

# Chauffage des Serres avec Stockage Thermique : étude & investigation

Salah BEZARI<sup>#1</sup>, D Lalmi<sup>#2</sup>, A Babou<sup>#3</sup>

<sup>#</sup> *Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria*

<sup>1</sup>bezarisalah@yahoo.fr

<sup>2</sup>eldjemoui@gmail.com

<sup>3</sup>allal\_babou@yahoo.com

**Abstract**— L'utilisation des serres solaires dans le domaine de la production agricole s'est multipliée ces dernières décennies. L'objectif principal d'une serre est de produire un rendement plus élevé en dehors de la saison de culture, ce qui est possible par le maintien de la température optimale à chaque étape de la culture. Un système de chauffage approprié (ou le refroidissement) peut être couplé avec la serre à cette fin. Ceci, par conséquent, a un impact significatif sur le temps de culture, qualité et la quantité des produits.

Cet article examine et évalue les technologies de chauffage disponibles pour les serres agricoles et examine les applications représentatives du système de stockage thermique avec un lit de galet. Ce travail consiste une investigation sur l'emplacement, la superficie au sol, matériaux de couverture et les performances des serres couplés avec les différentes technologies de stockage thermique tel que le lit de galet. Cette étude nous a permis de déterminer approximativement la capacité des pierres exigées pour une surface d'une serre donnée ayant le polyéthylène (PE) et le verre comme matériau de couverture.

**Keywords**— Energie solaire, Serre, Chauffage, Lit de galets

## I. INTRODUCTION

Le chauffage des serres agricoles constitue l'usage le plus répandu de l'énergie solaire en agriculture. Dans la recherche actuelle dans le domaine de l'agriculture, beaucoup de travaux ont été orientés vers l'utilisation des sources énergétiques renouvelables particulièrement l'énergie solaire pour le chauffage.

L'énergie thermique peut être stockée sous forme de chaleur sensible, chaleur latente ou d'énergie chimique. L'utilisation des serres solaires dans le domaine de la production agricole s'est multipliée ces dernières décennies. L'objectif principal d'une serre est de produire un rendement plus élevé en dehors de la saison de culture, ceci est possible par maintenir une température optimale à chaque stage de la culture. Pour ce fait un système de chauffage (ou le refroidissement) approprié est utilisé conjointement. Donc, l'exploitation des serres en agriculture aura un grand impact sur la période de la culture, la qualité et la quantité des produits. Des recherches intensives dans ce domaine permettent une avance rapide et une commercialisation satisfaisante des systèmes de chauffage [1]. Bien que, plusieurs systèmes de chauffage des serres ont été proposés

par de nombreux chercheurs, comme cela sera évident dans cette étude, mais ils ne sont pas été complètement évalué. Sur la base des caractéristiques de ces systèmes sont classés comme des systèmes de chauffage, des systèmes de refroidissement et des systèmes composites comme est illustré dans la fig. 1.

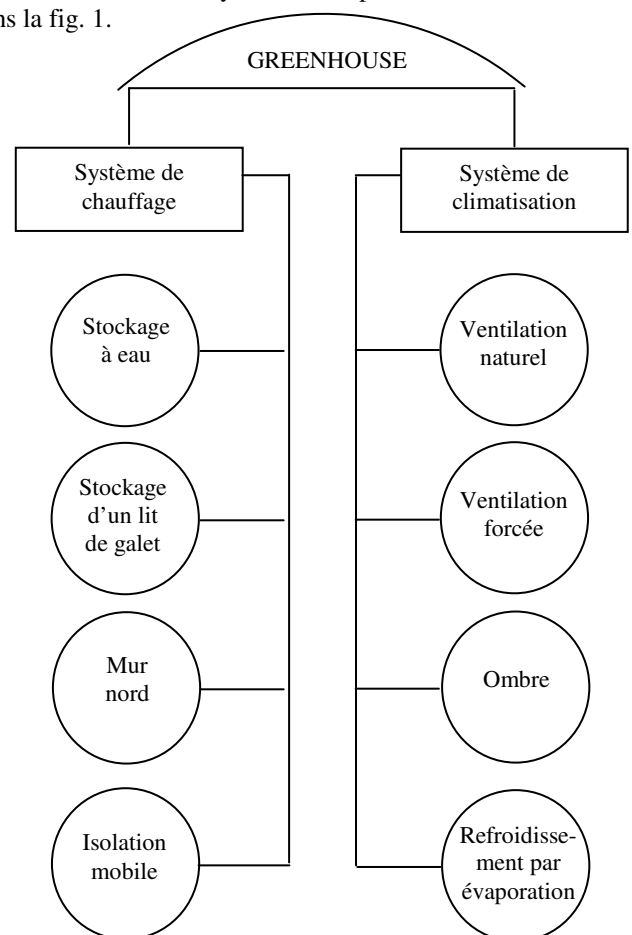


Fig. 1 Classification des différents systèmes de contrôle thermique pour des serres agricoles

Un système de chauffage de la serre est utilisé pour augmenter le stockage thermique à l'intérieur de la serre au

cours de la journée ou de transférer la chaleur en excès à partir de la zone de stockage d'énergie. Cette chaleur est récupérée dans la nuit pour satisfaire les besoins de chauffage de la serre. Parmi les systèmes de chauffage dans les serres, on cite les procédés suivants: stockage de l'eau, le stockage de lit galet et de stockage de matériau à changement de phase.

Une investigation détaillée de tous les technologies de système de refroidissement existants et système composée (traitant uniquement l'aspect de refroidissement) est déjà conduite [2]. Une étude très importante a évoqué le bilan énergétique nocturne d'une serre chauffée en plastique, à des conditions climatiques hivernales d'Almeria, dans le sud de l'Espagne [3].

Dans cet article, les paramètres mentionnés auparavant des technologies de systèmes de chauffage des serres seront l'objet d'une discussion détaillée. Les avantages, les limitations et la convenance de l'application de chaque système sont aussi étudiés.

## II. CHAUFFAGE DES SERRES AVEC STOCKAGE THERMIQUE

### A. Stockage thermique à lit de galets

Dans les dernières décennies, les activités agricole liées à l'énergie, engendre l'utilisation des énergies renouvelables. Les serres comptent parmi les domaines de l'utilisation efficace de ces énergies, en particulier l'énergie solaire. Le caractère intermittent de l'énergie solaire exige le stockage de cette énergie pendant la journée et l'utilisé pendant le chauffage nocturne [4-5]. Outre, les galets sont considéré comme moyen de stockage à faible coût et de longue vie, ayant une conductivité thermique supérieure à celles de l'eau et les matériaux à changement de phase, et pourvu un transfert de chaleur rapide, [6-7]. Le stockage thermique à lit de galet utilisant des grandes pierres sont souvent placés sous sol à des profondeurs qui varient entre 40 et 70 cm, à l'intérieur ou à l'extérieur de la serre fig. 2.

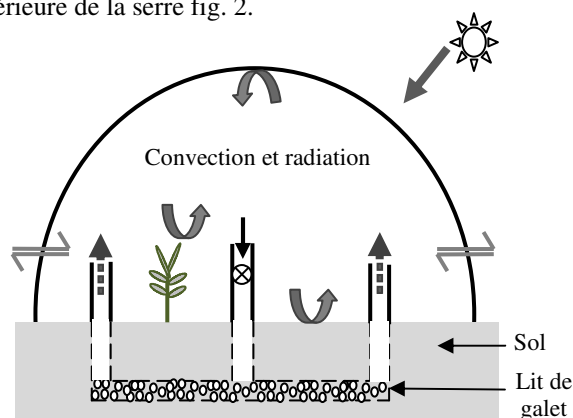


Fig. 2 Stockage dans le lit de galet à l'intérieur de la serre

### B. Investigation sur le stockage avec lit de galet

Le système de stockage d'énergie par chaleur sensible qui fait l'objet de notre étude n'est autre que le stockage avec lit de galet. C'est pourquoi, nous exposerons dans ce qui suit les travaux de recherche effectués sur ce type de stockage

thermique. Ce qui suit une investigation sur les travaux effectués dans ce domaine.

Arizov et Niyazov [8] ont utilisé un lit de pierres constituées de graviers de 2 à 3 cm de diamètre, placé à une profondeur de 0,5 m à partir de la surface de la serre de 40m<sup>2</sup> couverte de deux films de PE situé à Tascend (45,25°N 70,38°E), dans laquelle des plantes sont cultivées. Un volume total de 2,5m<sup>3</sup> a été utilisé pour stocker 5,7 tonnes de galets. La température de l'air intérieur a été maintenue supérieure à celle ambiante (-5°C en Janvier) par 13°C.

Bouhdjar et Boulbina [9] ont fait l'étude de stockage thermique dans une serre de 240m<sup>2</sup> couverte d'un seul film de PE situé à Baraki (33°N 03°E), Algérie, qui était couplé avec un lit de galets de 10,6m<sup>3</sup> ayant 20 tonnes et de 50-100mm de diamètres. Quand la température de l'air dépasse 27°C, l'air est évacué de l'intérieur de la serre. Tandis que lorsque la température décroît à 13°C, le système inverse la direction de l'écoulement de l'air en récupérant la chaleur stockée. Le système pourrait atteindre une augmentation de la température de l'air intérieur de 4-6°C par rapport à celle d'extérieure.

Kürklü et al [10] ont mené une étude sur un lit de pierres placé sous le sol qui a été utilisé pour le chauffage d'une serre de 15m<sup>2</sup> couverte de PE située en Turquie. Les pierres ont été enterrées dans deux canaux creusés et isolés. L'air (1100m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>) était poussé à travers le lit de pierres. L'arrangement peut maintenir la température de l'air intérieur supérieure à celle ambiante par 10°C sous les conditions d'hiver.

L'étude de Huang et al [11] a porté sur un lit de galets de 15,7 tonnes et de diamètre de 12,7 à 50,8 mm qui a été utilisé dans une serre de 176 m<sup>2</sup> située en Caroline du nord (34.83°N 77.30°W), USA. Le lit a été enterré pour assurer une uniformité de l'écoulement d'air et augmenter le stockage thermique. Le système était capable de maintenir une température de l'air supérieure à celle ambiante extérieur par 5°C durant les nuits d'hiver.

Jain [12], dans son travail de séchage solaire, a mené une étude expérimentale des serres avec lit de pierres pour le séchage d'oignons à Delhi (28,40°N 77,13°E), en Inde. On observait que, dans une serre de 6x4m ayant un lit de pierres de 0,25m de hauteur avec 0,278 kg/s de masse d'écoulement d'air permet de sécher 2280 kg d'oignons de contenu d'humidité de 0,614-0,21 kg d'eau par kg de matière sèche.

Brendenbeck [13] a fait une étude expérimentale concernant le système de stockage à lit de pierres constitué de graviers de 5 à 15cm de diamètres pour le chauffage d'une serre de 1700m<sup>2</sup> situé à Hanovre (52.50°N 09.69°E), Danemark et couverte de trois couches de feuilles de polycarbonate et d'un rideau thermique à proximité du plafond de la serre. L'air était mis en circulation à travers des tuyaux en béton de 0.6m de diamètre. L'écoulement d'air total était de l'ordre de 60.000 m<sup>3</sup>/h, créé par 12 ventilateurs qui forçaient l'air à travers le stockage. Le système pouvait satisfaire jusqu'à 30% des besoins en chaleur annuel de la serre.

Fotiades [14] a expérimenté un système de stockage dans un lit de pierres de 40mm de diamètre et pesant environ 74 tonnes, placé en sous sol dans une serre de 300m<sup>2</sup>, couverte

de PE situé à Nicosia (35,20°N 33,29°E), Chypre. L'air était mis en circulation en utilisant un ventilateur de 1,7 kw. Le système pouvait fournir 76% des besoins annuels en chaleur de la serre (la température ambiante était 9,8°C en Janvier).

Jelinkova [15] s'est intéressé à l'étude d'une serre de 432m<sup>2</sup> de surface couverte de verre, située à Prague (50,10°N 14,30°E), qui était couplée avec un système de stockage à lit de pierres de 43 tonnes placé en sous sol. Un ventilateur mettait en mouvement l'air de l'intérieur de la serre jusqu'au milieu de stockage placé en dehors de la serre avec un débit de 400 m<sup>3</sup>/h à l'accumulateur chargé, où la chaleur lui sera transmise. Durant la nuit, le processus s'inverse. Un gain de température de l'air interne de 4 à 6°C a été enregistré durant la période d'expérimentation.

Kavin et Kurtan [16] ont étudié l'influence de types de briques qui sont utilisées comme milieu de stockage dans une application pour une serre de 100 m<sup>2</sup> couverte de PE situé à Budapest, Hongrie (47.43°N 19.10°E). L'air était mis en circulation à un débit de 5500 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> à travers un milieu de stockage en briques de 48 tonnes placé dans le sous sol de la serre. Le système était capable de fournir environ 53,4% de l'énergie requise.

Bricault [17] a fait l'étude expérimentale sur un système de stockage thermique à lit de galets enterré à une profondeur de 0,4 m et rempli de 202 tonnes de graviers de 40 mm et utilisé dans une serre de 2850 m<sup>2</sup> couverte de PE situé à Montréal, Canada (45,50°N 73,50°W), dans laquelle des tomates sont cultivées. Le système pouvait satisfaire 40% des besoins annuels en chaleur de la serre quand les conditions extérieures étaient mesurées entre -8 et 7°C en Janvier, 2 à 4°C en Novembre et 0 à 9°C en Mars.

Santamouris et al [1] ont présenté une petite serre de 19 m<sup>2</sup> de surface utilisant 13 tonnes du gravier pour le stockage de la chaleur, qui a été utilisée pour des raisons expérimentales en Oregon, USA (39,56°N 95,11°W). Le système a pu maintenir des températures moyennes de l'air interne de la serre dans l'intervalle de 10 à 20°C durant les conditions d'hiver (-2.8 à 3°C de Janvier à Mars, 24h moyenne).

### III. ETUDE CAS DE GHARDAÏA

La Serre expérimentale construite à l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables à Ghardaïa, est une serre tunnel recouverte de polyéthylène base densité, de 25m de longueur, de 8m de largeur et sa surface au sol est de 200m<sup>2</sup>. La serre agricole est équipée avec un dispositif de stockage thermique par chaleur sensible dans un lit de galets. Elle est localisée en milieu saharien (Ghardaïa, Algérie) dans une zone dégagée de toute habitation.

Le système de stockage d'énergie utilisant des galets sont souvent placés sous sol à l'intérieur de la serre pour obtenir des rendements meilleurs de profondeur 70 cm. Les pierres peuvent être enfermées dans les tubes de PVC de diamètre 25 cm (fig. 3). Durant le jour, l'excès de la chaleur se transfère de l'intérieur de la serre vers le milieu de stockage (lit de galet) à l'aide d'un ventilateur placé au centre du système (fig. 4) et sera libéré c'est-à-dire le processus se reverse. La chute de pression entre la partie de dessus et en dessous de milieu de stockage

devrait être suffisante pour assurer une distribution uniforme d'écoulement d'air dans le lit de pierre pour une grande capacité de stockage thermique pourrait être utilisée.



Fig. 3 Système de stockage à lit de galets (avant la mise en place la terre végétale)



Fig. 4 Entrée de l'air par ventilation

Les résultats obtenus à l'issue de ces études montrent que les températures (air intérieur, sol et plante), l'humidité, l'inertie thermique des galets et les irradiations solaires sont des paramètres déterminants qui influent sensiblement sur la production agricole en général [19]. En effet les besoins extérieurs de la serre expérimentale (avec le lit de galets) sont inférieurs à ceux de la serre témoin (sans le lit de galets). Le système était capable de maintenir une température de l'air supérieure à celle ambiante extérieure variant entre 3 à 5°C durant les nuits d'hiver. Ces résultats prouvent que le système de stockage thermique avec lit de galets est partiellement efficace.

#### A. Etude Comparative

L'étude montre que, généralement, le volume de stockage est placé dans le sous-sol de la serre ou à côté, à une profondeur qui varie entre 40 et 70 cm. Ces systèmes peuvent satisfaire environ 15-75% des besoins annuels en chaleur avec un gain en température dans l'intervalle de 2 à 10°C par rapport à la température minimale ambiante.

Donc, les résultats obtenue a partir de cette investigation (Tableau 1) pourrait être des outils puissant dans la phase initial de la conception pour la détermination approximativement la capacité des pierres avec un diamètre qui varie entre 20 et 100mm pour une surfaces d'une serre donné, ayant PE et verre comme matériau de couverture [18].

TABLEAU 1. RESUME DES PERFORMANCES DE DIFFERENTES SERRES UTILISANT LE LIT DE GALETS COMME MILIEU DE STOCKAGE

Références	Surface et location de la serre (m <sup>2</sup> )	Matériau de couverture et culture	Type et masse de pierres utilisées (kg)	Capacité de chaleur totale des pierres utilisées (KJ/kg.C°)	Capacité de chaleur des pierres utilisées par m <sup>2</sup> d'air	Performance puissance utilisée
Santamouris et al [1]	19 39.56°N 95.11°W Oregon, USA	Verre	Gravier 13,000	9360	492.60	10-20°C gains
Arizov et Niyazov [8]	40 45.25°N 70.38°E Tascend, URSS	Double PE	Gravier 5700	4104	102.6	13°C gains
Bouhdjar, et boubina [9]	240 28°N 03°E Baraki, Algérie	PE	Galets 20,000	14,440	60.17	4-6°C gains
Huang et al [11]	176 34.83°N 77.30°E Caroline nord, USA	Verre	Gravier 15,700	11,304	64.22	5°C gains
Fotiades [14]	300 35.20°N 3.29°E Nicosia, Chypre	PE	Gravier 74,000	53,280	177.6	76% besoin en chaleur ventilateur de 1.7kw
Jelinkova [15]	432 50.10°N 14.30°E Prague, CZ	Verre	Gravier 43,000	30,960	71.67	4-6°C gains 400m <sup>3</sup> /h taux d'écoulement
Kavin et Kurtan [16]	100 47.43°N 19.10°E Budapest, Hongrie	PE	Briques 48,000	48,960	489.6	5500m <sup>3</sup> /h taux d'écoulement avec 53.4% de récupération de chaleur
Bricault [17]	2850 45.50°N 73.50°W Montréal, Canada	PE, Tomate	Gravier 202,000	145,440	51.03	40% de besoin en chaleur
<b>Bezari [19]</b>	<b>200</b> <b>32° 29' N 3° 40' E</b> <b>Ghardaïa, Algeria</b>	<b>PE, Courgette</b>	<b>Galets</b> <b>18,500</b>	<b>13,645</b>	<b>56,85</b>	<b>3-5°C gains</b>

#### IV. CONCLUSIONS

L'indication obtenue pourrait être des outils puissants dans la phase initiale de la conception pour la détermination approximativement :

- la capacité de la pierre exigée
- les galets comme milieu de stockage.
- la surface d'une serre donnée ayant PE ou verre comme matériau de couverture

En conséquence, on peut dire qu'il faut améliorer les paramètres les plus influant qui favorisent un développement régulier des plantes à l'aide de système de stockage (lit de galets). Néanmoins, l'efficacité du stockage peut être améliorée par l'augmentation de la chaleur intérieure de la serre. Pour répondre le mieux possible aux besoins de chaleur de la plante, nous recommandons de :

- Utiliser pour le stockage d'énergie un autre matériau
- Faire accroître la capacité de stockage d'énergie en augmentant le volume du lit de galets.

- Déterminer le dimensionnement du lit de telle façon à avoir un bon échange thermique entre l'air/galets et limiter les pertes de charge

#### REFERENCES

- [1] M. Santamouris, C. A. Balaras, E. Dascalaki, and M. Vallindras, "Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes," *Solar Energy*, vol. 53, n°5, pp 411-426, 1994.
- [2] V. P. Sethi, S. K. Sharma, "Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications," *Solar Energy*, vol. 81 (12), pp 1447-1549, 2007.
- [3] A. Baille, J. C. Lo'pez, S. Bonachela, M. M. Gonzalez-Real, J.I. Montero, "Night energy balance in a heated low-cost plastic greenhouse," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 137, (1-2), pp 107-118, 2006.
- [4] A. Bouhdjar, M. Belhamel, F. Belkhiri, A. Eboulbina, "Performance of sensible heat storage in a rock bed used in a tunnel greenhouse," *Renewable Energy*, vol. 9, (1-4), pp 724-728, 1996.
- [5] LR. Walton, WH. Jr. Henson, SG. McNeill, JM. Bunn. "Storing solar energy in an underground rock bed," *Transactions of the ASAE*, pp 1202-1207, 1979.

- [6] P. Chandra, LD. Albright, GE. Wilson, "Pressure drop of unidirectional air flow through rock beds," *Transactions of the ASAE*, pp 1010–1013, 1981.
- [7] KV. Garzoli. "Design of rock piles for greenhouse energy storage," *Acta Horticulturae* 257, pp 21–28, 1989.
- [8] A. Arizov, and S. K. Niyazov, "Rock-bed as a heat storage material for greenhouse applications," *Applied Solar Energy*, vol. 16, pp 430–437, 1980.
- [9] A. Bouhdjar, A. Boulbina, "Rockbed as a heat storage material for greenhouse heating," *Proceedings of Congress Energy and the Environment*, UK, London, pp 2325–2327, 1990.
- [10] A. Kürklü, S. Bilgin, "A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse," *Renewable Energy*, vol. 28, pp 683–697, 2003.
- [11] B. K. Huang, M. N. Ozisik, and M. Toksoy, "Development of greenhouse solar drying for farm crops and processed products," *AMA*, Japan, vol. 12, pp 47–52, 1981.
- [12] D. Jain, "Modeling the performance of greenhouse with packed bed thermal storage on crop drying application," *Journal of Food Engineering*, vol. 71, (2), pp 170–178, 2005.
- [13] H. Brendenbeck, "Greenhouse heating using rockbed heat storage system," *Greenhouse Heating with Solar Energy*, REU Technical Series 1, FAO, ENEA, Roma, pp 89–95, 1987.
- [14] I. Fotiades, "Use of solar energy for heating of greenhouses," *Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating*, REU Technical Series 3, FAO, ENEA, Roma, pp 28–35, 1987.
- [15] H. Jelinkova, "Utilization of solar energy in greenhouse," *Greenhouse Heating with Solar Energy*, REU Technical Series 1, FAO, ENEA, Roma, pp 86 – 93, 1987.
- [16] J. Kavin, S. Kurtan, "Utilization of solar energy in greenhouse," *Greenhouse Heating with Solar Energy*, REU Technical Series 1, FAO, ENEA, Roma, pp 178–185, 1987.
- [17] M. Bricault, "Use of heat surplus from a greenhouse for soil heating," *Proceedings of the International Conference on Energex* 82, Regina, pp 564–568, 1982.
- [18] V. P. Sethi, S. K. Sharma, "Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications," *Solar Energy*, vol. 82, pp 832–859, 2008.
- S. Bezari, A. Bouhdjar, S. M. A. Bekkouche, "Etude Expérimentale sur le Stockage Thermique dans un Lit de Galets Destiné au Chauffage des Serre Agricoles," *16èmes Journées Internationales de Thermique*. Marrakech, Maroc, 13 au 15 Novembre, 2013.