

Simulation Numérique de la Convection Naturelle en Régime Laminaire Transitoire dans une Serre Tunnel Chauffée par le Bas (Flux)

B. Draoui, M. Benyamine, Y. Touhami et B. Tahri

Institut de Génie Mécanique, Centre Universitaire de Béchar, B. P. 417, Béchar

Résumé - Dans cette communication, nous présentons l'étude de la convection naturelle en régime laminaire transitoire à l'intérieur d'une serre tunnel chauffée par le bas (flux) non cultivée. Une simulation numérique bidimensionnelle des équations de continuité, de quantité de mouvement et de la chaleur est traitée, la résolution est effectuée par un Algorithme numérique appelé SIMPLER (Semi Implicit Pressure Method Linked Equation Revised) [3]. Les résultats sont donnés sous forme de distributions des isothermes, des lignes de courants et du nombre de Nusselt local.

Abstract - In this communication, we present the study of the natural convection in transitory streamline flow inside a greenhouse tunnel heated by bottom (flow) not cultivated. A two-dimensional numerical simulation of the equations of continuity, momentum and heat is treated, the resolution is carried out by a numerical Algorithm called SIMPLER (Semi Implicit Pressure Method Linked Equation Revised) [3]. The results are given in the form of distributions of the isotherms, the threads of currents and the number of local Nusselt.

Mots clés: Convection naturelle - Régime laminaire transitoire - Serre tunnel - Volumes finis.

1. INTRODUCTION

La situation géographique des régions méditerranéennes est caractérisée par un fort rayonnement solaire favorisant ainsi le développement des cultures sous serre qui permet d'améliorer à la fois la quantité et le rendement.

La serre est à la fois un système biologique et énergétique fort complexe dans lequel tous les différents modes d'échange interviennent, s'ils sont relativement simples et bien connus, leur couplage constitue pour le physicien un problème difficile à modéliser. Dans la serre, c'est le mode de convection qui régit les échanges de chaleur entre l'air intérieur et toutes les autres surfaces solides : le sol, les parois verticales, le toit, la culture et tous les divers systèmes de climatisation ainsi que les échanges carbonés (CO₂).

Afin de pouvoir contribuer à l'élaboration de modèle plus ou moins réaliste (non-homogénéité de la température), nous allons aborder cette question en étudiant le mode convectif créée par une configuration simple correspondant à une température sinusoidale imposé dans le sol et le toit est maintenu à une température fixe.

Le but de cette communication est d'étudier la convection naturelle en régime laminaire transitoire de l'air intérieur d'une serre tunnel dépourvue de couvert végétal. Pour cela nous avons utilisé un code numérique basé sur l'algorithme SIMPLER (Semi Implicit Pressure Method Linker Equation Revised) proposé par Patankar où nous avons développé une formulation traitant une serre horticole.

2. HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES

- Les variations des différents paramètres évolutifs dans le sens de la longueur des parois, sont négligeables. Autrement dit, l'écoulement est supposé bidimensionnel suivant x et y.
- Les vitesses mises en jeu sont faibles. L'écoulement est laminaire.
- Les propriétés physiques de l'air confiné à l'intérieur de la serre sont supposées constantes hormis sa masse volumique ρ dont la variation en fonction de la température est donnée par l'approximation de Boussinesq : $\rho = \rho_0 (1 - \beta(T - T_0))$

3. FORMULATION MATHÉMATIQUE DU PROBLÈME

3.1 Variables adimensionnelles

$$X = \frac{x}{H} \quad ; \quad Y = \frac{y}{H} \quad ; \quad U = \frac{u}{V_0} \quad ; \quad V = \frac{v}{V_0} \quad ; \quad P = \frac{p}{p_0} \quad ; \quad \tau = \frac{t}{t_0} \quad ; \quad \theta = \frac{T - T_f}{\Delta T}$$

$$\text{où : } V_0 = \sqrt{g\beta\Delta TH} \quad ; \quad t_0 = \frac{L}{\sqrt{g\beta\Delta TH}} \quad ; \quad p_0 = \rho V_0^2 = \rho g\Delta TH$$

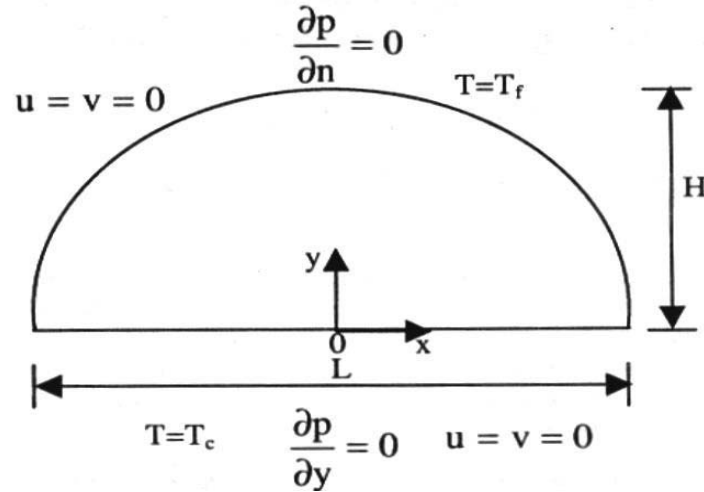


Fig. 1: Géométrie et conditions aux limites

3.2 Equations de transfert adimensionnelles

Après introduction des variables données ci-dessus, les équations qui régissent le transfert de chaleur en convection naturelle à l'intérieur de la serre s'écrivent :

Equation de continuité

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0$$

Equation de quantité de mouvement

$$\text{Suivant } O_x : \frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{Gr}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right)$$

$$\text{Suivant } O_y : \frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{Gr}} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \theta$$

Equation de l'énergie

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{Pr} \cdot Ra} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right)$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TH^3}{\nu^2} ; \quad Pr = \frac{\nu}{a} \quad \text{et} \quad Ra = \frac{g\beta\Delta TH^3}{\nu a}$$

Conditions initiales et aux limites adimensionnelles

$$\tau = 0, \quad \forall X, \quad \forall Y \quad \theta = 0 \quad \text{et} \quad U = V = 0$$

$$\tau > 0, \quad \text{Au sol:} \quad \frac{\partial \theta}{\partial y} = -1, \quad U = V = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

$$\text{Sur la paroi:} \quad \theta = 0, \quad U = V = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial P}{\partial n} = 0$$

4. RESOLUTION NUMERIQUE

Pour la résolution des équations régissant le transfert à l'intérieur de la serre, nous avons choisi la méthode des volumes finis. L'intégration dans le temps a été faite par un schéma à pas fractionnaire, aux directions alternées, implicite et explicite, appelé méthode A.D.I. (Alternating Direction Implicit). La résolution s'effectue ensuite par une méthode itérative.

5. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette étude, les variations des lignes de courants, les isothermes, les champs de vitesse ainsi que les différents profils seront présentés, pour une serre tunnel chauffée par le sol (flux imposé).

Sur la figure 2, on donne l'évolution des lignes de courant (à gauche) et les isothermes (à droite) aux différents instants adimensionnels. Comme dans le cas précédent (cas de température imposée), à l'instant $\tau = 5$, le régime dominant est la conduction. Avant l'obtention du régime permanent, on a présenté les différentes cellules de circulation de l'air. Finalement, en régime permanent, on obtient deux cellules de convection dont le sens de rotation est opposé.

Comme précédemment, les isothermes présentent des distorsions, avec une concentration de ces dernières à la région qui sépare les deux cellules ($x \approx 3.3$). Donc, on constate qu'il y a une concentration sur la périphérie et au niveau du sol. On remarque ainsi l'existence de deux zones isothermes.

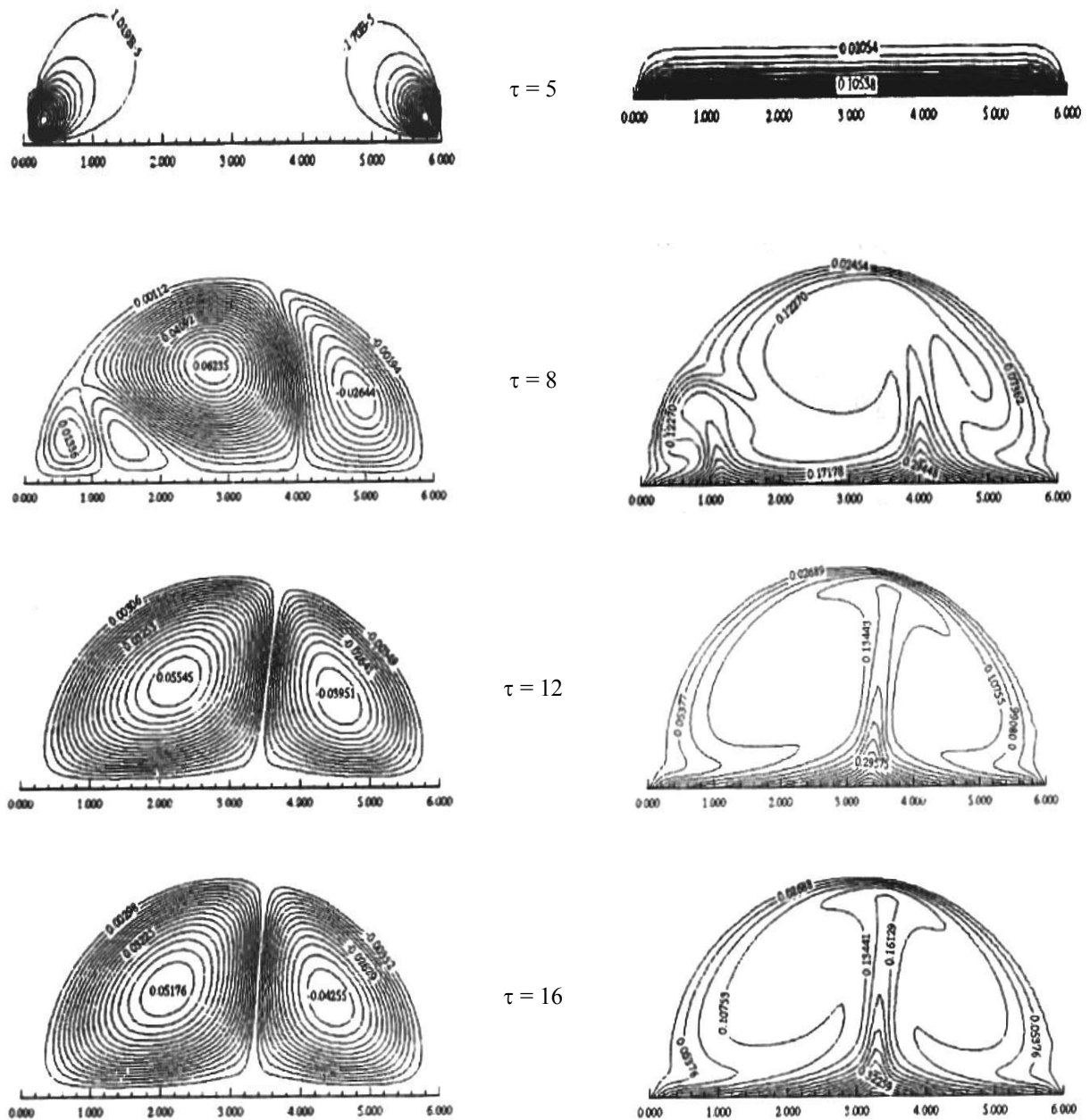


Fig. 2: Les lignes de courant et les isothermes pour une serre tunnel - $Ra = 10^6$ (flux imposé)

Les figure 3 et 4 montrent l'évolution de la température respectivement du sol et de l'air en fonction du temps. Avant d'atteindre le régime permanent, la température du sol atteint une valeur minimale à l'instant où la température de l'air tend vers sa valeur maximale.

L'homogénéité de la température du centre de la serre est mise en évidence (Fig. 5) et de forts gradients thermiques se développent dans les couches limites au voisinage du sol et du toit. On observe aussi que l'écart de température entre le sol et le centre de la serre est supérieur à celui entre le toit et le centre, cela peut s'expliquer par la grande différence des inerties du sol et la paroi (plastique).

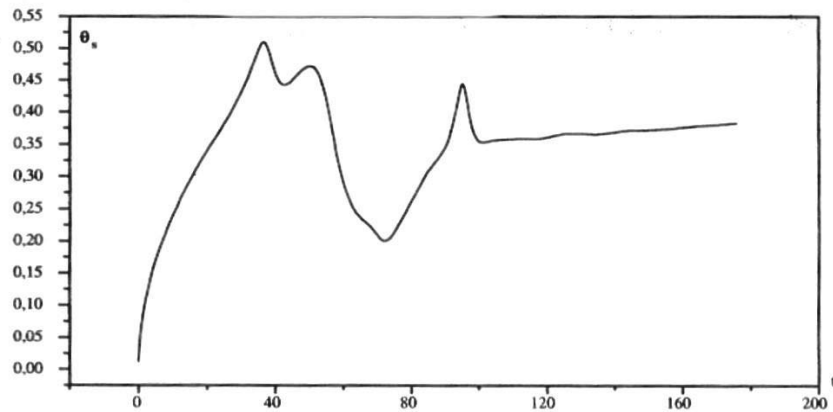


Fig. 3: Variation de la température du centre de la serre en fonction du temps – $Ra = 10^6$ (flux imposé)

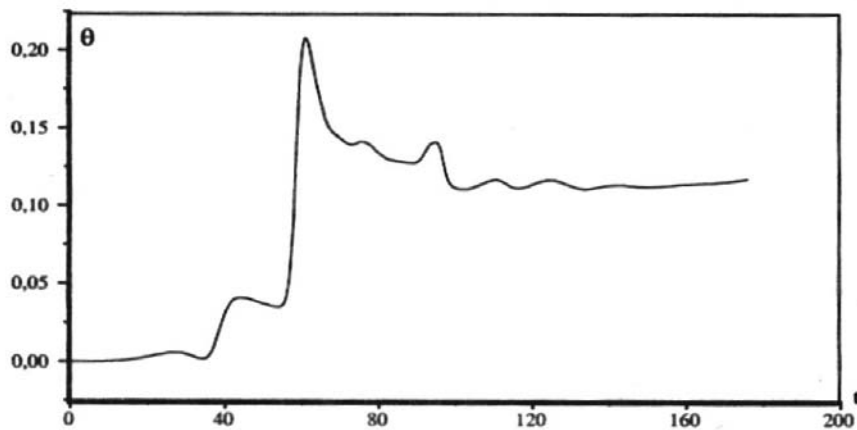


Fig. 4: Variation de la température du sol de la serre en fonction du temps – $Ra = 10^6$ (flux imposé)

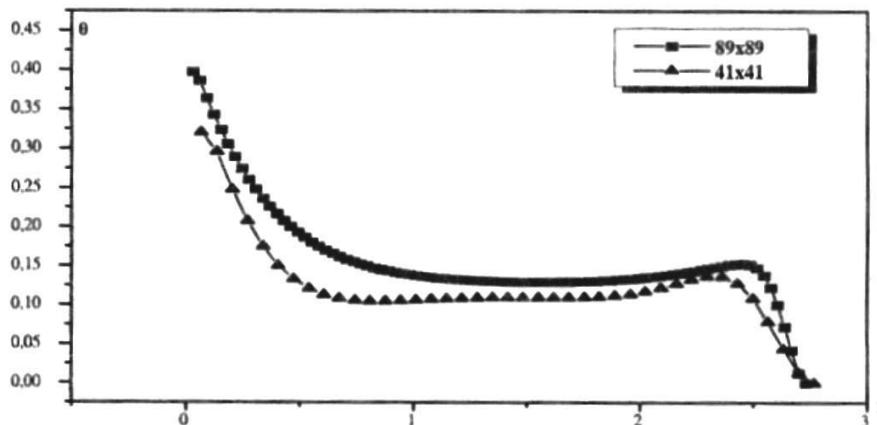


Fig. 5: Profil vertical de la température à la mi-largeur de la serre – $Ra = 10^6$ (flux imposé)

6. CONCLUSION

L'objectif de notre travail était l'étude du comportement de l'air à l'intérieur de la serre. Nous avons élaboré un modèle mathématique qui nous a permis de déterminer les distributions spatio-temporelles des lignes de courant, des isothermes et de la pression dans tout le domaine d'étude. Les résultats trouvés permettent la caractérisation de l'écoulement général de l'air dans la serre. Nous avons aussi montré que pour des conditions de flux imposées au sol et pour des écarts de température faibles maintenues entre le sol et le toit, la circulation de l'air est caractérisée par deux cellules de recirculation tournant en sens opposé. Le fait que la pression de l'air à l'intérieur de la serre est importante près du sol, cela permet une bonne circulation d'air dans la serre et appuie l'idée de mettre les ouvrants en haut (au niveau du toit), ce qui a pour effet d'évacuer ou bien de renouveler l'air de la serre.

NOMENCLATURE

a	: diffusivité thermique du flux	[m ² s ⁻¹]
g	: accélération de la pesanteur	[ms ⁻²]
p	: pression	[Pa]
T	: température	[K]
t	: temps	[s]
q	: flux de chaleur constant	[Wm ⁻²]
u, v	: composantes de la vitesse	[ms ⁻¹]
β	: coefficient d'expansion thermique	[K ⁻¹]
ν	: viscosité cinématique	[m ² s ⁻¹]
ρ	: masse volumique	[kgm ⁻³]
Indices		
0	: Valeur de référence	
c, f	: respectivement température chaude et température froide	

REFERENCES

- [1] B. Draoui, M. Benyamine et O. Hami, '*Simulation Numérique de la Convection Naturelle en Régime Laminaire Transitoire d'une Serre Horticole Chauffée Périodiquement par le Bas*', JITH 99, Tome2, pp. 16-25, Bruxelles, Belgique, 1999.
- [2] M. Benyamine, '*Simulation de la Convection Naturelle en Régime Laminaire Transitoire d'une Serre Horticole*', Thèse de Magister, Centre Universitaire de Béchar, 1999.
- [3] C. Kittas, B. Draoui et T. Boulard, '*Quantification du Taux d'Aération d'une Serre à Ouvrant Continu en Toiture*', Agricultural and Forest Meteorology, 77, pp. 95-111, 1995.
- [4] S.V. Patankar, '*Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*', Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1980.