

## CHAUFFAGE D'UNE SERRE TUNNEL PAR DEUX ECHANGEURS DE CHALEUR COUPLES

M. LAZAAR<sup>1\*</sup>, S. KOOLI<sup>1</sup>, M. HAZAMI<sup>1</sup>, A. FARHAT<sup>1</sup>, A. BELGHITH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherches et des Technologies de l'Energie, BP 95 Hammam-Lif, 2050

<sup>2</sup>Faculté des Sciences de Tunis, Dép. de Physique, Le belvédère 1002, Tunis

[marlazfr@yahoo.fr](mailto:marlazfr@yahoo.fr), [samikooli2000@yahoo.fr](mailto:samikooli2000@yahoo.fr), [hazamdi321@yahoo.fr](mailto:hazamdi321@yahoo.fr),

[Farhat\\_Abdel\\_hamid@yahoo.fr](mailto:Farhat_Abdel_hamid@yahoo.fr), [Ali.belghith@fst.rnrt.tn](mailto:Ali.belghith@fst.rnrt.tn)

### RESUME

Deux échangeurs couplés entre eux sont utilisés pour atténuer les écarts entre les températures diurnes et nocturnes de l'air sous les serres tunnels. Ceci par récupération de l'énergie thermique diurne en excès et sa restitution en phase nocturne. Ce système de conditionnement du climat est composé d'échangeurs enterrés dans le sol et d'autres suspendus dans l'air.

Pour déterminer les conditions optimales pour le bon conditionnement de la serre, plusieurs tests ont été faits. En effet à l'aide d'une pompe à chaleur, nous avons fait varier la température d'entrée de l'eau dans les échangeurs et nous avons déterminé la réaction du climat de la serre envers ces données. Ces résultats ont permis de déterminer la zone de stockage d'énergie thermique et la température de chauffage nocturne pour maintenir le confort thermique de la serre.

### 1. INTRODUCTION

Dans les régions méditerranéennes, les serres sont confrontées à des problèmes de surchauffe pendant le jour et de refroidissement pendant la nuit. Ces problèmes pénalisent le rendement et la qualité du produit. Il est donc nécessaire de parfaire la climatisation des serres. Dès les années 70 des systèmes passifs et actifs de récupération de l'énergie solaire, comme la ventilation, les écrans d'ombrage et les unités de stockage et de déstockage de la chaleur ont été utilisés. Une étude détaillée a été réalisée à l'INRA d'Avignon-Montfavet (Boulard, 1985), sous deux serres de tomates, l'une en conduite classique ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ ,  $T_n = 15^\circ\text{C}$ ), la seconde (avec double paroi) en conduite dite « économique » ( $T_j = 20^\circ\text{C}$ ,  $T_n = 10^\circ\text{C}$ ). Les mesures, réalisées au pas horaire pendant plusieurs mois, ont permis de déterminer la quantité d'énergie potentiellement récupérable  $Q_p$ , sa partition entre chaleur sensible et latente, ainsi que les appoints en chauffage diurne,  $Q_j$ , et nocturne,  $Q_n$ . La serre « classique », pour des besoins en chauffages de  $1,16 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ , donne une énergie potentiellement récupérable de  $2,17 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  (dont 62 % en énergie latente). La serre « économe », pour des besoins en chauffage de  $0,48 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ , donne  $Q_p=5,33 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  (dont 63 % en énergie latente). Une autre étude [1] a été réalisée par le CSTB en collaboration avec l'équipe RAMSES du C.N.R.S. Le travail présenté par cette équipe a pour objectif de cerner les caractéristiques de fonctionnement des stockages de grand volume. Les résultats expérimentaux obtenus ont nettement fait apparaître les conditions de stratifications thermiques à l'intérieur du stockage. Une étude [2, 3] concernant une installation de stockage a été également effectuée par un groupe du laboratoire de Thermomécanique de l'Université de Reims. Ces derniers ont utilisé une batterie d'échangeurs bi-tubulaires verticaux appelés « Baïonnettes » enfoncés dans le sol considéré comme infini. La profondeur utilisée est de 25 mètres. Les tubes sont écartés de deux mètres, et l'étanchéité de cet échangeur est assurée par une membrane souple à base de PVC. L'objectif de ces travaux était de mettre en évidence, en fonction de quelques paramètres essentiels du système, (tels que la conductivité du sol qui doit être faible pour que la restitution soit bonne, les puissances disponibles, la disposition, la distance des puits, et le niveau de la température d'utilisation), les tendances permettant d'améliorer le comportement de ce système thermique. Le modèle utilisé dans ces travaux ne prend pas en compte les fuites verticales. L'utilisation d'échangeurs capillaires pour

le conditionnement des serres agricoles a été le sujet d'une étude faite par l'équipe serre du Laboratoire de Maîtrise des Technologies de l'Énergie du Centre de Recherches et des Technologies de l'Énergie CRTEN. Cette étude [4, 5, 6] a permis de déterminer la surface d'échange de l'échangeur capillaire en polypropylène enterré et suspendu nécessaire pour maintenir des températures de consigne bien déterminées dans la serre. Les performances de cet échangeur pour le chauffage et le rafraîchissement des locaux (serre, bâtiment) ont été déterminés dans le cadre d'autres études faites dans le même laboratoire [7,8]. Ce travail entre dans le même cadre. Il s'agit d'une contribution à l'étude globale de performance des quelques échangeurs dans le domaine de conditionnement des serres agricoles.

## 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le système de stockage et de récupération de l'énergie est constitué essentiellement d'une batterie de tubes de type « agrotherm » en PVC suspendue dans l'air de la serre (Figure 1), couplée à des échangeurs capillaires en polypropylène enterrés à une profondeur de 70 cm (Figure 2). Ce type d'échangeur s'adapte bien aux applications agricoles du point de vue coût, résistance aux intempéries, rendement thermique (faible comparé aux métaux mais suffisant pour de telles applications) et absence de problème d'entartrage. Ces mêmes échangeurs peuvent aussi assurer la fonction de rafraîchissement diurne pendant l'été, permettant ainsi d'avancer la date de semis et d'éviter les problèmes de surchauffe.

Afin d'étudier la réponse de la serre à ce système de chauffage, nous avons fait circuler dans ces échangeurs de l'eau à des températures différentes (40°C et 30°C). A l'aide d'une chaîne d'acquisition type 21X Campbell, nous avons pris les températures de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre, la température du sol à différentes profondeurs, l'humidité relative de l'air à l'intérieur et à l'extérieur, l'ensoleillement dans la serre, le flux de chaleur à l'interface air/sol.



Figure 1. Echangeur de type agrotherm suspendu dans la serre

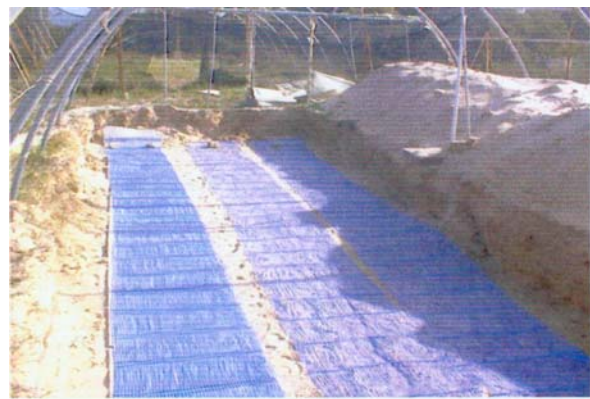


Figure 2. Echangeur capillaire enterré dans le sol de la serre

## 3. CARACTERISATION EXPERIMENTALE DU MICROCLIMAT

### 3.1 Microclimat sous serre: Sans système de chauffage

Afin de mettre en évidence le problème de surchauffe diurne excessif et de refroidissement nocturne exagéré de la serre, on représente dans les figures 3 et 4 les courbes de variation de la température interne ( $T_{ai}$ ) et externe ( $T_{ae}$ ) respectivement en décembre et en juillet. Nous constatons que :

- pour les nuits d'hivers, les déperditions par émission infrarouge vers le ciel entraînent l'abaissement de la température de l'air, souvent plus marqué à l'intérieur qu'à l'extérieur. Il s'agit de l'inversion de la température (serre non chauffée). Ce phénomène est un problème très pénalisant pour les serristes (Figure 3).

- de jour, les effets conjugués du « piégeage » du rayonnement solaire et de la réduction des échanges convectifs à l'intérieur de la serre (milieu confiné) conduisent à l'élévation de la température. Elle atteint des valeurs relativement élevées (35°C en décembre et 58 °C en juillet) (Figure 4).

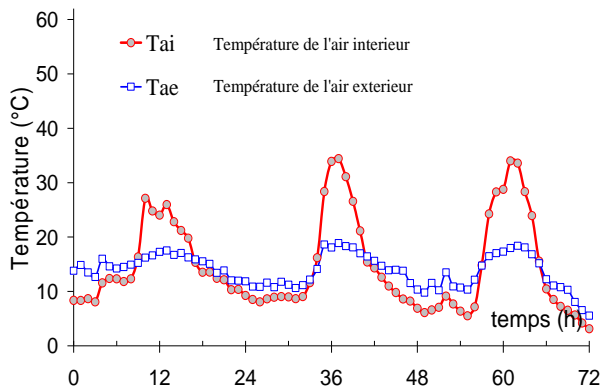


Figure 3. Evolution de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre au mois de décembre

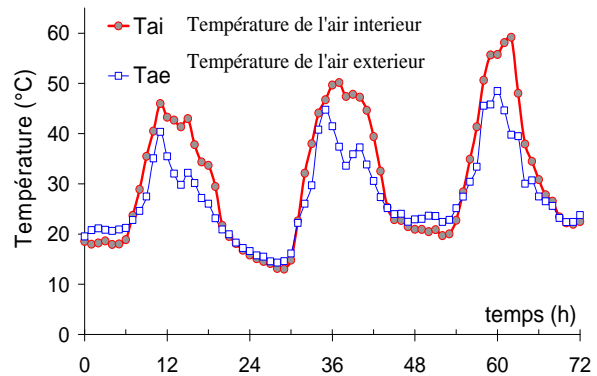


Figure 4. Evolution de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre au mois de juillet

Les Figures 5 et 6 représentent respectivement l'évolution de l'humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur de la serre en fonction du temps en décembre et en juillet, on constate que (pour une serre non chauffée) :

- la nuit, l'humidité relative de l'air intérieur est très élevée, elle est de l'ordre de 100%. Ceci entraîne une condensation sur les parois de la serre (possibilité d'apparition de maladie).
- le jour, l'élévation de la température de l'air intérieur influe directement sur l'humidité relative. En effet, nous notons un abaissement exagéré de l'humidité qui peut atteindre les 20%.

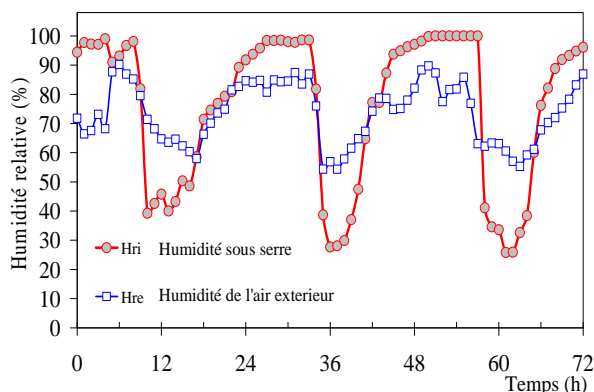


Figure 5. Evolution de l'humidité relative de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre (mois de décembre)

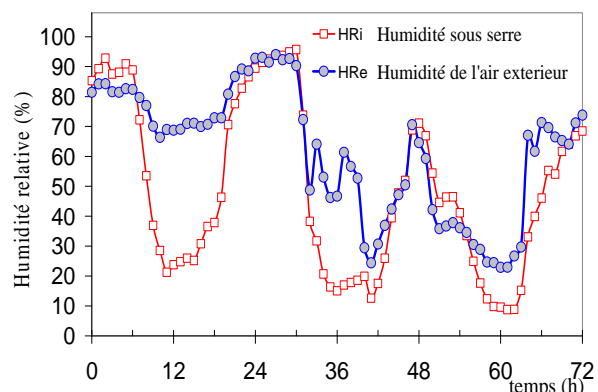


Figure 6. Evolution de l'humidité relative de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre (mois de juillet)

Les Figures 7 et 8 représentent l'évolution du flux de chaleur dans le sol, rapporté à l'unité de surface d'échange, en fonction du temps.

Nous remarquons que :

- pendant le jour, le sol gagne de l'énergie d'origine solaire (flux de chaleur négatif). C'est la période de stockage d'énergie. La quantité d'énergie journalière que peut récupérer le sol diffère d'une saison à l'autre. Elle dépend du climat extérieur et en particulier de l'ensoleillement. La puissance maximale gagnée par le sol est aux alentours de  $60 \text{ W.m}^{-2}$  au mois de décembre alors qu'en été (mois de juillet), elle est de l'ordre de  $35 \text{ W.m}^{-2}$ .
- pendant la nuit, le flux de chaleur échangé avec le sol est positif. Il correspond à une perte d'énergie. Le sol est en stade de déstockage. Au mois de décembre la puissance journalière

maximale perdue par le sol en faveur de l'air intérieur de la serre atteint  $40 \text{ W.m}^{-2}$ , tandis qu'au mois de juillet, elle ne dépasse pas  $8 \text{ W.m}^{-2}$ .

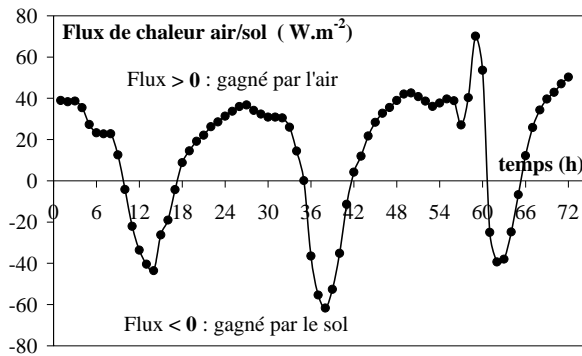


Figure 7. Evolution de la densité de flux de chaleur à l'interface air / sol (mois de décembre)

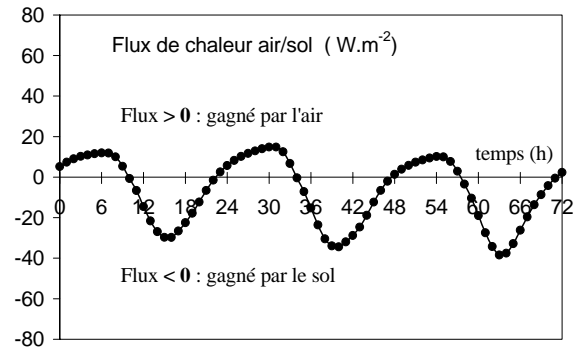


Figure 8. Evolution de la densité de flux de chaleur à l'interface air / sol (mois de juillet)

### 3.2. Microclimat : En présence d'un système de chauffage

La serre est chauffée à différentes températures et les deux systèmes de chauffage aérien et enterré fonctionnent en même temps. Chaque expérience de chauffage dure trois journées successives. Une pompe de chaleur est utilisée comme source d'énergie. Le débit d'eau utilisé est de  $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 3.2.1. Température de chauffage : $40^\circ\text{C}$ (période du 27 février au 01 mars 2006)

La Figure 9 représente l'évolution de la température de l'air intérieur, du flux de chaleur à l'interface air/sol et le rayonnement solaire dans la serre en présence d'un système de chauffage par agrotherm haut et bas ( $T=40^\circ\text{C}$ ).

Cette figure montre qu'à 12 h lorsque la température de l'air intérieur est maximale, le flux de chaleur à l'interface air/sol est maximal (en valeur absolue). En effet la valeur algébrique du flux est négative vu qu'il est gagné par le sol (perdu par l'air), le sol est en phase de stockage de chaleur. Et lorsque la température de l'air est minimale (à minuit), le flux de chaleur est positif, il est donc perdu par le sol et ce dernier est en phase de déstockage.

La Figure 10 représente la variation de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre pour une température de chauffage de  $40^\circ\text{C}$ . Elle montre que le phénomène d'inversion de température est absent. En effet la température de l'air à l'intérieur de la serre est toujours supérieure à celle de l'air extérieur. Le problème de refroidissement exagéré pendant la nuit est atténué.

La Figure 11 représente l'évolution du flux dans le sol en fonction du temps. Cette courbe montre que la quantité d'énergie thermique stockée dans le sol est plus importante que celle déstockée. L'apport de chauffage est plus important que celui perdu la nuit.

La Figure 12 représente l'évolution de la température du sol en fonction du temps pour différentes profondeurs (P de 10 cm à 70 cm). Le chauffage du sol par les nattes se fait de 18 h à 12 h puisque c'est la période la plus froide de la journée. Nous remarquons que l'évolution de la température du sol à des profondeurs égales à 10 cm, 20 cm et 30 cm est sensible à l'alternance du jour et de la nuit. Alors qu'au delà de cette profondeur (30 cm), le stockage de l'énergie se fait progressivement et en continue et n'est pas influencé par cette alternance. C'est la zone idéale de stockage de l'énergie thermique.

#### 3.2.2 Température de chauffage : $30^\circ\text{C}$ (période de 02 au 05 mars 2006)

Les figures 13 à 17 représentent respectivement la variation de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre, l'évolution de la température du sol en fonction du temps pour différentes profondeurs (de 10 cm à 70 cm), l'évolution du flux dans le sol en fonction du temps et l'évolution

de la température de l'air intérieur, du flux de chaleur à l'interface air/sol et du rayonnement solaire dans la serre en présence d'un système de chauffage par agrotherm.

La figure 13 montre que le problème d'inversion de température est encore absent même pour une température de chauffage moins importante. La figure 14 confirme le fait que la zone de stockage thermique idéale est au delà de 30 cm.

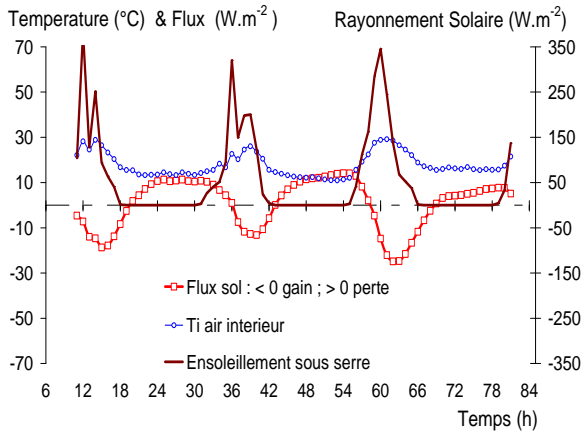


Figure 9. Evolution de la température de l'air intérieur, du flux de chaleur à l'interface sol/air et du rayonnement solaire,

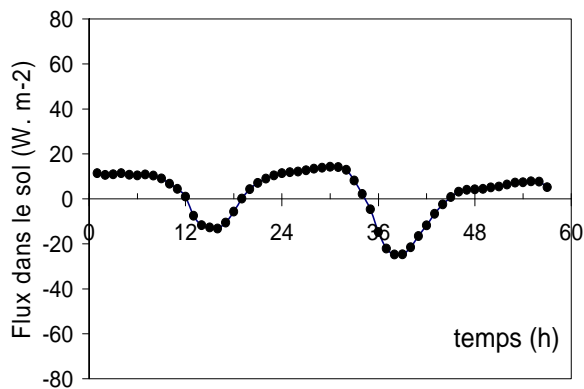


Figure 11. Evolution du flux de chaleur à l'interface air/sol en fonction du temps

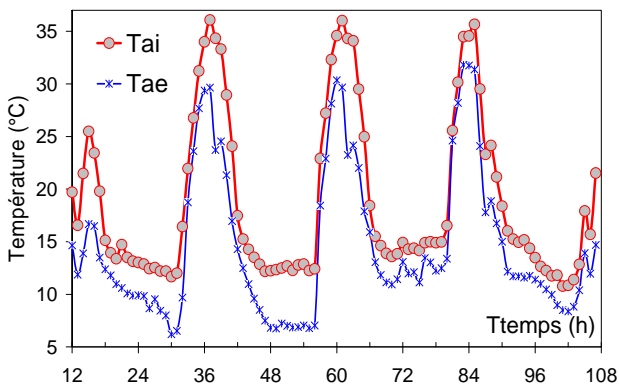


Figure 13. Variation de la T° de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre pour  $T_{chauffage} = 30^{\circ}\text{C}$

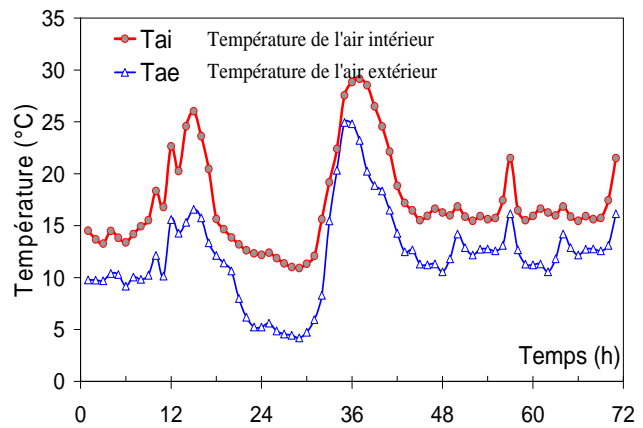


Figure 10. Variation de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre pour une température de chauffage de  $40^{\circ}\text{C}$

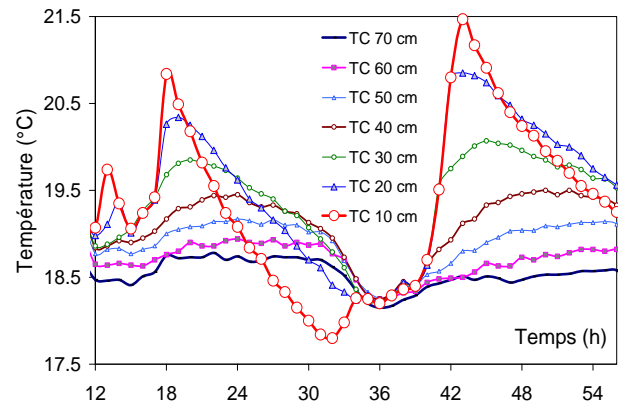


Figure 12. Evolution de la T° du sol en fonction du temps pour des profondeurs (10 à 70 cm)

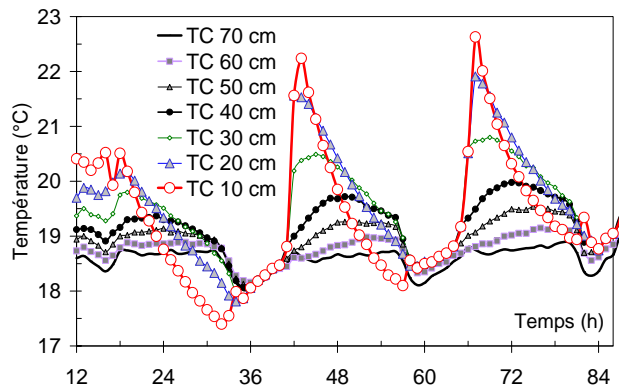


Figure 14. Evolution de la T° du sol en fonction du temps pour des profondeurs (de 10 à 70 cm)

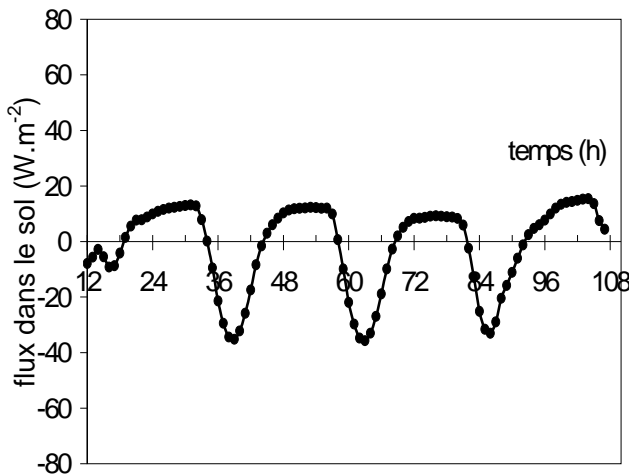


Figure 15. Evolution du flux dans le sol en fonction du temps pour une température de chauffage de 30°C

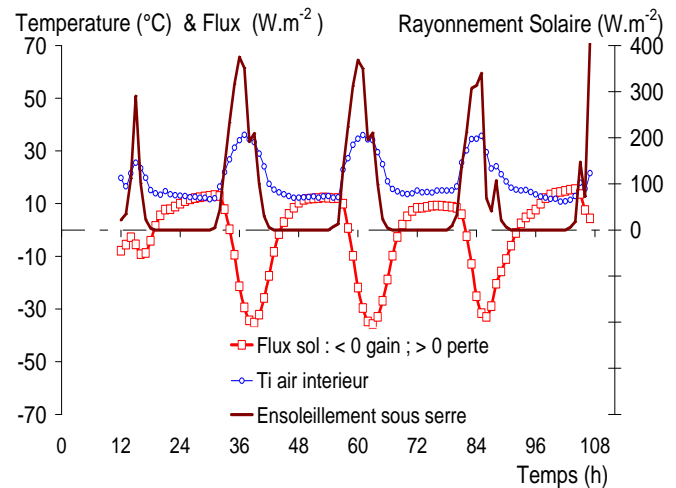


Figure 16. Evolution de la T° de l'air, du flux de chaleur à l'interface sol/air et du rayonnement solaire dans la serre, T°<sub>chauffage</sub> = 30°C

#### 4. CONCLUSION

Cette étude a montré qu'en présence d'un système de chauffage à base d'échangeurs capillaires et d'agrotherm (Températures de chauffage : 40°C et 30 °C), le phénomène d'inversion de la température est absent. En effet le refroidissement nocturne excessif de la serre est atténué. La température de chauffage de 30 °C est suffisante pour maintenir un confort nocturne de la serre et avec une durée de chauffage de 18 h à 12 h. Lorsque la température de l'air à l'intérieur de la serre est la plus faible, le flux de chaleur à l'interface air/sol est le plus important. Le sol est donc donneur de chaleur et inversement. A partir de la surface du sol et jusqu'à 30 cm de profondeur, la température du sol fluctue. Elle ne se stabilise qu'au delà de cette profondeur. On peut constater donc que la zone de stockage de l'énergie thermique se situe au delà de 30 cm.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bourdeau (L) Stockage intersaisonnier d'énergie solaire sous lit de cailloux enterrés, pp 125-129 Rév. Gén. Therm. N°254, Février (1983).
2. Baudoin (A), Abgralli (M) & Padjet (J.P) Etude d'un échangeur baionnette en milieu solide infini, pp 700-707 Rév. Gén. Therm N°348, décembre (1990).
3. Rached Ben Younes : « Prévion numérique et expérimentale de la réponse intrinsèque d'un échangeur bitubulaire enterré en régime continu » Thèse de doctorat en Energétique.
4. M. Lazâar, S. Kooli, M. Hazami, A. Farhat, A. Belghith: "Comparison between a solar system and a fuel boiler for greenhouse air-conditioning". Desalination Vol 168, pp 391-396 (2004)
5. M. Lazâar, S. Kooli, M. Hazami, A. Farhat, A. Belghith: "Use of solar energy for the agricultural greenhouses autonomous conditioning". Desalination Vol 168, pp 169-175 (2004)
6. M. Lazâar, S. Kooli, M. Hazami, A. Farhat, A. Belghith: "Thermal energy storage in the ground of a greenhouse by the polypropylene capillary heat exchanger" American journal of Applied Sciences 5 (12): 1769-1772, 2008
7. M. Balghouthi, S. Kooli, A. Farhat, H. Daghari, A. Belghith: "Experimental investigation of thermal and moisture behaviours of wet and dry soils with buried capillary heating system" Solar Energy 79 (2005) 669-681
8. M. Hazami, S. Kooli, M. Lazâar, A. Farhat, A. Belghith: "Heat transfer characteristics of a capillary heat exchanger based air conditioning cupboard" Desalination Vol 166, pp 435-442 (2004).