Estimation des besoins de chauffage des serres en Grèce

C. Kittas, D. Giannakopoulos

► To cite this version:

C. Kittas, D. Giannakopoulos. Estimation des besoins de chauffage des serres en Grèce. *Agronomie*, 1986, 6 (7), pp.633-638. hal-00884919

HAL Id: hal-00884919

<https://hal.science/hal-00884919>

Submitted on 1 Jan 1986

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Estimation des besoins de chauffage des serres en Grèce

C. KITTAS

avec la collaboration technique de D. GIANNAKOPOULOS

Centre de Recherches Agronomiques du Péloponnèse et d'Epire, G 26110 Patras

RÉSUMÉ

Un modèle semi-empirique est proposé pour l'estimation des besoins de chauffage des serres à une échelle régionale et sur une base mensuelle à partir de données climatiques moyennes. L'application de ce modèle à la Grèce permet de cartographier la variabilité des besoins selon l'implantation géographique des serres.

Mots clés additionnels : *Bilan d'énergie, culture protégée.*

SUMMARY

Estimation of heating requirements for greenhouses in Greece.

A semi-empirical model has been developed for estimating heating requirements for greenhouses from mean monthly weather data. Using climatological data from the main meteorological stations, the variability of greenhouse heating requirements has been mapped for the whole country.

Additional key words : *Energy balance, protected cultivation.*

I. INTRODUCTION

Les augmentations successives du coût de l'énergie ont amené les chercheurs de tous les pays où se pratiquent des cultures sous abris à se pencher sur les problèmes énergétiques posés par les serres. Même si son climat permet à la Grèce de se présenter sur les marchés avec une certaine précocité par rapport à bon nombre de ses partenaires européens, il a paru intéressant d'essayer d'estimer les besoins de chauffage permettant de hâter encore l'entrée en production ou de diversifier les cultures pratiquées sous serres. Ces estimations ont été faites sur une base mensuelle à partir des données climatiques communément recueillies sur l'ensemble des stations du réseau météorologique national. Les résultats devraient permettre d'évaluer le coût des dépenses de chauffage dans les différentes situations et de juger de l'intérêt de la régionalisation des cultures abritées.

II. LE MODÈLE D'ESTIMATION DES BESOINS DE CHAUFFAGE

Le système serre dont la température intérieure se trouve supérieure à celle de son environnement est

soumis à des déperditions d'énergie vers l'extérieur. De jour, ces déperditions sont parfois insuffisantes pour maintenir la température de l'air en dessous d'un seuil de tolérance : il faut alors faire appel à des techniques de climatisation dont les plus simples consistent à augmenter le taux de renouvellement de l'air de la serre par aération statique ou ventilation dynamique. De nuit, le maintien d'une certaine température de consigne nécessite de faire intervenir le chauffage pour compenser les déperditions d'énergie.

Dans tous les cas, la méthode du bilan d'énergie est susceptible de fournir une estimation des besoins de climatisation — chauffage ou ventilation — à partir du moment où peuvent être correctement évalués les échanges de la serre avec son environnement (SEGINER & LEVAV, 1971).

A. L'équation du bilan énergétique de la serre

Les besoins de chauffage en période diurne ne représentant, surtout en régions méditerranéennes, qu'une faible fraction des besoins globaux (VICKERMANN, 1969), nous nous limitons dans un premier temps à l'estimation des besoins de chauffage nocturne. En désignant par :

- Q_{CH} = les apports énergétiques correspondant au chauffage
 R_N = le rayonnement net au-dessus de la serre
 Q_C = les échanges par convection entre la paroi et l'air extérieur
 Q_F = les échanges énergétiques correspondant au renouvellement d'air s'effectuant au niveau des fuites ou par aération contrôlée
 Q_L = l'énergie mise en jeu dans les changements d'état de l'eau : évaporation ou condensation
 Q_S = les échanges de chaleur par conduction entre la surface du sol et la profondeur.

Le bilan d'énergie de la serre peut s'écrire d'une manière très générale et sans préjuger du sens des échanges :

$$Q_{CH} + R_N + Q_C + Q_F + Q_L + Q_S = 0. \quad (1)$$

De nuit, il semble possible de négliger les termes Q_L et Q_S , très faibles en comparaison des autres ($Q_S \approx 12 \text{ W.m}^{-2}$), et de se limiter à l'expression :

$$Q_{CH} + R_N + Q_C + Q_F = 0. \quad (2)$$

1. Expression du rayonnement net au-dessus de la serre : R_N

Lorsque le matériau de couverture de la serre est opaque aux radiations infra-rouges thermiques, le bilan radiatif au-dessus de la paroi en période nocturne peut s'écrire sous la forme :

$$R_N = \frac{A_p}{A_s} [f_{ps} \sigma(T_s + 273)^4 + f_{pa} \sigma(T_A + 273)^4 - \sigma(T_p + 273)^4] \quad (3)$$

avec A_p = surface développée de paroi en m^2

A_s = surface couverte au sol en m^2

T_p = température de paroi en °Celsius

T_A = température apparente d'émission de l'atmosphère en °Celsius

T_s = température de surface du sol à l'extérieur en °Celsius

f_{ps} = facteur de forme paroi-sol extérieur

f_{pa} = facteur de forme paroi-atmosphère

σ = constante de Stefan-Boltzmann.

On peut admettre que, de nuit et au moins en ce qui concerne les valeurs moyennes, la température de surface du sol à l'extérieur de la serre T_s soit assez voisine de la température de l'air extérieur T_{ae} :

$$T_s \approx T_{ae}. \quad (4)$$

La température apparente d'émission de l'atmosphère T_A , de nuit et au moins en ce qui concerne les valeurs moyennes, dépend essentiellement de la présence ou de l'absence de couverture nuageuse (CHIAPALE *et al.*, 1981) :

- nuit à ciel clair : $T_{ae} - T_A = 15^\circ$,
- nuit à ciel couvert : $T_{ae} - T_A = 4^\circ$.

L'absence assez générale de renseignements sur la nébulosité nocturne amène à supposer que la proportion d'heures de nuit à ciel clair est très voisine de la fraction d'insolation i qui exprime la proportion

d'heures d'insolation par rapport à la durée astronomique du jour.

$$i = \frac{n}{N} = \frac{\text{nombre d'heures d'insolation}}{\text{durée astronomique du jour}}.$$

La température apparente d'émission de l'atmosphère T_A , en valeur moyenne nocturne, peut donc s'estimer à partir de l'expression :

$$T_A = i(T_{ae} - 15) + (1 - i)(T_{ae} - 4). \quad (5)$$

La température de paroi, T_p , peut être estimée à partir d'un modèle empirique (KITAS, 1980) qui s'est révélé satisfaisant dans des conditions d'application très variées :

$$T_p = T_{ae} + \frac{(T_{as} - T_{ae}) + 0,2 T_A - 3,7}{1,3 + 0,4 u^{0,8}} \quad (6)$$

avec T_{as} = température d'air de la serre (°C) = température de consigne

u = vitesse du vent (à 1 m au-dessus de la serre) en m.s^{-1} .

2. Expression des pertes d'énergie par convection : Q_C

Le flux de chaleur échangée par convection entre la paroi de la serre et son environnement dépend de l'écart entre les températures de paroi T_p et de l'air extérieur T_{ae} ainsi que de la valeur du coefficient d'échanges convectifs h_e dont on a trouvé un modèle d'estimation (CHIAPALE comm. pers.)

$$h_e = 1,16[1,1(T_p - T_{ae})^{0,5} + 7 u^{1,6}]^{0,5} \cdot \text{W.m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}. \quad (7)$$

Les déperditions convectives d'énergie peuvent donc s'estimer à partir de l'expression :

$$Q_C = \frac{A_p}{A_s} \cdot h_e \cdot (T_p - T_{ae}) \quad (8)$$

dont tous les termes sont accessibles à la mesure ou issus de modèles d'estimation.

3. Estimation des déperditions d'énergie au niveau des fuites : Q_F

Ces déperditions, liées à l'existence de défauts d'étanchéité, dépendent du taux horaire de renouvellement de l'air et de la différence d'enthalpie de l'air entre l'intérieur et l'extérieur de la serre :

$$Q_F = R \cdot \frac{V_s}{A_s} \cdot \rho \cdot (H_i - H_e) \quad (9)$$

expression dans laquelle

R = taux horaire de renouvellement de l'air de la serre h^{-1}

V_s = volume de la serre m^3
= masse volumique de l'air kg.m^{-3}

H_i, H_e = enthalpie de l'air à l'intérieur, à l'extérieur J.kg^{-1}

Différents modèles d'estimation permettent d'accéder au taux de renouvellement d'air qui est très lié à la vitesse du vent extérieur. Nous retenons ici l'expres-

sion déterminée expérimentalement sur un tunnel plastique (KITTA, 1980) :

$$R = 1 + 0,3 u \quad (10)$$

u = vitesse du vent (à environ 1 m au-dessus de la serre) en m.s^{-1} .

Pour les besoins de nos calculs, nous avons retenu pour la masse volumique de l'air la valeur moyenne $\sigma = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$. L'enthalpie de l'air, dès lors que sont connues sa température et son humidité, peut s'obtenir à partir de l'expression (11) ci-après :

$$H = 4,18 \cdot 10^3 (0,24 T + 600 w) (\text{J.kg}^{-1}) \quad (11)$$

T désignant la température de l'air et w son « rapport de mélange » (kg de vapeur d'eau par kg d'air) qui se calcule simplement dès lors que l'on connaît l'humidité relative HR .

$$w = 0,622 \frac{HR \cdot F(T)}{P - HR \cdot F(T)} \quad (12)$$

expression dans laquelle P est la pression atmosphérique (millibars) et $F(T)$ représente la tension de vapeur saturante à la température T qui peut se calculer à partir d'une formule empirique (ALT, 1978)

$$F(T) = 6,1070 \left(1 + \sqrt{2} \sin \frac{T}{3} \right)^{8,827} (\text{millibars}) \quad (13)$$

avec T ($^{\circ}\text{C}$) et $T/3$ considéré en degrés d'arc.

B. Les hypothèses simplificatrices

1. Durée de la période de chauffage

Nous avons considéré que le chauffage n'était indispensable que les nuits où la température moyenne nocturne de l'air à l'extérieur de la serre, T_{ae} , était inférieure à la température de consigne T_{as} que l'on s'efforce de maintenir à l'intérieur.

L'estimation, à l'échelle mensuelle, de la température moyenne nocturne de l'air extérieur peut se faire à partir des températures extrêmes, T_x et T_n , en utilisant l'expression ci-après (HALLAIRE, 1950)

$$T_{ae} = T_n + K(T_x - T_n) \quad (14)$$

K étant un coefficient variable avec la durée de la nuit DN pour lequel nous avons retenu la formule d'estimation :

$$K = 0,05881 + 0,02357 DN \quad (15)$$

La durée de la nuit, variable selon la période de l'année et la latitude du lieu considéré, peut se calculer à partir de formules astronomiques classiques :

$$DN = 24 - DJ, \quad (16)$$

$$\text{Durée du jour} = DJ = \frac{2 \times AH_c}{15} \quad (17)$$

expression dans laquelle

AH_c = angle horaire du soleil à son coucher, exprimé en degrés, s'obtient à partir de :

$$\cos AH_c = - \tan \phi \cdot \tan \delta \quad (18)$$

avec ϕ = latitude du lieu

δ = déclinaison du soleil =

$$= 23^{\circ},45 \times \sin \left(360 \times \frac{284 + n}{365} \right) (\text{degrés}) \quad (19)$$

où n = numéro d'ordre du jour dans l'année

2. Données utilisées

a) Caractéristiques géométriques de la serre

Nous avons retenu des valeurs de caractéristiques géométriques correspondant à des « tunnels » des modèles les plus répandus en Grèce :

$$\frac{A_p}{A_s} = \frac{\text{surface développée de paroi}}{\text{surface couverte}} \simeq 1,4$$

$$\frac{V_s}{A_s} = \frac{\text{volume de la serre}}{\text{surface couverte}} \simeq 2,6 \text{ m.}$$

Les « facteurs de forme » intervenant dans les échanges radiatifs sont donnés par les expressions (OGURA, 1970)

$$f_{pA} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{A_s}{A_p} \right) \simeq 0,85 \text{ et } f_{ps} = 1 - f_{pA} \simeq 0,15.$$

b) Climat intérieur de la serre

Les estimations du besoin de chauffage ont été faites pour 2 valeurs de température de consigne :

$T_{as} = 15^{\circ}\text{C}$ correspond sensiblement aux exigences thermiques nocturnes de la tomate

$T_{as} = 20^{\circ}\text{C}$ correspond à celles de cultures maraîchères plus exigeantes (concombre) ou de cultures florales ou ornementales d'origine tropicale.

Nous avons par ailleurs retenu une valeur moyenne d'humidité relative nocturne de 90 p. 100.

c) Climat extérieur

Nous avons retenu pour 36 stations du réseau météorologique national les données ci-après :

ϕ = latitude, pour calculer DN et DJ en valeurs moyennes mensuelles

T_x = température maximale moyenne mensuelle de l'air

T_n = température minimale moyenne mensuelle de l'air

n = durée d'insolation moyenne mensuelle

u = vitesse moyenne du vent de nuit

HR = humidité relative moyenne de l'air de nuit.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La programmation des calculs a permis l'estimation des besoins de chauffage pour 36 stations réparties sur l'ensemble du territoire grec, en faisant apparaître distinctement les 3 postes de déperditions d'énergie. Les résultats de ces estimations sont donnés (tabl. 1) pour 2 régions où les cultures abritées ont pris de l'importance.

TABLEAU 1

Estimation des déperditions énergétiques et des besoins de chauffage nocturne pour Thessalonique et Ierapetra (en Thermies. m⁻². mois⁻¹).
Estimation of energy losses and of night-time heating requirements for Thessalonika and Ierapetra (in Thermies. m⁻². month⁻¹).

Température de consigne			Tas = 15 °C				Tas = 20 °C			
Localité	Mois	R _N	Q _C	Q _F	Q _{CH}	R _N	Q _C	Q _F	Q _{CH}	
Thessalonique (40°33N)	1	26,0	10,0	10,1	46,1	33,4	18,7	16,1	68,2	
	2	21,6	7,0	8,1	36,7	27,8	14,4	13,2	55,3	
	3	20,0	3,8	6,3	30,1	26,5	10,9	11,3	48,6	
	4	15,5	0	3,0	18,5	21,3	4,8	7,2	33,3	
	5					17,8	1,0	3,9	22,7	
	6									
	7									
	8									
	9									
	10					24,2	2,8	6,6	33,6	
	11	20,1	1,2	4,5	25,7	27,9	8,2	9,7	45,8	
	12	24,7	7,0	8,4	40,2	32,6	15,6	14,3	62,4	
Ierapetra (35°N)	1	21,3	0	5,4	26,7	27,7	9,8	12,8	50,3	
	2	18,4	0	4,3	22,7	23,9	7,8	10,4	42,1	
	3	18,9	0	3,5	22,4	24,4	6,2	10,0	40,6	
	4					20,9	2,0	6,3	29,2	
	5					19,0	0	2,9	21,9	
	6									
	7									
	8									
	9									
	10									
	11					25,7	1,0	5,3	31,0	
	12	20,9	0	3,2	24,2	27,5	6,5	10,7	44,7

Figure 1
Estimation des besoins annuels de chauffage nocturne pour une température de consigne de 20 °C (altitude voisine de 0m).
Estimation of night-time heating requirement for a set temperature value of 20 °C (sea level).

Figure 2

Estimation des besoins annuels de chauffage nocturne pour une température de consigne de 15 °C (altitude voisine de 0m).

Estimation of night-time heating requirement for a set temperature value of 15 °C (sea level).

L'ensemble des résultats a permis de cartographier les besoins de chauffage des serres (fig. 1 et 2) sur l'ensemble du pays, sans prendre en compte l'influence du relief.

En 1^{re} approximation, il semble que les ordres de grandeur auxquels conduisent ces estimations de besoins de chauffage soient corrects et que la variabilité géographique corresponde aux différences observées sur les consommations réelles d'énergie d'une région à une autre. Il s'agit bien sûr de « besoins moyens » puisque les données climatiques utilisées ne sont que des moyennes et que le modèle utilisé ne tient aucun compte des différences de performances des serres et des dispositifs de chauffage.

Le modèle utilisé a pris en compte des modalités d'estimation de la température de paroi et du coefficient d'échanges convectifs qui améliorent significativement l'évaluation des déperditions d'énergie au niveau de la paroi. Des améliorations restent à apporter à l'estimation du taux horaire de renouvellement pour affiner l'évaluation des déperditions liées aux fuites. Mais d'ores et déjà, le modèle peut être utilisé pour estimer les puissances calorifiques à installer puisqu'il fait appel à des résultats obtenus, en grandeur réelle, sur des périodes suffisamment courtes (30 mn).

IV. CONCLUSION

Les résultats de ces estimations des besoins de chauffage permettent, sur des valeurs moyennes mensuelles, de disposer d'informations intéressantes pour comparer les « vocations » des différentes régions de Grèce à la production précoce. Cette comparaison peut d'ailleurs s'étendre à l'ensemble des zones de primeurs du bassin méditerranéen.

Ce modèle peut également suggérer des modifications des calendriers culturels visant à limiter les dépenses énergétiques. D'ores et déjà, l'estimation séparée des différents postes de déperditions énergétiques ne peut qu'orienter la recherche d'économies vers les solutions les mieux adaptées aux conditions locales.

Reçu le 20 novembre 1984.

Accepté le 14 mars 1986.

REMERCIEMENTS

Que J. P. CHIAPALE et O. de VILLELE trouvent ici l'expression de ma reconnaissance pour l'accueil qu'ils m'ont réservé à la Station de Bioclimatologie d'Avignon où ont été effectuées les recherches dont ce travail constitue un prolongement dans le domaine appliqué.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alt J.**, 1978. *Formules empiriques pour la pression de saturation de la vapeur d'eau*. Note technique du SMM - Météorologie Nationale. Section XI, Pièce 5, 6 p.
- Chiapale J. P., Kittas C., de Villele O.**, 1981. Estimation régionale des besoins de chauffage des serres. *Acta Horticulturae*, 115, *Energy in protected cultivation*, 493-503.
- Hallaire M.**, 1950. Les températures moyennes nocturnes, diurnes et hycthémerales en fonction du minimum et du maximum journaliers de température. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 231, 406-408.
- Kittas C.**, 1980. *Contribution théorique et expérimentale à l'étude du bilan d'énergie des serres*. Thèse Doct.-Ing., Univ. Perpignan, 161 p.
- Ogura Y.**, 1970. Some considerations on the floor-film ratio of plastic house. *J. Agr. Meteorol. Jap.*, 27, 15-18.
- Seginer I., Levav N.**, 1971, Models as tools in greenhouse climate design. Technion Research and Development Foundation : Research n° 150-085. *1st Annu. Rep. Isr. Min. of Agric.*, 80 p.
- Vickermann E.**, 1969. Heizkostenkalkulation für Gewächshäuser. Forschungsberichte aus dem Institut für Technik in Gartenbau der Universität Hannover, 4. 132 p.