

PN - AAK - 939

ON-MICROFILM

XVIII-DD-34

6880217

028056

~~PAIEMENT~~

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL
ET DU TOURISME

DIRECTION NATIONALE DE L'HYDRAULIQUE
ET DE L'ENERGIE

LABORATOIRE DE L'ENERGIE SOLAIRE

REPUBLIQUE DU MALI

Un Peuple - Un But - Une Foi

// CONCEPTION, REALISATION ET TEST D'UN SYSTEME COMBINE
DE SECHOIR SOLAIRE A CIRCULATION NATURELLE //
*Conception, Construction & Testing of a Natural
Circulation Solar Dryer*

Par

Amadou	DOUMBIA
Cheickna	TRAORE
Modibo	DICKO
Cheick O.	TRAORE
Terence	HART

Bamako, Avril 1982

INTRODUCTION

La recherche du positionnement respectif des éléments constitutifs des séchoirs solaires indirects à convection naturelle, pour une bonne circulation de l'air, conduit généralement à la conception de séchoirs encombrants avec une faible capacité de charge. La présente étude se rapporte au test à vide d'un nouveau type de séchoir à convection naturelle conçu et réalisé au Laboratoire de l'Energie Solaire. Il présente l'avantage par rapport au système existant d'être plus compact et d'offrir un coefficient surface d'exposition/surface de capteur plus grand, et la possibilité d'une utilisation du même appareil en indirect ou en direct, permettant de sécher une gamme plus variée de produits.

II. DESCRIPTION - CARACTERISTIQUES

L'appareil (Fig.1) comporte un double vitrage avec un système amovible de blocage de l'air se trouvant entre les vitres. En fonctionnement indirect l'air ambiant est chauffé et canalisé vers la chambre de séchage par deux plaques de tôles noircies (absorbeurs). L'utilisation du séchoir en direct est obtenue en enlevant les deux plaques noires. Les supports de vitres ont été conçus de façon à faciliter leur pose et leur enlèvement afin de pouvoir procéder à l'essai d'autres matériaux transparents tels que le plexiglas ou la tôle silicone ou tôle plastique et le fonctionnement avec un seul vitrage.

Caractéristiques

Surface Vitrée : $1,12 \text{ m}^2$
Capacité de Charge :
 en direct : $1,05 \text{ m}^2$
 en Indirect : $5,28 \text{ m}^2$
Cheminée : Section $10 \times 10 \text{ Cm}$
 Surface vitrée : $0,11 \text{ m}^2$
 Hauteur : $1,5\text{m}$

TEST

Le programme de test comporte

- une phase de test à vide
- et une phase de test à charge

L'objectif des tests à vide est d'obtenir les gammes de températures susceptibles d'être atteintes avec les différents matériaux disponibles pour la couverture en fonctionnement direct ou indirect du séchoir. Une des conséquences de cette phase est l'utilisation optimum du séchoir en fonction des produits à sécher. D'autre part, les données de ces tests permettent de vérifier, expérimentalement les performances des éléments du séchoir

(cheminée solaire, influence de l'ouverture de l'entrée d'air sur les températures en direct et indirect etc.). Les relevés des tests peuvent aussi servir pour les différents calculs de séchoir : rendement, efficacité, gain de température etc.. Avant ou pendant la phase de test à charge et suivant les conclusions des tests à vide des modifications sont susceptibles d'avoir lieu sur le prototype dans le but d'améliorer les conditions de fonctionnement à charge.

II.1. Instrumentation du Séchoir:

Pour les tests à vide le séchoir a été équipé, comme indiqué sur le schéma de la Fig.2, de thermocouples COMARK $NiCr/NiAl$. La lecture des différentes températures étaient effectuée avec un thermomètre digital COMARK. Deux hygromètres type PARMER INST. Modèle 3310- étaient placés l'un dans le séchoir et l'autre à l'extérieur.

II.2. Resultats

II.2.a. Fonctionnement en Indirect (Tableau 1, Fig.3):

Le séchoir est exposé dans sa configuration de la Fig.1 au rayonnement solaire. Un système amovible bloque l'air chaud à la partie supérieure de l'espace entre les plaques, de façon à l'obliger à passer par le trou prévu à cet effet dans la plaque inférieure. Un mauvais fonctionnement de l'hygrographe placé dans la chambre de séchage n'a pas permis l'enregistrement de l'humidité de l'air intérieur. Deux séries de mesures ont été effectuées avec une ouverture de l'admission d'air de 2 Cm et une ouverture totale.

II.2.b Fonctionnement en Direct (Tableau 2, 3, 4 Fig. 4, 5, 6):

Les plaques noires enlevées, quatre séries de mesures ont été effectuées avec les ouvertures d'admission d'air respectivement de 1 Cm, 2 Cm, 3 Cm, 4 Cm.

II.3 Interprétation des Résultats

Les différents écarts de températures observés sont indiqués sur les Tableaux :

- ΔT_1 écart de températures vitre intérieure-vitre extérieure.
- ΔT_2 écart de températures entre plaques
- ΔT_3 Chute de températures à l'intérieur du séchoir (dû à l'absorption par les étagères et les paroi)
- ΔT_4 élévation de températures par rapport à l'air ambiant
- ΔT_5 élévation de températures de l'air dans la cheminée par rapport à l'air ambiant (indice de tirage de la cheminée.
- ΔT_6 chute de température dans la cheminée.

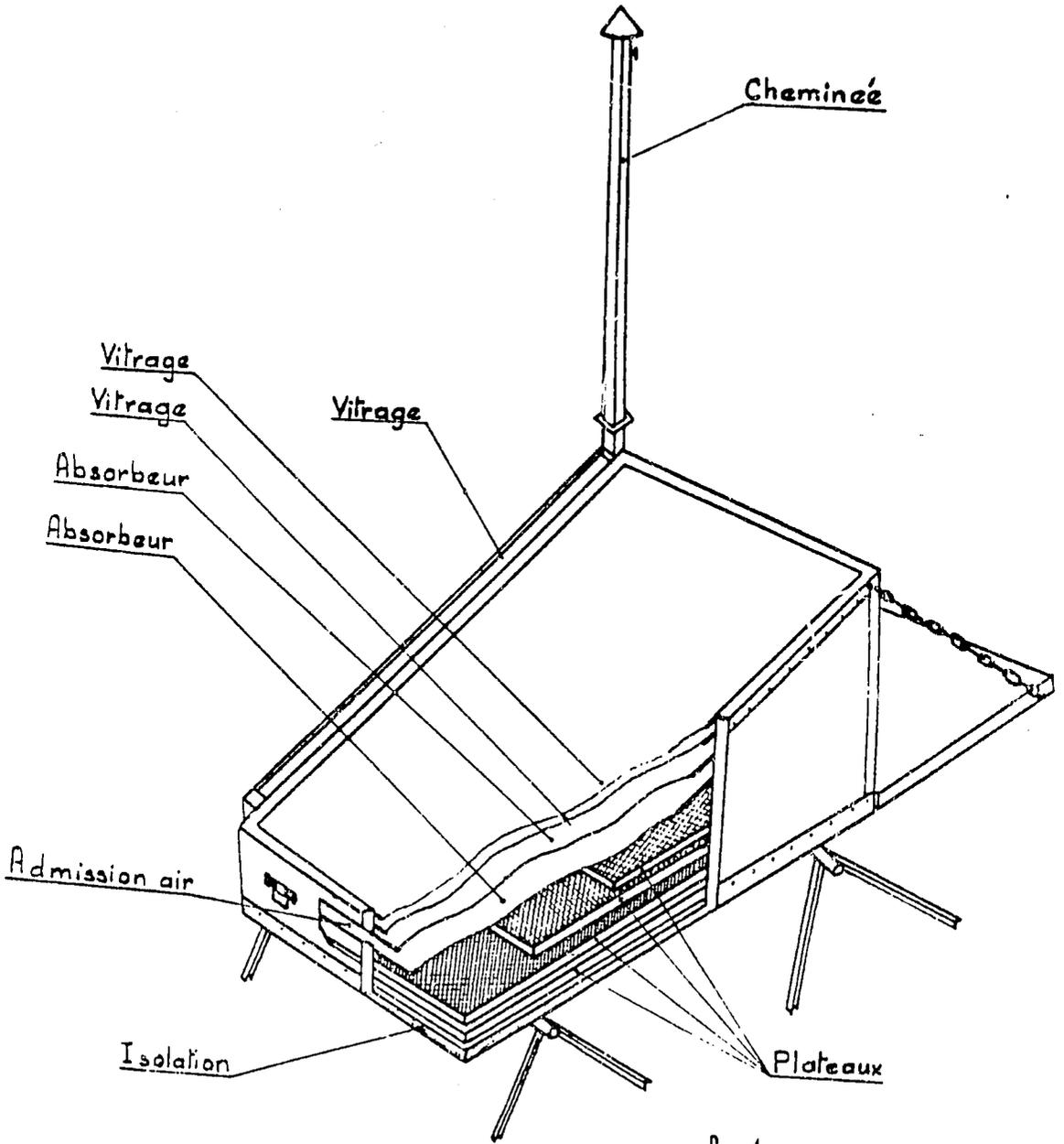


fig 1

Laboratoire d'Energie Solaire
SECHOIR COMBINE

II.3.a Estimation de la Vitesse de Thermosiphon

Il est important dans le processus du séchage solaire d'avoir la maîtrise de l'air passant sur ou à travers les produits à sécher, ou tout au moins de savoir les quantités d'air nécessaire.

La ventilation par la convection naturelle ou circulation par thermosiphon utilise le fait que l'air chaud a une densité inférieure à celle de l'air froid et a tendance à se placer au-dessus de l'air froid. Le courant d'air ainsi établi dépend de la différence de poids de l'air à l'entrée de la cheminée et à la sortie autrement dit de la hauteur de la cheminée et de la différence de densité P de l'air à ces deux niveaux.

Le courant peut ainsi être exprimé par

$$\Delta P = g \times h (\rho_f - \rho_a) \text{ N/m}^2 \quad g = 9,8 \text{ N/Kg}$$

Les densités dépendent de la température de l'air et légèrement aussi de la teneur en eau de l'air.

$$\rho = \rho_0 \frac{1}{1 + T/273} (1+X) \quad \text{où}$$

$$\rho_0 = 1,29 \text{ Kg/m}^3,$$

T température en °C et

X la teneur en eau

$$\Delta P = g \times h \times \rho_0 \left[\frac{1}{1 + T_f/273} (1+X_f) - \frac{1}{1 + T_a/273} (1+X_a) \right] \text{ N/m}^2$$

Dans notre cas la hauteur de la partie verticale de la cheminée $h = 1,5 \text{ m}$

$$\Delta P = 18,96 \left[\frac{1}{1 + T_f/273} (1+X_f) - \frac{1}{1 + T_a/273} (1+X_a) \right] \text{ N/m}^2$$

$\frac{\delta v^2}{2} + P = \text{Const.}$ (formule de Bernouilli) où δ est la masse spécifique du fluide

$\delta = \frac{\Delta}{g}$ où Δ = poids spécifique de l'air

$$\frac{\Delta_0 v_0^2}{2g} + P = \frac{\Delta_1 v_1^2}{2g} + P_1$$

En supposant la vitesse de l'air au bas de la partie verticale de la cheminée nulle, $V_0 = 0$, on aura $V_1^2 = \frac{2g}{\Delta l} (P_1 - P_0)$ $P_1 - P_0 = \Delta P$ (en Kg/m^2)

$$V_1 = \sqrt{2g \Delta P / \Delta l}$$

Pour la valeur de $\Delta l = 1,293 \text{ Kg/m}^2$

Les valeurs de ΔP et V calculées avec les valeurs minimales et maximales de T_3 sont indiquées dans le Tableau suivant :

Mode de Fonctionnement	T_8 Minim.	T_a	P Kg/m^2	V Mini. m/s	T_8 Maxi	T_a	P Kg/m^2	V Maxi m/s
Indirect	43	-	-	-	65	-	-	-
Direct Ouverture admiss. 1 Cm	43	35,5	0,04	0,78	71	34,5	0,15	1,51
Direct Ouverture admiss. 3 Cm	42	34,5	0	0	66	39,5	0,12	1,35
Direct Ouverture admiss. 4 Cm	39	34,5	0,01	0,39	69	35	0,10	0,39

III. DEVIS MATIERE DU PROTOTYPE

La recherche des performances optimum ont fait relayé au second plan les considérations économiques. Un modèle du séchoir a été réalisé avec du bois d'emballage à Diré en 1936. La conception du présent modèle avec d'autres matériaux locaux (nattes, bambou etc.) ne semble pas poser de problèmes à priori. Il reste à savoir la résistance de ces matériaux dans le temps et leur influence sur les performances du séchoir.

COUT DES MATERIAUX

DESIGNATION	PRIX UNITAIRE	NBRE '	MONTANT
Peinture Noire	1.700	2 boites	3.400
Peinture Verte Synthetique	5.000	1 boîte	5.000
Papier Sable	300	8 feuilles	2.400
Grillage Fin (largeur 1m)	2.250	8 m	18.000
Boulons 8 X 50	200	2	400
Chaîne	1.500	2 m	3.000
Fermeture Capot d'Automobile	2.190	4	8.760
Rivet	25	50	1.250
Poignet Rabattable	400	4	1.600
Plaque de Polytirème (61 X 2450 Cm)	1.800	3	5.400
Baguette Brasure	1.500	5	7.500
Baguette Etain	1.250	1	1.250
Mastic	1.200	1 tube	1.200
Colle Epoxy	2.400	4 boîtes	9.600
Isolant Tuyaux Caoutchouc Expansé(1=1,5 m	3.000	3	9.000
Tôle Galvanisée (1m x 2m) 8/10	5.000	10	50.000
Vis	75	4	300
Vitre (1m x0,5)	2.500	7	17.500
Tuyau 15/21 (1=4 Cm, Récupération)	7.875	2	
T O T A L			145.560

IV. CONCLUSION

Les températures observées pendant les différents modes de fonctionnement sont supérieures à celles observées sur les séchoirs correspondants. De plus on constate une différence de températures de l'air à l'intérieur du séchoir et de l'air ambiant T_5 élevée en fin de journée (plus de 10°C) que dans les autres séchoirs. Cela est dû certainement à la capacité thermique de l'intérieur du séchoir.

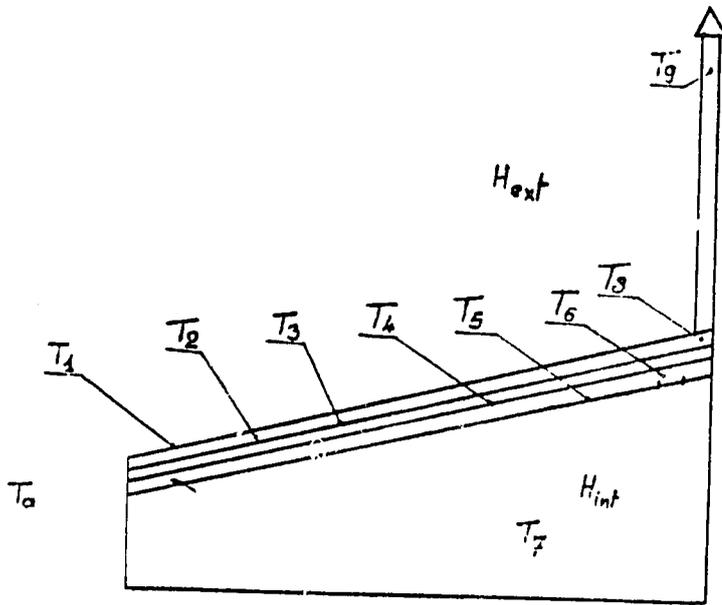
En fonctionnement direct la température intérieure T_7 est plus élevée qu'en fonctionnement indirect. Par contre elle est plus stable en indirect qu'en direct à cause de la capacité thermique plus élevée. Si l'inexistence de matériel approprié n'a pas permis les mesures de vitesse de thermosiphon, l'estimation ci-dessus permet d'avoir un ordre de grandeur (0 à 1,51 m/s). Pour les températures observées les conditions de ventilation sont mauvaises, par conséquent, le séchage des produits est relativement plus long avec les risques suivants :

- caramélisation (combustion du sucre des produits) pour les produits sucrés (mangues, bananes, etc.)
- cuisson des produits à forte teneur en eau (tomate, papaye, etc.)
- putréfaction entre les cycles de séchage.

Pour obtenir une bonne vitesse de circulation de l'air on peut :

- calculer et concevoir une cheminée solaire permettant d'obtenir des débits d'air importants sur les produits.
- incorporer à la cheminée un système de circulation forcée fonctionnant sur photopile ce qui permettra une autorégulation du paramètre vitesse/température intérieure au séchoir.

Les constatations et affirmations ci-dessus déduites des premiers tests de toute une série ne peuvent être que partielles. L'insuffisance numérique des tests nous exige aussi une certaine réserve dans nos conclusions.



- Fig 2
- T_1 température de la vitre extérieure °C
 - T_2 " " intérieure °C
 - T_3 " " entre les vitres °C
 - T_4 " " de l'absorbeur °C
 - T_5 " " de la plaque arrière °C
 - T_6 " " de l'air à l'admission de la Chambre °C
 - T_7 " " de la chambre de séchage °C
 - T_8 " " de l'air à l'entrée de la cheminée °C
 - T_9 " " de l'air à la sortie °C
 - T_a " " ambiante °C
 - H_{int} Hygrométrie dans la chambre
 - H_{ext} " " à l'extérieur

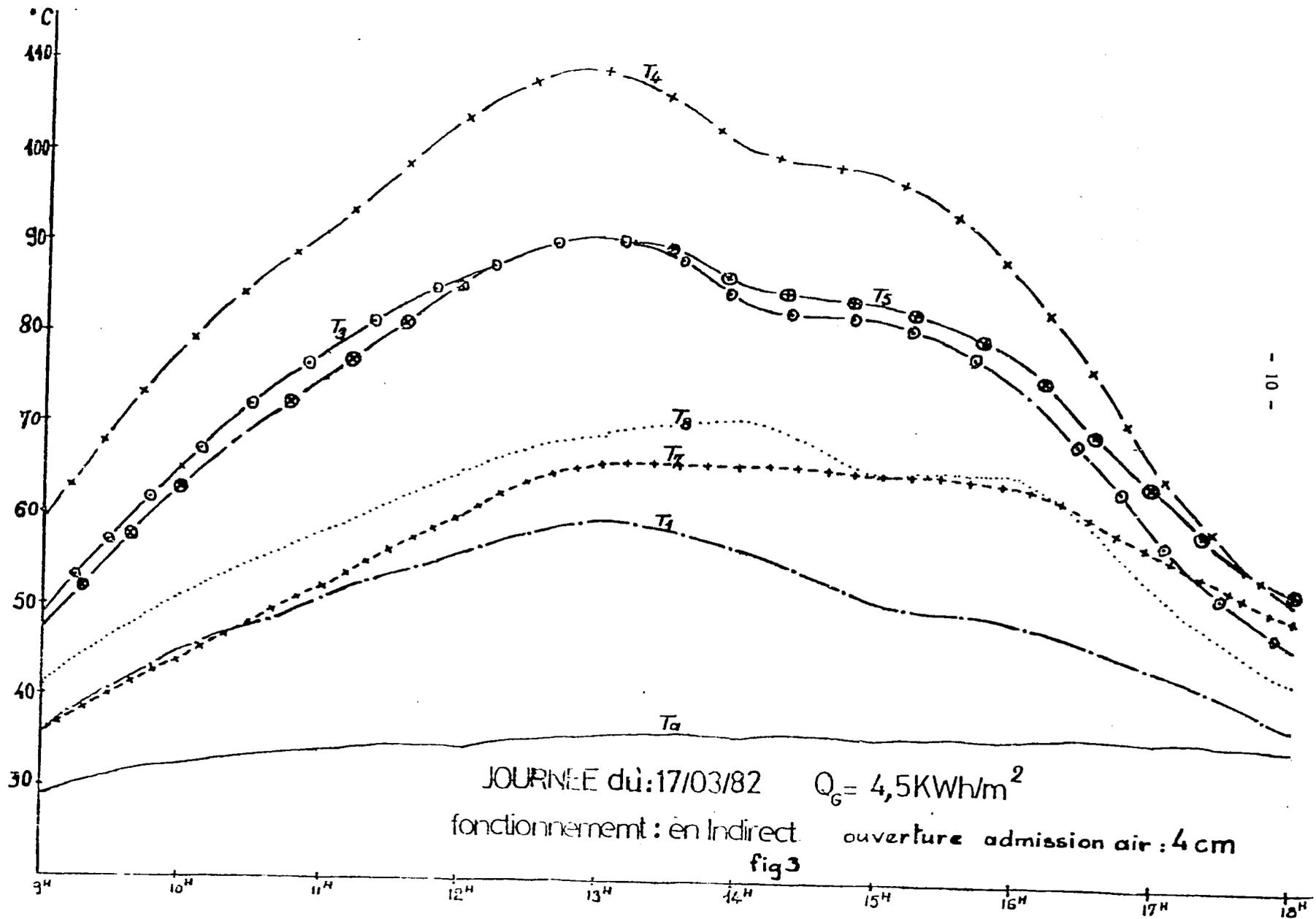
SECHOIR COMBINE

Schema et nomenclature de l'instrumentation
du test à vide

Secchoir Combiné
 Essai à vide (Volet entrée ouvert)
 Fonctionnement Indirect

Journée du 17/03/1982
 $Q_0 = 5 \text{ Kh/m}^2$
 $P =$

Heures Relevées	T ₃	T _I	ΔT_1	T ₄	T ₅	ΔT_2	T ₆	T ₇	ΔT_3	T ₇	T _a	ΔT_4	T _B	T _a	ΔT_5	T _B	T ₉	ΔT_6	H _{ax}	H _{int}
9H 05	49	36	13	59	47	16	52	36	20	36	29	7	38	29	9	38	39	-1		
10H	65	45	20	78	63	15	69	44	25	44	32,5	11,5	46	32,5	13,5	46	46	0		
11 H	77	51	26	92	75	17	80	52	28	52	34	18	53	34	19	53	51	2		
12 H	86	56	30	104	86	18	92	160	32	60	34,5	25,5	56	34,5	25,5	56	58	-2		
13 H 00	92	60	32	109	91	18	102	166	36	66	36	30	65	36	29	65	60	5		
14 H	84	57	27	102	86	16	187	166	21	66	36	30	65	36	29	65	60	5		
15 H	82	56	26	98	84	14	184	165	19	65	36	29	64	36	29	64	61	3		
16 H	75	54	21	187	78	9	179	165	15	64	36	28	61	36	29	61	58	3		
17 H	59	44	15	66	64	2	64	57	7	57	36	21	51	36	15	51	49	2		
18 H	47	38	9	52	53	-1	53	150	3	50	135,5	14,5	43	135,5	17,5	43	41	1		



Sechoir Combiné

Journée du 18/03/82

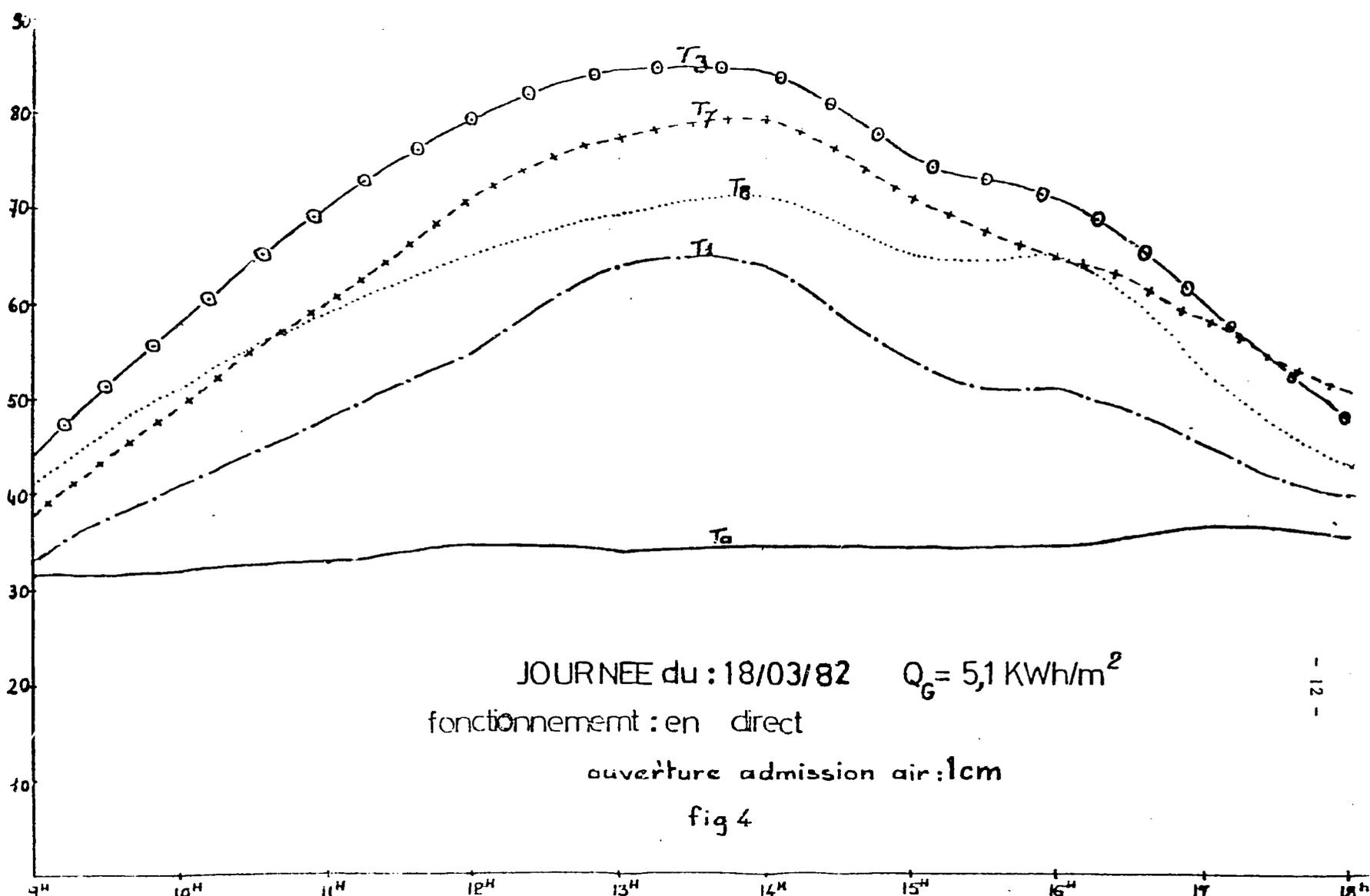
Essai à vide

$Q_G = 4,5 \text{ kWh/m}^2$

Fonctionnement en Direct (1 cm)

Heures	T_3	T_I	ΔT_{II}	T_{4I}	T_{5I}	ΔT_{2I}	T_{6I}	T_7	ΔT_{3I}	T_7	T_a	ΔT_{4I}	T_{8I}	T_a	ΔT_{5I}	T_{8I}	T_9	ΔT_{6I}	Haut	Int	ΔH
9 H	44	33	11							38	31,5	6,5	41	31,5	9,5	41	41	0	30	24	6
10 H	58	41	17							48	32	16	52	32	20	52	50	2	29	20	9
11 H	70	48	22							60	33	27	58	33	25	58	55	3	27	19	8
12 H	79	55	24							71	34,5	36,5	65	34,5	30,5	65	59	6	25	17	8
13 H	84	59	25							77	34	43	69	34	35	69	63	5	24	15,5	8,5
14 H	84	59	25							79	34,5	44,5	71	34,5	36,5	71	63	8	22	15	7
15 H	75	54	21							71	34,5	36,5	65	34,5	30,5	65	61	4	22	17	5
16 H	71	52	19							65	34,5	30,5	65	34,5	30,5	65	61	4	21,5	18	3,5
17 H	60	45	15							59	36,5	22,5	53	36,5	16,5	53	51	2	21,5	19	2,5
18 H	48	40	8							51	35,5	15,5	43	35,5	7,5	43	42	1	22,5	19,5	3

Tableau 2



JOURNEE du : 18/03/82 $Q_G = 5,1 \text{ KWh/m}^2$
fonctionnement : en direct
ouverture admission air : 1cm
fig 4

Sechoir Combiné

Journée du 20/03/82

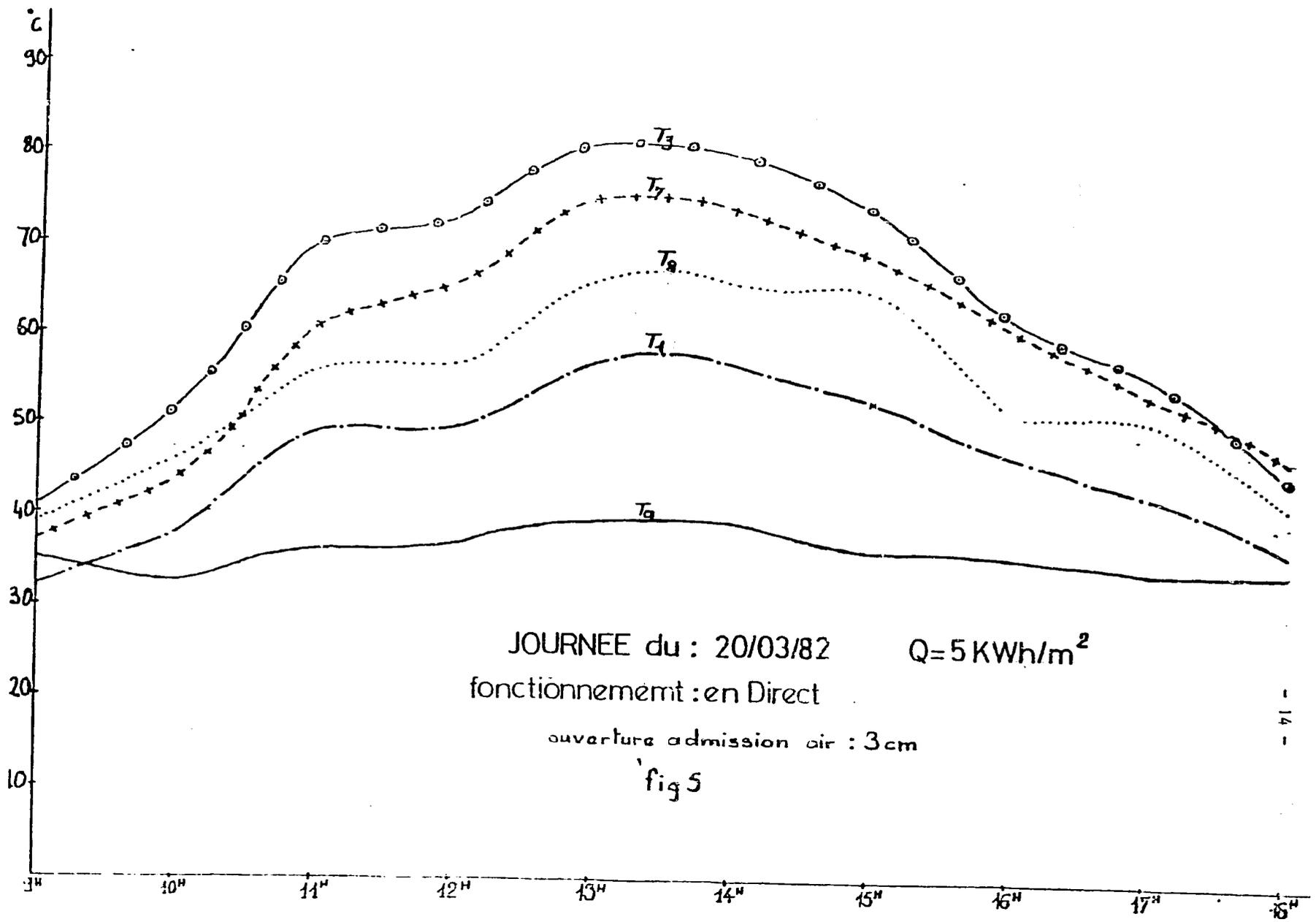
Essai à vide

Fonctionnement en Direct

Ouverture admission (3 Cm)

mes vées	T ₃	T _I	Δ T _I	T ₄	T ₅	Δ T ₂	T ₆	T ₇	Δ T ₃	T ₇	T _a	Δ T ₄	T ₈	T _a	Δ T ₅	T ₈	T ₉	Δ T ₆	H _{ex}	H _{in}	H
41	32	9								37	30,5	2,5	39	30,5	8,5	39	39	0	23,5	23	0,5
52	38	14								44	32,5	11,5	46	32,5	13,5	46	45	1	21	22,5	1,5
70	49	21								61	36,5	24,5	56	36,5	19,5	56	52	4	34	21,5	12,5
73	50	123								66	37	129	57	37	20	57	54	3	34	121	113
81	57	24								75	39,5	35,5	66	39,5	26,5	66	59	7	32	18,5	13,5
80	57	23								74	39,5	34,5	66	39,5	26,5	66	61	5	28	18,5	10,5
74	53	121								69	36,5	132,5	65	36,6	28,5	65	60	5	27	19,5	17,5
63	47	16								62	36	26	52	36	16	52	48	4	28,5	21	7,5
56	43	13								54	34,5	9,5	51	34,5	16,5	51	50	1	28	22,5	6,5
45	37	8								47	34,5	112,5	42	34,5	7,5	42	39	3	130	125	15

Tableau 3



Sechoir Combiné

Journales du 22/03/82

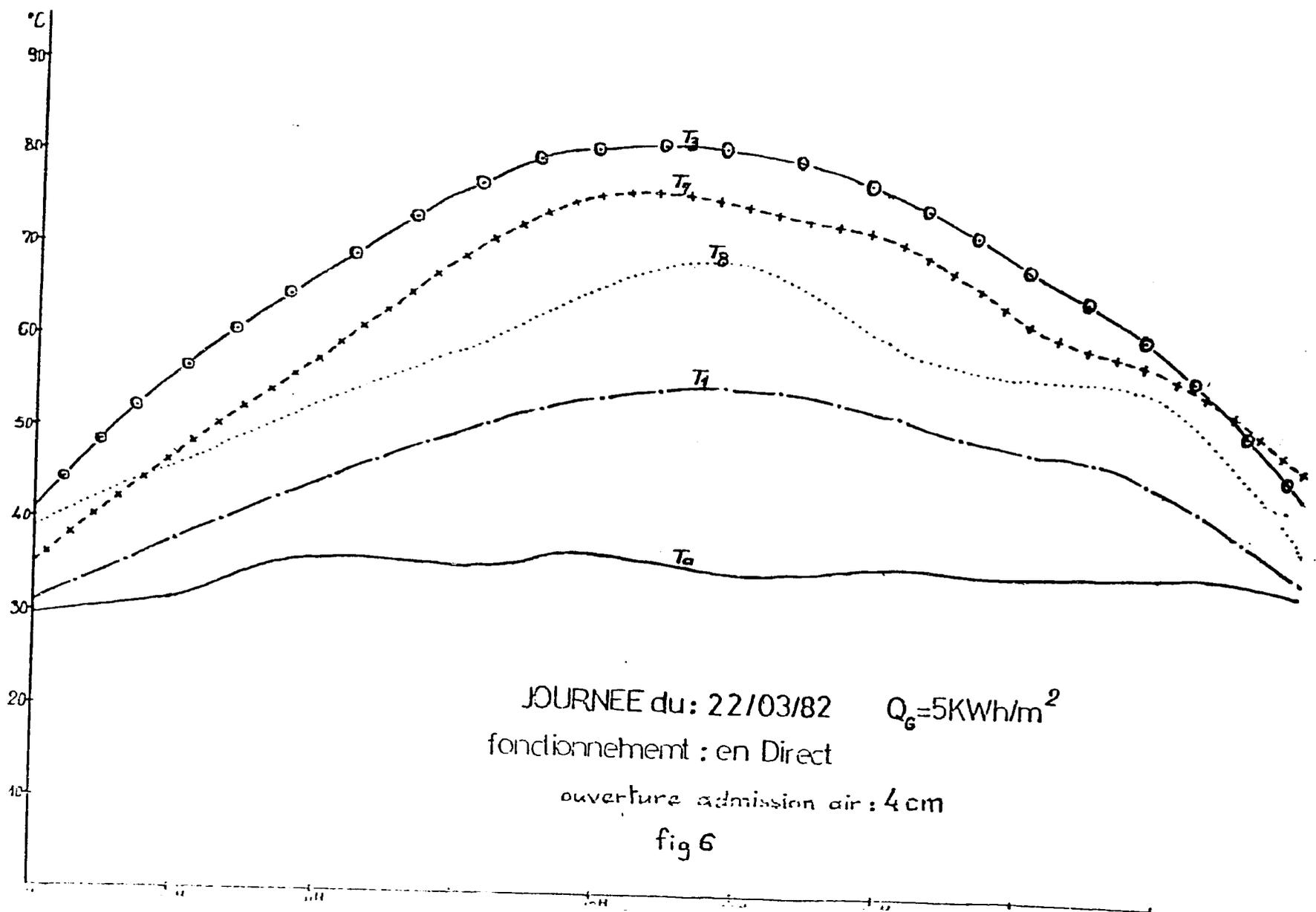
Essai à vide

QG = 4

Fonctionnement en Direct (4 cm)

Heures Relevé.	T ₃	T _I	ΔT_I	T ₃	T ₅	ΔT_2	T ₆	T ₇	ΔT_3	T ₇	T _a	ΔT_4	T ₈	T _a	ΔT_5	T ₈	T ₉	ΔT_6	R _{ex}	R _{in}	ΔH
9 H	41	31	10						35	129,5	5,5	39	129,5	19,5	39	39	0	145	43	2	
10 H	56	38	18						47	31,5	15,5	46	31,5	14,5	46	45	1	30	27	3	
11 H	67	44	23						58	136	122	53	136	117	53	51	2	127,5	22	5,5	
12 H	76	50	26						69	35,5	33,5	59	35,5	23,5	59	54	5	26,5	20	6,5	
13 H	81	54	27						76	137	139	66	137	129	66	58	8	123,5	24,5	1	
14 H	81	55	26						75	135	140	69	135	134	69	63	6	123	123,5	-0,5	
15 H	77	53	24						72	136	136	61	136	125	61	59	2	122	119	3	
16 H	69	49	20						63	135,5	127,5	57	135,5	121,5	57	55	2	121	120	1	
17 H	60	45	15						58	136	122	55	136	119	55	52	3	120,5	121	-1	
18 H	45	36	9						148	134,5	113,5	39	134,5	14,5	39	38	1	122	121,5	1	

Tableau 4



JOURNEE du: 22/03/82 $Q_G=5\text{KWh/m}^2$

fonctionnement : en Direct

ouverture admission air : 4 cm

fig 6

BIBLIOGRAPHIE

1. Devices for food drying - State of Technology report on Intermediate Solutions for Rural Applications

GATE (German Appropriate Technology Exchange)

2. Les Séchoirs Solaires à convection Naturelle

Cheick Oumar TRAORE

Laboratoire de l'Energie Solaire 1982

3. Formulaire Technique de Mécanique Générale

Jacques MULLER

ANNEXE

Calcul de la vitesse de l'air dans la cheminée

$$\Delta p = g \cdot h \left[\rho_0 \frac{1}{1 + \frac{T_f}{273}} (1 + X_f) - \frac{1}{1 + \frac{T_a}{273}} (1 + X_a) \right] \text{ N/m}^2$$

$$g = 9,8 \text{ N/kg} \quad h = 1,5 \text{ m} \quad \rho_0 = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p = 9,8 \times 1,5 \times 1,29 \left[\frac{1}{1 + \frac{T_f}{273}} (1 + X_f) - \frac{1}{1 + \frac{T_a}{273}} (1 + X_a) \right] \text{ N/m}^2$$

Connaissant T et H les valeurs de X sont obtenues à partir du diagramme hx

Mode de fonctionnement	T _f min.	H	X _f min	T _a	H	X _a	T _f /273	T _a /273
INDIRECT	43							
DIRECTION	43	19,5	10,7g/kg	35,5	22,5	8,1g/kg	0,16	0,13
1 cm	43		0,010			0,008		
2 cm	42	25	13g/kg	34,5	30	10,3g/kg	0,15	0,13
			0,013			0,010		
3 cm	39	21,5	10g/kg	34,5	22	7,5g/kg	0,14	0,13
			0,010			0,007		

Mode de fonctionnement	T8 min	H	Xf ma	Ta	H	Za	Tf/273	Ta/273
INDIRECT	65							
DIRECT	71	15	31,7g/kg 0,031	34,5	22	7,5g/kg 0,007	0,26	0,13
1 cm								
2 cm	66	18,5	31,7g/kg 0,031	39,5	32	15g/kg 0,015	0,24	0,14
3 cm	69	23,5	45,8g/kg 0,045	35	23	8,3g/kg 0,008	0,25	0,13

$$\Delta P = 18,96 \left[\frac{1}{1 + \frac{Tf}{273}} (1 + Xf) - \frac{1}{1 + \frac{Ta}{273}} (1 + Za) \right] \text{ N/m}^2$$

T8 min	$1 + \frac{Tf}{273}$	(1)	$\frac{1}{1 + \frac{Tf}{273}}$	$1 + Xf$	(2)	(1) X (2) = A	$1 + \frac{Ta}{273}$	$\frac{1}{1 + \frac{Ta}{273}}$	(3)	$1 + Za$	(4)	(3) X (4) = B	A - B	18,96 (A - B) = ΔP
43	1,16	0,86	1,01	0,87	1,13	0,88	1,008	0,89	0,02	0,38				
42	1,15	0,87	1,013	0,881	1,13	0,88	1,010	0,89	0,01	0,19				
39	1,14	0,88	1,010	0,889	1,13	0,88	1,007	0,886	0,003	0,06				

$$V_1 = \sqrt{2g \Delta P / \Delta_1}$$

$$\Delta_1 = 1,293 \text{ kg/m}^2$$

$$g = 9,8 \text{ N/kg}$$

$$1 \text{ kg/m}^2 = 9,81 \text{ N/m}^2$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \times \Delta P}{1,293}}$$

$$= \sqrt{15,2 \Delta P}$$

Mode de fonctionnement	T8 min.	ΔP kg/m ²	V m/s	T8 max	ΔP kg/m ²	V m/s
INDIRECT	43			65		
DIRECT 1 cm	43	0,04	0,78	71	0,15	1,51
DIRECT 3 cm	42	0,02	0,55	66	0,12	1,35
DIRECT 4 cm	39	0,01	0,39	69	0,10	0,39