

ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPORTEMENT THERMIQUE ET HYDRIQUE D'UN SOL CHAUFFE PAR UN SYSTEME DE NATTES CAPILLAIRES ENTERREES

M. BALGHOUTH¹, S. KOOLI¹, A. FARHAT¹, H. DAGHARI², M. MAALEJ¹, A. BELGHITH³

1 : Institut National de Recherche Scientifique et Technique (INRST) Email : balghouthi_moncef@yahoo.fr

2 : Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)

3 : Faculté des Sciences de Tunis (FST)

Résumé

Dans ce travail, nous contribuons à l'étude expérimentale du comportement thermique et hydrique d'un sol chauffé par des nattes capillaires enterrées. Cette étude est réalisée sur un prototype qui simule une serre agricole type tunnel. Les expériences consistent à chauffer le sol de la serre jusqu'à l'équilibre thermique puis à le laisser refroidir. Nous suivons, au cours des deux phases, chauffage et relaxation, l'évolution de la température et de la teneur en eau du sol à différentes profondeurs ainsi que les paramètres climatiques sous le prototype de serre utilisé. Deux cas de figure sont étudiés, un sol humide et un sol sec.

Mots clés : sol, humide, teneur en eau, chauffage enterré, stockage de chaleur

1. Introduction

Le chauffage du sol est souvent utilisé dans l'agriculture, en particulier dans la sericulture, pour stocker de la chaleur et la restituer quand il fait froid. Ceci permet d'assurer un microclimat favorable à la croissance des plantes. Il est aussi utilisé pour assurer des températures exigées par des espèces de semences pour la germination et la croissance, (cas des pépinières). Une fluctuation significative de la température du sol peut influencer les processus biologiques de la plante, des insectes, la décomposition des pesticides et des fertilisants, la minéralisation des nutriments, la respiration des microorganismes, ainsi que la distribution de l'eau dans le sol. Il est donc nécessaire de connaître le comportement thermique du sol avant de l'utiliser dans de telles applications. L'étude du transfert de chaleur dans le sol est assez complexe et nécessite la prise en compte de plusieurs paramètres tel que la nature du sol, son état hydrique ainsi que les conditions climatiques environnantes. Elle a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs [1 ; 2 ; 3]. A. Belghith et M. Maalej [4] ont étudié l'effet des conditions aérothermiques sur l'évaporation à la surface du sol. M.S. Sifaoui [5] a étudié l'évaporation à la surface et l'évaporation profonde. Il a montré que sous l'influence d'un flux solaire intense, une couche superficielle de terre sèche se forme constituant un isolant thermique qui réduit la pénétration de la chaleur dans le sol et par suite ralentit la diffusion de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. K. Anandakumar et al. [7] ont effectué des mesures sur site pour un sol sec et un sol humide (après une pluie) durant la même période de l'année. Ils ont montré que la conductivité thermique, la capacité calorifique et la diffusivité thermique augmentent avec l'humidité du sol.

Dans ce travail nous contribuons à l'étude expérimentale du comportement thermique et hydrique d'un sol chauffé par des nattes capillaires enterrées.

2. Dispositif expérimentale et mode opératoire

Cette étude est réalisée sur un prototype qui simule une serre agricole, type tunnel (figure 1). Il est formé essentiellement par une cuve de forme parallélépipédique de dimensions (2x1,5x1 m) et d'une structure métallique de forme semi-cylindrique de 1,2 m de hauteur, servant de support pour la couverture plastique. La cuve est remplie du sable fin, dans laquelle nous avons placé, suivant la verticale, une plaque en PVC pour séparer le sol en un sol humide, irrigué à sa surface par des goutteurs et un sol relativement sec (non irrigué). Le système de chauffage est constitué d'un réseau de nattes capillaires, en polypropylène (type CLINA), placé à une profondeur de 70 cm dans le sol, et d'un système qui permet d'alimenter les nattes d'une eau à température contrôlée pouvant atteindre 90°C. Deux températures de chauffage (alimentation des nattes) sont utilisées : une eau à 70°C pour simuler les sources géothermales très abondantes au sud Tunisien et une eau à 40°C pour simuler les rejets thermiques des usines et des centrales électriques. Nous prélevons la température et la teneur en eau du sol à différentes profondeurs à l'aide de thermocouples et de tensiomètres. Nous mesurons la densité du flux de chaleur à la surface du sol à l'aide de plaques

à flux de chaleur ainsi que les paramètres climatiques sous le prototype de serre utilisé en utilisant des instruments de mesures adéquates.

L'expérience consiste à chauffer le sol de la serre jusqu'à l'équilibre thermique, puis on le laisse refroidir et on suit l'évolution de chaque paramètre au cours des deux phases (chauffage et relaxation) qui durent respectivement 8 jours.

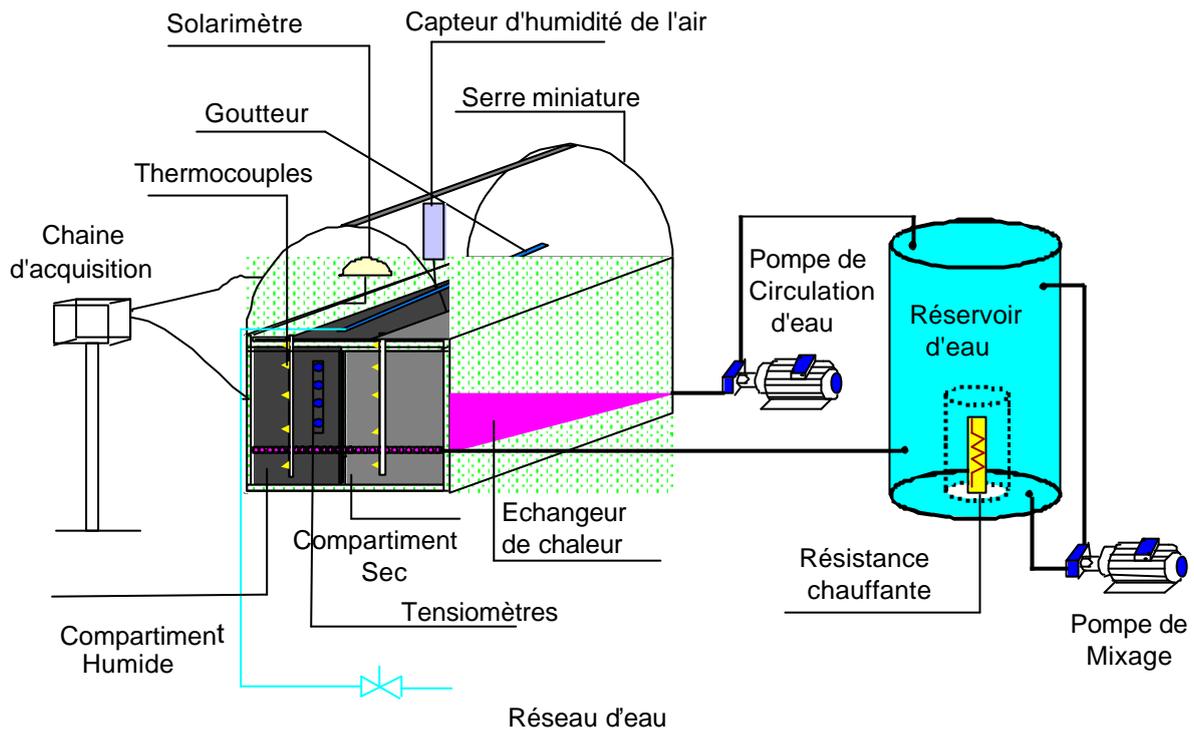


Figure1 : Schéma du prototype expérimental

3. Résultats et discussions :

Sur la figure 2 sont représentées les courbes de variation de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la serre ainsi que celle de l'ensoleillement intérieur au cours du chauffage du sol. On remarque l'absence du phénomène d'inversion de la température rencontré généralement dans les serres agricoles pendant la nuit.

Sur la figure 3 est représentée l'évolution de l'humidité relative de l'air intérieur. L'humidité diminue lorsque la température de l'air augmente. La valeur de l'humidité la plus faible est obtenue vers midi (ensoleillement maximal). Pendant la nuit, l'air est saturé, ainsi l'évaporation est nulle.

Sur la figure 4 sont représentées les courbes de variation des températures pour différentes profondeurs du sol sec ainsi que la température de l'eau de chauffage (T_{ch}). La température à la surface du sol fluctue entre le jour et la nuit suivant l'ensoleillement. Les amplitudes de ces fluctuations s'atténuent en fonction de la profondeur. La phase transitoire dure environ 60 heures puis un régime permanent s'établit.

Sur la figure 5 sont représentées les courbes de variation des températures à la surface du sol du compartiment humide et du compartiment sec. L'amplitude de variation de la température de la surface du compartiment humide est supérieure à celle de la surface du compartiment sec. Les températures maximales sont obtenues à 01 heure de l'après midi et les valeurs les plus faibles sont obtenues à 04 heures du matin (Temps Légal).

Pendant la nuit, la température de la surface du sol sec est supérieure à celle du sol humide. Toutefois, pendant le jour, la température de la surface du sol humide devient plus importante. Sous l'influence d'un flux solaire intense, une couche superficielle de terre sèche se forme et constitue un isolant thermique qui réduit la pénétration de la chaleur dans le sol et par suite ralentit la diffusion de la vapeur d'eau dans l'atmosphère.

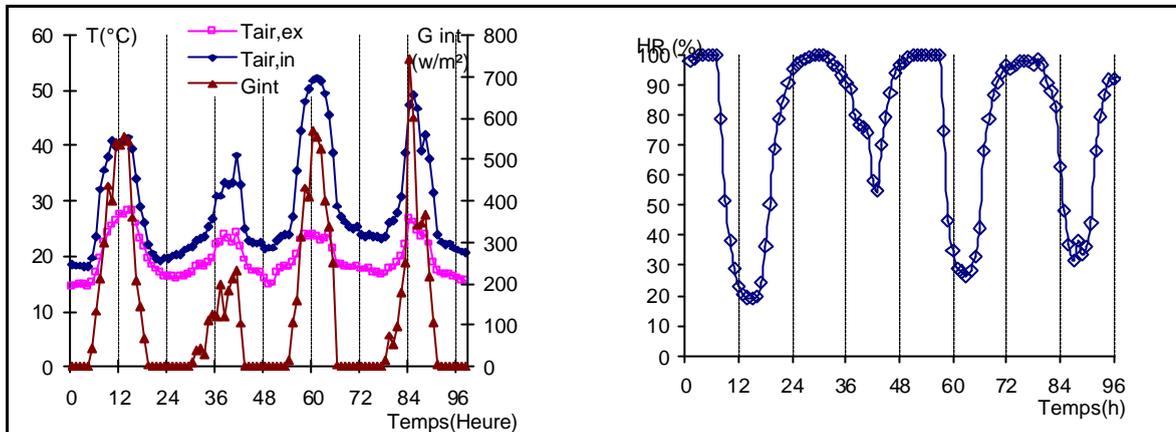


Figure 2 : Variation de la température de l'air à l'intérieur et l'extérieur du prototype de serre ainsi que le rayonnement à l'intérieur durant la période du 01/05 au 08/05/2002 au cours du chauffage du sol (Tch=72°C).

Figure3 : Variation de l'humidité relative de l'air intérieur, en fonction du temps .

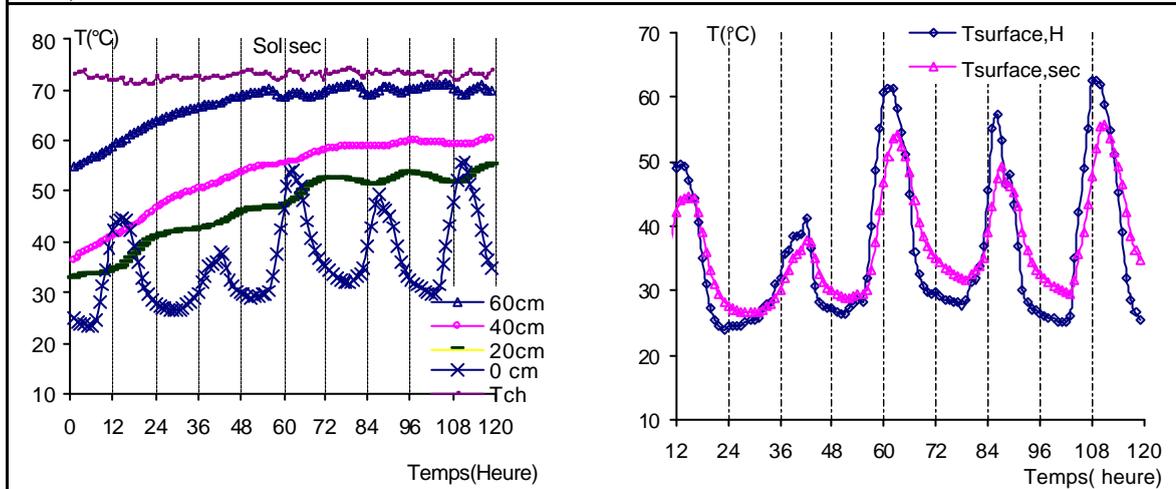


Figure 4 : Variation de la température du sol sec pour différentes profondeurs, au cours du chauffage avec de l'eau à 72°C.

Figure 5 : Variation des températures des surfaces du sol humide et sec au cours du chauffage avec de l'eau à 72°C.

Sur les figures 6-a, 6-b et 6-c sont représentées les courbes de variation des températures dans le sol humide et dans le sol sec à 01 heure de l'après midi, en fonction de la profondeur. Malgré que la capacité calorifique du sol humide est plus importante que celle du sol sec, la température dans le sol humide est supérieure à celle du sol sec quelque soit la profondeur. Le sol humide, de conductivité thermique plus importante que celle du sol sec, reçoit une quantité de chaleur, par conduction à travers sa surface et à travers les nattes capillaires, plus importante que celle reçue par le sol sec. Par conséquent, le sol humide peut stocker une quantité d'énergie plus importante que le sol sec.

Sur les figures 7-a, 7-b et 7-c sont représentées les courbes de variation des températures dans les sols humide et sec à 04 heure du matin, en fonction de la profondeur. La température dans les couches superficielles du sol humide est plus faible que celle du sol sec. Pendant la nuit, le sol humide cède plus facilement de la chaleur que le sol sec, à cause de sa conductivité thermique plus élevée. Toutefois, la température des couches profondes du sol humide est plus importante.

Les figures 6 et 7 montrent qu'au delà d'une certaine profondeur, la température du sol ne varie pratiquement pas entre le jour et la nuit. Seule la couche superficielle est influencée par les variations diurne et nocturne de la température de l'air et de l'ensoleillement. Cette couche superficielle est le siège des échanges de chaleurs par convection avec l'air ambiant, par rayonnement à travers sa surface supérieure et par conduction à travers sa surface inférieure.

En conséquence, le sol peut être divisé en deux zones. L'épaisseur de la zone supérieure dépend de la température de l'eau de chauffage. Elle est de l'ordre de 20 cm pour un chauffage de 70°C, 30 cm pour un chauffage de 40°C et 40 cm pour un sol non chauffé. Le rôle de cette zone est de stocker l'énergie solaire capté pendant le jour et la restituer la nuit. C'est une zone de stockage de chaleur à court terme (journalière).

La zone inférieure stocke la chaleur fournie par le système de chauffage et la chaleur non restituée la nuit. Les fluctuations de la température sont réduites dans cette zone. C'est une zone de stockage à long terme.

Sur les figures 8-a, 8-b, 8-c et 8-d sont représentés les variations de la densité du flux conductif à la surface du sol humide en fonction du temps. Pour un chauffage à 70°C, la température du sol devient assez élevée. Le flux de chaleur à la surface du sol est toujours négatif. Le sol cède de la chaleur à l'air ambiant de la serre. La quantité de chaleur cédée augmente la nuit et diminue le jour. Au fur et à mesure que la température du sol baisse, lors du refroidissement, ce flux augmente pour devenir positif le jour et négatif la nuit. A l'équilibre, lorsque la température du sol se stabilise, la quantité de chaleur stockée le jour sera déstockée la nuit. Pour un chauffage à 40°C, les crêtes négatives sont plus importantes que les crêtes positives. La quantité de chaleur cédée pendant la nuit est plus importante que celle reçue pendant le jour. C'est le phénomène de déstockage à long terme. Sans chauffage, en été, La quantité de chaleur reçue pendant le jour est plus importante que celle cédée pendant la nuit. C'est le phénomène de stockage à long terme.

Sur les figures 9a, 9b, 11a et 11b sont représentées les évolutions de la succion du sol (exprimée en bar) et de la teneur en eau dans le sol pendant le chauffage de 70°C et de 40 °C . Les mesures sont prises dès que l'excès d'eau est drainé. Les courbes de la teneur en eau sont déduites des courbes des succions en utilisant la courbe de rétention de Gardner[6]. Comme la température, La succion aux profondeurs de 10 et 20 cm fluctue entre le jour et la nuit. Les amplitudes de ces fluctuations s'atténuent en fonction de la profondeur. Toutefois, on relève un déphasage entre la fluctuation de l'humidité relative de l'air intérieur de la serre et la fluctuation de la teneur en eau dans le sol. Quand l'humidité relative de l'air intérieur diminue, le pouvoir évaporant augmente, la succion diminue et la teneur en eau augmente. Les fluctuations des teneurs en eau sont dues à une redistribution de la teneur en eau suite à l'évaporation qui a eu lieu à partir des couches superficielles du sol pendant le jour.

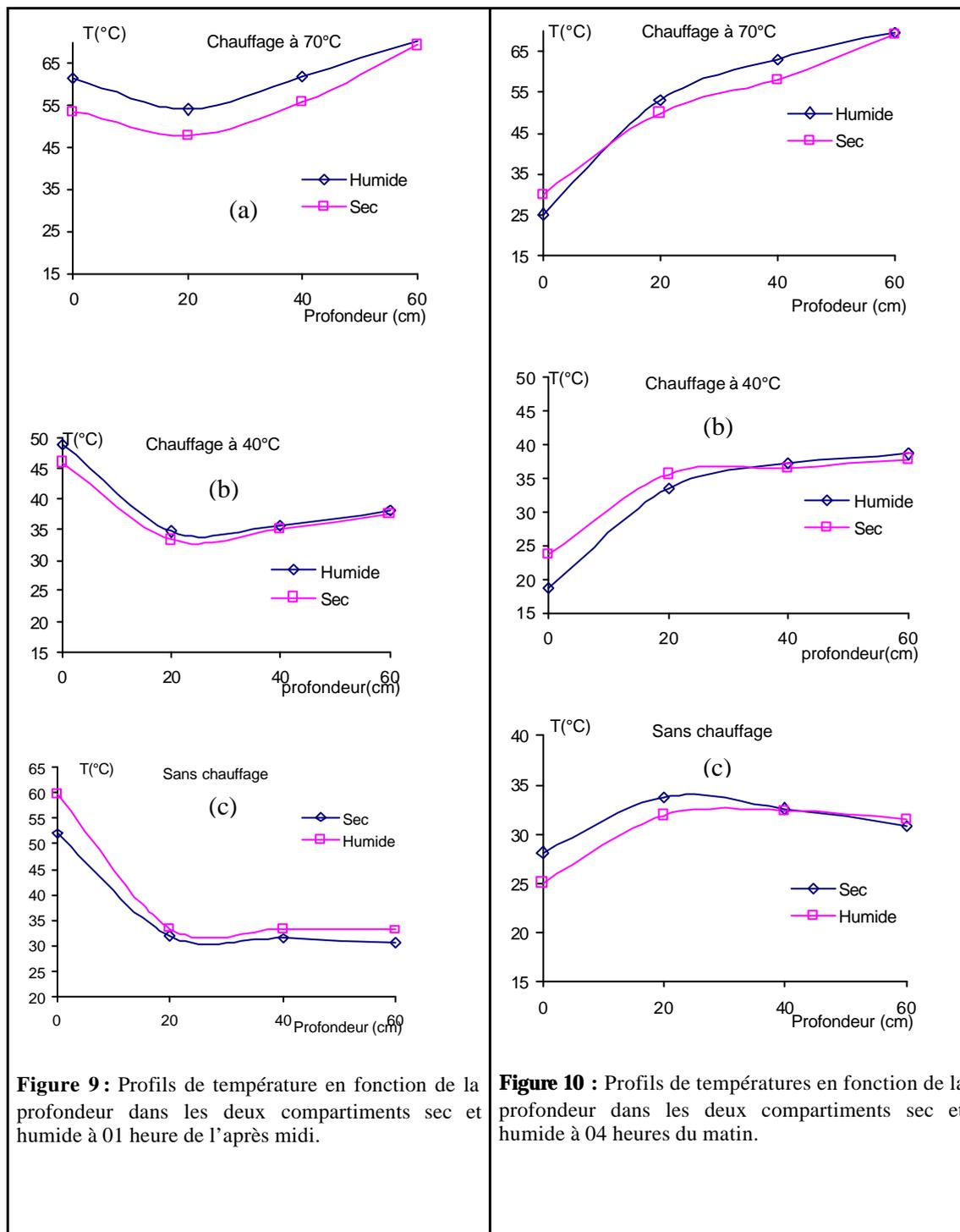


Figure 9 : Profils de température en fonction de la profondeur dans les deux compartiments sec et humide à 01 heure de l'après midi.

Figure 10 : Profils de températures en fonction de la profondeur dans les deux compartiments sec et humide à 04 heures du matin.

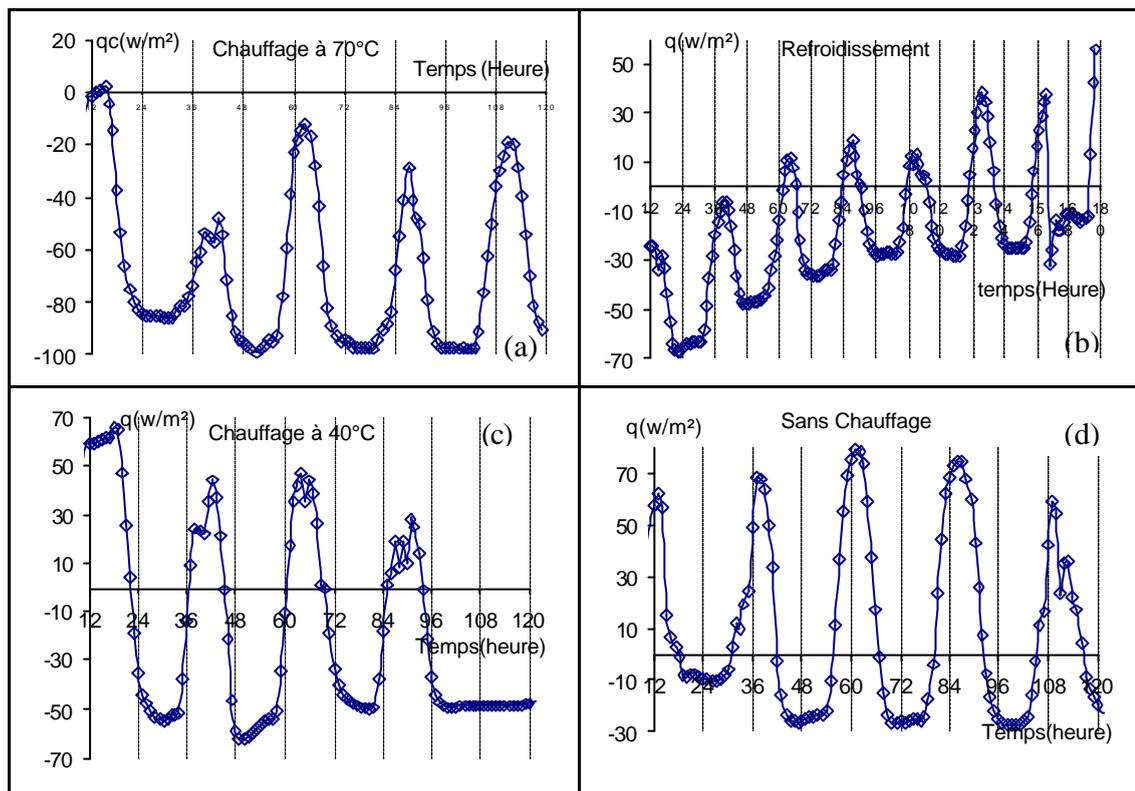


Figure 8 : Courbes des variations de la densité du flux conductif à la surface du sol humide pour différents cas (chauffages de 70°C et de 40°C, sans chauffage, refroidissement).

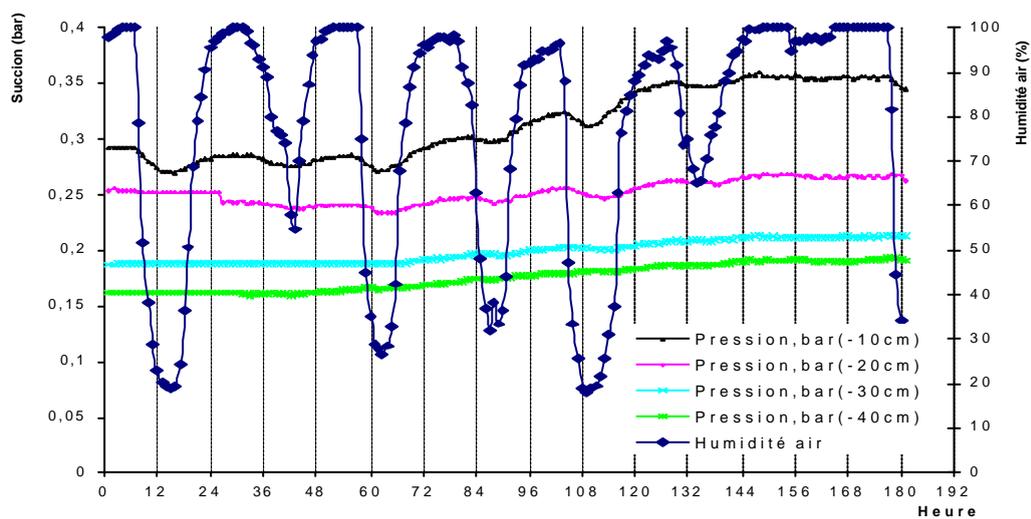


Figure 11a: Evolution de la succion du sol humide exprimée en bar pour différentes profondeurs et de l'humidité relative de l'air intérieur de la serre pendant le chauffage de 70°C.

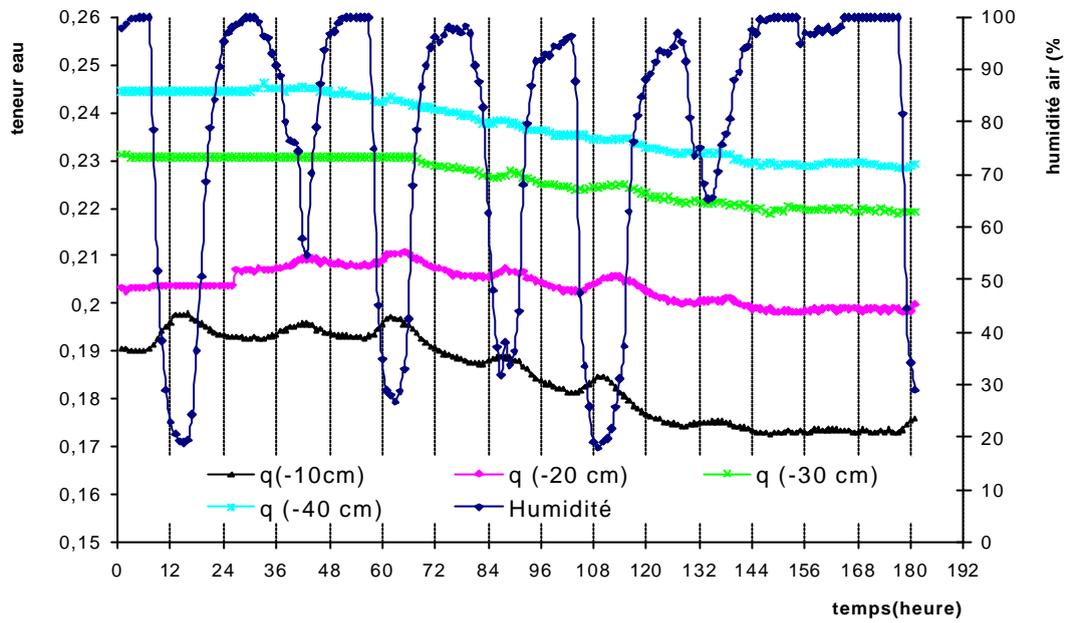


Figure 11b: Evolution de la teneur en eau du sol humide pour différentes profondeurs et de l'humidité relative de l'air intérieur de la serre pendant le chauffage de 70°C.

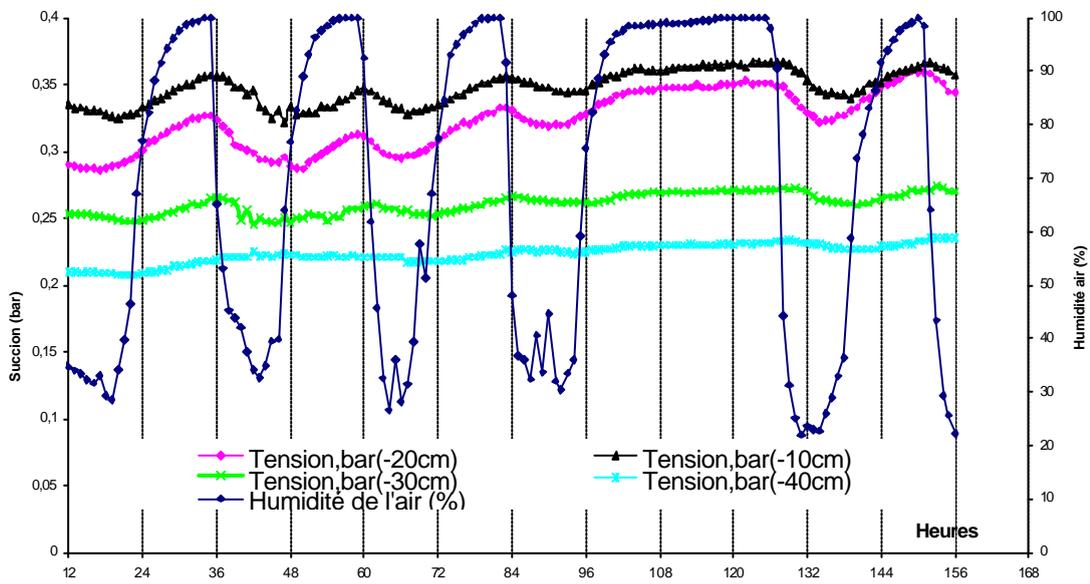


Figure 12a : Evolution de la succion (exprimé en bar) du sol humide pour différentes profondeurs et de l'humidité relative de l'air intérieur de la serre pendant le chauffage de 40°C.

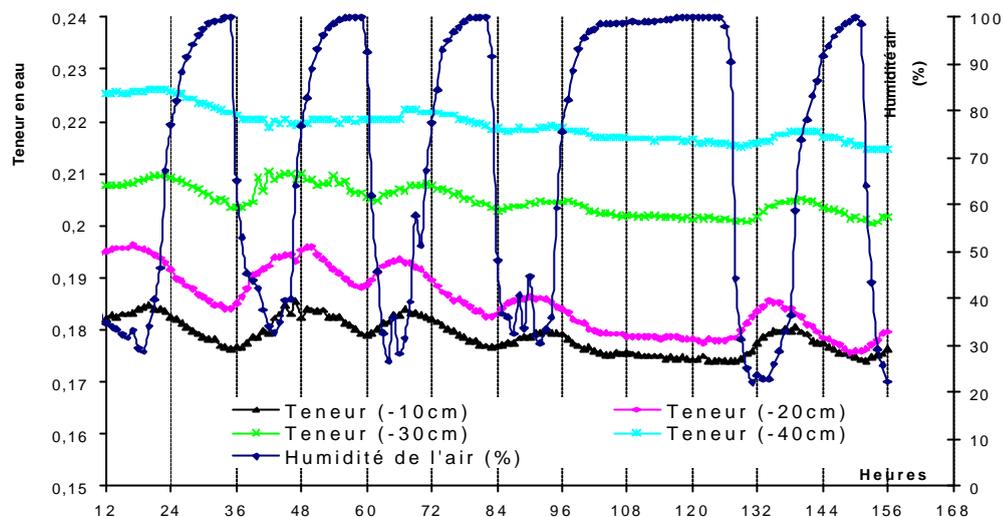


Figure 12b: Evolution de la teneur en eau dans le sol humide pour différentes profondeurs et de l'humidité relative de l'air intérieur de la serre pendant le chauffage de 40°C.

Conclusion

La description fine du comportement thermique et hydrique d'un sol chauffé suscite beaucoup d'intérêts. La présente étude s'est focalisée essentiellement sur les phénomènes de stockage et de déstockage de la chaleur. Un sol humide peut stocker une quantité d'énergie plus importante qu'un sol sec. Le sol peut être divisé en deux zones. L'épaisseur de la zone supérieure dépend de la température de l'eau de chauffage. C'est une zone de stockage de la chaleur à court terme (journalière). La zone inférieure est une zone de stockage à long terme. La teneur en eau dans la zone supérieure diminue dans le temps en fluctuant, il augmente le jour et diminue la nuit. Il est intéressant d'étudier l'effet de la position du système de chauffage sur l'épaisseur de la zone supérieure.

Références bibliographiques

- [1] D.A. De Vries 1987 : The theory of heat and moisture transfer in porous media revisited. J. of Heat Mass Transfert,7, pp 1343-1350.
- [2] H. Daghari et L. De Backer 2000 : Transfert d'eau dans un milieu poreux non isotherme. Revue des science de l'eau 13/1 2000pp 75-84
- [3] P. Tessa Chacko and G. Renuka 2002 : Temperature mapping, thermal diffusivity and subsoil heat flux at Kariavattom of Kerala. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.), March2002,pp.79-85
- [4] Maaledj. M et Belghith A. 1977 : Evaporation de l'eau à la surface d'un milieu poreux, Letters in heat and mass transfer, Vol 4.
- [5] Sifaoui M.S et Perrier. A . 1978 : Caractérisation de l'évaporation profonde. Int. J. of Heat and Mass Transfer. vol 21 pp 629 637 1978.
- [6] Gardner W.R 1964 : Relation of root distribution to water uptake and availability. Argon J 56 pp 35-41
- [7] K.Anandakumar, R.Venkatesan, Thara V. Prabha 2001 : Soil thermal proprieties at Kalpalkkam in costal south India. Indian Acad. Sci (Earth Planet.Sci.), 110, N°3, September 2001, pp. 239-245