

Systeme de deploiement d'une couverture pour abris en forme de tunnel

JACQUES ALLAIRE¹, DANIEL LORD¹, MARIUS ALLAIRE¹, et H. A. JACKSON²

¹Département des Sciences Fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, PQ, Canada G7H 2B1; et

²Agriculture Canada, Direction de la recherche, Centre de recherche Zootechnique, Ottawa, ON, Canada K1A 0C6. Contribution no. C-066, reçue le 2 janvier 1989, acceptée le 23 août 1989.

Allaire, J., Lord, D., Allaire, M. et Jackson, H. A. 1990. **Systeme de deploiement d'une couverture pour abris en forme de tunnel.** Can. Agric. Eng. 32: 123-128. Le deploiement d'une couverture dans un abri (serre ou tunnel) permet au producteur de reduire ses couts de chauffage nocturne, d'ombrager les plantes durant le jour ou de leur fournir un traitement photoperiodique specifique a tout moment de l'annee. Pour des abris en forme de tunnel, cependant, il n'existe pas de systeme de deploiement de couverture qui soit a la fois fiable et peu couteux. L'objectif de cet article est de decrire un systeme automatise de deploiement de couverture qui a ete developpe specifiquement pour des abris en forme de tunnel. Le principe d'ouverture est base sur l'enroulement de la couverture autour d'un rouleau depose sur une structure interne legere qui suit le contour de l'abri. L'enroulement se produit lorsque des cordes de nylon qui font le tour de la couverture sont tirees vers le haut de l'abri, la friction entre les deux materiaux etant alors suffisante pour donner un mouvement de rotation au rouleau. Les cordes de nylon sont epissees a un cable d'acier inoxydable situe au faite de la serre et dont l'une des extremités est attachee au tambour d'un treuil manuel ou motorise. La mise en action du treuil enroule le cable, lui-meme tirant sur les cordes de nylon, la resultant etant l'enroulement de la couverture autour du rouleau. Un ensemble de poulies dirige le cable et les cordes vers le tambour du treuil. Le deroulement en vue de la fermeture complete ne fait appel qu'a la force gravitationnelle suite a la suppression de la tension sur le cable tracteur. Tout le systeme peut etre automatise et controle soit par une horloge mecanique, soit par micro-informatique. Utilise intensivement, ete comme hiver, depuis trois ans dans les serres de l'Universite du Quebec a Chicoutimi, ce systeme de deploiement relativement peu couteux apparait fiable et polyvalent.

The use of thermal curtains during the night permits greenhouse growers to greatly reduce their heating costs. These curtains can also be used to shade the plants or for photoperiod control. The lack of viable low-cost deployment systems for tunnel greenhouses has limited the use of curtains in this type of structure. The objective of this article is to describe an automatic thermal curtain deployment system which was specifically developed for tunnel greenhouses. The principle used to open the curtain is to roll it up on a 50-mm-diameter roller attached to a light-weight frame inside the greenhouse. Rolling up the curtain is accomplished by nylon ropes with friction between the curtain and rope being sufficient to force the roller to turn and wrap the curtain around it as the rope is retracted; the friction is small enough that it does not cause any significant damage to the curtain surface. The nylon ropes are spliced to a steel cable located at the top of the greenhouse; one end of the steel cable is attached to a winch. Activating the winch rolls up the steel cable which in turn pulls the nylon ropes and rolls the curtain around the roller. A system of pulleys guides the steel cable and nylon ropes toward the winch. Gravitational force is used to close (unroll) the curtain. The complete system can be automated and controlled by a timer or a micro-computer. Used extensively summer and winter in the University of Quebec at Chicoutimi greenhouses, the relatively low-cost deployment system appeared viable and multi-functional.

INTRODUCTION

Le deploiement d'une couverture thermique durant la nuit reduit les besoins en chauffage d'une serre (Commission of the European Communities 1977; Blom *et al.* 1978; White 1979). Dans la region de Montreal, par exemple, le deploiement nocturne d'une couverture thermique au printemps et a l'automne a permis une reduction de 12% de la consommation energetique des serres, malgre le fait que le systeme n'etait pas tres etanche (Paris *et al.* 1988). Dans une region plus chaude comme le New Jersey, l'utilisation d'une couverture thermique reduit de 43% les besoins en chauffage d'un compartiment de serre de polyethylene (Simpkins *et al.* 1976). Sous les conditions plus froides du Saguenay-Lac St-Jean, l'utilisation systematique d'une couverture aluminisee deployee manuellement dans une serre de recherche en forme de tunnel a permis des economies de chauffage de l'ordre de 50 a 60% (Gallagher et Vonarburg 1981).

Différents mecanismes de deploiement de couvertures thermiques dans un abri ont deja ete decrits (Bonneau et Gallagher 1984; Campbell *et al.* 1987; Paris *et al.* 1988). Cependant, aucun systeme mecanique fiable et abordable de deploiement de ces couvertures n'est, a notre connaissance, encore disponible pour l'abri individuel en forme de tunnel.

Le premier objectif de cet article est de decrire un systeme de deploiement de couverture qui a ete specifiquement developpe pour cette forme d'abri. Il porte le nom de "Systeme a Rouleau pour le Deploiement de Couverture" (SRDC) et peut servir a des fins d'economie d'energie la nuit, de creation d'ombre le jour, ou de traitement photoperiodique specifique a tout moment de l'annee.

Un second objectif vise a evaluer qualitativement le comportement de ce mecanisme de deploiement lorsqu'utilise a des fins d'economie d'energie durant une production hivernale de tomates de serre et a des fins d'economie d'energie et de traitement photoperiodique lors d'une production d'hiver d'epinette noire cultivee en recipients. Les couts d'achat, de mise en place et d'operation du systeme de deploiement de la couverture sont aussi estimes, suivi d'une evaluation de la rentabilite economique du systeme pour differentes regions du Quebec.

CRITERES RETENUS

Le systeme de deploiement de couverture doit etre fiable et automatisable afin de pouvoir fonctionner sans operateur. Il ne doit pas interferer avec les equipements de controle du micro-climat de l'abri (chauffage, ventilation,...) ou de regie de production (fertilisation, CO₂,...). Le systeme choisi doit occuper

le minimum d'espace utile et le choix des pièces doit tenir compte du milieu corrosif et à grand écart thermique dans lequel va travailler le mécanisme. Enfin, les coûts d'achat et de fonctionnement du système de déploiement doivent permettre une récupération rapide du capital investi, ce qui limite la possibilité de recourir à des pièces usinées.

DESCRIPTION DU SRDC

Le fonctionnement du SRDC est basé sur l'adaptation d'un mécanisme permettant l'enroulement d'une couverture sur un rouleau de faible diamètre qui fait toute la longueur de l'abri. Les deux rouleaux, un pour chaque côté de la serre, s'appuient sur les arches d'une structure interne légère qui suit le contour de l'abri (figure 1). Lors de la remontée de la couverture, un système d'entraînement oblige un câble tracteur à s'enrouler sur le tambour d'un treuil (figure 2). En s'enroulant, le câble tracteur tire sur des cordes d'enroulement, les faisant ainsi monter. Le mouvement de translation des cordes d'enroulement

entraîne le tube d'enroulement (le rouleau) de ce côté de serre dans un mouvement de rotation vers le haut, forçant ainsi la couverture attachée à celui-ci à s'y enrouler. La couverture enroulée est conservée au faite de l'abri durant le jour, car elle doit occuper le minimum d'espace utile durant la période de travail. Pour la descente de la couverture, la tension sur le câble tracteur est relâchée en inversant le sens de rotation du tambour. Une diminution de tension sur chacune des cordes d'enroulement s'en suit, ce qui, combiné à la force de gravité, agit sur le tube d'enroulement pour le faire dérouler jusqu'à la base de la serre. Les différentes composantes du SRDC sont montrées aux figures 1 et 2 et décrites ci-après.

Arches de support

Les arches de support sont fabriquées en tubes d'acier galvanisé de 1,27 mm d'épaisseur. Les tubes d'enroulement descendant par gravité, il faut donner un angle minimum de 20° au sommet des arches. Selon des calculs effectués à l'aide du programme STRESS (Structural Engineering System Solver, Eura Computer

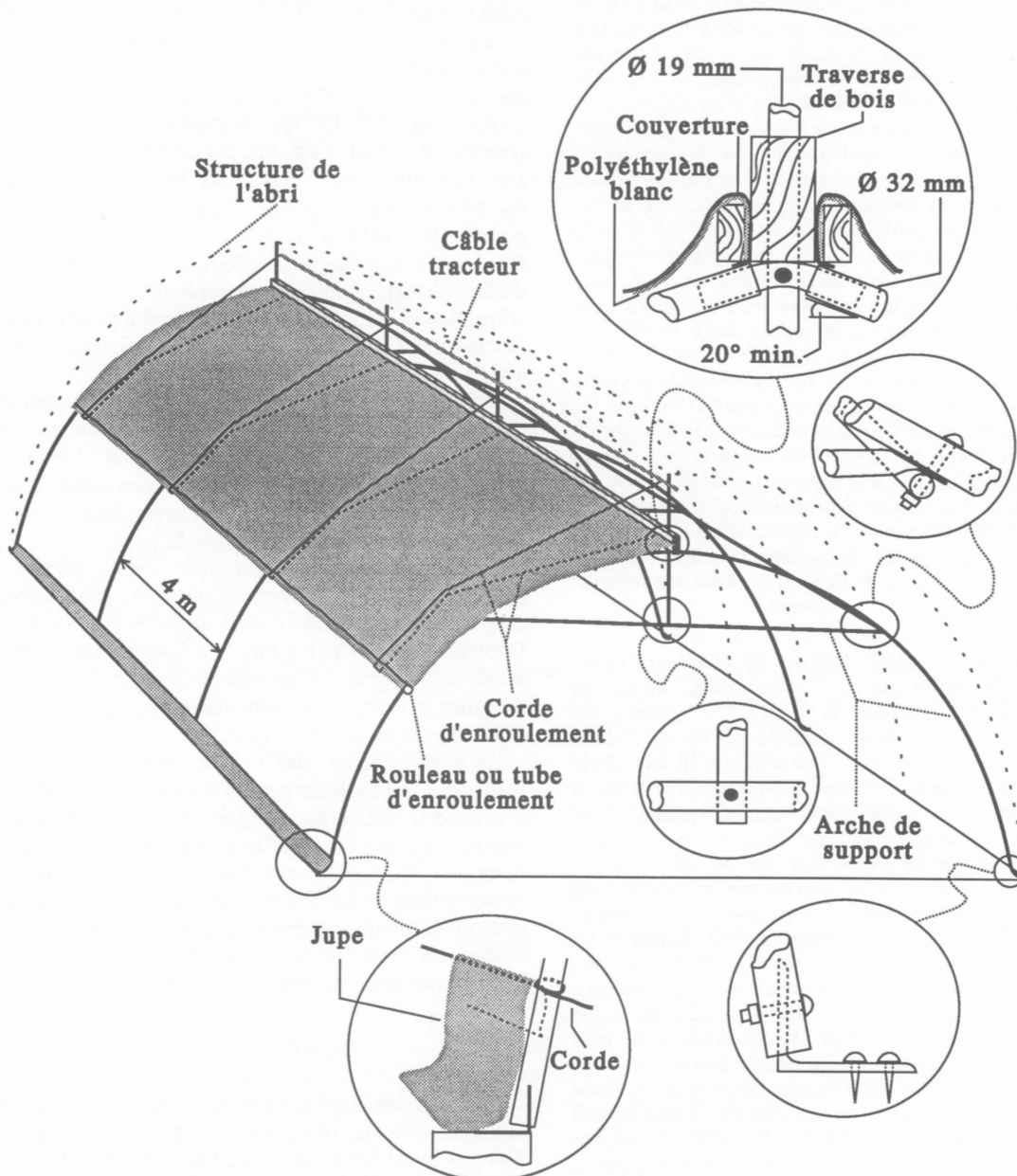


Figure 1. Vue tridimensionnelle du SRDC et détails des parties composantes.

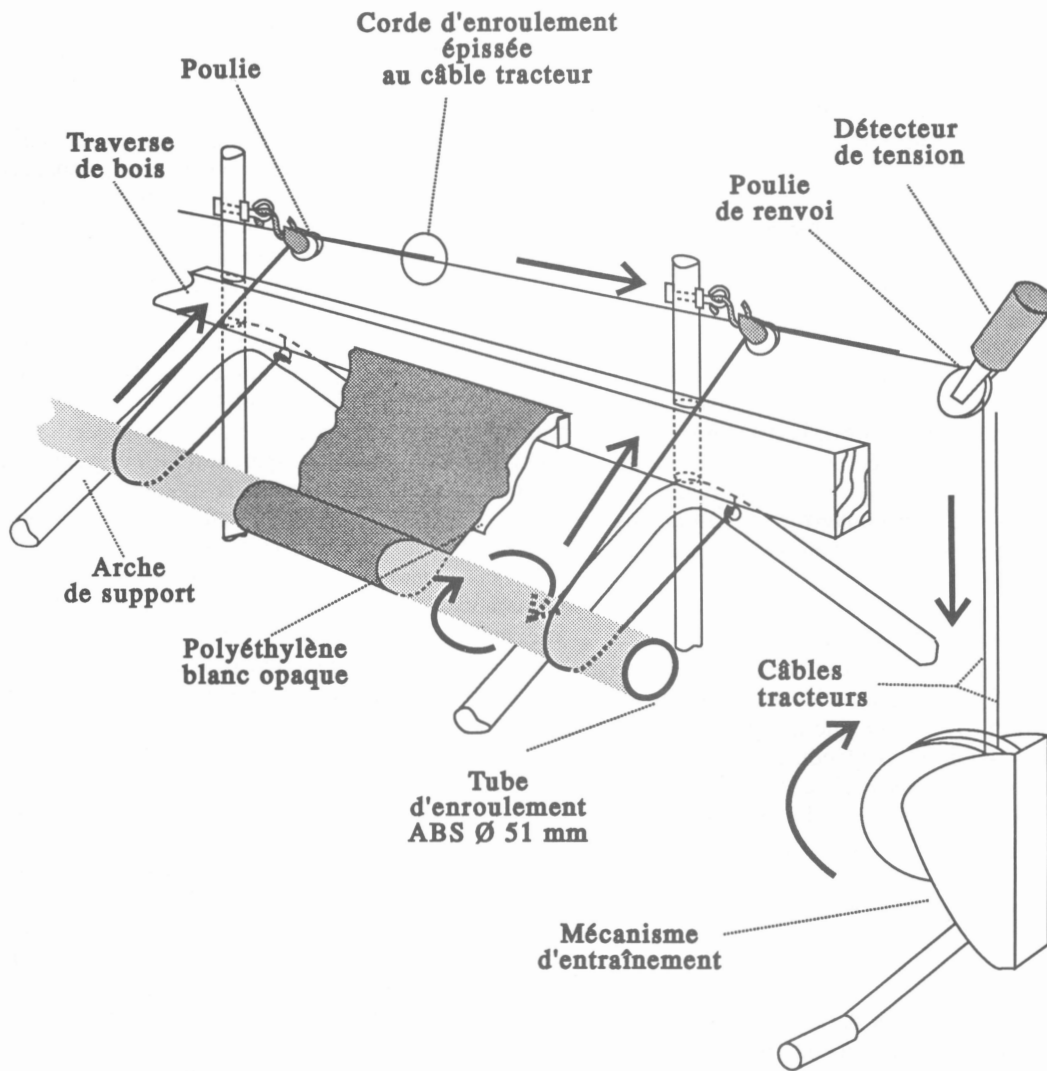


Figure 2. Principe de fonctionnement du SRDC et identification des composantes.

Systems, Caterham, Surrey, G.B.), la structure interne peut supporter un charge répartie de 0,24 kPa.

Tube d'enroulement (ou rouleau)

Les deux tubes d'enroulement situés de chaque côté de l'abri doivent être le plus rigide possible. Pour notre prototype, nous avons utilisé des tubes de 3,66 m de long en ABS haute densité collés bout à bout à l'aide de bagues internes en ABS du même type. Le diamètre de 51 mm (2") est le minimum avec lequel nous avons pu travailler. Plus petit, le tube d'enroulement glisse au lieu de tourner.

Câble tracteur

Les deux câbles tracteurs situés de chaque côté de la serre sont en acier inoxydable à double torons. Ils sont très souples et ont un diamètre de 2,38 mm. Ils peuvent supporter une charge de 510 kg.

Cordes d'enroulement

Les cordes d'enroulement doivent être souples afin de ne pas endommager la couverture. La corde de nylon tressé utilisée dans le prototype supporte jusqu'à 50 kg de charge. L'une des extrémités de chaque corde est fixée à la traverse de bois reliant les arches, alors que l'autre bout est épissée au câble tracteur.

La longueur de chacune des cordes doit être bien ajustée pour que les deux tubes d'enroulement soient supportés uniformément sur toute leur longueur, qu'ils soient droits en tout moment, et qu'ils s'appuient uniformément au faite de la structure du SRDC lorsque la couverture est en position rétractée.

Poulies

Les poulies doivent être de haute qualité afin de minimiser la friction et d'éviter le coinçage des cordes d'enroulement entre la roue et le boîtier des poulies. Deux poulies situées de part et d'autre du faite de la serre et pouvant chacune supporter une charge de 545 kg sont fixées au sommet de chacune des arches de support, de façon telle qu'elles puissent bouger dans tous les sens. Les deux poulies de renvoi situées à l'extrémité de l'abri où se trouve le mécanisme d'entraînement doivent être plus résistantes, car elles sont soumises aux contraintes cumulées des autres poulies.

Mécanisme d'entraînement

Chacun des deux câbles tracteurs est relié à un mécanisme d'entraînement constitué d'un treuil à manivelle avec tambour séparé en deux. Cette séparation assure l'enroulement indépendant des deux câbles tracteurs sur chacun des côtés du tambour. Le treuil utilisé pour notre prototype peut supporter une charge de 700 kg.

Un moteur électrique standard d'une puissance nominale de 186,5 W (1/4 Hp) tournant à 1725 tpm peut être relié au mécanisme d'entraînement. Pour assurer en tout temps une utilisation sécuritaire de la fonction manuelle du système, la courroie reliant le moteur au treuil doit être contrôlée par un tendeur qui sert à couper le lien mécanique entre le moteur et le treuil. L'opération manuelle du treuil est utile lors de bris ou de panne électrique, par exemple. Au système électrique peut s'adjoindre un système de contrôle électronique avec détecteurs de tension du câble tracteur, ce qui permet un fonctionnement automatisé du mécanisme d'entraînement.

Couverture thermique ou ombrageante

Pour notre prototype, une couverture souple de polyéthylène noir de 80 μm d'épaisseur est fixée au faite de la structure interne de support. Afin de prolonger sa durée de vie, une bande de polyéthylène blanc opaque est collée sur sa face intérieure, au haut de la couverture. La partie de la couverture qui est la plus exposée au rayonnement UV lorsqu'elle est en position retractée est ainsi protégée.

Fixation de la couverture au tube d'enroulement

La fixation de la couverture au tube d'enroulement se fait à l'aide de bandes de ruban adhésif placées à tous les mètres environ. Le bon fonctionnement du SRDC exige que le tube d'enroulement soit le plus droit possible et suspendu à la couverture lorsque celle-ci est fermée. Cette nécessité découle du fait qu'il se forme des plis dans la couverture thermique lors de la descente, et qu'il faut enlever ces plis pour que la remontée s'effectue toujours de la même façon. Si le tube est suspendu à la couverture à la fin de chaque descente, elle redevient tendu et les plis se défont.

Jupe

Le déploiement complet et en tension de la couverture exige donc que le tube d'enroulement soit suspendu à quelques cm au-dessus du sol. Afin d'assurer un maximum d'étanchéité lorsque la couverture est fermée, on installe une "jupe" à la base des arches de support. Celle-ci peut être faite du même matériau que la couverture.

ÉVALUATION DU PROTOTYPE

Respect des critères opérationnels

Le premier prototype du SRDC a été utilisé en 1985 pour une culture hivernale de tomate en plein sol. Deux productions d'épinière noire semées en janvier et cultivées en récipients sous serres ont aussi été évaluées en 1986 à l'aide de deux prototypes améliorés. Toutes ces cultures étaient divisées en parcelles expérimentales, les plantes subissant divers traitements de lumière, de température nocturne de l'air et autres. L'opération quotidienne de la couverture à des fins d'économie d'énergie ou d'opération plus ponctuelle comme un traitement photopériodique n'a pas influencé la croissance, le développement ou le rendement des plants non-traités servant de témoins (Lord *et al.* 1988). Les différents traitements expliquaient toujours la plus grande partie de la variabilité retrouvée entre les parcelles. De plus, le SRDC n'a jamais interféré avec les différents équipements de contrôle du microclimat des serres et de régulation de culture.

La perte d'espace utile et l'encombrement causés par la présence des divers éléments du SRDC sont négligeables. La structure interne légère n'enlève que 0,2 m à la largeur de la serre et rien à sa longueur; de plus, la surface perdue se situe trop

près de l'enveloppe de la serre en forme de tunnel pour qu'elle soit réellement utile.

La présence des tubes d'enroulement au faite de la serre orientée est-ouest pourrait occasionner une perte de luminosité durant la journée. Les observations et mesures radiométriques prises à l'intérieur des serres afin d'évaluer l'importance du phénomène indiquent cependant que cette perte est négligeable sur une base annuelle. La section ombragée par le SRDC atteint à peine 0,5 m et se déplace continuellement durant une journée et durant l'année. En hiver, l'angle du soleil est très bas sous nos latitudes et la zone ombragée se retrouve le plus souvent sur la paroi nord de la serre. En été, les jours sont longs et la zone ombragée se déplace rapidement. Nos mesures indiquent aussi que l'intensité de la lumière diffuse demeure importante dans la zone ombragée. Il faut aussi spécifier que l'effet ombrageant d'un tube transparent relié à un ventilateur à action positive situé au haut d'une serre (communément appelé "fan-jet") est beaucoup plus important, la perte de luminosité due au SRDC devenant alors pratiquement nulle.

Ni la condensation, ni les grands écarts thermiques, atteignant jusqu'à 35°C durant une journée entre la couverture et le recouvrement de la serre, n'ont altéré le bon fonctionnement du système de déploiement. Il se produit effectivement un peu de condensation sur le côté froid de la couverture, sauf que la forme en tunnel du système dirige l'eau au pourtour de la serre.

L'usure ou la corrosion des différentes composantes du SRDC n'est pas encore visible après deux ans d'utilisation quasi-quotidienne, ce qui laisse présager plusieurs années d'utilisation et une période d'amortissement allongée. Le film de polyéthylène servant de couverture thermique ou ombrageante n'a pas été usé autant que nous le prévoyions par les cordes d'enroulement. En fait, la couverture est surtout endommagée à sa partie supérieure par les rayons UV. D'où l'intérêt de coller une bande de polyéthylène blanc opaque traité contre les UV sur le côté intérieur, au haut de la couverture (figure 2). Selon nos estimations, cette bande devra être remplacée annuellement, alors que la couverture pourrait durer plus de cinq ans. Enfin, le mécanisme d'entraînement électrique et le système de contrôle électronique en place sur l'un des prototypes se sont avérés fiables.

Les éléments du prototype qui ont causé le plus de problème jusqu'ici sont les tubes d'enroulement en ABS. Ces tubes, et particulièrement celui situé sur le côté sud d'une serre orientée est-ouest, se déforment et fléchissent entre les arches de support lorsque le SRDC n'est pas utilisé pendant la période estivale. Lorsqu'il est remis en opération, les courbures du tube d'enroulement nuisent à son mouvement de rotation. Il serait donc souhaitable d'utiliser un type de tube plus rigide et surtout moins susceptible de se déformer. Il pourrait s'agir d'aluminium, d'acier galvanisé à paroi mince, ou d'un autre type de plastique. Un mécanisme de déroulement de la couverture permettrait au système d'être plus indépendant de la force de gravité lors du départ du cycle de descente, ce qui réduirait grandement la contrainte de la pente minimale de 20° au sommet des arches de support.

Respect des critères économiques

Coût d'achat et d'opération du prototype. Il en coûterait, en 1988, 9,33\$ CAN m^{-2} pour équiper une serre de 7,5 m par 30 m du SRDC, ce coût excluant le système automatisé de contrôle (tableau I). En supposant que la structure de support est amortie sur 15 ans, que les tubes d'enroulement, câbles tracteurs, poulies et mécanisme d'entraînement sont amortis sur cinq ans, et que les cordes d'enroulement et la couverture sont

Tableau I. Coût par unité de surface des différents éléments constituant le SRDC opéré avec moteur électrique mais sans le système de contrôle automatisé. Les coûts par unité de surface ont été calculés à partir d'un système occupant une serre individuelle en forme de tunnel de 7,5 m × 30 m (25' × 100')

Élément	Coût (\$Can m ⁻²)
Structure interne de support	2,39
Tubes d'enroulement	0,95
Câbles tracteurs	0,38
Cordes d'enroulement	0,18
Poulies	0,64
Mécanisme d'entraînement	0,72
Couverture (80 µm d'épaisseur)	0,57
Total matériaux	5,83
Estimation main d'oeuvre	3,50
Coût total	9,33

amorties sur trois ans, la dépréciation annuelle atteint 1,50\$ m⁻². À cela s'ajoutent les dépenses d'entretien et de réparation estimées à 5% du coût total, soit un montant de 0,47\$ m⁻². Les coûts totaux annuels d'opération totalisent donc 1,97\$ m⁻².

Économies d'énergie. Il est reconnu que l'utilisation de couvertures thermiques permet des économies d'énergie qui peuvent atteindre 60% sous certaines conditions extrêmes de nos hivers (nuit à -40°C et ciel clair) (Gallagher et Vonarburg 1981). Cependant, ce chiffre ne peut être utilisé sur une base annuelle, car le coefficient de transfert de chaleur de la couverture, donc son efficacité énergétique, varie selon la température extérieure, le gradient de température entre l'extérieur et l'intérieur de l'abri et l'état du ciel (Vonarburg et Gallagher 1982; Perelman et Gallagher 1983). Une économie de 25% des coûts de chauffage sur une base annuelle est un chiffre conservateur, mais il a l'avantage de fournir des conditions plus réalistes en regard de l'intérêt économique du SRDC à l'échelle commerciale.

En ne tenant compte que de l'aspect économie d'énergie dans l'utilisation du SRDC, celui-ci devra donc générer, sur une base annuelle, des économies de chauffage équivalentes au coût d'opération, soit 1,97\$ m⁻². Ce montant ne représentant que 25% du coût de chauffage annuel, la facture annuelle de chauffage devra donc atteindre 7,88\$ m⁻² pour qu'il soit rentable d'installer le SRDC dans une serre. En attribuant à l'huile #2 un coût de 0,27\$ L⁻¹, le coût total de 7,88\$ m⁻² équivaut donc à une consommation annuelle d'huile de 29,2 L m⁻². Ce chiffre peut être comparé à la consommation d'huile #2 nécessaire pour conserver un régime de température jour/nuit de 21/17°C dans une serre individuelle en forme de tunnel à double polyéthylène soufflé utilisée durant différentes périodes de l'année (Conseil des Productions Végétales du Québec 1984) et située dans les régions de Montréal, de Québec et du Saguenay-Lac St-Jean (figure 3). L'utilisation du SRDC est rentable au Saguenay-Lac St-Jean dès que la période de production recouvre au minimum les huit mois les plus chauds de l'année. Pour les régions de Montréal et de Québec, la période où le système génère des économies d'énergie est réduite d'un mois, tout au plus. Seuls les producteurs cultivant seulement l'été ne pourraient donc rentabiliser cet investissement sur la seule base des économies d'énergie.

Autres économies. Il existe d'autres applications où la rentabilité du SRDC ne se calcule pas uniquement en terme d'économie

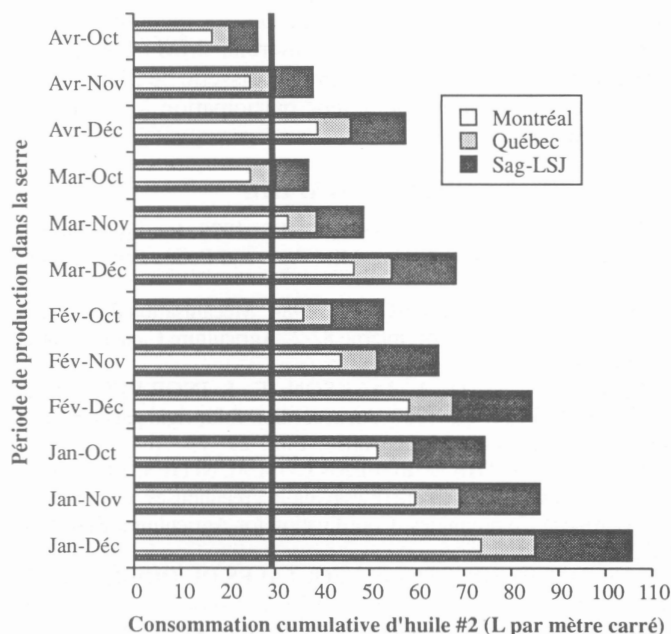


Figure 3. Consommation estimée d'huile #2 par mètre carré pour conserver un régime de température jour/nuit de 21/17°C dans une serre individuelle en forme de tunnel à double polyéthylène soufflé située dans les régions de Montréal, de Québec et du Saguenay-Lac St-Jean (Sag-LSJ). La période de production des serres représente la période de temps se situant entre le début et la fin des mois inscrits en ordonnée. La ligne noire correspond à la consommation d'huile #2 au-delà de laquelle il devient rentable d'utiliser un SRDC dans une telle serre.

d'argent, mais en terme de réduction des risques de perte économique. Par exemple, le SRDC permet l'utilisation routinière du traitement photopériodique pour l'entrée en dormance de conifères produits en récipients pour le reboisement. Ce traitement est de loin le plus sécuritaire (Dr. A. D'Aoust, Service canadien des forêts, com. pers.). Rappelons qu'il suffit d'un seul mauvais traitement de mise en dormance pour qu'un producteur perde une grande partie de ses plants lors des périodes froides de l'année, ceux-ci n'ayant pu s'endurcir adéquatement. L'aspect sécurité se quantifie mal en termes économiques à l'heure actuelle. Ce qui est connu, cependant, c'est que le problème de gel des plants est important en production de semis en récipients au Québec, et qu'un manque d'endurcissement causé par une mauvaise mise en dormance expliquerait une bonne partie des pertes causées par le gel.

CONCLUSIONS

Le principe à la base du fonctionnement du SRDC est valable, et le prototype respecte les critères opérationnels et économiques retenus au départ. En opération depuis deux ans dans des serres de recherche, il a démontré sa fiabilité sous toutes les conditions de l'année et ce, pour différents types de production, sans nuire aux différents équipements de contrôle et de régulation. La perte d'espace utile est négligeable, et l'utilisation du SRDC est rentable du point de vue énergétique dès que la période de production recouvre au minimum les huit mois les plus chauds de l'année.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du contrat 20SU.01843-1-EC12 avec Agriculture Canada. Une contribution financière

de la Fondation de l'Université du Québec à Chicoutimi a aussi été reçue. Les auteurs désirent remercier MM. Dominique Brassard, Daniel Gagnon et Sylvain Morissette de l'Université du Québec à Chicoutimi pour leur participation à la mise au point du SRDC.

BIBLIOGRAPHIE

- BLOM, T., F. INGRATTA, et J. HUGHES. 1978. Energy conservation in Ontario greenhouses. Ont. Min. Agr. and Food, Toronto, ON. Publ. 65.
- BONNEAU, D. et G. GALLAGHER. 1984. Mécanisation d'un tunnel à géométrie variable. Rapport interne 82-2, Agriculture Canada, contrat no 20SU.01843-1-EC12. 55 p.
- CAMPBELL, C. B., H. A. JACKSON, F. J. INGRATTA, T. J. BLOM et R. E. PLATTS. 1987. An accordion-fold, rigid panel thermal blanket for greenhouses. Can. Agric. Eng. 29: 73-76.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 1977. Technical and physical aspects of energy saving in greenhouses. Commission of the European Communities, Coordination for Agricultural Research, CEC.EUR 5679e.
- CONSEIL DES PRODUCTIONS VEGETALES DU QUEBEC. 1984. Légumes de serres: Culture. Agdex 290/20. Le Conseil des Productions Végétales du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 156 p.
- GALLAGHER, G. et J. J. VONARBURG. 1981. Heat energy comparison between a two layered conventional plastic greenhouse and a greenhouse utilizing the heat shielded interior plastic concept. Rapport à Agriculture Canada, contrat 07SZ.01843-01915. 50 p.
- LORD, D., J. ALLAIRE, H. BROUSSEAU, D. GAGNON, S. MORISSETTE, et D. WALSH. 1988. Le point sur le gauchissement. Actes du 3e atelier québécois sur la culture des plants forestiers en récipients, Chicoutimi, QC. 9 et 10 nov. 21 p.
- PARIS, J., J. F. HOULE, M. BRICAULT, et H. A. JACKSON. 1988. Conservation de la chaleur dans les serres par emmagasinage et rideau thermique, expérimentation en vraie grandeur. Can. Agric. Eng. 30: 133-142.
- PERELMAN, L. et G. GALLAGHER. 1983. Comparaisons des besoins de chauffage dans une serre à tunnel avec et sans écran thermique aluminisé. Rapport interne 83-4, Agriculture Canada, contrat 20SU.01843-1-EC12. 23 p.
- SIMPKINS, J. C., D. R. MEARS et W. J. ROBERTS. 1976. Reducing heat losses in polyethylene covered greenhouses. Trans. Am. Soc. Agr. Engrs. 19: 714-719.
- VONARBURG, J. J. et G. GALLAGHER. 1982. Mesure des coefficients de transfert d'un tunnel de grande dimension. Rapport interne 82-3, Agriculture Canada, contrat 20SU.01843-1-ED12. 25 p.
- WHITE, J. W. 1979. Energy efficient growing structures for controlled environment agriculture. Pages 141-171 in Jules Janick, ed. Reviews. Vol. 1. AVI Publishing Co. Inc., Westport, CT. 496 p.