

Gestion durable de l'eau pour les cultures protégées au Liban

Maroun El Moujabber, Rouaida Abi Zeid Daou

L'eau constitue pour le bassin méditerranéen un élément indispensable du développement. Au Liban, après une longue période d'instabilité (1975-1990), le pays a repris sa vie normale. La croissance démographique et le développement économique sont assez rapides, d'où l'émergence de problèmes sur la quantité et la qualité de l'eau. Cette ressource, limitée et aléatoire (4,8 km³), est de plus en plus utilisée tandis que différentes sources de pollution en altèrent la qualité. De plus, les différents secteurs économiques du pays ne la consomment pas selon le même taux : l'agriculture vient en tête, avec 70 % de la quantité totale d'eau utilisée en 1993 pour une surface irriguée de 87 500 ha (soit 25 % de la surface agricole utilisable) [1]. Les agriculteurs libanais se sont dirigés vers les cultures protégées qui leur assurent une forte productivité et un prix de vente très intéressant. Les cultures sous serre permettent également de valoriser les propriétés agricoles de moins de 2 ha (46 % du total des exploitations agricoles libanaises en 1996, selon la FAO) dont le prix foncier est élevé à cause des cultures à haute valeur ajoutée.

C'est ainsi que les cultures maraîchères (tomates, concombres, courgettes, melons...) cultivées sous serre sont concentrées sur le littoral et connaissent un essor spectaculaire. La première serre a été introduite au milieu des années 60. Actuellement, la surface des serres produisant des légumes est d'environ 1 350 ha, dont 1 250 ha sont consacrés au concombre en alternance avec la tomate [2]. La plupart des serres sont équipées d'un système d'irrigation au goutte-à-goutte et utilisent une quantité notable de fertilisants solubles [3].

Les serristes au Liban maîtrisent de mieux en mieux les nouvelles techniques de culture, mais certains points demandent à être améliorés. Ils ont en effet tendance à surestimer les besoins en eau des plantes et à augmenter l'irrigation, ceci parce qu'ils méconnaissent le phénomène d'évapotranspiration dans les serres. Cette sur-irrigation, outre la perte d'eau et d'énergie qu'elle entraîne, diminue l'effet des fertilisants par lessivage et provoque à la fois une salinité élevée du sol et une pollution des nappes phréatiques [4-6]. D'autres problèmes pourraient bientôt surgir à la suite de cette mauvaise gestion de l'eau et des fertilisants, telles l'usure et la dégradation des sols, l'augmentation de la salinité de l'eau d'irrigation et, par conséquent, la chute des rendements. La pression démographique fera le reste : augmentation du prix des terrains et raréfaction de l'eau disponible pour l'irrigation. Une gestion rationnelle de l'eau et des fertilisants est donc indispensable pour remettre les cultures sous serre sur le chemin d'une agriculture durable et rentable.

Malgré l'importance de la serriculture au Liban, en particulier sur la côte, et malgré quelques travaux sur les besoins en eau et le pilotage de l'irrigation sous serre [7, 8], l'horticulteur libanais ne dispose pas de moyens pratiques pour répondre à ces exigences en matières d'eau et de fertilisants. L'application de la détermination des besoins en eau des cultures utilisant les données climatiques reste la méthode la plus simple et la moins coûteuse [9-11]. Comme l'horticulteur libanais ne contrôle pas facilement les données climatiques à l'intérieur de la serre, une détermination de besoins en eau à partir de celles provenant d'une station agro-météorologique constitue une solution pratique et à sa portée pour le pilotage de l'irrigation. Cette méthode est précise, simple et fiable, au travers d'une connexion avec les stations climatiques dont l'installation dans différentes régions du pays est actuellement en cours.

Matériel et méthodes

Dans les serres sous climat méditerranéen, la méthode d'évaporation du bac de classe A et celles de radiation (FAO) et de Priestley Taylor ont été proposées car ce sont les plus performantes pour l'estimation de l'évapotranspiration [12, 13], notamment, sous serre [14-18]. Toutefois, le bac de classe A, à la manipulation très simple, se heurte à deux problèmes, celui de son emplacement à l'intérieur de la serre [9] et celui du

M. El Moujabber, R. Abi Zeid Daou :
Faculté des sciences agronomiques, Université Saint-Esprit de Kaslik, PO Box 446, Jounieh, Liban.

Tirés à part : M. El Moujabber

risque d'ombrage par les cultures, ce qui conduirait à une sous-estimation de l'évapotranspiration [19].

La demande climatique à l'intérieur des serres non chauffées a été déterminée à l'aide d'une cuve en plastique [20] (remplaçant le bac de classe A) de couleur bleue, de 20 cm de hauteur et de 50 cm de diamètre, installée sur une tablette en bois bien plate de 10 cm de hauteur. Elle est munie d'une pipette graduée placée en son centre et elle est couverte d'un filet métallique dont les mailles font 2,5 cm de diamètre. L'évaporation que l'on y constate correspond à la moitié de celle d'un bac de classe A [8]. Plusieurs de ces mini-bacs ont été placés au milieu de la serre et du côté sud si la serre étaient orientée est-ouest et du côté ouest si elle était orientée nord-sud, afin d'éviter les problèmes d'encombrement ainsi que l'ombrage dû aux plantes. Ils ont été régulièrement entretenus pour éviter que des algues s'y développent.

L'étude de la variation de l'évaporation des mini-bacs a été conduite dans une même serre et dans celles d'une même exploitation avec différents types de cultures, une orientation et des dimensions diverses. L'expérience a été complétée par une comparaison entre l'évaporation de bacs de plusieurs exploitations du littoral libanais (zone humide) et de la Békaa (zone sèche). Ces données ont permis d'établir une corrélation entre l'évaporation sous serre et les données climatiques provenant des stations agroclimatiques de Beyrouth et de Tripoli (littoral) et de l'International Centre of Agriculture Research in Dry Areas (ICARDA) (Békaa). Les données climatiques ont servi à calculer l'évapotranspiration de référence (ET_o) à l'aide de l'équation de Penman-Monteith [21, 22].

Résultats

L'expérience a duré 90 jours et a donné les résultats suivants :

L'évaporation des mini-bacs (Ep) placés des deux côtés de la serre a été pratiquement la même (figure 1), leur ombrage ayant été évité durant toute la période d'observation.

L'évaporation de plusieurs bacs placés dans différentes serres ayant des dimensions, une orientation et des cultures différentes n'a pas montré des grandes variations (figure 2). Une plus grande évaporation a été observée dans les serres

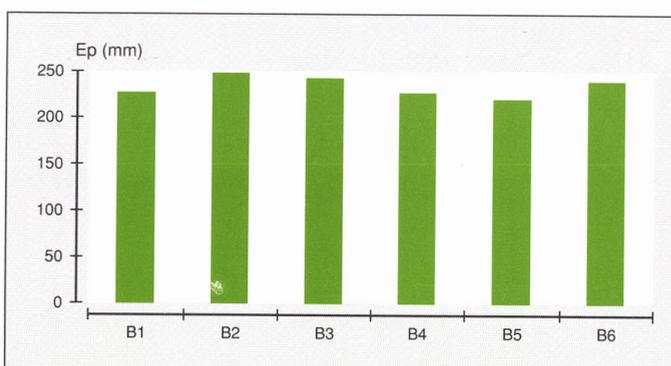


Figure 1. Comparaison de l'évaporation (Ep) entre différents bacs (B) d'une même serre.

Figure 1. Comparison of evaporation (Ep) in the same greenhouse.

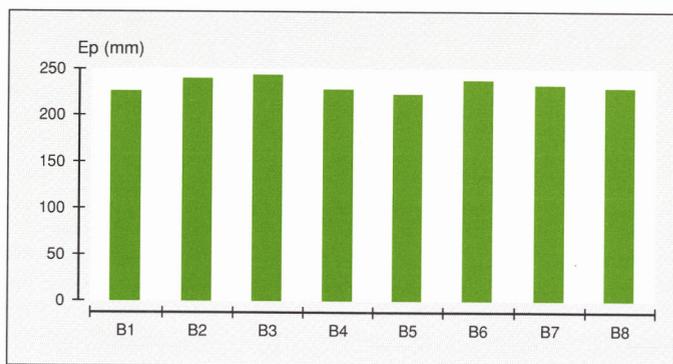


Figure 2. Comparaison de l'évaporation (Ep) entre différents bacs (B) au sein d'une même exploitation.

Figure 2. Comparison of evaporation (Ep) in several greenhouses on the same farm.

ayant des plantes à faible développement vertical que dans les autres. Cela est dû à un fort déficit hydrique de l'air à l'intérieur de la serre provoqué par la faible transpiration et au réchauffement du sol non couvert.

Il n'y a pas eu de différences significatives d'Ep entre différents sites du littoral distants de 35 km (figure 3), région caractérisée par une uniformité du climat notamment en termes de rayonnement et d'humidité.

Dans la Békaa, la période d'observation a été différente à cause du décalage de date de plantation avec le littoral. La comparaison d'Ep dans les serres de la même exploitation de la Békaa n'a pas montré de différences significatives. En revanche, si l'on compare, pour la période d'obser-

vation commune, les Ep des deux régions, une différence nette apparaît, celle de la Békaa étant plus élevée que celle du littoral (215 contre 130 mm) (figure 4). Ce phénomène s'explique par l'effet combiné du rayonnement et du déficit de saturation plus élevés dans la Békaa [23].

Sur le littoral, le rapport Ep/ET_o (demande climatique à l'intérieur et à l'extérieur de la serre) a varié entre 0,45 et 0,55 pour toute la période (la moyenne étant de 0,5) (figure 5). Ce résultat est en harmonie avec plusieurs travaux effectués pour le pilotage de l'irrigation dans les serres [13, 24]. Dans la Békaa, ce rapport a oscillé entre 0,35 et 0,7, avec une forte concentration des valeurs entre 0,45 et 0,55 et une moyenne de 0,5 pour toute la saison (figure 6).

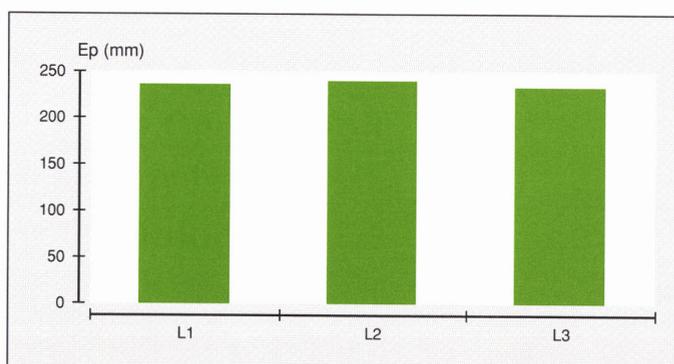


Figure 3. Comparaison de l'évaporation (Ep) entre différentes localités (L) du littoral.

Figure 3. Comparison of evaporation (Ep) between different locations along the coast.

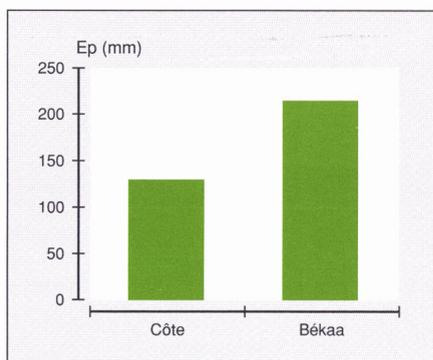


Figure 4. Comparaison de l'évaporation (Ep) entre deux zones climatiques.

Figure 4. Comparison of evaporation (Ep) in two different climatic areas.

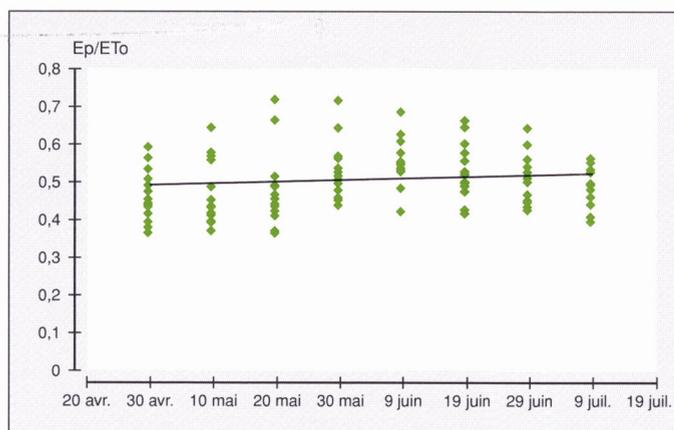


Figure 5. Comparaison d'Ep/ETo sur la côte.

Figure 5. Time-course comparison of Ep/ETo along the coast.

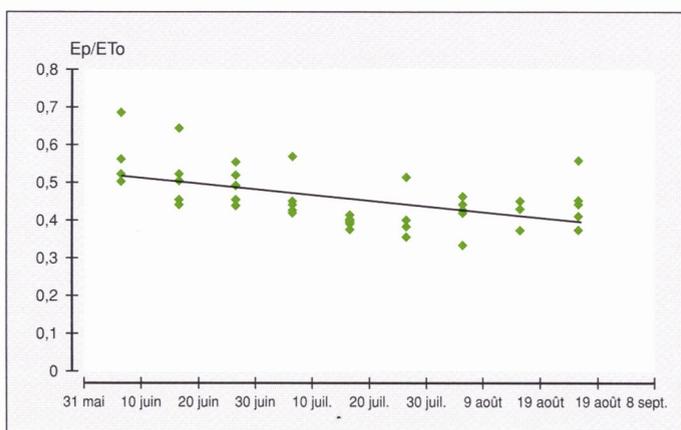


Figure 6. Comparaison d'Ep/ETo dans la Békaa.

Figure 6. Time-course comparison of Ep/ETo in Békaa Valley.

Discussion et conclusion

Les résultats de cette expérience indiquent que l'utilisation du mini-bac en matière plastique peut être adoptée car c'est une méthode simple, économique, précise et fiable pour le pilotage de l'irrigation sous serre, l'évaporation à partir du bac étant directement liée à l'évapotranspiration réelle de la culture. Un seul bac permet de piloter l'irrigation de plusieurs serres d'une même exploitation agricole puisque aucune différence significative n'a été signalée entre l'évaporation de plusieurs bacs placés dans les différentes serres quelles qu'aient été leurs dimensions, leurs orientations et les cultures qui y poussaient. La seule condition à respecter est que le bac soit loin

des bouches d'aération de la serre et de l'ombre (créée par les plantes ou naturelle). En outre, le degré de développement végétatif doit être identique dans toutes les serres à irriguer.

L'absence de différences d'évaporation des bacs dans les sites du littoral distants de 35 km les uns des autres justifie la généralisation de cette méthode de pilotage de l'irrigation sur la majeure partie de la côte.

L'Ep correspond à la moitié de l'ETo calculée par la formule de Penman-Monteith, et cela même dans des localités ayant des climats différents (littoral et Békaa). Il sera donc possible de mettre au point une méthode de pilotage généralisée de l'irrigation applicable sur le littoral et dans la Békaa pour n'importe quelle culture.

Ainsi, cette étude débouche sur une méthode simple de pilotage de l'irrigation,

les données d'une station agrométéorologique pouvant être directement envoyées à l'agriculteur soit par fax, soit par téléphone ou *via* l'Internet. Dans l'ordinateur de la ferme, se trouve un coefficient K pour la culture en question, actuellement déterminé en fonction du jour après semis [25]. S'il y a des changements climatiques d'une année à l'autre, d'une région à l'autre, ou s'il existe des variations dans les périodes de culture, le développement végétatif des plantes sera modifié, ce qui induit une variation du coefficient K. Il serait donc intéressant de déterminer K pour chaque culture en fonction de l'indice foliaire, qui englobe l'effet du climat pour un niveau donné d'alimentation hydrique et minérale, et de trouver une corrélation entre cet indice d'une culture particulière et les données climatiques (somme thermique).

Donc, il est possible de déterminer l'évapotranspiration d'une culture pour toute culture ayant un K et des données climatiques précises. Si l'on connaît par ailleurs ses caractéristiques (profondeur des racines, seuil de tarissement) et celles du sol (réserve utile), il est facile de déterminer l'eau utilisable pour, ensuite, choisir le moment opportun pour l'irrigation, la quantité d'eau à apporter et, enfin, la dose d'engrais nécessaire.

Cet ensemble aboutit à une fertilisation-irrigation rationnelle pour une agriculture durable, qui entraîne une diminution des coûts, une optimisation de l'utilisation de l'eau et des fertilisants et, surtout, une réduction de la pollution des sols et des eaux souterraines ■

Summary

Sustainable water management for protected crops in Lebanon

M. El Moujabber, R. Abi Zeid Daou

The increased pressure on water resources in Lebanon highlights the necessity of optimizing agricultural water use in this country. Lebanese growers have adopted protected agriculture as it ensures high productivity and substantial added value for their products. In addition, greenhouses boost productivity in smallholdings, which account for more than 46% of all Lebanese farms.

Nowadays, greenhouses occupy around 1,350 ha, including 1,250 ha of cucumber crops alternated with tomato. Yields seem to be relatively low compared to those of other Middle Eastern countries, probably due to poor management of cultural practices (mainly with respect to fertilizer applications and watering).

With respect to climatic factors, a difference is noted in greenhouse and field crop evapotranspiration rates. In fact, even the best modern glasshouses reduce light input by at least 30%, which should reduce evapotranspiration by about that much. Higher humidity than outside has a similar impact, although this is possibly more than balanced by higher temperatures. In addition, low wind velocity reduces water vapour exchange between the canopy and the atmosphere inside the greenhouse.

Greenhouses thus reduce crop evapotranspiration to about 70% of open field rates, but water-use efficiency can be increased by as much as 50%, given the greater output obtained with protected cultivation in terms of yield and vertical development of the canopy. Water consumption of plants grown inside greenhouses was found to differ from that of open-field plants, mainly due to climatic differences.

Irrigation scheduling on the basis of climatic data is still very common. In greenhouses, the Mediterranean climate class A pan evaporation method, as well as the radiation method (FAO) and Priestley-Taylor method, are presumed to give reliable measurements of protected crop water requirements. The difficulty of obtaining accurate wind measurements inside the greenhouse hinders use of the Penman method. The evaporation pan is remarkably easy to manage without sophisticated equipment, but it must be accurately placed to avoid shading. However, the class A pan can be problematic inside the greenhouse as it hampers movement and limits space.

Despite the importance of greenhouses (mainly on the Lebanese coast), few studies have been carried out to determine water requirements of protected crops, and Lebanese growers lack background information on water consumption, and thus on fertilizer requirements.

Climatic demand inside unheated greenhouses was determined by means of small blue pans (20 cm deep, 50 cm diameter) placed on a piece of wood 10 cm from the soil. They have the advantage of being small, which avoids the space and shading problems of the class A pan. Evaporation from these pans is half that noted with class A pans.

The pan was placed in the middle of the greenhouse, on the west side when the greenhouse was oriented north-south, and on the southern side when it was east-west oriented. Precautionary measures were taken to avoid algae development inside the pan.

Several small pans were distributed to determine evaporation (E_p) patterns, first inside the greenhouse, i.e. in several greenhouses with different crops and different vertical development (cucumber, tomato, lettuce), and secondly on the same farm. There was also a comparison of evaporation patterns in different localities on the Lebanese coast (humid area) and Békaa valley (dry area).

Finally, pan evaporation (E_p) was correlated with the reference evapotranspiration (E_{To}) calculated using the Penman-Monteith formula. Climatic data (net radiation, air temperature, wind velocity and relative humidity) was collected at an agro-climatic station in the same region (Beirut on the coast and ICARDA-Terbol in Békaa valley). This correlation will be useful for automating irrigation inside greenhouses based on climatic data.

The duration of the experiment was 90 days, giving the following:

– E_p of small pans distributed on both sides of the same greenhouse was almost the same (figure 1), with shading avoided throughout the observation period.

– E_p of different pans distributed in different greenhouses of the same farm did not vary significantly (figure 2), although these greenhouses were oriented differently, planted with different crops with different vertical development. Low vertical development of the canopy induced more evaporation inside the greenhouse in comparison to other greenhouses with more developed plants. This was due to lower humidity as a consequence of less transpiration and to higher temperature caused by radiation from the hot uncovered soil.

– In different locations along the coast (35 km apart), E_p was almost the same (figure 3) due to climatic similarities, mainly radiation and air humidity. Evaporation was somewhat higher in greenhouses near bare soil.

– In Békaa valley, the observation period was different due to differences in planting times. Comparing E_p in the same farm gave similar results. Taking the common period between the two regions, it was found that evaporation inside greenhouses in Békaa valley was much higher than that observed on the coast (215 mm vs 130 mm) (figure 4). This phenomenon could be explained by higher climatic demand in Békaa valley, mainly higher net radiation and air vapour deficit.

– Correlating E_p inside greenhouses and climatic demand outside in terms of E_{To} , the E_p/E_{To} ratio ranged from 0.45 to 0.55, with 0.5 as the mean for the whole season (figure 5). This is consistent with the results of several studies on irrigation scheduling inside greenhouses.

– In Békaa valley, the E_p/E_{To} ratio ranged from 0.35 to 0.7, with values concentrated between 0.45 and 0.55, and 0.5 as the mean for the whole season (figure 6).

These results indicate that small pans should be widely adopted for irrigation scheduling inside greenhouses, and only one pan is required for a large farm. Concerning irrigation automation, it was deduced that despite significant evaporation (E_p) differences between the two climatic regions (the coast and Békaa valley), the E_p/E_{To} ratio was almost the same. Irrigation inside greenhouses could thus be optimized on the basis of climatic data collected at agro-climatic stations. Further studies are needed to determine the correlation between the E_p of small pans and the actual evapotranspiration (E_{Tc}) of protected crops. This will make it possible to make recommendations on water and fertilizer requirements of these crops, thus allowing water and energy savings while reducing environmental pollution by excess fertilizers.

Références

1. FAO. Irrigation in the Near East Region in figures. *Water Reports* 1996 : 135-43.
2. Anonyme. *Current agricultural statistics*. Beyrouth : ministère de l'Agriculture, 1997.
3. Salamé G. *General census about protected cultures in Lebanon and their economic viability*. Rome : FAO, 1989 ; 37 p. (Technical Report 1, Liban AG/DP/LEM/86/005).
4. Darwish T. *Implementation and perspectives of fertigation in crop production in Lebanon*. Advanced short course on fertigation, Beirut 26 November-2 December 1995, Lebanon. Beyrouth : Atef Hamdy, 1995 : 235-48.
5. Attallah T, Darwish T, El Moujabber M. Cultural practices and soil salinity in greenhouses in Lebanon. In : *International conference on water management, salinity and pollution towards sustainable irrigation in the Mediterranean region*. Bari, Italy, 22-26 September. 1997 : 115-23.
6. Solh M, Baasiri M, Ryan J, Rubeiz I. Salinity observations in greenhouses along Lebanon's coast. *Lebanese Sci Bull* 1987 ; 3 : 5-9.
7. Abou Khaled A, Ammar A. Greenhouse effect of plastic tunnels. In : *3rd Science meeting, 17-18 December 1971*. Beyrouth : ALAS, 1971 ; 2 p.
8. Nimah M, Rubeiz I, Miribi B. A simple method for scheduling irrigation and measuring evapotranspiration for vegetable crops. *Acta Horticulturae* 1990 ; 278 : 721-2.
9. Abou Khaled A, Van Hove J, Al Yassaki AR. Evapotranspiration formulae adjusted to plastic tunnels in Egypt. Preliminary results. *FAO Technical Report* 1988 ; 6653 : 30 p.
10. Stegman EC, Musick JT, Stewart JI. Irrigation water management. In : Jensen ME, ed. *Design and operation of farm irrigation systems*. St Joseph : American Society of Agricultural Engineers, 1983 ; 250-63.
11. Tabet A. Méthodes de pilotage de l'irrigation à la parcelle. Rapport général. In : *Les besoins en eau des cultures. Conférence internationale CIID, Paris, 11-14 septembre 1984*. Paris : INRA, 1985 : 761-8.
12. Abou-Hadid AF. Climatic factor in plastic houses and their possible effect on plant water requirements. In : *Workshop on environmentally sound water of agriculture under mediterranean and arid climates*. Bari, Italy. Bari : Atef Hamdy, 1993 ; 36 p.
13. Castilla N. Greenhouse drip irrigation management for mediterranean areas. In : *Workshop on environmentally sound water of agriculture under mediterranean and arid climates*. Bari, Italy. 1993 ; 15 p.
14. Morris LG, Neale FE, Postlewaithe JD. The transpiration of glasshouse crops and its relation to the incoming solar radiation. *J Agric Eng Res* 1957 ; 2 : 111-22.
15. De Villele O. Besoins en eau des cultures sous serre. In : *Symposium ISHS-Geisenheim/Rhein, 18-21 septembre 1972*. Paris : INRA, 1972 ; 6 p.
16. De Villele O. *Les besoins en eau des cultures sous serre*. Montfavet : INRA, 1984 ; 30 p.
17. Stanhill G, Scholte Alberts J. Solar radiation and water loss from glasshouse roses. *J Amer Soc Hort Sci* 1974 ; 99 : 107-10.
18. De Graaf R, Ende JVD. Transpiration and evapotranspiration of glasshouse crops. *Acta Horticulturae* 1981 ; 119 : 147-58.
19. El Fadl A, Mounhim H. Besoins en eau d'une culture de bananier « Dwarf Cavendish » menée sous-abri plastique. In : *Workshop on environmentally sound water of agriculture under mediterranean and arid climates*. Bari, Italy. Bari : Atef Hamdy, 1993 ; 20 p.
20. Westensen GL, Ismail SM. Evaporation from washtubs covered by various size of screens. *Applied Engineering in Agriculture* 1985 ; 1 : 100-2.
21. Allen RG, Jensen ME, Wright JL, Burman RD. 1989. Operational estimates of evapotranspiration. *Agron J* 1989 ; 81 : 650-62.
22. Jensen ME, Burman RD, Allen RG. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York : American Society of Civil Engineers, 1990 ; 332 p.
23. Sarraf S, Vink N, Abou Khaled A. 1969. *Évaporation, évapotranspiration potentielle au Liban et coefficient du Piche corrigé*. Magon : Institut de Recherches Agronomiques du Liban, 1969 : Maon 32.
24. Sirjacobs M. 1986. Protected cultivation of sweet pepper in arid zone : evaluation of water requirements and amounts per watering. *Acta Horticulturae* 1986 ; 191 : 199-207.
25. El Moujabber M, Abi Zeid Daou R, Attalah T, Darwish T, Metri P. Water balance and irrigation scheduling of protected cucumber. In : *International conference on plant nutrient management under pressurized irrigation systems in the Mediterranean region*. Amman, Jordan, 25-27 April 1999. Amman 1999 (sous presse).

Résumé

Gestion durable de l'eau pour les cultures protégées au Liban

M. El Moujabber, R. Abi Zeid Daou

La surface des serres produisant des légumes au Liban approche les 1 350 ha. La production y est relativement faible à cause d'une mauvaise gestion de l'eau et des fertilisants.

Le but de cet article est d'étudier l'évaporation sous serre (Ep) dans différentes conditions. Ep a été corrélée à l'évapotranspiration (ETo) de la région correspondante.

Les résultats indiquent que, pour une même période d'observation, Ep n'a varié ni dans la même exploitation, ni dans différentes localités de la côte. Toutefois, des différences significatives s'observent selon les localités quand le climat change. Ep reste cependant toujours égale à la moitié d'ETo.
