

## Use of geothermal water in protected culture in the Mediterranean region

Mougou A.

*in*

Choukr-Allah R. (ed.).  
Protected cultivation in the Mediterranean region

Paris : CIHEAM / IAV Hassan II  
Cahiers Options Méditerranéennes; n. 31

1999  
pages 135-143

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI020837>

To cite this article / Pour citer cet article

Mougou A. **Use of geothermal water in protected culture in the Mediterranean region.** In : Choukr-Allah R. (ed.). *Protected cultivation in the Mediterranean region* . Paris : CIHEAM / IAV Hassan II, 1999. p. 135-143 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 31)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

# L'UTILISATION DE LA GEOTHERMIE DANS LE CHAUFFAGE DES SERRES

A. MOUGOU

INAT 43, Avenue Charles Nicole. 1082. Tunis Mahrajène

**Abstract:** Since the world energy crisis, alternate source of energy has been a concern of many greenhouses. Growers have taken many steps to combat the sharp increases in cost of production. Although, techniques of energy saving have been used for better of temperature control, a lack of heat was observed in greenhouses, particularly when the target is the quality of production. So, intensification of research and application of the geothermal energy sources for heating greenhouses attracted the interest of many researchers and growers to explain the functioning of geothermal energy in the field of greenhouses heating. Some Mediterranean countries have confirmed the possibility of use at this energy source. Nevertheless, a number of constraints still persist as serious limitations to the use of geothermal water. Some experiences of heating installations (heat exchangers) and their impact in crop production are overviewed in this paper.

## INTRODUCTION

L'utilisation des eaux géothermales existe sous deux formes à savoir la production d'électricité et les utilisation directe. Le diagramme de Lindal, (1973) illustre en figure 1 les températures minimales requises en géothermie pour les différentes utilisations. Ainsi, les eaux géothermales peuvent être utilisées pour le chauffage des serres, dans une marge de température allant de 40°C à 80°C

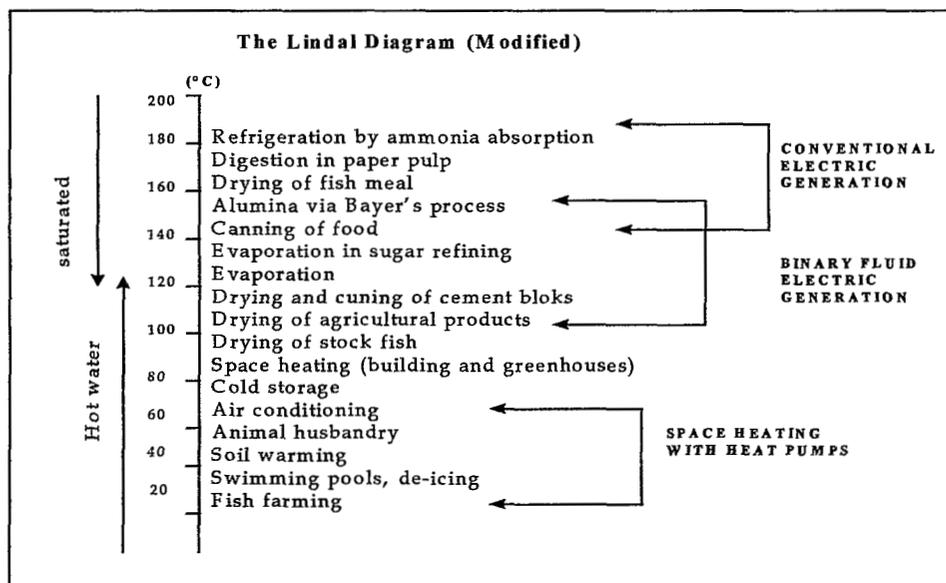


Figure 1: Diagramme de Lindal pour les températures des fluides typiques pour utilisation directe des ressources géothermiques (Modifié par Lindal, 1973)

Cette application directe de la géothermie dans le chauffage des serres a pris de l'importance avec la crise énergétique et le choc pétrolier des années soixante dix ; la recherche dans le domaine des énergies renouvelables a, par conséquent, été intensifiée et des réseaux coopératifs européens pour les énergies rurales ont été instaurés sous le parrainage de la FAO.

Par ailleurs des techniques d'économie d'énergie utilisant les doubles parois, les films infra rouge, les écrans thermiques etc., ont été essayées, mais il s'est avéré que ces techniques ne peuvent pas compenser l'appoint thermique apporté par le chauffage ; aussi l'orientation vers l'utilisation de nouvelles sources, d'énergie et en particulier la géothermie dans différentes applications agricoles dont le chauffage des serres, est devenue d'actualité.

## LA GEOTHERMIE DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN

Si le chauffage des serres par des techniques conventionnelles est bien développé en zone méditerranéenne, essentiellement pour palier au déficit thermique nocturne observé pendant les mois les plus froids, les techniques d'utilisation du chauffage par la géothermie se heurtent à un certain nombre de problème en l'occurrence:

- l'aspect économique, en effet un investissement généralement élevé pour l'utilisation de la source d'énergie (forage, conduites, etc...) est nécessaire,
- la complexité de l'utilisation de la géothermie où plusieurs spécialités peuvent être impliquées (hydrogéologie, génie rural, chimie des eaux, agronomie, etc...).
- le site de la source géothermale est souvent éloigné de l'endroit de l'utilisation de l'énergie.
- l'organisation que nécessite l'utilisation de cette source d'énergie (disponibilité en eau chaude, retour après utilisation, tarification, etc...),
- l'impact de l'utilisation des eaux géothermales sur l'environnement,
- les débits d'eau utilisés pour le chauffage des serres sont généralement élevés et d'autres activités sont souvent nécessaires pour rendre rentable le chauffage par les eaux géothermales, si celles-ci ne sont pas corrosives et polluantes

Plusieurs pays méditerranéens ont eu une expérience dans le domaine du chauffage des serres par les eaux géothermales; parmi ces pays nous pouvons citer la France, la Grèce, l'Italie, l'Espagne, la Turquie, l'Ex-Yougoslavie, Israël, la Tunisie, le Maroc et l'Algérie. (tableau 1). Toutefois les techniques utilisées pour le chauffage diffèrent d'un pays à l'autre, ce qui montre que ce secteur nécessite encore des travaux de recherche pour rendre l'utilisation de cette source d'énergie efficiente.

**Tableau 1: Potentiel géothermique pour une utilisation directe et superficies des serres chauffées par la géothermie (d'après Freeston, 1990 et Popovski, 1988, modifié).**

Pays	Puissance énergétique	Surface de serre chauffée (ha)
France	337	24.3
Italie	329	36.6
Turquie	246	7.3
Ex Yougoslavie	113	70.7
Grèce	18	7.75
Espagne	10	20
Algérie	13	
Tunisie	90	75

## LES DIFFERENTS SYSTEMES DE CHAUFFAGE UTILISANT LA GEOTHERMIE

L'utilisation de la géothermie pour le chauffage des serres a démarré sans une recherche préalable, c'est pourquoi une multitude de systèmes sont utilisés dans les différents pays méditerranéens ; nous pouvons en citer quelques exemples.

### Le Système de chauffage du sol

#### 1-Système utilisant des gaines ou des tubes enterrés

Le système de chauffage constitué par des tubes en polyéthylène ou en polypropylène lisse ou annulé, enterrés dans le sol ou le substrat (sur tablette) à des profondeurs pouvant aller de 20 à 50 cm et espacés de 20 à 80 cm, utilise des températures relativement basses (25 à 35°C). Le transfert de chaleur est fonction de la configuration des tuyaux, de l'humidité du sol et de la différence de température (Boulard et Baille, 1984). Ce système peut convenir en zone méditerranéenne pour une large gamme de cultures.

#### 2-Le système de chauffage à même le sol

Ce système permet à la fois le chauffage du sol et de l'air. Plusieurs matériaux sont utilisés pour ce système de chauffage, à savoir: les gaines en polyéthylène, les tubes en polyéthylène, bd et hd, (Tal et al, 1987) les tubes en polypropylène lisse ou annulé et les tubes en métal de différents diamètres. Ce système de chauffage permet l'utilisation d'eau à température élevée; toutefois des dégâts peuvent être causés au système racinaire si la température dépasse 70°C. Par ailleurs ce système permet une température du végétal très proche de la température de l'air et convient aux conditions climatiques méditerranéennes. Son prix d'installation est peu cher et il est le plus utilisé ces dernières années, surtout pour la bonne tenue des tubes en polypropylène annelé.

#### Le paillage radiant

Ce système diffère du précédent par le fait que l'eau circule dans des matelas, ce qui permet une grande couverture du sol, comparé aux tubes. Il peut se présenter sous deux formes, soit en matelas soit en polytubes.

Ce système présente l'inconvénient d'être sensible aux déchirures, ce qui rend les pratiques culturales difficiles. Par ailleurs il ne permet de travailler qu'à de faibles pressions et à des températures de l'eau peu élevées. Le coefficient de transfert de chaleur varie entre 11 et 14w/m<sup>2</sup> K (Anonymus, 1986). Ce système, bien qu'il a connu un certain succès surtout pour les cultures qui valorisent les sols chauds à savoir les cucurbitacés (melon, pastèque, concombre, courgette), est actuellement peu utilisé.

#### Le système à aérotherme

Ce système de chauffage convectif, puise la source d'énergie dans l'eau géothermale qui doit circuler dans des tubulures devant la ventilation de l'aérotherme. Généralement la distribution de la température se fait à l'aide d'une gaine plastique trouée de différents diamètres. L'inconvénient de ce système est sa faible inertie, son prix élevé et la puissance électrique qui doit être disponible au niveau de l'exploitation.

## LA GEOTHERMIE EN TUNISIE

### Les essais préliminaires

Plusieurs essais de chauffage de serres à l'aide d'eaux géothermales ont été implantés dans différents sites du sud tunisien. C'est dans ce cadre et en fonction de la température de l'eau disponible, que plusieurs types d'échangeurs ont été utilisés à savoir:

- Tubes PE haute densité, Ø: 40mm	55°C et plus
- Tubes polypropylène (PP) annelés, Ø: 25mm	42-55°C (62°C dans un cas)
- Gaines EVA et polyuréthane (PU), Ø: 5mm	35-45°C
- Paillage radiant (4 canaux):	35-45°C
- Paillage radiant (9 canaux):	20-35°C

Dans tous les cas, les échangeurs thermiques étaient posés à la surface du sol. Dans les premiers essais nous avons opté pour un système de chauffage en cascade reliant 3 serres lorsque la température de l'eau dépasse 55°C. Avec les eaux de 20-40°C, les serres étaient chauffées individuellement. Le régime de chauffage était du type tout-ou-rien, en principe sans système de régularisation bien qu'on ait parfois essayé une certaine régularisation en jouant sur les débits. Les volumes débités pour le chauffage étaient assez faibles puisque l'un des principaux objectifs était par ailleurs de refroidir l'eau recueillie dans des réservoirs doublés de film PE et de la reprendre par pompage pour l'irrigation. La capacité énergétique varie considérablement en fonction de l'eau disponible sur chaque site expérimental.

Le coefficient de déperdition thermique ( $K_c$ ) a été déterminé expérimentalement sous serres chauffées par les eaux géothermales et est de l'ordre de 30 Kcal.h.m<sup>2</sup>.k (Chaabi, 1991); alors que les pertes théoriques d'énergie d'une serre maintenue à 12°C dans le sud tunisien vont de 100 à 120 Kcal.h.m<sup>2</sup> selon la situation plus ou moins continentale de l'implantation des serres. Par rapport à ces besoins théoriques en énergie, nous n'avons utilisé que des capacités plutôt faibles dans le souci de réduire les coûts. Néanmoins; afin de maintenir des températures de nuit suffisantes aux besoins physiologiques des plantes, le chauffage démarrait au moins une demi-heure avant le coucher du soleil, cette mesure empêchait une chute brutale de la température et assurait des températures de nuit supérieures au seuil fixé (12°C) et proches de l'optimum requis par la culture, cela sous un régime de température variable. Le chauffage se poursuivait normalement jusqu'à 8.00 h.

### Observations techniques sur les installations

#### 1-les matériaux de chauffage

Si la mise en place de tous les systèmes de chauffage est relativement facile lorsqu'on emploie des matériaux appropriés, certains matériaux réservent cependant quelques difficultés; en effet:

- les tubes en haute densité (PEhd) peuvent être utilisés sans risques sous des températures d'eau relativement élevées (65°C et plus) et des pressions relativement fortes (2-3 bars). Toutefois, leur coefficient de dilatation thermique élevé fait qu'ils se tortillent facilement d'où la nécessité de les fixer au sol à l'aide d'agrafes. Il faut en outre prévoir des opercules, au moins sur les retours, pour éviter la formation de bulles.

- les tubes en polypropylène annelé sont mieux adaptés et n'exigent pas d'opercules lorsque les débits ne sont pas trop faibles. La dilatation thermique est facilement surmontée par la structure

annelée. Ce type de tube est à utiliser pour des eaux à 30-65°C et sous des pressions réduites, respectivement 1 et 2 bars.

- le paillage radiant a le grand inconvénient de fonctionner par gravité et d'exiger en conséquence une pompe lorsque l'eau est reprise pour l'irrigation après stockage.
- les gaines EVA et PU qui s'accommodent de faibles pressions, de l'ordre de 0,2 à 0,3 bars, sont assez fragiles.

Par ailleurs, nos observations nous ont permis d'obtenir les valeurs moyennes des coefficients d'émission (en kcal.h.m<sup>2</sup>.°C) pour les différents échangeurs posés à la surface du sol :

- Tubes Pehd, Ø: 40 mm : 9,5
- Tubes PP, Ø: 25 mm : 13
- Paillage radiant (face supérieure seulement) : 13
- Gaines PU, Ø: 55 mm : 5,5
- Gaines EVA, Ø: 55 mm : 7,5

Grâce à ces valeurs, il est possible de calculer la surface d'échange nécessaire pour réaliser l'apport calorifique souhaité.

## 2- La régulation

La méthode du tout-ou-rien en chauffage de serre ne permet de chauffer que pendant une courte période en raison des risques de surchauffe de l'air (maximum 18-20°C) et du sol (maximum 26-27°C) se situant à la fin de l'automne et au début du printemps. Une régulation des apports calorifiques dans la serre permettrait de chauffer pendant une période plus longue (6 mois), assurant des conditions plus favorables aux cultures; ainsi le système de la cascade crée une interdépendance entre les différentes serres de la cascade et une défaillance de chauffage dans une serre se répercute sur les autres. La régularisation de l'apport calorifique par réduction des débits est très difficile car l'effet n'est pas uniforme dans les différentes serres d'une cascade. (Mougou et al. 1987).

La distribution énergétique du système de chauffage est très hétérogène dans le cas d'une circulation à sens unique, particulièrement dans le cas du paillage radiant et des gaines EVA. La végétation manifeste alors des gradients correspondant aux gradients thermiques dans la serre. Le paillage radiant est encore plus sensible que les gaines EVA à ce phénomène qui est accentué par les faibles débits.

L'utilisation de débits élevés dans de tubes PP de 25 mm de diamètre en circulation à double sens (12 allers et 12 retours) donne de bons résultats. La dissipation calorifique est alors très homogène mais l'eau à la sortie reste à une température assez élevée et n'est donc pas directement utilisable pour l'irrigation.

La réduction des débits diminue la température de sortie mais accentue l'hétérogénéité des apports calorifiques jusqu'à un écart de 26 % (tableau 2).

**Tableau 2 : Influence du débit sur la puissance énergétique (kcal.h.m<sup>2</sup>)**

Secteur de la serre	1 l/s	0,75 l/s	0,5 l/s	0,25 l/s
1	132,6	125,1	112,6	91,1
2	131,4	123,2	108,6	80,4
3	130,7	121,9	106,3	73,5
4	130,3	121,2	103,1	70,1
Déviation %	1,7	3,2	6,9	26,1
Température de sortie (°C)	46,3	41,7	34,2	21,3

\* Expérience menée avec des tubes en polypropylène annelé de 25mm de diamètre utilisés en double sens (12 allers et 12 retours) à une température de 65°C.

Par ailleurs les études menées sur la distribution énergétique par utilisation des agencements de boucles dans différents endroits de la serre (Baccouche, 1990), ont permis de constater que l'air chaud est toujours localisé près du sol et au faitage de la serre.

### Remarques générales sur le système de chauffage

Le système de chauffage adopté actuellement et qui repose sur l'utilisation d'une technologie adaptée aux conditions tunisiennes donne actuellement satisfaction quant au matériel utilisé. Toutefois la maîtrise du chauffage reste tributaire du contrôle des températures nocturnes de l'air et du sol.

En général dans nos conditions sous serres, les températures ne sont pas stables pendant la nuit et baissent d'autant plus qu'on s'approche du lever du soleil. Des régimes de températures nocturnes glissantes donnent au niveau de la plante une réponse globale égale à celle d'une température stable égale à la moyenne du régime glissant à condition de ne pas descendre en dessous d'un minimum absolu (12°C pour la tomate) et que l'écart entre le minimum et le maximum nocturne ne soit pas trop grand (environ 5°C).

Aussi afin d'améliorer la régulation et de permettre une utilisation plus prolongée du système de chauffage, surtout chez les petits agriculteurs, 2 réseaux de chauffage indépendants dans la serre, sont conçus, permettant ainsi d'utiliser 3 puissances énergétiques (1/3, 2/3 en utilisant l'un ou l'autre réseau et 3/3 en les utilisant ensemble), ce qui permet d'adapter plus ou moins la puissance à la demande par deux vannes manuelle (Mougou et Verlodt, 1991).

Pour maîtriser les températures nocturnes il est parfois nécessaire d'aérer pendant les nuits chaudes. En période à nuits froides, l'insuffisance de chauffage peut être particulièrement compensée par la mise en route précoce du système de chauffage.

Il y a un lien entre la température du sol et celle de l'air. Dans le cas de chauffage par tubes posés par terre, la température du sol est de 7°C supérieure à celle de l'air.

Si la serre est équipée d'un réseau de chauffage calculé pour une température de référence de 14°C au niveau de l'air, les tubes de chauffage peuvent être disposés par terre. En arrière saison et au printemps, les températures du sol peuvent néanmoins devenir trop élevées, et les tubes de chauffage doivent alors être éloignés des pieds des plantes, sauf si la serre est équipée d'une vanne thermostatée.

Par contre si le réseau de chauffage est calculé pour une température de 17-18°C au niveau de l'air, il y a lieu d'éloigner les tubes de chauffage du sol, en les disposant sur des supports qui peuvent aussi être utilisés comme support de couchage pour la tomate.

## IMPACT DU CHAUFFAGE GEOTHERMALE SUR LES CULTURES

L'utilisation de la géothermie pour le chauffage des serres ne se distingue des autres systèmes de chauffage que par la spécificité citée plus haut (2).

Par ailleurs, le chauffage des serres n'est souvent qu'une composante d'un projet intégré utilisant la géothermie qui est devenu une source d'énergie commerciale ayant des domaines d'application directe assez larges.

L'utilisation de la géothermie à faible enthalpie qui s'est avérée très intéressante pour certaines cultures et sous certaines conditions de culture, peut être retenue aussi comme étant une optimisation des techniques de ce type de chauffage pour certaines espèces.

Ainsi, l'incidence du chauffage par les eaux géothermales sur les cultures, du point de vue biologique et agronomique, n'est plus à démontrer au vu des résultats obtenus en Tunisie et ailleurs (Campiotti, 1990; Matzoupoulou, 1990; Verlodt et Mougou, 1990).

L'impact du chauffage sur la croissance et la fructification de plusieurs espèces est incontestable, il s'est manifesté en particulier sur la tomate par:

- le raccourcissement de la période: semis-production de 30 jours (de 120 à 90 jours),
- et la réduction de la période: floraison-récolte de 30 jours (de 90 à 60 jours), (Mougou et Verlodt, 1990); ce qui a engendré une meilleure précocité et par conséquent a permis une meilleure concentration de la production au cours de la période favorable à l'exportation. (100% pour le melon et 80 % pour la tomate).

Par ailleurs, le maintien d'une température seuil (12°C) a permis d'améliorer la nouaison et par conséquent le calibre et le rendement (augmentation de la partie exportable de la production et du rendement de 20%). Aussi, les techniques utilisant des systèmes de chauffage posés à même le sol ont permis une meilleure absorption minérale se répercutant sur la qualité du produit obtenu. (meilleure coloration et fermeté, pourcentage d'extrait sec élevé, etc....).

Par ailleurs il est à signaler que les systèmes de chauffage utilisés actuellement en géothermie favorisent une élévation de la température sol et entraînent donc une pullulation plus grande des nématodes en cas d'infestation. Toutefois les maladies cryptogamiques classiques (mildiou, alternariose, botrytis) ont tendance à diminuer, surtout quand le chauffage est maintenu avec une aération pendant les premières heures de la journée

## CONCLUSION

L'utilisation de la géothermie dans le bassin méditerranéen, reste avant tout tributaire de la politique générale d'un pays en matière d'énergie. Comme nous l'avons mentionné plus haut, le chauffage géothermale doit être compétitif par rapport aux autres sources de chauffage. Par ailleurs, les expériences menées dans certains pays sont très différentes d'une situation à l'autre et ne sont intéressantes que dans le contexte où elles ont été réalisées.

En effet, les spécificités des eaux géothermales font de sorte que lorsque ces eaux sont corrosives ou polluantes, par exemple, la conception de leur utilisation est différente, car d'autres applications seraient alors difficiles et la gestion des eaux utilisées pour le chauffage est coûteuse (réinjection par exemple). Aussi, les investissements nécessaires pour l'utilisation de cette énergie, peuvent différer énormément d'un cas à l'autre; entre l'artésianisme et le pompage par exemple, la décision d'utiliser la géothermie nécessite souvent une étude très exhaustive pour pouvoir décider quant à l'utilisation de cette source pour le chauffage des serres.

Les résultats positifs obtenus quant à l'augmentation des rendements d'une part et à l'incidence sur la qualité d'autre part ne peuvent que nous encourager à utiliser cette source d'énergie là où elle est disponible; toutefois il y a lieu de garder en mémoire que le coût de la thermie utilisée pour le chauffage des serres reste le facteur déterminant pour l'expansion de ce mode de chauffage et que la technologie à utiliser doit être simple et adaptée aux conditions de production de légumes et fruits sous-serre.

## REFERENCES

**Anonymus; 1986.** Valorisation agricole des eaux à basse température. Rapport de synthèse des expérimentations réalisées sur le site de St. Laurent des eaux: 1978-1981. INRA. Avignon. Bioclimatologie. STEFCE, 168 pages.

**Baccouche, M., 1990.** Comparaison de la distribution des températures sous abris chauffés par la géothermie. *Acta Horticulturae* n° 263, pp 213-224

**Boulard T. et A. Baille, 1984.** Utilisation d'eau à basse température pour le forçage de cultures sous-abris. I Aspects microclimatique et énergétiques. *Agronomie* 4 (3). pp 213-220.

**Compiotti, C. A., 1990.** Using geothermie energy as heat source for greenhouse heating. *Acta Horticulturae*, n° 263. pp 165-174.

**Chaibi M.T., 1991.** Coefficient heat transfer from greenhouses heated by geothermal energy in south Tunisia. *Plasticulture*, n° 92. pp 41-48.

**Freeston D. H., 1990.** Direct use of geothermal energy in 1990. *G RC Bull.* pp 188-198.

**Lindal, B., 1973.** Industrial and other applications of geothermal energy, *Earth Sciences* (Edited by Armstead, H.C.U.). vol 12. pp 135-148. Unesco

**Martzoupoulou C.N., 1991.** Greenhouse heating systems with geothermal energy of low enthalpy in Greece. *Acta Horticulturae* n° 263. pp 183-189.

Mougou A., K. Belkhodja, H. Verlodt et H. Essid. Geothermal heating of greenhouses in the south of Tunisia. Proposals for a simple control. *Plasticulture* n° 75 pp 41-50.

**Mougou A. et Verlodt H, 1991.** Influence du chauffage des serres sur le cycle cultural du melon et de la tomate dans le sud et le centre de la Tunisie. *Acta Horticulturae*. n° 263, pp 77-82.

**Mougou R. et Verlodt H; 1991.** Le pilotage du chauffage de serres par les eaux géothermales *Revue de l'INAT*, volume 6 n° 2. pp: 103-115.

**Popovski K. 1988.** Present status and experiences of Geothermal energy use for heating greenhouses in europe. International seminar on the use of geothermie energy in agriculture Vila Real (Portugal)- Octobre 1988.

**Tal A., I. Segal, R. Regev, A. Steinfeld, S. Cohen and I. Zer, 1987.** Design procedure for a greenhouse space heating system utilising geothermal warm water. *Energy in Agriculture*. Elsevier Science Publishers B.V, 6 pp 27-34.

**Verlodt H. et A. Mougou, 1991.** Influence du chauffage géothermique sur une culture de melon d'arrière saison. *Acta Horticulturae* n° 263 pp 191-199.