



HAL
open science

Influence d'un écran thermique sur le bilan énergétique et le microclimat nocturnes d'une serre

M. Baille, J.C. Laury, Alain Baille

► To cite this version:

M. Baille, J.C. Laury, Alain Baille. Influence d'un écran thermique sur le bilan énergétique et le microclimat nocturnes d'une serre. *Agronomie*, 1984, 4 (4), pp.327-332. hal-02728027

HAL Id: hal-02728027

<https://hal.inrae.fr/hal-02728027>

Submitted on 2 Jun 2020

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.

Influence d'un écran thermique sur le bilan énergétique et le microclimat nocturnes d'une serre

Maria BAILLE, Jean-Claude LAURY & Alain BAILLE (*)

avec la collaboration technique de Gilbert SAPPE (*)

Comité National Interprofessionnel de l'Horticulture, Bd Lavoisier, Belle Beille, F 49000 Angers
(*) I.N.R.A., Station de Bioclimatologie, Centre de Recherches d'Avignon, F 84140 Montfavet

RÉSUMÉ

Dans cet article, on présente les résultats expérimentaux concernant les effets d'un écran thermique sur les déperditions énergétiques et le microclimat nocturnes de deux serres identiques, mais de matériaux de couverture différents : verre horticole ordinaire (V.O.) et verre à faible émissivité (V.F.E.).

Lorsque l'écran est déployé, on constate une diminution significative des pertes thermiques globales dans les deux serres. L'écran agit surtout au niveau des pertes par convection et par fuites (réduction égale ou supérieure à 50 p. 100). Par contre, l'effet sur les pertes radiatives est moindre, particulièrement sous le verre à faible émissivité.

Au niveau du microclimat nocturne, on n'observe pas de différences significatives entre les indices actinothermiques sous les deux serres, alors que, sans écran, les différences atteignent 2 °C (en faveur du verre V.F.E.). Sans chauffage, le gain en température d'air induit par l'écran est de 1 à 2 °C, sous les deux serres.

Mots clés additionnels : Verre, couverture, émissivité, pertes thermiques.

SUMMARY

Influence of a thermal screen on the nocturnal energy balance and microclimate of a glasshouse.

In this paper, experimental results are presented on the influence of a thermal screen (acryl-polypropylene) on energy losses from two identical glasshouses with different cover material : standard glass (V.O.) and low emissivity glass (V.F.E.).

With the screen, a significant decrease in total thermal losses was observed. This type of screen was very efficient in reducing convective losses (by 50 % or more), but less efficient for radiative losses, particularly in the case of low emissivity glass.

At night, no significant differences were observed in plant temperatures between the two types of glasshouse with screen, while differences up to 2 °C were observed between them without screen. During the non-heated period, the gain in air temperature induced by the screen was about 1 to 2 °C in both glasshouses.

Additional key words : Glass, cover, emissivity, heat loss.

I. INTRODUCTION

Parmi les techniques visant à réduire les pertes thermiques des serres, les écrans « thermiques » constituent en général un moyen efficace pour limiter les différents postes de déperdition de chaleur, notamment les pertes par convection dues au vent (HUANG & HANAN, 1976 ; BAILEY, 1977 et 1978 ; OKADA, 1978). Cependant, leurs effets peuvent être très différents suivant la nature du matériau utilisé comme écran. De plus, ils présentent un certain nombre de contraintes, en particulier au niveau de la transmis-

sion lumineuse de la serre qui peut être réduite de façon non négligeable du fait de l'obstacle à la lumière que représente l'écran en position repliée pendant le jour.

L'objet de l'article suivant est l'étude expérimentale de l'influence d'un type d'écran en toile non tissée en acryl-polypropylène couramment utilisé dans les exploitations horticoles et maraîchères :

- d'une part, sur la répartition des différents postes de déperdition thermique nocturne de la serre,
- d'autre part, sur les modifications du micro-

climat nocturne créées par la présence d'un écran thermique.

II. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

A. Les serres

Les 2 éléments de serre choisis pour cette étude sont enclavés au milieu d'un bloc de serres expérimentales de la Station du Val de Loire (Comité National Interprofessionnel de l'Horticulture), à Angers (lat. 47°30', long. 0°33' Ouest). L'une des serres est couverte de verre ordinaire (V.O.) et l'autre de verre à faible émissivité (V.F.E.). Les caractéristiques géométriques de ces éléments sont présentées dans le tableau 1. Ces 2 types de matériaux de couverture ont fait l'objet d'une étude comparative antérieure (BAILLE *et al.*, 1983a, 1983b) qui a montré les performances respectives de ces 2 matériaux au niveau des pertes thermiques et des microclimats nocturnes résultants.

TABLEAU 1

Caractéristiques géométriques des 2 serres choisies.
Geometrical characteristics of the two glasshouses.

	Serre V.O.	Serre V.F.E.
Longueur	18,2 m	18,2 m
Largeur	9,0 m	9,0 m
Hauteur des cheneaux	2,5 m	2,8 m
Hauteur sous faîtière	4,5 m	4,8 m
Surface du toit	180,0 m ²	180,0 m ²
Surface du pignon	31,5 m ²	34,5 m ²
Volume	576,0 m ³	600,0 m ³

Le chauffage est assuré par thermosiphon, au moyen de tuyaux de circulation d'eau chaude répartis sous les tablettes, le long du pignon et à hauteur des cheneaux.

La température de consigne (température d'air prise à 1,20 m) a été fixée à 20 °C pendant toute la durée des essais.

Les mêmes cultures de plantes en pot ont été conduites sous les 2 éléments de serre (plantes ornementales posées sur tablettes, du type ficus, dieffenbachia, ...).

B. L'écran thermique

La toile d'écran thermique testée sous les 2 éléments de serre décrits précédemment est une toile non tissée en acryl-polypropylène. Elle est constituée de 6 bandes qui se replient simultanément dans le sens de la longueur de la serre. Chaque élément de toile a pour dimensions 8,90 × 3,30 m. L'écran est situé à hauteur des cheneaux, à environ 2,50 m du sol.

C. Les mesures

Les mesures effectuées ont été les suivantes :

1. à l'extérieur

— le rayonnement atmosphérique, R_A , au moyen

d'un bilanmètre équipé d'un cache (BAILLE & KATZ, 1981),

— la température de l'air extérieur, T_{ao} ,

— la vitesse du vent, V , à 1 m environ au-dessus des faîtières.

2. sous serre

— la puissance totale dissipée, Q_T , au moyen de compteurs de calories,

— la température de l'air, T_{as} ,

— les températures de l'écran, T_e , et de la paroi (toiture), T_p ,

— la température en indice actinothermique, T_{ia} .

Toutes les mesures de température ont été réalisées avec des sondes-platine, montées en pont de Wheatstone.

Les données sont enregistrées sur une acquisition de données à cassettes qui effectue l'intégration horaire des tensions délivrées par les capteurs. Les cassettes sont lues sur l'ordinateur du Centre d'Avignon et les données, mises sur fichier, sont alors traitées au moyen de programmes permettant de calculer les paramètres recherchés.

III. DÉPERDITIONS THERMIQUES NOCTURNES

A. Pertes par rayonnement

Les pertes radiatives par unité de surface ($W \cdot m^{-2}$) au niveau du toit, $R_{N,T}$, et des pignons, $R_{N,p}$, ont été déterminées à partir des mesures du rayonnement atmosphérique, R_A , et de la température de paroi, T_p .

L'énergie totale dissipée par rayonnement est alors :

$$Q_R = R_{N,T} \cdot S_T + R_{N,p} \cdot S_p \quad (1)$$

S_T et S_p étant respectivement les surfaces de la toiture et des pignons.

Les résultats, présentés sous forme de moyennes de $R_{N,T}$ entre 20 h et 4 h T.U., sont donnés sur la figure 1, en fonction de R_A .

On constate que, par rapport aux valeurs de $R_{N,T}$ obtenues pour les mêmes serres sans écran (BAILLE *et al.*, 1983a), l'écran réduit les pertes radiatives d'environ 25 p. 100 sous la serre V.O. et seulement de 10 à 20 p. 100 sous la serre V.F.E. L'influence de ce type d'écran sur les pertes radiatives est donc relativement limitée.

B. Pertes par convection et par fuites

Les pertes globales des serres, Q_T , mesurées au moyen des compteurs de calories, sont la somme des déperditions par rayonnement, Q_R , par convection-convection, Q_{cc} , par fuites, Q_f , et par conduction dans le sol, Q_s :

$$Q_T = Q_R + Q_{cc} + Q_f + Q_s \quad (2)$$

S'agissant d'un chauffage aérien, les pertes par conduction dans le sol, Q_s , peuvent être considérées, en première approximation, comme négligeables par rapport aux autres termes (Q_s est de l'ordre de quelques

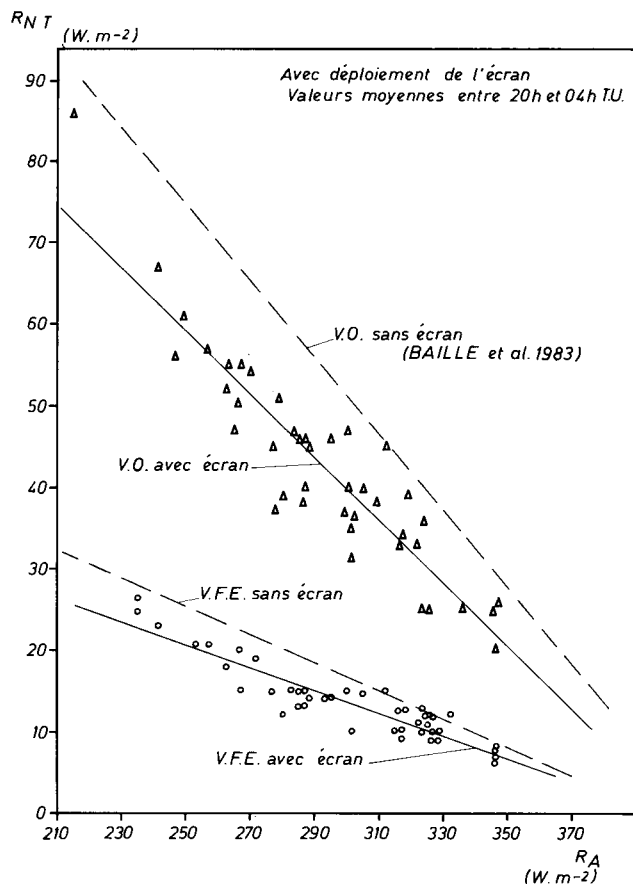


Figure 1
Pertes par rayonnement au niveau du toit, $R_{N,T}$ en fonction du rayonnement atmosphérique, R_A , pour les 2 serres (V.O. = verre ordinaire, V.F.E. = verre à faible émissivité) avec et sans écran thermique.

Radiative heat losses through roof, $R_{N,T}$ vs. atmospheric radiation, R_A , for both glasshouses (VO = standard horticultural glass, VFE = low emissivity glass), with and without thermal screen.

p. 100 de Q_T). Connaissant Q_T et Q_R , on peut en déduire les valeurs de la somme $Q_{cc} + Q_f$ et donc les valeurs d'un coefficient moyen de déperdition thermique par conduction-convection et fuites, K_{cc+f} , au moyen de la relation :

$$K_{cc+f} = \frac{Q_{cc} + Q_f}{\Delta T \cdot (S_T + S_p)} \quad (3)$$

ΔT étant l'écart de température d'air entre la serre et l'extérieur ($\Delta T = T_{as} - T_{ao}$).

L'évolution du coefficient K_{cc+f} est présentée sur la figure 2, dans le cas de la serre V.O., avec et sans écran.

On constate que la serre avec écran est peu sensible au vent, contrairement à la serre sans écran dont le coefficient varie de $3 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ par vent nul à $10 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ par vent fort. L'écran joue donc un rôle primordial au niveau des pertes par convection et par fuites, alors que son effet, au niveau des pertes radiatives, est beaucoup moins net, du moins pour le type d'écran testé, qui n'est pas métallisé sur l'une de ses faces.

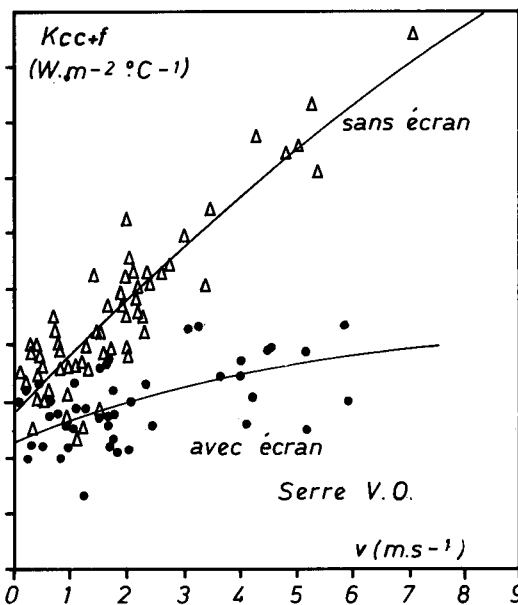


Figure 2
Coefficient de déperdition thermique par convection et par fuites, K_{cc+f} , pour la serre V.O., avec et sans écran thermique, en fonction de la vitesse du vent.
Heat loss coefficient (convection and leaks), K_{cc+f} , vs. wind speed, for the V.O. glasshouse, with and without thermal screen.

C. Pertes globales

Le coefficient global de déperdition de la serre, K_T , est défini généralement par la relation :

$$K_T = \frac{Q_T}{\Delta T \cdot (S_T + S_p)} \quad (4)$$

L'évolution de ce coefficient en fonction de la vitesse du vent est présentée, pour les 2 serres avec écran, sur la figure 3, où sont également portées les courbes d'évolution du coefficient K_T pour les 2 serres sans écran (BAILLE *et al.*, 1983a).

L'influence de l'écran sur le coefficient global est également nette, surtout aux vitesses de vent élevées, où la réduction de K_T peut atteindre plus de 50 p. 100 pour les 2 types de serre. Par contre, aux faibles vitesses, la réduction est nettement moindre, surtout pour la serre V.F.E., où l'on obtient sensiblement les mêmes valeurs, avec ou sans écran thermique.

Si l'on compare les 2 courbes d'évolution de K_T pour les 2 types de serre, avec écran, on constate que la différence entre les 2 serres est relativement faible. L'avantage du verre à faible émissivité par rapport au verre ordinaire, chiffré à environ 20 p. 100 en moyenne dans une étude précédente (BAILLE *et al.*, 1983a), est beaucoup moins net lorsque les serres sont équipées d'écran.

IV. MICROCLIMAT NOCTURNE

Les modifications du microclimat nocturne liées à l'introduction d'un écran sous serre ont été étudiées entre autres par OKADA (1978) et par WINSPEAR & BAILEY (1978), qui ont mis en évidence une certaine influence de l'écran sur les températures de surface et

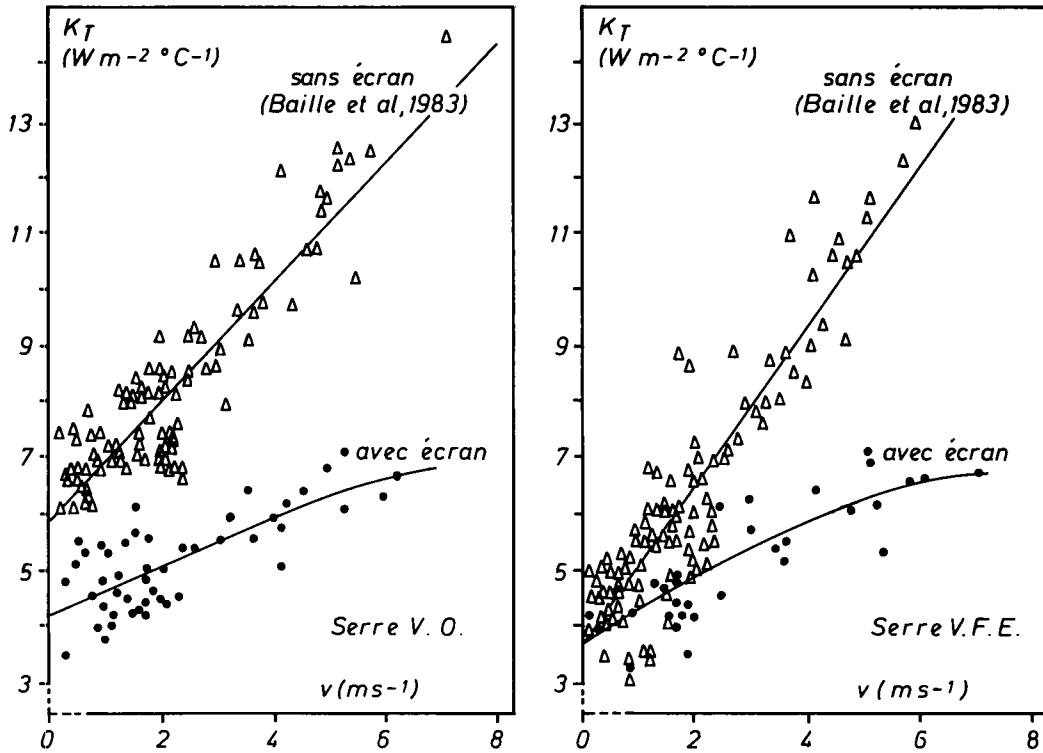


Figure 3
Coefficient global de déperdition thermique, K_T , en fonction de la vitesse du vent, pour les serres V.O. et V.F.E., avec et sans écran thermique.

Total heat loss coefficient, K_T , vs. wind speed, for the VO and VFE glasshouses, with and without thermal screen.

les taux d'humidité. Pour notre part, nous étudierons l'influence de l'écran dans 2 cas : avec chauffage (température de consigne fixée 20 °C) et sans chauffage.

le long des parois latérales des serres. La période de mesures analysée ci-dessous concerne la période novembre-décembre 1979.

Les données qui sont présentées ci-après correspondent à des valeurs moyennes sur la période 20 h -4 h T.U.

1. Température de paroi et d'écran

A. Microclimat avec chauffage

Au niveau des températures de paroi, on constate que l'écart entre la température de paroi et la température extérieure, $T_p - T_{ao}$, est nettement plus faible lorsque l'écran est déployé que lorsqu'il est replié : la figure 4 présente les résultats pour la serre V.O. On voit que, par fort vent, la température de paroi d'une serre avec écran thermique déployé est très proche de la température de l'air extérieur.

La température de consigne d'air est maintenue à 20 °C pendant la nuit par le système de chauffage par tubes aériens disposés sous tablettes, en faîtière et

Si l'on compare maintenant les 2 serres entre elles (toutes 2 avec l'écran déployé), on constate que la température de paroi est légèrement supérieure dans le cas de la serre V.F.E. : + 1 °C en moyenne (fig. 5a). De même, les températures d'écran sont légèrement plus élevées dans le cas de la serre V.F.E. : + 1 à 2 °C en moyenne (fig. 5b).

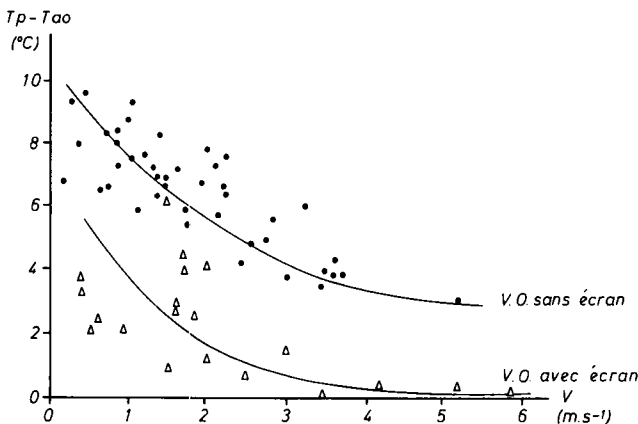


Figure 4
Ecart de température entre la paroi et l'air extérieur $T_p - T_{ao}$ en fonction de la vitesse du vent, pour la serre V.O., avec écran déployé et avec écran replié (période nocturne de chauffage).

Temperature difference $T_p - T_{ao}$ between the glasshouse surface and the outdoor air vs. wind speed for the V.O. glasshouse, for screen in open and in closed position (heating nocturnal period).

Pour une température d'air de consigne de 20 °C et dans les conditions climatiques de la période de mesures (température extérieure variant de - 3 à + 12 °C), on note :

- des températures d'écran variant entre 14 et 18 °C pour le V.O., entre 15 et 19 °C pour le V.F.E.,
- des températures de paroi variant entre 3 et 13 °C pour le V.O., entre 4 et 13 °C pour le V.F.E.

2. Températures d'air et indices actinothermiques

Les températures d'air étant fixées à 20 °C par la consigne de régulation, les valeurs de T_{as} sont les

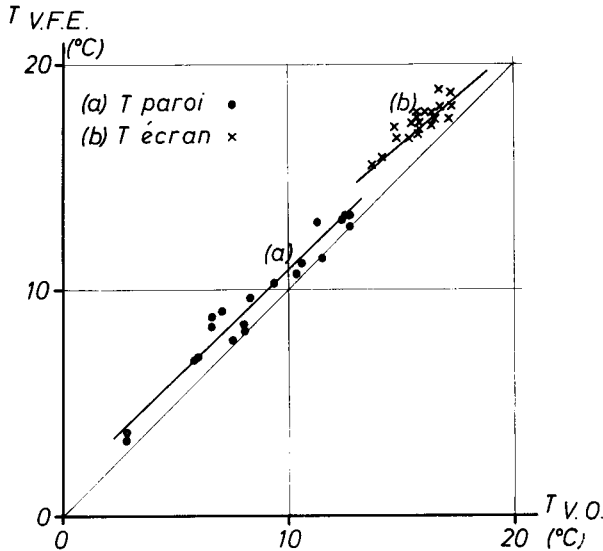


Figure 5
 Comparaison des températures moyennes observées dans les serres V.F.E. et V.O. pour plusieurs nuits avec chauffage et écran thermique déployé.

- a) température de paroi (●)
- b) température de l'écran (×).

Comparison between mean temperatures observed inside the VFE and VO glasshouses during several nights with heating and thermal screen in opened position.

- a) roof temperature (●)
- b) thermal screen temperature (×).

mêmes, que l'écran soit replié ou déployé. Dans ce dernier cas, les indices actinothermiques sont très proches dans les 2 types de serres, avec des valeurs très légèrement supérieures (de l'ordre de quelques dixièmes de degré) sous la serre V.F.E. : cet écart est donc beaucoup plus faible que celui (2 °C en moyenne) observé entre les indices actinothermiques mesurés sous ces 2 serres sans écran (BAILLE *et al.*, 1983b). La présence d'un écran tamponne donc nettement l'effet dû à la nature du matériau de couverture.

3. Microclimat nocturne sans chauffage

Lorsque le chauffage n'intervient pas, on constate que le déploiement de l'écran pendant la nuit permet

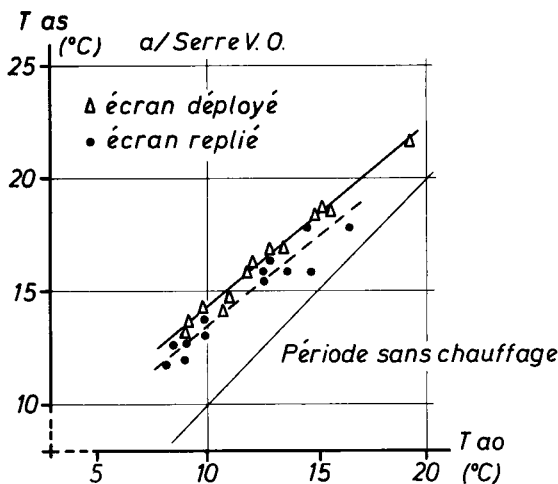


Figure 6
 Température de l'air sous les serres T_{as} en fonction de la température extérieure T_{ao} (moyennes nocturnes, sans chauffage).

- a) serre V.O.
- b) serre V.F.E.

d'élever légèrement la température d'air nocturne de la serre par rapport à la température qu'on aurait eue dans une serre sans écran. La figure 6 présente les températures d'air T_{as} sous abri ventilé obtenues avec et sans déploiement de l'écran thermique, pour les 2 types de serre, en fonction de la température de l'air extérieur T_{ao} : le gain est d'environ 1 à 2 °C pour les 2 serres. (Ces valeurs sont valables pour les périodes testées : mai-juin et septembre 1979.)

On retrouve le même phénomène sur les indices actinothermiques (fig. 7) : le gain lorsque l'écran est mis en place est de 1 à 2 °C environ.

V. DISCUSSION

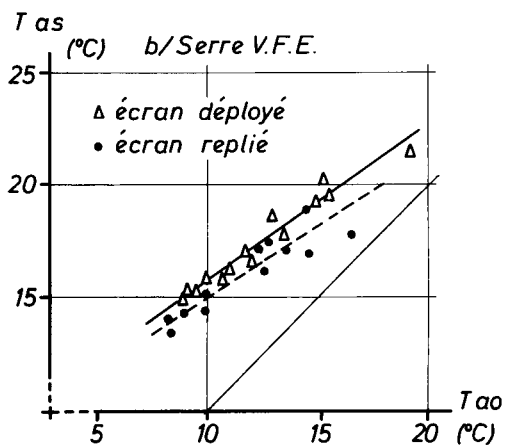
A partir des résultats expérimentaux présentés plus haut, on peut tirer les enseignements suivants :

A. Au niveau des déperditions thermiques

L'écran thermique testé, en acryl-polypropylène, contribue à diminuer de façon significative les pertes globales de la serre, au niveau de la serre V.F.E. comme au niveau de la serre V.O.

Ce type d'écran agit essentiellement sur les pertes par convection et par fuites, qui peuvent être réduites de 50 p. 100 et plus par condition de vent fort ; par contre, les pertes radiatives ne sont réduites que de l'ordre de 20 à 25 p. 100 pour le verre ordinaire, et entre 10 et 20 p. 100 pour le verre à faible émissivité. Ces chiffres sont à comparer avec ceux obtenus par d'autres auteurs (BAILEY, 1977 ; OKADA, 1978), soit sur des écrans du même type, soit sur des écrans plastiques du type polyéthylène. On s'aperçoit que des différences apparaissent au niveau des performances annoncées pour un même matériau d'écran. Ces différences sont dues pour l'essentiel :

— à l'utilisation de systèmes de chauffage différents, ce qui entraîne des écarts au niveau des consommations d'énergie (ELSNER, 1976 ; MEYER, 1976) et du microclimat (WINSPEAR & BAILEY, 1978),



Air temperature T_{as} inside the glasshouses vs. outdoor air temperature T_{ao} (night averages, without heating).

- a) VO glasshouse
- b) VFE glasshouse.

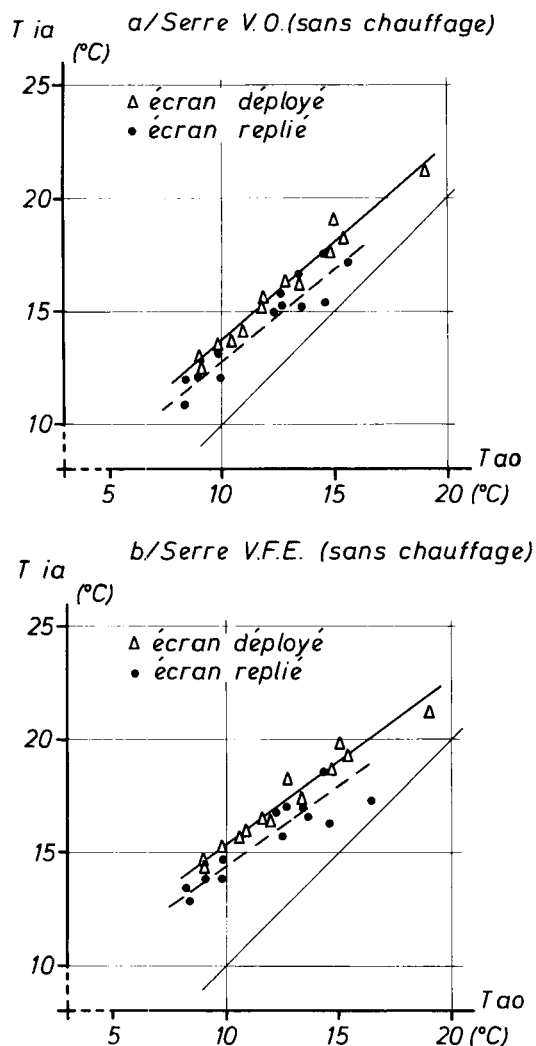


Figure 7

Indice actinothermique dans la serre T_{ia} en fonction de la température extérieure T_{ao} (moyennes nocturnes, sans chauffage, avec et sans écran thermique).

a) serre V.O.

b) serre V.F.E.

Radiative bulb temperature T_{ia} inside the glasshouse vs. outdoor air temperature T_{ao} (night averages, non heated, with and without thermal screen).

a) VO glasshouse

b) VFE glasshouse.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bailey B. J.**, 1977. Heat conservation in greenhouses with aluminized thermal screens. *Acta Hortic.*, **76**, 275-278.
- Bailey B. J.**, 1978. Les travaux de l'Institut National de Génie Agricole (Royaume-Uni) sur les écrans thermiques. *Plasticulture*, **38**, 27-36.
- Baille A., Katz M.**, 1981. Le point sur les méthodes et appareils de mesure du rayonnement atmosphérique. *Note interne M/81/4-I.N.R.A.*, Station de Bioclimatologie d'Avignon.
- Baille M., Laury J. C., Baille A.**, 1983a. Influence du matériau de couverture sur les échanges énergétiques d'une serre : étude comparative verre normal-verre à faible émissivité. I. Influence sur les déperditions thermiques. *Agronomie*, **3** (3), 197-202.
- Baille M., Laury J. C., Baille A.**, 1983b. Influence du matériau de couverture sur les échanges énergétiques d'une serre : étude comparative verre normal-verre à faible émissivité. II. Influence sur le microclimat intérieur. *Agronomie*, **3** (3), 203-206.
- Chiapale J. P., De Villele O., Kittas C.**, 1980. Estimation régionale des besoins de chauffage des serres. *Acta Hortic.*, **115**, 493-503.
- Elsner B.**, 1976. The influence of heating systems on microclimate in crops and possibilities of energy saving. *Séminaire ISHS/CEE*, Karlsruhe 1976, 67-72.
- Huang R. T., Hanan J. J.**, 1976. Theoretical analysis of internal and external covers for greenhouse heat conservation. *Hortic. Sci.*, **11** (6), 582-583.
- Meyer J.**, 1976. Reducing energy consumption of greenhouses by the choice of the heating system. *Séminaire ISHS/CEE*, Karlsruhe 1976, 90-94.
- Okada M.**, 1978. Reducing greenhouse heat consumption by curtain insulation systems. *Acta Hortic.*, **87**, 103-110.
- Okada M.**, 1980. The heating load of greenhouses. (1) Convective heat transfer coefficient at the inside cover surface of a greenhouse as influenced by heating pipe positions. *J. Agric. Meteorol.*, **35**, 235-242.
- Von Zabeltitz**, 1976. Measurements on heat loss from glasshouses with different double shelters. *Séminaire ISHS/CEE*, Karlsruhe 1976, 62-65.
- Winspear K. W., Bailey B. J.**, 1978. Thermal screens for greenhouse energy effectiveness. *Acta Hortic.*, **87**, 111-118.

— à la localisation des échangeurs dans la serre (OKADA, 1980),

— à l'étanchéité de l'ensemble serre-écran, une fois que l'écran est mis en place (Von ZABELTITZ, 1976),

— au climat local, qui agit sur la répartition entre pertes par rayonnement et pertes par convection et fuites (CHIAPALE *et al.*, 1980).

Au niveau de la comparaison entre une serre V.O. et une serre V.F.E., on constate que la différence est beaucoup moins nette lorsque ces serres sont équipées d'un écran thermique. L'effet de la paroi « faible émissivité », chiffré à environ 20 p. 100 sur les pertes globales, et l'effet « écran » ne sont pas cumulatifs et on peut s'interroger sur l'opportunité d'un double investissement (couverture en V.F.E. plus écran thermique) au vu de l'avantage assez limité qu'il entraîne par rapport au seul investissement écran thermique.

B. Au niveau du microclimat thermique nocturne

Avec un chauffage à 20 °C en température de consigne, on note que les écarts entre température de paroi et température de l'air extérieur sont beaucoup plus faibles (4 °C en moyenne) lorsque l'écran est déployé que lorsqu'il est replié. Cela explique les pertes par convection beaucoup plus faibles dans le cas des serres équipées d'écran.

Les températures d'écran varient dans un intervalle relativement restreint, quelle que soit la serre considérée : entre 14 et 19 °C, pour des variations de température extérieure de - 3 à 12 °C.

Lorsque l'écran est déployé, la différence entre les indices actinothermiques des 2 serres est faible alors que, écran replié, les différences sont importantes (+ 2 °C en moyenne sous la serre V.F.E. par rapport à la serre V.O.).

Lorsqu'il n'y a pas de chauffage, le gain, que ce soit en température d'air ou en indice actinothermique, est de 1 à 2 °C en moyenne sur la nuit lorsque l'écran est déployé, par rapport au cas où l'écran est replié, et cela sous les 2 serres.

Reçu le 18 juillet 1983.

Accepté le 17 novembre 1983.