

## **Bilan Thermique et Méthode d'Estimation des Besoins Energétiques de la Serre Agricole Tunnel à Double Paroi Constituée dans sa Face Nord d'un Mur en Panneau Sandwich**

N. Bibi Triki, F. Benyarou, B. Benyoucef et M.A.R. El Sayed<sup>1</sup>

Laboratoire d'Energie Solaire, Faculté des Sciences, Université Abou Bekr Belkaid, B.P. 119, Tlemcen, Algérie

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Department of Industrial Production Engineering, Mansourah University, Egypt

**Résumé** – *La fonction essentielle de la serre agricole est de créer un microclimat favorable aux exigences de la plante à partir des conditions climatiques extérieures locales ou régionales. Elle est définie par son ossature (forme et structure), par son enveloppe (matériau des parois) et par ses moyens techniques de chauffage, d'humidification et de ventilation. La serre tunnel conventionnelle est largement utilisée dans le Maghreb malgré les insuffisances qu'elle présente tel que le refroidissement nocturne intense. S'inspirant de la conception de la serre solaire passive largement répandue en Europe, nous avons conçu la serre tunnel à double paroi en polyéthylène, dont le long de la face nord de la serre est constituée d'un mur en panneau sandwich. Cette étude nous permet de mettre en évidence les facteurs qui contribuent à la modification du microclimat et d'en apprécier le poids. La notion de rentabilité de l'agriculture est étroitement liée aux facteurs climatologiques, au développement et à la modélisation des serres.*

**Abstract** - *The essential function of the agricultural greenhouse is to create a microclimate favourable to the requirements of the plant starting from the local or regional external conditions climatic. It is defined by its framework (form and structure), by its envelope (material of the walls) and by its average techniques of heating, humidification and ventilation. The conventional greenhouse tunnel is largely used in the Maghreb in spite of the insufficiencies which it presents such as intense night cooling. Taking as a starting point the design of the solar greenhouse passives largely answered in Europe, we designed the greenhouse tunnel with double polyethylene wall, of which along the northern face of the greenhouse consists of a wall in sandwich panel. This study enables us to highlight the factors which contribute to the modification of the microclimate and to appreciate the weight of them. The concept of profitability of agriculture is closely related on the climatological factors, the development and the modelisation of the greenhouses.*

**Mots clés:** Serre tunnel - Microclimat - Echanges thermiques - Apports énergétiques.

### **1. INTRODUCTION**

L'objet de notre étude, est d'exprimer sous forme mathématique les échanges thermiques qui se développent dans ce type de serres. Les modifications les plus importantes sont apportées au bilan des échanges radiatifs dans le spectre solaire et de l'infrarouge (effet de serre). Cette étude nous permet d'en déduire la méthode d'estimation prévisionnelle des besoins de chauffage de la serre en question pour des températures de consignes intérieures.

Le transfert de chaleur et de masse par conduction - convection, l'évaporation suivie de condensation, par renouvellement d'air et par rayonnement thermique sont présents aussi bien au niveau du sol qu'à celui des parois. Ces dernières étant dotées de très peu d'inertie, le principe de conservation de l'énergie s'y applique. Les équations proposées par Gac et Bartoli, confirmées par les expérimentations pratiquées par le CEMAGREF, constituent la base de nos travaux.

L'amélioration de l'effet de serre et la diminution des déperditions par convection - conduction réduisent l'apport énergétique d'une proportion appréciable.

### **2. PRESENTATION DE LA SERRE**

La serre que nous avons conçu comporte d'une part sur la face sud et les côtés latéraux, une couverture transparente composée de deux films en polyéthylène (PE) distants de 10 cm en moyenne, et d'autre part sur la face nord d'un mur en panneau sandwich. Ce mur est constitué de tôles galvanisées en TN40 d'épaisseur de 7/10 fixées sur l'intérieur de la serre, puis d'un espace vide et de plaques en polystyrènes de 3 cm d'épaisseur enveloppées de l'extérieur par le film en polyéthylène (PE). La hauteur maximale de ce dernier est choisie de façon à ne pas porter ombrage aux cultures sous serre, il permet d'une part l'isolation thermique de la serre et d'autre part d'assurer la fonction d'écran réflecteur de rayonnements.

Les plantations proches de la couverture transparente se développent généralement plus lentement que celles du centre de la serre. Ce développement tardif est dû particulièrement aux échanges radiatifs intenses de nuit, aux déperditions par conduction - convection et à la fuite d'air à travers la partie basse de la double paroi. Pour

réduire ces déperditions thermiques, nous avons prévu l'installation de plaques en polystyrène d'épaisseur de 3 cm en soubassement entre les deux parois en polyéthylène et le long du périmètre de la serre. La hauteur de ces plaques au dessus du sol peut atteindre 0,25 m sans risque de faire ombrage aux plantes.

Les déperditions par fuites d'air assez importantes de nuit au niveau des portes ont été résolu en partie par l'utilisation de fermetures souples se joignant par curseurs. Il est possible de prévoir des portes avec joints en caoutchouc étanches plus coûteuses.

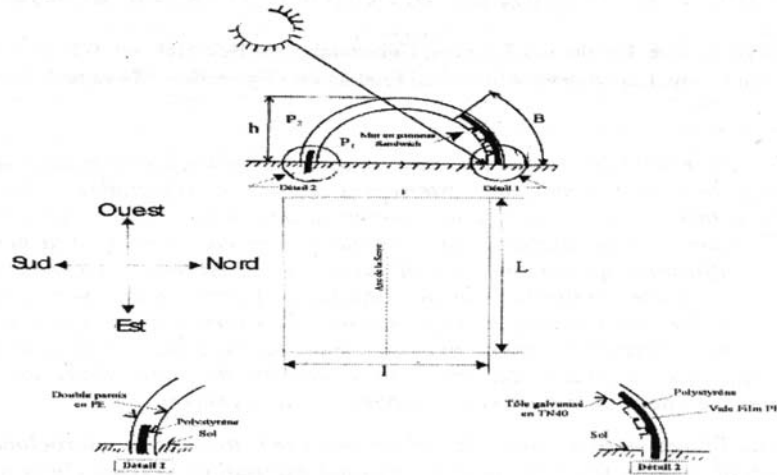


Fig. 1: Serre à double paroi constituée dans sa face nord d'un mur en panneaux sandwich

## 2.1 Caractéristiques géométriques de la serre

Hauteur du panneau sandwich  $B$  en m

Superficie du panneau sandwich  $S_{ps} = B.L$  en  $m^2$

Superficie de la couverture transparente  $S_p = L \cdot (1,57 \cdot l - B)$  en  $m^2$

**Tableau 1:** Caractéristiques du panneau sandwich

Matériaux	Conductivité en /m.K		Epaisseur en m	
Tôle galvanisée en TN 40	$\lambda_{TN}$	52	$E_{TN}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Polystyrène expansé	$\lambda_{p0}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$E_{p0}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Polyéthylène (PE)	$\lambda_p$	$29 \cdot 10^{-2}$	$E_p$	$15 \cdot 10^{-5}$

Climat intérieur : Les températures ambiantes intérieures de consigne sont :  $T_{ai} = 285, 288, 291$  et  $293$  K.

## 2.2 Hypothèses

Les températures respectives des parois, intérieure ( $T_{p1}$ ) et extérieure ( $T_{p2}$ ) sont supposées uniformes, particulièrement vérifiées la nuit. Les températures du sol extérieur ( $T_e$ ) et du sol intérieur ( $T_i$ ) sont supposées uniformes. L'uniformité de ( $T_i$ ) dans les serres de dimensions peu importantes est manifestement fausse. Dans ce cas, il est judicieux de prendre la moyenne pondérée des températures.

L'uniformité de la température de l'ambiance interne ( $T_{ai}$ ) est conditionnée par une turbulence suffisante de l'air à l'intérieur de la serre. L'atmosphère externe est dotée d'une température ( $T_{ae}$ ) qui diffère peu à des niveaux compatibles avec les hauteurs des serres. La voûte céleste, en tant que source et absorbante de radiations, est équivalente à un plan noir indéfini de température absolue ( $T_c$ ), calculée ou déterminée à l'aide de dispositifs appropriés. Les parois  $p_1$  et  $p_2$ , le sol extérieur et le sol intérieur sont considérés comme corps gris dont les émissivités respectives sont  $\epsilon_{p1}$ ,  $\epsilon_{p2}$ ,  $\epsilon_e$  et  $\epsilon_i$ .

Les parois en polyéthylènes sont supposées d'inertie thermique négligeable au regard des vitesses de variation de températures atteintes par les milieux environnants. Ainsi à chaque instant le principe de conservation de l'énergie peut lui être appliqué.

## 3. ECHANGES THERMIQUES AU NIVEAU DE LA PAROI DE NUIT

La somme des puissances échangées par conduction - convection ( $Q$ ) et celles échangées par rayonnements ( $P$ ) au niveau de la paroi  $p_1$  en polyéthylène est nulle (principe de la conservation de l'énergie).

$$\sum Q + \sum P = 0 \quad (1)$$

### 3.1 Expression de la puissance d'échanges par rayonnements IR de nuit au niveau de la paroi p<sub>1</sub>

$$P_{p1} = \sigma \left[ \left( \frac{Y+1}{Y} \right) \cdot T_{p1}^4 - (1-\tau) \cdot T_{p1}^4 - \left( \frac{Y+1}{2Y} \right) \cdot \tau \cdot T_c^4 - \left( \frac{Y+1}{2Y} \right) \cdot \tau \cdot T_e^4 - \frac{1}{Y} \cdot T_i^4 \right] \cdot S_{p1} \quad (2)$$

Les quantités  $F_{ip1}$ ,  $F_{ep1}$ ,  $F_{cp1}$  et  $F_{p1p2}$  désignent les facteurs d'angles respectifs et sont tels que :

$$F_{ip1} \cdot S_{p1} = F_{p1i} \cdot S_i = S_i \text{ et } F_{ip1} = 1/Y ; F_{cp1} = (Y+1)/2Y ; F_{ep1} = (Y-1)/2Y ; F_{p1p2} \cdot S_{p2} = F_{p2p1} \cdot S_{p1} \text{ car } F_{p2p1} = 1$$

Sachant que les émissivités  $\epsilon_{p1}$ ,  $\epsilon_e$  et  $\epsilon_i$  sont proches de l'unité, nous pouvons donc alléger les calculs en supposant que  $\epsilon_{p1} = \epsilon_e = \epsilon_i = 1$ .

*Modification des puissances d'échanges par rayonnements IR au niveau de la paroi p<sub>1</sub>.*

a. Si la paroi p<sub>2</sub> est totalement transparente aux rayonnements infrarouges, soit  $\tau = 1$ . Dans ce cas, l'équation (2) exprime la puissance d'échanges au niveau de l'enveloppe d'une serre à simple paroi.

b. Si la paroi p<sub>2</sub> est totalement opaque aux rayonnements infrarouges, soit  $\tau = 0$ . L'équation (2) est réduite aux échanges par rayonnement IR entre la paroi p<sub>1</sub> et la paroi p<sub>2</sub> d'une part, et la paroi p<sub>1</sub> et le sol intérieur à la serre d'autre part. Dans ce cas, l'effet de serre est maximum.

### 3.2 Expression de l'équation des échanges par conduction - convection au niveau de la paroi p<sub>1</sub>

Paroi 1. Ambiance interne

$$Q_{p1/ai} = h_{ai} \cdot S_{p1} (T_{p1} - T_{ai})$$

Paroi 1. Ambiance inter-parois

$$Q_{p1/ip} = h_{ip} \cdot S_{p1} (T_{p1} - T_{ip})$$

L'équation des échanges par conduction - convection au niveau de la paroi p<sub>1</sub> aura pour expression :

$$Q_{cc} = S_{p1} [(h_{ai} + h_{ip}) \cdot T_{p1} - h_{ai} \cdot T_{ai} - h_{ip} \cdot T_{ip}] \quad (3)$$

### 3.3 Le bilan thermique de nuit au niveau de la paroi p<sub>1</sub> aura pour expression

$$\sigma \left( \frac{Y+1}{Y} \right) \cdot T_{p1}^4 + (h_{ai} + h_{ip}) \cdot T_{p1} = h_{ai} \cdot T_{ai} + h_{ip} \cdot T_{ip} + \sigma \left[ (1-\tau) \cdot T_{p2}^4 + \left( \frac{Y+1}{2Y} \right) \cdot \tau \cdot T_c^4 + \left( \frac{Y+1}{2Y} \right) \cdot \tau \cdot T_e^4 - \frac{1}{Y} \cdot T_i^4 \right] \quad (4)$$

## 4. ECHANGES THERMIQUES AU NIVEAU DE LA PAROI DE JOUR

La voûte céleste est supposée assimilable à une double source de radiations dans les domaines, de l'infrarouge précédemment présenté, et du visible dont l'émission obéit à la loi de Lambert.

La paroi p<sub>1</sub> absorbe dans le visible :

$$P'_{p1} = k_1 (1 - k_2) E \left[ 1 + r_e + (1 - k_1) \left( \frac{Y - 1 + r_i}{Y} \right) \right] \cdot S_{p1} \quad (5)$$

où  $k_1$  et  $k_2$  respectivement les coefficients d'absorption des parois 1 et 2.

L'équation générale d'équilibre sur la paroi 1 devient :

$$\sigma \left( \frac{Y+1}{Y} \right) \cdot T_{p1}^4 + (h_{ai} + h_{ip}) \cdot T_{p1} = h_{ai} \cdot T_{ai} + h_{ip} \cdot T_{ip} + \sigma \left[ (1-\tau) \cdot T_{p2}^4 + \left( \frac{Y+1}{2Y} \right) \cdot \tau \cdot T_c^4 + \left( \frac{Y+1}{2Y} \right) \cdot \tau \cdot T_e^4 - \frac{1}{Y} \cdot T_i^4 \right] - k_1 (1 - k_2) \cdot E \left[ 1 + r_e + (1 - k_1) \left( \frac{Y - 1 + r_i}{Y} \right) \right] \quad (6)$$

## 5. METHODE D'ESTIMATION DES BESOINS DU CHAUFFAGE DE LA SERRE TUNNEL A DOUBLE PAROI AYANT AU NORD UN MUR EN PANNEAU SANDWICH

Il est recommandé d'estimer les besoins de chauffage d'une serre à l'échelle régionale et sur une base de temps adéquate. Ces estimations permettent de mieux gérer les calendriers culturaux et d'orienter les besoins énergétiques. Le terme d'évapotranspiration ou de condensation, ainsi que le terme d'échanges de chaleur avec le sol ont été négligés, ce qui est particulièrement concevable la nuit [1].

Le chauffage est jugé indispensable généralement pendant la nuit où la température moyenne de l'air intérieur est inférieure à la température de consigne ( $T_{ai}$ ).

Le bilan de chauffage mensuel de la serre tunnel à double paroi ayant au nord un mur en panneau sandwich :

$$E_{ch} = dn \cdot dm ( Q_{rs} + Q_{ccs} + Q_{fs} ) \cdot 10^{-3} \quad \text{kWh/mois/m}^2 \text{ sol} \quad (7)$$

### 5.1 Estimation du refroidissement nocturne par rayonnements infrarouge

Considérons l'équation (2) qui exprime la puissance d'échanges par rayonnement IR par ciel clair. Il convient d'estimer la proportion d'heures de nuit à ciel clair à partir de la fraction d'insolation appréciée de jour.

$$f = \frac{\text{nombre d'heures d'insolation}}{\text{Durée du jour}}$$

Il est admis que la température de la paroi 2 ( $T_{p2}$ ) est assez voisine de la température de l'air extérieure ( $T_{ae}$ ) et que :  $(T_{ae} - T_c) = (T_{p2} - T_c) = 7 \text{ K}$  par ciel couvert.

Les déperditions nocturnes par rayonnements IR pour la serre tunnel à double paroi ayant le mur en panneau sandwich ont pour expression :

$$Q_r = 4,7544 \cdot 10^{-8} \frac{S_{pl}}{S_i} \cdot \left[ 2T_{pi}^4 - 1,19(1-\tau) \cdot T_{p2}^4 - \tau(1-f)(T_{p2} - 7)^4 - \tau \cdot f \cdot T_c^4 - 0,19 \cdot \tau \cdot T_c^4 - 0,81 \cdot T_i^4 \right] \quad \text{en } W/m^2 \text{ sol} \quad (8)$$

### 5.2 Estimation des déperditions par convection - conduction au niveau de la paroi $p_1$

Le mur en panneau sandwich existant le long de la face nord de notre serre limite en partie les pertes thermiques :

$$\Phi_{ps} = K_s (T_{ai} - T_{ae}) \quad \text{en } W/m^2 \text{ de panneau}$$

avec  $K_s$  : coefficient de transmission, dit utile du panneau.

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{h_{ai}} + \frac{1}{h_{ae}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_a \quad \text{en } W/m^2 \cdot K$$

L'INRA de Montfavet propose les expressions suivantes pour les coefficients de transfert de chaleur par convection :

$$h_{ai} = 4,28(T_{ai} - T_{p1})^{0,25} \quad \text{en } W/m^2 \cdot K$$

$$h_{ae} = \sqrt{1,53(T_{p2} - T_{ae})^{0,25} + 9,38 U^{1,6}} \quad \text{en } W/m^2 \cdot K$$

Les déperditions par convection - conduction ont pour expression :

$$Q_{ccs} = \frac{K(u) \cdot S_{pl} + K_s \cdot S_{ps}}{S_i} (T_{ai} - T_{ae}) \quad \text{en } W/m^2 \cdot K \quad (9)$$

où  $K(u)$  est le coefficient global d'échanges.

$$\frac{1}{K(u)} = \frac{1}{h_{ai}} + \frac{1}{h_{ae}} + \sum \frac{e_p}{\lambda_p} + R_a' \quad \text{en } W/m^2 \cdot K$$

*Remarque* : Les services de la météorologie nationale mesurent la vitesse du vent ( $U_{10}$ ) à 10 m de hauteur. Il est possible d'estimer la vitesse du vent à la hauteur des serres en utilisant les expressions suivantes [1] :

$$U_{2m} = 0,77 \cdot U_{10} \quad \text{et} \quad U_{3,5m} = 0,85 \cdot U_{10}$$

### 5.3 Estimation des déperditions par fuites $q_{fs}$

$$Q_{fs} = R(u) \cdot \frac{V}{S_i} \cdot K_p \cdot R_0 \cdot (H_{int} - H_{ip}) \quad \text{en } W/m^2 \cdot K$$

avec  $R(u)$ , le taux horaire de renouvellement d'air estimé à l'aide des valeurs de Gac par :

$$R(u) = 0,6 + (0,022U + 0,008) \cdot U \quad h^{-1}$$

et  $K_p$ , le facteur proportionnel d'isolation

$$\text{Où :} \quad K_p = 1 - \frac{B}{1,57 \cdot I}$$

## 6. COMPARAISON AVEC UNE SERRE TUNNEL CONVENTIONNELLE

Dans notre région, l'effet de serre du à l'apport solaire est suffisant durant le jour la plus grande partie de l'année. Le refroidissement est essentiellement nocturne. L'échantillon d'enregistrement de températures des ambiances intérieures et extérieures résultant de plusieurs réalisations expérimentales et représenté par la figure 2 permet de mettre en valeur les modifications thermiques suivantes :

- Le début du refroidissement nocturne de l'ambiance interne est retardé de 50 à 90 mn environ selon les conditions climatiques de la journée (ciel clair ou couvert).
- Elévation de la température minimale de l'ambiance intérieure de 4 à 7 °C.

- Refroidissement plus lent par rapport aux chutes aiguës de températures enregistrées dans la serre conventionnelle

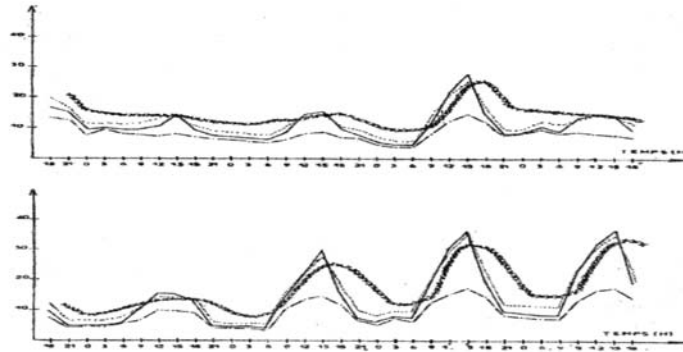


Fig. 2: Courbes des températures enregistrées du 1<sup>er</sup> au 9 Mars 1998  
 ---.---. Température de l'atmosphère externe  
 ..... Température ambiante interne de la serre conventionnelle  
 xxxxxx Température ambiante intérieure de la serre à double parois isolée par le mur en panneau sandwich

La figure 3 représente les besoins énergétiques mensuels allant de novembre 1997 au mois de mai 1998 pour le chauffage des deux serres classique, et à double paroi isolée par le mur en panneau sandwich. Les parties en gris constituent la quantité d'énergie à économiser mensuellement dans notre modèle de serre.

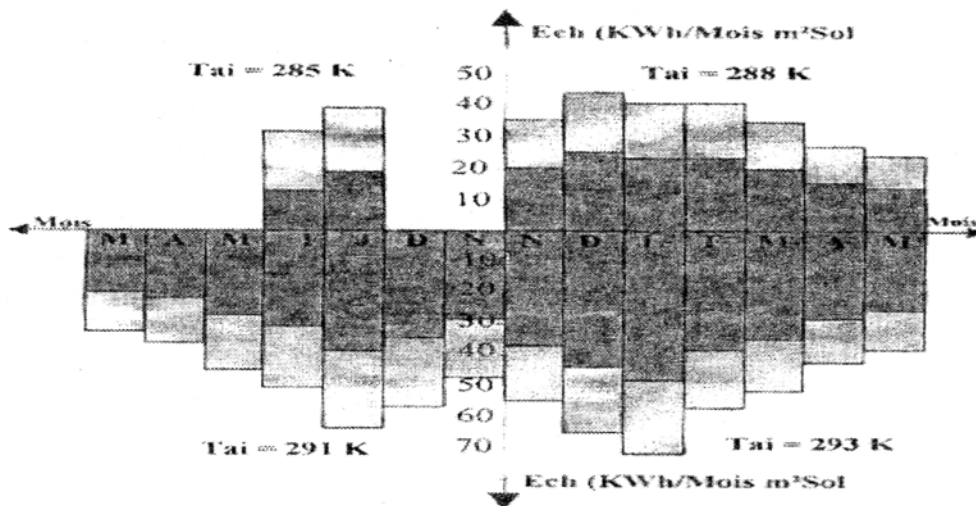


Fig. 3: Comparatif des apports énergétiques de chauffage des deux serres, classiques et à double parois isolée par le P.S et économie en énergie à réaliser sur notre modèle (partie en gris), année hivernale 1997-1998

Le tableau 2 représente les quantités d'énergie à dépenser par mètre carré (m<sup>2</sup>) de sol courant de l'année hivernale 1997-1998 pour le chauffage des deux serres en question suivi des pourcentages d'économie d'énergie à réaliser par température de consigne.

**Tableau 2:** Apport énergétique par serre durant l'année hivernale 1997/1998

Température intérieure de consigne Tai (K)	Apport énergétique d chauffage Année 97-98 – kWh/m <sup>2</sup> sol		Economie d'énergie	
	Serre Tunnel conventionnelle	Serre à double Paroi isolée P.S	kWh/m <sup>2</sup> sol	%
285	71,7	Pas nécessaire de chauffer	-	-
288	259,7	147,5	112,2	43,2
291	331,4	200,8	130,6	39,4
293	380,1	255,8	124,3	32,7

## 7. CONCLUSION

L'élaboration de ce bilan thermique a permis de déduire la méthode d'estimation des besoins énergétiques de chauffage de ce type de serres. L'intérêt de cette méthode réside dans la simplicité de son application. Elle permet de régionaliser l'estimation prévisionnelle de l'énergie à partir des données climatologiques fournies par la météorologie nationale. Les équations de ce bilan confirment la dépendance entre le milieu ambiant intérieur et le climat environnant. Le mur en panneau sandwich est considéré dans notre étude simplement en tant qu'isolant thermique, alors que nous avons négligé par manque de moyens de mesures son rôle d'écran réflecteur de rayonnements infrarouge. Celui-ci influe positivement sur l'effet de serre et sa résolution permet de préciser davantage l'estimation prévisionnelle des besoins de chauffage. La couverture en double paroi assure une évolution plus lente et mieux régulée des températures à l'intérieur de la serre. Elle influe sur les échanges par conduction - convection, grâce à l'immobilisation relative ou peu turbulente de la couche d'air inter - parois. Par contre elle réduit sensiblement l'irradiation incidente essentiellement due à la réflexion de la lumière de l'ordre de 10 à 12 % et par absorption des UV de l'ordre de 3 à 6 %. Ces pertes de lumière relativement faibles influent peu sur l'étalement et la croissance de la culture sous serre dans notre région. L'amortissement de la structure du panneau sandwich et de l'enveloppe à double paroi est relativement rapide comparativement à l'économie d'énergie à réaliser.

## NOMENCLATURE

T : température (K)	$F_{xy}$ : Facteur d'angle de x vis-à-vis de y
S : surface (m <sup>2</sup> )	$\varepsilon$ : facteur d'émissivité
V : Volume (m <sup>3</sup> )	$\sigma$ : Constante de Stéphan ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )
U : vitesse de l'air (m/s)	E : émittance dans le visible de la voûte céleste (W/m <sup>2</sup> )
Ra : résistance de la lame d'air	$P_{xy}$ : Puissance échangée par rayonnement entre les faces x et y en W
$R_0$ : masse volumique ( $R_0 = 1,25 \text{ K}$ )	$h_{ai}, h_{ip}$ : coefficient d'échanges superficiels entre la paroi 1 et l'air intérieur à la serre et la paroi 1 et l'air inter-parois (W/m <sup>2</sup> K)
$D_n$ : durée moyenne de la nuit mensuelle	$H_{int}, H_{ip}$ : Enthalpie de l'air intérieur et de inter-parois (Wh/kg)
$D_m$ : nombre de nuits par mois	$\tau$ : coefficient moyen de transmission de la paroi en infrarouge
K : coefficient d'absorption de la paroi	r : albédo
Indices	i : sol intérieur, e : sol extérieur, ai : air intérieur
p : parois en polyéthylène,	ae : air extérieur, ip : air inter-parois,
ps : panneau sandwich	c : voûte céleste

## REFERENCES

- [1] G Tardy, 'Les Economies d'Energie dans les Serres', Essais, Promoclim, Tome 13E-N°2, Avril 1982.
- [2] J. Damagniez and J.P Chiapale, 'Recent Developments in Research on the Microclimate of Greenhouses : Applications to Plastic Greenhouses', INRA, Enc to T528.
- [3] R. Dogniaux, 'Traité de l'Eclairage Naturel des Serres pour Végétaux', Edition 1975.
- [4] J. Damagniez, 'Influence du Climat Régional sur la Définition du Climat des Serres - Situation Particulière des Régions Méditerranéennes', Symp, Avignon, 30 Avril - 4 Mai 1973.
- [5] J.P. Chiapale, A. Moreno et J. Damagniez, 'Influence du Climat Extérieur sur le Microclimat des Serres au Niveau de la Surface d'Echange', Coll. ISHS.
- [6] F.M. Antonio, A.M. Silva and R. Rosa, 'Solar Irradiation Inside a Single Span Greenhouse with Shading Screens', J. Agric. Engng. Res., 1994.
- [7] B. Nielsen and H. Madsent, 'Identification of Transfer Function for Control of Greenhouse Air Temperature', J. Agric. Engng. Res., 1995.
- [8] O. Jolliet and Hortitrans, 'A Model for Predicting and Optimizing Humidity and Transpiration in Greenhouses', J. Agric. Engng. Res., 1994.
- [9] N. Bibi-Triki, F. Benyarou et M. Horani, 'Bilan Thermique et Méthode d'Estimation des Besoins Energétiques de la Serre Agricole à Double Paroi', International Meeting on Heat Transfert, JITH, Monastir, Tunisie, 1997.
- [10] N. Bibi-Triki, F. Benyarou et B. Benyoucef, 'Bilan Energétique et Méthode d'Estimation des Besoins Thermiques de la Serre Agricole Tunnel ayant un Mur en Panneau Sandwich', International Meeting on Energetic Physics, SIPE, Béchar, 1996.
- [11] M. Bollinger, 'Intérêt et Développement des Cultures Protégées sous Abris Plastiques en Algérie pour la Production Maraîchère', Expert FAO.