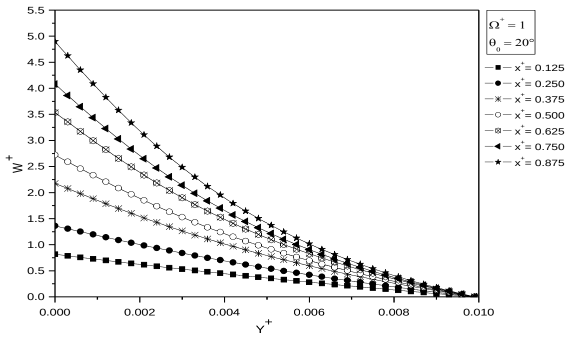


Figure 7 : *Vitesse réduite suivant phi en fonction de* Y^+ *pour plusieurs valeurs de x+,* Ω^+ *= 1 ,*$\theta_0 = 20°$

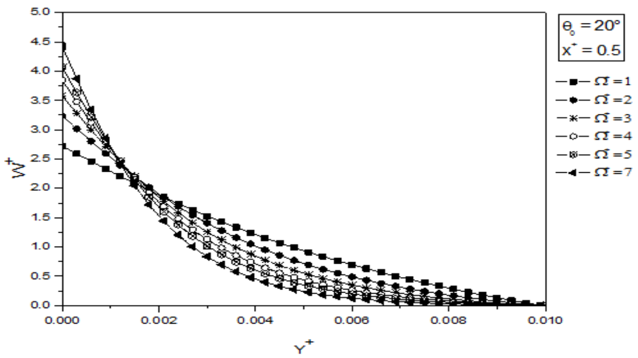


Figure 8 : *Vitesse réduite suivant phi en fonction de* Y^+ *pour plusieurs valeurs de* Ω^+ *, x + = 0.5,* $\theta_0 = 20°$

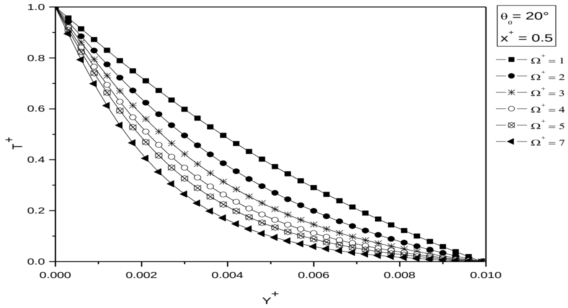


Figure 9 : *Température réduite en fonction de* Y^+ *pour plusieurs valeurs de* Ω^+*, x+ = 0.5,* $\theta_0 = 20°$

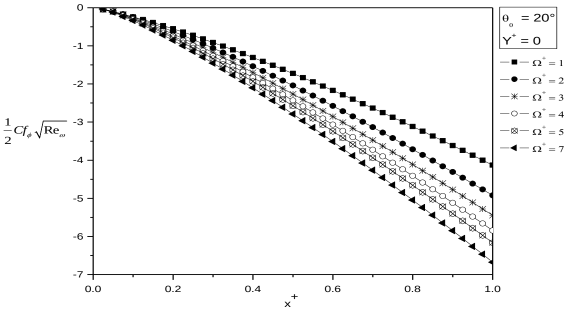


Figure 10 : *Coefficient de frottement suivant x en fonction de x+ pour plusieurs valeurs de* Ω^+, Y^+ *= 0,* $\theta_0 = 20°$

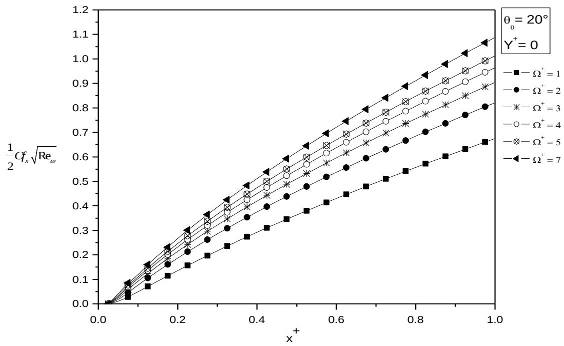


Figure 11 : *Coefficient de frottement suivant phi en fonction de x+ pour plusieurs valeurs de* Ω^+, Y^+ *= 0,* $\theta_0 = 20°$

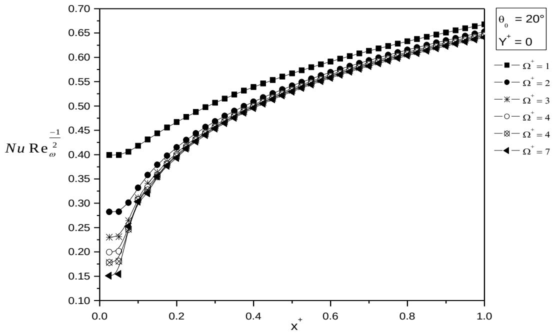


Figure 12 : *Nombre de Nusselt en fonction de x+ pour plusieurs valeurs de* $\Omega^{+}, Y^{+} = 0, \theta_0 = 20°$

RÉFÉRENCES

[1] - EDOUARD ALIDINA, ″ Contribution à l'Etude des Ecoulements Tridimensionnels Laminaires et Permanents Autour de l'Ellipsoïdes de Révolution : Ecoulement d'un Fluide Parfait et Convection Mixte d'un Fluide Newtonien en Couche Limite″, Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, (1997) 239 p.

[2] - MINOSON SENDRAHASINA RAKOTOMALALA, ″Etude des Transferts dans la Couche Limite Entourant un Corps à Symétrie de Révolution Tournant dans un Fluide en Présence d'un Ecoulement Axial et d'une Convection Naturelle″, Thèse de Doctorat, Université de Nince – Sophia Antipolis U.F.R Faculté des Sciences, France, (1994) 222 p.

[3] - FRANÇOIS D'ASSISE RAKOTOMANGA, ″Contribution à l'Etude des Transferts Thermiques Convectifs Tridimensionnels Autour d'un Cône de Révolution″, Thèse de Doctorat, Université d'Antsiranana, Antsiranana, (2013) 184 p.

[4] - CANISSIUS ULRICH, " Etude numérique de la convection naturelle tridimensionnelle autour d'un cône de révolution inclinée ", *Afrique* SCIENCE, 11 (1) (2015) 1 - 11

[5] - CHING YANG CHENG, "Free Convection Heat Transfert from a Non isothermal. Permeable Cone Suction and Temperature Dependent Viscosity", *Journal of applied Science and Engineering*, Vol. 18, N°1 (2015) 17 - 24

[6] - M. SIABALLAH, B ZEGHMATI et M. DAGUENET, "Etude de la Convection Naturelle Thermique et Massique dans la Couche Limite Autour d'un Tronc de Cône à Paroi sinusoïdale",12ème Journées Internationales de Thermique, Tanger, Maroc, (2005)

[7] - CHANDRA SHEKAR BALLA, KISHAN NAIKOTI, ″ Finite element analysis of Magnetohydrodynamic transcient free convection flow of nanofluid over a vertical cone with thermal radiation ″, SAGE journals, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, PartN : *Journal of Nanomaterials, Nanoengineering Nanosystems*, (2014)
[8] - BAPUJI PULLEPU, K. EKAMBAVANAN, ALI. J. CHAMKHA,″Unsteady laminar natural convection flow past an isothermal vertical cone,″ *Int. J. Heat and Technology*, 25 (2) (2007) 17 - 28
[9] - D. ANILKUMAR, S. ROY, ″ Unsteady mixed convection flow on a rotating cone in a rotating fluid, ″ Applied Mathematics and Computation, Vol. 155, Issue 2, (2004) 545 - 561
[10] - S. NADIM, S SALEEM, Mixed convection flow of Eyring-Powell fluid along a rotating cone″ Results in Physics, 4 (2014) 54 - 62
[11] - SEBASTIEN CANDEL, *"Cours de Mécanique des Fluides"*, Dunod, Paris, (1995)
[12] - OLIVIER LOUISNARD,″ Cours de Mécanique des Fluides ″.
[13] - RISSER LAURENT, ″ Différences Finies pour la Résolution Numérique des Equations de la Mécanique des Fluides″, (2006)
[14] - J. F. SACADURA, " Introduction aux Transferts Thermiques", Techniques et Documentation, Paris, (1982)
[15] - YVES JANNOT, *″ Transferts Thermiques ″*, Ecole des Mines NANCY, (2009)
[16] - BOUHEZZA AICHA, "Etude d'une couche limite laminaire en convection mixte : effet de l'inclinaison de la paroi", Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, (2007)
[17] - JACQUES PADET, " FLUIDES EN ECOULEMENT. Méthodes et Modèles ", (1990)
[18] - ERIC GONCALVES, "METHODES, ANALYSE ET CALCULS NUMERIQUES ", Institut National Polytechnique de Grenoble, (2005)
[19] - LUC MIEUSSENS, "Cours de Fortran 90", Institut de Mathématiques de Bordeaux, Université de Bordeaux, (2011)
[20] - JEAN LOUIS MERRIEN, "ANALYSE NUMERIQUE AVEC MATLAB, *Exercices et Problèmes*", Dunod, (2007)