

**Apport de modèles de la transpiration d'une culture de tomate sous serre.
Application au pilotage de l'irrigation**

Jemaa R., Boulard L., Baille A.

in

Choukr-Allah R. (ed.).
Protected cultivation in the Mediterranean region

Paris : CIHEAM / IAV Hassan II
Cahiers Options Méditerranéennes; n. 31

1999
pages 203-214

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI020844>

To cite this article / Pour citer cet article

Jemaa R., Boulard L., Baille A. **Apport de modèles de la transpiration d'une culture de tomate sous serre. Application au pilotage de l'irrigation.** In : Choukr-Allah R. (ed.). *Protected cultivation in the Mediterranean region* . Paris : CIHEAM / IAV Hassan II, 1999. p. 203-214 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 31)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

APPORT DES MODELES DE TRANSPIRATION D'UNE CULTURE DE TOMATE SOUS SERRE AU PILOTAGE DE L'IRRIGATION

R. JEMAA¹, T. BOULARD² and A. BAILLE²

¹INRST, BP 95 2050 Hammam-Lif Tunisie Tel 2161430470 Fax 2161430934

²Unité de Bioclimatologie INRA 84914 Avignon Cedex 9. France

Abstract: The estimation of crop water requirements is a prerequisite for a rational management of water resources in Mediterranean regions. In this paper, we present experimental data on the transpiration rate of greenhouse soilless tomato crops in the South of France during the spring and summer periods. These data were obtained by two methods : (i) an electronic weighing lysimeter, giving the transpiration rate at hourly step; (ii) the measurement at 24 h intervals of the difference between water supply and drainage rate. The two methods give very similar results. The data were subsequently used to validate a transpiration model based on the Penman-Monteith (PM) formula. This model allows to include the influence of both climatic parameters (radiation G, vapor pressure deficit VPD) and crop parameters (leaf area index, stomatal resistance) on the transpiration rate. The agreement between observed and predicted values is generally fairly good, at hourly as well as at daily scale. However, during warm periods with high radiation and VPD levels, the model overestimates the observed values. The reason is probably that some other factors, as substrate temperature or increase of salinity in the root zone, also influence the transpiration rate. A simplified linear form of the PM model was proposed : $TR = A G + B VPD$, where the two empirical parameters A and B were identified in-situ from measurements of water supply and drainage. This model was used for irrigation scheduling and compared to the classical method used in greenhouse ("solarimeter method", where water requirements are estimated from solar radiation only). The comparison showed that with the use of the simplified PM model a better adequation between the frequency of water dosis and crop requirements was obtained. Crop transpiration rate was higher (+15%) with the PM simplified model than with the classical method, indicating that the physiological behavior of the crop irrigated on the basis of the simplified PM model was more satisfactory. These results confirm the role of VPD in controlling the evaporative demand, and the need to include this parameter when estimating water requirements of greenhouse crops.

INTRODUCTION

Les pertes de rendements et de qualité de la récolte liées à une irrigation mal maîtrisée ont depuis longtemps conduit les chercheurs à essayer de déterminer le plus exactement possible les besoins des cultures. Actuellement, plusieurs méthodes sont mises en oeuvre pour piloter l'irrigation, allant de la plus traditionnelle comme celle qui est basée sur l'expérience du serriste, jusqu'aux méthodes climatiques utilisant des modèles de transpiration.

En régions méditerranéennes où le problème de la précision de l'estimation de l'irrigation se pose avec le plus d'acuité, la méthode la plus utilisée est celle du solarimètre qui considère que les besoins en eau de la plante varient comme une fonction linéaire du rayonnement global (De Villele, 1974).

Comme la plus part des méthodes actuellement existantes, elle est précise sur un pas de temps relativement long (la journée ou la semaine) pendant lequel les conditions climatiques sont stables, telles qu'une succession de journées ensoleillées. Dans ces conditions et à ce pas de temps, il existe une corrélation linéaire assez étroite entre les deux principaux paramètres qui gouvernent la transpiration

sous serre : le rayonnement global R_G et le déficit de saturation de l'air D_a (Stanghellini, 1987 ; Yang et al., 1990 ; Boulard et al., 1991 ; Jolliet and Bailey, 1992 ; Papadakis et al., 1993 ; Baille et al., 1994.)

Lorsque le rayonnement global et le déficit de saturation de l'air sont découplés, la prise en compte du R_G seul est insuffisant pour gérer l'irrigation lorsque la serre est équipée d'un système de régulation climatique tels que l'écran d'ombrage ou la brumisation (Fuchs, 1990, Boulard et Baille, 1993), ou lorsque les conditions climatiques extérieures sont changeantes et très contrastées comme c'est souvent le cas en régions méditerranéennes : journées chaudes avec un déficit de saturation important lorsque le vent vient du continent (mistral, sirocco, etc..) suivies de journées avec un temps couvert et humides, dans le cas d'un vent marin.

Afin de mieux maîtriser l'irrigation dans ces conditions, nous comparons dans cette étude deux méthodes de pilotage de l'irrigation. La première méthode est celle du solarimètre utilisant uniquement comme entrée le rayonnement global extérieur R_G et mettant en oeuvre un coefficient cultural " K_C " et un coefficient de transmission de la paroi de la serre " τ " (De Villele, 1974). La deuxième est une approche de type PENMANN-MONTEITH utilisant un modèle de transpiration (Boulard et al., 1991) qui tient en compte des paramètres climatiques couramment mesurés sous serre (température, humidité et rayonnement) et des paramètres biologiques décrivant la culture (surface foliaire, conductances).

On détaillera dans cette étude le passage du modèle complet de transpiration de type PENMANN-MONTEITH à des modèles simplifiés susceptibles d'être utilisés pour le contrôle de l'irrigation. On s'attardera sur la description et la validation des techniques de mesure de la transpiration que ces méthodes nécessitent et on comparera sur toute une campagne de production (année 92) de tomate de serre les bilans d'eau d'une culture irriguée selon la méthode traditionnelle prenant en compte uniquement R_G et une culture irriguée selon le modèle de PENMANN-MONTEITH simplifié.

THEORIE

La transpiration de la culture LE est contrôlée par le déficit de saturation de vapeur d'eau de l'air (D_a) et le rayonnement absorbé par la culture (G_a) selon la formule (Boulard et al., 1991) :

$$LE = \frac{\Delta (r_a / 2)}{\Delta (r_a / 2 + \gamma r_t)} G_a + \frac{\rho C_p LAI}{\Delta (r_a / 2 + \gamma r_t)} D_a \quad (1)$$

Cependant, les paramètres d'entrée de ce modèle (en particulier la résistance au transfert de vapeur d'eau) sont difficile à estimer. Pour le contrôle de l'irrigation, une simplification de cette relation est souhaitable. La formule simplifiée suivante est utilisée :

$$LE = A_i G_a + B_i D_a \quad (2)$$

où les valeurs des paramètres A_i et B_i seront identifiées in situ à chaque pas de temps grâce à la résolution du système de 2 équations à deux inconnues :

$$LE = A_i G_a + B_i D_a \quad (3)$$

$$A_i/B_i = (D_{ra}/2 r C_p LAI_c) \quad (4)$$

La mesure de la transpiration LE et des paramètres climatiques G_a et D_a , ainsi que l'estimation de l'indice foliaire LAI , nous permettent de calculer, à chaque pas de temps, le couple A_i et B_i satisfaisant

à cette double égalité. On confrontera ensuite, les valeurs ainsi identifiées de A_i et B_i , par rapport aux valeurs A_c et B_c directement dérivées du modèle complet (relation 1) :

$$A_c = \frac{\Delta (r_a / 2)}{\Delta (r_a / 2 + \gamma r_t)} \quad (5)$$

$$B_c = \frac{\rho C_p LAI}{\Delta (r_a / 2 + \gamma r_t)} \quad (6)$$

MATERIELS ET METHODES

L'étude (Jemaa, 1996) a été réalisée dans une serre dite "méditerranéenne" avec aération en toiture, revêtue d'une couverture plastique double paroi gonflable et équipée d'un dispositif de régulation climatique (chauffage air et sol, aération statique, brumisation). Un système informatique (Eden Land) permet de piloter la fertirrigation de la culture (tomate variété Rondello).

Le suivi climatique (fig. 1) a été assuré par des mesures de températures sèche et humide (sondes de platines) ; par des mesures de rayonnement au-dessus de couvert végétal (pyranomètre Kipp et Zonen et un pyrromètre différentiel Crouzet). Toutes les mesures étaient acquises sous formes de moyennes horaires et enregistrées par une centrale de mesure (Orion de Schlumberger).

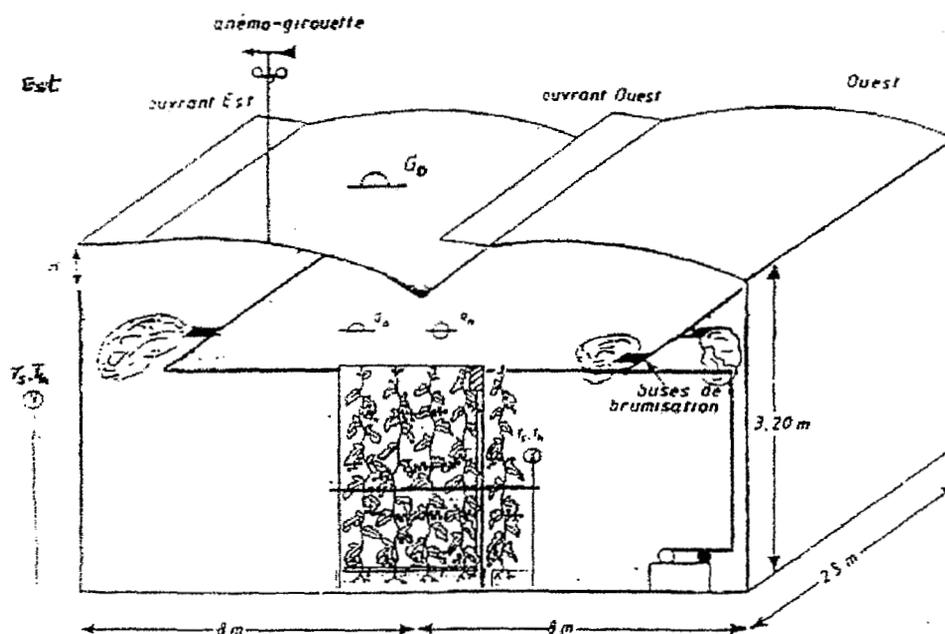


Figure 1. Serre expérimentale et disposition des capteurs climatiques
Experimental greenhouse and sensors

Le suivi biologique de la culture a consisté principalement à estimer l'indice foliaire du couvert selon deux étapes :

- une première étape destructive, où les surfaces de feuilles de deux plantes représentatives du couvert préalablement coupées, ont été mesurées à l'aide d'un planimètre. On a déterminé

ensuite statistiquement une relation liant la surface réelle aux caractéristiques des feuilles (longueur et largeur) ;

- une deuxième étape non destructive, qui a consisté à mesurer les dimensions de feuilles en place (longueur et largeur) et, en appliquant la régression trouvée par la méthode destructive, d'en déduire leur surface foliaire et, par suite, l'indice foliaire de la culture.

Le suivi de la transpiration est assuré :

- une échelle courte (horaire), par un lysimètre (balance électronique marque Sauter ayant une résolution de $\pm 1g$), portant un échantillon de 4 plantes, TR. (fig. 2)

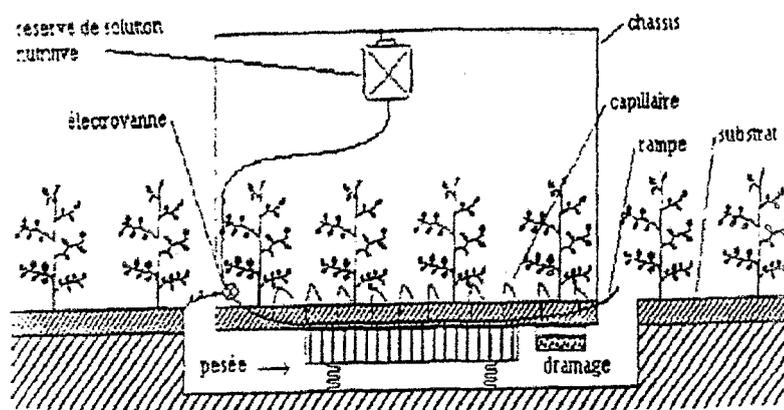


Figure 2. Mesure de transpiration par la balance
Transpiration measurement by means of the lysimeter

- à une échelle longue (journée), par un bilan global : apport - drainage, AD. (fig. 3).

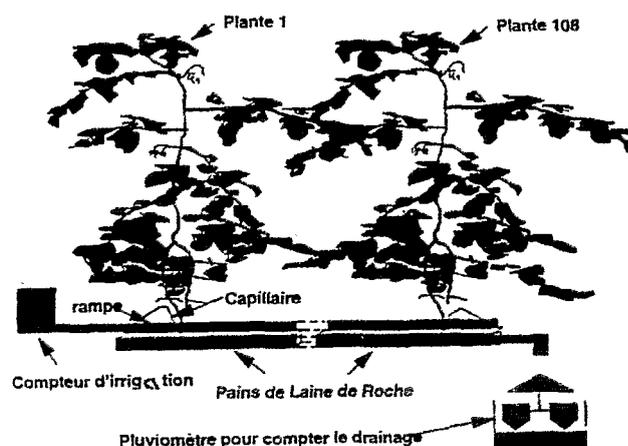


Figure 3. Mesure de transpiration au moyen du bilan apport-drainage
Transpiration measurement by the balance irrigation-drainage

RESULTATS

Comparaison des différentes mesure de la transpiration

La confrontation des valeurs journalières de la transpiration obtenues par la balance (TR) conduit à une estimation qui est proche des valeurs mesurées par bilan entrée/sortie entre l'apport et le drainage (AD) comme le montre la figure (4).

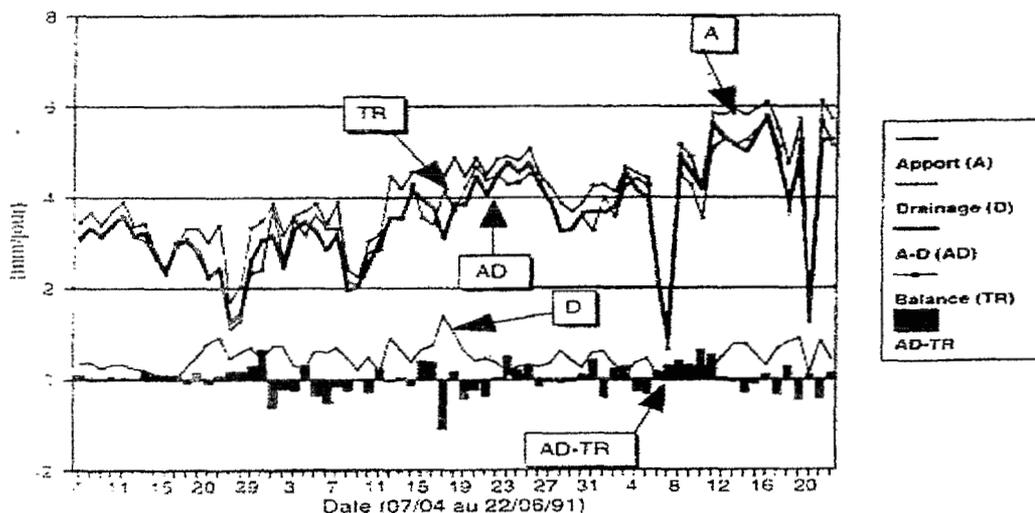


Figure 4. Evolution (campagne 1991) de la transpiration (TR), de l'apport (A), du drainage (D), de la différence apport-drainage (AD) et de la quantité d'eau stockée par le système (culture+substrat) : $S=AD-TR$. Valeurs cumulées sur 24 heures. Daily evolution (for 1991) of transpiration (TR), irrigation (A), drainage (D), of the different irrigation-drainage (AD) and of the quantity of water, stored in the (crop+substrat) : $S=AD-TR$.

En effet, l'analyse des régressions de type $TR = a AD + b$ ou $TR = a' AD$ (tableau 1) montrent qu'il existe une forte corrélation entre TR et AD (r^2 est compris entre 0,95 et 0,99).

Le coefficient de proportionnalité (a') entre TR et AD varie de 0,93 à 0,97. On peut donc considérer que AD représente une approximation relativement correcte de la transpiration de la culture, avec une surestimation de l'ordre de 3 à 7 %.

Tableau 1 : Corrélations entre la transpiration mesurée par la balance TR (mm j^{-1}) et le bilan entrée-sortie entre l'apport et le drainage AD (mm j^{-1})

Mois	$TR = a AD + b$	r^2	σ	$TR = a' AD$	σ	n
Mars 92	$TR = 1,04 AD - 0,30$	0,95	0,13	$TR = 0,94 AD$	0,14	21
Avril 92	$TR = 0,92 AD + 0,02$	0,99	0,12	$TR = 0,93 AD$	0,11	30
Mai 92	$TR = 0,99 AD - 0,12$	0,97	0,25	$TR = 0,97 AD$	0,25	31

Test du modèle complet

Avant d'analyser les performances du modèle dans le contrôle de l'irrigation, il est nécessaire de tester ses estimations par rapport aux valeurs de transpiration réellement mesurées sous serre au moyen des deux techniques (TR et AD).

Comme le montrent les figures (5) et (6), on observe que le modèle (LE) simule correctement la transpiration quelle que soit la techniques de mesure.

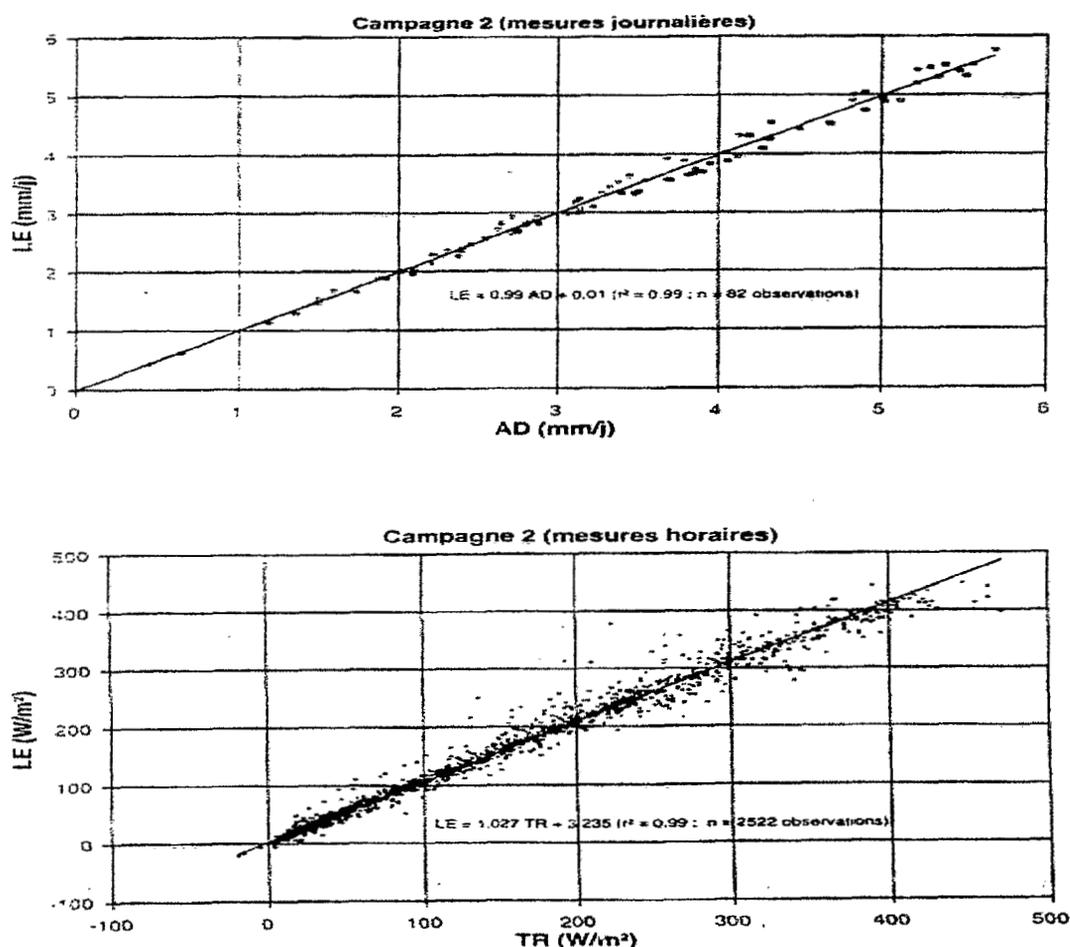


Figure 5-6. Corrélation entre la transpiration estimée par le modèle complet (LE) et celle mesurée par la balance (TR) au pas de temps horaire, ou bilan apport-drainage (AD) au pas de temps journalier, année 1992.

Correlation between the estimated transpiration (LE), and the measured transpiration by means of the weighing lysimeter (TR) and the balance irrigation-drainage (AD), 1992 data

Les régressions : $LE = a TR + b$, $LE = a' TR$, $LE = a AD + b$ et $LE = a' AD$, détaillées mois par mois, entre l'estimation du modèle (LE) et la transpiration mesurée par la balance (TR) et par le bilan apport moins drainage (AD) sont présentées dans les tableaux (2) et (3). Elles permettent de constater une

très bonne concordance entre les valeurs mesurées et celles estimées par le modèle (r^2 est compris entre 0,98 et 0,99). On observe également, que les constantes à l'origine, b , sont faibles quelle que soit la technique de mesure de la transpiration.

Pour les mesures horaires obtenues avec la balance, l'erreur standard n'excède pas 25 W m^{-2} alors que, pour les mesures journalières obtenues par différence entre l'apport et le drainage, l'erreur se situe entre 0,05 et 0,12 mm par jour.

Au vue de ces résultats, on peut donc considérer que le modèle simule la transpiration d'une manière assez satisfaisante et qu'il est possible de l'utiliser pour le contrôle de l'irrigation.

Tableau 2 : Régressions entre la transpiration mesurée par la balance TR et estimée par le modèle complet (équation 2). Valeurs horaires.

	$LE (\text{W m}^{-2}) = a \text{ TR} (\text{W m}^{-2}) + b$	r^2	σ	$LE = a' \text{ TR}$	σ
Mars 92	$LE = 1,03 (\pm 0,01) \text{ TR} + 4,44 (\pm 0,56)$	0,99	9,2	$LE = 1,06 (\pm 0,01) \text{ TR}$	9,7
Avril 92	$LE = 1,03 (\pm 0,01) \text{ TR} + 0,59 (\pm 0,54)$	0,99	25	$LE = 1,03 (\pm 0,01) \text{ TR}$	10,9
Mai 92	$LE = 1,01 (\pm 0,01) \text{ TR} + 4,45 (\pm 0,61)$	0,99	12,8	$LE = 1,02 (\pm 0,01) \text{ TR}$	10,9

Tableau 3 : Régressions entre la transpiration mesurée par la bilan entrée sortie entre l'apport et le drainage AD et celle estimée par le modèle complet (équation 2). Valeurs journalières

	$LE (\text{mm j}^{-1}) = a \text{ AD} (\text{mm j}^{-1}) + b$	r^2	σ	$LE = a' \text{ AD}$	σ
Mars 92	$LE = 1,05 (\pm 0,03) \text{ AD} - 0,10 (\pm 0,09)$	0,98	0,08	$LE = 1,02 \text{ AD} (\pm 0,01)$	0,08
Avril 92	$LE = 0,96 (\pm 0,01) \text{ AD} + 0,02 (\pm 0,03)$	0,99	0,05	$LE = 0,97 \text{ AD} (\pm 0,01)$	0,05
Mai 92	$LE = 0,99 (\pm 0,02) \text{ AD} + 0,07 (\pm 0,06)$	0,99	0,12	$LE = 1,01 \text{ AD} (\pm 0,01)$	0,12

Utilisation du modèle pour le contrôle de l'irrigation

a) Estimation des paramètres du modèle simplifié (relation 2)

Les variations horaires des valeurs des paramètres A_i et B_i , identifiées à l'aide des équations (3) et (4), et calculées A_c et B_c à partir des formules complètes (équations 5 et 6) sont présentées dans les figures (7) et (8). On observe :

- la même évolution pour les valeurs identifiées (A_i , B_i) et celles calculées (A_c , B_c) au cours de la journée ;
- les valeurs de A_i varient sur une période de 24 h, entre deux extrêmes : une valeur nocturne (de l'ordre de 0,2) et une autre diurne (de l'ordre de 0,6) ;
- pour B_i , on peut constater la même variation journalière, les valeurs des extrêmes évoluant entre deux plages : une plage diurne (de 10 à $14 \text{ W m}^{-2} \text{ mb}^{-1}$) et une plage nocturne (de 4 à $6 \text{ W m}^{-2} \text{ mb}^{-1}$).

Nous pouvons attribuer l'accroissement des extrêmes journaliers de B_i à l'augmentation de l'indice foliaire, comme le suggère la figure (8).

b) Nécessité d'une simplification supplémentaire pour le contrôle l'irrigation

La formule (2) de calcul de la transpiration fait appel au calcul du rayonnement absorbé par la culture (G_a). Or ce dernier n'est pas disponible dans la pratique sous serre. Une dernière simplification est donc nécessaire, qui conduit au modèle suivant :

$$LE = A_i' RG + B_i D_a \quad (7)$$

avec $A_i' = \alpha A_i$, $\alpha = G_a/RG$. C'est ce modèle simplifié qui a servi de base à l'élaboration d'un algorithme de calcul, directement implanté dans l'ordinateur de l'irrigation (Eden-Serre) puis utilisé et testé tout au long de la campagne de mesure (11 Mars au 31 Mai 1992).

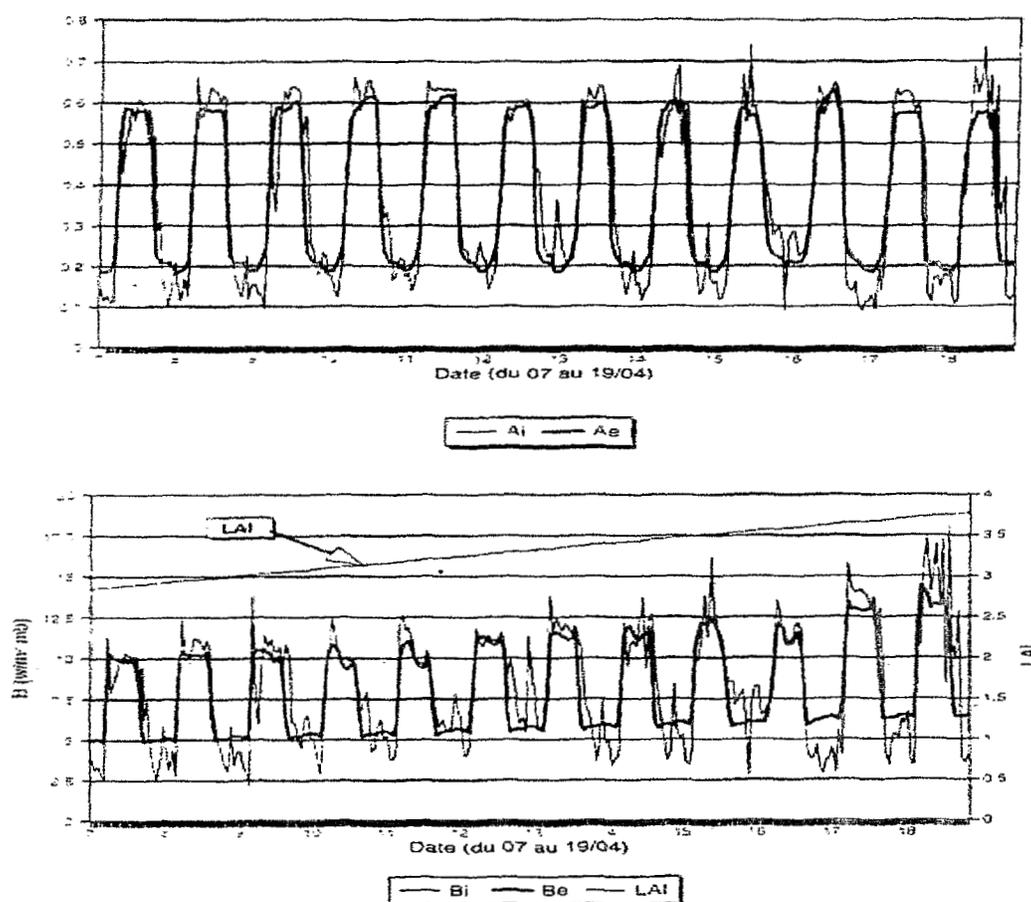


Figure 7-8. Evolution des horaires de A_i et B_i identifiées l'équation (7) et A_c et B_c calculées en utilisant le modèle complet (Eq. 5, 6).

Identified values of A_i and B_i (by means of Eq. 7) and calculated values, A_c and B_c (by means of Eq. 5 and 6), vs time.

c) Analyse des performances du modèle simplifié dans le contrôle de l'irrigation

Les figures (9), (10) et (11) présentent l'évolution journalière de l'apport (A), du drainage (D) et de la transpiration dans les deux traitements d'irrigation ("C" traitement irrigation pilotée par le solarimètre

et "M" traitement irrigation pilotée par le modèle simplifié). On observe que le traitement d'irrigation "M" a apporté plus d'eau et a moins drainé que le traitement "C".

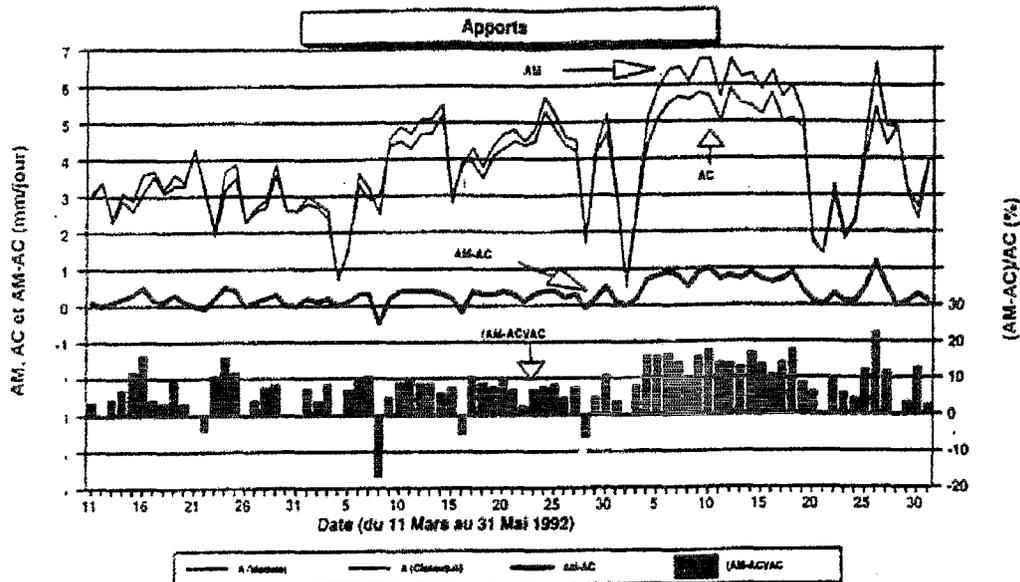


Figure 9. Comparaison entre les quantités d'eau apportées (AM, AC) lors de la campagne de 1992 dans les 2 traitements d'irrigation, pilotés par le modèle simplifié (M) ou piloté par le solarimètre seul (C) Campagne 1992.

Water quantity for irrigation controlled by means of the simplified model (AM) and by means of the classical method (AC) with the solarimeter. 1992 data

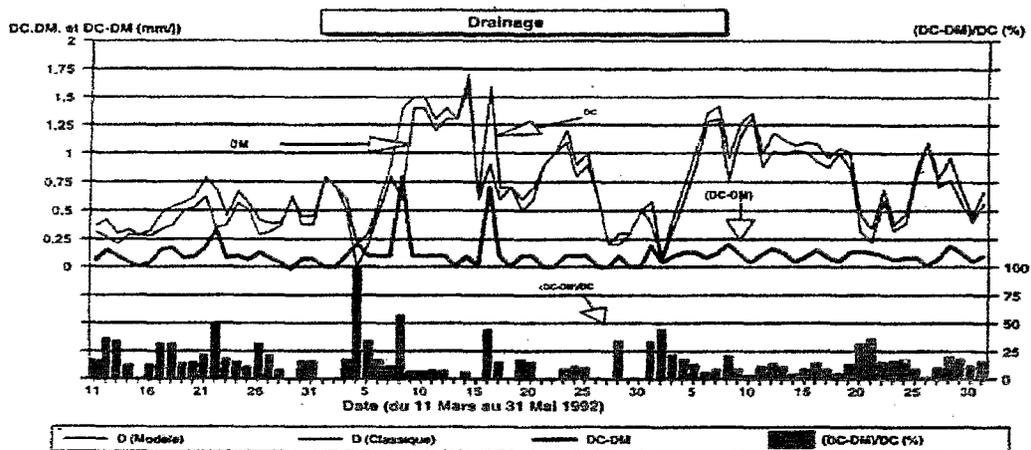
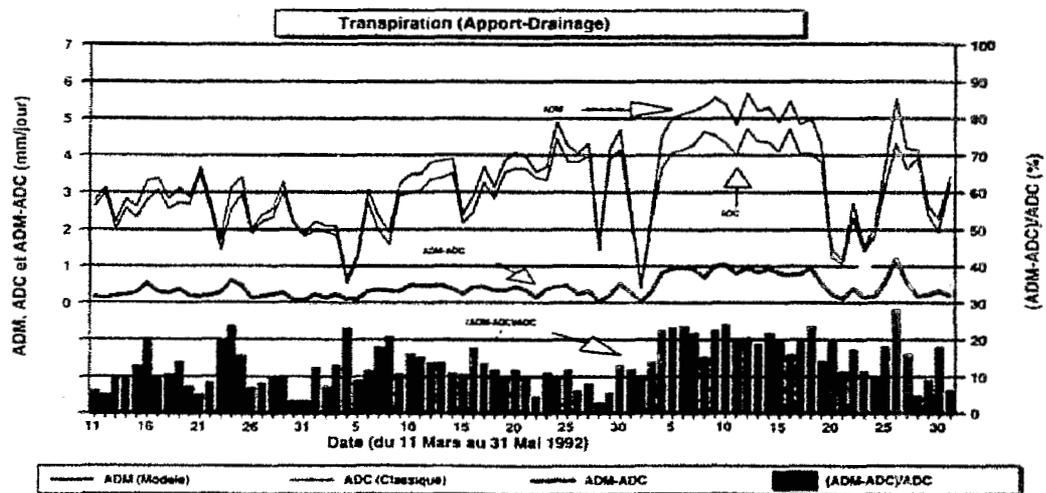


Figure 10. Quantités de solution drainées (DM, DC) mesurées dans les traitements irrigués à l'aide du modèle simplifié (M) et à l'aide du solarimètre seul (C).

Drainage (DM, DC) measured in the treatments irrigated by means of the simplified model (M) and by means of the solarimeter (C).



**Figure 11. Transpirations (ADM, ADC) mesurées dans les traitements irrigués à l'aide du modèle simplifié (M) et à l'aide du solarimètre seul (C).
Measured transpirations (ADM, ADC) in the treatments irrigated by means of the simplified model (M) and by means of the solarimeter (C).**

La transpiration (apport - drainage) est nettement supérieure dans le traitement "M" que "C". Ces résultats se retrouvent dans les bilans mensuels des entrées-sorties d'eau (tableaux 4 et 5). On observe sur une période totale de 91 jours, que les apports pour les traitements "M" et "C" ont été : $A_M = 3313 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ et $A_C = 3055 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, avec $D_M = 546 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ et $D_C = 629 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Les taux de drainage ont été respectivement de 16,5 % et 20,6 % pour les traitements "M" et "C". Pour la transpiration, $AD_M = 2766 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ alors que $AD_C = 242,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Tableau 4 : Bilans entrées/sorties (traitement irrigation "C"), par mois et pour l'ensemble de la période. Valeurs en $\text{m}^3 \text{ eau ha}^{-1}$. Entre parenthèses, pourcentage par rapport aux quantités apportés (*) Cumul sur 21 jours.

Mois	A_C	D_C	AD_C
Mars (*)	630 (100)	102 (16,2)	528 (83,7)
Avril	1125 (100)	260 (23,1)	866 (77,0)
Mai	1300 (100)	267 (20,5)	1034 (79,5)
Ensemble de la période	3055 (100)	629 (20,6)	2428 (79,4)

Tableau 5 : Bilans entrées/sorties d'eau (traitement irrigation "M"), par mois et pour l'ensemble de la période. Valeurs en $\text{m}^3 \text{ eau ha}^{-1}$. Entre parenthèses, pourcentage par rapport aux quantités apportés (*): Cumul sur 21 jours)

Mois	A_M	D_M	AD_M
Mars (*)	664 (100)	84 (12,6)	580 (87,3)
Avril	1193 (100)	228 (19,1)	965 (80,9)
Mai	1456 (100)	234 (16,1)	1222 (83,9)
Ensemble de la période	3313 (100)	546 (16,5)	2767 (83,5)

Sur le tableau (6) nous avons présentons les différences entre apport (ΔA), drainage (ΔD) et transpiration (ΔTR) des traitements d'irrigation "M" et "C". L'écart entre les apports s'accroît de Mars (5,4 %) à Mai (12 %), de même que l'écart entre les transpirations (+ 10,9 % en Mars à 18,9 % en Mai).

Sur l'ensemble de la période, le drainage est réduit de 13,2 % (soit environ $83 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) et cela bien que les apports d'eau aient été supérieurs de 8,5 % dans le traitement "M" (soit environ $258 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Tableau 6 : Différences entre apport, drainage et transpiration des traitements irrigation "M" et "C". Valeurs en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Entre parenthèses, pourcentage par rapport à A_C , D_C et TR_C .

	$\Delta A = A_M - A_C$	$\Delta D = D_M - D_C$	$\Delta TR = TR_M - TR_C$
Mars 92	34 (5,4)	-18 (17,6)	53 (10,9)
Avril 92	68 (6,0)	-32 (12,3)	99 (12,4)
Mai 92	156 (12,0)	-33 (12,4)	188 (18,9)
Ensemble de la période	258 (8,5)	- 83 (13,2)	340 (15,3)

En résumé, on peut dire que la culture irriguée par le modèle (méthode "M") transpire nettement plus que la culture irriguée par la méthode classique du solarimètre (méthode "C"). Ce résultat est lié au fait que la méthode "M" prend en compte explicitement le déficit de saturation, dont le poids augmente à mesure que l'indice foliaire (LAI) et le déficit de saturation s'accroissent de Mars à Juin.

Ceci montre que l'apport d'eau par la méthode classique ne permet pas de compenser les niveaux de transpiration maximale de la culture, et que cette dernière se trouve sans doute dans de moins bonnes conditions d'alimentation hydrique que la culture irriguée avec la méthode "M".

Du point de vue du confort physiologique de la plante, ce résultat est significatif, car il démontre qu'une meilleure estimation des besoins en eau contribue à améliorer le fonctionnement hydrique de la plante.

Un autre avantage de la méthode utilisant le modèle simplifié est de diminuer significativement le drainage (de l'ordre de 15 %), et par conséquent, de réduire le rejet d'éléments polluants dans le milieu naturel.

CONCLUSION

Les mesures de transpiration de la tomate de serre cultivée en hors sol au moyen d'une balance supportant 4 plantes ou par mesure de la différence entre l'apport et le drainage (AD) pour un rang de culture 108 plantes donnent des résultats qui sont très proches (erreur 5 à 10 %). Ces mesures ont été utilisées pour valider un modèle de transpiration de type PENMAN-MONTEIH qui prend en compte l'humidité et le rayonnement sous la serre ainsi que les paramètres biologiques de la culture et la comparaison entre les valeurs mesurées et estimées montre que ce modèle simule correctement la transpiration (erreur inférieure à 6 %).

Un modèle linéaire simple, de type $TR = A RG + B D_a$, dérivant du modèle complet a été proposé pour piloter l'irrigation, où A et B sont deux paramètres identifiés à partir des mesures climatiques, de la différence apport-drainage et de l'estimation de l'indice foliaire de la culture. Il a été montré du fait d'une meilleure adéquation entre apport d'eau et demande atmosphérique, que la culture irriguée par le modèle simplifié transpire plus ($\approx 15\%$) et draine moins (de -10% à -15%) que la culture irriguée par la méthode classique basée uniquement sur la mesure du rayonnement. Ces résultats confirment l'importance du rôle du déficit de saturation sur la demande évaporative et la nécessité de tenir compte de ce paramètre dans l'estimation des besoins en eau des cultures de serre.

REFERENCES

Baille M., Baille A., Delmon D., 1994. Microclimats and transpiration of greenhouse rose crops. *Agri. Forest Meteorology* 71, 83-97.

Boulard T., Baille A., 1993. A simple greenhouse climate control model incorporating effects of aeration and evaporative cooling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65, 145-157.

Boulard T., Baille A., Mermier M., Vilette F., 1991. Mesures et modélisation de la résistance stomatique foliaire et de la transpiration d'un couvert de tomate de serre. *Agronomie*, 11, 259-274.

De Villèle O., 1972. Water requirement of glasshouse crops. Symposium ISHS on Water Supply under glass and plastics.

Fuchs M., 1990. Effect of transpiration on greenhouse cooling. Proceedings of the international seminar on British-Israel workshop on greenhouse technology. Agricultural Research Organisation, Bet Dagan Israël, 155-181.

Jemaa R., 1996. Mise au point et validation de modèles de transpiration de cultures de tomates de serre. Application à la conduite de la fertirrigation. Thèse de L'ENSA de Rennes, 95 pp.

Joliet O., Bailey B.J., 1992. The effects of climate on tomato transpiration in greenhouses : measurements and models comparison. *Agric. and Forest Meteorol* 58, 43-62.

Papadakis G., Frangoudakis A., Kiritsis S., 1994. Experimental investigation and modelling of heat and mass transfer between a tomato crop and the greenhouse environment. *J. Agric. Engng. Res.*, 57, 217-227.

Stanghellini C., 1983. Radiation absorbed by a tomato crop in a greenhouse. Res. rep. IMAG, Wageningen, 83(5), 23 p.

Yang X., Short T., Fox R., Bauerle W., 1990. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of greenhouse cucumber crop. *Agric. Forest Meteorol.*, 5, 197-209.