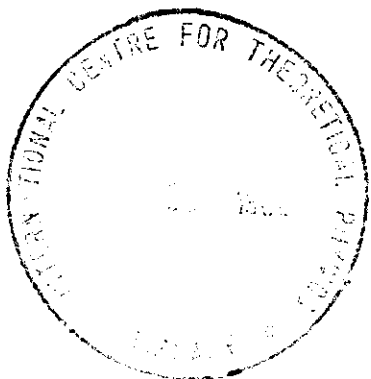




INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS

34100 TRIESTE (ITALY) - P.O.B. 586 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2240-1
CABLE: CENTRATOM - TELEX 460592 - I

H4.SNR/193 - 29

"COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA SCIENCE DES MATERIAUX POUR L'ENERGIE".
(26 août - 11 septembre 1986).

UTILISATION DE DIVERS
MATERIAUX DANS LES APPLICATIONS
SOLAIRES

Mustafa Babayigit

M.T.A. Enstitüsü
Ankara, Turkey

Ces notes de recherche provisoires, sont destinées aux participants. Eventuellement, d'autres copies seront disponibles au bureau 231.

UTILISATION DE DIVERS MATERIAUX DANS LES APPLICATIONS SOLAIRES

Depuis le regain d'intérêt aux travaux solaires, il y a plus de vingt ans, plusieurs orateurs ont parlé, avec l'enthousiasme des premiers jours, dans plusieurs forums, de l'énergie solaire comme une source "inépuisable, non polluante et gratuite". Aujourd'hui, nous savons par expérience que cette formule est exagérée et que l'énergie solaire n'est pas du tout gratuite et qu'elle peut devenir "exorbitante", même dans les applications les plus courantes comme le chauffage d'eau domestique, si certaines précautions nécessaires ne sont pas prises.

En réalité, la compétitivité économique des chauffe-eau même domestiques est toujours controversée. En effet 2 données imprécises rendent tout calcul économique peu fiable. Ce sont le rendement global et la longévité du système.

Mais actuellement malgré ces imprécisions, plusieurs études économiques sont réalisées. L'une des ces études qui est assez caractéristique a été effectuée en 1982 par SERI (Solar Energy Research Institute) aux Etats Unis. Dans cette étude des systèmes de chauffage d'eau solaires fabriqués de divers matériaux et possédant des surfaces de captation de différentes grandeurs (variant de 75 ft² à 2424 ft²) sont comparés. D'après cette étude, les coûts obtenus pour 1 ft² de surface nette de capteur varient entre 26 \$ (pour les capteurs en matière plastique) et 90 \$ (pour les capteurs en cuivre) et comprennent matériaux, main d'oeuvre et frais d'installation. D'autre part toujours d'après cette étude, en moyenne, 56 % du coût global appartient aux matériaux, 27 % aux frais généraux et 17 % à la main d'oeuvre. Les frais généraux englobent aussi le bénéfice net. Dans les dépenses de matériaux, la plus grande part appartient au capteur.

Cette étude nous démontre aussi que la majeure partie du coût appartient aux matériaux et qu'une baisse du coût de matériaux peut entraîner une baisse importante dans le coût global.

D'autre part dans un sens général, il est certain que les matériaux relativement bon marché sont les matériaux locaux.

Agissant dans cette logique depuis plusieurs années dans le centre de Recherche Héliotechnique de Marmaris, nous avons étudié les possibilités de fabrication et d'utilisation de divers matériaux locaux en vue de réaliser des systèmes solaires performants et bon marché.

Les travaux principaux, entrepris dans ce contexte sont résumés dans cet exposé.

I. FABRICATION DES COUDES SELECTIVES

THEORIE

Les pertes totales d'un capteur photothermique sont l'ensemble "des pertes optiques dues aux réflexions sur la couverture et sur l'absorbeur", et "des pertes thermiques créées par conduction, convection et rayonnement":

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{optique}} + Q_{\text{thermique}} \quad (\text{Figure 1}).$$

On peut admettre en général, que les pertes optiques sont indépendantes de la température de fonctionnement du capteur or les pertes thermiques en dépendent directement. Ainsi l'on peut écrire les pertes thermiques sous la forme suivante:

$$Q_{\text{thermique}} = Q_{\text{réémise}} + Q_{\text{convective}} + Q_{\text{conductive}}$$

où

$$Q_{\text{réémise}} = \frac{1}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2} + 1} \sigma (T_a^4 - T_c^4)$$

$$Q_{\text{convective}} = Nu \left[\frac{k_1}{l_1} (T_a - T_c) \right]$$

et

$$Q_{\text{conductive}} = \frac{k_2}{l_2} (T_a - T_c)$$

sont exprimées en $(\frac{W}{m^2})$.

Dans ces formules:

ϵ_1 : émissivité hémisphérique de l'absorbeur dans l'infrarouge

ϵ_2 : émissivité hémisphérique de la couverture dans l'infrarouge

σ : constante de stefan-Boltzmann égale à $5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

T_a : température de l'absorbeur

T_c : température de la couverture

k_1 : conductivité thermique de l'air

k_2 : conductivité thermique de l'isolation arrière et latérale

L_1 : distance entre absorbeur et couverture

L_2 : épaisseur de l'isolation

Nu : nombre de Nusselt qui est fonction du nombre de Grashof (Gr) et du nombre de Prandtl (Pr). Le produit de Pr et de Gr est le nombre de Rayleigh (Ra).

En admettant les valeurs moyennes courantes suivantes pour un capteur ayant un absorbeur peint avec une peinture noire ordinaire:

$$T_a = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ K}$$

$$T_c = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$\epsilon_1 = 0,9$$

$$\epsilon_2 = 0,8$$

on trouve pour les pertes par rayonnement:

$$Q_{\text{réemise}} = 340 \text{ W/m}^2$$

D'autre part la théorie et l'expérience montrent que si $Ra \leq 1700$, $Nu \approx 1$. Dans ce cas, les pertes par convection sont égales à:

$$Q_{\text{convective}}^{(1)} = 169,8 \text{ W/m}^2$$

avec

$k_1 = 0,0283 \text{ W/mK}$ pour l'air et pour une distance $L_1 = 10 \text{ cm}$ entre absorbeur et couverture.

Quant aux pertes conductives, elles sont égales à:

$$Q_{\text{conductive}} = 20 \text{ W/m}^2$$

Pour une isolation en fibres ou en mousse avec $k_2 = 0,06 \text{ W/mK}$ et d'une épaisseur de 18 cm. Dans ces conditions les pertes thermiques totales seront égales à:

$$Q_{\text{thermique}} = 340 + 169,8 + 20 = 529,8 \text{ W/m}^2$$

Pour une intensité solaire moyenne de 700 W/m^2 les pertes totales seront égales aux $\frac{3}{4}$ de l'énergie incidente. On voit bien que c'est énorme.

Cet exemple numérique très simple est donné pour bien illustrer l'importance de la sélectivité spectrale de l'absorbeur, au-dessus d'une température de fonctionnement déterminée et qui est prise généralement égale à 60°C .

En réalité ces calculs doivent se faire non seulement sur les rendements instantanés, mais aussi sur leurs valeurs intégrées sur un intervalle de temps déterminé comme le jour, la semaine, le mois ou l'an. Ainsi en tenant compte des propriétés optiques et du coût de la couche sélective, l'on peut choisir parmi les cinq grandes voies de sélectivité spectrale (à savoir: 1° Matériau unique, 2° Filtre interférentiel, 3° Effets de diffusion en volume, 4° Effet de la texture de surface, 5° Tandem absorbeur-réfecteur) celle adaptée à l'application et au site.

(1) $Q_{\text{convective}}$ comprend aussi les pertes par conduction de la face avant du capteur.

Mais en tout cas, aucune sélectivité ne présente d'intérêt pour les températures inférieures à 60°C, pour les quelles les pertes par convection et conduction sont très importantes vis-à-vis celles dues à la réémission.

Toute surface dont la réflectivité, la transmissivité et l'absorptivité varient avec la longueur d'onde du rayonnement incident est par définition appelée "spectralement sélective". Les propriétés optiques d'un capteur sélectif idéal sont représentées sur la figure 2.

Quand on étudie cette figure, on voit bien que:

$$\begin{aligned} \alpha_{\lambda} &= 1 & \text{pour} & & 0 < \lambda < \lambda_c \\ \epsilon_{\lambda} &= 0 & \text{pour} & & \lambda_c < \lambda < \infty \end{aligned}$$

ici, α_{λ} et ϵ_{λ} sont l'absorptivité hémisphérique et l'émissivité hémisphérique de l'absorbeur, respectivement.

Pour se rapprocher de ces conditions idéales la voie la plus simple est d'équiper le capteur d'un absorbeur sélectif tel que:

$$\begin{aligned} \rho(\lambda, T) &= 0 & \text{pour} & & 0 < \lambda < \lambda_c \\ \rho(\lambda, T) &= 1 & \text{pour} & & \lambda_c < \lambda < \infty \end{aligned}$$

ici, $\rho(\lambda, T)$ est la réflectivité hémisphérique de la surface de l'absorbeur.

λ_c , qui est aussi appelée "longueur d'onde de coupure", est approximativement égale à 3 μm pour un absorbeur dont la température de sa surface se situe entre 50°C et 100°C. C'est-à-dire dans ce cas, la surface de l'absorbeur est absorbante ou "noire", vis-à-vis du rayonnement solaire et réfléchissante ou "blanche", vis-à-vis du rayonnement infrarouge.

L'absorptivité solaire totale et l'émissivité totale de la surface de l'absorbeur sont alors définies par intégration sur tout le spectre solaire:

$$\alpha = \frac{\int_0^{\infty} \alpha(\lambda, T) H(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} H(\lambda) d\lambda}$$

$$\epsilon = \frac{\int_0^{\infty} \epsilon(\lambda, T) M_{\lambda}^*(\lambda, T) d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{\lambda}^*(\lambda, T) d\lambda}$$

où:

α : absorptivité solaire totale

ϵ : émissivité totale

$H(\lambda)d\lambda$: flux du rayonnement hémisphérique incident sur la surface par unité de temps et d'aire dans l'intervalle de longueur d'onde $d\lambda$

$M_{\lambda}^*(\lambda, T)d\lambda$: émittance du corps noir à la température T , dans l'intervalle de longueur d'onde $d\lambda$.

MOTIVATION

Pour les températures moyennes variant entre 60°C et 150°C, la sélectivité spectrale augmente visiblement le rendement de conversion. Même aux températures supérieures à 100°C, les capteurs plans peuvent avoir un rendement acceptable et être utilisés dans des applications telles que la réfrigération, le dessalement, la distillation, la pasteurisation, etc...

Le but de ces travaux a été, sans prendre en considération une seule application spécifique, la production de la chaleur industrielle au-dessus de 80°C, en n'utilisant que des capteurs plans.

Le bilan énergétique de la surface unitaire d'un capteur photothermique plan à une température T_a , peut s'écrire sous la forme simplifiée suivante:

$$Q_u = \alpha \phi_o - \epsilon \sigma (T_a^4 - T_o^4) - u(T_a - T_o)$$

où:

Q_u : puissance utile

α : absorptivité hémisphérique du capteur

ϕ_o : flux solaire incident

ϵ : émissivité hémisphérique de l'absorbeur

σ : constante de stefan-Boltzmann

T_a : température de l'absorbeur

T_o : température ambiante

U : facteur global de conduction et de convection.

En une première approximation en négligeant les pertes par conduction et convection, le rendement de conversion du capteur peut être donné par:

$$\eta_c = \alpha - \frac{\epsilon \sigma}{\phi_o} (T_a^4 - T_o^4)$$

$$\text{Quand } \eta_c = 0, \quad T_a = T_{\max} = \left(\frac{\alpha}{\epsilon} - \frac{\phi_o}{\sigma} + T_o^4 \right)^{\frac{1}{4}}$$

On voit bien que la température de stagnation du capteur est proportionnelle au rapport $\frac{\alpha}{\epsilon}$ de la surface de son absorbeur. Ce rapport est appelé "facteur de mérite", et doit être supérieur à 5 pour qu'une surface puisse être considérée spectralement sélective.

En effet, sous les conditions normalisées de $T_o = 20^\circ\text{C}$, $\phi_o = 1000 \text{ W/m}^2$, on obtient $T_{\max} \cong 545^\circ\text{C}$ et les pertes thermiques totales pour $\alpha = 0,9$, à $T_a = 80^\circ\text{C}$ se réduisent à $Q_{\text{thermique}} = 189,9 \text{ W/m}^2$ c'est-à-dire, elles diminuent à peu près 2,79 fois.

Nous nous sommes donc efforcés dans notre centre à fabriquer par divers procédés des surfaces noires ayant un facteur de mérite au moins égal à 5.

FABRICATION

Dans nos laboratoires du centre nous avons utilisé 2 procédés différents pour obtenir des couches sélectives par la voie de "Tandem absorbeur-rélecteur":

1°. 1° Electrolyse

2°. Le dépôt chimique.

1°. Procédé Electrochimique

Dans ce procédé, nous avons utilisé des substrats en acier doux et en cuivre et fait plusieurs essais, en changeant la température et la concentration des bains ainsi que le temps de dépôt et la densité du courant, pour influencer les propriétés optiques des couches.

Les conditions d'électrolyse et les compositions des bains sont données ci-dessous:

-Bain de dégraissage (Densité moyenne du courant: 7 A/dm^2 , tension: 3 V CC, temps: 1 minute)

Hydroxyde de sodium: 35 gr/lit

Carbonate de sodium : 50 gr/lit

Cyanure de sodium : 25 gr/lit

-Bain de nickel mat (Densité moyenne du courant: 6 A/dm^2 , tension: 3 V CC, temps moyen: 15 minutes)

Sulfate de nickel : 30 gr/lit

Chlorure de nickel : 100 gr/lit

Acide borique : 50 gr/lit.

-Bain de noir du chrome (Densité du courant: entre 60 A/dm^2 et 10 A/dm^2 , tension: 3 V CC, temps: entre 1 et 8 minutes)

Acide chromique : 250 gr/lit

Nitrate de sodium : 7 gr/lit

Le tableau 1 donné en annexe, resume les traitements chimiques appliqués à une première série d'échantillons numérotés de 1 à 14.

2°. Procédé Chimique

Dans ce procédé, nous avons utilisé des substrats en aluminium, en cuivre et en acier doux et nous avons expérimenté des traitements variés purement chimiques trouvés dans la littérature.

Le tableau 2 donné en annexe, résume ces traitements purement chimiques appliqués à une deuxième série d'échantillons numérotés de 1 à 8.

MESURES

Les mesures de réflectivité et de température de surface sont faites dans le centre de Recherche Héliotechnique de Marmaria. La figure 3 donne la comparaison des réflectivités d'une couche de noir du chrome et de la peinture noire ordinaire. Les changements des températures superficielles du noir du chrome et de la peinture noire ordinaire en fonction de l'intensité solaire sont représentés sur la figure 4.

Les autres mesures optiques sont effectuées à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

Mode Opératoire

-Coefficient d'absorption α_s : Ce coefficient est déduit des mesures de réflectivité hémisphérique faites presque sur toute l'étendue du spectre solaire (plus exactement dans l'intervalle 0,3 μm - 2,5 μm correspondant à 96 % de l'énergie solaire hors atmosphère) et en utilisant une méthode de moyenne. Le tracé du spectre $\rho_\lambda = f(\lambda)$ entre 0,3 et 2,5 μm est réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre BECKMAN ACTA IV équipé d'une sphère intégrante, en effectuant une mesure sur chaque ligne correspondant aux valeurs publiées du spectre solaire (spectre solaire hors atmosphère de THEKAERKARA, 25 lignes, Figure: 5). Une moyenne simple est faite et donne la valeur du coefficient α_s dans les conditions AM_1 :

$$\alpha_s = 1 - \rho_s = 1 - \frac{\sum_{0,3}^{2,5} \rho_\lambda S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{0,3}^{2,5} S_\lambda \Delta\lambda}$$

où:

ρ_s : facteur de réflexion solaire (réflectivité)

S_λ : éclairement énergétique monochromatique dans le spectre solaire

Les mesures sont faites à la température ambiante sous incidence normale.

Les figures: 6,7 et 8 donnent les spectres de réflectances.

-Coefficient d'émissivité ϵ_s : Une partie des mesures est faite directement grâce au dispositif d'émisométrie breveté par le centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble et mis au point pour mesurer les propriétés sélectives du chrome noir déposé électrolytiquement. L'émission est mesurée à environ 300°C. Les coefficients d'émissivité des autres échantillons sont déterminés par la mesure des coefficients de réflectivité totale hémisphérique des surfaces vis-à-vis du spectre d'émission d'un corps noir à 170°C.

Résultats Expérimentaux

Les résultats expérimentaux obtenus pour tous les échantillons sont rassemblés ci-dessous dans les tableaux 3 et 4.

Tableau: 3
Première Série

Numéro	1	2	3	4	5	6	7
Réflectivité ρ (%)	2,7	2,8	2,5	2,7	3,4	2,3	4,1
Absorptivité α (%)	97,3	97,2	97,5	97,3	96,6	97,7	95,9
Emissivité ϵ (%)	28	22	32	46	50	26	80
Facteur de mérite	3,47	4,41	3,04	2,11	1,93	3,75	1,19
Numéro	8	9	10	11	12	13	14
Réflectivité ρ (%)	2,9	3,7	3,2	3,0	3,1	2,6	2,9
Absorptivité α (%)	97,1	96,3	96,8	97,0	96,9	97,4	97,1
Emissivité ϵ (%)	36	22	39	27	31	32	47
Facteur de mérite	2,69	4,37	2,48	3,59	3,12	3,04	2,06

Tableau: 4
Deuxième Série

Numéro	1	2	3	4	5	6	7	8
Réfectivité ρ	0,13	0,13	0,16	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14
Absorptivité α	0,87	0,87	0,84	0,88	0,88	0,87	0,86	0,86
Emissivité ϵ	0,76	0,68	0,31	0,17	0,74	0,24	0,24	0,21
Facteur de mérite	1,14	1,27	2,7	5,17	1,18	3,62	3,58	4,09

Commentaires

Tous les échantillons examinés sont absorbants dans le spectre solaire, mais à la manière des corps noirs, leur émissivité est très importante.

Dans la première série, seuls les échantillons numérotés 2 et 9 se rapprocheraient des propriétés optiques exigées de matériaux sélectifs solaires (fort coefficient $\alpha \geq 80\%$, faible émissivité $\epsilon \leq 20\%$, facteurs de mérite 4,41 et 4,37 respectivement).

Dans la deuxième série, seul l'échantillon numéroté 4 présente des propriétés de sélectivité spectrale: $\alpha = 0,88$, $\epsilon = 0,17$, $\frac{\alpha}{\epsilon} = 5,17$.

Il semble que dans la première série, les échantillons qui se rapprocheraient des matériaux sélectifs, correspondraient, pour d'assez forte densité de courant (120 et 450 A pour $7,5 \text{ dm}^2$), aux temps de dépôt électrolytique les plus faibles (1 mn et 4 mn), les autres conditions opératoires étant constantes pour tous les échantillons.

Dans la deuxième série le fer noir obtenu sur un substrat d'acier doux paraît posséder des propriétés tout à fait sélectives.

D'autre part pour la première série, il semble possible de continuer de travailler dans la même voie, en effectuant des dépôts plus courts dans les mêmes zones de densité de courant.

En effet, l'examen des échantillons montre que ϵ augmente fortement avec le temps de dépôt.

II. CHAUFFAGE PASSIF ET ACTIF DES BATIMENTS PAR LES SYSTEMES A AIR

THEORIE

Par définition les systèmes solaires passifs sont des systèmes qui n'utilisent pas d'énergie auxiliaire, sauf humaine pour manoeuvrer éventuellement certains éléments mobiles. En revanche, les systèmes solaires actifs possèdent des organes mobiles tels que circulateurs, électrovannes, ventilo-convecteur, etc... qui nécessitent l'utilisation d'une énergie auxiliaire non-solaire.

Le tableau 5 montre comment on peut encore subdiviser ces deux catégories de systèmes dans le chauffage des bâtiments.

Dans le système passif à mur stockeur les rayons du soleil sont reçus à travers une vitre sur un mur sombre qui s'échauffe. Moyennant une épaisseur convenable du mur le flux thermique arrivant à l'intérieur se trouve déphasé d'une douzaine d'heures par rapport au flux incident et permet le chauffage nocturne. Le principe de ce mode de chauffage est schématisé dans la figure: 9.

On admet couramment qu'il faut en moyenne 1 m^2 de vitrage pour 10 m^3 de volume à chauffer. L'utilisation d'une surface verticale pour la captation a aussi l'avantage de moins chauffer en été qu'en hiver à cause de la plus grande obliquité des rayons solaires.

L'énergie totale captée et transmise à l'intérieur de la maison par le mur est égale à:

$$Q_{\text{totale}} = Q_t + Q_{\text{CL}} + Q_r$$

où Q_t , Q_{CL} et Q_r sont les énergies de thermocirculation de convection laminaire et de rayonnement, respectivement.

Ces énergies peuvent être calculées par les formules suivantes:

$$Q_t = \dot{m} C_p (T_o - T_i), \quad \dot{m} = V \rho, \quad V = \bar{v} S, \quad \bar{v} = kv$$

$$Q_{CL} = h (T_m - T_a), \quad h = 5,108 (T_m - T_a)^{1/4} \text{ kJ/m}^2 \text{h}^\circ \text{C}$$

$$Q_r = \sigma A_m F_{mn} (T_m^4 - T_n^4)$$

$$\frac{1}{F_{mn}} = \frac{1}{f_{mn}} + \frac{1}{\epsilon_n} - 1 + \frac{A_m}{A_n} \left(\frac{1}{\epsilon_n} - 1 \right)$$

où:

$\dot{m}$: débit massique
 C_p : chaleur spécifique de l'air
 T_o : température de sortie de l'air
 T_i : température d'entrée de l'air
 V : volume de l'air
 ρ : masse volumique de l'air
 $\bar{v}$: vitesse moyenne de l'air dans l'orifice
 S : section de l'orifice
 v : vitesse centrale de l'air dans l'orifice
 k : coefficient de corrélation
 h : coefficient d'échange de chaleur par conduction-convection
 T_m : température moyenne de la surface intérieure du mur-stockeur
 T_a : température ambiante à l'intérieur de la maison
 σ : constante de Stefan-Boltzmann
 A_m : Aire de la surface intérieure du mur-stockeur
 F_{mn} : coefficients de géométrie des murs
 f_{mn} : facteurs de dimensions des murs
 ϵ_m : émissivité de la surface intérieure du mur-stockeur
 A_n : aires des surfaces intérieures des autres murs, du plancher et du plafond
 ϵ_n : émissivité des surfaces intérieures des autres murs, du plancher et du plafond

Dans ces systèmes l'apport solaire annuel peut se monter jusqu'à 70 %.

Quant aux systèmes à air actifs, dans ces systèmes on utilise des capteurs à air pour le chauffage des bâtiments. Les capteurs à air ont l'avantage d'être moins lourds, moins compliqués et moins chers que les capteurs à eau. Ils ne présentent pas non plus de problèmes de corrosion et d'entartrage et les fuites y sont moins gênantes. Par contre ils ont des performances modestes par suite de la faible capacité thermique de l'air (0,000 35 kWh K⁻¹ m⁻³). Dans ces systèmes l'air chaud est véhiculé en général par des pompes ou des ventilateurs.

La balance thermique d'un tel système peut être exprimée de la façon suivante:

$$L.f = A.H_T.h$$

où

L : la charge thermique du bâtiment
 f : facteur de l'apport solaire
 A : aire nette des capteurs à air
 H_T : énergie solaire incidente (moyenne horaire)
 h : rendement des capteurs à air (moyenne horaire)

MOTIVATION

Plus d'un tiers de l'énergie produite dans le pays est consommée dans le chauffage des bâtiments. De prime abord on peut dire que surtout les procédés solaires de chauffage passif peuvent apporter une contribution importante dans le budget énergétique, puisque cette forme de consommation ne nécessite que de la chaleur à faible température.

Le but de ce projet a été la comparaison technico-économique de deux procédés de chauffage (l'un passif,

Tableau : 6

Caractéristiques Physiques de la Maison Solaire Passive

Mur - Stockeur	Serre	Maison
$\frac{S}{V} = \frac{16,80}{129,64} = 0,129 \text{ m}^{-1}$ S: Aire de la surface extérieure du mur-stockeur peinte en noir V: Volume à chauffer	Couverture: verre ordinaire	Volume de la maison: $V = 7,30 \times 7,40 \times 2,40 = 129,64 \text{ m}^3$
$P = 1900 \text{ kg/m}^3$ P: Poids spécifique des briques pleines par lesquelles le mur-stockeur est construit	Nombre de couverture: 1	Nombre de pièce: 1
$\lambda = 0,90 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$ $Cp = 0,2 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ λ : Conductivité thermique des briques Cp: Chaleur spécifique des briques	Epaisseur du verre: 3 mm	Aire d'occupation: 2 $7,30 \times 7,40 = 54 \text{ m}^2$
Peinture du mur-stockeur: noire, mate, acrylique Epaisseur du mur-stockeur: 0,30 m.	Epaisseur de la serre (distance mur-couverture): 0,16 m.	Chauffage d'appoint: n'existe pas Chauffage uniquement solaire.

- 16 -

l'autre actif) par l'intermédiaire de deux systèmes fabriqués avec des matériaux locaux et installés au même site (dans le centre de Recherche Héliotechnique de Marmaris).

APPLICATION

Le système de chauffage passif est une maison solaire à mur stockeur. Le mur stockeur est construit de briques pleines fabriquées localement.

Les caractéristiques physiques de cette maison construite en 1977 sont données dans le tableau 6.

Le système de chauffage actif est un système de "capteurs à air associés à un stockage en cailloux". Il est appliqué à l'un des laboratoires du centre (Figure: 10).

Les caractéristiques physiques du bâtiment qui a également été construit en 1977 et du système de chauffage sont données dans le tableau 7.

Deux matériaux locaux sont utilisés dans la fabrication des capteurs: la perlite expansée comme isolation et des plaques d'éternite ondulées comme absorbeur.

MESURESMode Opératoire

- Système Passif: Pour faire un bilan énergétique annuel les mesures suivantes sont prises dans la maison solaire ainsi que dans la maison de référence bâtie juste à côté de la maison solaire et ayant les mêmes caractéristiques physiques (sauf le mur stockeur):

- 15 -

Mur - Stockeur	Serre	Maison
Nombre d'orifice: 6 inférieurs + 6 supérieurs= 12 Section d'orifice: $0.12 \times 0.40 = 0.048 \text{ m}^2$ Distance entre orifices Supérieurs et inférieurs: 1,90 m (de centre à centre)	Surface de captation: $S = 2,30$ (hauteur) $\times 7,30$ (longueur) $= 16,80 \text{ m}^2$	le bilan thermique de la maison solaire est comparé avec celui de la maison de référence qui a les mêmes caractéristiques physiques (sauf le mur-stockeur).

- 17 -

Tableau: 7

Caractéristiques Physiques du Bâtiment et du Système de Chauffage Actif

Stockage	Capteurs et Conduits	Bâtiment
$V = 1,56$ (largeur) $\times 2,29$ (longueur) $\times 2,35$ (hauteur) $= 8,39 \text{ m}^3$ V: Volume du stockage en cailloux	Absorbeur: Plaque d'éternite ondulée de 1 cm d'épaisseur Couverture: Double vitrage Épaisseur de vitre: 3 mm Distance entre vitres: 2 cm Distance moyenne entre Absorbeur et vitre inférieure: 3,5 cm	$\frac{S}{V} = \frac{20 \text{ m}^2}{8,39 \text{ m}^3} = 0,107 \text{ m}^{-1}$ S: Surface de captation des capteurs à air V: Volume à chauffer du bâtiment
$\rho = 2750 \text{ kg/m}^3$ D= 2 cm - 4,5 cm ρ: Poids spécifique des cailloux D: Diamètre des cailloux	Isolation: Perlite expansée Épaisseur d'isolation: 10 cm Dimensions du capteur: 210 cm (longueur) $\times$ 110 cm (largeur) $\times$ 17 cm (hauteur)	$S^1 = 142 \text{ m}^2$ S^1: Aire brute occupée par le bâtiment
$\lambda = 1,10 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ λ: Conductivité thermique des cailloux	Conductance totale des pertes: $U_L = 4,28 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ Rendement moyen des capteurs: $\eta = 40 \%$ Angle d'inclinaison des capteurs: $S = 45^\circ$	Charge thermique du bâtiment: $Q = 7471,63 \text{ kcal/h}$ Température intérieure: $T_i = 18^\circ\text{C}$

Stockage	Capteurs et Conduits	Bâtiment
$C_p = 0,21 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ C_f : Chaleur spécifique des cailloux	Débit d'air volumique: $\dot{V} = 36 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ Vitesse d'air: $V = 0,127 \text{ m/s}$ Puissance du ventilateur: $P_v = 0,51 \text{ CV (375 W)}$	Température ambiante: $10,6^\circ\text{C}$ Température du sol: 9°C Température du toit: 12°C Degré-jour: $7,4^\circ\text{C}$ Facteur d'apport solaire: $0,45$
Pertes de charge dans le stockage: $i_s = 1,75 \text{ mm CE}$	Pertes de charge dans les conduits: $i_c = 2,25 \text{ mm CE}$ Pertes de charge totales: $i_t = 49,66 \text{ mm CE}$	Le bâtiment comprend 1 corridor ($10,5 \text{ m}^2$), une pièce (13 m^2), une salle de bain et W.C. (13 m^2) et un salon (77 m^2). La surface nette du bâtiment est donc $113,5 \text{ m}^2$

-19-

-Températures des surfaces intérieure et extérieure du mur stockeur (du mur sud pour la maison de référence)

-Températures du plafond et du plancher

-Températures des murs Est, Ouest et Nord

-Températures de l'air aux orifices inférieurs et supérieurs (ces mesures ne sont pas prises pour la maison de référence)

-Température ambiante

-Température d'air de l'intérieur de la maison

-Vitesse centrale de l'air dans les orifices supérieurs

-Energie solaire globale incidente sur le mur stockeur

Les mesures de température sont prises par un jeu de thermomètres à résistance et celles de la vitesse de l'air par des anémomètres à fil chaud. L'intensité du rayonnement solaire est mesurée par un pyranomètre Eppley, Modèle PSP.

Toutes ces mesures sont répétées toutes les demi-heures et traitées par un ordinateur Interdata 8/32. Pour chaque pas de mesure, 2 énergies totales sont calculées: une pour la maison solaire et une autre pour la maison de référence et leur différence nous donne l'apport solaire net dû au mur stockeur dans la demi-heure considérée.

-Système Actif: Pour faire un bilan énergétique annuel du système actif, une suite de mesures de températures, de débit d'air et d'intensité solaire est prise. Les températures mesurées sont les températures:

-ambiante

-d'air à l'intérieur du bâtiment

-d'entrée des capteurs

-de sortie des capteurs

-du bas du stockage

-du haut du stockage

-20-

Les débits d'air sont les débits d'air mesurés

- dans les capteurs
- dans le stockage
- dans les conduits

L'intensité solaire incidente sur les capteurs est directement mesurée.

Les températures sont mesurées par de thermocouples de chromel-constantan de type E, les débits d'air par des anémomètres mécaniques, l'intensité solaire par un pyranomètre Eppley, de Modèle PSP, incliné du même angle que celui des capteurs. Toutes les mesures sont enregistrées par un enregistreur digital: Un data logger Doric 220. L'intervalle temporel de mesure est une heure.

Calculs et Résultats Expérimentaux

-Système passif: Les pertes thermiques de la maison solaire ainsi que de la maison de référence qui est identique à la maison solaire en tous les points sont calculées dans le tableau 8. Les figures 11,12,13,14 et 15 représentent les variations de la température ambiante, des températures du mur stockage et du mur sud de la maison de référence, de la température de l'air à l'intérieur de la maison solaire et de l'apport solaire.

Les variations annuelles des énergies de thermocirculation de convection laminaire et de rayonnement ainsi que de leur somme sont représentées sur la figure 16. Le tableau 9 donne les rendements mensuels du système.

Tableau: 9
Rendements mensuels

Mois	Jan - Févri- er	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil- let	Août	Septem- bre	Octob- bre	Novem- bre	Décem- bre	
Rende- ment (%)	31,38	27,42	23,66	21,96	17,27	14,90	16,16	22,24	31,08	33,85	34,06	32,65

-Système Actif: Les pertes thermiques annuelles moyennes sont calculées de la même façon que celles de la maison solaire passive. La valeur obtenue est 7 471.63 kcal/h.

La courbe de rendement des capteurs solaires ainsi que les données des essais de performance thermique en ensoleillement naturel sont données dans la figure 17.

La figure 18 représente la variation du rendement thermique des capteurs avec la hauteur du soleil

Les apports solaires calculés pour les mois de janvier, février, mars et avril (saison de chauffe pour Marmaris) sont donnés dans le tableau 10 ci-dessous.

Tableau: 10
Apports Solaires (Rendements)

Mois	Janvier		Février		Mars		Avril	
	Capteurs	Système	Capteurs	Système	Capteurs	Système	Capteurs	Système
Apports Solaires (%)	26	12	29	14	21	12	32	17

III. CHAUFFAGE PASSIF DES SERRES

THEORIE

La partie du spectre solaire utile à la photosynthèse se situe approximativement entre 0,4 et 0,8 μm , c'est-à-dire dans le spectre visible. Par contre l'énergie infra-rouge du spectre solaire est défavorable pour la croissance des plantes. D'autre part les plantes ont continuellement besoin d'eau pour leur croissance et cela nécessite le maintien d'une hygrométrie et d'une température données dans l'ambiance où se trouvent les plantes.

Par conséquent dans toute serre on crée et on maintient un microclimat (température et hygrométrie régulées) qui assure une croissance optimale des plantes. Pour cela, on optimise, en rapport avec le milieu extérieur, la géométrie et la capacité thermique de la serre, ainsi que la transmissivité de sa couverture

Pour faire le bilan thermique d'une serre, on la considère comme un système formé de parois, d'air intérieur et de végétation et on évalue les échanges thermiques entre ce système et le milieu extérieur (atmosphère+sol). Les principaux échanges intervenant dans une serre sont:

-Chaleur sensible et chaleur latente échangées entre sol et couvert végétal

-Chaleur sensible et chaleur latente échangées entre couvert végétal et air intérieur

-Chaleur sensible et chaleur latente échangées entre sol et air intérieur

-Chaleur sensible et chaleur latente échangées entre sol et parois de la serre

-Chaleur sensible et chaleur latente échangées entre air intérieur et parois de la serre (y compris le stockage s'il en existe un)

-Chaleur sensible et chaleur latente échangées entre parois (stockage compris, s'il existe) et air extérieur

-Chaleur sensible et chaleur latente échangée entre air extérieur de ventilation et air intérieur

-Chaleur sensible due au rayonnement solaire

-Chaleur sensible due au chauffage en cas de fonctionnement

-Chaleur sensible transitant à travers le sol.

Dans une serre, il faut non seulement distinguer entre échanges par chaleur sensible et chaleur latente, mais aussi entre échanges radiatifs et convectifs.

D'autre part, les échanges radiatifs entre le sol et les parois sont beaucoup plus importants que les échanges convectifs entre l'air intérieur d'une part, les parois et le sol d'autre part.

Les échanges thermiques par rayonnement sont plus importants dans le cas où la couverture sera en verre ou en polycarbonate. Parce que dans ce cas la couverture agira pour le spectre d'émission du sol et des végétaux comme un corps noir. Or dans le cas où la couverture sera en plastique, elle sera transparente pour ce spectre et on risquera généralement le gel nocturne.

En résumé, dans une serre, ce sont les températures de la couverture et du sol qui fixent la température des végétaux et chauffer ou refroidir l'air intérieur de la serre n'est pas une condition suffisante pour assurer des conditions internes optimales.

MOTIVATION

Le pays est essentiellement un pays d'agriculture. La culture sous serre est extrêmement répandue surtout dans la région méditerranéenne. D'autre part, bien que le verre soit la couverture idéale pour les serres, il est fragile et des chutes de grêles assez fréquentes dans cette région le cassent souvent. Ces raisons nous ont conduit à chercher une nouvelle géométrie pour les serres et d'autres matériaux transparents incassables ayant presque les mêmes caractéristiques optiques que le verre, pour leur couverture.

APPLICATION

La serre conçue dans le centre de Recherche Héliotechnique de Marmaris est représentée sur la figure 19.

Sa couverture est en matière plastique renforcée de fibres de verre. Elle comprend dans sa partie Nord un mur stockeur de dimensions de 15m x 1,33m x 0,2m, construit en brique pleine, peint en noir et isolé de l'extérieur par la laine de verre.

MESURES

Mode Opératoire

Des mesures de température, de transmissivité et d'intensité solaire sont faite pour obtenir les données nécessaires pour le bilan thermique de la serre.

Les appareils de mesure utilisés sont des thermocouples et des pyranomètres. Les mesures sont enregistrées par des enregistreurs analogues.

La fréquence de toutes les mesures est une heure.

Calculs et Résultats Expérimentaux

-Couverture: Les mesures de transmissivité du plastique et du verre sont faites dans les bandes visibles et infrarouge du spectre solaire en utilisant des sources-étalon de lumière monochromatique et un pyrromètre de précision. Les courbes tracées en utilisant les résultats de ces mesures sont données dans la figure 20. Quand on étudie cette figure, on voit que le plastique est moins transparent que le verre mais sa courbe de transmissivité a dans les grandes longueurs d'onde (supérieures à 0,7 μm) presque la même allure que celle du verre.

-Serre: Les besoins thermiques de la serre sont calculés par les formules suivantes:

$$Q_0 = k A (T_i - T_a)$$

$$Q_r = Q_0 (1 + Z_0 + Z_1) + Q_1$$

$$Q_1 = (a \cdot l) RH Z_e (T_1 - T_a)$$

$$i = \frac{Q_0}{At(T_1 - T_a)}$$

où

Q_0 : besoin normal (kcal/h)

k: conductivité thermique moyenne ($\text{kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$)

A: aire de la surface de la serre (m^2)

T_1 : température intérieure ($^\circ\text{C}$)

T_a : température ambiante ($^\circ\text{C}$)

Q_r : besoin réel (kcal/h)

Z_0 : besoin dû à l'orientation

Z_1 : besoin dû à l'intermittence

Q_1 : besoin d'infiltration

a: facteur d'infiltration

l: longueur de charnière

R: facteur d'espace clos ($R=1$)

H: facteur de serre

Z_e : facteur d'ouverture ($Z_e = 1,2$)

i: nombre d'intermittence

A_t : aire totale de la serre

La variation de Z_0 selon l'orientation est donnée dans le tableau II.

Tableau:II
Variation de Z_0

Direction	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest	Nord	Nord-Est	Est	Sud-Est
Z_0 (%)	-5	-5	0	5	5	5	0	-5

Le tableau 12 donne la relation entre i et Z_1

Tableau:12
Relation Entre i et Z_1

Z_0 (%)		i			
		0,1-0,29	0,30-0,69	0,70-1,49	1,50
MODE DE FONCTIONNEMENT	Continu	7	7	7	7
	Intermittent Entre 9 et 12 heures	20	15	15	15
	Intermittent Entre 12 et 16 heures	30	25	20	15

Ainsi en utilisant ces formules, on a trouvé que les besoins thermiques réels de la serre sont égaux à $Q_T = 4260 \text{ kcal/h}$

Quant au bilan énergétique de la serre, il peut être exprimé de la façon suivante:

$$Q_S = Q_U - Q_f$$

où:

Q_S : chaleur stockée ou déficit d'énergie

Q_U : énergie incidente utile

Q_f : pertes thermiques (égales en général à Q_T)

En écrivant cette formule explicitement il vient:

$$(MC_p)_S \frac{dT_i(t)}{dt} = Q_U(t) - U_A [T_i(t) - T_a(t)]$$

où:

$(MC_p)_S$: capacité thermique de la serre

$T_i(t)$: température de la serre

U_A : conductance globale de perte thermique

$T_a(t)$: température ambiante

cette équation différentielle peut être exprimée sous la forme approchée suivante:

$$\frac{\Delta T_i}{\Delta t} = \frac{1}{(MC_p)_S} [Q_U - U_A (T_i - T_a)] \text{ ou}$$

$$T_{i,i+1} = T_{i,i} + \frac{(i+1)-i}{(MC_p)_S} [Q_U - U_A (T_{i,i} - T_a)]$$

Cette formule fournit $(MC_p)_S$ qui est utilisée pour trouver k_1 :

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = k_1 = \frac{U_A}{(MC_p)_S}$$

puis par intégration on obtient:

$$T_i(t) = a c_1 e^{-k_1 t}$$

Pour trouver le point où $\Delta k_1 = 0$, on a utilisé l'ordinateur. Le programme appliqué est schématisé sur la figure 21.

La figure 22 représente l'influence de la capacité thermique de la serre sur sa température decelée expérimentalement.

Les besoins thermiques et les apports solaires sont calculés, en utilisant les formules données ci-dessus, à partir des mesures faites pendant une année entière. La figure 23 représente les valeurs obtenues jour par jour pour le mois de mars.

Les rendements mensuels (rapports des apports solaires aux besoins thermiques de la serre) sont donnés au tableau 13 ci-dessous.

Tableau: 13
Rendements

Mois	Jan- er	Févr- er	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil- let	Août	Septem- bre	Octob- bre	Novemb- re	Décem- bre
Rende- ment	74	34	20	67	-	-	-	-	52	49	46	42

BIBLIOGRAPHIE

1. Conférences du 2^{ème} Séminaire sur l'Energie Solaire
Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier
et I.M.P. Lunel, Juin 1980.
2. Le Rayonnement solaire, conversion Thermique et Applications,
R.Bernard, G.Menguy M.Schwartz, Technique & Documentation,
Paris, 1980.
3. Procès Verbaux du Colloque Solaire International 11-12
Décembre 1980, Nice-France. CNRS-CCMS.
4. Chauffage Passif des Serres, Rapport Interne, non Publié,
Centre de Recherche Héliotechnique de Marmaris, Décembre 1982.
5. Chauffage Actif des Bâtiments. Rapport Interne non Publié,
Centre de Recherche Héliotechnique de Marmaris, Décembre 1982.
6. Surfaces Sélectives, Rapport Interne non Publié, Centre de
Recherche Héliotechnique de Marmaris, Janvier 1983.

TABLEAU: 1

PROCEDE ELECTROCHIMIQUE PREMIERE SERIE
ECHANTILLONS NUMEROTES
DE (1) A (14)

Plaques de fer et de cuivre couvertes de deux couches
différentes: 1^{ère} Nickel (réfléchissante), 2^{ème}:
Chrome (absorbante) , Surface de 5 cm²
Nettoyage dans l'acide en deux cyle
Ni: 50°C - Cr: 20°C, 0.60 - Alkali: 65°C - 11.25

	Numéro del'Echantillon					
Genre de Traitement chimique	1	2	3	4	5	6
PH (Ni)	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Bain chaud	10 min.	10 min.	10 min.	10 min.	10 min.	10 min.
Dégraissage	1 min.	1 min.	1 min.	1 min.	1 min.	1 min.
électrolytique	3VCC <u>52,5Amp.</u> 7.5 dm ²	3VCC <u>52,5Amp.</u> 7.5dm ²	3VCC <u>52,5 Amp.</u> 7.5dm ²	3VCC <u>52,5Amp.</u> 7.5dm ²	3VCC <u>52,5Amp.</u> 7.5dm ²	3VCC <u>52,5Amp.</u> 7.5dm ²
Nickelage	15 min. 3VCC <u>45Amp.</u> 7.5dm ²	15 min. 3VCC <u>45Amp.</u> 7.5dm ²	15 min. 3VCC <u>45Amp.</u> 7.5dm ²	15 min. 3VCC <u>45Amp.</u> 7.5dm ²	15 min. 3VCC <u>45Amp.</u> 7.5dm ²	15 min. 3VCC <u>45Amp.</u> 7.5dm ²
Epaisseur	12 micron	12micron	12micron	12micron	12micron	12 micron
Chromage	6 min. <u>120Amp.</u> 7.5dm ²	1.min. <u>120Amp.</u> 7.5dm ²	7 min. <u>120Amp.</u> 7.5dm ²	6 min. <u>120Amp.</u> 7.5dm ²	8 min. <u>120Amp.</u> 7.5dm ²	5 min. <u>100 Amp.</u> 7.5dm ²

TABLEAU: 2

Tableau 2- PROCEDE CHIMIQUE
DEUXIEME SERIE
ECHANTILLONS NUMEROTES DE (1) A (8)

7	8	9	10	11	12	13	14
4,3	4,8	4,8	4,8	4,6	4,6	4,6	4,8
10min.	10min.	10min.	10min.	10min.	10min.	10min.	10min.
1min.	1min.	1min.	1min.	1min.	1min.	1min.	1min.
3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC
$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{52,5\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$
15min.	15min.	15min.	15min.	15min.	15min.	15 min.	15min.
3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC	3VCC
$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{45\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$
12micron	12micron	12micron	12micron	12micron	12micron	12micron	12micron
6 min.	7 min.	4 min.	9 min.	6 min.	7 min.	8 min.	8 min
$\frac{100\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{100\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{450\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{100\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{90\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{80\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{80\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$	$\frac{75\text{Amp.}}{7,5\text{dm}^2}$

NUMERO

DE

L'ECHANTIL-
LION

SUBSTRAT

COUCHE MINCE

TRAITEMENT (REACTIONS CHIMIQUES)

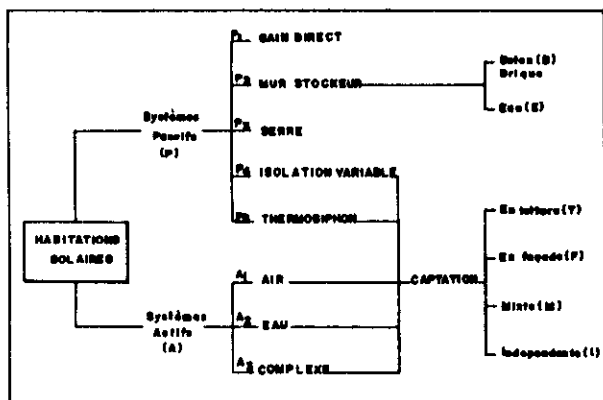
1	Aluminium (Al)	Zinc (Zn) (Obtenue par submersion dans un mélange de hydroxyde de sodium (NaOH) et de sulfate de zinc (ZnSO ₄) à la température ambiante $\text{ZnSO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{Zn} \downarrow$?	Submersion dans un mélange de molybdate d'ammonium (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4 H ₂ O et de chlorure d'ammonium (NH ₄ Cl) Température de bain: Ambiante Durée de bain : Jusqu'à obtention du noircissement entier dela plaque.
2	Aluminium (Al)	La meme que la première	Même traitement que celui du premier mais submergé dans un mélange plus dilué: Concentration de molybdate = $\frac{1}{3}$ celle du premier-Concentration de chlorure = $\frac{1}{4}$ celle du premier

NUMERO DE L'ECHANTIL- LION	SUBSTRAT	COUCHE MINCE	TRAITEMENT (REACTIONS CHIMIQUES)
3	Fer	-	Submersion dans un mélange de hydroxyde de sodium, de nitrite de sodium (NaNO_2), de nitrate de potassium (KNO_3) et de l'eau. Durée de bain: ~ 15 min. Temp. de bain: $125^\circ - 130^\circ\text{C}$
4	Fer	-	Submersion dans un mélange de hydroxyde de sodium, de nitrite de sodium, de nitrate de sodium et de l'eau. Durée: ~ 20 min. Temp.: 120°C
5	Cuivre	-	Après submersion dans un mélange de Nitrate de cuivre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$), de nitrate d'argent (AgNO_3) et de l'eau chauffage sur flamme claire. Durée de bain: 1 min. Temp. de bain: 50°C Durée de chauffage: jusqu'à noircissement entier de la plaque.

33

NUMERO DE L'ECHANTILLON	SUBSTRAT	COUCHE MINCE	TRAITEMENT (REACTIONS CHIMIQUES)
6	Fer	-	Submersion dans un mélange hydroxyde de sodium, de nitrite de potassium (KNO_2), de nitrate de potassium. Durée: ~ 20 min. Temp.: 120°C
7	Fer	-	Même traitement que celui du 6 ^e mais avec des concentrations plus faibles: Concentration de hydroxyde: la même que celle du 6 ^e Concentration de nitrite: $2/3$ que celle du 6 ^e Concentration de nitrate: $2/3$ que celle du 6 ^e
8	Fer	-	Même traitement que celui du 6 ^e mais avec des concentration plus fortes: Concentration de hydroxyde: la même que celle du 6 ^e Concentration de nitrite: $4/3$ que celle du 6 ^e Concentration de nitrate: $4/3$ que celle du 6 ^e

34

**TABLEAU - 3**

CLASSIFICATION DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CHAUFFAGE SOLAIRE

[illegible]

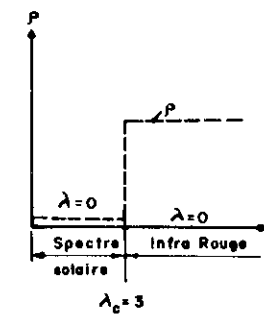
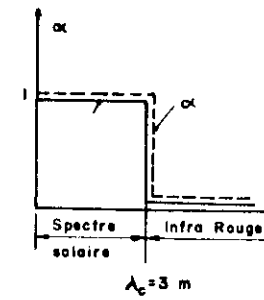
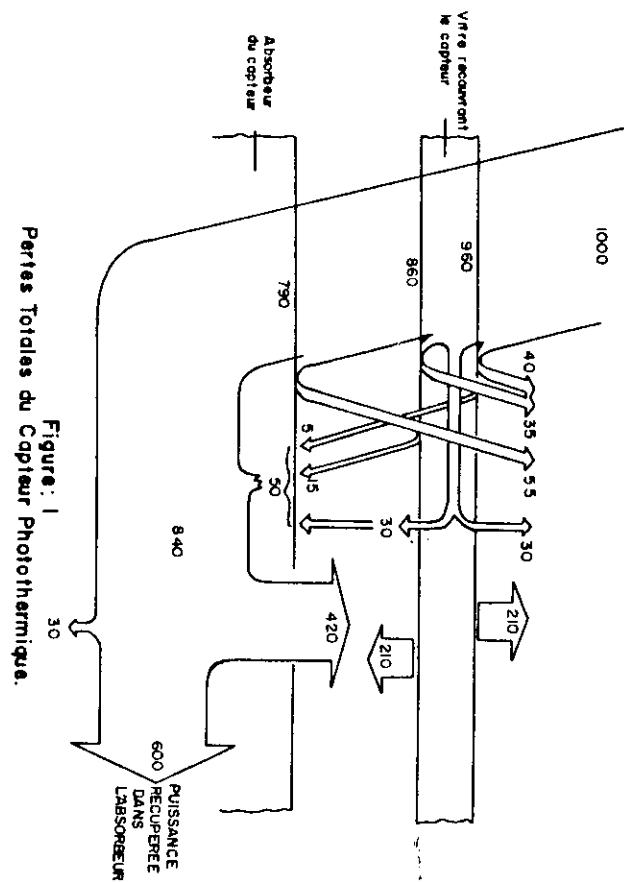
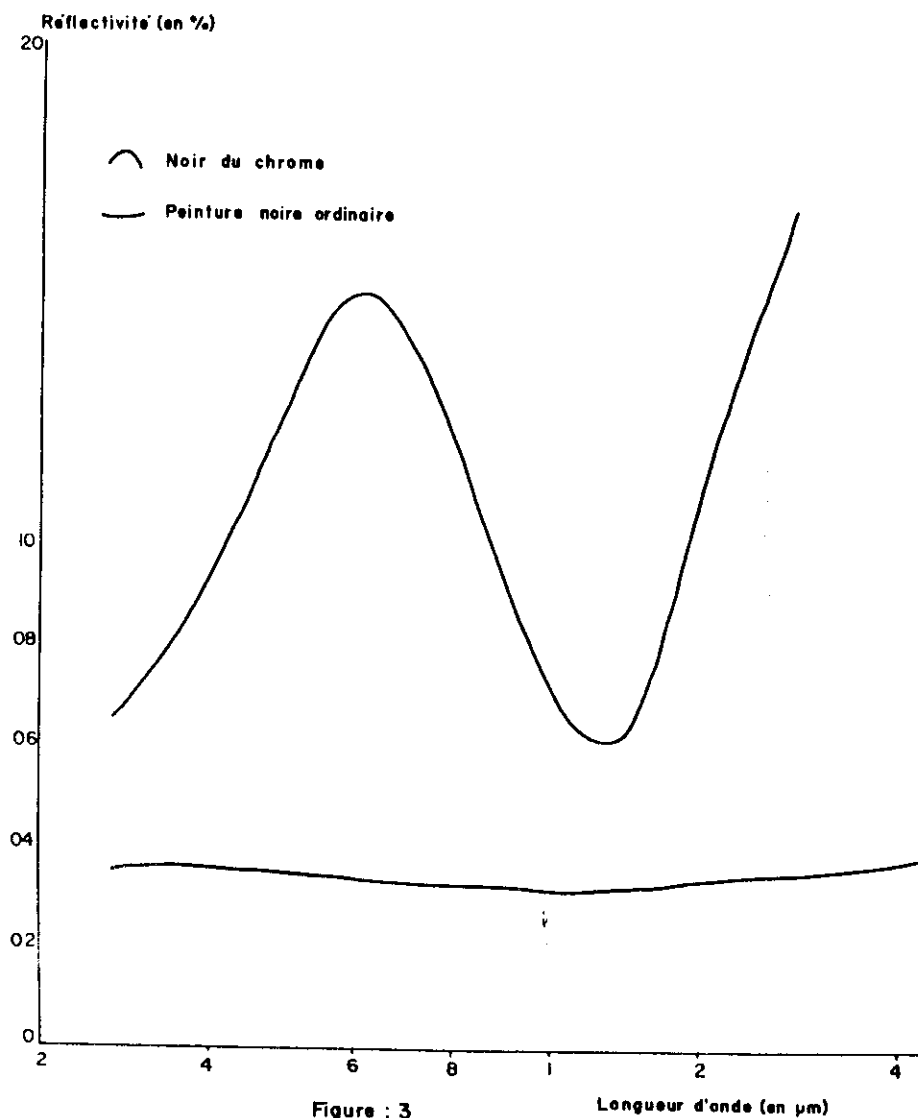


Figure : 2
Propriétés Optiques d'un capteur sélectif idéal



39

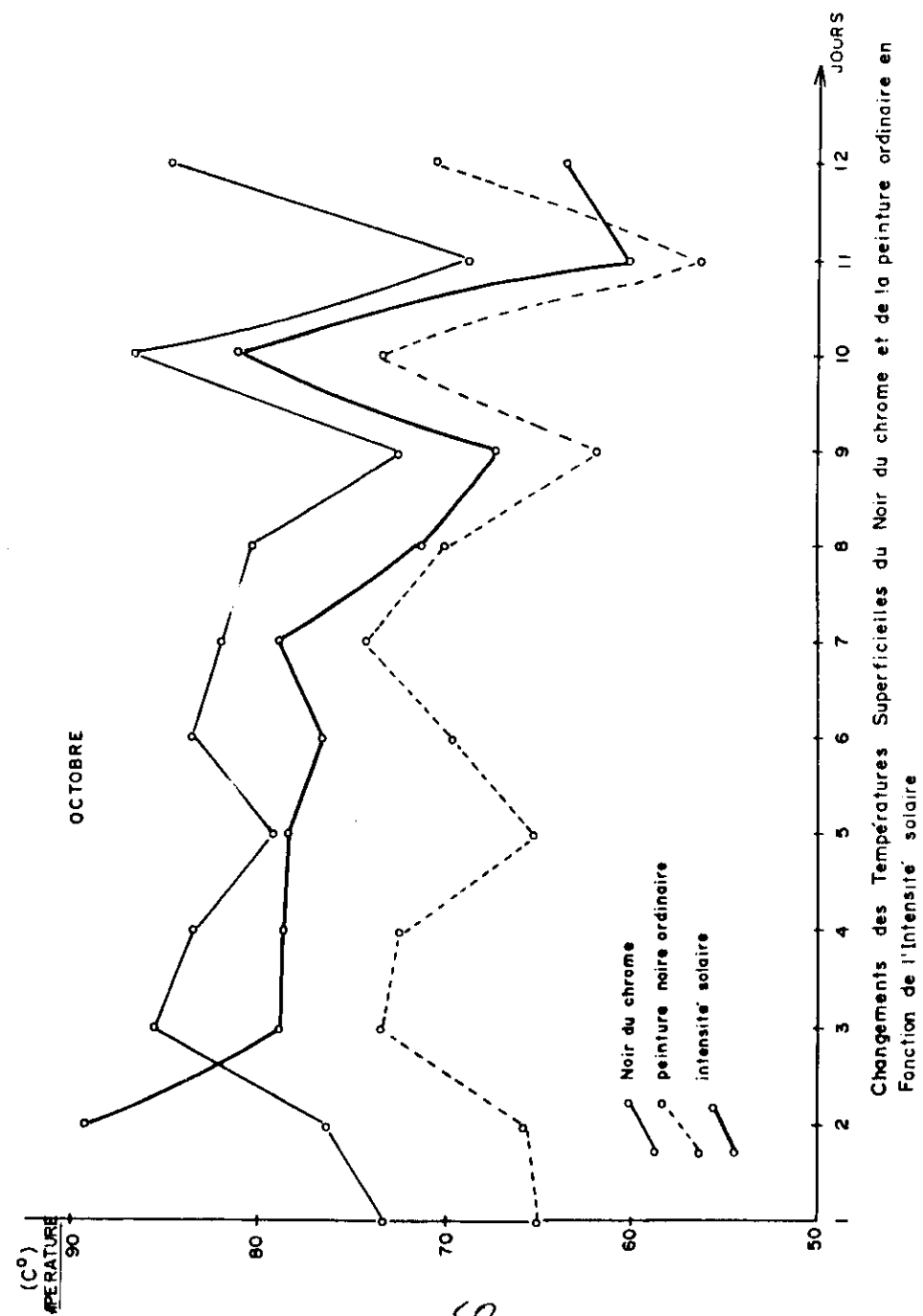
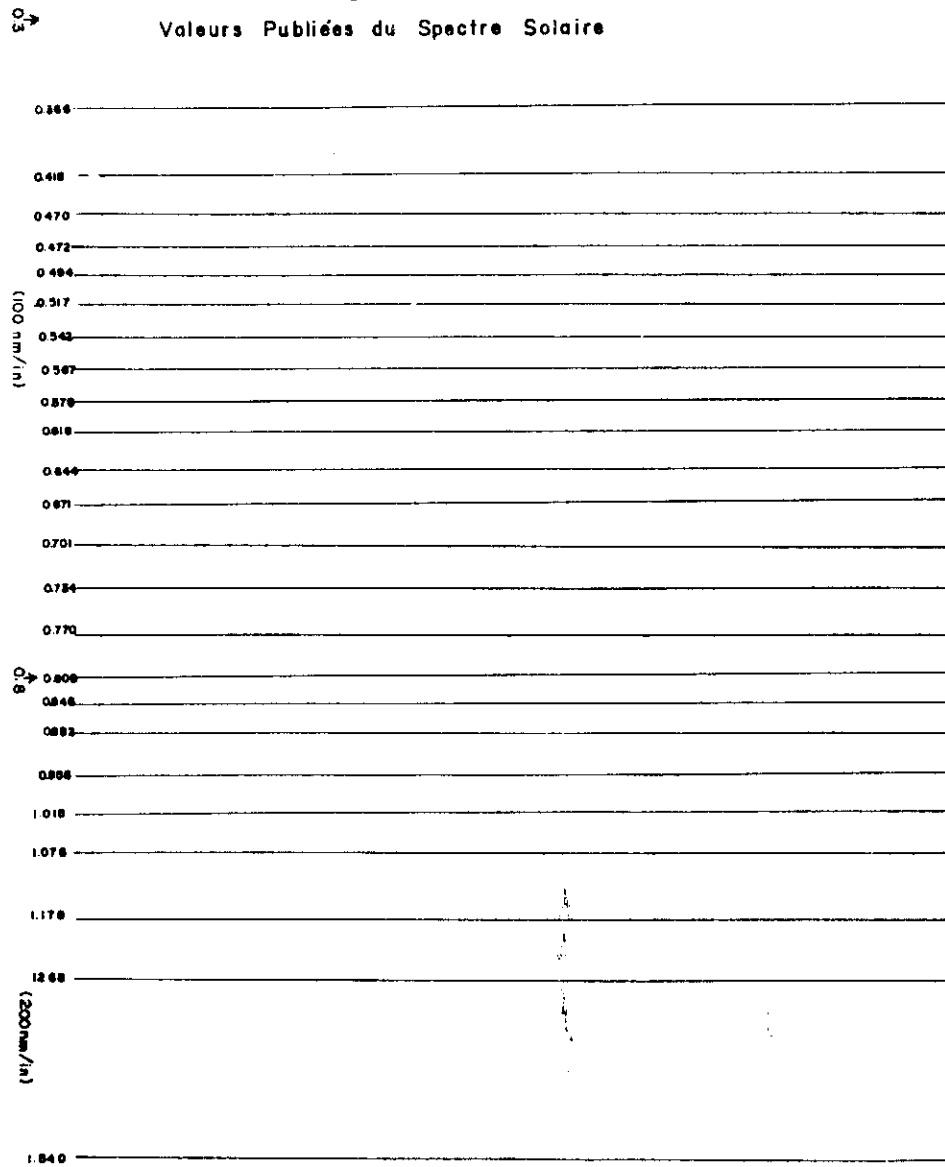


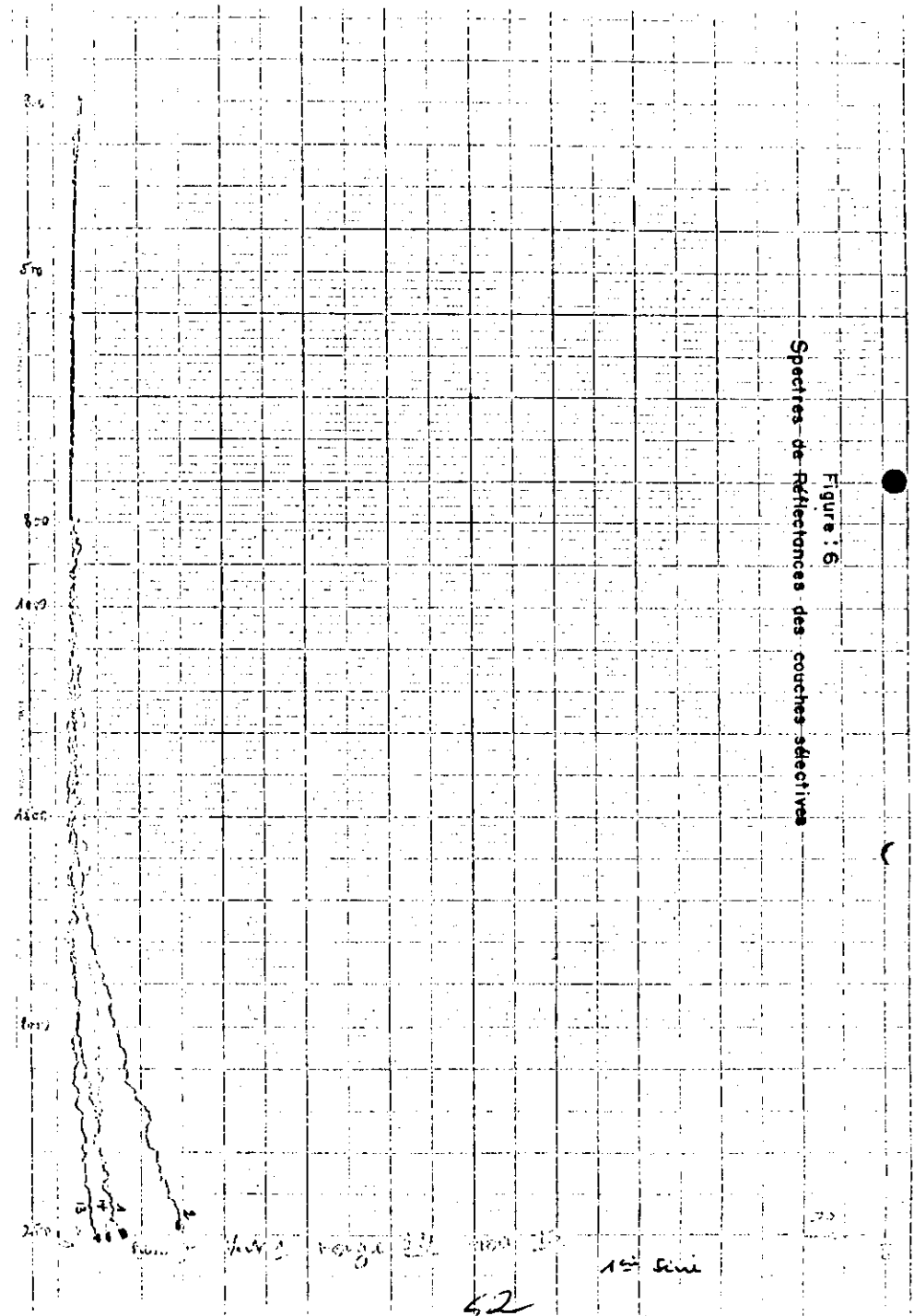
Figure : 5

Valeurs Publiées du Spectre Solaire



51

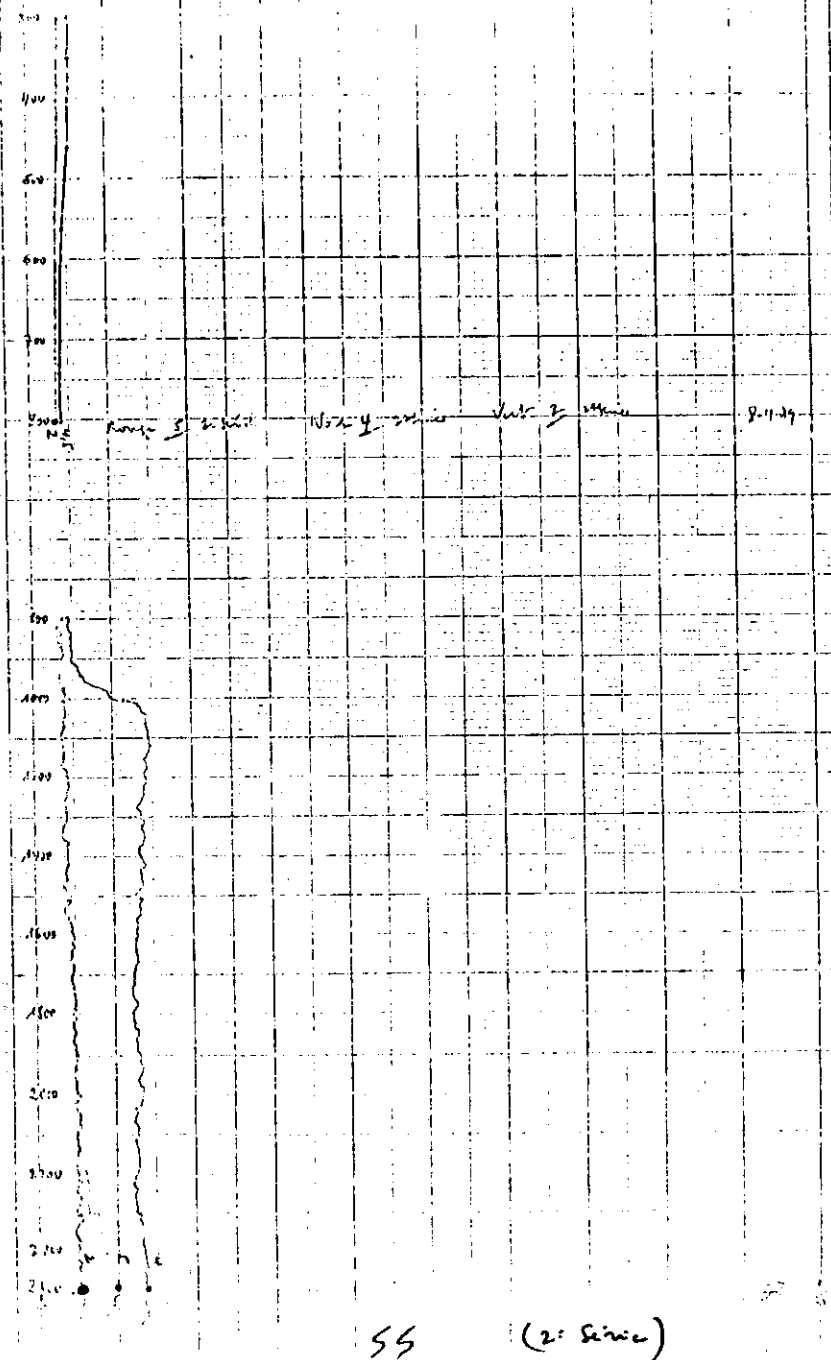
Figure : 6
Spectres de réflectances des couches sélectives



52

Figure 7
 Spectres de Réflectances des couches sélectives

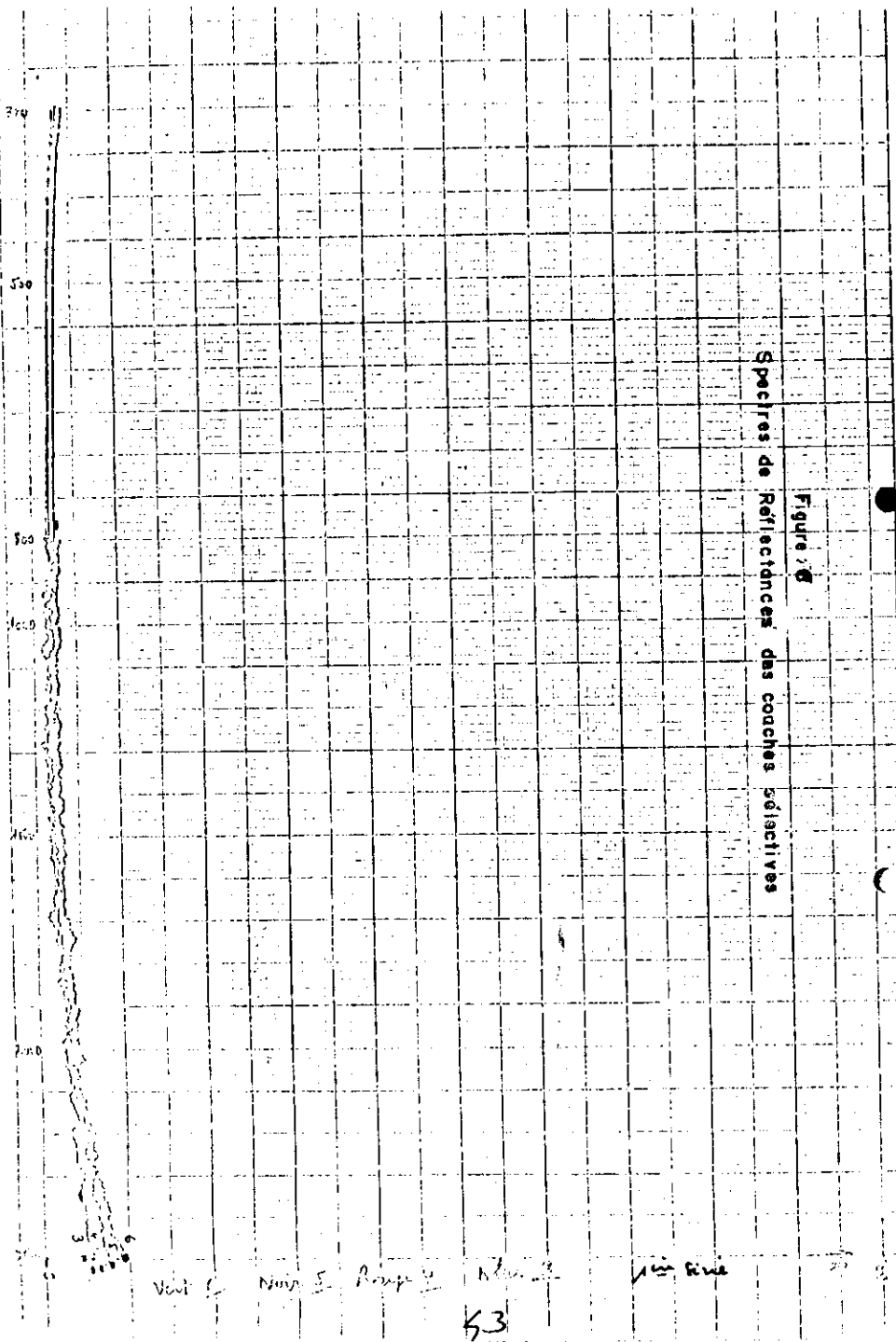
68



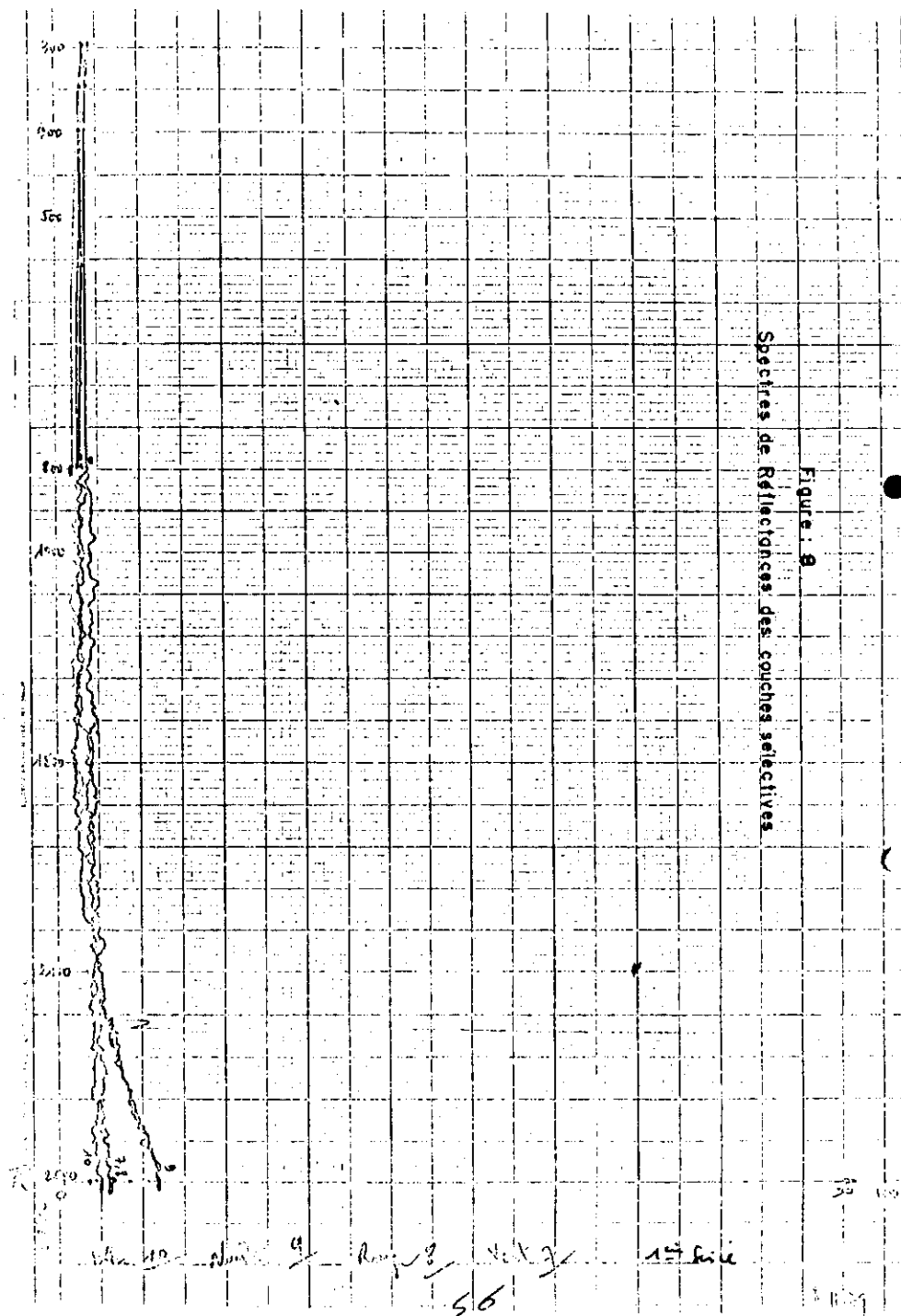
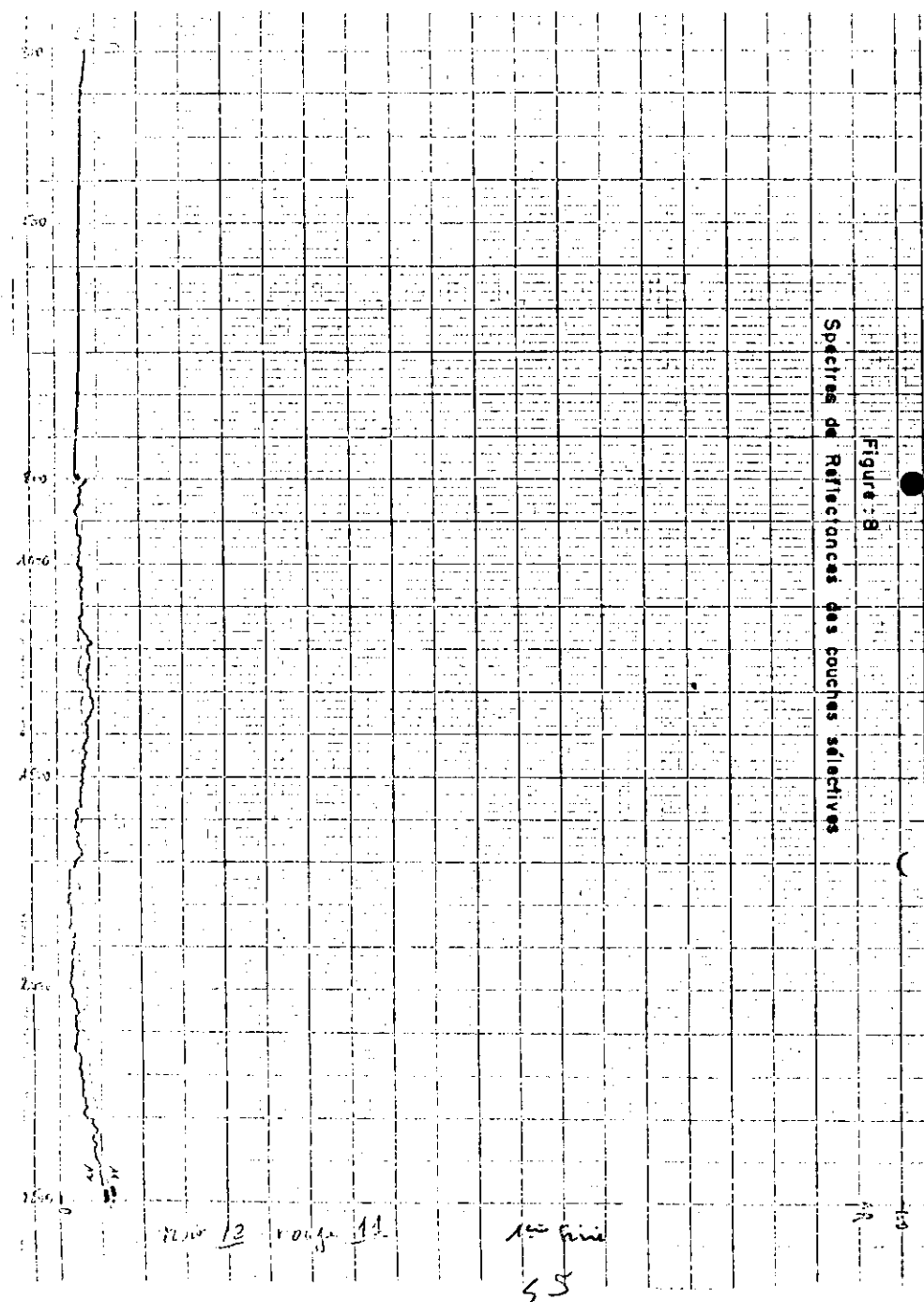
SS (2° série)

Figure 6
 Spectres de Réflectances des couches sélectives

7



SS



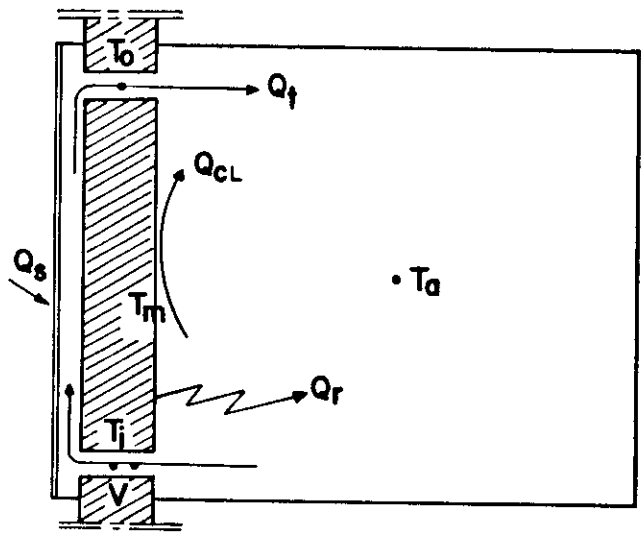


Figure : 9
Système Passif d mur stockeur

57

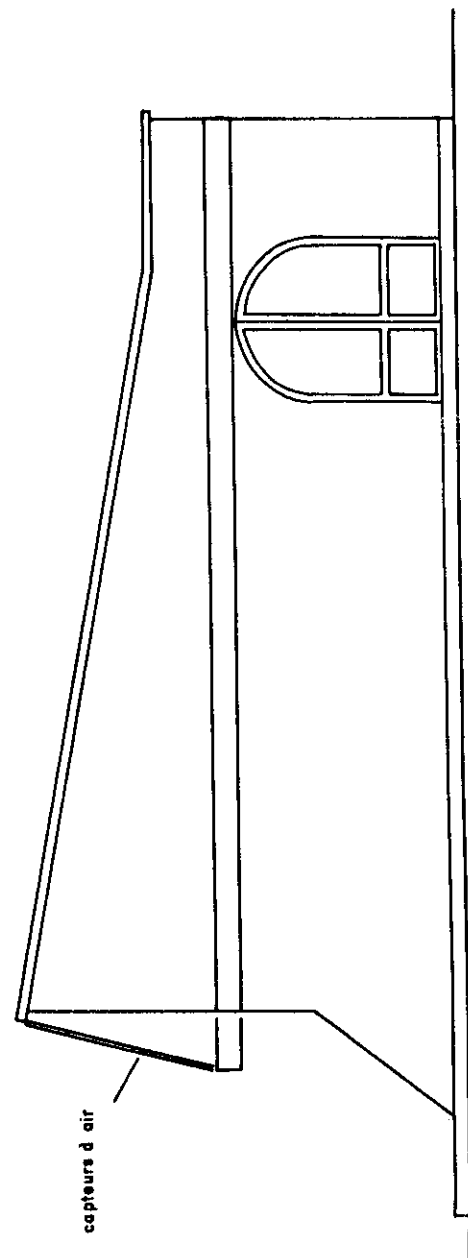


Figure :10
Bâtiment chauffe Activement

58

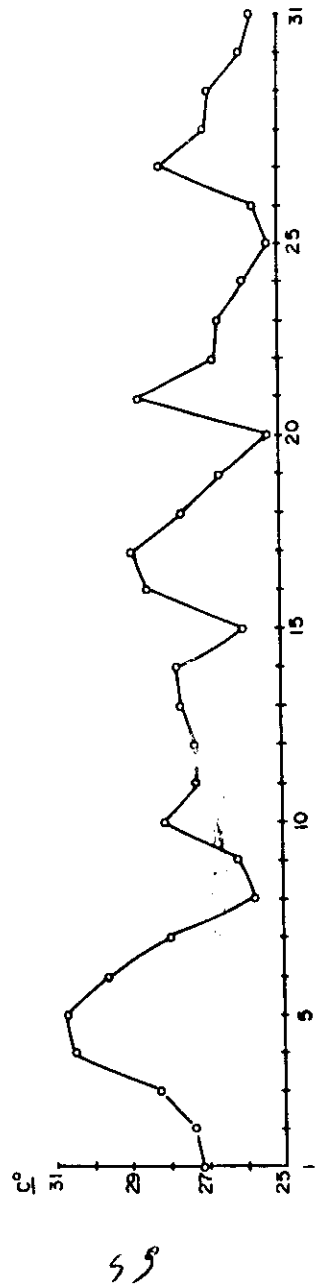


Figure : 11
Variation mensuelle de la température ambiante moyenne journalière (Mois d'août)

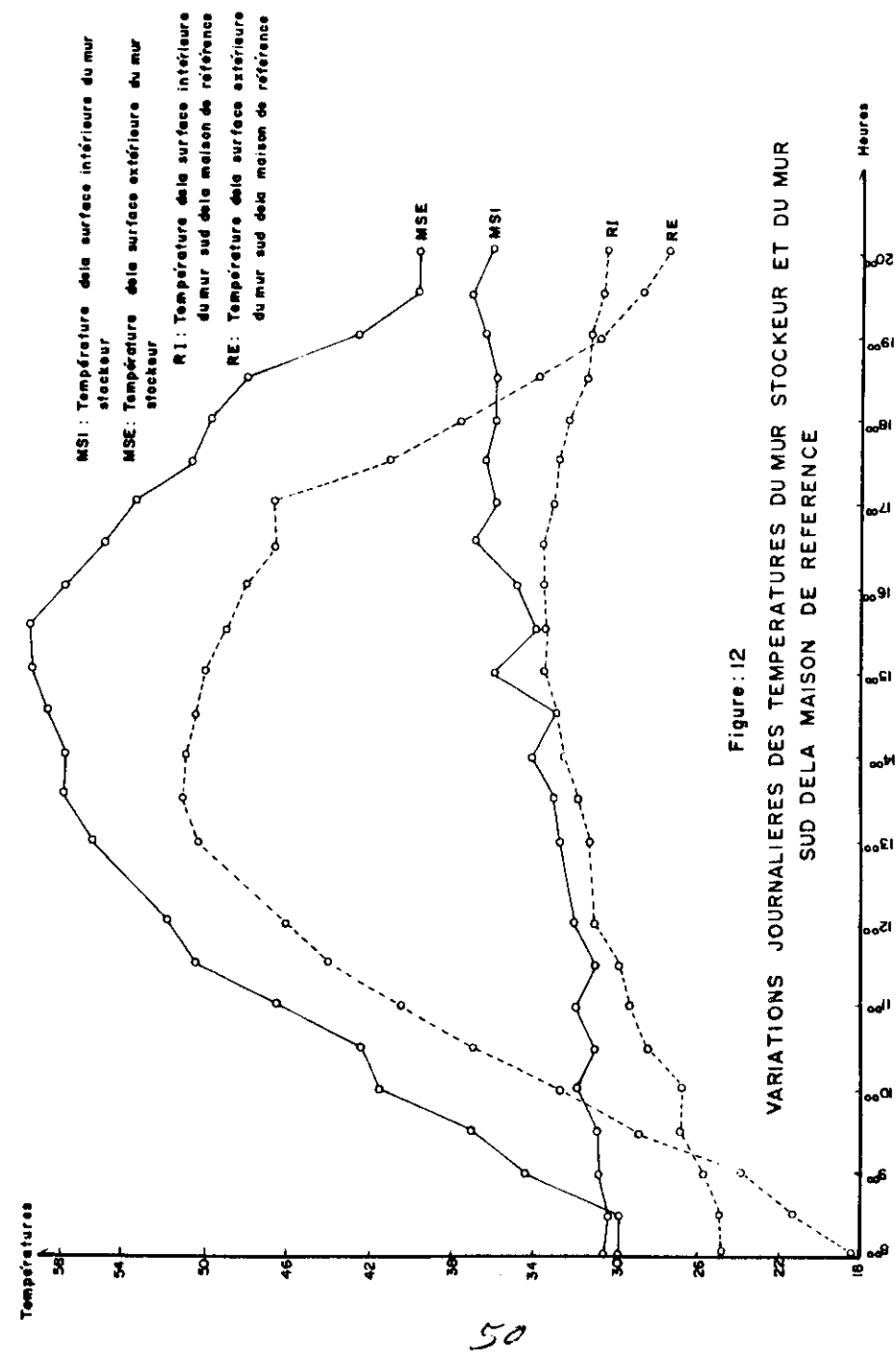


Figure : 12
VARIATIONS JOURNALIERES DES TEMPERATURES DU MUR STOCKEUR ET DU MUR SUD DELA MAISON DE REFERENCE

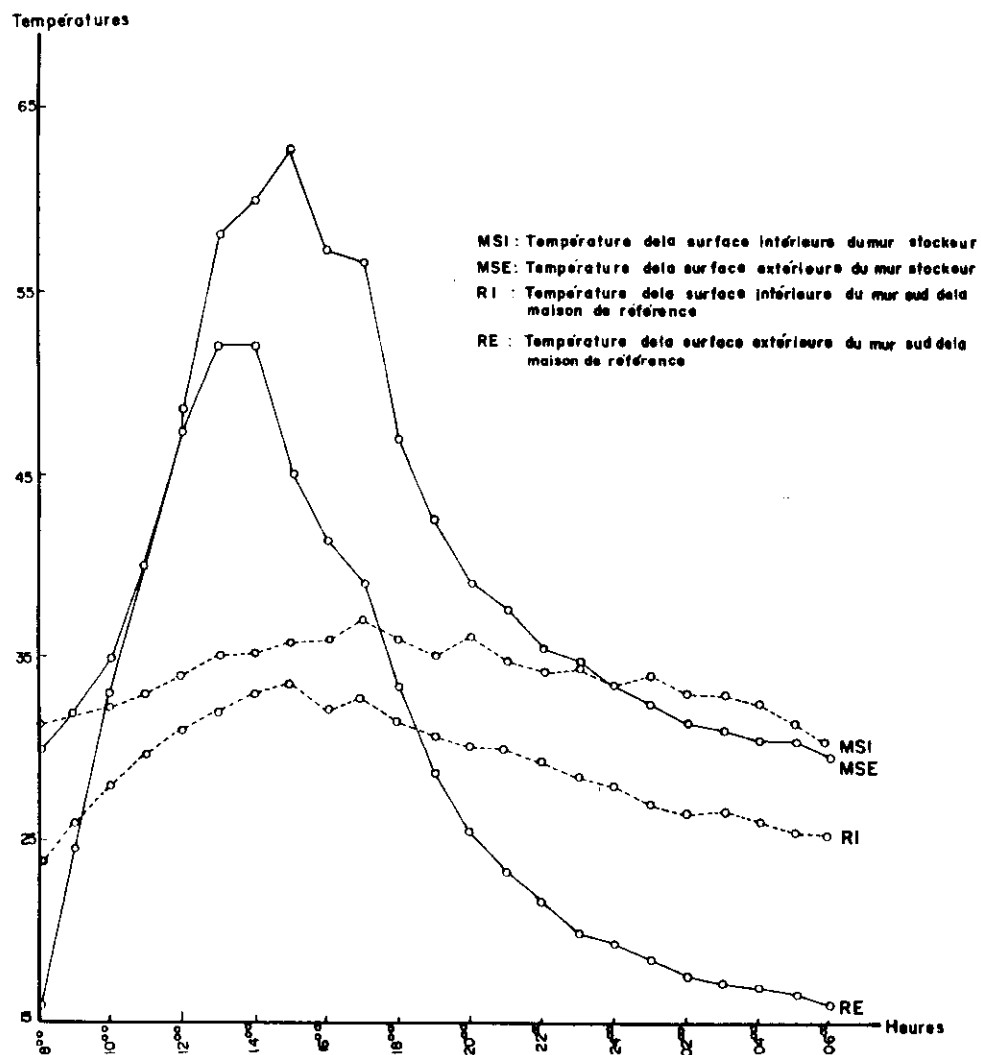


Figure : 13
 VARIATIONS JOURNALIERES DES TEMPERATURES DU MUR STOCKEUR ET
 DU MUR SUD DELA MAISON DE REFERENCE

51

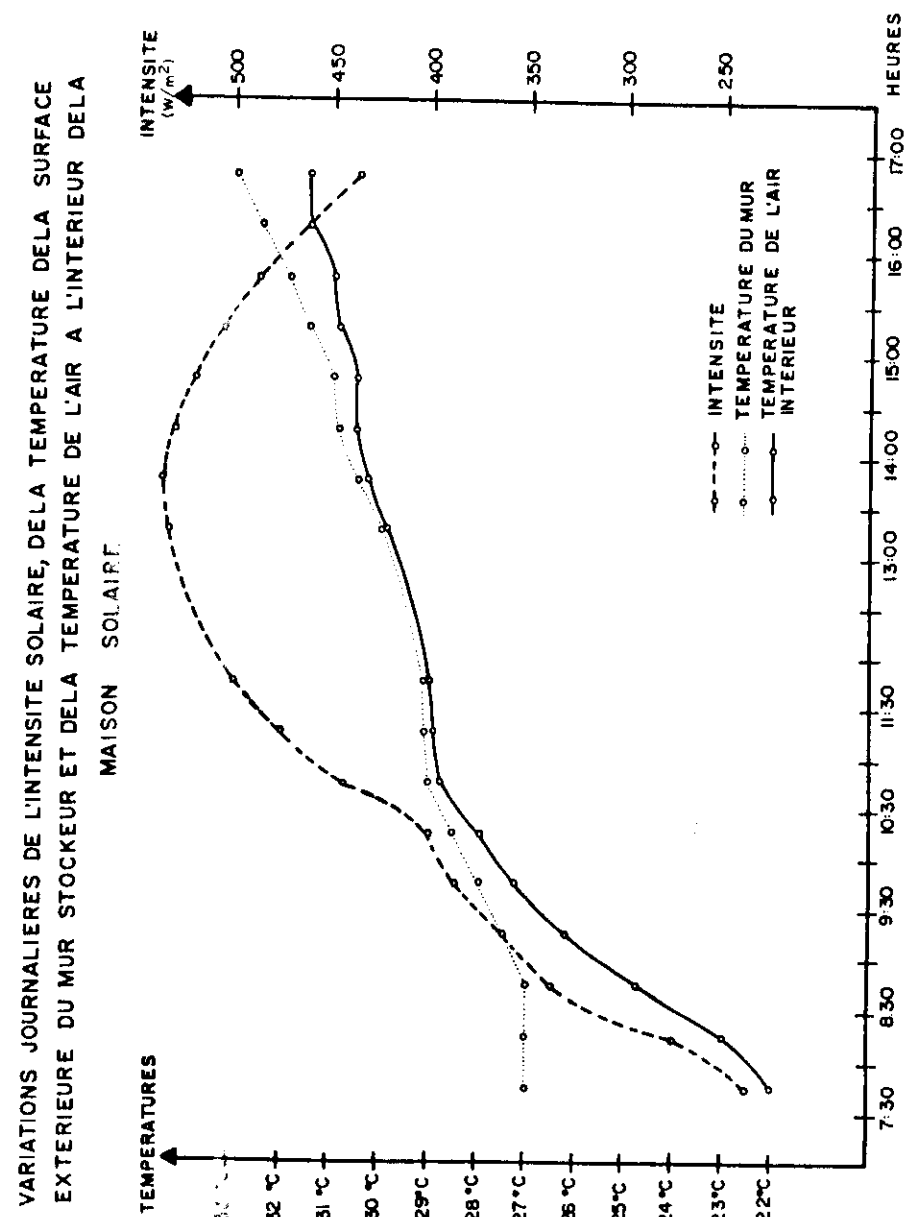


Figure : 14

VARIATION JOURNALIERE DE L'APPORT SOLAIRE

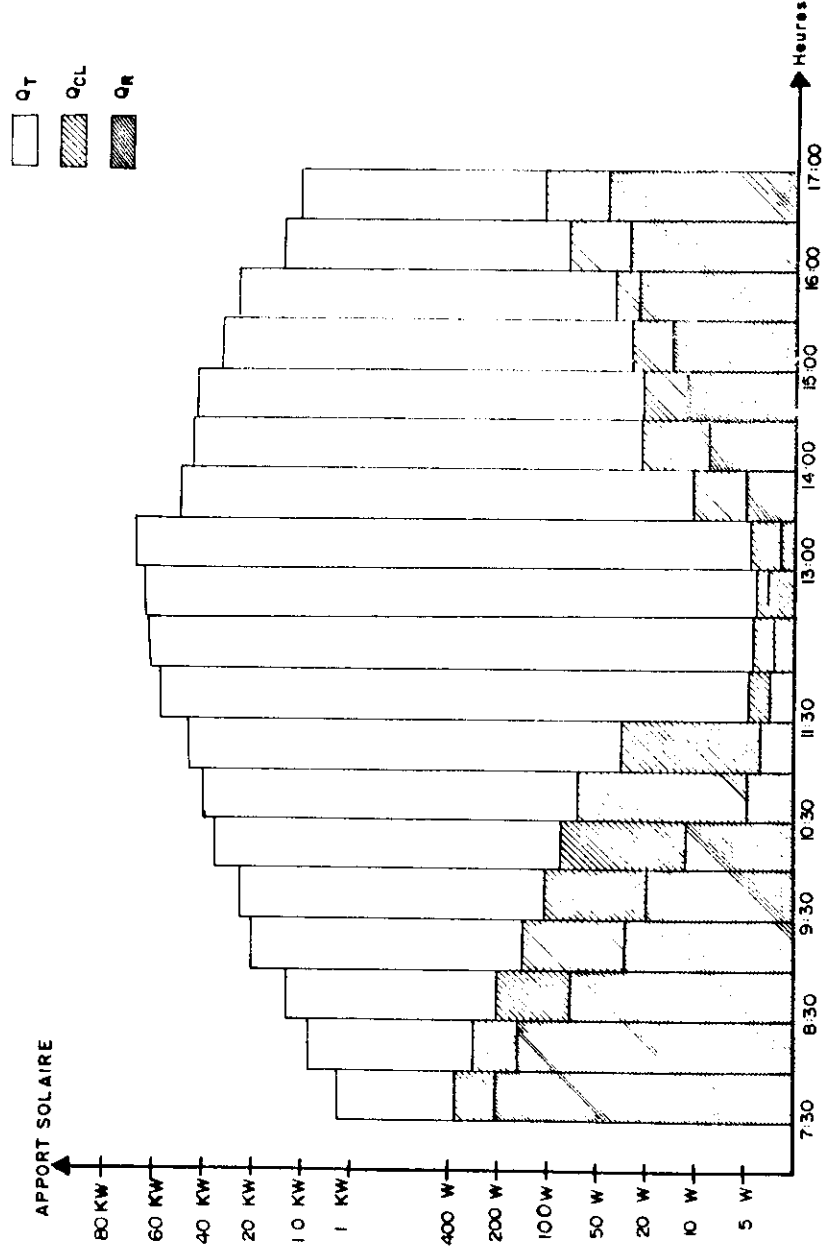
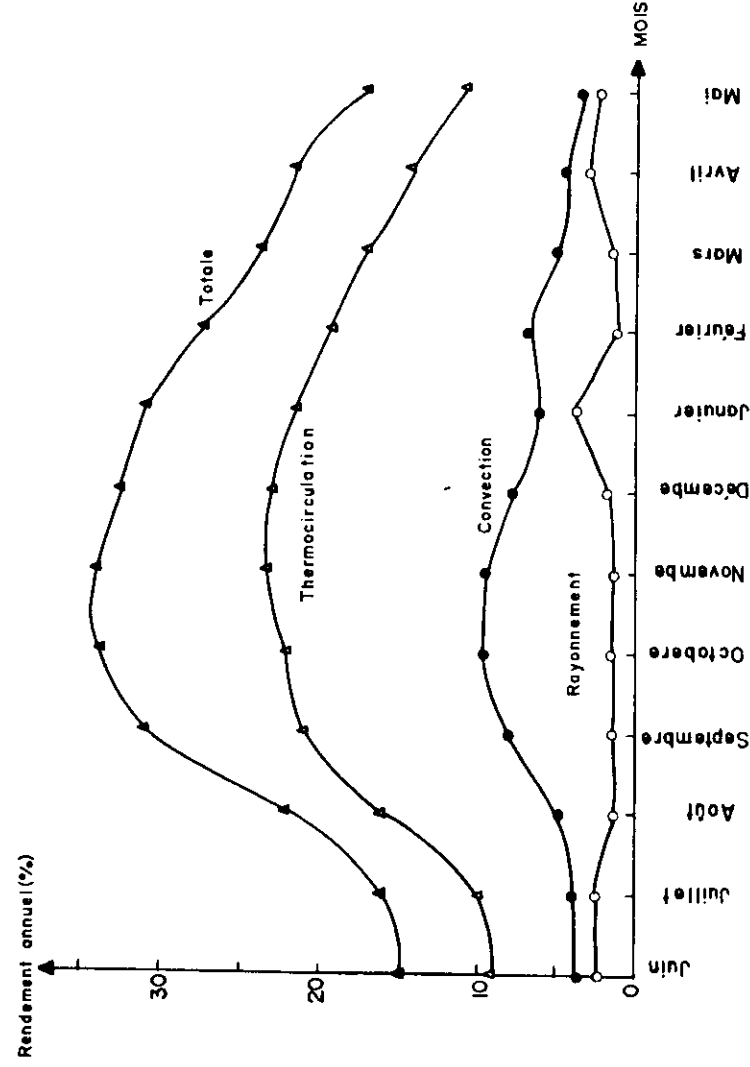
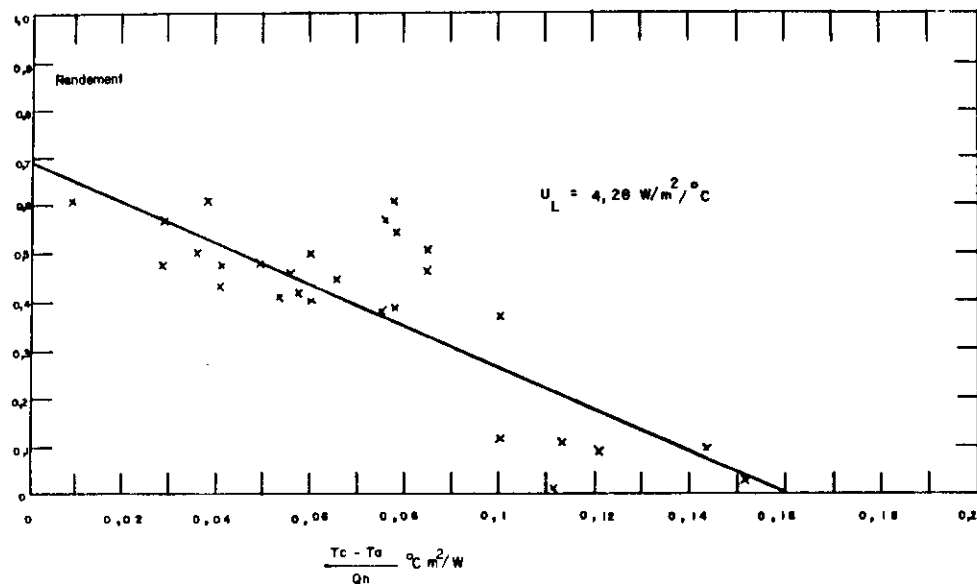


Figure : 15



Variations Annuelles des Energies de Thermocirculation de convection Laminare et de Rayonnement

Figure : 16



Données Numériques

Aire Nette du Capteur : 2 m^2
 Angle d'inclinaison du capteur : 45° orienté vers le sud
 Latitude du Lieu des Essais : $36^\circ 47'$ (centre de Recherche Héliotechnique)
 Date : 16 Août 1980

T_{ambiante}	$T_{\text{entrée}}$	$T_{\text{entrée}}$	T_{sortie}	T_{sortie}	Rayonnement	Débit d'air	$T_{\text{moyenne de l'absorbeur}}$
19	19	19	63	64	852,1	0,017	84,7
19	23	23	64	64	871,7	0,017	85,7
19	29	29	68	68	901,1	0,017	89,3
19	37	37	74	74	910,0	0,017	96,3
20	41	41	76	76	930,5	0,017	99,7

Les températures sont en degrés celsius

Le rayonnement en W/m^2 .

Le débit d'air en $\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$.

Figure : 17

Courbe de rendement des capteurs à Air et Données Numériques des Essais

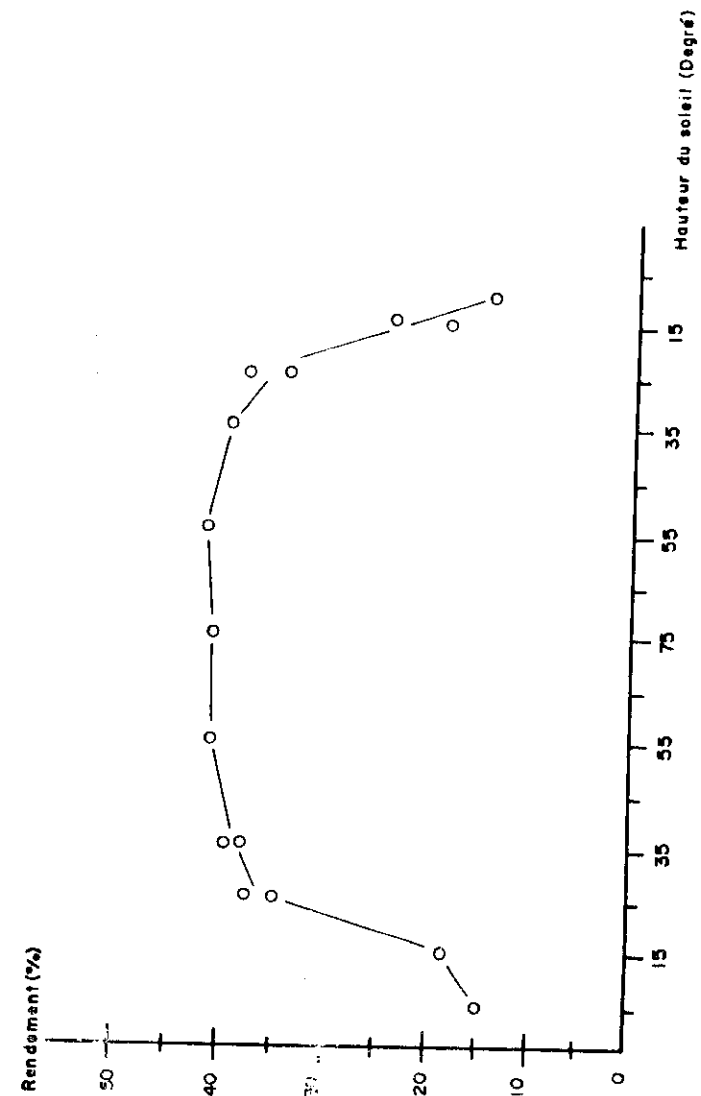
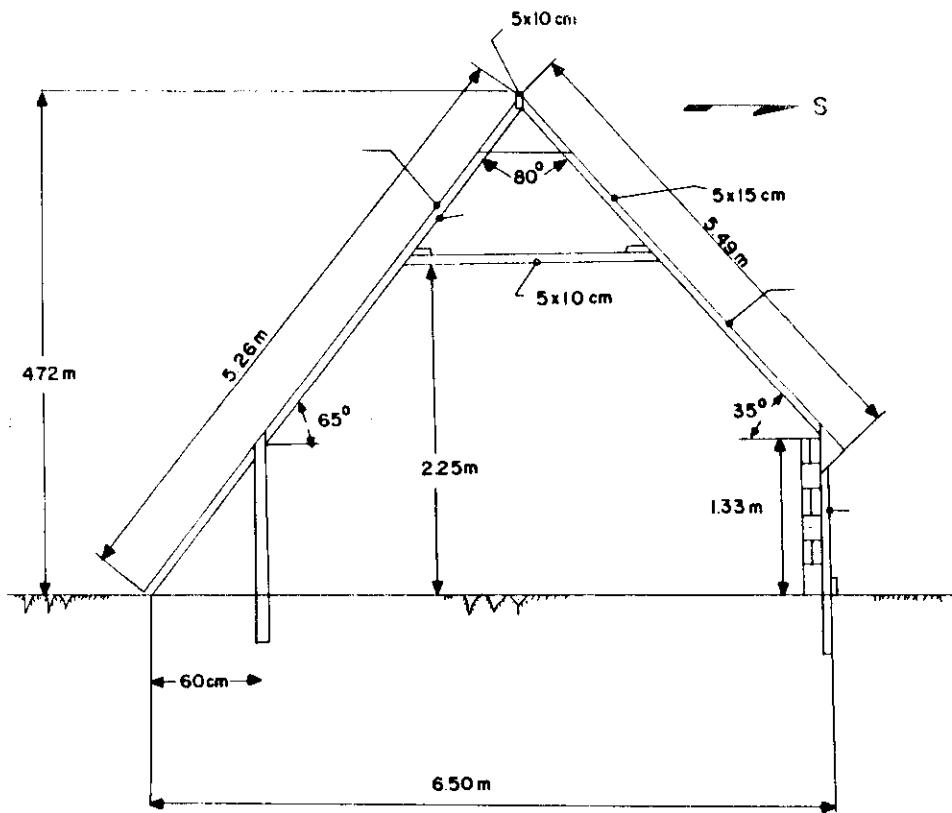


Figure : 18

Variation du Rendement des Capteurs à Air Avec la Hauteur du Soleil



Serre Solaire Passive
Figure : 19

57

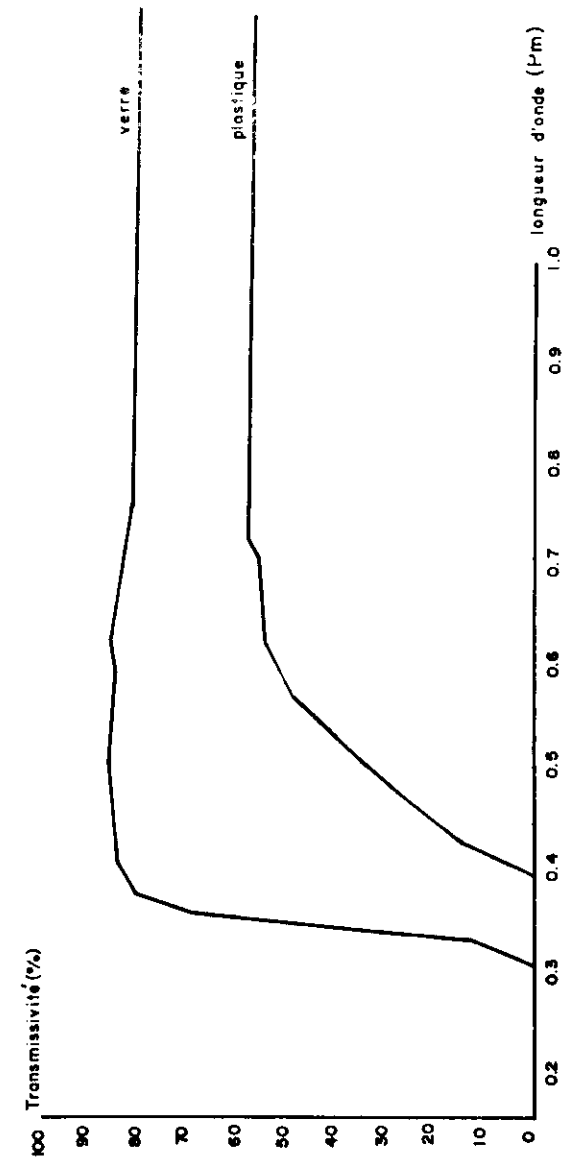


Figure : 20
Courbes de Transmissivité du Verre et du Plastique

58

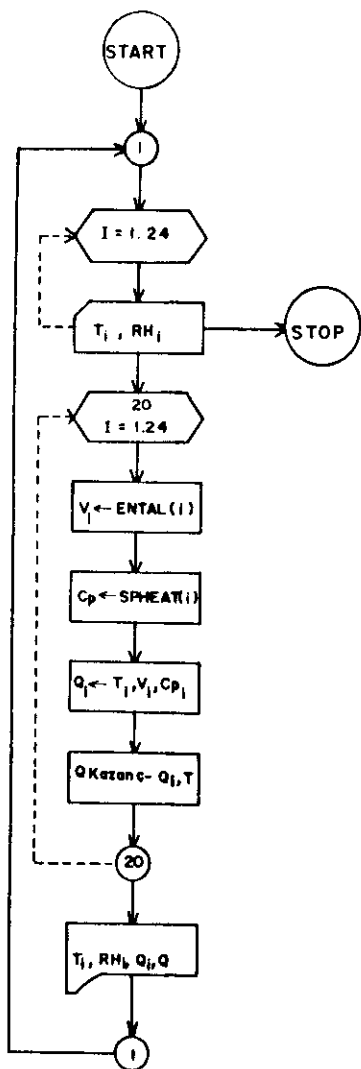


Figure : 21
Schéma du programme d'ordinateur

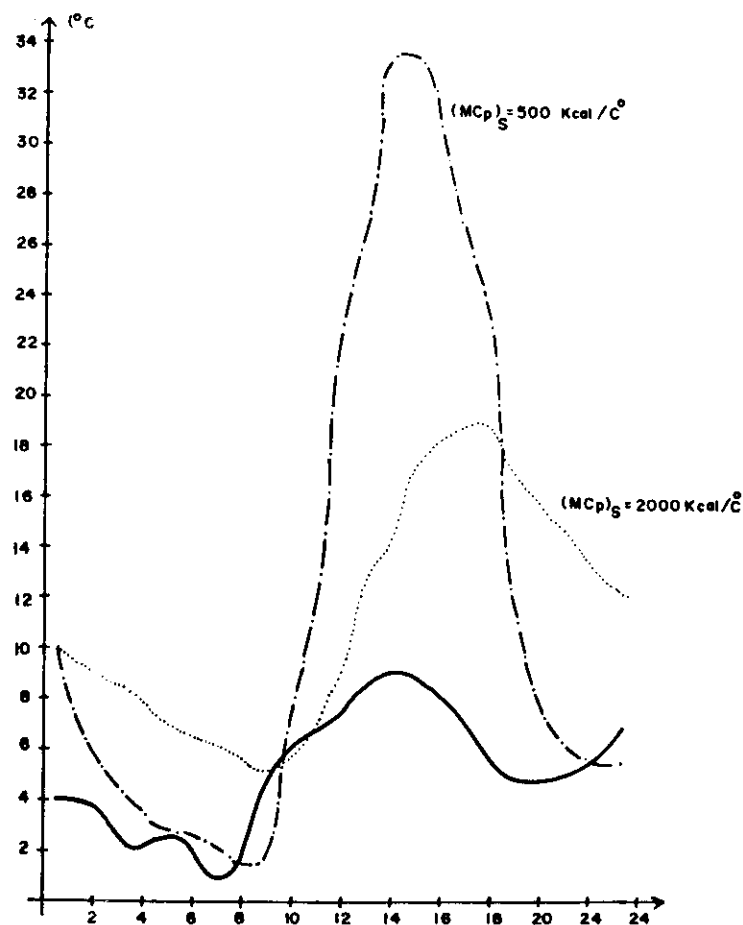


Figure : 22
Influence de la capacité Thermique de la serre sur sa Température

64

