



Etude Energétique et Analyse du Comportement thermique d'une Serre Solaire

BEZARI Salah*¹, BELALEM Mohamed Salah², HAMDY Nasreddine³

¹Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies
Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie

²Département de Technologie, Université Tahri Mohammed-Béchar, Algérie

³Laboratoire de Génie Mécanique, Université Amar Telidji-Laghout, Algérie

*bezarisalah@yahoo.fr

Abstract— La compréhension et l'amélioration de l'acceptabilité environnementale de l'agro-système serre passe par l'analyse et la modélisation des phénomènes de transport et d'échanges d'énergie et de masse. La maîtrise de l'ensemble de ces mécanismes physiques et éco-physiologiques, peut permettre par la suite de proposer des solutions technologiques pour maîtriser le climat sous serre.

Dans ce travail, nous présentons un modèle de bilan énergétique d'une serre agricole de type chapelle à simple paroi en verre et sans couvert végétal. Ce modèle est basé sur l'ensemble des équations théoriques qui intègrent les processus d'échanges thermiques entre la couverture, l'air intérieur et le sol, à savoir: conduction, convection, rayonnement solaire. Nous approchons le fonctionnement réel de cette dernière par l'application de l'analyse nodale. Cette méthode consiste à découper le système en plusieurs sous-systèmes (ou nœuds) ensuite d'établir les équations générales du bilan énergétique régissant chacun de ces nœuds en régime variable. On détermine l'évolution de la température des différents sous systèmes dans la serre, ainsi que le rayonnement solaire intervient pendant le jour de manière directe en composant tout ou une partie des pertes thermiques.

Keywords— Serre, Température, Analyse thermique, Rayonnement, Bilan d'énergie

I. INTRODUCTION

La culture des plantes sous serre a connu ces dernières décennies une application croissante en raison d'une part, de l'élévation du niveau de vie de la population, d'autre part de l'exigence accrue de produits frais en fruits et légumes tout au long de l'année. Cet état de fait s'accompagne d'une demande à la consommation de plus en plus forte et pressante.

L'étalement de la production agricole sous serre s'est traduit par une exploitation efficace des terres agricoles et par l'utilisation rationnelle d'une main d'œuvre de plus en plus réduite, spécialisée et permanente.

Une serre est une enceinte permettant d'obtenir, pour la production végétale, des conditions d'environnement meilleures que celles existantes naturellement; la serre n'élimine pas l'influence du climat naturel, mais elle tire des ses éléments favorables.

Contrairement aux serres canariennes rudimentaires, les serres chapelles présentent une technologie de construction assez avancée et sont par conséquent moins coûteuses. La décision de l'acquisition de ces serres doit se baser sur l'analyse du coût d'installation élevé par rapport aux retombées positives en relation avec les atouts de commercialisation.

Le bilan d'énergie qu'on va établir par la suite, sera appliqué sur une serre agricole vitrée de type mono-chapelle pendant une journée de simulation (de 0h à 24h). Ce bilan a pour objectif d'étudier le comportement thermique de la serre considérée en montrant la distribution temporelle de la température de l'air intérieur, compte tenu des multiples paramètres (météorologiques, géométriques, matériaux...) ainsi que l'échange radiatif, convectif, conductifs et par renouvellement d'air effectués par les différents compartiments de la serre. Dans la culture sous serre, on essaie d'accroître certains facteurs essentiels liés au développement des plante afin de reproduire leur climat d'origine ainsi pouvoir contrôler leur production. Le principal facteur à contrôler est la température d'air intérieur, sur laquelle on agit au chauffage par stockage d'énergie. Depuis ce volet de recherche a reçu une attention particulière par la communauté scientifique en vu d'établir des modèles de simulation des échanges thermiques dans une serre agricole. Le lecteur pourra se référer notamment aux travaux de Jolliet [1], Monteil et al [2] et Boulard et al [3].

La gestion du micro climat sous serre relève d'une certaine habilité, notamment dans les régions ensoleillées (région aride et semi-aride). Les hautes températures d'air et l'intensité du rayonnement solaire qui caractérisent ces régions. La prédiction de la température interne de la serre, nous amène à envisager l'apport énergétique de complément nécessaire à la croissance et au développement de la plante. La gestion et l'optimisation de la production sous serre (Udink ten cate [4]; Baille et al [5]) peuvent être intégrées dans le schéma classique des systèmes. Elles sont décomposées en trois modules successifs, caractérisés par une échelle de temps et un niveau de décision.



L'étude et la modélisation du microclimat de la serre avec toutes ces composantes (température, humidité, évapotranspiration, condensation, échange convectif et radiatif, et ventilation) est un des moyens indispensable pour contrôler les paramètres climatiques de la serre.

Le but de la présente étude est de développer un tel modèle pour acquérir une meilleure optimisation de la réponse de croissance, quantifier les différents échanges d'énergies, prédire temporellement et spatialement le microclimat de la serre chapelle.

II. NATURE ET ANALYSE DES PHENOMENES D'ECHANGE ENERGETIQUES

La serre comme la plupart des systèmes solaires thermiques est le siège de tous les modes de transfert de chaleur (échange radiatifs, convectifs, par renouvellement d'air et par changement de phase...) qui s'effectuent d'une part entre les différents nœuds dans la serre et d'autres part entre les sous systèmes et le milieu extérieure (voûte céleste, air extérieur, sol extérieur environnant).

Les échanges thermiques qui feront l'objet de notre étude sont représentés sur la figure suivante (Fig.1).

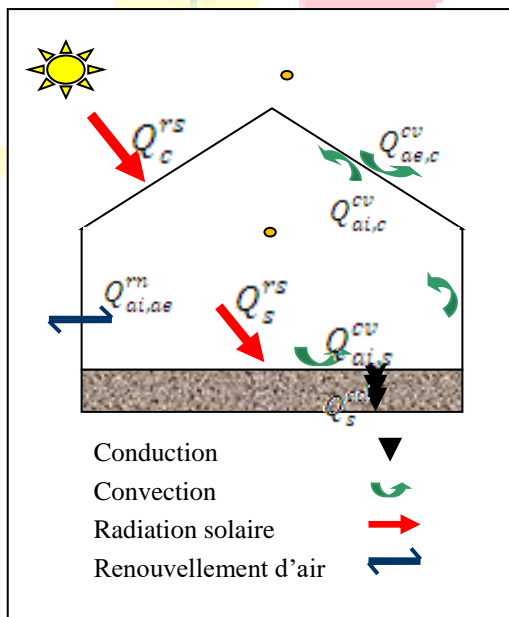


Fig.1 Mécanisme de transfert énergétique dans la serre

A. Le phénomène de conduction

Le transfert de chaleur dans le sol (vers la profondeur) est supposé être seulement dans la direction verticale. Le flux de chaleur au travers d'une tranche d'épaisseur infinitésimale dz située à la profondeur z est proportionnel au gradient vertical de température :

$$Q_{cd} = k_s \cdot A_s \frac{(T_s - T_z)}{Z} \quad (1)$$

avec :

$$Q_{cd} \text{ flux conductif [W]}$$

B. Le phénomène de convection

Le flux de chaleur convectif entre une surface et un fluide au travers d'une couche limite, est donné par :

$$Q_{cv} = hA(T_p - T_f) \quad (2)$$

Le coefficient de convection dépend de la nature de la surface et du type de convection. Sa détermination est en général complexe car il dépend sensiblement du mouvement de l'air, en particulier de la vitesse de l'air au niveau de la surface considérée.

Nous envisagerons successivement les phénomènes convectifs dans la serre, entre :

- le sol (s) et l'air intérieur (ai)
- l'air intérieur (ai) et la couverture (c)
- la couverture (c) et l'air extérieur (ae)

C. Le phénomène de rayonnement solaire

De jour, le flux solaire est le seul terme constamment positif dans le bilan énergétique.

Durant la journée, la surface du sol reçoit les radiations émises par le soleil. Une partie de ces radiations subit l'effet de diffusion lors de son passage à travers l'atmosphère et constitue le rayonnement diffus. L'autre partie reçue directement à la surface du sol constitue le rayonnement direct [6].

Le flux d'énergie total reçu par la couverture de la serre est :

$$IGR = \left[\sum_{i=1}^5 ID_i \cos \theta_i + \sum_{i=1}^5 IDH \right] \cdot A_{ci} \quad (3)$$

avec :

ID flux solaire direct normal [W/m²]

IDH flux solaire diffus [W/m²]

A_{ci} surface d'un plan i [m²]

Le flux d'énergie total transmis par la couverture de la serre est :

$$IGT = IGR \tau (1 - \gamma) \quad (4)$$

D. Le phénomène de renouvellement d'air

Le renouvellement d'air se fait à travers différentes ouvertures. Pour sa détermination il faut prendre en compte les dimensions et l'emplacement des ouvertures, la qualité de l'étanchéité et le montage de la serre.



La densité du flux de chaleur échangée par renouvellement d'air est donnée par [7]:

$$Q_r = D.C_p(T_{ai}).V_{ai}.(T_{ai} - T_{ae}) \quad (5)$$

D taux de renouvellement

$C_p(T_{ai})$ capacité calorifique volumique de l'air, sa valeur est donnée par la relation empirique proposée par Van Bavel et corrigé par Pruvot [8] :

$$C_p(T_{ai}) = \frac{355637}{(T_{ai} + 273.16)} \quad [\text{J/m}^3 \cdot \text{°K}] \quad (6)$$

III. BILAN THERMIQUE DE LA SERRE

La serre est un système qui réagit continuellement aux variations des conditions de l'environnement qui lui sont imposées de l'extérieur. La connaissance de ces conditions et des propriétés du système, tant géométrie que physique, devrait permettre à chaque instant de déterminer la réponse du microclimat de la serre.

Pour le modèle d'équation, les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- Echanges thermiques sont unidirectionnels;
- Absence de condensation à l'intérieur de la serre;
- L'air est parfaitement transparent au rayonnement;
- Température de chaque nœud (couverture, air et sol intérieur) est uniforme.
- Les effets de bords sont négligés;
- Négligé les échanges radiatifs entre les différentes surfaces intérieures;

La méthode des bilans thermique est utilisée pour construire le modèle. Pour chaque élément du système peut donc être représenté par une équation de bilan d'énergie qui s'écrit :

$$\sum_i Q_i - \sum_s Q_s = M_i . C p_i . \frac{dT_i}{dt} \quad (7)$$

Avant de décrire chaque partie du modèle développé, il convient de définir clairement la manière selon laquelle le bilan thermique est établi (Esginer et Levav [1]).

L'enveloppe de la serre délimite deux zones distinctes :

- Une zone intérieure comprenant l'air, la végétation et le sol.
- Une zone extérieure caractérisée par des conditions climatiques bien définies (température de l'air, rayonnement solaire incident, vitesse du vent et température du ciel).

L'intérieur de la serre est traité en un seul bloc et les échanges entre les différents éléments intérieurs ne sont pas déterminés séparément.

Le bilan thermique fait intervenir les flux suivants :

a. Les flux entrants :

- La consommation énergétique auxiliaire
- L'énergie solaire captée
- Les apports internes

b. Les flux sortants :

- Les besoins thermique bruts correspondant aux pertes thermiques par transmission ou par infiltration d'air.
- Les rejets thermiques sous forme de chaleur sensibles ou latente lors des périodes de surchauffe.

Dans ce qui suit, nous allons mettre sous forme d'équations les différents modes de transfert de chaleur et de masse mis en jeu au niveau de la serre, en écrivant le bilan d'énergie pour chacun de ses nœuds (air intérieur, sol, paroi de la serre).

Les bilans d'énergies au niveau de chaque sous-systèmes de la serre peut être exprimée par :

- Bilan au niveau de la couverture :

$$E_1 . A_1 . C p_1 . \frac{dT_1}{dt} = Q_1^{rs} + Q_{1,ai}^{cv} + Q_{1,ae}^{cv}$$

$$E_2 . A_2 . C p_2 . \frac{dT_2}{dt} = Q_2^{rs} + Q_{2,ai}^{cv} + Q_{2,ae}^{cv}$$

$$E_3 . A_3 . C p_3 . \frac{dT_3}{dt} = Q_3^{rs} + Q_{3,ai}^{cv} + Q_{3,ae}^{cv}$$

$$E_4 . A_4 . C p_4 . \frac{dT_4}{dt} = Q_4^{rs} + Q_{4,ai}^{cv} + Q_{4,ae}^{cv}$$

J=1,2,3,4 les différents paroi de la serre

- Bilan au niveau du sol :

$$E_s . A_s . C p_s . \frac{dT_s}{dt} = Q_s^{rs} + Q_{s,ai}^{cv} + Q_s^{cd}$$

- Bilan au niveau de l'air intérieur :

$$V_{ai} . A_{ai} . C p_{ai} . \frac{dT_{ai}}{dt} = \sum_{j=1}^5 Q_{ai,j}^{cv} + Q_{ai,ae}^{rn}$$



IV. RESULTATS

L'ensemble des équations d'équilibre aboutit donc à un système d'équations différentielles. La résolution de ces équations est faite par la méthode de Runge-Kutta.

L'étude porte sur l'évolution des températures et du « système serre » dont les composants sont : la couverture (en verre), l'air (intérieur et extérieur) et la surface du sol. Il s'ensuit qu'une étude sur l'éclairement solaire dans une surface horizontale afin d'estimer la puissance absorbée d'origine solaire. Les différents phénomènes, conductifs, convectifs et radiation solaire sont tous pris en considération.

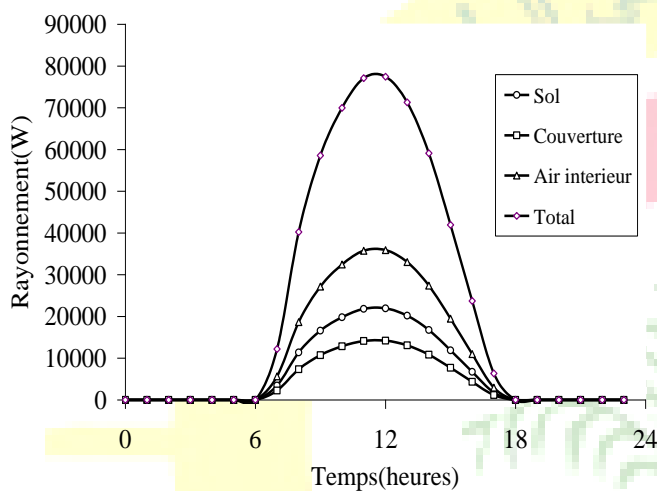


Fig.1 Rayonnement théorique à l'intérieur de la serre

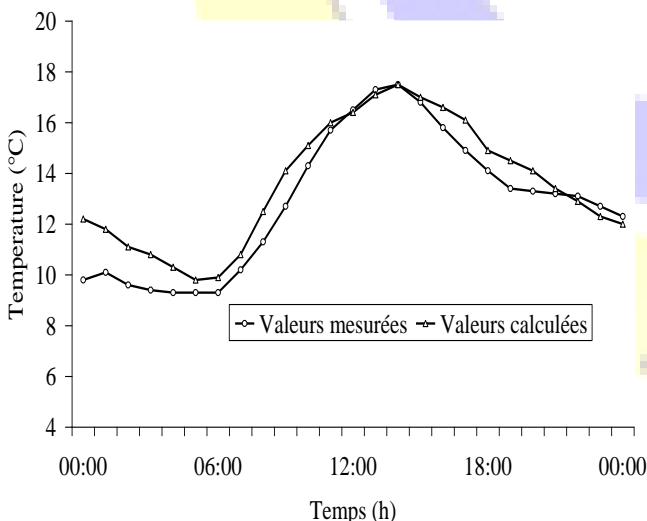


Fig.2 Variation de la température ambiante

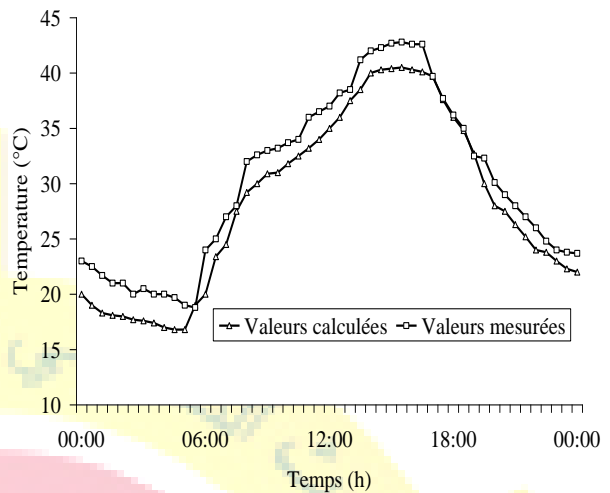


Fig.3 Variation de la température du sol

La figure 1 représente les variations horaires de l'intensité des radiations solaires sur les différentes surfaces à l'intérieur de la serre (surface du sol, couverture) et l'air intérieur. Ces valeurs sont déduites du rayonnement global en considération une certaine absorptivité pour chacune des surfaces dans le cas théorique.

La figure 2 présente la courbe théorique et expérimentale de température extérieure ou on constate que la modèle de simulation reconstruit convenablement le comportement de la température ambiante réelle ; les écarts les plus importants se font ressentir les trois premières heures de mesure.

La figure 3 donne une comparaison entre les valeurs de la température du sol mesurées et générées. On constate que le modèle de Fourier restitue bien la température du sol calculée comparée à celle mesurée, et l'erreur relative entre ces deux températures ne dépasse pas pratiquement 15% pendant toute la journée de simulation

La figure 4 montre les températures de chaque élément de la serre expérimentale (la couverture, la surface du sol, la température de l'air intérieur et extérieur). Ces calculs ont été effectués en considérant certaines hypothèses sur les états de surface de chaque nœuds (absorptivité, réflectivité, émissivité). Il est à noter que les profils des températures sont les mêmes allures et la température intérieure de la serre est supérieure par rapport la température extérieure a cause de l'effet de serre.



REFERENCES

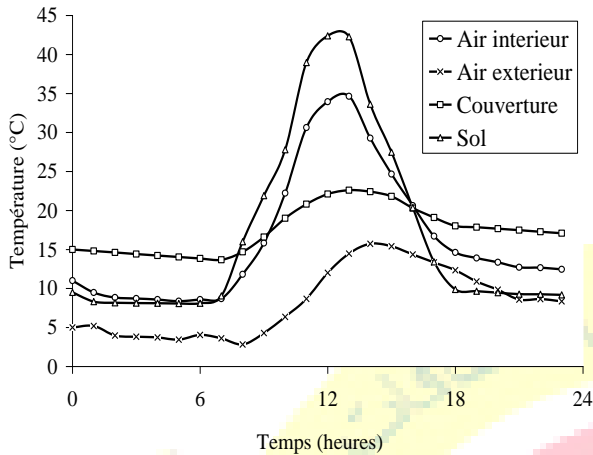


Fig.4 Evolution des différentes températures dans la serre

V. CONCLUSIONS

Les équations différentielles ont été établies et résolues pour le cas d'une serre en verre de type chapelle, en absence de la végétation et les différents échanges de masse.

Le modèle développé est basé sur les principes de base de la physique. Sa simulation nous a permis de mettre en évidence l'impact de rayonnement solaire sur le microclimat de la serre. Il permet d'évaluer les processus de transfert d'énergie au niveau de chaque nœud (paroi de la serre, sol, air intérieur).

La présente étude s'est concentrée sur l'aspect énergétique du problème. Il serait intéressant de combiner le modèle développé à des modèles de prédiction du climat intérieur, de croissance des plantes ou d'optimisation économique dans le but de définir des stratégies de contrôle du climat à moyen et long terme.

- [1] O. Jolliet, *Modélisation du Comportement Thermique d'une Serre Horticole*, Thèse de Docteur Ingénieur, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1988.
- [2] C. Monteil, G. Issanchou, M. Amouroux, *Modèle Energétique de la Serre Agricole*, Journal de Physique III, Vol 1, N°3, 429 - 454, 1991.
- [3] T. Boulard, A. Baille. A Simple Greenhouse Climate Model Incorporating Effects of Aeration and Evaporative Cooling. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 65, 145-157, 1993.
- [4] A. J UDINK TEN CATE, *Modelling and (adaptive) control of greenhouse climate*, Thesis PH-D Dissertation Agric. Univ. Wageningen, Netherlands 1993
- [5] BAILLE, T. BOULARD, C. GARY C., *Les critères d'optimisation dans la gestion du climat et de la production sous serre*. C.R. Acad..., 76, N°5, 25-36, France 1990
- [6] G.N. Tiwari, R.K. Goyal, *Greenhouse Technology*, New Delhi, Narosa Publishing House, 1998.
- [7] R. Gupta, G.N. Tiwari, Effect of Latitude on Weighted Solar Fraction of North Partition Wall for Various Shapes of Solarium, *Building and Environment*, Vol 39, N°5, 547- 556, 2004.
- [8] M. Capderou, *Atlas solaire de l'Algérie - Modèles théoriques et expérimentaux*, Office des Publications Universitaires, EPAU, V.1, T1. Alger 1987.
- [9] C. Kittas, Contribution théorique et expérimentale à l'étude du bilan d'énergie des serres, Thèse docteur-ingenieur, Université de Perpignan; 1980.
- [10] M. Grozdanov, M. Daguent, *Distribution spatiales et temporelles des températures de l'enceinte d'une serre et dans le sous sol*, Proc 3ème Edition des Journées Internationales de Thermique, 391-396, Lyon 1987.

NOMENCLATURE

A	Surface d'échange [m ²]
Q	Flux de chaleur [w]
T	Température [°K]
Z	Profondeur de la couche du sol [m]
m	Masse [kg]
t	Temps [s]
k	Coefficient de conduction [w/m.°K]
h	Coefficient d'échange par convection [w/m ² .°K]
V	volume de la serre [m ³]
λ	Coefficient d'albédo
γ	Coefficient de réflexion
α	Coefficient d'absorption
τ	Coefficient de transmission
θ	Angle zénital [°]
c	couverture
ai	air intérieur
ae	air extérieur
s	surface du sol
m	renouvellement d'air