

Modélisation des serres sur TRNSYS

Amel Rjibi, Sami Kooli, Abdelhamid Farhat

Centre de Recherche et des technologies de l'Energie. Technopole de Borj Cedria
B.P – 95. Hammam Lif. 2050. Tunis. Tel : 79 325 588 , Fax : 79 325 825

Rjibi_Amel@yahoo.com , SamiKooli2000@yahoo.fr

Résumé : La modélisation dynamique des serres est une opération complexe. Nous nous proposons, dans ce travail, de modéliser la serre sur TRNSYS afin de profiter de son environnement de simulation dynamique. En effet, le composant « Type56 » de TRNSYS, conçu pour les bâtiments, présente beaucoup d'avantages et permet de simuler le fonctionnement du système complexe que constitue la serre avec ses différents compartiments (sol, couverture, culture, environnements intérieur et extérieur). Les résultats de simulation numérique montrent que les performances thermiques de la serre solaire, construite en verre, ne sont pas satisfaisantes. Pendant les mois de décembre à mars, les températures nocturnes sont inférieures à la température minimale exigée par la plante ($T_{N_{min}}=12^{\circ}C$). Pendant neuf mois sur douze (de mars à novembre) les températures diurnes dépassent la température de surchauffe ($T_{surchauffe}=32^{\circ}$). Le chauffage de la serre, de 100 m² de superficie, pendant l'hiver nécessite une quantité d'énergie assez importante de l'ordre de 4700 MJ.

Mots clés : Serre, TRNSYS, bilan thermique, climat intérieur

1. Introduction

L'optimisation du rendement de la serre est une tâche très ardue. Pour la conception, l'analyse et la commande du système serre, la simulation dynamique basée sur la connaissance du système est cruciale. La modélisation dynamique des serres est une opération complexe qui nécessite un travail de longue haleine. En effet, pour qu'un modèle soit efficace, il doit être modulaire, général et assez flexible pour s'appliquer aux différents types de serres et de climats. Il doit aussi pouvoir décrire les processus physiques intervenant dans une serre avec une précision suffisante. Davantage, la diversité des applications dans les serres nous incite à chercher à modéliser la serre sur une plate forme de simulation dynamique qui dispose d'un large éventail de modèles qui couvrent les équipements techniques et de régulation. TRNSYS constitue une plate forme de simulation dynamique du bâtiment et peut l'être pour la serre si on arrive à modéliser la serre sur TRNSYS avec l'efficacité requise.

Récemment, divers travaux de modélisation sur TRNSYS ont été réalisés. Kolokotsa et al. (2010) [1] ont commandé le climat d'une serre d'une façon intelligente en utilisant TRNSYS. Un modèle simplifié pour la serre, utilisant la méthode d'Euler pour la résolution, a été développé et puis intégré sur TRNSYS. Lu Aye et al. (2010) [2] ont étudié la viabilité financière et environnementale d'un système de chauffage, par pompe à chaleur air-eau, d'une serre de 4000 m² localisés à Melbourne (Australie). Le logiciel de simulation TRNSYS, a été utilisé pour prévoir le fonctionnement de ce système. Ce dernier peut être remboursé sur une période de six ans et permet de réduire la consommation de gaz de 16 %. Les émissions de CO₂ participant à l'effet de serre sont plus élevées de 3 % que celles du système de chauffage existant utilisant une chaudière à gaz. E. Mashonjowa et al. (2013) [3] ont adaptés un modèle dynamique du climat des serres de Gembloux pour prévoir le microclimat dans une serre aérée naturellement à Zimbabwe, contenant une culture de roses. Le modèle dynamique consiste en un système d'équations différentielles basées sur les bilans thermiques et de masse des couches de la serre, a été intégré dans le système de simulation dynamique TRNSYS. Amir Vadiie et Viktoria Martin (2013) [4] ont étudiés le concept de la serre fermée utilisant le stockage thermique saisonnier. Une étude comparative sur la conservation de l'énergie pour différentes configurations de serres (serre fermée, serre semi-fermée, serre partiellement fermée et serre conventionnelle) a été présentée. Le type 56 de TRNSYS a été utilisé comme support pour la modélisation de la serre. Les échanges de chaleur entre la plante et les différents composants de la serre a été négligée dans cette étude. L'évapotranspiration de la plante a été supposée constante de l'ordre de 0.42 kg d'eau/kg d'air sec.

L'étude de Seona Candyet al. (2012) [5] fait partie d'un projet pour améliorer la sécurité alimentaire utilisant la technologie solaire dans Humla, une région appauvrie de montagne au Népal. Des serres et des séchoirs solaires ont été utilisés afin d'accroître la production alimentaire et la préservation des aliments. Ce document décrit la sélection, la construction et l'essai d'un modèle existant de serre à Humla. Un modèle de serre sur TRNSYS a ensuite été créé et validé à partir de données mesurées. La plante a été modélisée par une surface plane horizontale qui échange de la chaleur par rayonnement et par convection avec le milieu environnant. La transpiration de la

plante est basée sur une corrélation linéaire simple avec le rayonnement solaire. Le modèle a ensuite été utilisé pour explorer des méthodes pour améliorer les performances et réduire les coûts de la conception de base et de l'adapter au climat local.

2. Analyse thermique

La serre que nous nous proposons d'étudier est une serre solaire construite en verre à toit incliné de 100 m² de superficie (longueur L= 12,5 m ; largeur l = 8 m, hauteur du faitage h = 2 m). La serre est considérée comme un milieu très confiné où plusieurs composants s'échangent entre elles et dont les principaux facteurs intervenant dans ce milieu sont: la lumière, la température et l'humidité relative. Sur la figure (au-dessous), est représentée l'interface du modèle de serre solaire simulé sur TRNSYS 16.

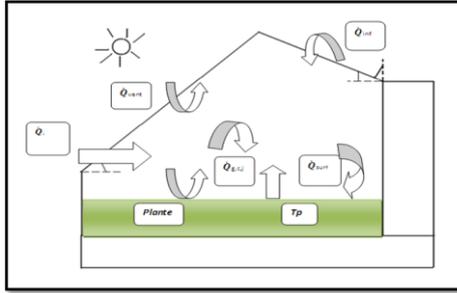


Figure 1: Différents échanges thermiques et de masse considérés dans la serre

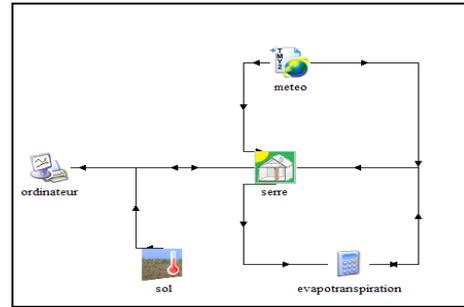


Figure 2: Interface de simulation TRNSYS

3. 1. Bilans thermiques dans la serre

Le bilan énergétique pour une géométrie arbitraire du bâtiment employé dans le type 56 dans le modèle TRNSYS., est présenté par l'équation suivante (zone i):

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = Q_{surf,i} + Q_{vent,i} + Q_{inf,i} + Q_{g,c,i} + Q_{cplg} \quad (1)$$

$Q_{surf,i}$: est le gain total de toutes les surfaces intérieures et extérieures. Il inclut le transfert de chaleur radiatif net avec toutes les surfaces à l'intérieur de la zone aussi bien que les surfaces extérieures, le flux de chaleur par convection des surfaces intérieures avec l'air de la zone, le flux de chaleur par convection, des surface extérieure avec l'ambiante, les flux de chaleur par conduction vers la surface interne de mur et provenant de la surface externe de mur.

$Q_{inf,i}$: représente le flux de chaleur sensible par infiltration d'air peuvent être trouvés par l'équation suivante:

$$Q_{inf,i} = \rho_{air} \cdot C_p \cdot V_{inf} (T_a - T_i) \quad (2)$$

$Q_{vent,i}$: représente le flux de chaleur sensible par ventilation produits par un système de ventilation défini pour l'utilisateur, est donné par l'équation suivante :

$$Q_{vent,i} = \rho_{air} \cdot C_p \cdot V_{vent} (T_v - T_i) \quad (3)$$

Les deux derniers termes de l'équation. (1) représentent les gains internes de convection dus aux appareils électroménagers aux occupants, aux équipements, à l'éclairage, aux radiateurs, etc... , $Q_{g,c,i}$ et les gains de convection dus au couplage des zones Q_{cplg} .

$$Q_{g,c,i} = 0 \quad (4)$$

$$Q_{cplg} = 0 \quad (5)$$

La variable d'état qui caractérise le couvert végétal est la température des feuilles (T_p). Les flux de chaleur latente échangés par convection entre l'air intérieur et le couvert végétal, s'écrit selon l'équation (6).

$$q_{supl} = L W_{g,i} \quad (6)$$

Le flux de transpiration du couvert végétal est donné par l'équation suivante Penman (1948) [6], équation (7)

$$W_{g,i} = A_p \rho_a \left(\frac{W_a - W_p^*}{r_{ap}} \right) \quad (7)$$

La résistance totale au transfert de l'eau r_{ap} est la somme de la résistance aérodynamique : $r_a = \frac{\rho_a C_p a}{h_{ap}}$, et d'une résistance stomatique, r_p .

La température du sol à une profondeur spécifique doit être calculée elle est attribuée à partir de la formule de Kasuda (1965) [7], décrite par l'équation (8) :

$$T = T_{\text{mean}} - T_{\text{amp}} \cdot \exp \left[-\text{depth} \cdot \left(\frac{\pi}{365 \alpha} \right)^{0.5} \right] \cdot \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \cdot [t_{\text{now}} - t_{\text{shift}} - \frac{\text{depth}}{2} \cdot \left(\frac{365}{\pi \alpha} \right)^{0.5}] \right\} \quad (8)$$

3. 2. Bilan hydrique :

L'air intérieur est aussi le siège des échanges de vapeur d'eau par condensation sur les faces internes de la couverture, par évapotranspiration des plantes, par évaporation à la surface du sol et par renouvellement d'air. En négligeant l'effet de la condensation sur la face interne de la couverture et par évaporation à la surface du sol, le bilan de masse de l'air intérieur s'écrit :

$$M_{\text{eff},i} \frac{d\omega_i}{dt} = \dot{m}_{\text{infl}} (\omega_a - \omega_i) + \dot{m}_v (\omega_v - \omega_i) + W_{g,i} \quad (9)$$

4. Résultats et interprétations

Les simulations obtenues pour la serre solaire étudiée ont été effectuées pour le climat de Tunis, sur toute l'année. Sur la figure (1) on remarque que durant la journée, les effets conjugués du "piégeage" des apports solaires et la réduction des échanges convectifs à l'intérieur de la serre conduisent à une élévation de la température de l'air. Pendant les mois (de mars à novembre) les températures diurnes dépassent la température de surchauffe $T_{\text{surchauffe}} = 32^\circ\text{C}$ combinées avec un abaissement exagéré de l'humidité relative peut provoquer un stress hydrique ($< 25\%$) au niveau de la végétation. Une action d'aération s'avère nécessaire figure (2). Pendant les mois de décembre, janvier, et février, les températures diurnes sont propices à un généreux développement de la culture ($T_{\text{ai}} < T_{\text{surchauffe}} = 32^\circ\text{C}$). Alors que les températures nocturnes sont inférieures à la température $T_{N\text{min}} = 12^\circ\text{C}$ exigée par la plante. Une action de chauffage durant cette période est nécessaire.

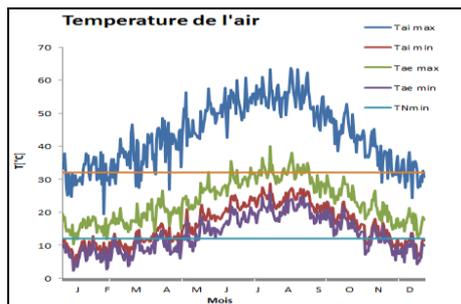


Figure 3: Courbes de variation des températures moyennes de l'air intérieur et extérieur en fonction des mois de l'année.

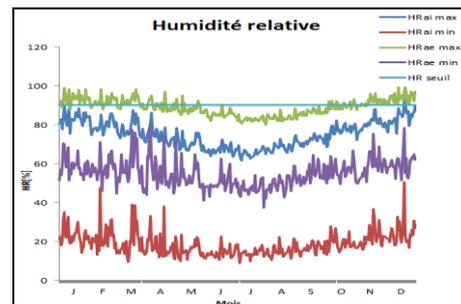


Figure 4: Courbes de variation de l'humidité relative de l'air intérieur et extérieur en fonction des mois de l'année.

Le chauffage de la serre, de 100 m^2 de superficie, pendant l'hiver nécessite une quantité d'énergie assez importante de l'ordre de 4700 MJ figure (5). Les crêtes de la courbe de variation des densités de flux de masse échangées par évapotranspiration figure (6). Stangellini (1987) [8] a déterminé expérimentalement l'évapotranspiration sous serre. Il a trouvé une courbe similaire avec des crêtes de l'ordre de $80 \text{ (mg/m}^2\text{s)}$.

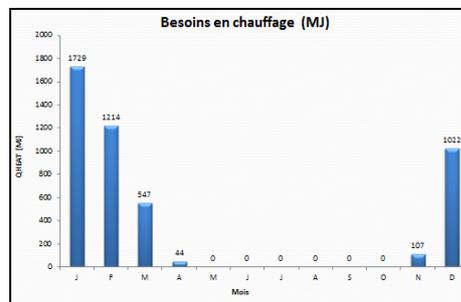


Figure 5: Les besoins mensuels en chauffage de la culture (tomate), en fonction des mois de l'année

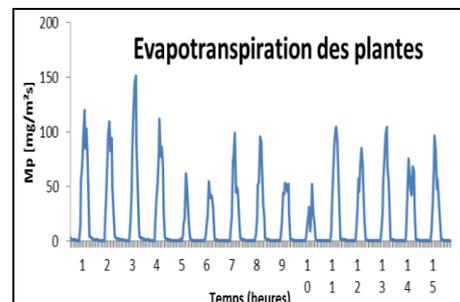


Figure 6: variation des densités de flux de masse échangées par évapotranspiration du (1-15 janvier)

Les courbes de variation de la température de l'air intérieur pour une serre nue sans végétation ($\text{LAI}=0$) et une serre cultivée avec différents indices foliaires ($\text{LAI}=2, 4$ et 6) en fonction des mois de l'année figure (7) et (8). Durant la période diurne, la température de l'air sous serre augmente avec l'indice foliaire. Plus la culture est

développée (LAI est grand), plus la température de l'air intérieur est élevée. La plante, dans la serre, joue le rôle d'un absorbeur de chaleur. En effet, la plante absorbe l'énergie solaire et diffuse la chaleur absorbée par rayonnement dans l'infrarouge et par convection. Ceci a pour effet d'augmenter la température de l'air qui détermine un abaissement de l'humidité relative..

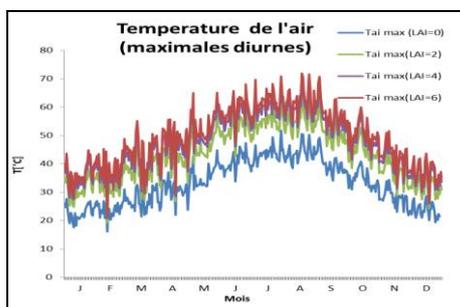


Figure 7: variation de la température de l'air intérieur (maximales diurnes) pour différents LAI en fonction des mois de l'année

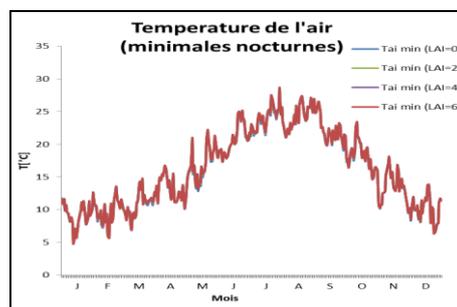


Figure 8: variation de la température de l'air intérieur (minimales nocturnes) pour différents LAI en fonction des mois de l'année

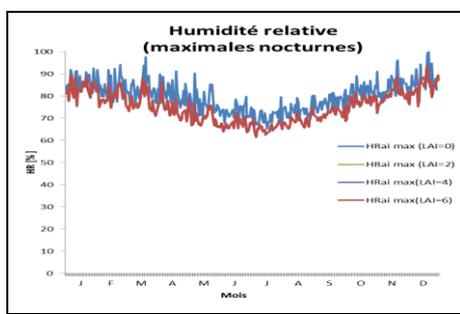


Figure 9 : variation de l'humidité relative maximale nocturne pour différents LAI en fonction des mois de l'année

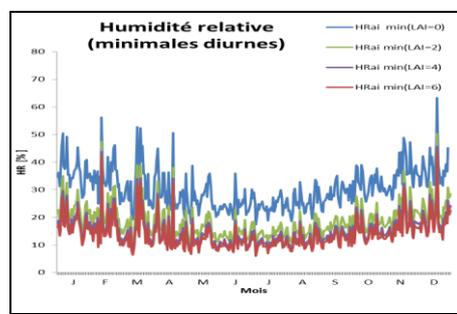


Figure 10: variation de l'humidité relative minimale diurne pour différents LAI en fonction des mois de l'année

Sur la figure (12). On constate que les besoins de chauffage augmentent avec l'indice foliaire. Plus la culture est développée (LAI est grand), plus les besoins de chauffage sont élevés. De nuit, la plante, dans la serre, joue le rôle d'un diffuseur de chaleur.

Les besoins des plantes en eau figure (11). pendant les mois (de mai à septembre) sont largement supérieurs à ceux pendant les autres mois (période froide de l'année). Il n'y a pas de différence notable entre les besoins en eau des plantes rapportés à l'unité de surface de feuilles pour différents indices foliaires (LAI=2, 4 et 6). La légère différence existante est due essentiellement à la légère différence existante dans la température de l'air et de la plante

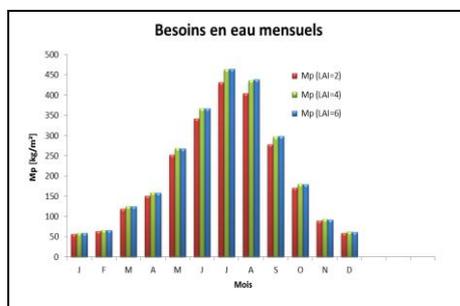


Figure 11 : les besoins en eau mensuels de tomate, rapportés à l'unité de surface de feuilles, pour différents indices foliaires en fonction des mois de l'année

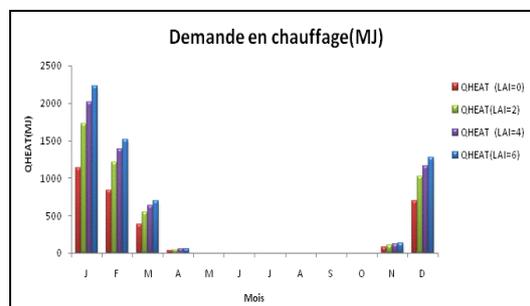


Figure 12 : Les besoins mensuel en chauffage de tomate pour différents indices foliaires en fonction des mois de l'année.

5. Conclusion

Les résultats de simulation numérique montrent que les performances thermiques de la serre solaire, malgré qu'elle soit construite en verre, ne sont pas satisfaisantes. Pendant les mois de décembre à mars, les températures nocturnes sont inférieures à la température minimale exigée par la plante ($T_{N_{\min}}=12^{\circ}\text{C}$). Pendant neuf mois sur douze (de mars à novembre) les températures diurnes dépassent la température de surchauffe ($T_{\text{surchauffe}}=32^{\circ}$). Le chauffage de la serre, de 100 m^2 de superficie, pendant l'hiver nécessite une quantité d'énergie assez importante de l'ordre de 4700 MJ .

Nomenclature

Symbol	Indices
C Capacité thermique, $J/Kg.K^{-1}$	α diffusivité thermique du sol, m^2/jour
V Débit massique d'air, Kg/h	p plantes
ρ_{air} Densité de l'air, $Kg.m^{-3}$	inf infiltration
T Température, $^{\circ}\text{C}$	v ventilation
L Chaleur latente massique de vaporisation de l'eau, $J.Kg^{-1}$	a air ambiant (extérieur)
$W_{g,i}$ Flux de vapeur d'eau évaporé par le couvert végétal, $Kg.s^{-1}$	i l'air intérieur
C Capacité thermique, $J/Kg.K^{-1}$	t_{now} jour actuel de l'année (jour)
V Débit massique d'air, Kg/h	t_{shift} journée de l'année correspondant à la température de surface minimale, jour
h Coefficient de transfert de chaleur par convection, $W.m^{-2}.K^{-1}$	amp amplitude
$M_{\text{eff},i}$ Capacité hydrique effective de l'air intérieur	mean moyenne annuelle de la température de la surface du sol (température moyenne de l'air), $^{\circ}\text{C}$
\dot{m} Débit d'air	
W_a Humidité de l'air ambiant,	
W_p^* Humidité spécifique saturante de l'air à la température de la plante, $Kg H_2O/Kg d'air sec$	
ω humidités spécifiques de l'air, $kg d'eau/kg d'air sec$	
depth profondeur sous la surface du sol	

Références

- [1] D. Kolokotsa, G. Saridakis, K. Dalamagkidis, S. Dolianitis et I. Kaliakatsos, Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses, Energy Conversion and Management, 51, (155–168), 2010.
- [2] Lu Aye, R.J. Fuller et A. Canal, Evaluation of a heat pump system for greenhouse heating, International Journal of Thermal Sciences, 49, 202–208, 2010.
- [3] E. Mashonjowa, F. Ronsse, J.R. Milford et J.G. Pieters, Modelling the thermal performance of a naturally ventilated greenhouse in Zimbabwe using a dynamic greenhouse climate model, 91, 381–393, 2013.
- [4] A. Vadiée et V. Martin, Thermal energy storage strategies for effective closed greenhouse design, Applied Energy (2013) in press.
- [5] S. Candy, G. Moore et P. Freere, Design and modeling of a greenhouse for a remote region in Nepal, Procedia Engineering, 49, 152 – 160, 2012.
- [6] J.L. Penman, Natural evaporation from water soil and grass. Proc. Roy. Londre, 193, 120-145, 1984.
- [7] T. Kasuda et Archenbach, P.R., Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States, ASHRAE Transactions, Vol. 71, Part 1, 1965.
- [8] C. Strangellini, Transpiration of greenhouse crops, an aid to climate management, Ph. Dissertation, Wageningen Agricultural University, Netherlands, 1987.