

Simulation Numérique de la Convection Naturelle en Régime Laminaire et Transitoire d'une Serre Monochapelle Chauffée par le bas (Flux)

B. Draoui, M. Benyamine, R. Taïbi et O. Hami

Institut de Mécanique, Centre Universitaire de Béchar, B.P. 417, Route de Kénadsa, 08000 Béchar, Algérie

1. INTRODUCTION

Une serre assure précocité, étalement du calendrier et amélioration du rendement. En plus de ces vertus et particulièrement dans le sud algérien l'utilisation de ces abris permet de diminuer les pertes d'eau par évaporation puisque l'eau reste le facteur privilégié et son économie est nécessaire dans la région. Cette eau empêche en plus, la remontée des sels nocifs aux développements des cultures.

En outre, 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.

Avant de devenir l'outil de production à grande échelle qu'elle est actuellement, la serre a subi de nombreuses mutations pour devenir un dispositif agrosystème, (appellation moderne) transformant des intrants (lumière, l'eau, CO₂, fertilisants, ...) en une production de masse végétale.

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 une 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).

Le but de cette communication est d'étudier la convection naturelle en régime laminaire transitoire de l'air intérieur d'une serre monochapelle fermée dépourvue du couvert végétal et chauffée par le sol (flux) [1, 2]. 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 [4].

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 :

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta(T - T_0))$$

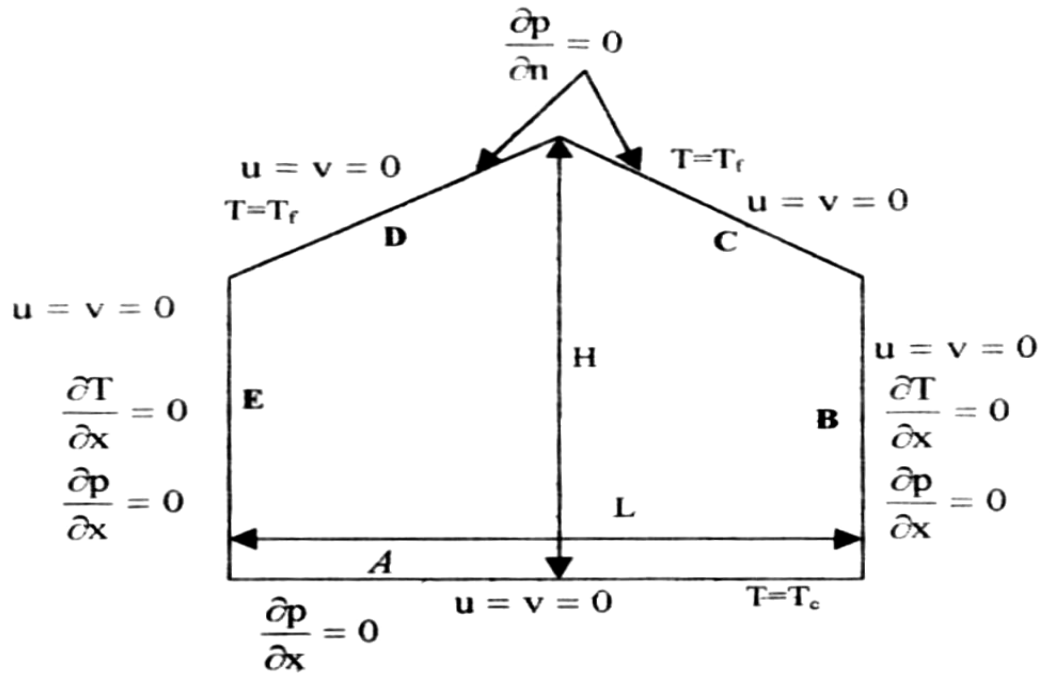


Fig. 1: Représentation schématique du modèle serre mono-chapelle
A, B, C, D et E : les différentes surfaces de la serre.

3. FORMULATION MATHÉMATIQUE DU PROBLÈME

3.1 Variables adimensionnelles

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

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

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 [2] :

Equation de continuité

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

Equation de quantité de mouvement

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

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

Equation de l'énergie

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

$$\text{Gr} = \frac{g \beta \Delta T H^3}{\nu^2} \quad \text{Pr} = \frac{\nu}{a} \quad \text{Ra} = \frac{g \beta \Delta T H^3}{\nu a}$$

Conditions initiales et aux limites adimensionnelles

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

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

$$\text{Au sol:} \quad \theta = 0, \quad U = V = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial P}{\partial n} = 0$$

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 [2].

5. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette étude, les variations des lignes de courants, les isothermes ainsi que les différents profils seront présentés, pour une serre monochapelle 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 $\tau=5$, la conduction qui prédomine. Au fur et à mesure que le temps s'écoule et 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. 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.

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 de consigne.

Les figures (5) et (6) montrent les différentes composantes de la vitesse et ceci pour deux maillages différents ce qui est compatible avec les boucles de circulation (isothermes). 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).

6. CONCLUSION

Le but 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 montrer que pour des conditions de flux imposées au sol et pour des écarts de températures faibles maintenus 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.

REFERENCES

- [1] B. Draoui, M. Benyammine et O. Hami, '*Simulation Numérique de la Convection Naturelle en Régime Laminaire Transitoire d'une Serre Horticole Chauffée Périodiquement par le Bas*', JITH'99, Tome 2, pp. 16-25, Bruxelles, Belgique, 1999.
- [2] M. Benyammine, '*Simulation de la Convection Naturelle en Régime Laminaire Transitoire dans 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.
- [5] T. Boulard and A. Baille, '*Analysis of Thermal Performance of Greenhouse as a Solar Collector Energy*', Agricultural and Forest Meteorology, 6, pp. 17-26, 1987.

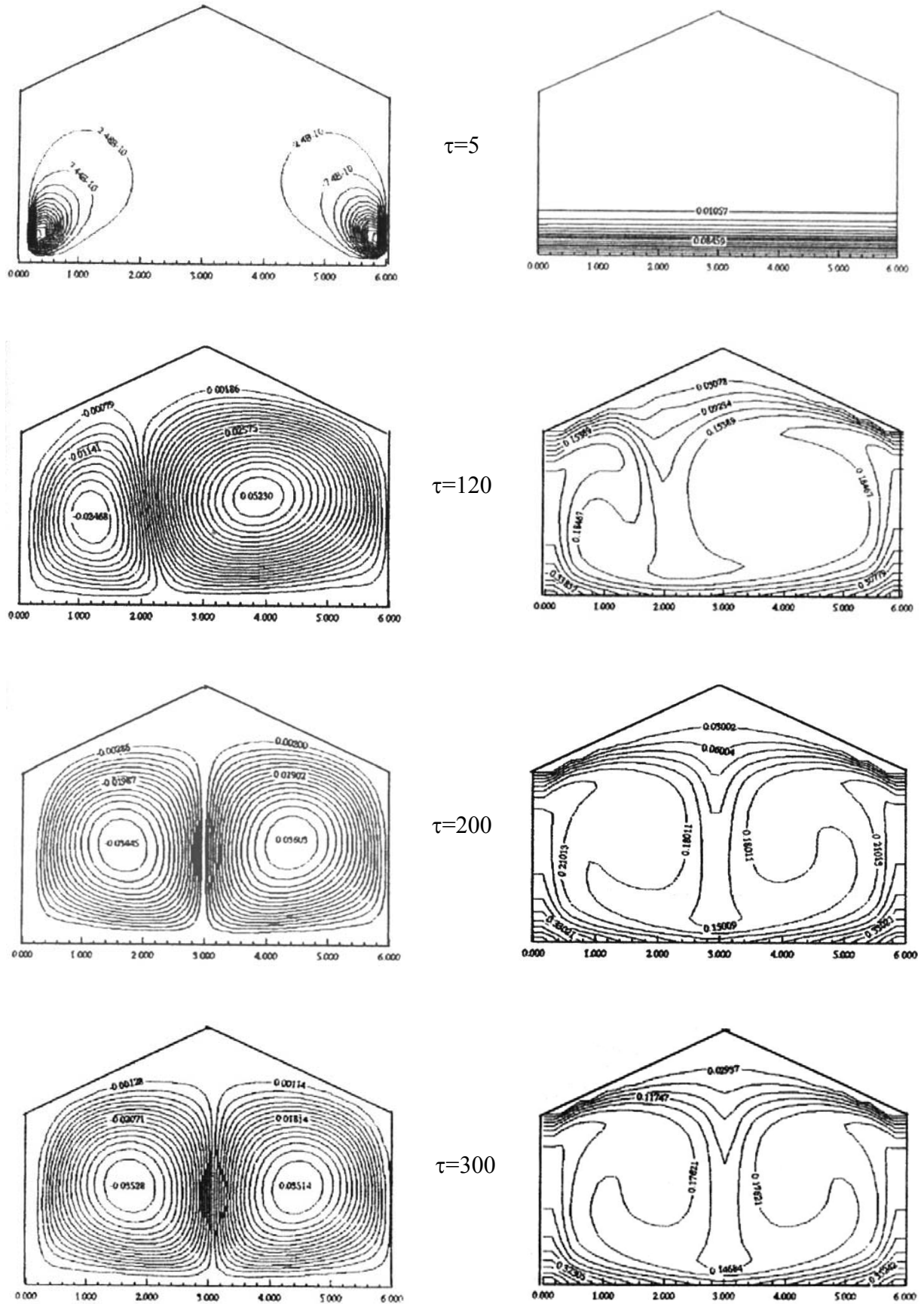


Fig. 2: Les lignes de courant et les isothermes pour une serre monochapelle $Ra = 10^6$ (flux imposé)

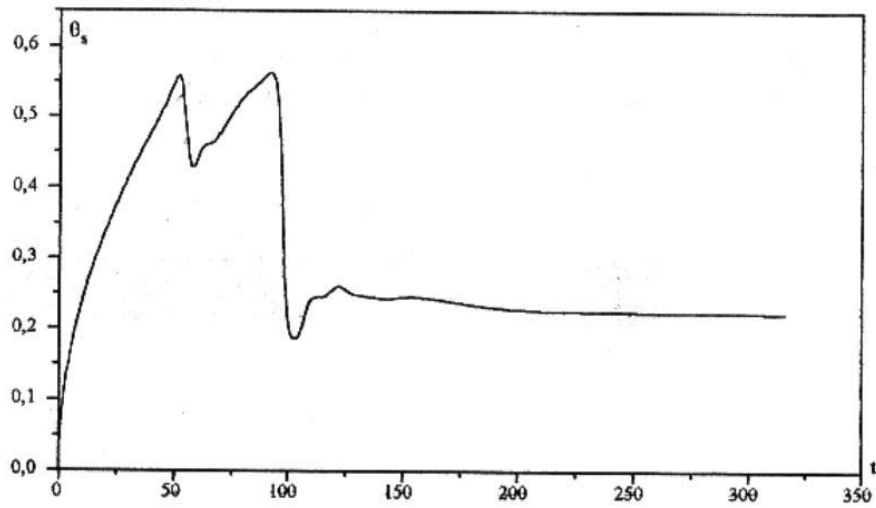


Fig. 3: La variation de la température du sol de la serre en fonction du temps
 $Ra = 10^6$ (flux imposé)

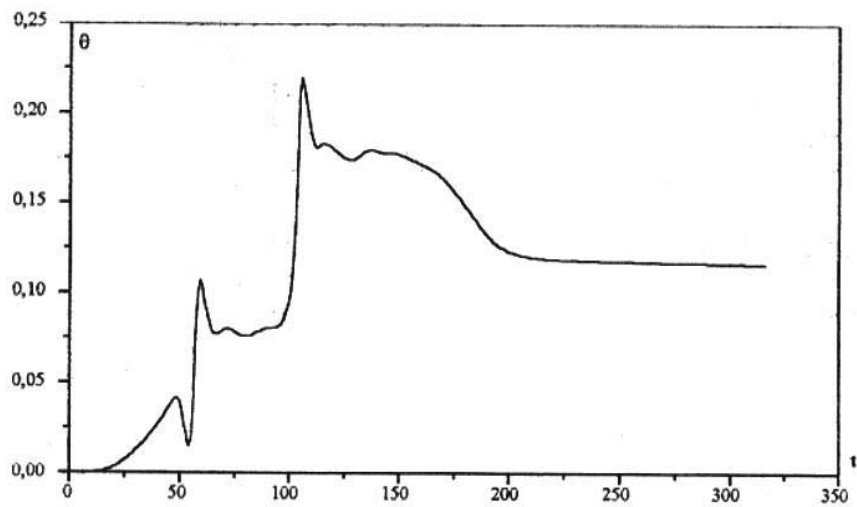
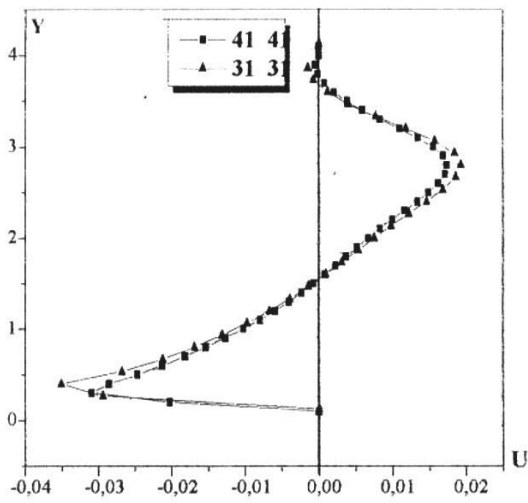
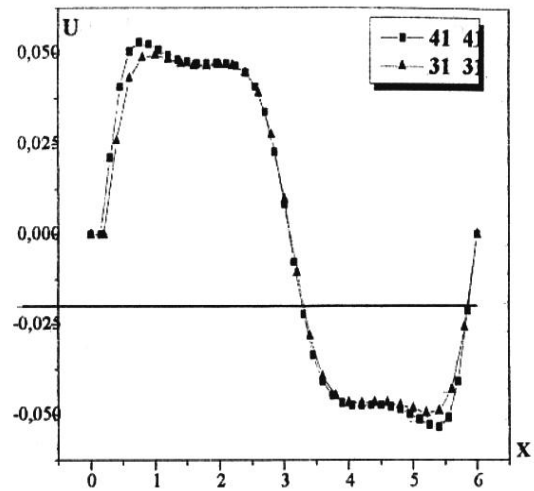


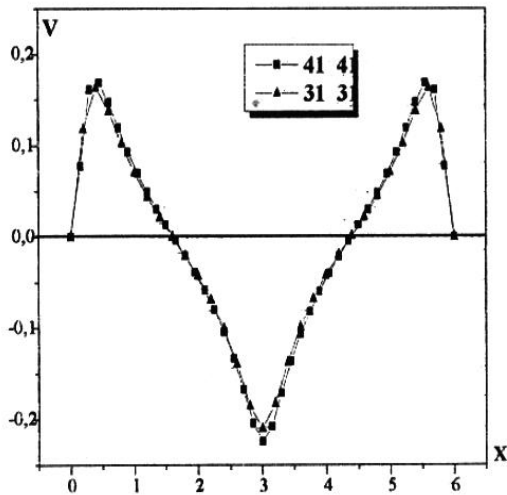
Fig. 4: La variation de la température au centre de la serre en fonction du temps
 $Ra = 10^6$ (flux imposé)



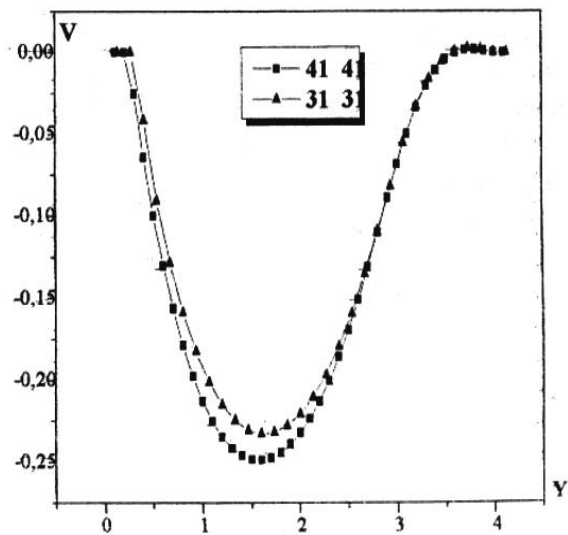
(a): Vitesse horizontale dans le plan médian vertical



(b): Vitesse horizontale dans le plan médian horizontal

Fig. 5: Profil de vitesse horizontale pour une serre monchapelle
 $Ra = 10^6$ (flux imposé)

(a): Vitesse verticale dans le plan médian horizontal



(b): Vitesse verticale dans le plan médian vertical

Fig. 6: Profil de vitesse verticale pour une serre monchapelle
 $Ra = 10^6$ (flux imposé)