

PN-AAx.940

ON MICROFILM

XVIII-DD-365

12850917

028059

028059

M.H

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL
ET DU TOURISME

REPUBLIQUE DU MALI
UN PEUPLE - UN BUT - UNE FOI

DIRECTION NATIONALE DE L'HYDRAULIQUE
ET DE L'ENERGIE

LABORATOIRE DE L'ENERGIE SOLAIRE

" LES TECHNIQUES SOLAIRES
A CONVECTION NATURELLE "
NATURAL CONVECTION Solar Dryers

SEICU OUIER TRAORE
CHEICKNA TRAORE
MODIBO DICKO
TERRENCE HART

MARS 1982

Introduction

En milieu rural le séchage est et demeure le principal moyen de conservation des denrées périssables. Le séchage traditionnel présente l'avantage d'être solaire mais la precarité des moyens (étalage au soleil à l'air libre) préconisés le rende inadquat.

En la circonstance le Laboratoire de l'Energie Solaire a orienté ses recherches sur les modèles de séchoirs solaires à convection naturelle, appropriés pour un usage rural.

Les efforts engagés ont aboutis à la conception de six (6) prototypes.

Nous donnons dans ce rapport quelques ^{détails} ~~détails~~ techniques et references économiques.

I. Séchoir Indirect (Fig I)

I1) De type indirect la construction est entièrement en tôle Le sechoir se compose des éléments suivants :

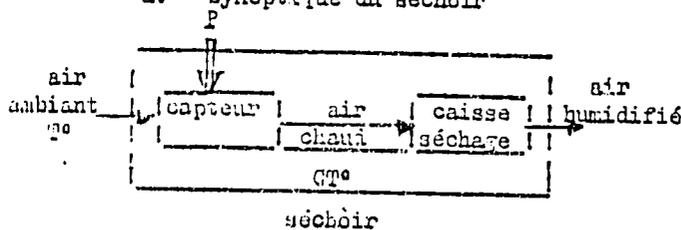
- un capteur de $1,3 \text{ m}^2$
- une chambre de sechage de $0,38 \text{ m}^3$ comportant trois (3) claies de $0,40 \text{ m}^2$ chacune
- Surface effective de charge $1,40 \text{ m}^2$
- une cheminée de tirage d'air $l = 1,95 \text{ m}$ $\beta = 16 \text{ cm}$

Conçu en 1976 pour répondre au séchage des produits courants tels que : poisson viande, fruits et légumes; la construction resiste beaucoup aux intemperies. Sa durée de vie peut être estimée à dix (10) ans

I 2. Interpretation du graphe des températures

I 21) Gain en température (voir fig 2)

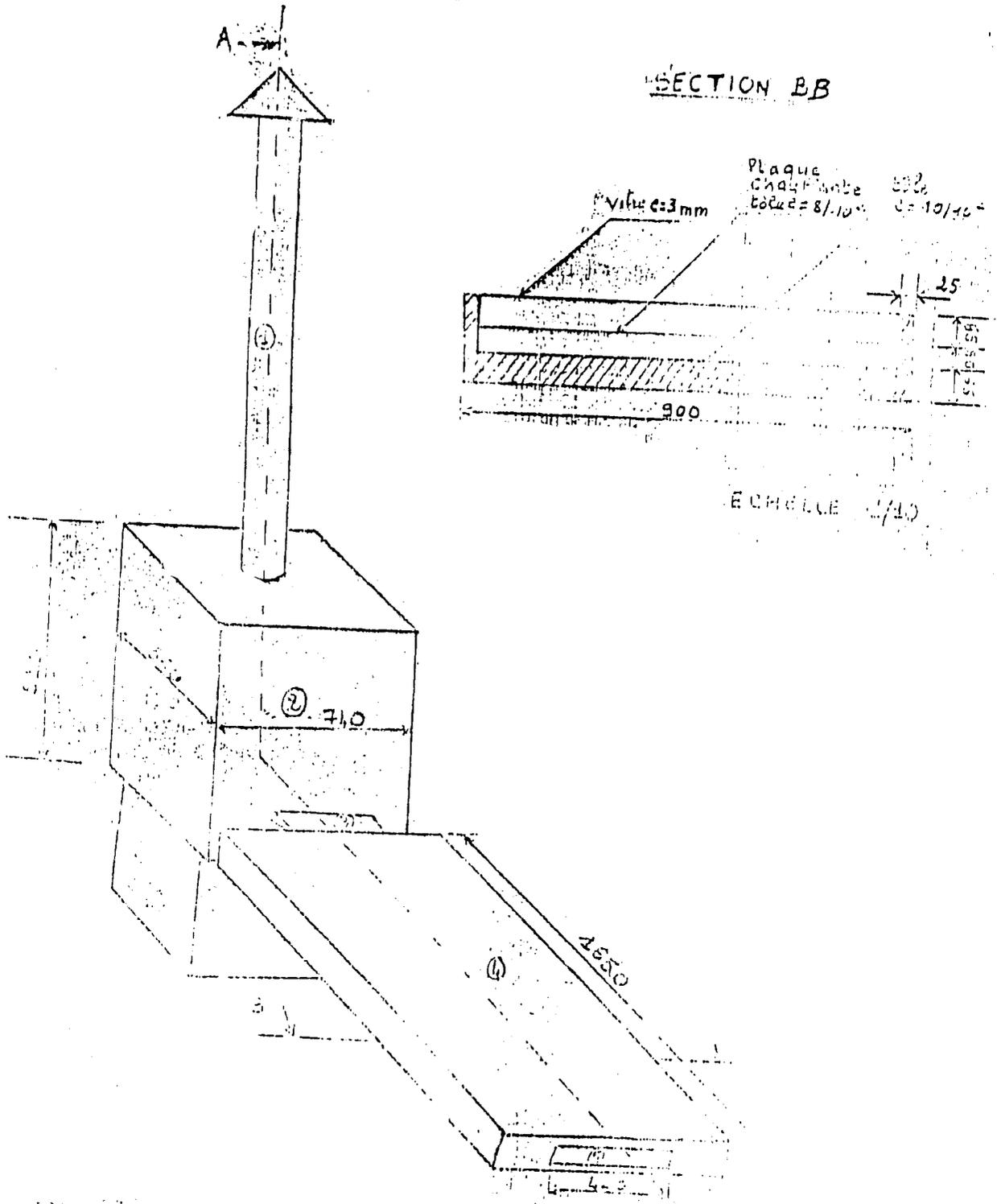
a. Synoptique du séchoir



Le synoptique du système montre que le capteur représente un amplificateur de température, d'où l'importance de calculer un coefficient d'amplification en température (G) quoique dependant principalement de la puissance incidente P du rayonnement solaire très fluctuant.

$$G = f(P, T^{\circ}).$$

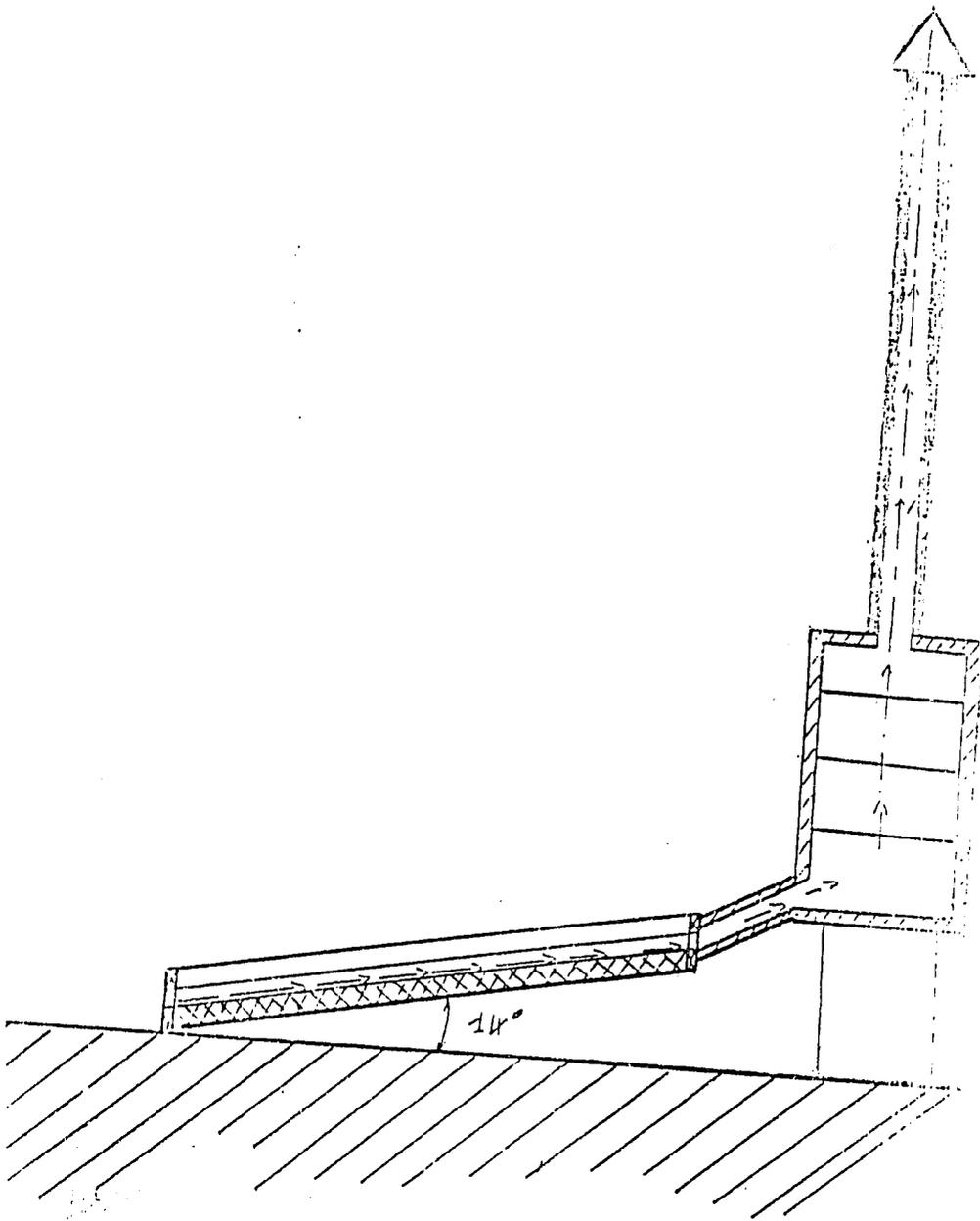
b. Pour la période du 27/II/1981, de 9H à 17 H nous enregistrons une température d'air supérieure à 50°C avec une pointe de 68°C. Par contre la température ambiante varie de 25°C à 34°C.



- (1) Cheminée de tôle
- (2) Caisse de séchage
- (3) Conduite de ventilation
- (4) Capot en fonte

ECHELLE 1/10

Coupe AA



SECHOIR SOLAIRE A AIR

$$\bar{q}_{\text{min}} = \frac{50}{30} = 1,66$$

$$\bar{q}_{\text{max}} = \frac{68}{34} = 2$$

$$q_{\text{moy}} = \frac{3,6}{2} = 1,83$$

Resistance thermique plaque - air (Fig 2)

La tôle d'épaisseur 8 X 10⁰ a une bonne conductivité thermique. C'est ce qui explique d'ailleurs que l'absorbeur atteint des températures élevées 93°C).

L'analyse des courbes plaque et air montre que le transfert de chaleur s'effectue avec une chute de température de l'ordre de 25°C.

A cette chute correspond une résistance thermique R_{th} du système composée de diverses résistances

$$R_{th} = R_i$$

Par analogie à la chute de tension électrique l'équation s'écrit :

$$T_1 - T_2 = R_{th} \cdot Q$$

T₁ = Température de la plaque chauffante

$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{Q}$$

T₂ = Température de l'air chauffé

avec Q = I X S

Q = Chaleur reçue par la surface S en KJ/S ou KW

$$\left\{ \begin{array}{l} S_2 \\ I, 3m^2 \end{array} \right\}$$

La résistance thermique moyenne est calculée pour un intervalle de temps assez long et ensoleillé. Nous considérerons la période comprise entre 10 heures et 16 heures.

R_{th} moyen

$$T_1 = 80^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 59^\circ\text{C}$$

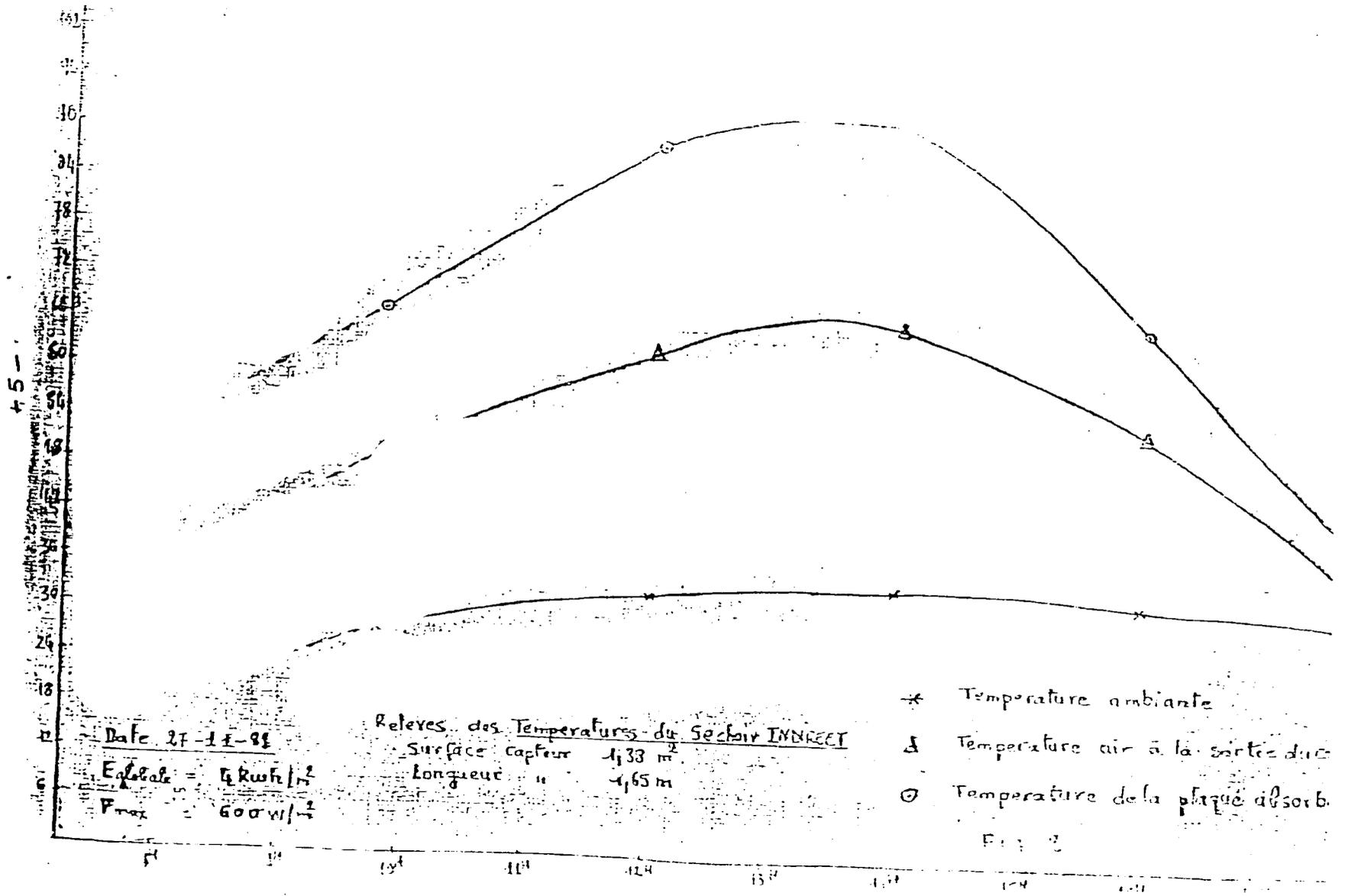
$$I = 450\text{w/m}^2 \Rightarrow Q = 0,450 \times 1,3 = 0,59 \text{ KJ/S}$$

$$R_{th} = \frac{21}{0,59} = 35,6^\circ / \text{KW}$$

La résistance thermique du système peut être réduite en diminuant l'épaisseur de la plaque noire.

Coût

Le prototype est estimé à 130.000 FM le coût du mètre carré d'installation installé revient à 100.000 FM. Cette construction apparemment onéreuse est rentable pour des opérations de séchage de grande importance. Son coût de maintenance est très réduite.



II- Séchoir Fumoir en Banco (Fig. 3)

1) De type Indirect le séchoir a été conçu pour répondre au séchage et au fumage simultané du poisson en milieu rural. C'est pourquoi la construction utilise une part importante de matériaux locaux. Elle a été construite en Février 1981.

- La structure du séchoir est en banco (mélange de sable et d'argile)
- Le charbon de bois^{type} constitue la surface noire de l'absorbeur
- Un foyer amélioré à bois est incorporé au séchoir pour permettre le fumage avec une économie de bois
- Deux conduites auxiliaires ont été aménagées pour véhiculer dans la chambre de séchage la chaleur stockée dans le banco.

Le prototype présente les caractéristiques suivantes :

- Encombrement 1,5 m x 0,9 m x 1,14 m
- Surface de captation 1 m²
- Surface de charge : 0,5 m²

* Nota : Le séchoir s'adapte parfaitement au séchage des fruits et légumes. La construction ne résiste pas à la pluie. Lorsque le crépissage est fait en ciment elle peut durer trois (3) ans.

2) Interprétation du graphe des températures

2.1) Gain en température (fig.4)

Le principe du calcul demeure identique à celui du point I

Pour la même période du 27/11/81, de 9h à 17h nous enregistrons une température d'air supérieure à 44°C avec une pointe de 68°C.

$$G_{\min} = \frac{44}{30} = 1,46$$

$$G_{\max} = \frac{65}{34} = 1,91$$

$$G_{\text{moy}} = \frac{1,91 + 1,46}{2} = 1,68$$

2.2) Résistance thermique plaque-air (fig.4)

Les températures observées pour l'absorbeur expliquent le fait que le système ne possède pas une bonne conductivité thermique. Ce résultat pourrait s'améliorer lorsque le charbon de bois présenterait une structure compacte plutôt que granulaire comme c'est le cas.

Cependant l'analyse des températures montre qu'il existe un très bon transfert de chaleur entre la plaque et l'air. On enregistre une différence maximale de 3°C. Ce résultat revient surtout à l'écoulement de l'air qui s'effectue entre le vitrage et la plaque conformément au système précédent.

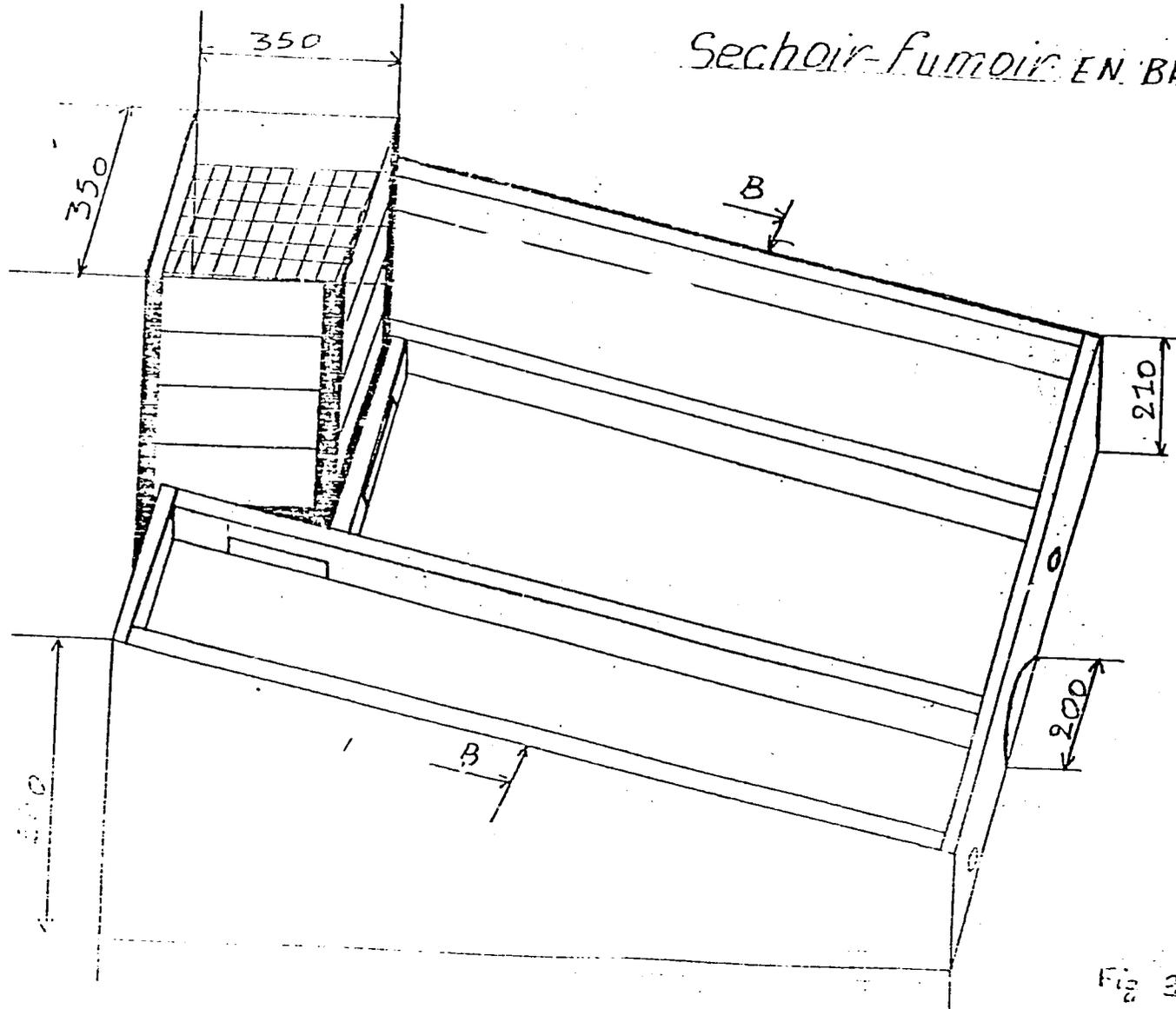
$$R_{th \text{ moy}} = \frac{2,5}{0,45 \times 1} = 5,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{kw}$$

La résistance thermique du système est environ 7 fois inférieure à celle du précédent système.

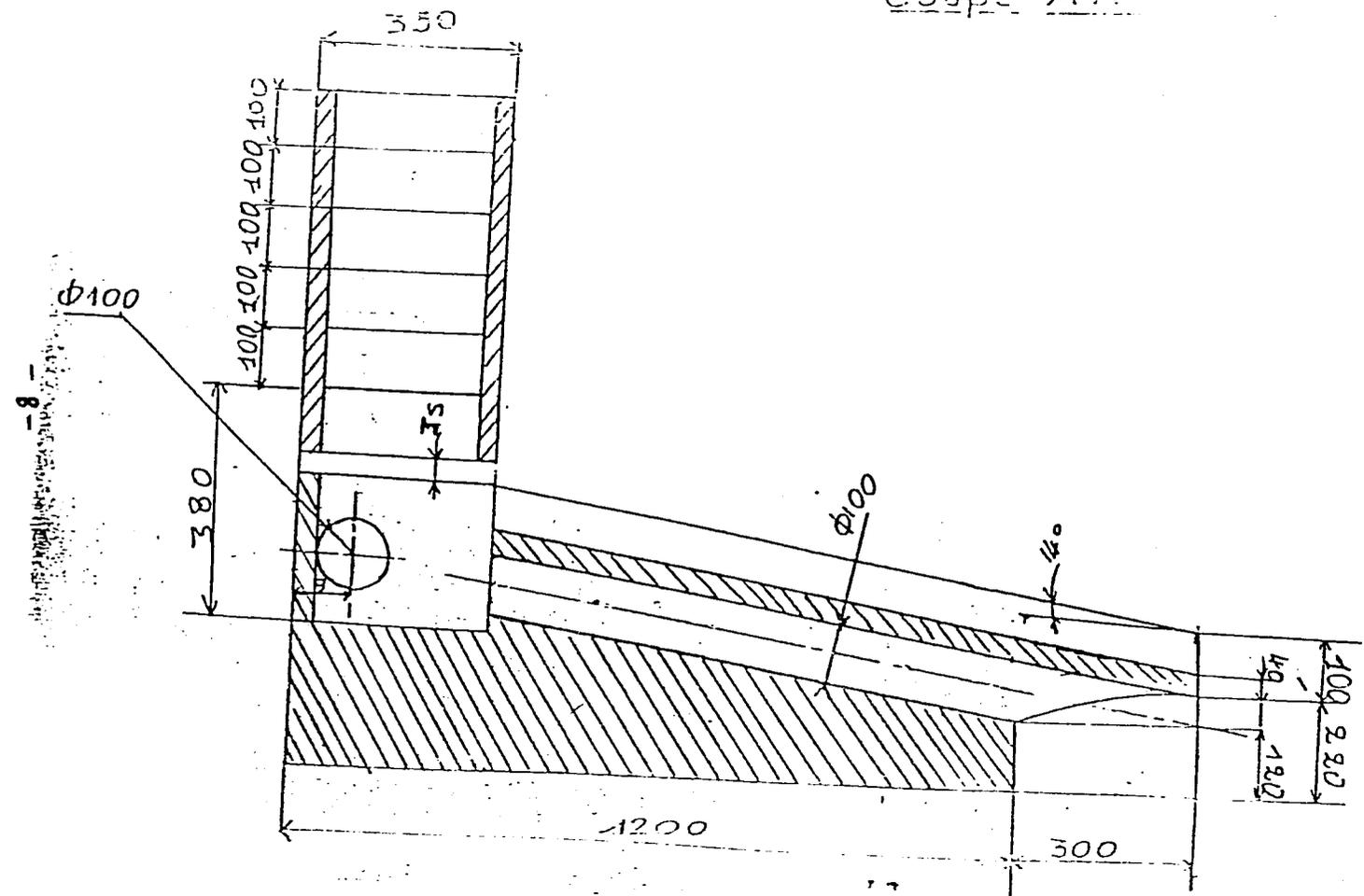
3) Coût :

Le prototype est estimé à 60.000 FM. Ce coût pourrait diminuer de moitié compte tenu d'une part de la gratuité en milieu rural des matériaux et d'autre part du faible prix du polyéthylène blanc arte à remplacer le vitrage.

Sechoir-fumoir EN BAN



Coupe AA

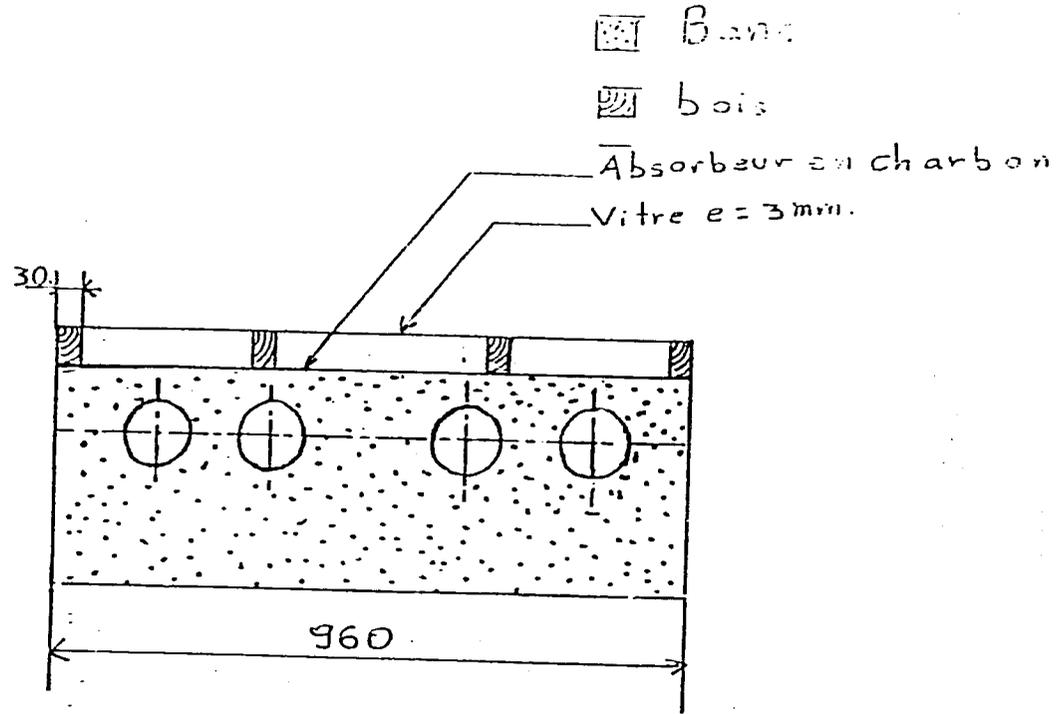


 bois
 bancos/feuille

SECHOIR-FUMOIR DE POISSON.

Fig 3 b
 ECH. 1/10

SECTION B B



Sechoir - fumoir de Poisson

Fig 3c

ECH: 1/10

10-

COUPE B.B

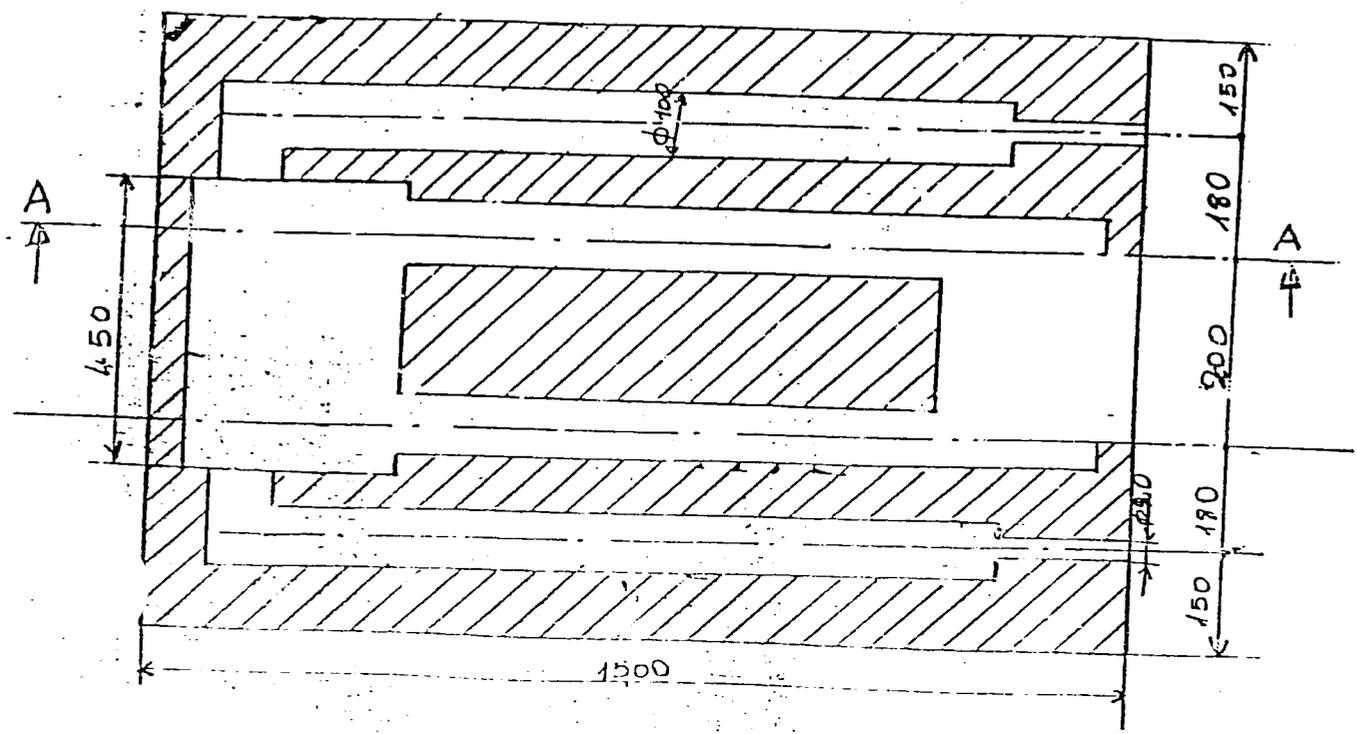
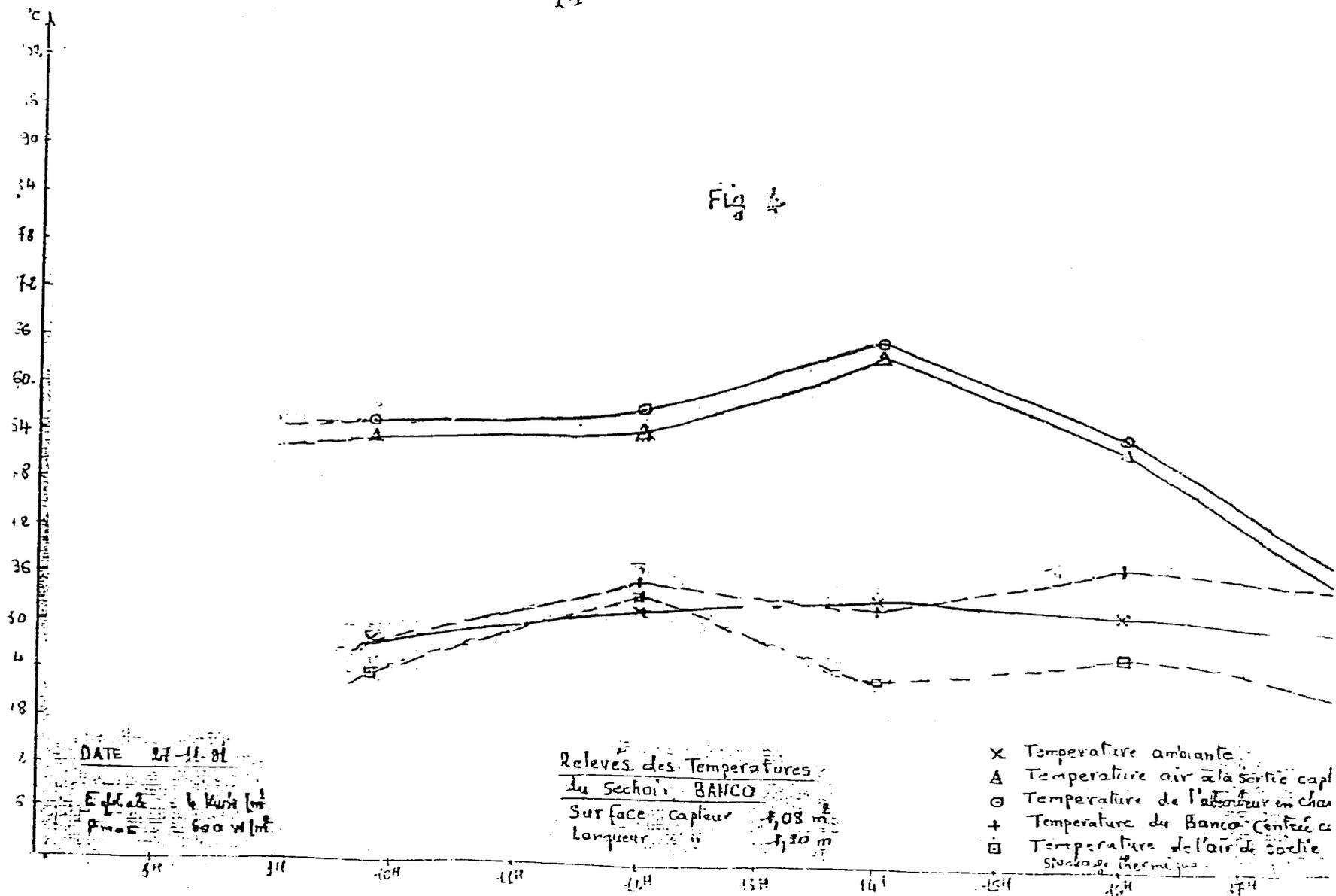


Fig 3d

ECH: 1/10

Fig 4



III Séchoir Tente (Fig.5)

De type direct le système à l'avantage d'être semi indirect en ce sens qu'il chauffe l'air chargé du transport d'humidité. En grande partie de construction métallique le système comporte les éléments suivants :

- Un cadre hexagonale de 2m de diamètre
- Une cheminée noircie servant de rechauffeur d'air pour le tirage
- Une structure de forme conique permettant de fixer le polyéthylène blanc utilisé comme corps transparent (S = m2)

Le prototype présente les caractéristiques suivantes :

encombrement	2 m x 2 m x 2,5 m
surface de captation	2,55 m2
surface de charge	2,55 m2

Conçu en 1980, le séchoir a été amélioré en Décembre 1982. Il est adapté au séchage du poisson, des fruits et légumes etc.

Sa durée de vie peut être estimée à 5 ans moyennant des entretiens saisonniers

III-1

Interpretation du graphe des températures

Gain en température (Fig.6)

Entre 10h et 15h nous observons une température d'air supérieur à 40°C avec une pointe de 50°C. Parcontre la température ambiante varie de 22°C à 32°C

$$G_{\min} = \frac{40}{27,5} = 1,45$$

$$G_{\max} = \frac{50}{33} = 1,52$$

$$G_{\text{moy}} = \frac{1,45 + 1,52}{2} = 1,49$$

III-2

Répartition de l'énergie

A charge l'énergie reçu par le système sert à deux fins

- a- chauffer directement le corps à sécher ;
- b- chauffer l'air qui chauffe à son tour le corps à sécher et transporte l'humidité.

L'équation simplifiée de l'énergie s'écrit :

$$Q = t p \left[k S + (\lambda + (1-k)S) \right]$$

- P énergie incidente
- k coefficient de charge du séchoir *1
- t coefficient d'absorption de la toile plastique
- (1-k) coefficient de surface restante
- S surface effective de charge
- λ surface libre

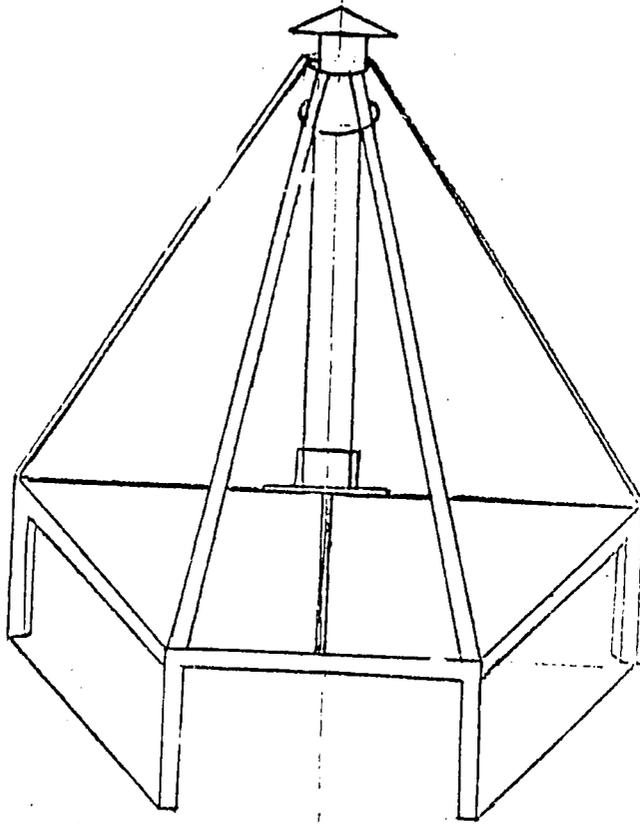
Nota : $s = S' - \lambda$ avec S' surface de captation

Le terme $tPkS$ est directement absorbé par les corps à sécher tandis que le terme $tP \left[\lambda + (1-k)S \right]$ sert à chauffer l'air.

Le deuxième terme est favorisé par l'effet de serre. En définitive la température dans le séchoir dépend du débit d'air qui y circule. Dans le cas du séchage venté la surface libre est nulle ($\lambda = 0$)

$$Q = t P \left[k S + (1-k)S \right]$$

VUE EN PERSPECTIVE



VUE DE DESSUS

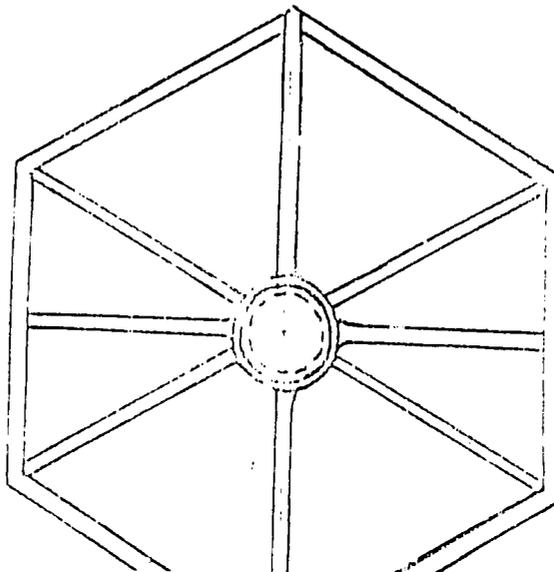
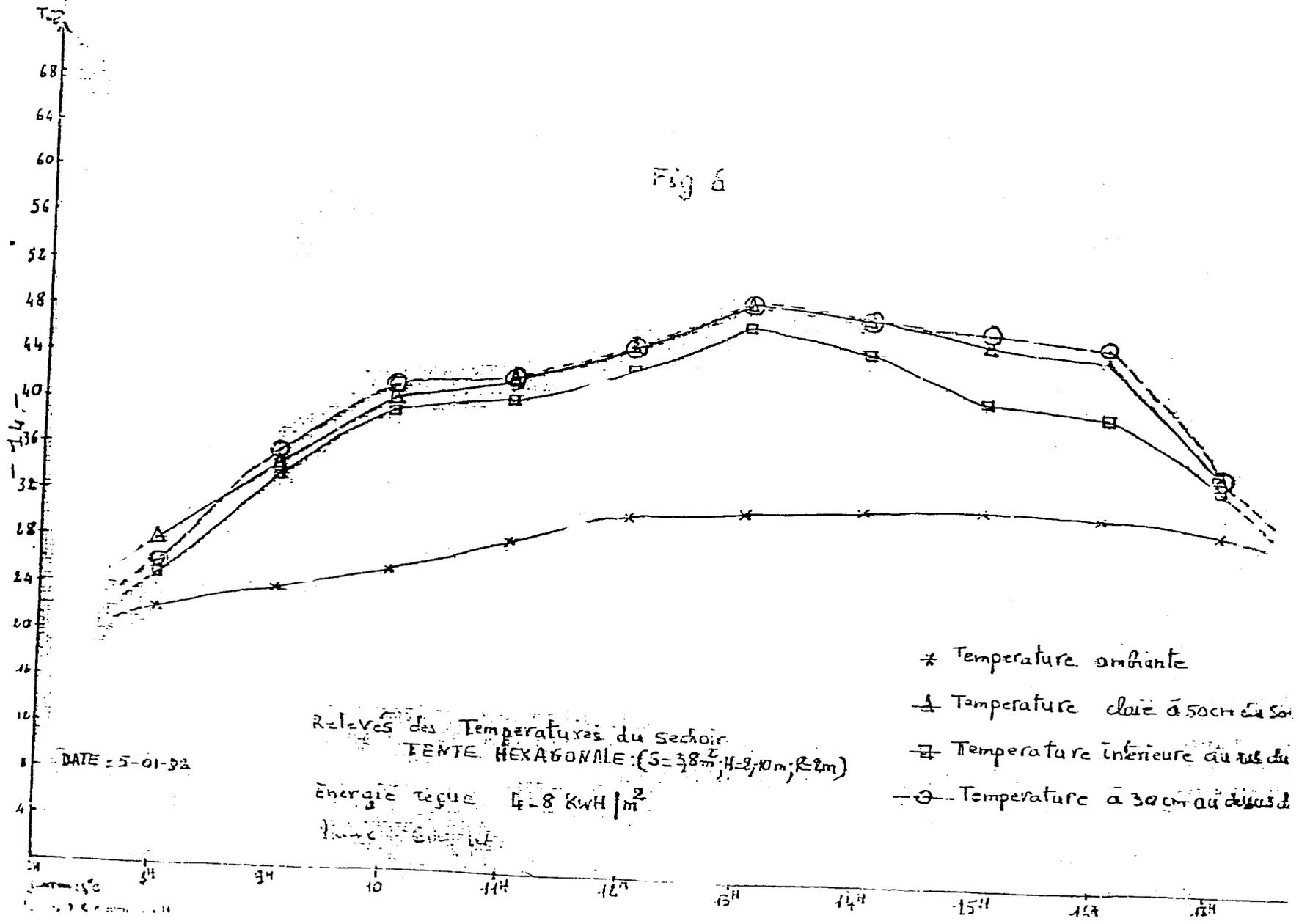


Fig. 3



Coût :

Le prototype est estimé à 55.000 FM. Le coût du mètre carré installé revient à 21
Il faut prévoir le coût de changement périodique de la couverture en polyéthylène
blanc.

IV Séchoir-Serre (Fig 7)

IV.1 De type direct le système à l'avantage d'être semi-indirect à l'instar du sé-
choir tente. La construction entièrement en bois comporte les éléments suivants :

- Un hangar fermé recouvert de polyéthylène dimension 3m x 2m x 2,30m
- Une table avec filet de pêche dimension 2,40m x 1,40m

Le prototype présente les caractéristiques suivantes :

encadrement 3m x 2m x 2,30m

surface de captation 6m²

surface de charge 3,36 m²

(Un doublement de la surface de charge est prévu)

Conçu en Février 1982 le séchoir est principalement adapté au séchage ^{séchage} du po-
soin. Il est également adapté au séchage de la viande des fruits et légumes.

Sa durée de vie moyenne est estimée à 3 ans moyennant des entretiens saisonniers

IV.2 Interpretation graphique

IV.2.1 Gain en température (Fig 8)

Entre 10h et 17h nous observons une température d'air supérieure à 42°C avec
une pointe de 50°C. Durant cette période la température ambiante varie de 25°C à 31°C

$$G_{\min} = \frac{42}{31} = 1,35$$

$$G_{\max} = \frac{50}{34} = 1,47$$

$$G_{\text{moy}} = 1,41$$

IV.2.2 Répartition de l'Energie

$$Q \pm P \sqrt{K S + (1-k) S} \quad \square$$

Dans le cas de ce séchoir la surface libre n'est pas nulle ($k = 0$) à plein
charge

$$= S' - S = 6 - 3,36 = 2,64 \text{ m}^2$$

IV.3 Coût :

Le séchoir est estimé à 136.000 FM. Le mètre carré de captation installé
revient à 22.670 FM

- 46 -

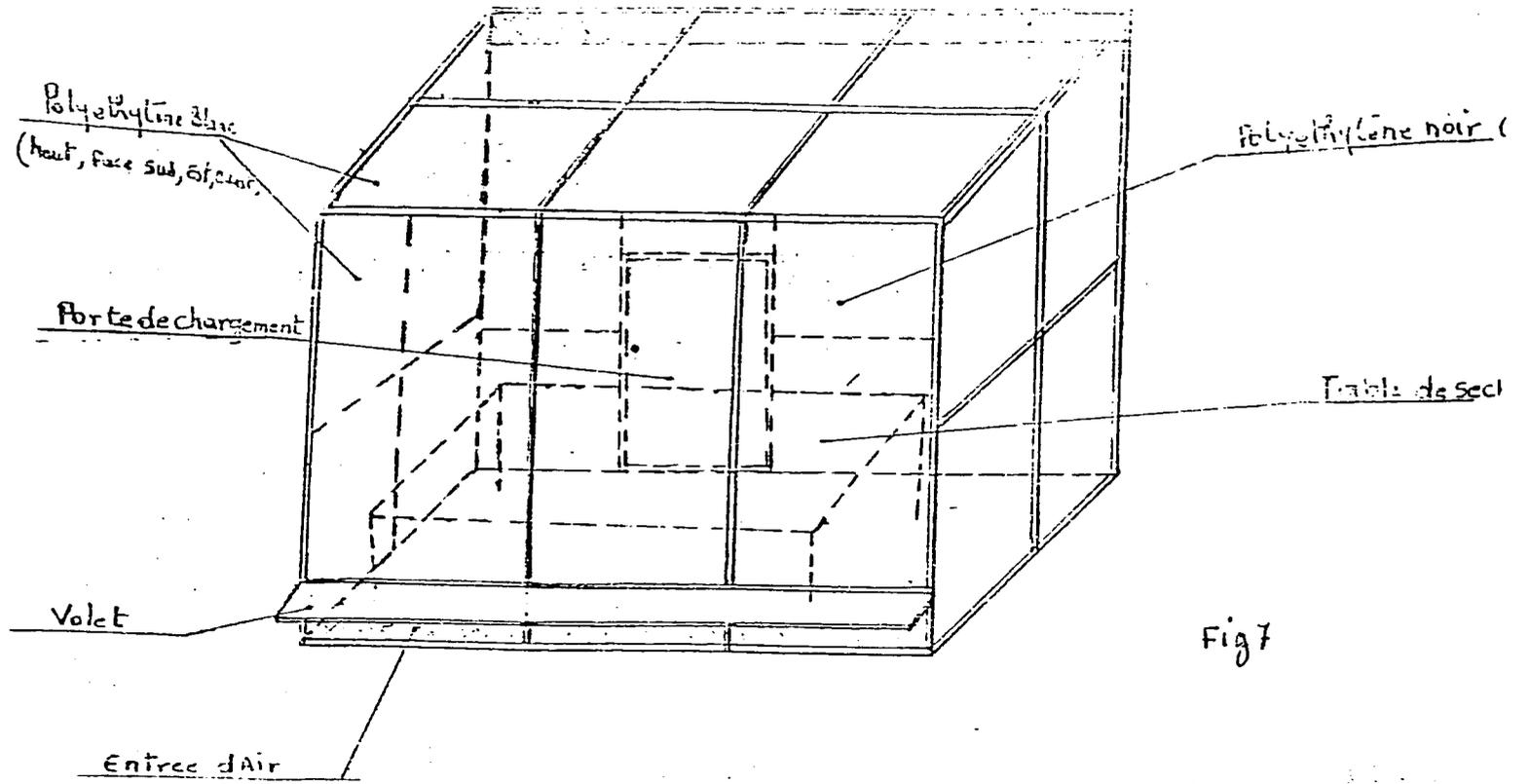
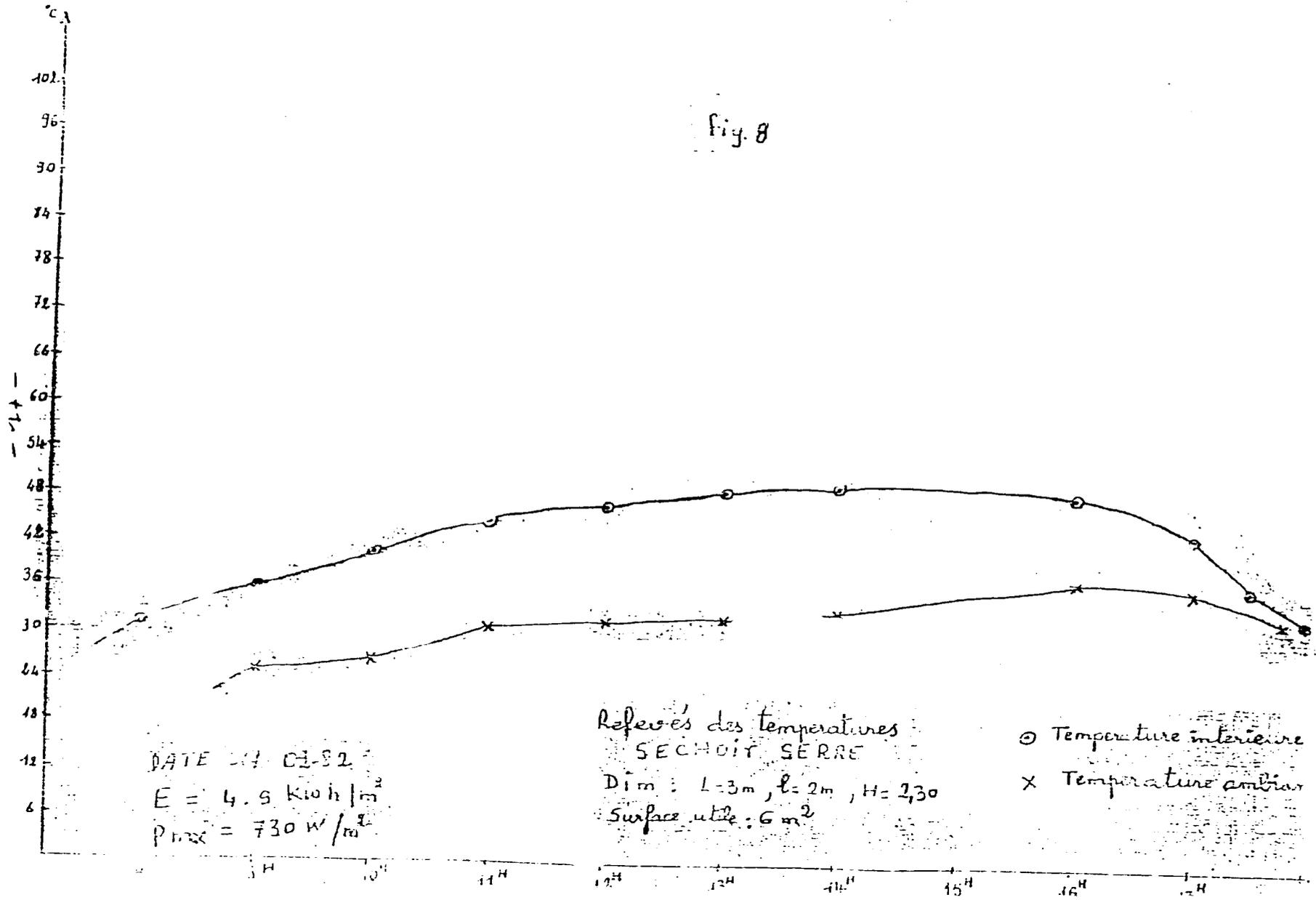


Fig 7

Labo ENERGIE SOLAIRE

SECHOIR SERRE

Fig. 8



V Sechoir TAOST (Fig IO à I3)

VI. De type direct le sechoir a l'avantage d'être semi-indirect.

Conçu en Avril 1981 pour répondre au sechage des mangues le sechoir est également adapté au sechage d'autres fruits et légumes et du poisson en général.

La construction entièrement en menuiserie comporte les éléments suivants

- Une caisse en contre plaqué orientable EST-OUEST
dimension 1,8m X 0,3m
- Cinq (5) paniers grillagés suspendus dans la caisse dimension 0,9m x 0,3 m
- Deux (2) portes laterales de chargement
- Un (1) volet réglable a chaque extrémité pour l'admission et la sortie de l'air

Le sechoir presente les caractéristiques ci-après

- Surface de captation en vitre 1,8m X 0,9m = 1,62 m²
- Surface de charge (0,3m X 0,9m) x 5 = 1,35 m²
- Surface libre = 1,62 - 1,35 = 0,27 m²

La durée de vie du prototype est estimée à 3 ans

VII GAIN EN TEMPERATURE

Relevées à vide

	Tamb.	Tint à volet ouvert	Tint volet à 67,5°	Tint volet à 22,5°
Pmoy 635w/m ²	55,23°C	52,7°C	53,3°C	56°C

A volet ouvert le coefficient d'amplification est : $G_{moy} = \frac{52,7}{35,2} = 1,50$

VIII Repartition de l'Energie

Le sechoir Taoist presente l'avantage de conserver une surface libre constante

$$S = 0,27 \text{ m}^2$$

$$Q = \dot{Q}P (kS + (S + (I - k) S))$$

IX Coût

Le prototype est estimé à 88.450 FM. Dans cette condition le coût du mètre carré de surface de captation installée revient à 54.600 FM.

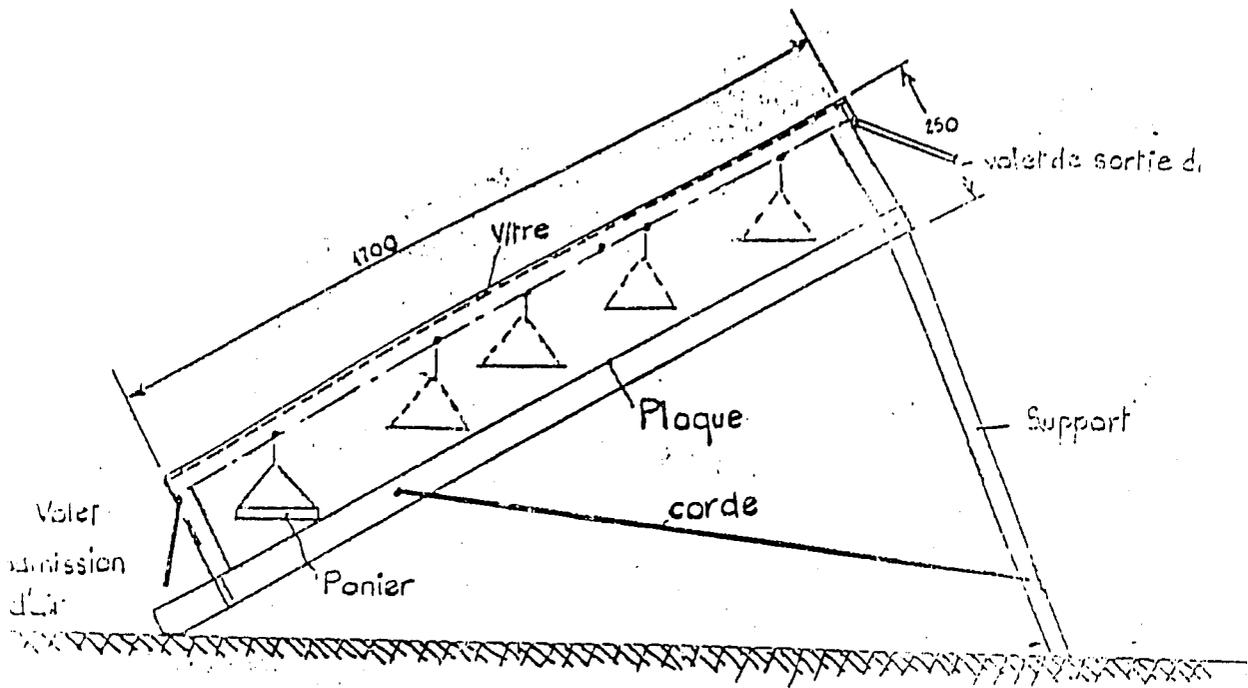
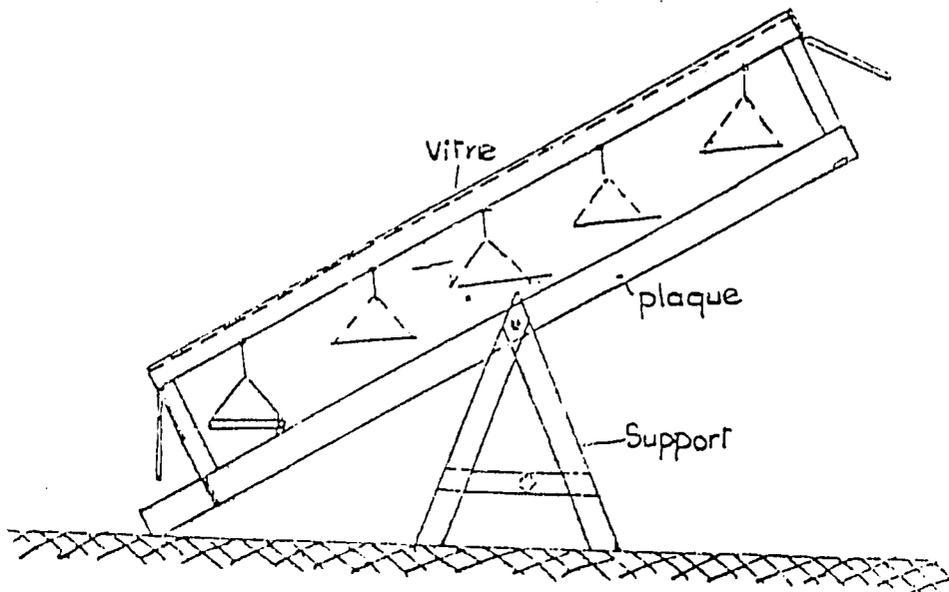


fig 10: Première conception du Séchoir et de son support



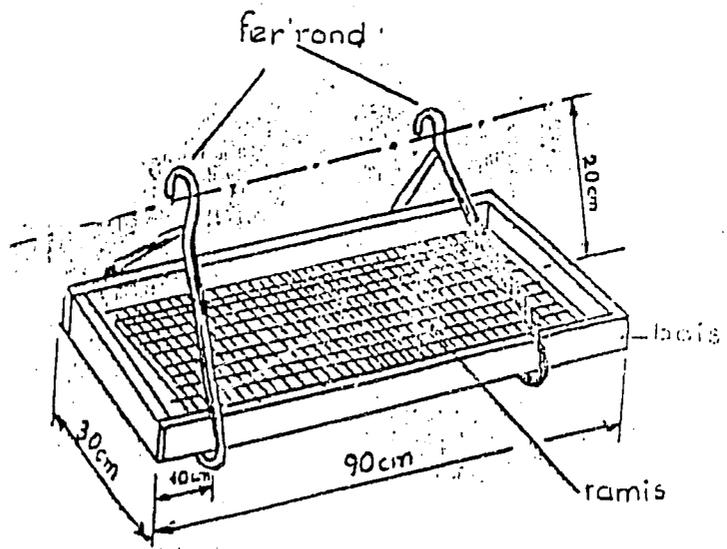
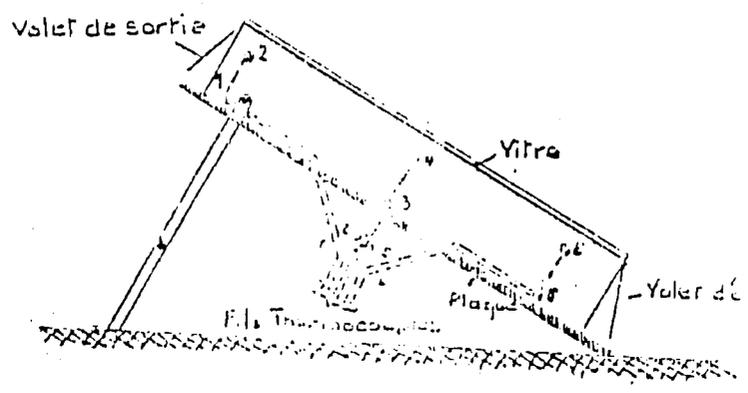


fig 10: Vue du panier



VI Séchoir combiné (Fig 14)

VI 3. Le prototype combiné le type direct et indirect le sechoir est réalisé en t81 et comporte les éléments suivants :

- Une caisse
- Une cheminée

La caisse renferme deux éléments principaux

1) Le capteur

Le capteur est constitué d'un double vitrage et de deux plaques chauffantes demontables en vue de l'usage en direct.

2) La chambre de sechage

La plaque chauffante inferieure donne directement accès à la chambre de sechage contenant six (6) claies.

La prototype presente les caractéristiques

Encombrement	1,48 X 0,76
Surface de captation	1,12 m ²
Surface de charge en indirect	5,25 m ²
Surface de charge en direct	1,05 m ²
cheminée solaire H	= 1,50 m avec une surface vitré 0,121 X 0,09 m

Il a été conçu en Mars 1982 pour répondre au sechage des produits les plus variées.

VI II Interpretation des graphes des températures

VI III Gain en température

A. Type direct. (Fig 15)

En enlevant les deux plaques chauffantes nous obtenons un sechoir de type direct a double vitrage dont les coefficients en température peuvent être calculés

$$\begin{aligned} \text{Entre } 10 \text{ H et } 18 \text{ H} \quad T_{\min} &= 50^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{moy}} &= 33^{\circ}\text{C} \\ G_{\min} &= \frac{50}{33} = 1,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A } 13 \text{ H} \quad T_{\max} &= 76^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{max}} &= 36^{\circ} \quad G_{\max} = \frac{76}{36} = 2,1 \end{aligned}$$

$$G_{\text{moy}} = \frac{2,1 + 1,8}{2} = 1,95$$

B Type Indirect (Fig 16)

En gardant les deux plaques chauffantes nous obtenons un sechoir de type indirect a double vitrage les coefficients sont les suivants :

- Entre JOH et 18 H $T_{\text{min}} = 50$

$T_{\text{a moy}} = 32$

d'où $G_{\text{min}} = \frac{50}{32} = 1,56$

- A 13 heures $T_{\text{max}} = 66$

$T_{\text{a max}} = 36$

d'où $G_{\text{max}} = \frac{66}{36} = 1,83$

$G_{\text{moy}} = \frac{1,83 + 1,56}{2} = 1,74$

VI II 2. Resistance thermique plaque air en indirect (Fig 16) .

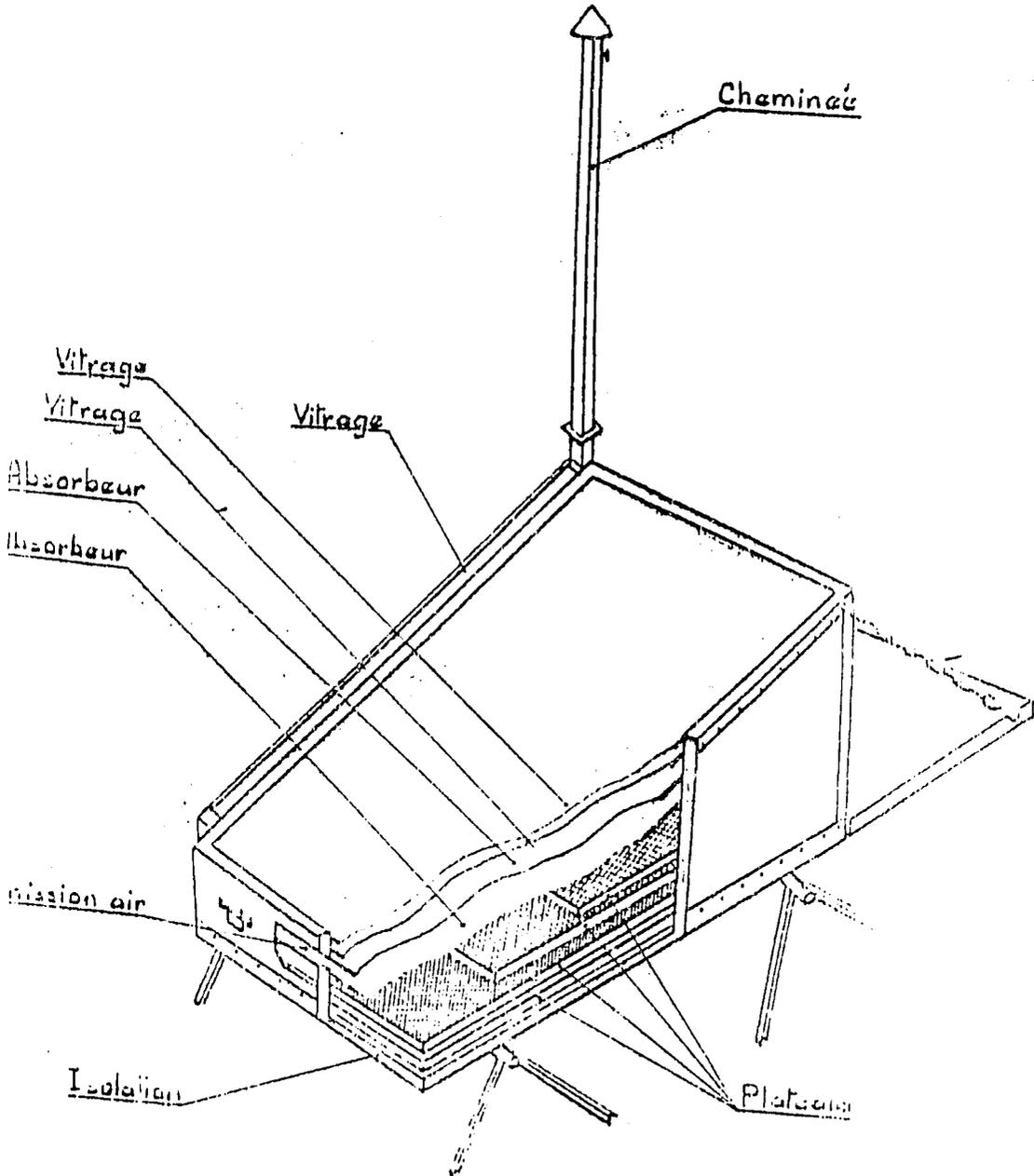
Nous enregistrons une difference de temperature moyenne de 40°C sous une insolation moyenne de 450 w/m^2

d'où

$$R_{\text{th}} = \frac{40}{0,45 \times 1,12 \times 0,5} = \frac{40}{0,5} = 80^{\circ}/\text{kw}$$

Ce resultat explique qu'on observe ~~qu'on~~ pour cette mode de transmission une masse thermique assez importante.

Fig 14



Laboratoire d'Energie Solaire
SECHOIR COMBINE

Fig 15

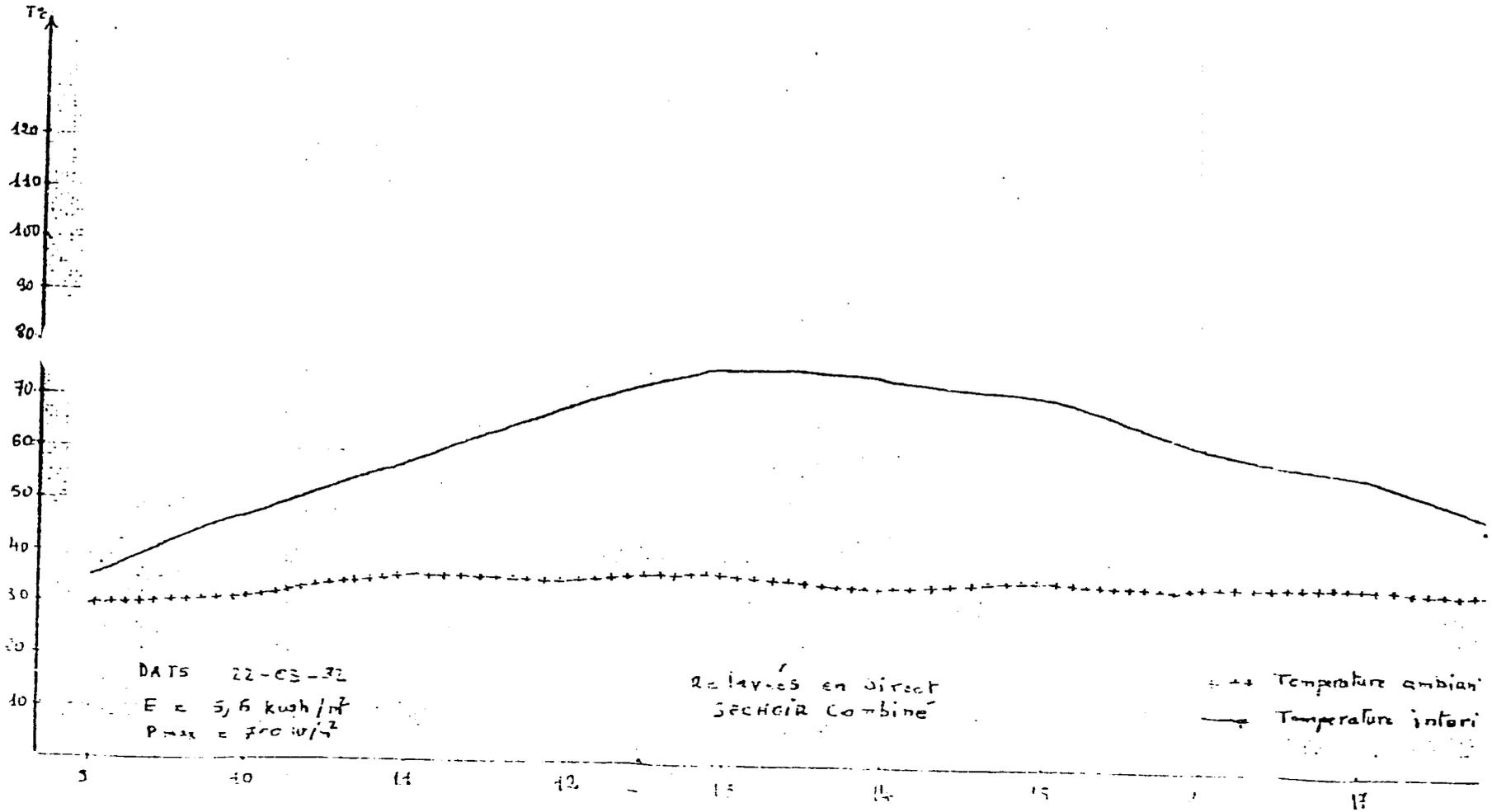
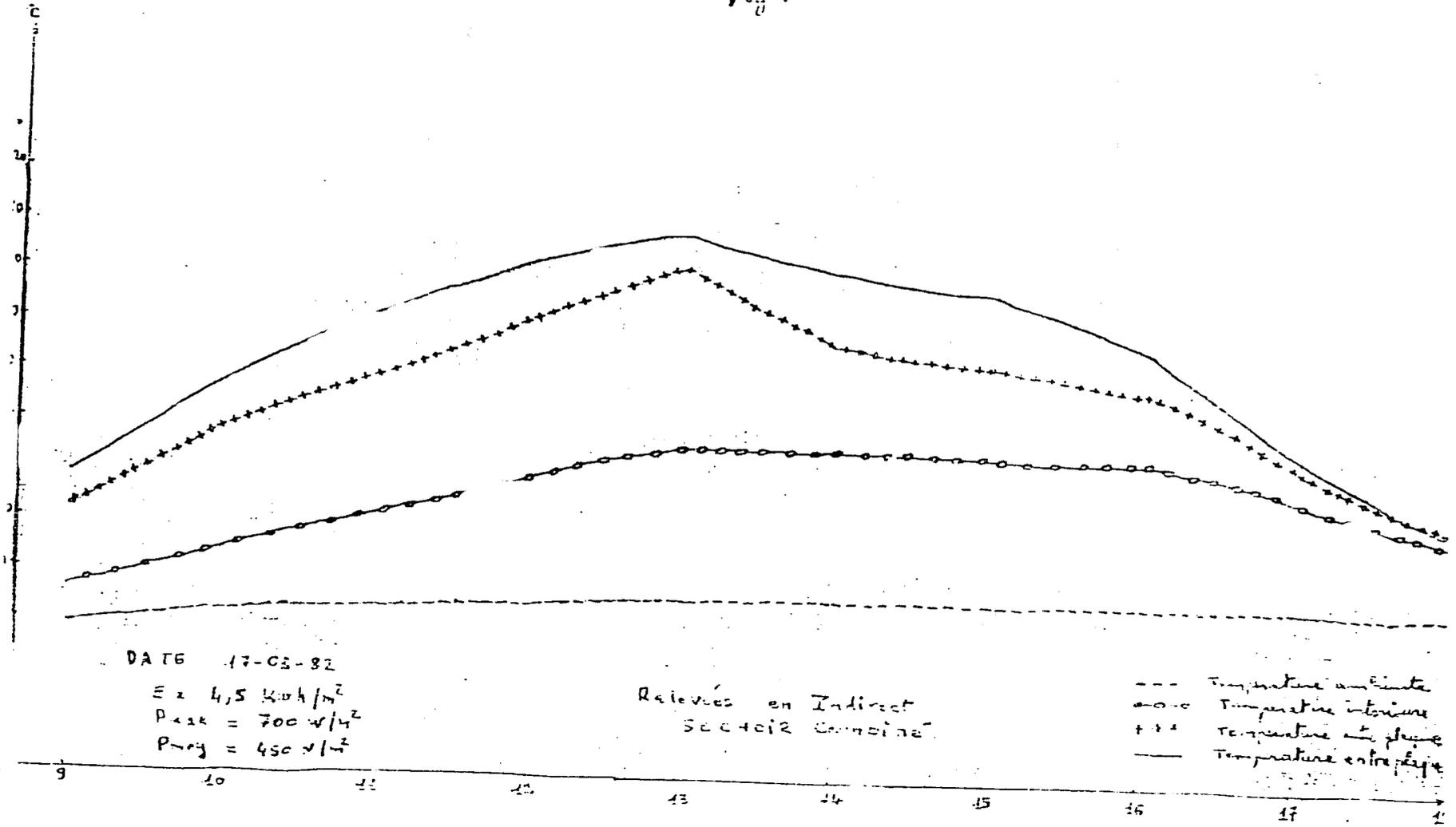


Fig 16



DATE 17-03-82

$E = 4,5 \text{ kWh/m}^2$
 $P_{\text{ext}} = 700 \text{ W/m}^2$
 $P_{\text{int}} = 450 \text{ W/m}^2$

Rélevés en Indirect
Sector Conjoint

--- Température ambiante
o-o-o Température intérieure
+ + + Température au plan
— — — Température entre poutres

VII Etude de performance

VII I. L'efficacité d'un sechoir se mesure par la rapidité et la qualité du séchage. Ces deux facteurs dépendent de l'hygrométrie de l'air chaud et principalement de la température de cet air. Cette dernière valeur doit être en corrélation directe avec la fourchette de température requise pour le séchage de la matière considérée. Pour une période donnée le coefficient d'amplification en température du sechoir donnera approximativement la valeur de la température de l'air et par conséquent permet de juger pour un corps donné l'efficacité du sechoir.

En définitive l'efficacité d'un sechoir à convection naturelle est relative.

VII 2. Fourchette de température de séchage

La bonne conduite d'une opération de séchage requiert l'observation de deux valeurs de température.

a) Ebauche

La température d'ébauche est celle indiquée pour l'élimination de l'eau superficielle de la matière

b) Finition

La température de finition est celle indiquée pour l'élimination de l'eau profonde de la matière

c) Exemples

° Cas du Poisson

Tableau de valeur

Temp ^s Admissible	Temp ^s Ebauche	Temp ^s Finition
37°C - 60°C	50°C max	60°C max

° Cas de la mangue

Temp ^s Admissible	Temp ^s Ebauche	Temp ^s Finition
37°C - 65°C	50°C max	65°C max

VII 3. Test comparatif

La solution pratique pour déterminer la performance d'un sechoir est de la comparer à d'autres, par des tests comparatifs pour un produit et une période donnée. Nous avons déjà appliqué ce procédé qui fera l'objet d'un rapport.

VII 4. Conclusion

En convection naturelle la vitesse de l'air n'est modifiée que par les conditions naturelles. D'une manière générale cette vitesse peu variable n'excède guère 1m,5. C'est ce qui explique d'ailleurs l'écart important entre les performances

Il découle de cette constatation la difficulté de respecter graduellement les températures d'ébauche et de finition durant le séchage. Il est toutefois certain, dans la plupart des cas, de rester dans la fourchette de température admissible. Cela contribuera à conduire un bon séchage.

Appareillage utilisé

- Thermomètre digital "Comark"
- Thermomètre polyvalent
- Thermocouple Comark Nick/^{Cr}~~Al~~
- Thermocouple "iron constantan"
- chronomètre Beta
- Anémomètre
- DATA POINT