

Évaluation en vraie grandeur d'écrans thermiques pour serres

J. PARIS¹, J. F. HOULE¹, M. BRICAULT¹, et H. A. JACKSON²

¹PARINOVA Inc. et Ecole polytechnique de Montreal, C.P. 6079, Succ. A, Montréal QC H3C 3A7; et ²Centre de recherche technique et statistique, Agriculture Canada, Ottawa ON K1A 0C6. Reçu le 13 juin 1988, accepté le 16 novembre 1988.

Paris J., Houle, J. F., Bricault, M. et Jackson, H. A. 1989. **Évaluation en vraie grandeur d'écrans thermiques pour serres.** Can. Agric. Eng. 31: 81-87. Des études antérieures du comportement thermique des serres ont montré que la plus grande partie du besoin calorifique (60%) des serres est utilisé pour compenser les pertes thermiques nocturnes par la toiture. Donc, un moyen de réduire la facture énergétique des serres est d'installer des écrans thermiques rétractables permettant de réduire ces pertes nocturnes par la toiture. Six différents écrans thermiques pour serre ont été conçus, réalisés et évalués dans des conditions réelles d'utilisation. L'évaluation des écrans a eu lieu dans une serre commerciale de la région de Montréal de mars à mai 1984 et de février à avril 1985. La température dans la serre, qui était utilisée, pendant les expériences, pour la culture de plants d'arbre, était maintenue à environ 20°C. L'analyse des données recueillies durant ces périodes a montré qu'il est possible de réduire les pertes thermiques nocturnes par la toiture de 35 à 70% selon le modèle d'écran utilisé et selon les conditions météorologiques. L'écran le plus efficace est fait de trois épaisseurs de matériaux imperméables et opaques séparés par des coussins d'air. L'écran le moins efficace thermiquement est fait d'une seule couche d'un matériau perméable tissé. L'analyse des résultats a également démontré que l'étanchéité du périmètre des écrans, en périodes froides, est un facteur très important qui affecte leur efficacité thermique. On a développé un écran thermique imperméable qui permet l'élimination complète de l'accumulation d'eau de condensation sur la face supérieure durant la nuit. L'analyse économique du rendement des écrans a montré que la période d'amortissement des écrans et du système de traction automatique est inférieure à une année pour tous les modèles évalués, si le sericulteur en fait lui-même l'installation, et si la serre est utilisée sur une base annuelle et maintenue à une température intérieure de 20°C, comme c'était le cas dans la serre, expérimentale. Pour cette analyse, on a utilisé les conditions météorologiques de la région Montréalaise.

INTRODUCTION

Le coût du chauffage, dans les serres canadiennes, est généralement le deuxième facteur de coût en importance, le premier étant la main-d'oeuvre. Une étude de la demande énergétique des serres dans diverses régions du Québec (CPVQ, 1984) a montré que les besoins en mazout varient entre 75 et 100 L/m² pour une serre auto-portante utilisée toute l'année. Le coût du chauffage particulièrement élevé en décembre, janvier et février et le manque de lumière naturelle pendant cette période font que de nombreux producteurs s'abstiennent de cultiver pendant ces trois mois. Une réduction substantielle du coût de chauffage des serres devrait favoriser la rentabilité des productions serrioles et, rendre les producteurs canadiens plus compétitifs sur le marché. Une meilleure isolation et l'ajout d'éclairage artificiel favoriseraient aussi, sans doute, une augmentation de la capacité de production par l'utilisation plus continue des surfaces de culture abritées utilisées jusqu'ici d'une façon intermittente.

Des recherches sur le comportement thermique des serres en climat nordique (IBI Group and Hooper and Angus Associates

1979; Blom et col. Publ. 40, Blom et Ingratta Publ. 65) ont montré qu'environ 75% des besoins de chauffage surviennent la nuit et que, pour des serres jumelées à double parois gonflées en polyéthylène, 80% des pertes thermiques se font par la toiture. Les pertes thermiques par la toiture la nuit constituent donc environ 60% de la demande énergétique totale d'une serre. A la suite de ces recherches, des écrans thermiques rétractables ont été mis au point (Dalle 1985; Gregory 1981; Green et Maginnes 1983; Smith et Frank 1982). Certains de ces écrans, quoique thermiquement très efficaces, présentaient encore des inconvénients importants: complexité des mécanismes de support et de traction, manque de durabilité des matériaux, coût élevé et même effets néfastes sur la culture (création d'ombrage durant le jour, égouttement d'eau froide sur les plants la nuit). Ces facteurs ont retardé l'emploi des écrans thermiques, surtout dans les petites exploitations.

Les objectifs du projet étaient de concevoir des écrans thermiques bien adaptés au climat canadien, de réaliser des prototypes en vraie grandeur et de les évaluer dans des conditions réelles d'utilisation pendant deux périodes de culture. On a aussi effectué une évaluation économique de l'utilisation de ces écrans thermiques pour la région de Montréal.

Les prototypes d'écrans thermiques ont été conçus de façon à permettre d'étudier l'influence des matériaux utilisés, du nombre et de l'épaisseur des films constituant les écrans, et des espaces d'air intercalés entre ces films. De plus, les écrans devaient posséder les caractéristiques suivantes:

- Fabrication simple et peu coûteuse,
- Pouvoir isolant élevé,
- Double utilisation (utilisation comme ombrière le jour ou pour le contrôle de la photo-période),
- Forme permettant d'éviter l'accumulation de l'eau de condensation.

Une description détaillée des écrans thermiques et de leur système de traction est donnée dans Houle et col. (1986).

PROCEDURE EXPERIMENTALE

La serre

Les écrans thermiques ont été installés dans une serre typique de la région de Montréal. Cette serre, orientée sud-est nord-ouest, est composée de 19 modules jumelés de 5.2 par 28.0 m. Les arches de charpente, du type ogival, sont espacés de 1.2 m (fig. 1). Les modules sont recouverts d'une paroi double de polyéthylène gonflée. Le mur nord-est est opaque et isolé. Le mur du côté sud-ouest est isolé jusqu'à une hauteur de 1.2 m à partir du sol; l'autre partie du mur est recouverte d'un double film de polyéthylène et est munie de panneaux ouvrants. Les fondations de la serre sont isolées jusqu'à une profondeur de 0.6 m sur son périmètre extérieur (fig. 2). La serre est chauffée par un système à air chaud; les calorifères, à raison d'un par deux

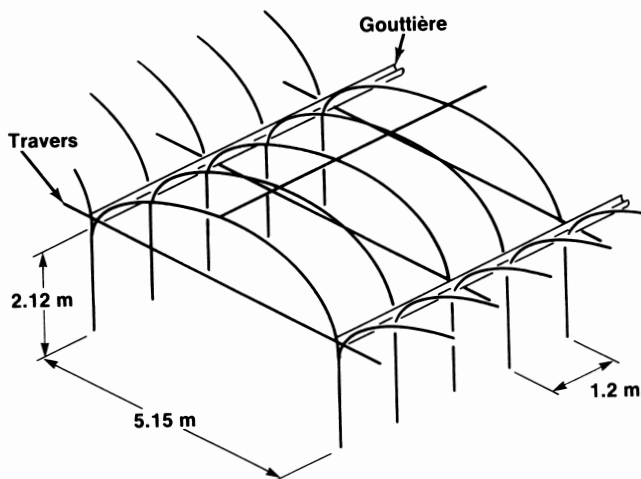


Figure 1. Structure de la serre.

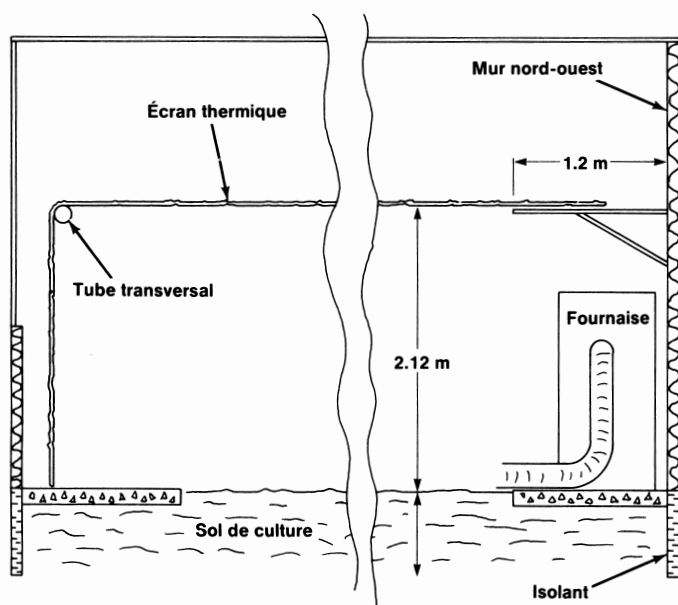


Figure 2. Coupe longitudinale d'un module de serre.

modules, fonctionnent au mazout. Enfin, la serre est munie d'un ensemble de câbles d'acier reliés à un arbre central pour la traction d'écrans thermiques. Le déploiement et le repli des écrans sont commandés automatiquement selon un horaire spécifié par le serriculteur.

Durant les deux périodes d'évaluation, la serre était utilisée pour la culture de plants d'arbres (épinettes et aulnes) en caissettes. Les caissettes étaient disposées sur des tables et la distribution de l'air chaud se faisait par des tubes perforés en polyéthylène situés sous les tables de culture. Durant la culture, la température à l'intérieur de la serre a été maintenue à environ 20°C.

Matériaux utilisés pour les écrans

Cinq matériaux ont été choisis pour la fabrication des écrans thermiques. Le choix a été basé sur le coût, la disponibilité, les propriétés thermiques, la durabilité et les propriétés optiques des matériaux. Les matériaux utilisés pour la confection des écrans sont: Un polyéthylène opaque noir, un mylar aluminisé, un polyéthylène translucide blanchâtre (commercialisé comme matériau pour écran thermique), une toile tissée perméable (TERYLENE LS56) et un polyéthylène transparent.

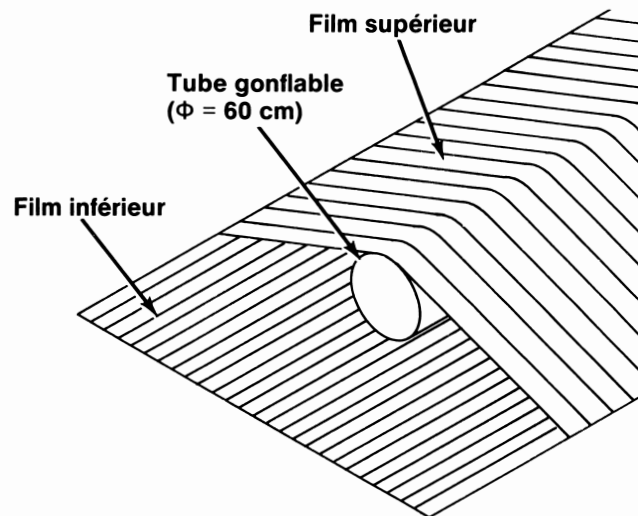


Figure 3. Insertion d'un tube gonflable pour les couvertures imperméables.

Design des écrans

Lors de la première période d'évaluation, cinq designs d'écrans thermiques ont été utilisés. Quatre d'entre eux sont constitués de matériaux imperméables. Un tube de polyéthylène de 0.6 m de diamètre est inséré longitudinalement sous la paroi supérieure de ces écrans pour lui donner une forme de toit avec des pentes de 15° environ (fig. 3). Cette forme facilite l'écoulement de l'eau de condensation vers la périphérie des modules où il y a peu de risque de dommage aux plants par égouttement d'eau froide. Les tubes sont gonflés lors du déploiement des écrans et dégonflés avant leur repli. A l'extrémité nord-ouest de la serre, les écrans thermiques reposent sur un plafond construit à cet effet au-dessus des calorifères. A l'autre extrémité, les écrans pendent jusqu'au sol (fig. 2). Les designs des cinq modèles d'écrans thermiques utilisés lors de la première période d'évaluation sont représentés à la figure 4. Les modèles A, B et C peuvent servir, le jour, au contrôle de la photo-période tandis que les modèles D et E peuvent servir d'ombrière. Un sixième design a été développé entre les deux périodes d'évaluation pour tirer parti de l'expérience acquise; il est décrit plus loin.

Installation des écrans

Les écrans ont été installés en février 1984; le travail a nécessité deux personnes pendant six jours. Deux exemplaires de chaque modèle ont été installés selon l'arrangement représenté à la figure 5. Tous les modules munis d'écrans thermiques forment un ensemble communiquant. Cette situation, moins pratique pour l'analyse, a été choisie pour minimiser les risques aux cultures en cas de panne d'un calorifère. Etant donné le fort brassage d'air dans les modules et l'uniformité des températures d'un module à l'autre on a considéré que les transferts thermiques nets par convection sont négligeables. La méthode d'analyse permet d'évaluer séparément chaque type d'écran. Les modules 12 et 13 sont séparés des autres modules par un film de polyéthylène transparent et servent de modules témoins.

Acquisition des données

On a mesuré la température à l'extérieur de la serre (TE), et les températures intérieures entre le toit et les écrans (TF) et

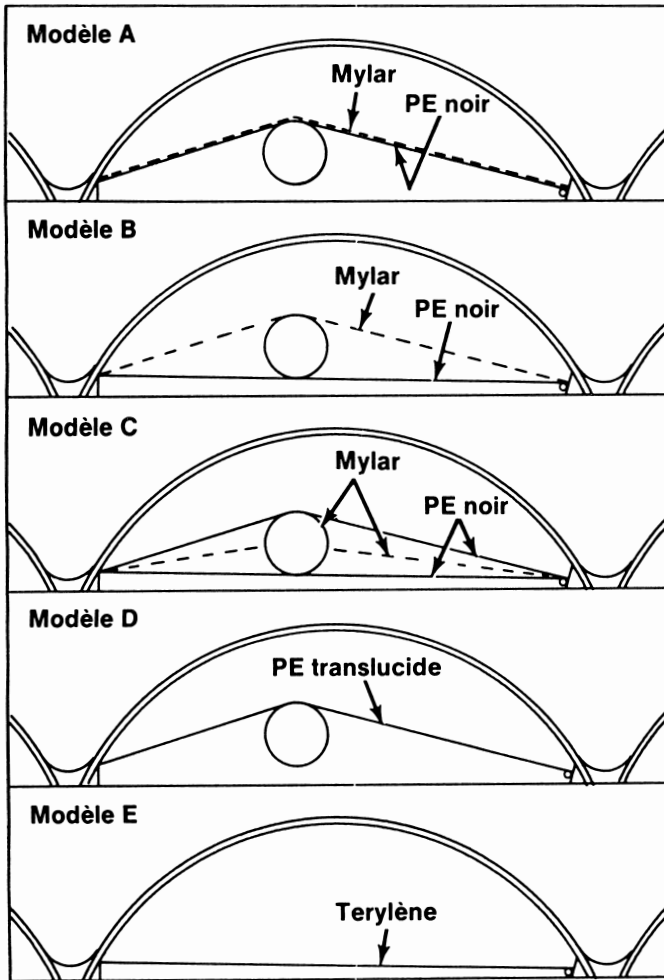


Figure 4. Modèles d'écrans utilisés pendant la première période.

à 1 m du sol (TA). Les points de mesure sont indiqués à la figure 5. Ces données étaient enregistrées toutes les 12 minutes à l'aide d'un enregistreur numérique (DIGITSTRIP II) qui les transmettait simultanément à un micro-ordinateur (IBM-PC) pour enregistrement sur disquette. Les données étaient traitées à l'aide d'un logiciel développé pour ce projet (Houle et col. 1986). Pour les besoins de l'étude trois périodes de deux heures (21h à 23h, 23h à 1h, 1h à 3h) sont considérées et chacune constitue une série de données autonome. La première période d'évaluation (3 mars au 17 mai 1984) comprend 174 séries de données tandis que la deuxième période (24 février au 24 avril 1985) en comprend 147.

Evaluation de la réduction des pertes thermiques

Les calculs sont basés sur les différences moyennes de température (TF-TE) et TA-TF) et sur trois hypothèses simplificatrices:

— La résistance thermique de la toiture des modules est la même pour tous les modules à un instant donné. Toutes les paires de modules ont la même architecture, les mêmes dimensions, le même recouvrement et elles sont toutes soumises aux mêmes conditions météorologiques à un instant donné.

— Le flux de chaleur à travers la toiture d'un module est égal au flux de chaleur à travers et autour de l'écran thermique de ce module. Les autres transferts de chaleur sont négligés (ponts thermiques, effets de bout).

— Pour une paire de modules avec écrans et, si les écrans n'étaient pas déployés, la température au faite serait égale à celle prise à un mètre du sol (TF = TA). On a vérifié la pertinence de cette hypothèse en mesurant ces températures dans les modules témoins; la différence entre TF et TA était typiquement inférieure à 1°C et sa valeur moyenne était nulle. Ceci démontre que le brassage d'air est efficace.

Le pourcentage de réduction des pertes thermique par la toiture, R est

$$R = 100 (Q_2 - Q_1) / Q_2, \quad (1)$$

où Q_1 représente les pertes réelles par la toiture, avec écran déployé, et Q_2 les pertes hypothétiques de cette même toiture sans écran. Les grandeurs Q_1 et Q_2 peuvent être exprimées en fonction des températures:

$$Q_1 = U A (TF - TE) \quad (2)$$

$$Q_2 = U A (TA - TE) \quad (3)$$

Dans ses équations, U est le coefficient global de transfert thermique de la toiture des modules et A sa surface. Donc R peut s'écrire en fonction des températures:

$$R = 100 ((TA - TF) / (TA - TE)) \quad (4)$$

L'équation 4 implique que la variation du coefficient global de transfert U , sous l'effet de variations de la température au faite de la serre, est négligeable. Cette simplification est légitime car les différences de température entre le bas et le faite des modules avec écrans étaient inférieures à 20°C et typiquement près de 10°C.

RESULTATS ET DISCUSSION

Première période d'évaluation

Les graphiques du pourcentage de réduction des pertes par la toiture (équation 4), sont présentés à la figure 6. Le modèle E est le moins efficace, mais réduit néanmoins les pertes thermiques nocturnes par la toiture de 40% en moyenne ce qui représente une quantité considérable d'énergie. Le modèle C est le plus efficace; il produit une réduction moyenne des pertes d'environ 70% et on a pu constater que lorsque la nuit n'est pas très froide, la demande énergétique des modules munis de ce modèle d'écran a été presque nulle. Ces résultats sont avantageusement comparables à la réduction des pertes thermiques

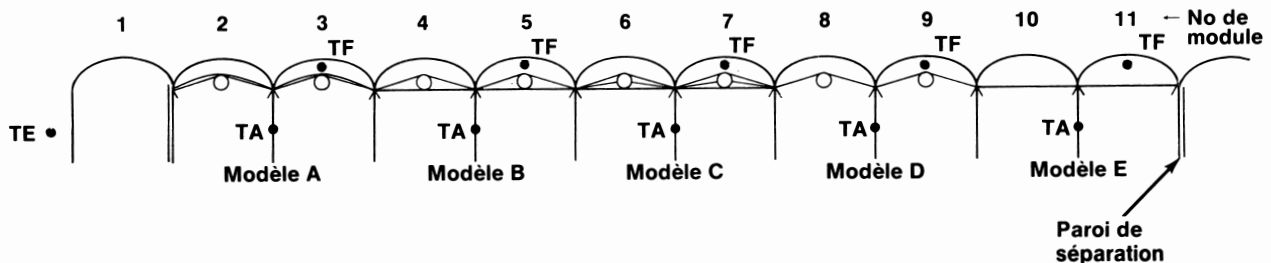


Figure 5. Disposition des écrans dans la serre.

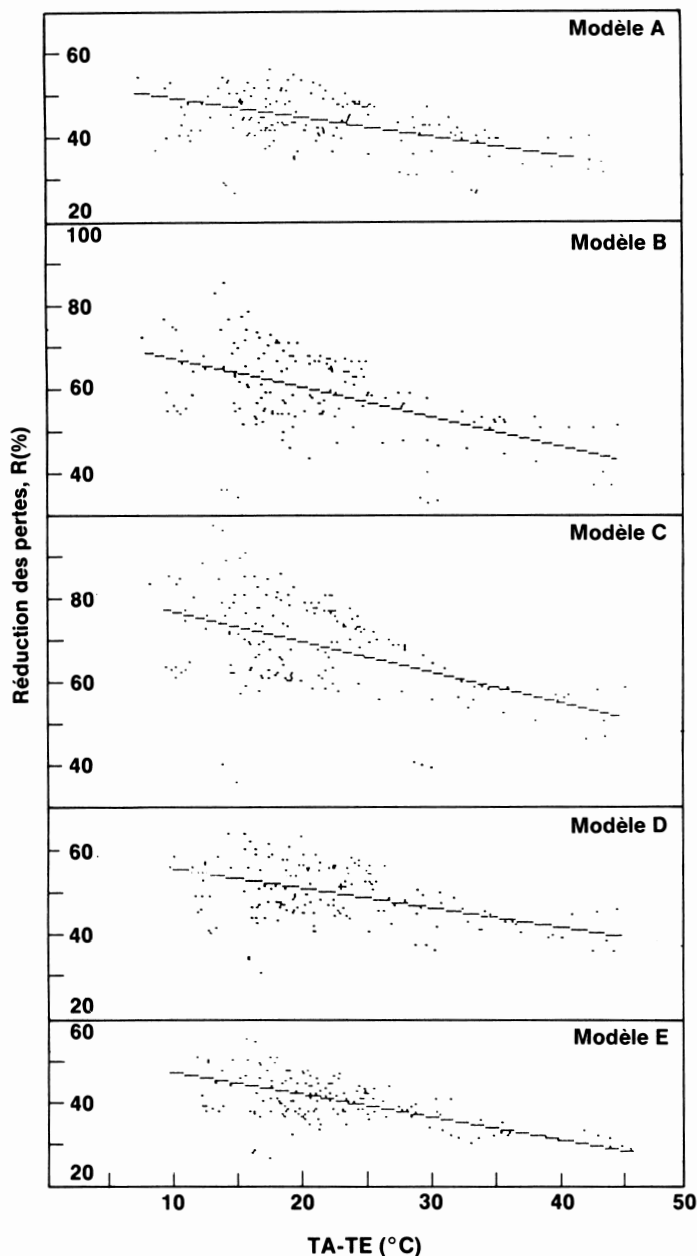


Figure 6. Réduction des pertes thermiques par la toiture en fonction du type d'écran (1984).

de 60% calculée pour des écrans thermiques fabriqués en "FOYLON" (Boateng 1984) et distribués commercialement depuis le début des années 80. Le comportement des modèles A et B, montre bien l'importance des coussins d'air entre les films car ces deux modèles sont identiques sauf sur ce point; cet espacement d'air a permis des économies, de 15% supérieures, dans le cas du modèle B. La réduction moyenne produite par l'écran D, fait d'une seule épaisseur de polyéthylène translucide, a été supérieure à celle produite par le modèle A formé de deux films (l'un absorbant et l'autre réfléchissant) directement superposés.

Afin d'observer les tendances en fonction de (TA-TE), on a tracé la droite de régression pour chaque graphique (fig. 6). Le coefficient de corrélation est faible à cause de la dispersion des points et de la faible pente des droites. L'interprétation suivante est donc, strictement parlant, spéculative mais, comme elle recoupe les observations faites sur le terrain, il nous a paru

intéressant de la mentionner ici. La pente semble plus prononcée pour les écrans ayant une meilleure résistance thermique, ainsi que pour l'écran perméable E. Ce phénomène s'explique par un effet de cheminée causé par la différence de température entre l'air ambiant de la serre et le volume compris entre l'écran et la toiture. Plus la différence de température est grande plus l'effet de cheminée est important donc, les écrans offrant plus de résistance au transfert de chaleur sont davantage affectés par ce phénomène. Quant à l'écran perméable E il permet plus facilement le passage de l'air, d'où la pente plus prononcée de la régression malgré une résistance thermique relativement faible.

On a aussi estimé une résistance thermique globale pour chaque type d'écran. Les valeurs ont été utilisées pour calculer la réduction des pertes thermiques par une seconde méthode. Les résultats produits par les deux méthodes sont très proches (écarts généralement inférieurs à 5%). Ce paramètre qui inclue la résistance de l'écran lui même et l'effet de cheminée qui constituent deux résistances en parallèle n'est pas caractéristique de l'écran, et a peu d'intérêt en soi. Les valeurs en sont données dans Houle et col. (1986).

Autres observations

Le mylar aluminisé n'a pas résisté aux contraintes causées par les déploiements et replis des écrans; les films de mylar se sont tous déchirés en plusieurs endroits au bout d'un certain temps. Le polyéthylène noir s'est percé en de nombreux endroits (orifices de moins de 3 mm de diamètre), peut-être à cause de très petits trous créés pendant la fabrication des écrans et qui s'agrandissent à l'usage. Le ruban adhésif utilisé pour l'assemblage de certains écrans s'est décollé.

L'eau de condensation avait tendance à s'accumuler sur les écrans constitués d'un matériau imperméable, malgré la pente créée par les tubes gonflés (fig. 3). Afin de corriger cette situation, on a réalisé entre les deux périodes d'évaluation, un nouveau modèle d'écran (modèle F), constitué de deux films de polyéthylène transparent scellés ensemble à leur périmètre, et entre lesquels on injecte de l'air (fig. 7). Le matériau transparent constituant cet écran permet d'observer l'écoulement de l'eau. Le fait de gonfler l'écran directement entre les deux parois a l'avantage de créer une force de résistance qui soit quasi parallèle et en sens opposé à la force due au poids de l'eau. D'autre part, la pente de la paroi supérieure est plus forte vers les bords qu'au centre, ce qui réduit le risque de formation de nappes d'eau. Un seul écran de modèle F a été construit et il a été installé dans le module 8 en remplacement d'un écran modèle D détérioré pendant la première période. Le nouvel écran a été relié au système de distribution d'air servant à gonfler les tubes des autres écrans, cependant un petit ventilateur supplémentaire a dû être installé pour accélérer le dégonflement de cet écran. Entre les deux périodes d'évaluation, on a également amélioré l'étanchéité du périmètre de tous les écrans thermiques.

Deuxième période d'évaluation

La figure 8 présente les résultats de la deuxième période d'évaluation, mais y sont également portés les régressions linéaires des deux périodes de mesure pour fin de comparaison. En règle générale, la pente des droites de régression a diminué ce qui indique que les améliorations des joints d'étanchéité du périmètre des écrans ont été efficaces. Tous les résultats montrent aussi une diminution des performances en 1985 par

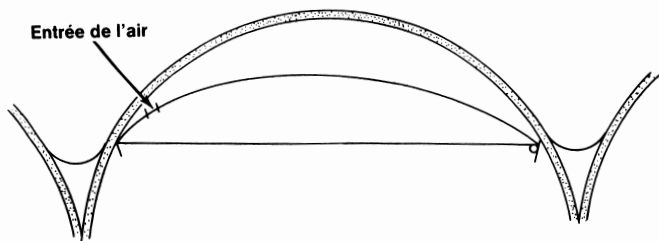


Figure 7. Ecran modèle F.

rapport à l'année précédente; ceci peut s'expliquer par le détérioration de certains écrans (modèles A, B et C), le décollement fréquent de l'écran du modèle D et le fait que l'hiver 1985 a été plus froid que l'hiver 1984. Le graphique illustrant les résultats relatifs à la réduction des pertes par le modèle F montre une dispersion importante des points et un rendement global relativement faible pour un écran fait de deux épaisseurs de matériau séparées par une couche d'air. On peut présumer que ces deux phénomènes sont dus à la transparence de l'écran aux radiations émanant du sol, surtout lorsque le ciel est sans nuage.

ANALYSE ECONOMIQUE

L'analyse économique comprend une évaluation du coût des écrans et du système de traction, une estimation des économies réalisables avec les écrans utilisés et une analyse de la rentabilité des installations. Cette analyse est spécifique à la serre utilisée et au système de traction en place.

Coût des composant du système

Le coût du système de traction des écrans pour 19 modules, non installé, est d'environ 10 000\$ (1985), incluant le système de contrôle. Le temps d'installation des équipements a été estimé, à partir de notre expérience sur ce projet, à 200 heures-personnes. On a fixé le salaire de la main-d'oeuvre à 10\$/h. Le coût de l'installation du système de traction serait donc d'environ 2000\$, et le coût total de 12 000\$.

Les coûts des écrans thermiques présentés au tableau I sont ceux estimés en 1985 pour la région de Montréal. Le temps requis pour la fabrication et l'installation des écrans est basé sur celui qui nous a été nécessaire. Les temps indiqués et les coûts sont projetés, pour chaque modèle d'écran, à la fabrication et à l'installation de 19 écrans. La surface au sol de la serre entière est de 2 760 m².

Economies de chauffage

Dans le cadre de ce projet (Houle et col. 1986) les fonctions reliant les pertes thermiques par la toiture à la différence de température TA-TE, ont été établies pour les modules témoins sans écran et pour les modules avec écrans. Ces fonctions et les données météorologiques moyennes de la région de Montréal (Hay 1977) ont été utilisées pour simuler les pertes thermiques pendant toute la saison de chauffage. Les résultats des simulations sont résumés au tableau II.

Le tableau III donne la quantité totale (jour et nuit) de chaleur à fournir annuellement ainsi que le coût de chauffage correspon-

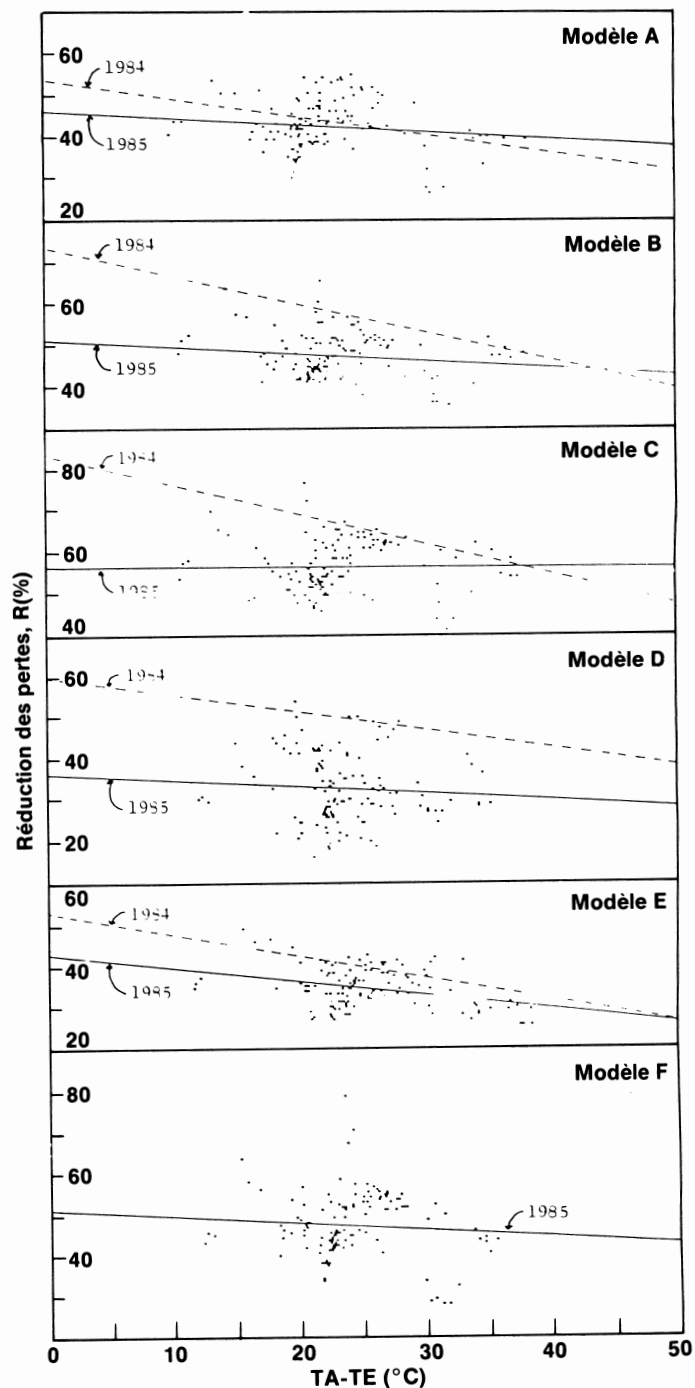


Figure 8. Réduction des pertes thermiques par la toiture en fonction du type d'écran (1985).

dant par unité de surface au sol et pour les 19 modules. Le calcul de la quantité totale de chaleur à fournir d'octobre à mai est basé sur deux hypothèses: 80% du chauffage nocturne sert à compenser les pertes par la toiture pour les modules avec et sans écrans et, sur une base annuelle, 75% du chauffage est fourni la nuit dans une serre (IBI 1979). Le coût de l'énergie a été estimé à 0.03 \$/kWh ce qui correspond à environ 0.25 \$/L pour de l'huile no. 2 brûlée dans un calorifère ayant un rendement de combustion saisonnier de 78%.

Le tableau IV présente une évaluation du temps d'amortissement du système et du pourcentage global d'économie. Le temps

Table I. Cout des ecrans thermiques (1984)

Modèle	Matériaux (\$)	Fabrication† (\$)	Installation† (\$)	Total	
				(\$)‡	(\$/m ²)
A	1 650	1 140	760	3 550	1.28
B	1 650	1 140	760	3 550	1.28
C	2 225	1 520	760	4 505	1.63
D	1 800	760	760	3 320	1.20
E	5 050	760	380	6 190	2.24
F	2 280	1 140	760	4 180	1.51

†Base de calcul: coût de main d'oeuvre = 10\$/h.

‡Pour 19 écrans d'une superficie totale de 2760 m².

Tableau II. Chaleur moyenne perdue par la toiture des modules durant la nuit (kWh/m²)

Modèle	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Total
A	13.3	26.4	36.9	56.9	38.3	26.9	17.1	5.8	220.1
B	7.1	18.3	27.6	45.8	30.2	20.2	11.5	2.0	161.7
C	4.2	14.0	22.3	38.5	25.1	16.3	8.6	0.3	128.6
D	10.6	22.7	32.5	51.4	34.4	23.8	14.6	4.1	192.6
E	12.9	27.3	38.9	61.2	41.0	28.4	17.6	5.2	230.8
F	12.3	23.7	32.7	49.9	33.7	23.8	15.4	5.6	195.4
Témoin	26.5	46.0	61.2	89.5	61.1	44.5	30.4	13.3	369.3

Température ambiante de la serre, TA = 20°C

Tableau III. Cout de chauffage annuel

Modèle	Chaleur totale à fournir (kWh/m ²)	Coût de chauffage annuel	
		Total (\$)	Unitaire (\$/m ²)
Témoin	615	50 922	18.45
A	429	35 521	12.87
B	356	29 477	10.68
C	315	26 082	9.45
D	395	32 706	11.85
E	443	36 680	13.29
F	398	32 954	11.94

d'amortissement étant court, on ne tient pas compte de l'intérêt encouru ni de l'entretien du système. Cette estimation est valable dans le cas d'une utilisation continue de la serre et pour une température intérieure maintenue à 20°C. Dans le cas d'une utilisation plus restreinte de la serre, le calcul devrait être fait à partir du tableau II. Pour une utilisation annuelle de la serre et pour une température intérieure de 20°C, tous les modèles d'écran s'amortissent en une année ou moins. Comme, en fait, le système complet (écrans et traction) s'amortit à ce rythme, lorsque les écrans devront être remplacés, le temps d'amortissement sera beaucoup plus court puisque le système de traction sera encore utilisable et déjà amorti. Les coûts donnés pour le système de traction et les écrans thermiques n'incluent pas de profit puisque l'on considère que les travaux sont faits par le serriculteur; dans le cas d'une installation commerciale, la période d'amortissement serait probablement proche de 2 ans. Ces résultats offrent une alternative économiquement intéressante pour les serriculteurs de la région de Montréal car la période d'amortissement des écrans thermiques commerciaux fabriqués en "FOYLON", varie entre 5 et 6 ans (Boateng 1984).

Tableau IV. Amortissement des installations

Modèle	Traction (\$/m ²)	Ecrans (\$/m ²)	Economies de chauffage		Amortissement (an)
			(\$/m ²)	(%)	
A	3.56	1.28	5.58	30	0.87
B	3.56	1.28	7.77	42	0.67
C	3.56	1.63	9.00	49	0.58
D	3.56	1.20	6.60	36	0.72
E	2.92†	2.24	5.16	28	1.00
F	3.56	1.51	6.51	35	0.78

†Ces écrans ne nécessitent pas de réseau de distribution d'air.

Comparaison des matériaux

Au cours du projet on a pu faire les observations suivantes sur les matériaux utilisés.

— Les performances thermiques d'un matériau aluminisé n'ont pas démontré qu'il soit essentiel d'avoir un tel matériau réfléchissant, du moins, dans le cas d'une serre chauffée à l'air; il est possible qu'un tel matériau soit plus approprié pour une serre chauffée par tubes radiants.

— Le polyéthylène noir est le moins coûteux des films utilisés, il est souple et non-hygroscopique; cependant sa durabilité semble limitée. Ce matériau possède des caractéristiques intéressantes au niveau thermique, mais ne peut pas servir comme ombrière; par contre, si le producteur a davantage besoin de contrôler la photo-période, ce matériau s'avère un bon choix.

— Le film de polyéthylène translucide blanchâtre s'est avéré un très bon matériau pour retenir la chaleur la nuit et, de par sa translucidité, il est utilisable comme ombrière. Ce film est très résistant, cependant il est hygroscopique; il a été observé que de très nombreuses gouttelettes d'eau se formaient sur la face inférieure du film durant la nuit ce qui résulte en un égouttement d'eau froide sur les plants. Il serait donc très intéressant d'utiliser ce matériau en le doublant, sur le côté inférieur de l'écran, d'un autre film moins hygroscopique (un polyéthylène transparent de type "antibuée", par exemple).

— Le TERYLENE LS56 a procuré les réductions de pertes thermiques les plus faibles quoiqu'encore très appréciables. Ce matériau est facile à installer, ne requiert pas de pente ni d'air soufflé et est très durable. Son coût est plus élevé, mais sa durabilité compense ce désavantage.

— Si des matériaux imperméables doivent être utilisés pour la fabrication d'écrans, la configuration du modèle F est conseillée. Cette technique est relativement simple et a donné des résultats très satisfaisants. Cependant, il est déconseillé de fabriquer un tel écran en utilisant deux couches de polyéthylène transparent; l'utilisation d'un polyéthylène translucide comme couche supérieure devrait donner des résultats intéressants.

— Dans toutes constructions de systèmes d'écrans thermiques rétractables, il est très important de bien étanchéiser le pourtour des écrans surtout dans le cas d'écrans à grande efficacité thermique.

CONCLUSION

Cette étude a démontré qu'une installation d'écrans thermiques dans les serres, en climat nordique, est très rentable. C'est un moyen simple et efficace de rendre les serriculteurs plus compétitifs sur le marché et de favoriser une utilisation moins sporadique des installations déjà en place par la réduction des coûts d'opération liés au chauffage des serres.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé dans le cadre d'un contrat avec Agriculture Canada (No. 20SU.01916-2-ER25); H.A. Jackson en était conseiller scientifique. Les installations ont été construites dans la serre de G. Jacqmain, propriétaire et exploitant des SERRES SOLABRIS; monsieur Jacqmain a défrayé certains coûts des installations et a contribué de façon critique, par son travail et ses suggestions à la réalisation de ce projet. Nous tenons à le remercier tout particulièrement. La firme LES INDUSTRIES HARNOIS a fourni gratuitement les films de polyéthylène translucide; nous tenons à les remercier également. Enfin, nous tenons à remercier messieurs Réal Audet et Michel Falardeau qui ont participé à certaines phases de ce projet.

REFERENCES

BLOM, T. J. et F. J. INGRATTA. Publ. 65. Energy conservation in Ontario greenhouses. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto, ON. Publ. 65.
BLOM, T. J., INGRATTA, F. J. et J. HUGHES. Publ. 40. Greenhouses. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto, ON. Publ. 40.

BOATENG, A. A. 1984. Greenhouse energy conservation with thermal night curtains. M.S. Eng. Thesis, University of New Brunswick, Fredericton, NB.
CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC. 1984. Légumes de serre. AGDEX 290/20, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
DALLE, Y. 1985. Device for opening out and folding back one or more thermal screens inside a hothouse. Canadian Patent no. 1,190,845.
GREEN, G. H. et E. A. MAGINNES 1983. Method and apparatus for retaining heat in greenhouse and similar structure. U.S. Patent no. 4,387,533.
GREGORY, W. T., Jr. 1981. Greenhouse tubular insulation barrier. U.S. Patent no. 4,290,242.
HAY, J. 1979. Analyse de données sur le rayonnement solaire pour des sites sélectionnés au Canada. Environnement Atmosphérique.
HOULE, J. F., M. BRICAULT, et J. PARIS 1986. Réalisation et évaluation de couvertures thermiques pour serre rapport final, Contrat #20SU.01916-2-ER25, Agriculture Canada, Ottawa, ON.
IBI Group and Hooper and Angus Associates 1979. Solar technics and the Canadian Greenhouses contrat no. 0782.01843-8-1823, Agriculture Canada, Ottawa, ON.
SMITH, R. W. et H. FRANK 1982. Movable infaltable ceiling or partition for greenhouse use U.S. Patent no. 4,352,259.