



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

19151

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES  
SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES  
( C.E.R.E.R. )

BP : 476 TEL : 32-14-14 / 32-57-08  
D A K A R

Dakar le 19 novembre 1990

**ETUDE D'UN SECHOIR SOLAIRE MIXTE  
RAPPORT DEFINITIF**

REFERENCE : PROJET TF / GLO / 89 / 015

INTEGRATION DE LA FEMME AU DEVELOPPEMENT AGRO-INDUSTRIEL :  
SECHAGE SOLAIRE DES FRUITS ET LEGUMES.

**I RESUME DE LA MISSION DU C.E.R.E.R.**

- Compiler et étudier les données météorologiques dans les sites choisis pour l'implantation des centres de séchage
- Calculer des séchoirs appropriés permettant de traiter des quantités déterminées de fruits et légumes
- Construire et implanter une unité pilote de type semi-industriel dans le terrain de l'I.T.A. Ce séchoir sera équipé d'appareils de mesures et permettra à l'I.T.A. de procéder aux essais
- Procéder à l'implantation d'unités de séchage opérationnelles dans les sites de production sélectionnés
- Former des artisans locaux à la technique d'entretien et de maintenance des séchoirs solaires
- Former les groupements de femmes productrices à la technique d'utilisation des séchoirs installés dans leur localité

**II DONNEES METEOROLOGIQUES**

Les tableaux 1 à 8 représentent les données météorologiques intéressant le séchage solaire dans les sites retenus.

Ces tableaux représentent successivement:

- les moyennes annuelles des ensoleillements et vitesses du vent

- les moyennes mensuelles des températures et des humidités relatives ( maxima et minima ) de l'air, relevées en 1989, sur les stations météorologiques les plus proches des sites étudiés.

Sur tous les sites qui sont retenus, les valeurs moyennes annuelles de l'éclairement énergétique sont supérieures à 1800 Kwh/m<sup>2</sup>/an ce qui correspond à près de 5 Kwh/m<sup>2</sup>/jour de rayonnement global.

Il apparaît que les valeurs moyennes mensuelles de la température ambiante sont comprises entre 23.5 °C et 33.5 °C ce qui a permis de faire un dimensionnement des séchoirs pour une température d'entrée de l'air dans les capteurs de 25 °C.

Par ailleurs, ces tableaux de mesure de l'humidité de l'air montrent que les minima se situent dans des plages de:

- \* 16,9 à 65,2 % pour Diourbel
- \* 19,9 à 66,6 % pour Kaolack et Fatick
- \* 12,0 à 58,0 % pour Louga
- \* 13,1 à 46,4 % pour Podor
- \* 9,1 à 65,7 % pour Tambacounda
- \* 23,8 à 66,7 % pour Thiés
- \* 24,7 à 68,7 % pour Saint-Louis

Ainsi, selon le produit à traiter, il suffira de se référer à la courbe de sorption-désorption caractéristique pour déterminer avec précision jusqu'à quel point on peut baisser l'humidité relative de ce produit en le séchant avec de l'air dans les conditions du site considéré. On peut cependant noter que pour les fruits et légumes courants, il est possible de sécher jusqu'à une teneur en eau inférieure à 15% (base humide) quand l'humidité relative de l'air ambiant ne dépasse pas 50%.

### III DIMENSIONNEMENT DU SECHOIR

Le séchoir solaire retenu est de type classique, il est constitué d'un capteur à air et d'une armoire de séchage. Sa seule particularité repose sur son dimensionnement et sur la nature des matériaux utilisés. Les différents schémas décrivant le séchoir sont joints en annexe.

Le dimensionnement du séchoir à fruits et légumes a été réalisé par le département séchage du C.E.R.E.R.. De nombreuses et fructueuses discussions avec le Conseiller Technique Principal du projet (CTP) ont permis des choix et définitions des caractéristiques du séchoir-pilote qui est actuellement construit à l'I.T.A.

Equipe : deux physiciens et un ingénieur en génie mécanique

Matériel informatique :

- un ordinateur HP 9816 pour les calculs thermiques
- un ordinateur IBM PC avec disque dur ayant une capacité de mémoire de 640 K , pour le traitement de texte

Le dimensionnement , qui concerne essentiellement la surface de captation et le volume de la cabine de séchage, nécessite la connaissance d'un grand nombre de paramètres: données météorologiques, latitude du lieu, caractéristiques opto-thermiques des matériaux utilisés, etc...

### III-1 SURFACE DE CAPTATION

Considérons une masse initiale  $M_i$  de produit à sécher jusqu'à ce qu'elle soit réduite à une masse finale  $M_f$ . Ce produit contenant initialement une masse d'eau  $M_{e_i}$ , soit  $H_i$  son humidité initiale. Il sera traité jusqu'à ce qu'il ait une humidité finale de  $H_f$  correspondant à une masse d'eau finale de  $M_{e_f}$ . Il subira une variation d'humidité de  $(H_i - H_f)$ . Le produit aura alors perdu une masse d'eau  $D_{M_e}$  équivalant à :

$$M_i \times H_i - M_f \times H_f$$

$$D_{M_e} = M_i \times ( M_i - M_s ) / M_i - M_f \times ( M_f - M_s ) / M_f$$

On désigne par  $M_s$  la masse sèche de la quantité  $M_i$  de produit.

$$D_{M_e} = M_i \times ( 1 - M_s / M_i ) - M_f \times ( 1 - M_s / M_f )$$

$$\begin{aligned} H_i &= ( M_i - M_s ) / M_i \Rightarrow H_i = 1 - M_s / M_i \\ &\Rightarrow M_s = ( 1 - H_i ) \times M_i \\ &= ( 1 - H_f ) \times M_f \\ &\Rightarrow M_f = M_s / ( 1 - H_f ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{M_e} &= M_i \times H_i - M_s \times H_f / ( 1 - H_f ) \\ &= M_i \times H_i - ( 1 - H_i ) \times M_i \times H_f / ( 1 - H_f ) \\ &= M_i \times ( H_i - H_f ) / ( 1 - H_f ) \end{aligned}$$

Soit  $DT$  l'élévation de température subie par l'air émanant du capteur à air.

La chaleur latente de vaporisation de l'eau est une fonction de la température et s'écrit :

$$L = 4186.8 ( 597 - 0.56 T ) \text{ avec } T \text{ en } ^\circ\text{C}$$

avec  $T = T_E + DT$

$T_E$  étant la température d'entrée de l'air dans le capteur

L'éclairement énergétique solaire sur le site considéré étant  $E$  exprimé en Kwh par  $m^2$  et par jour, l'énergie utile  $E_{\text{utile}}$  pour sécher le produit de son humidité initiale  $H_i$  à son humidité finale  $H_f$  est :

$$E_{\text{utile}} = r \times E \times S$$

$S$  étant la surface de capteur

$r$  étant le rendement de la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique contribuant à l'évaporation de la masse  $DMe$  d'eau

$$E_{\text{utile}} = DMe \times L$$

D'où l'expression de la surface de captation :

$$\begin{aligned} S &= M_i \times L \times (H_i - H_f) / ((1-H_f) / r / E) \\ &= 0.0012 \times ( 597 - 0.56 \times T ) \times M_i \times (H_i - H_f) / ((1-H_f) / r / E) \end{aligned}$$

$E$  est exprimée en Kwh /  $m^2$  / jour

$M_i$  est exprimée en kg

#### APPLICATIONS NUMERIQUES

a: Cas de la mangue -

$$H_i = 74.27 \%$$

$$H_f = 6.98 \%$$

$$S = 32.5 \text{ m}^2 \text{ à } 100 \% \text{ Energie solaire pour } 100 \text{ Kg de mangue}$$

b: Cas de la papaye -

$$H_i = 85.84 \%$$

$$H_f = 6.64 \%$$

$$S = 38.1 \text{ m}^2 \text{ à } 100 \% \text{ Energie solaire pour } 100 \text{ Kg de papaye}$$

c: Cas de la noix de coco -

$$H_i = 46.53 \%$$

$$H_f = 1.41 \%$$

$$S = 20.6 \text{ m}^2 \text{ à } 100 \% \text{ Energie solaire} \\ \text{pour } 100 \text{ Kg de noix de coco}$$

d: Cas de l'oignon -

$$H_i = 91.63 \%$$

$$H_f = 15.34 \%$$

$$S = 40.5 \text{ m}^2 \text{ à } 100 \% \text{ Energie solaire pour } 100 \text{ Kg d'oignon}$$

e: Cas de la tomate -

$$H_i = 94.77 \%$$

$$H_f = 5.51 \%$$

$$S = 42.5 \text{ m}^2 \text{ à } 100 \% \text{ Energie solaire pour } 100 \text{ Kg de tomate}$$

### III-2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Nous avons choisi de fonctionner avec un pré-séchage la nuit, par ventilation forcée, la quantité d'eau restante étant évaporée par énergie solaire pendant le jour dans les proportions suivantes :

- 30 % d'eau éliminée pendant la nuit
- 70 % d'eau évaporée par énergie solaire

### III-2 AUTRES CARACTERISTIQUES

Le séchoir retenu est de type modulaire; ainsi, selon la quantité de produit que l'on se propose de traiter il suffira de procéder à une extension de la taille de l'ensemble par multiplication du nombre de modules.

#### III-2-1 HYPOTHESES

En choisissant une vitesse raisonnable de l'air égale à 0,2 m/s au niveau des claies de séchage, dans les conditions météorologiques citées au chapitre II, nous pouvons estimer à 30% environ la réduction de la teneur en eau du produit due à la ventilation nocturne pendant 10 heures.

Le choix de l'inclinaison des capteurs à air de 10° tient compte de la latitude du site d'implantation ainsi que des conditions pratiques et économiques de réalisation du système. Aussi, les capteurs solaires auront une pente de 17,36%.

### III-2-2 SPECIFICATIONS PHYSIQUES

- surface de captation 70% e.s. pour un module	:	5.6	m <sup>2</sup>
- largeur d'un compartiment	:	.7	m
- débordement de la toiture	:	.15	m
- section d'une claie de séchage .7*.7	:	.49	m <sup>2</sup>
- hauteur maximum des capteurs	:	1.39	m
- longueur de l'ombre du séchoir au-dessus des capteurs	:	.5	m

### III-2-3 CAPACITES DU SECHOIR

A partir d'un module la quantité de matière séchée sera fonction de la nature du produit considéré. L'humidité du produit à sécher diffuse de manière très différente selon les cas; les extrapolations ci-dessous sont relativement précises pour la mangue ainsi que la papaye qui présente une consistance analogue, mais présentent quelques écarts pour l'oignon et la tomate mais surtout pour la noix de coco.

Résultats attendus:

- a: Quantité de mangue -  
S = 5.6 m<sup>2</sup> à 70 % Energie solaire pour 25 Kg de mangue
- b: Cas de la papaye -  
S = 5.6 m<sup>2</sup> à 70 % Energie solaire pour 21 Kg de papaye
- c: Cas de l'oignon -  
S = 5.6 m<sup>2</sup> à 70 % Energie solaire pour 20 Kg d'oignon
- d: Cas de la tomate -  
S = 5.6 m<sup>2</sup> à 70 % Energie solaire pour 19 Kg de tomate

### IV ENERGIE D'APPOINT

Un générateur photovoltaïque est utilisée pour le fonctionnement du ventilateur. L'énergie est stockée dans un accumulateur dimensionné pour assurer, la nuit, une ventilation forcée pendant dix (10) heures.

#### IV-1 GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE

Un panneau P.V. de 50 WC de rendement 12% produisant environ 212 wh/jour, 3 panneaux seraient requis pour couvrir le besoin de ventilation nocturne.

#### IV-2 VENTILATEUR

- débit du ventilateur : 352.0 m<sup>3</sup>/h
- ampérage du ventilateur : 4.9 A

#### IV-3 BATTERIES D'ACCUMULATEURS

- capacité minimale des batteries d'accumulateurs : 61.25 Ah

#### V COUT DU SECHOIR-PILOTE

Les différents éléments permettant de déterminer les coûts réels du séchoir-pilote ( facture et devis ) sont disponibles auprès du CTP.

#### VI MATERIAUX ( Voir tableau 9 )

Les choix que nous avons faits ont été dictés par la recherche de la qualité du produit final et la disponibilité plus ou moins grande de certains matériaux par rapport à d'autres. Ces choix qui ne sont pas définitifs, restent sujets à discussions parce qu'ayant une grande influence sur le coût du système.

#### MATERIAUX PRECONISES

Absorbeur	: tôle métallique peinte en noir mat
Couverture	: verre de 4 mm d'épaisseur
Isolant	: laine de verre
Claies	: matière synthétique lavable
Cadre des claies	: profilés d'aluminium



# **ANNEXES**

**1 TABLEAUX**

**2 FEUILLE DE MESURES**

**3 SCHEMAS**

**Tableau 1**

NOM DU SITE	VITESSE MOYENNE ANNUELLE DU VENT m / s	ECLAIREMENT SOLAIRE ANNUEL Kwh / m <sup>2</sup>
Bamba Thialène	2,15	1800 - 2000
Diamwély	2,79	1800 - 2000
Néma Nding	2,79	1800 - 2000
Bok Khol	1,56	1800 - 2000
Lompoul	----	1800 - 2000
Ross-Béthio	4,55	2000 - 2200
Gamadji Sarré	2,61	2000 - 2200
Notto Gouy Diam	----	2000 - 2200

**Tableau 2**

DIOURBEL		Bok Khol 1										
MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMPERATURE	25,0	26,8	28,0	28,7	30,4	30,4	28,4	27,7	29,2	29,6	28,0	25,7
HUMIDITE MAXI/MINI	52,2 18,7	63,9 19,1	71,9 16,9	74,7 24,0	80,8 20,2	90,1 38,3	96,9 57,1	99,8 65,2	99,9 58,5	97,6 44,4	83,4 30,7	76,5 25,1

**Tableau 3**

KAOLACK		Diamwély et Néma Nding										
MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMPERATURE	26,1	28,3	29,5	30,8	31,5	30,1	29,0	28,2	29,2	29,8	28,8	26,9
HUMIDITE MAXI/MINI	49,3 19,9	57,6 24,6	69,5 23,3	67,6 22,6	75,9 22,9	89,3 44,9	95,3 59,7	96,3 66,6	94,9 59,9	92,1 48,1	78,9 33,1	71,1 27,1

**Tableau 4**

LOUGA		Lompoul										
MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMPERATURE	24,6	26,4	27,1	27,7	29,7	30,1	28,9	28,2	29,5	30,2	27,9	26,1
HUMIDITE MAXI/MINI	41,0 12,0	57,3 17,1	70,5 19,4	71,8 17,2	81,4 21,6	87,4 37,7	92,5 54,2	93,7 58,0	95,9 53,3	94,4 37,2	86,0 37,7	79,7 25,3

**Tableau 5**

FODOR		Ganadji Sarré										
MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMPERATURE	23,5	26,3	28,1	29,5	33,3	33,3	31,1	29,8	31,2	32,3	28,0	25,8
HUMIDITE MAXI/MINI	32,9 14,0	43,3 16,2	50,8 14,8	49,7 13,1	51,2 13,7	64,2 20,2	84,9 37,4	91,3 46,4	91,6 42,4	74,2 31,7	74,3 35,1	57,9 18,0

**Tableau 6**

TAMBACOUNDA		Bamba Thialène										
MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMPERATURE	25,5	28,5	29,8	32,1	33,2	29,9	27,2	26,8	27,3	28,6	28,3	26,3
HUMIDITE MAXI/MINI	34,5 09,1	34,3 09,4	45,4 11,1	45,8 12,5	58,4 18,6	87,4 43,8	97,4 60,5	99,0 65,7	99,2 61,1	99,0 47,1	81,6 22,6	55,9 14,1

**Tableau 7**

THIES		Notto Guy Diama										
MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMPERATURE	24,6	25,2	25,6	25,1	26,6	28,2	27,4	26,9	27,9	28,6	26,6	25,3
HUMIDITE MAXI/MINI	76,6 23,8	79,5 24,6	83,5 28,1	83,5 32,7	90,4 34,9	92,0 46,7	96,5 64,5	96,5 66,7	97,1 61,7	96,0 42,7	89,0 34,7	90,3 24,3

**Tableau 8**

SAINT-LOUIS		Ross-Bétnio										
MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMPERATURE	23,6	24,9	24,6	24,5	25,8	28,0	28,5	28,4	29,0	28,7	25,3	24,9
HUMIDITE MAXI/MINI	66,1 24,7	77,2 27,4	85,9 38,2	86,0 35,5	87,2 47,3	91,4 58,3	87,1 68,7	94,7 68,8	95,0 65,3	93,5 51,5	89,9 43,9	87,8 34,3

NOTA : Tableau 1 // Source : Documents internes du C.E.R.E.R.  
 Tableaux 2 à 8 // Source : Direction de la Météorologie Nationale

**Tableau 2**

**CHOIX DES MATERIAUX**

A / MATERIAUX UTILISES POUR LE CALCUL DU DEVIS	B / AUTRES MATERIAUX DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ	COMMENTAIRES A PAR RAPPORT A B
<b>Capteur :</b> - Verre de 4 mm (couverture) - Tôle de 6/10 (absorbeur) - briques creuses (isolant)	polycarbonate tôle de récupération (fûts aplatis) parpaing en béton cellulaire	+ cher & + maniable - performant & + dispon
<b>Cabine de séchage :</b> - tringles en alu (supports) - briques creuses ( mur )	cornières en fer + peinture antirouille parpaing en béton cellulaire	- oxydable & + cher - isolant & + dispon.
<b>Cheminée :</b> - tôles de 20/10 - soudure	tôles de récupération rivetage	+ cher & + design + solide & + cher
<b>Portes :</b> contreplaqué + polyuréthane	contreplaqué + aggloméré	+ isolant & - dispo.

### FEUILLE DE MESURES SUR LE SECHAGE SOLAIRE

Numéro de l'expérience : .....

Date de démarrage de l'expérience : .....

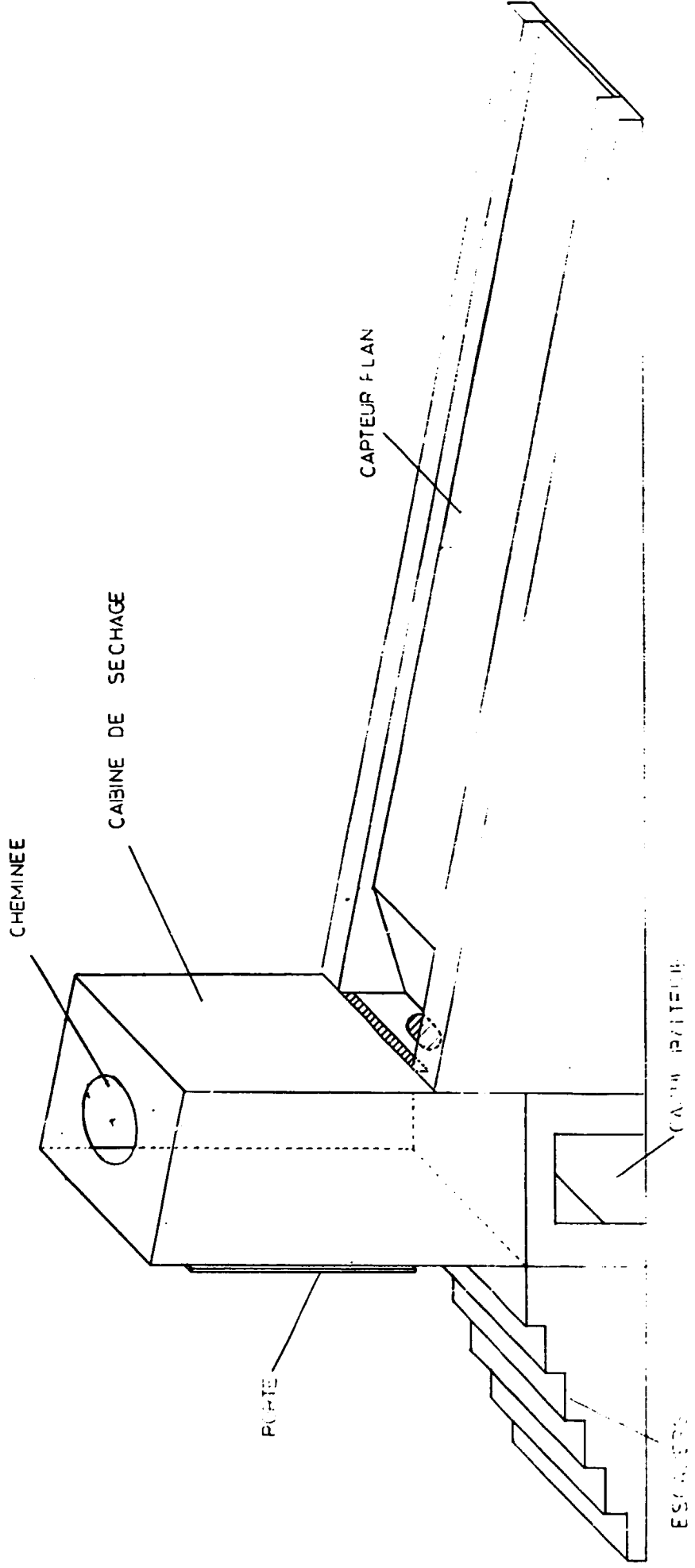
		ENTREE		SORTIE			
HEURE	TEMP.	HUM.	TEMP.	HUM.	VIT_AIR	ECLAIREMENT	
-	°C	%	°C	%	m/s	W/m <sup>2</sup>	

TEMP. et HUM. représentent la température et l' humidité de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur .

Ens : ensoleillement ou éclairage global

Rendement = Puissance utile / Energie incidente

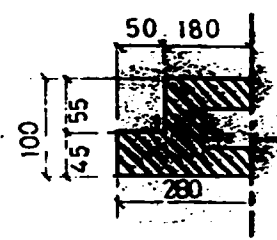
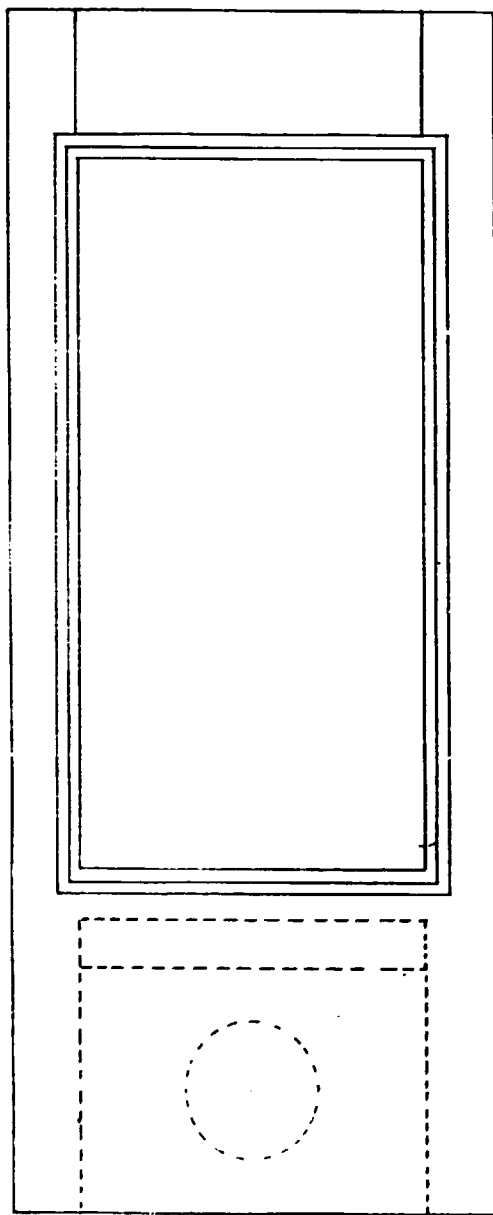
= Masse volumique de l'air X Débit d'air X Chaleur spécifique X écart de température entre "entrée" et "sortie" / éclairage / surface de captation



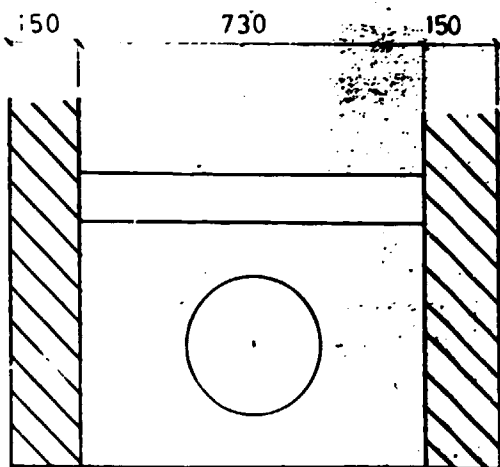
L. DIOU	CERER	PROJET N°	TF/ GLO/83016
DATE	15 11 90	CERER	/ ONLDI
		BP 476	DAKAR
PERSPECTIVE DU SECHOIR SOLAIRE MIXTE			

L DIOP CERER	PROJET N° TF / GLO/89/015
DATE 15/11/90	CERER / ONJDI
ECHELLE 1/10	BP 476
VUE FACE AVANT VUE INTERIEURE DU MUR FOND	DAKAR

→ A



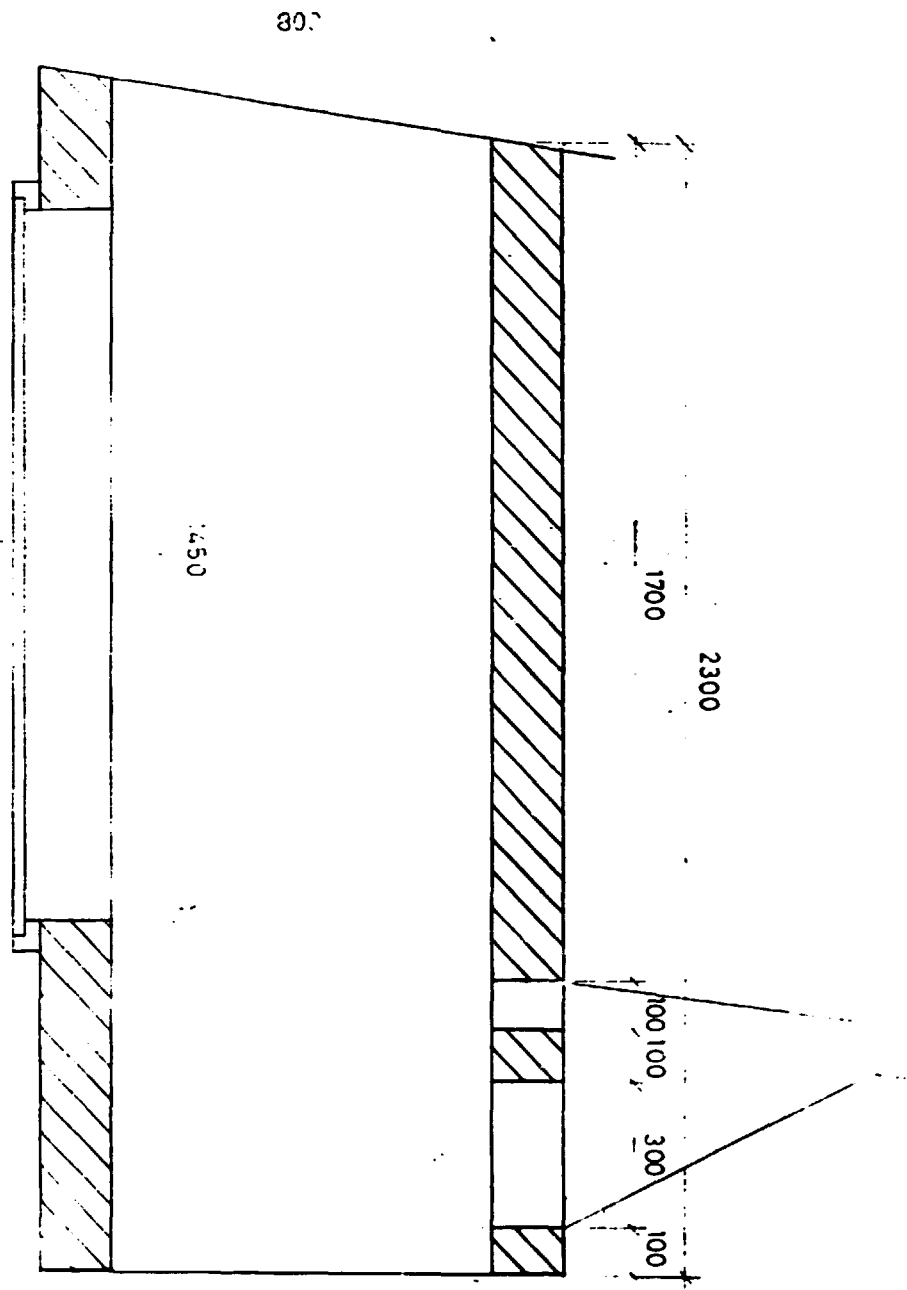
COUPE 1/2-PARPAING  
hauteur = 20



→ A

VUE FACE AVANT

VUE INTERIEURE DU MUR DU FOND

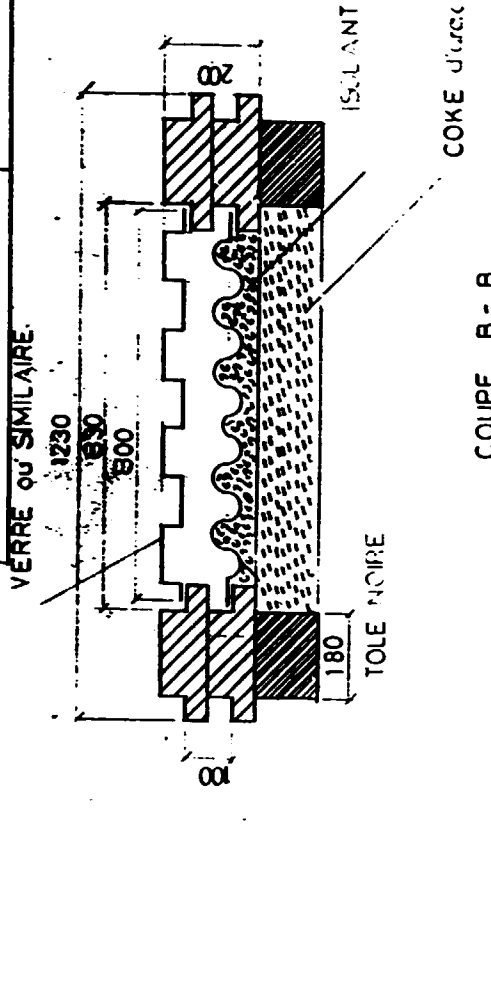
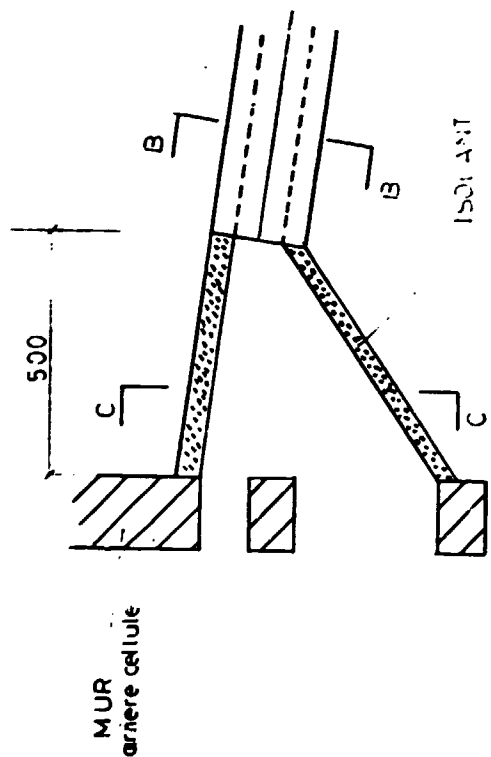


L. DIOP CERER	PROJET N° TF/GLO/89/015
DATE 15/11/90	CERER / ONUDI
ECHELLE 1/10	BP 476
COUPE A-A DU SECHOIR SOLAIRE MIXTE	DAKAR



L. DIOP CERER  
 DATE 15/11/90  
 ECHELLE 1/10  
 GENERATEUR DAIR CHAUD  
 VERRE ou SIMILAIRE.

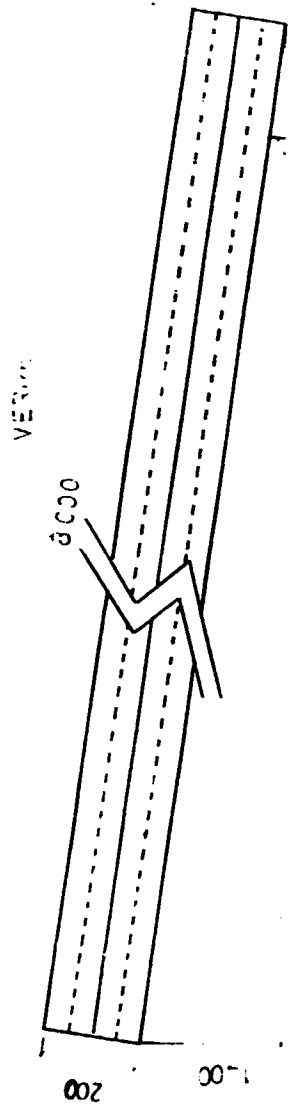
PROJET N° TF/GLO / 86 / 015  
 CERER / (INLUI)  
 BP 276  
 DAKAR



ISOLANT

COUPE B - B

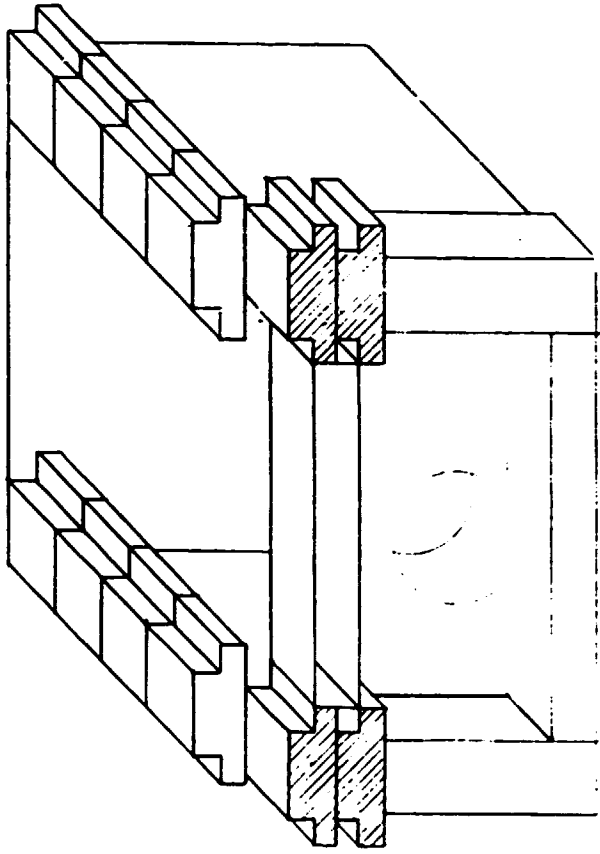
TUBE



Horizontal

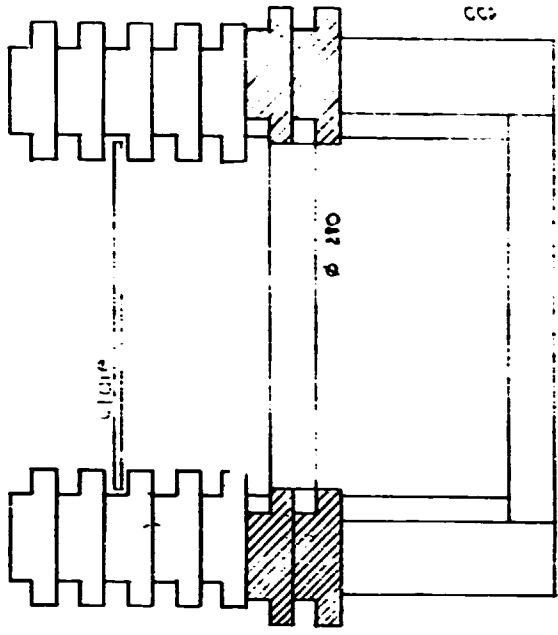
10° (17'1/2)

DIOP CERER	PROJET N° IF GLO 84 015
DATE 15/11/70	CERER ONUDI
REVISION 1/100	BJ 476 UNR
PERSPECTIVE ET COUPE	
ARRIERE CABINE	



PERSPECTIVE ENTREE  
ARRIERE CABINE

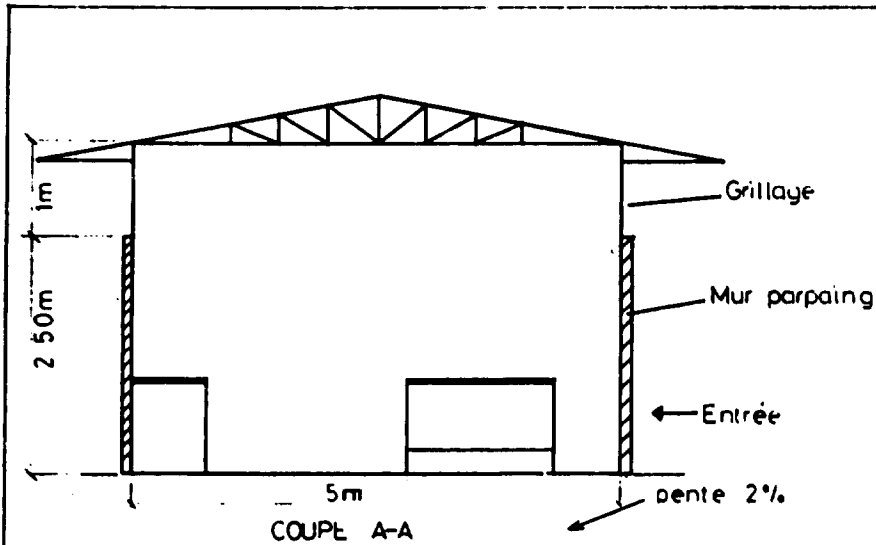
1500



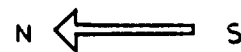
150

150

COUPE C-C



L. DIOP CERER		PROJET N° TF/GLO/69/015
DATE 15/11/90		CERER / ONUDI
ECHELLE 1/50		BP 476 DAKAR /
Plan de masse du Centre de Sechage		
N°	DESIGNATION	
1	Bascule 100 kg	
2	Table 0,70 x 1,00 - chaise	
3	Bacs à laver (2)	
4	Table 0,70 x 2,00	
5	Soudeuse	
6	Balance comparaison	
7	Portes bassine (4)	
8	Sechoirs (1 à 4)	
9	Bassines de trempage plastique 10-15l (4)	
10	Foyers de cuisson confiture - marmites (2)	
11	Table 1,40 x 2,00	
12	Bascule 10 kg	
A	Magasin	
B	Bureau	
C	Atelier	



15 m

