Conservation de la chaleur dans les serres par emmagasinage et rideau thermique, experimentation en vraie grandeur

J. PARIS[1], J. F. HOULE[1], M. BRICAULT[1], et H. A. JACKSON[2]

[1]*Parinova Inc. et Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, et* [2]*Centre de recherche technique et statistique, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario K1A 0C6.* *Reçu le 12 septembre 1986, accepté le 28 mai 1987.*

Paris, J., Houle, J. F., Bricault, M. et Jackson, H. A. 1988. **Conservation de la chaleur dans les serres par emmagasinage et rideau thermique, experimentation en vraie grandeur.** Can. Agric. Eng. **30**: 133–142. On a évalué un système de gestion de la chaleur dans les serres qui utilise une couverture thermique, le stockage de la chaleur solaire exédentaire dans un lit de roches situé sous la terre de culture et l'abaissement de la température de consigne la nuit. L'utilisation conjointe de ces trois composantes du système a permis une économie de chauffage d'environ 40%. Le stockage de l'énergie solaire excédentaire représente environ le tiers de ces économies. L'échange thermique entre l'air chaud prélevé au faîte et les roches du réservoir se fait par contact direct air-roches; il a été démontré que cette technique limite la quantité d'air chaud circulé et réduit l'efficacité du système. On recommande d'utiliser un mécanisme de transfert de chaleur air-réservoir qui restreigne moins la circulation de l'air. De plus, il serait avantageux d'utiliser la couverture thermique comme ombrière le jour afin de réduire les besoins de ventilation de la serre pendant la journée et d'augmenter la température de l'air au faîte, entre la couverture thermique et la toiture de la serre, d'où est tiré l'air chaud circulé dans le réservoir. Les effets du système sur le développement des plants ont été observés et sont discutés.

Underfloor rock bed heat storage for excess daytime solar heat and a retractable thermal curtain for reducing nighttime heat losses were evaluated in a commerical greenhouse. The combined use of a thermal curtain, underground heat storage and lower night temperature allowed for a total energy saving of about 40%. The excess solar energy recovered and reutilized amounts to about a third of total savings. Heat exchange between the warm air withdrawn from the upper part of the greenhouse is effected by direct air-rock contact. The results of the experiment have shown that this type of exchanger design limits air flow and thus effectiveness of heat recovery. Designs which permit a freer air flow should be considered in future experiments. It would also be advantageous to utilize the curtain for shading during the day. Reducing greenhouse ventilation during the day would result in higher air temperatures in the space between the closed curtain and the roof of the greenhouse from which the warm air is withdrawn; this would increase the amount of excess heat recovered. Effects of the system on plants development were observed during the experiments and are discussed.

INTRODUCTION

Le coût de chauffage d'une serre est un fardeau sans cesse croissant pour l'exploitant. Pour une serre à modules jumelés, recouverte d'une double paroi de polyéthylène et utilisée à l'année longue (température intérieure maintenue à 20°C) dans la région de Montréal, on estime que l'énergie à fournir est environ 2200 MJ/m² (Paris et Houle 1985) soit environ 18,50 $/m² pour un producteur qui paierait le mazout 0,25 $/L. Ce coût continue d'augmenter au même rythme que celui de l'huile à chauffage. Il n'est donc pas surprenant que depuis un certain temps on se préocupe, au Québec comme ailleurs, de cette question puisque dans le coût global d'opération d'une serre, le chauffage est, généralement, le deuxième facteur après la main-d'oeuvre.

Des projets de recherche antérieurs ont porté sur l'emmagasinage de la chaleur solaire excédentaire reçue le jour dans les serres afin de réduire les coûts de chauffage la nuit. Wilson et coll. (1977) ont évalué un système qui fait circuler l'air chaud du faîte de la serre dans des réservoirs remplis de roches et situés sous les tables de culture; les économies réalisées ont été d'environ 10%. Willits et coll. (1979) ont évalué un système qui fait circuler l'air chaud de la serre dans un réservoir de roches enfoui à côté de la serre; les économies ont varié entre 10 et 13% lors des mois les plus froids. Staley et coll. (1981) ont étudié un système où l'air chaud du faîte de la serre est envoyé dans un lit de roches placé sous le sol de la serre. Finalement, le rapport STOR-10 du Conseil National de Recherches du Canada (NRCC 1981) présente une synthèse des expériences acquises et donne des informations pour le design, la construction et l'évaluation du stockage de la chaleur dans les lits de roches.

L'augmentation de la masse thermique de la serre permet de tirer un meilleur profit de sources d'énergie peu coûteuses, telles l'énergie solaire excédentaire et les rejets thermiques en provenance d'industries avoisinantes, grâce à l'emmagasinage et à la réutilisation, en temps voulu, de l'énergie reçue. Egalement, l'utilisation de couvertures thermiques rétractables permet de réduire les pertes thermiques nocturnes et le volume d'air à chauffer.

L'objectif de cette étude était d'évaluer le comportement thermique d'un système de gestion de la chaleur, en vraie grandeur, utilisant à la fois un réservoir de stockage thermique situé sous le sol de culture et une couverture thermique rétractable. L'enfouissement du réservoir de stockage sous le sol de culture procure les avantages suivants: Le volume utile de la serre demeure le même et le sol est maintenu à une température plus élevée ce qui permet de réduire la température de l'air de la serre sans pénaliser la croissance des plantes (Bricault et coll. 1982). La présente étude évalue les économies d'énergie imputables séparément à l'emmagasinage thermique, à la réduction de la température de la serre et à la couverture thermique. Egalement, des observations ont été faites quant à l'influence du système sur le développement des plants.

DESCRIPTION DU PROTOTYPE EXPERIMENTAL

Le système de gestion de l'énergie proposé a été conçu en se basant sur une étude faite par Paris et Laborde (1980). Il est principalement composé d'un lit de roches situé sous la terre de culture, d'un réseau de distribution et de récupération de l'air circulant dans la serre et le lit de roches ainsi que d'une couverture thermique. Le principe de fonctionnement du système est illustré à la figure 1. Le jour, lorsque l'énergie solaire est disponible en quantité plus que nécessaire, l'excès de chaleur est emmagasiné en faisant circuler, dans le lit de roches, l'air chaud prélevé au faîte de la serre. La nuit, si le lit de roches est à une température suffisante, le chauffage de l'air peut être assuré par circulation de l'air dans le lit de roches. Si nécessaire, on peut aussi chauffer le lit de roches afin de maintenir le sol à une température optimale.

Afin d'évaluer le système de gestion de la chaleur dans des conditions réelles d'utilisation, deux modules ont été ajoutés aux 17 modules jumelés d'une serre commerciale située à St-Jude (région de Montréal). Le système de gestion a été aménagé dans le 18e module et un module tampon a été ajouté en bout de serre. La figure 2 présente une vue en coupe du module expérimental. Les fondations sont isolées sur la face interne par des plaques de polystyrène de 50 mm d'épaisseur (RSI = 1,8). Le lit de roches occupe toute la superficie du module (5,2 × 28,0 m) et mesure 0,4 m d'épaisseur. Il est constitué de 102 tonnes de roches dépoussiérées de calibre 40 mm. Le lit de roches est recouvert d'environ 0,45 m de terre de culture et sa base est isolée. Egalement, le lit de roches est entièrement enveloppé de deux films de polyéthylène superposés empêchant ainsi les infiltrations d'eau en provenance du sous-sol ou de l'irrigation. L'air est distribué dans le lit de roches par des tubes en PVC (figures 3 et 4). Les tubes latéraux ont des parois pleines alors que les tubes transversaux de distribution et de récupération ont des parois perforées pour permettre le passage de l'air.

Un ventilateur d'une puissance de 1,9 kW force la circulation de l'air dans le lit. La ventilation normale de la serre est assurée par un ventilateur d'échappement (extracteur) encastré dans le mur nord-est. Cet extracteur n'est utilisé que si le système de gestion ne parvient pas à maintenir la température à un niveau acceptable pour la culture.

La couverture thermique est constituée d'une toile de fibres de polyester non-tissées, le Reemay 2016. Cette toile est perméable et translucide et peut aussi servir pour ombrager la serre durant le jour. Par contre, durant la présente étude, la couverture thermique n'a pas été utilisée comme ombrière le jour car le système automatique de traction des couvertures n'était pas conçu à cet effet.

Le chauffage de l'air du module expérimental se fait à l'aide d'une chaudière au mazout d'une puissance nominale de 71 kW. Une deuxième chaudière de 39 kW sert au chauffage du lit de roches et peut assister la chaudière principale au besoin. L'aspiration de l'air chaud se fait par un tube de polyéthylène perforé (diamètre 0,3 m) muni de baleines de plastique rigide et fixé au faîte du module sur toute sa longueur. Cinq volets motorisés régissent la circulation de l'air entre le faîte, la serre et le lit de roches. Les volets, les chaudières et le ventilateur sont commandés par des thermostats installés au faîte et au bas du module ainsi que dans le lit de roches.

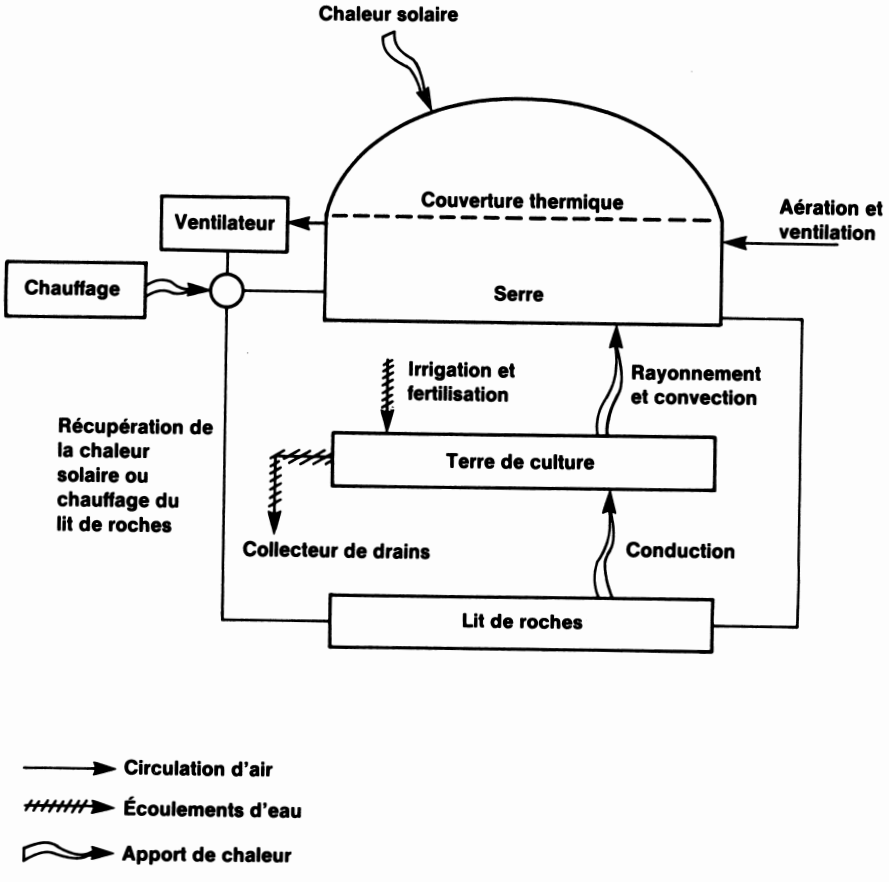

Figure 1. Principe de fonctionnement du système.

PROCEDURE EXPERIMENTALE

Le système de gestion de l'énergie a été mis en opération au printemps 1982. Les périodes d'acquisition de données sont décrites au tableau I. Durant les périodes d'évaluation, des mesures ont été prises dans le module expérimental ainsi que dans deux paires de modules témoins pour fins de comparaison; une des paires de modules est munie de couvertures thermiques identiques à celle du module expérimental, l'autre non. Les grandeurs mesurées sont:

— L'énergie fournie par les chaudières pour tous les modules.
— Le rayonnement solaire reçu sur une surface horizontale à l'intérieur de la serre.
— Le temps de fonctionnement du ventilateur assurant la circulation forcée de l'air dans le lit de roches.
— La température à l'extérieur de la serre.
— La température à l'intérieur de la serre: au faîte, au niveau des plants et dans le sol (0,2 m de profondeur) pour tous les modules impliqués dans les expériences.
— La température sèche et la température humide de l'air entrant et sortant du lit de roches et la température en divers points du lit de roches.

Tableau I. Périodes d'évaluation

Périodes	Nb. de jours	Culture	Mode d'opération
28 avril au 28 mai 1982	30	Tomates	Utilisation du lit de roches et de la couverture
19 oct. au 10 déc. 1982	51	Laitue	
6 avril au 27 mai 1983	20	Tomates et arbres	
3 mars au 17 mai 1984	62	Plants d'arbre	Utilisation du lit de roches seulement
16 oct. au 10 déc. 1984	48	Avoine	

RESULTATS ET DISCUSSION

Les principaux points observés lors des périodes d'acquisition de données sont: Le comportement thermique des divers éléments du système de gestion, les économies d'énergie dues à la couverture thermique, à la récupération de la chaleur emmagasinée et à l'abaissement de la consigne de température dans la serre. Egalement, des observations qualitatives des effets du système de gestion de la chaleur sur la qualité de la culture ont été faites.

Comportement thermique du module expérimental

Les figures 5, 6 et 7 illustrent trois comportements thermiques du module expérimental correspondant à des journées ensoleillées, mais pour des températures extérieures différentes. Les dates et les températures extérieures moyennes du jour correspondant à chacune des figures sont les suivantes:

— Figure 5: 25 mars 1984; température extérieure moyenne: 0°C.

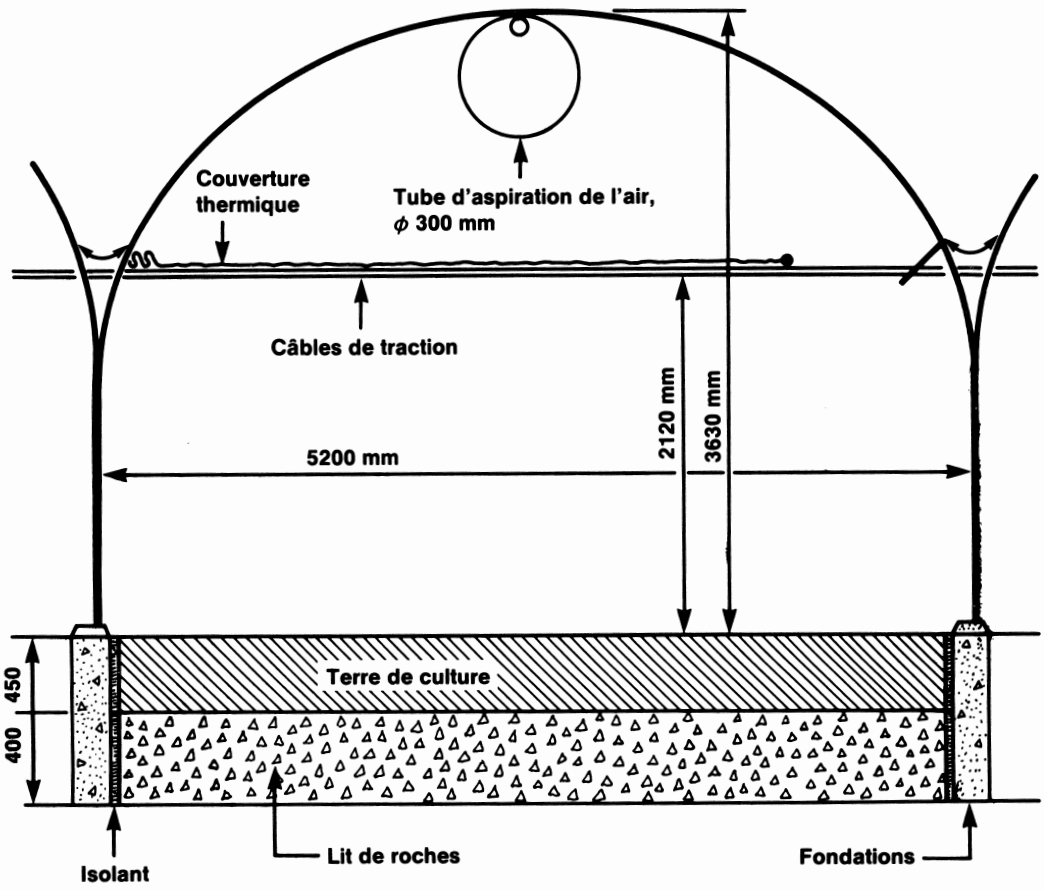

Figure 2. Vue en coupe de la serre et du lit de roches.

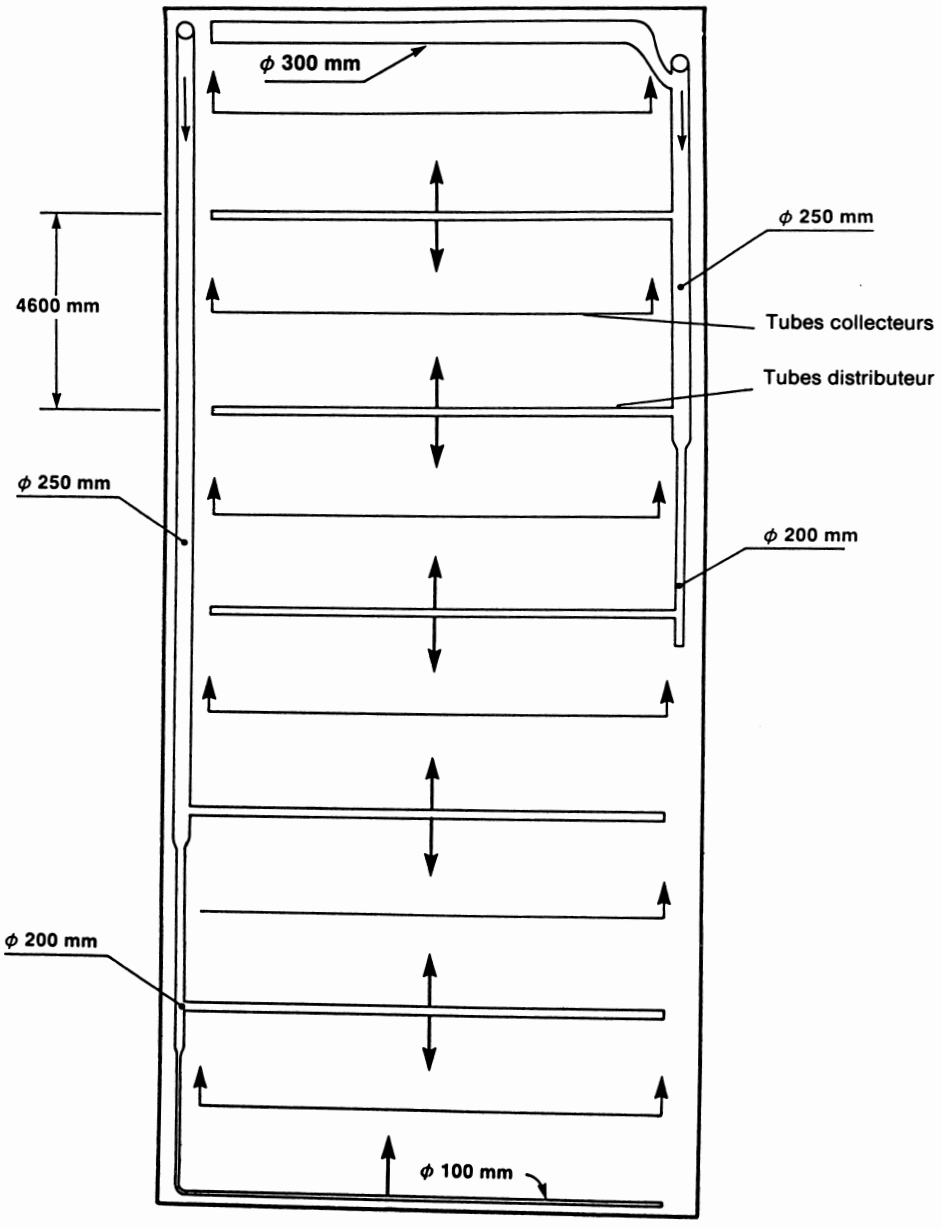

Figure 3. Réseau de distribution de l'air dans le lit de roches.

— Figure 6: 26 avril 1984; température extérieure moyenne: +10°C.
— Figure 7: 17 mai 1983; température extérieure moyenne: +12°C.

La position des thermocouples placés dans le lit de roches et correspondant aux courbes 3, 4 et 5 des figures 5 et 6 est montrée à la figure 8. Sur la figure 7, la température du lit de roches était enregistrée avec la sonde 4. A la figure 7, on peut également observer le comportement thermique du module lors de la récupération de chaleur par circulation de l'air de la serre au travers du lit de roches.

Un fait important à citer est que la température moyenne du lit de roches la plus élevée a été observée le 25 mars 1984 (figure 5); pourtant, si l'on considère les températures extérieures et l'énergie solaire reçue (12,6 MJ par m² le 25-03-84 et 17,3 MJ par m² le 26-04-84) la circulation de l'air surchauffé dans le lit de roches durant la journée du 26 avril aurait dû occasionner une hausse plus importante de température du réservoir de stockage que celle observée. Egalement, on observe à la figure 6, que malgré la circulation d'air chaud, il y a diminution de la température du lit de roches à partir d'environ 1100 h. A la figure 7, on observe que l'augmentation de la température du lit de roches est très modeste si l'on considère la quantité d'air circulé.

La raison prncipale de la faible efficacité de l'emmagasinage illustrée aux figures 6 et 7 est l'utilisation de l'extracteur servant au conditionnement de l'air de la serre. En mars 1984, l'extracteur était inopérant puisqu'il n'y avait que très peu de risque de dépasser une température critique pour les plants; en avril 84 et en mai 83, cet extracteur était opérationnel. L'explication de l'influence de l'utilisation de l'extracteur sur le rendement de l'emmagasinage est la suivante: Lorsque la serre n'est pas ventilée, l'humidité relative de l'air est très élevée et lors de la circulation de cet air dans le lit de roches, il y a condensation de l'eau contenue dans l'air sur la surface des roches ce qui contribue grandement au transfert thermique air-roches. Si l'on

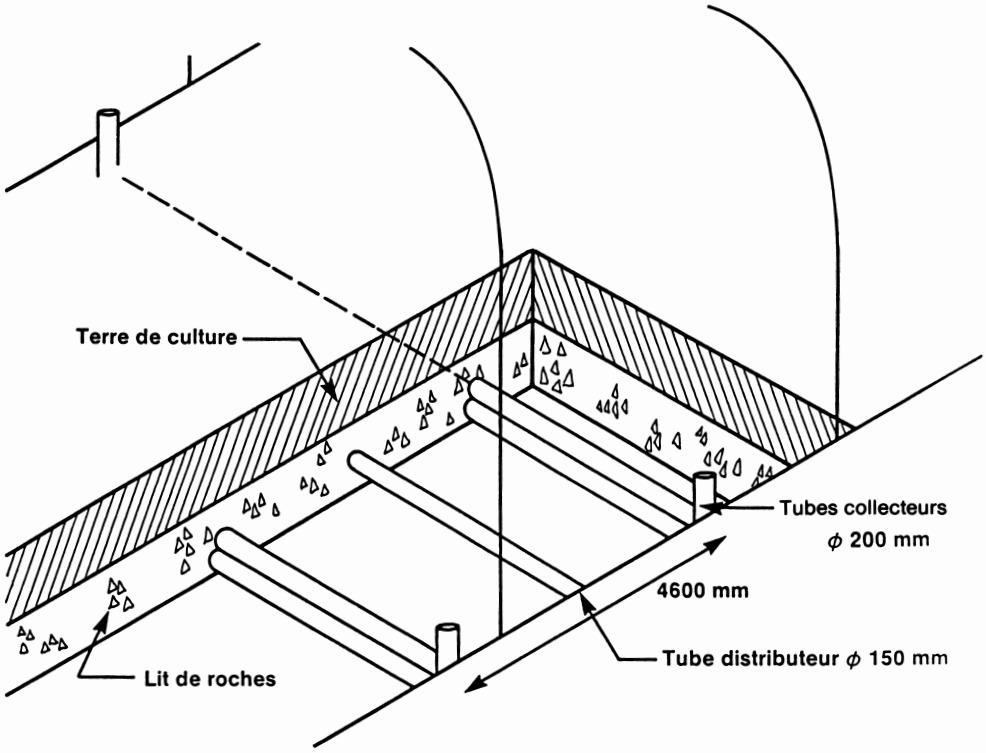

Figure 4. Position des tubes de circulation d'air dans le lit de roches.

ventile la serre en cours de journée, on réduit le taux d'humidité relative et l'air circulé a tendance à assécher la roche et donc à absorber de l'énergie sous forme de chaleur latente et à diminuer sa température à un niveau qui peut être inférieur à la température de la roche. Ceci explique la diminution de température au niveau des thermocouples 4 et 5 le 26 avril (l'extracteur a probablement été mis en marche un peu avant 1100 h) et le faible rendement de l'emmagasinage le 17 mai 1983 car l'extracteur a fonctionné toute cette journée.

A la figure 7, l'augmentation de la température du lit de roches après la prériode d'emmagasinage et même au début de la période de récupération, s'explique par la position du thermocouple servant à l'acquisition de cette donnée; en effet, la température étant prise à mi-chemin entre un tube de distribution et un tube de récupération de l'air et la température du lit près des tubes de distribution étant sensiblement plus élevée ($\approx$ 5°C) qu'à mi-chemin, l'équilibre thermique du lit se fait graduellement lorsqu'il n'y a plus de circulation d'air ou si l'on circule de l'air plus froid.

Economies d'énergie dues à la couverture thermique

Les couvertures thermiques du module expérimental et des deux modules témoins qui en sont munis, ont été utilisées lors des trois premières périodes d'acquisition de données en 1982 et 1983. Les économies dues aux couvertures thermiques sont évaluées en comparant les besoins énergétiques des modules témoins sans couverture et avec couvertures; ces modules ont la même température de consigne pour l'air et ne sont pas munis d'un réservoir de stockage. Le tableau II présente l'économie de chauffage mesuré au printemps et à l'automne 1982. En moyenne, les économies d'énergie dues aux couvertures thermiques ont été d'environ 12%. L'efficacité des couvertures thermiques a été limitée par deux facteurs principaux: Le manque d'étanchéité à la périphérie de la toile et la perméabilité de la toile. Des économies d'énergie très supérieures à 12% peuvent maintenant être réalisées par des couvertures plus étanches et plus isolantes.

Tableau II. Rendement de la couverture thermique

Période	Consommation avec couverture (MJ/m²)	Consommation sans couverture (MJ/m²)	Economie (%)
Mai 1982 (15 jours)	21.0	24.0	12.5
Novembre 1982 (20 jours)	33.0	37.5	12
Total	54.0	61.5	12.2

Au printemps 1983, les modules équipés de couvertures thermiques ont consommé 50% moins de mazout que les modules témoins. Ce très bon rendement n'est pas uniquement relié à l'utilisation des couvertures thermiques. Dans les modules avec couverture, l'air chaud était distribué sous les tables où reposent de petits arbres alors que l'air était distribué au-dessus des plants de tomates dans les modules témoins sans couverture thermique. Dans ce dernier cas, le brassage de l'air dans la serre augmente le transfert thermique aux parois et contribue à la différence entre les demandes énergétiques des modules témoins avec et sans couverture. Egalement, lorsque la différence de température intérieure-extérieure est faible, les rendements relatifs sont élevés, mais en valeur absolue ceci représente peu d'énergie économisée.

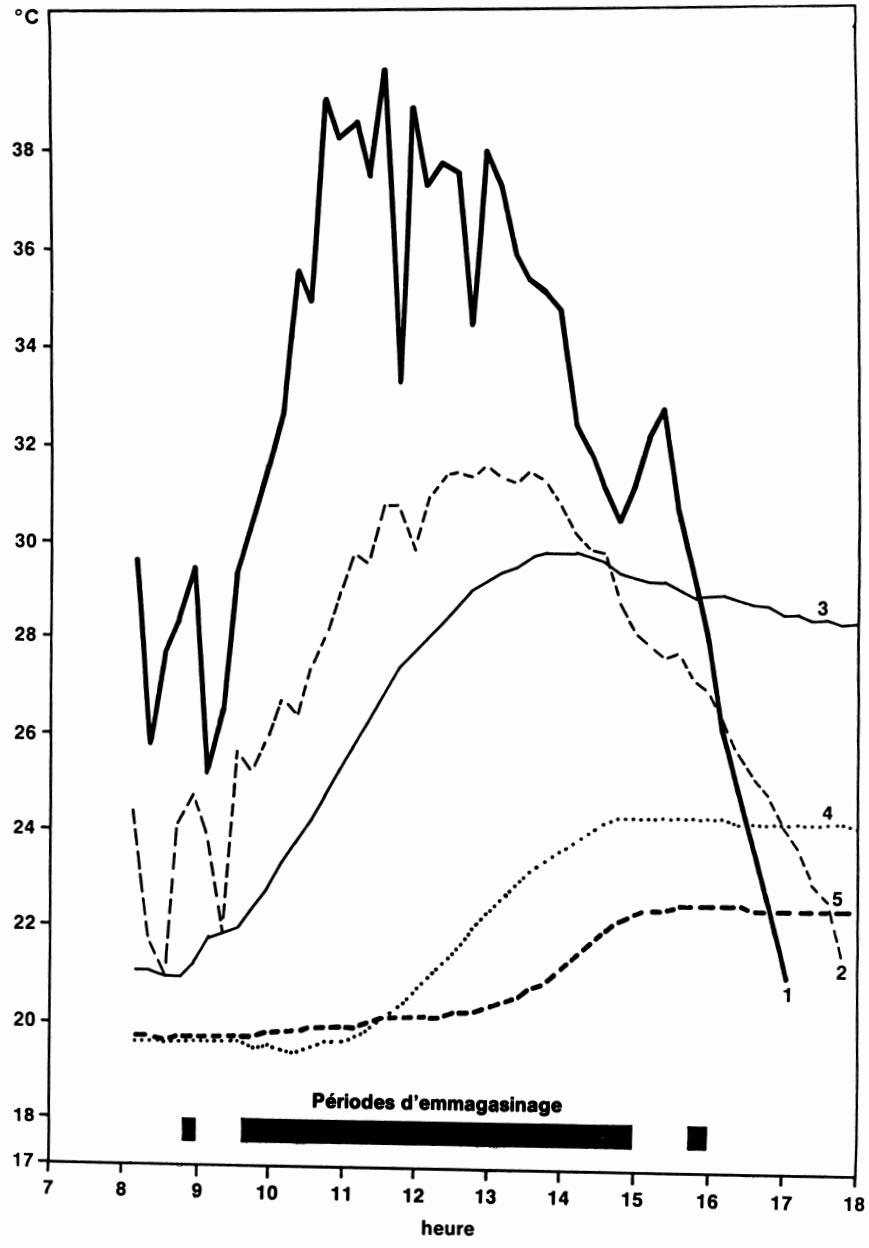

Figure 5. Comportement thermique du module expérimental. 25 mars 1984. 1, température au faîte de la serre; 2, température à l'entrée du lit de roches; 3, température du lit de roches; sonde 3; 4, température du lit de roches; sonde 4; 5, température du lit de roches; sonde 5.

Economies d'énergie dues à l'abaissement de la consigne de température

Ces économies ont été évaluées en abaissant la température de consigne d'une paire de modules témoins au niveau de celle utilisée dans le module expérimental et en n'utilisant pas les couvertures thermiques; on compare ensuite les besoins énergétiques des deux paires de modules témoins dont les températures moyennes diffèrent d'environ 1,5°C. Les résultats de ces expériences réalisées entre le 28 avril et le 7 mai 1982 sont indiqués au tableau III. Ces mesures ont montré que l'économie ainsi réalisée est d'environ 15% pour cette période. Pour un nombre de degrés donné d'abaissement de la consigne de température dans la serre, la valeur absolue de l'énergie économisée sera à peu près constante tout au long de l'année cependant, la valeur relative de cette économie est très variable dépendant de la température extérieure. Ainsi, ce qui a résulté en une économie de 15% en début de mai aurait résulté en une économie relative nettement inférieure en février ou en mars alors que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre est beaucoup plus grande.

Tableau III. Economie due à l'abaissement de la température

Température du module (°C)	Consommation (MJ/m²)	Economie (%)
18.0	23.6	—
16.5	20.3	14

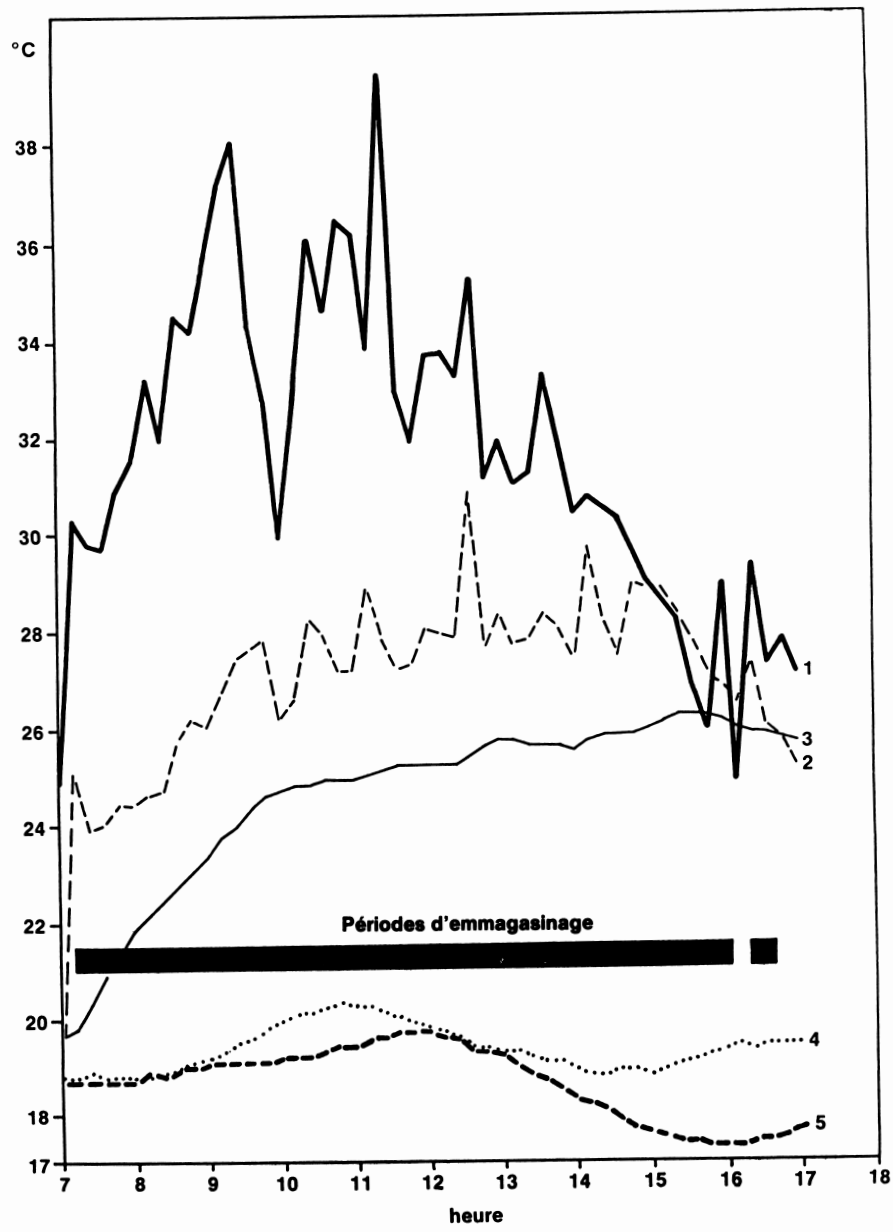

Figure 6. Comportement thermique du module expérimental. 26 avril 1984. 1, température au faîte de la serre; 2, température à l'entrée du lit de roches; 3, température du lit de roches; sonde 3; 4, température du lit de roches; sonde 4; 5, température du lit de roches; sonde 5.

En abaissant la température de consigne de l'air dans une paire de modules témoins, on réduit les pertes thermiques par conduction et convection au travers des parois de la serre. Une réduction de la température de l'air dans les modules témoins se traduit aussi par un abaissement de la température du sol donc, on réduit les pertes par le sous-sol et par radiation du sol vers l'extérieur. Dans une serre où la température du sol est maintenue plus élevée par un emmagasinage thermique ou par le chauffage du sol, l'abaissement de la température de consigne de l'air peut avoir un effet moindre car, quoique l'on réduise les pertes par conduction et convection par les parois, on augmente les pertes par radiation. Il serait donc souhaitable d'utiliser un écran nocturne qui puisse réfléchir ou absorber les radiations en provenance du sol.

Economies d'énergie dues à la récupération de la chaleur emmagasinée

L'évaluation de la réduction des besoins énergétiques due à la récupération de l'énergie emmagasinée s'est fait principalement lors des dernières périodes d'évaluation en 1984; les températures de consigne étaient les mêmes dans tous les modules et on n'utilisait pas les couvertures thermiques. La demande énergétique du module expérimental à été d'environ 10% inférieure à celle des autres modules durant les nuits précédées d'une journée ensoleillée où une certaine quantité de chaleur a pu être emmagasinée. Il faut noter que pendant ces périodes il n'y a pas eu de récupération active (circulation forcée de l'air de la serre au travers du lit de roches) de la chaleur emmagasinée pour chauffer la serre durant la nuit par circulation forcée d'air

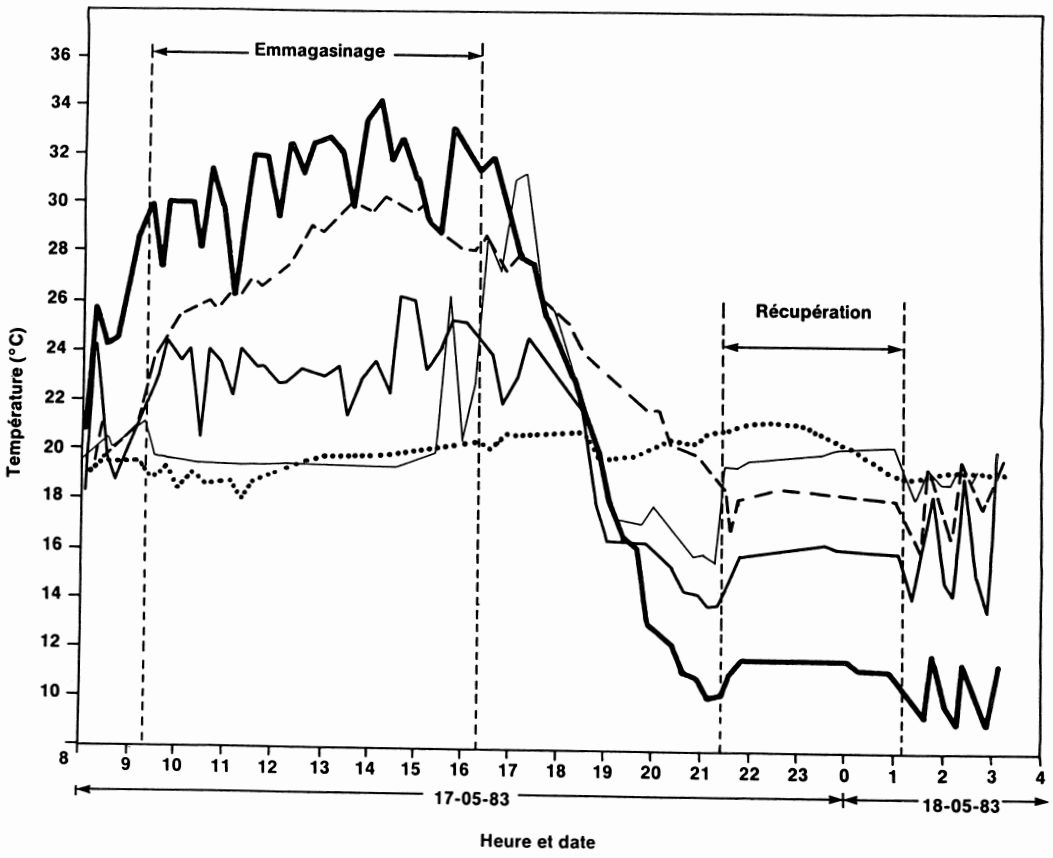

Figure 7. Comportement thermique du module expérimental 17 mai 1983. ——, température au faîte de la serre; — — —, température de la serre; ....., température du lit de roches; _____, température à la sortie du lit; - - - -, température à l'entrée du lit.

dans le lit. L'énergie emmagasinée le jour était entièrement dissipée avant le début d'une nouvelle période de stockage. Cette dissipation de chaleur vers la serre se faisait par conduction au travers du sol du culture, par convection naturelle dans les tubes de récupération et par radiation.

Le rendement du système de récupération d'énergie n'a donc pas été supérieur à celui d'expériences antérieures (Wilson 1977; Willits 1979) et n'a pas satisfait toutes les attentes de l'étude. On a identifié plusieurs facteurs qui ont limité la performance du système: volume d'air circulé trop faible, pertes thermiques des conduites d'amenée d'air lors de l'emmagasinage, pertes thermiques du lit vers le sous-sol et infiltration d'eau (d'irrigation ou en provenance de la nappe phréatique) dans le lit de roches.

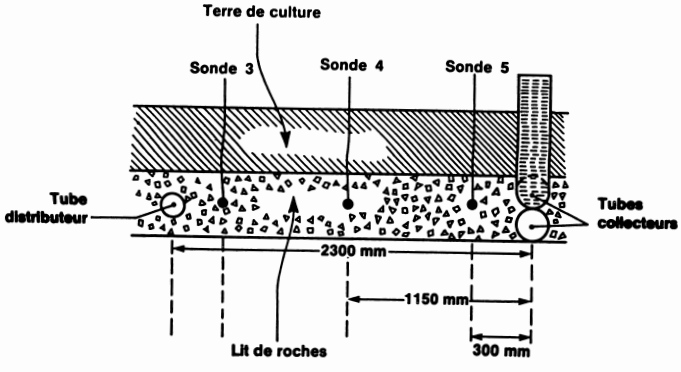

Figure 8. Position des sondes dans le lit de roches.

Rendement global du prototype

Le tableau IV donne la consommation lorsque le module expérimental et les modules témoins fonctionnaient normalement au cours des trois premières saisons de mesure en 1982 et 1983. Globalement, les besoins énergétiques du module expérimental ont été de 35 à 60% inférieurs à ceux d'une serre conventionnelle. L'importante économie de 59% obtenue au printemps 1982 s'explique par deux facteurs; lors de cette première saison de mesure, l'énergie consommée par le ventilateur assurant la circulation de l'air dans le lit de roches n'était pas comptabilisée

Tableau IV. Rendement global du système expérimental

Saison	Consommation expérimental (MJ/m^2)	Consommation paire témoin (MJ/m^2)	Economie (%)
Printemps 1982 (21 jours)	14.0	33.8	59
Automne 1982 (13 jours)	16.7	25.5	35
Printemps 1983 (17 jours)	22.7	34.6	34
Total	53.4	93.9	43

et, durant cette période, il y eut neuf jours où la différence de consigne entre le module expérimental et les modules témoins a été de 3°C au lieu de 1,5°C (différence habituelle).

Comme mentionné plus haut, une économie voisine de 15% a été réalisée grace à l'utilisation de la couverture thermique. L'abaissement d'environ 1.5 °C de la température dans le module expérimental à engendré une économie estimée à 15%. L'emmagasinage et la recupération de l'énergie excédentaire dans la serre durant le jour à entraîné une économie d'environ 10% seulement. Il faut noter que ces différents facteurs d'économie sont reliés entre eux. Par exemple grâce à l'emmagasinage de chaleur dans le réservoir de roches, la température du sol est demeurée en moyenne 2°C plus élevée que dans les modules témoins; ceci permet de réduire la température de l'air de la serre sans nuire à la croissance des plantes. Egalement, l'utilisation de la couverture thermique permet de réduire les pertes par radiation d'un sol maintenu plus chaud par l'emmagasinage de chaleur dans le sous-sol. Les performances globales du système ne sont pas une simple addition des performances individuelles de chacun de ses éléments utilisés seuls, mais on doit considérer les interactions des éléments les uns sur les autres. Le rendement de l'emmagasinage thermique dans le lit de roches a été de 10% dans le cas présent, mais il aurait pu être supérieur si une couverture thermique plus étanche aux infiltrations avait été utilisée ou si l'ombrage avait été utilisé pour réduire les besoins en ventilation le jour tout en créant un volume d'air chaud au faîte.

Effets sur la culture

Durant les périodes d'évaluation coincidant avec une culture de tomates, des observations qualitatives de l'influence du système de gestion sur le rendement de la culture ont été faites. On a observé que le sol du module expérimental s'assèche plus rapidement à cause de la présence du lit de roches (meilleur drainage). Une attention particulière à été portée à l'irrigation du sol au cours des premières semaines. Tant que le module expérimental a bénéficié d'un arrosage plus fréquent, la croissance des plants de tomate a été plus rapide par rapport aux autres modules. Lorsque l'arrosage à été ramené au même niveau dans tous les modules, la croissance a été plus lente à cause de l'aridité du sol. Ceci a eu des conséquences sur la culture de tomates; les fruits récoltés étaient plus petits mais plus nombreux. Egalement, il semble que la circulation de l'air dans la serre favorise la pollinisation des fleurs et retarde le développement des maladies.

CONCLUSIONS

Un prototype en vraie grandeur d'un système de gestion de l'énergie dans les serres a été construit et évalué au cours de plusieurs saisons d'opération d'une serre commerciale. Le système comprend l'emmagasinage de l'énergie solaire excédentaire dans un lit de roches enfoui sous la serre, l'utilisation d'une couverture thermique et l'abaissement de la température de consigne pendant la nuit. Chacun des éléments du système a contribué à une économie allant de 10 à 15% par rapport aux besoins énergétiques d'une serre conventionnelle. Il est important de noter que ces rendements sont dépendants de la période d'utilisation de la serre et des conditions climatiques extérieures.

Malgré un résultat un tant soit peu décevant, l'étude du comportement du système a produit des informations extrêmement utiles parce qu'elle a été effectuée dans des conditions réelles d'utilisation de la serre par un cultivateur professionnel, parce qu'elle a été effectuée au cours d'une longue période représentant des conditions météorologiques très variables et parce que la procédure expérimentale a permis d'analyser de façon assez fiable la contribution des différents facteurs à la performance globale du système. Il est clair que la chaleur excédentaire captée par une serre, même durant l'hiver, peut être considérable, mais qu'il est difficile de l'extraire du milieu ambiant pour l'emmagasiner et la restituer plus tard avec un bon rendement.

L'expérience acquise durant cette étude a permis de faire les conclusions suivantes:

— La construction du réservoir de stockage doit être très soignée de façon à réduire les pertes thermiques et à éliminer les infiltrations d'eau dans le lit.
— La couverture thermique doit être étanche et isolante et doit pouvoir servir d'ombrière le jour.
— Le stockage de la chaleur dans le sous-sol permet de réduire la consigne de température de la serre ce qui entraîne des économies importantes d'énergie surtout si l'on utilise, durant la nuit, une couverture thermique réduisant les pertes par radiation du sol.
— L'utilisation systématique de la couverture thermique comme ombrière, lorsqu'il y a un excès d'énergie solaire, réduit la nécessité de ventiler la serre et crée une importante accumulation d'air chaud au faîte donc un potentiel plus important de stockage thermique.
— L'échange thermique entre l'air aspiré au faîte et le médium de stockage devrait se faire de façon à ce qu'une grande quantité d'air puisse circuler ce qui exclut, possiblement, un échange par contact direct air-roches.
— Le brassage de l'air causé par la retour d'air chaud dans la serre peut avoir un effet très important sur les pertes de chaleur par les parois de la serre. Un agencement qui minimisera ces pertes peut entraîner des économies appréciables.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé en majeure partie dans le cadre du contrat 20SU.01843-0-SG05 avec Agriculture Canada. Harold Jackson en était l'Autorité scientifique. Des contributions financières ont aussi été reçues du MERQ et du MAPAQ. Le prototype expérimental a été construit dans une serre appartenant à Guy Jacqmain. Nous tenons à souligner tout particulièrement sa contribution critique au projet et à l'en remercier. Enfin, ont également participé à ce projet Réal Audet, Mike Dorgan, Alain Grandbois et Guy Jérémie.

REFERENCES

BRICAULT, M., G. JÉRÉMIE, J. PARIS, et H. A. JACKSON. 1982. Récupération et gestion de l'énergie dans une serre, un système expérimental en vraie grandeur. ENERGEX '82, 1, 385–390, U. de Régina, Régina, Sask.

NRCC. 1981. A guide to rock bed storage units, Report No. STOR-10. Solar Energy Program, NRCC, Ottawa, Ont.

PARIS, J. et J. F. HOULE. 1985. Réalisation et évaluation de couvertures thermiques pour serre. Contrat 20SU.01916-2-ER25, Institut de Recherche Technique et Statistique, Agriculture Canada, Ottawa, Ont.

PARIS, J. et P. LABORDE. 1980. Développement et réalisation d'une serre pour la production agricole et commerciale dans les conditions climatiques de l'est du Canada. Contrat 0552.018439-1921, Agriculture Canada, Ottawa, Ont.

STALEY, L. M., J. M. MOLNAR et G. J. Monk. 1981. Design, construction and operating experience with two commercial solar heated greenhouses. CSAE paper 81-232, CSAE/AIC Conference, Brock

University, St-Catherines, CSAE, Ottawa, Ont.
WILLITS, D. H., P. CHANDRA et C. H. MILLER. 1979. Performance of a collection/storage system for greenhouses. Proc. of Fourth Annual Conference Solar Energy for Heating Greenhouses and Greenhouse-Residence Combinations, Rutgers University, New Brunswick, N.J.

WILSON, G. E., D. R. PRICE, L. D. ALBRIGHT, N. R. SCOTT, R. W. LANGHANS, and P. CHANDRA. 1977. Experimental results of a greenhouse solar collection and modular gravel storage system. Proc. of Conference on Solar Energy for Heating Greenhouses and Greenhouse-Residence Combinations, Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster, Ohio.