

# EXPÉRIMENTATIONS DE SÉCHOIRS SOLAIRES À BOIS DE TYPE RUSTIQUES EN CÔTE-D'IVOIRE (1)

par Patrick Y. DURAND  
*Laboratoire de Technologie du Bois  
Centre Technique Forestier Tropical - Côte-d'Ivoire*

## SUMMARY

### EXPERIMENTATIONS WITH LOW-COST SOLAR TIMBER DRYING KILNS IN IVORY COAST

*An alternative method of drying timber more efficiently than air seasoning but less expansively than kiln drying is solar drying. A first prototype solar kiln was built by C.T.F.T. Wood Technology Laboratory in Ivory Coast in 1979, with several additional improvements in order to increase the drying performance.*

*The objective of this article is to present this experimental 1-m<sup>3</sup> solar kiln, with its design conception and thermodynamical performances under tropical climate.*

*The first results from solar drying experiments, with reference to air drying, show that this first low-cost prototype is efficient and reduces the drying time by half, even during the rainy season, and below the equilibrium moisture content.*

*Finally, constructive proposals are made in the way of reducing the electrical energy for the circulating fans.*

## RESUMEN

### EXPERIMENTACIONES EN COSTA DE MARFIL DE SECADEROS SOLARES RUSTICOS PARA MADERA

*El secado de la madera por aprovechamiento del sol representa una disyuntiva de mayor eficiencia que el secado al aire y menos costosa que cuando se recurre al secadero convencional. Se ha construido un primer prototipo de secadero solar en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del C.T.F.T.-Costa de Marfil, en 1979, en el cual se han incorporado diversas mejoras con objeto de incrementar la eficacia del secado.*

*El objeto del presente artículo consiste en presentar este secadero experimental, de una capacidad útil de 1 m<sup>3</sup>, describiendo los principales elementos de su concepto y de sus prestaciones termodinámicas en clima tropical. Los resultados preliminares conseguidos por medio de ensayos de secado solar — en comparación con el secado al aire — muestran que este primer prototipo de secadero rústico es perfectamente eficaz y reduce a la mitad, aproximadamente, el tiempo de secado, incluso durante la temporada de lluvias y que, además permite disminuir por debajo del punto de equilibrio el coeficiente de humedad de la madera.*

*Finalmente, se han presentado propuestas constructivas que abundan en el sentido de una reducción del consumo de energía eléctrica utilizada para la ventilación.*

## INTRODUCTION

Les deux méthodes de séchage du bois utilisées actuellement en Côte-d'Ivoire sont le séchage à l'air et le séchage artificiel.

Le séchage naturel à l'air, le plus usité, présente quelques inconvénients : la durée de séchage est longue, on ne contrôle ni les conditions de thermohygrométrie ni le taux d'humidité final du bois, la qualité du séchage est aléatoire.

Le séchage artificiel est bien plus efficace mais nécessite des investissements trop lourds pour les petites

---

(1) Communication présentée au North American Wood Drying Symposium, Mississippi State, MS (U.S.A.), le 27 novembre 1984 sous le titre : « Experimentations with low-cost solar timber drying kiln in Ivory Coast ».

entreprises et peut, dans certains cas, être coûteux en énergie et en entretien.

Ce sont ces raisons qui ont fait que le séchage artificiel du bois jusqu'à présent ne s'est développé que modestement dans les industries du bois de Côte-d'Ivoire.

Une autre méthode de séchage efficace mais cependant moins coûteuse peut être utilisée : le séchage solaire du bois.

Un premier prototype de séchoir solaire a été construit par le laboratoire de Technologie du C.T.F.T. à Abidjan en 1979 (ESPINET, 1979) ; quelques améliorations thermodynamiques ont été apportées progressivement à ce premier prototype dans l'objectif d'augmenter ses performances de séchage (DESAVIEL, 1979).

Bien que de nombreux séchoirs solaires aient été

expérimentés dans le monde entier (GUÉNEAU, 1969 ; BEDEL, 1973 ; WENGERT, 1971 ; PLUMPTRE, 1967 ; YANG, 1980 ; REHMAN and CHAWLA, 1961). il a semblé intéressant de présenter notre propre modèle du fait que nous n'avons pas opté pour le type de séchoir solaire classique à effet serre avec une couverture en fibre de verre ou en polythène ou avec un collecteur en verre recouvrant une base noircie, mais simplement une chambre d'air chaud avec un toit en tôle peinte en noir.

Le but de cet article est de présenter le séchoir solaire expérimental de 1 m<sup>3</sup> de capacité, avec sa conception et ses performances thermodynamiques, obéissant à des critères bien précis :

- investissements modestes,
- coûts de fonctionnement peu élevés,
- simplicité de la manipulation et du contrôle.

## LE SÉCHOIR SOLAIRE

### Description technique

— **Le collecteur solaire** est fait en tôle galvanisée de 6/10 mm d'épaisseur peinte en noir pour absorber l'énergie solaire et représente une surface réceptrice de 3,40 m<sup>2</sup>. Des ailettes métalliques fixées sur la face interne du collecteur augmentent la surface de rayonnement de 30 % environ. L'axe longitudinal du collecteur est orienté Est-Ouest, et sa forme incurvée (rayon de courbure 1,45 m) permet une radiation solaire maximale de 8 heures à 17 heures (élévation minimale du soleil = 30° de l'horizon).

— **L'enceinte de séchage.** Le séchoir est constitué par une structure bois, de dimensions intérieures 1,10 × 1,10 × 1,60 m de hauteur, et a une capacité utile de 1 m<sup>3</sup>.

Les parois en contreplaqué qualité « extérieur » ou frises de 15 mm d'épaisseur sont doubles avec un espace d'air de 50 mm pour augmenter l'isolation thermique. Le coefficient moyen de déperdition calorifique est  $K = 0,36 \text{ Kcal/m}^2/\text{h}/^\circ\text{C}$ .

**Le système de stockage des calories**, situé à la base de l'enceinte de séchage, est constitué par un lit de roches de 0,12 m<sup>3</sup> en volume (diamètre moyen des cailloux = 2 cm), qui permet d'accumuler de la chaleur (0,50 Kcal. °C) et de réduire ainsi les chutes de tempéra-

ture pendant la nuit ou lors des journées pluvieuses, à condition que les clapets isolent le flux d'air de l'enceinte de chauffage située directement sous le collecteur.

**Les ventilateurs** peuvent assurer la régulation du flux d'air à vitesse variable : de 1,75 m/s en début de séchage à 0,5 m/s en fin de séchage.

La surface de passage de l'air à travers la pile de bois varie de 0,36 m<sup>2</sup> à 0,45 m<sup>2</sup>, suivant l'épaisseur des planches et du baguettage, si bien que le débit maximal d'air est de 2 835 m<sup>3</sup>/heure. Dans ces conditions, on a opté pour 3 ventilateurs de 960 m<sup>3</sup>/h de débit (puissance de 175 W par ventilateur), qui font circuler l'air à travers le bois empilé.

**Contrôle :** Pour suivre le séchage et contrôler les manipulations des clapets et trappes d'échange, 2 dispositifs de contrôle (thermomètre et hygromètre à cheveux) ont été installés dans le séchoir pour mesurer la température sèche et l'hygrométrie. Simultanément les conditions thermohygrométriques de l'air ambiant sont mesurées et enregistrées.

Le taux d'humidité du bois est contrôlé par méthode pondérale sur éprouvettes témoins.

**Coût :** Le coût total de ce prototype de 1 m<sup>3</sup>, ventilateurs et dispositif de contrôle compris, a été évalué en 1984 à environ 600 US dollars (255 000 F CFA).

### Thermodynamique du séchage solaire

#### *Les flux d'air* (Figure 1)

- L'air chauffé et séché par le collecteur solaire (1) est envoyé par les ventilateurs à travers la pile de bois.
- A travers la pile de bois, l'air se refroidit et s'humidifie (2).

- Une partie de cet air est directement recyclée (5).
- Une autre partie est réchauffée sous le collecteur solaire (4).
- Enfin, une partie peut être évacuée vers l'extérieur par la trappe de sortie, tandis que de l'air frais venant

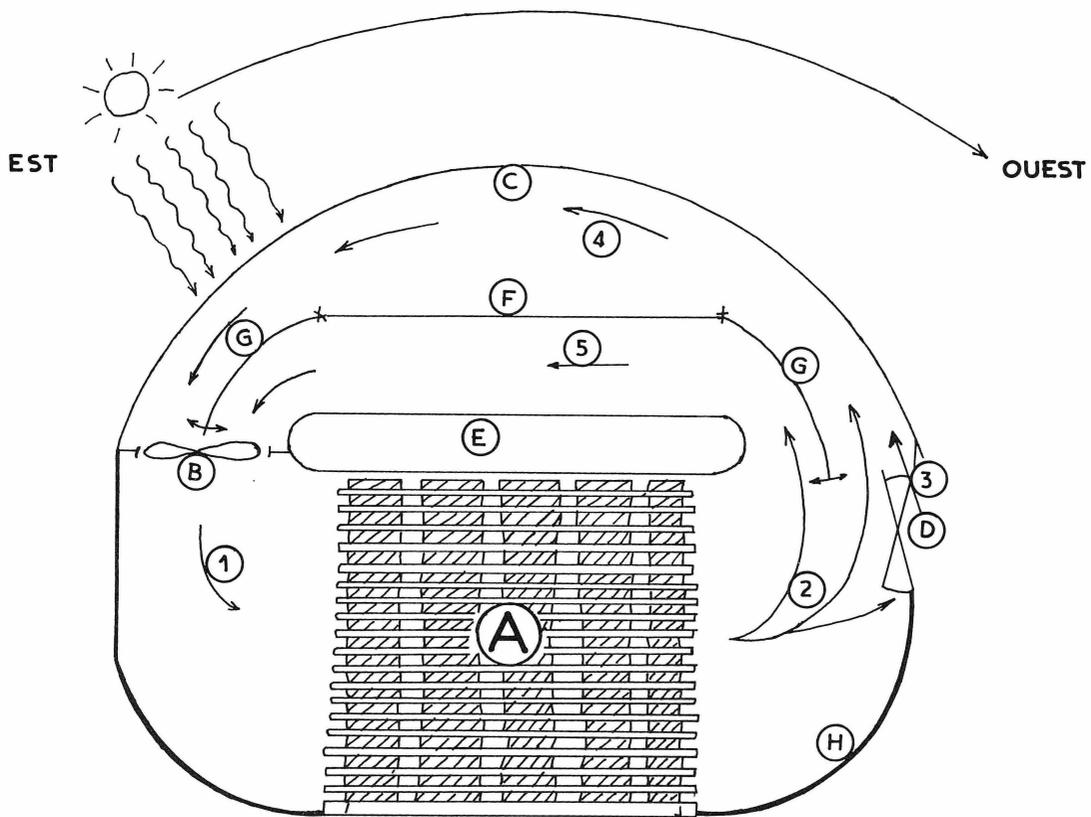


FIG. 1. — Principe de fonctionnement du séchoir solaire (prototype 1).

#### Structure

- A) Pile de bois
- B) Ventilateurs
- C) Toit récepteur de l'énergie solaire
- D) Trappes d'échange d'air avec milieu extérieur
- E) Plafond
- F) Faux plafond
- G) Volets permettant d'isoler le toit de l'intérieur du séchoir
- H) Déflecteurs améliorant l'écoulement laminaire de l'air

#### Circulation de l'air

- 1) Air chaud et sec
- 2) Air tiède et humide
- 3) Air extérieur
- 4) Air chauffé et asséché
- 5) Air circulant en sous-toit (ESPINET, 1979)

de l'extérieur peut être introduit dans le séchoir par la trappe d'entrée, selon les conditions thermohygrométriques du séchoir et de l'air ambiant.

#### Performance thermohygrométrique

Pour observer la fluctuation des températures et humidités relatives de l'air dans le séchoir et à l'extérieur, en fonction de la conception et de la construction même du modèle, les caractéristiques thermohygrométriques à l'intérieur et à l'extérieur ont été enregistrées quotidiennement pendant les saisons sèches et humides

de 1979 à 1982, de 8 heures à 17 heures, jusqu'à la fin du rayonnement solaire effectif (fig. 2).

On remarque que les conditions thermiques et hygrométriques optimales du séchage solaire se situent entre 10 et 14 heures, quand la température peut monter jusqu'à 45 °C en saison sèche, et que l'état hygrométrique de l'air peut descendre jusqu'à 50 %. On montre que, même pendant la saison des pluies, quand les heures d'ensoleillement sont rares, les données thermohygrométriques sont suffisantes pour assurer le séchage solaire, à condition que la manipulation des clapets et trappes d'échange soit correcte.

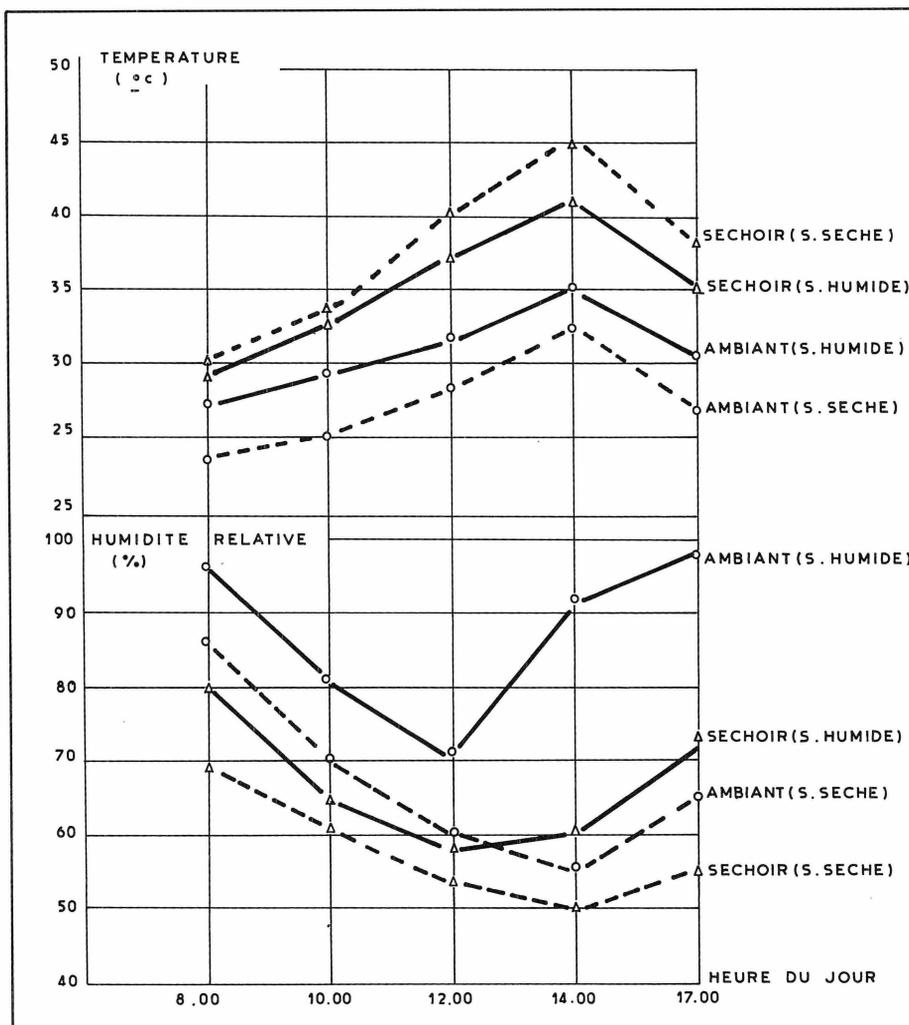


FIG. 2. — Variation journalière des conditions thermohygrométriques du séchoir et de l'air ambiant pendant la saison sèche (moyennes déc.-janv. 79-82) et la saison des pluies (mai-juill. 79-82) à Abidjan.

TABEAU 1

Taux d'humidité des bois (H %)	Table conventionnelle		Table de séchage solaire							Humidité relative de l'air (%) valeurs optimales
	Température sèche (degré celsius)	Humidité relative de l'air %	Températures sèches (degrés celsius)							
			25	30	35	40	45	50		
vert	54,5	80	60	65	68	70	72	75		
50	57	75	50	55	60	63	66	69		
40	60	70	45	50	55	60	62	64		
30	62,5	60	30	35	40	45	50	55		
25	68,5	50	—	—	—	—	25	35		
20	70	40	—	—	—	—	—	—		

Tableau 1 : Table de séchage solaire du FRAKÉ (*Terminalia superba*) donnant les valeurs optimales d'humidité relative de l'air dans le séchoir solaire, en fonction de la température sèche, obtenues par enthalpie constante à partir de la table de séchage conventionnelle.

METEO BOIS H. %.	8 00	 12 00	17 00	8 00	 12 00	17 00		NUIT
> 50%	TRAPPES  OUVERT	TRAPPES  1/2	TRAPPES  OUVERT	TRAPPES  OUVERT	TRAPPES  3/4	TRAPPES  OUVERT	VOLETS  FERMES	 OUVERT
50% ↓ 35%	 3/4	 FERMES	 1/2	 OUVERT	 1/4	 1/2	VOLETS  FERMES	VOLETS  1/2
35% ↓ 20%	 3/4	 3/4	 1/2	 OPEN	 1/2	 1/2	VOLETS  FERMES	VOLETS  FERMES
< 20%	 OUVERT	 1/2	 1/4	 3/4	 1/2	 1/4	VOLETS  FERMES	VOLETS  FERMES

FIG. 3. — Instructions simplifiées d'ouverture des trappes d'échange et des volets du prototype de séchoir solaire du C.T.F.T.-C.I., en fonction de l'humidité du bois et des conditions météorologiques.

### Théorie du séchage solaire

Quand l'air chaud et sec circule à travers la pile de bois, sa température baisse à enthalpie constante. Selon ce principe de base, le programme de séchage solaire adapté à une essence peut être établi à partir des programmes de séchage conventionnel en calculant l'humidité relative de l'air en fonction des températures sèches du séchoir solaire, pour une enthalpie constante donnée par les tables classiques de séchage. A titre d'exemple, la table de séchage solaire du FRAKÉ (*Terminalia superba*) est donnée p. 52.

Du fait que la température du séchoir ne peut être contrôlée, le seul moyen permettant de mener à bien le séchage est d'essayer de maîtriser les échanges d'air avec l'extérieur par l'intermédiaire des trappes.

Pour savoir si un échange d'air doit être pratiqué ou non, il est nécessaire de faire une comparaison entre les

caractéristiques thermiques et hygrométriques de l'air dans le séchoir et à l'extérieur (c'est-à-dire : la quantité de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec dans les deux conditions), grâce au diagramme d'enthalpie.

### Instructions de manipulation pendant le séchage

La grande simplicité des manipulations et du contrôle étant l'un des principaux critères de conception d'un séchoir solaire en zone tropicale, nous nous sommes efforcés de traduire ces diverses considérations thermodynamiques en instructions pratiques. La figure 3 montre le schéma d'instruction d'ouverture des clapets et trappes d'échange en fonction des conditions météorologiques et du taux moyen d'humidité du bois.

## RÉSULTATS

### Séchage solaire en saison sèche

Des planches de FRAKÉ (*Terminalia superba*) de 27 mm ont été séchées par séchage solaire et par séchage naturel à l'air pour comparaison.

La durée de séchage avec le séchoir solaire, de 65 %

à 15 % d'humidité a été de 18 jours. Le taux d'humidité de 13 % (au-dessous du taux d'équilibre = 15 - 18 %) a été atteint après 26 jours de séchage.

Le séchage à l'air a pris 38 jours pour atteindre 18 % (fig. 4).

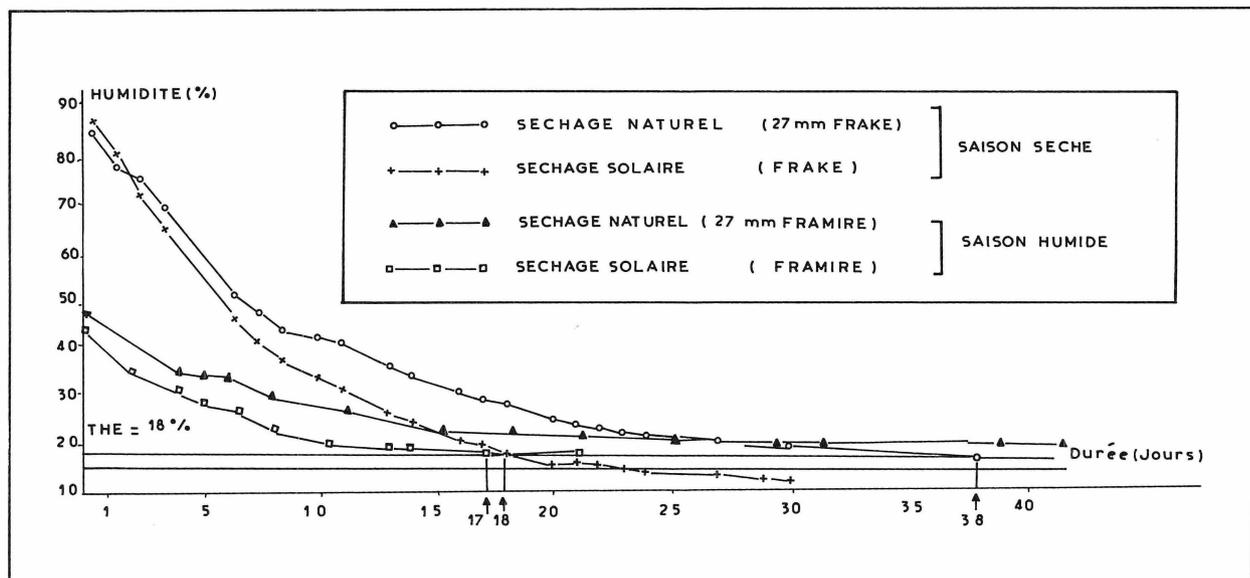


FIG. 4. — Courbes de séchage du Fraké et du Framiré (27 mm) à l'air et au séchoir solaire pendant les saisons sèche et humide en basse Côte-d'Ivoire (Abidjan).

## Séchage solaire en saison humide

L'expérience a porté sur du FRAMIRÉ (*Terminalia ivorensis*) de 27 mm d'épaisseur.

La durée du séchage solaire pour faire tomber le taux

d'humidité du bois de 50 à 16,5 % a été de 17 jours, alors que 45 jours ont été nécessaires pour atteindre le taux d'équilibre en séchage naturel.

## Qualité du séchage

Les observations qualitatives effectuées sur les planches de FRAKÉ et de FRAMIRÉ ont mis en évidence que les déformations et les fentes en bout occasionnées

lors du séchage n'étaient pas plus importantes sur les pièces de bois sortant du séchoir solaire que sur celles séchées à l'air, quelle que soit la saison.

## DISCUSSION

### Le problème que pose l'augmentation de la capacité utile (jusqu'à 4 m<sup>3</sup>)

Ces résultats montrent que le prototype de séchoir solaire présenté ici fonctionne bien en climat de Basse Côte-d'Ivoire, même en saison des pluies, conformément aux critères de conception suivants : investissements modérés et faibles coûts de fonctionnement, simplicité des manipulations et du contrôle.

Cependant, la capacité utile de ce modèle expérimental

était de 1 m<sup>3</sup>, et lorsque l'on envisage une capacité plus élevée, l'aspect économique n'est pas aussi favorable pour plusieurs raisons, et cela même si la forme en arche du collecteur solaire se prête bien à une construction par modules.

Si l'on désire un séchoir solaire de 4 m<sup>3</sup>, selon la même conception :

- les coûts du matériau et de la construction s'accroissent considérablement,
- la puissance nécessaire des ventilateurs électriques augmente jusqu'à 1,8 KW ce qui entraîne un coût de fonctionnement prohibitif pour une petite entreprise.

Pour ces raisons, un nouveau prototype de séchoir solaire a été conçu, avec les mêmes critères économiques et technologiques que précédemment, mais aussi avec comme objectif majeur de réduire la ventilation électrique au maximum.

## Le second prototype de séchoir solaire

Le principe thermodynamique adopté pour ce prototype est l'effet de thermosiphon (BERNARD, MENGUY, SCHWARTZ, 1979) : un fluide circule des zones les plus chaudes vers les zones les plus froides.

Le fluide choisi pour ce prototype est l'air, en raison de plusieurs avantages pratiques : pas de problème de corrosion, d'entartrage, d'étanchéité, même si l'eau présente des caractéristiques calorifiques bien meilleures (capacité thermique de l'air = 0,000 35 Kwh/Kg/m<sup>3</sup>).

Basée sur ce principe, une expérimentation préliminaire a été menée à bien en Inde (REHMAN, CHAWLA, 1962). L'air extérieur pénétrait dans l'enceinte de chauffage, était réchauffé par radiation solaire et sortait dans l'enceinte de séchage. Au niveau de la cheminée de sortie, la vitesse de l'air atteignait 0,8 m/s. Le principal inconvénient de ce modèle était les pertes de calories entre la chambre de chauffage et l'enceinte de séchage.

Pour notre second prototype de séchoir solaire, nous avons amélioré ce principe de base du thermosiphon en ajoutant dans le circuit thermodynamique, deux systèmes additionnels (fig. 5) :

1) *Un système de refroidissement*, à la sortie de l'air, au niveau supérieur du séchoir ; ce procédé de refroidissement est basé sur l'évaporation résultant du contact entre l'air chaud sortant du séchoir et une distribution d'eau répartie sur un dispositif alvéolaire spécial, selon le principe de l'enthalpie constante.

2) *Un système de stockage de calories*, qui évite les pertes de chaleur pendant la nuit et durant les périodes de pluie : comparé au premier prototype, le lit de cailloux est beaucoup plus important 1,2 m<sup>3</sup> au lieu de 0,12 m<sup>3</sup>, permettant ainsi de stocker environ 480 Kcal/°C. Un

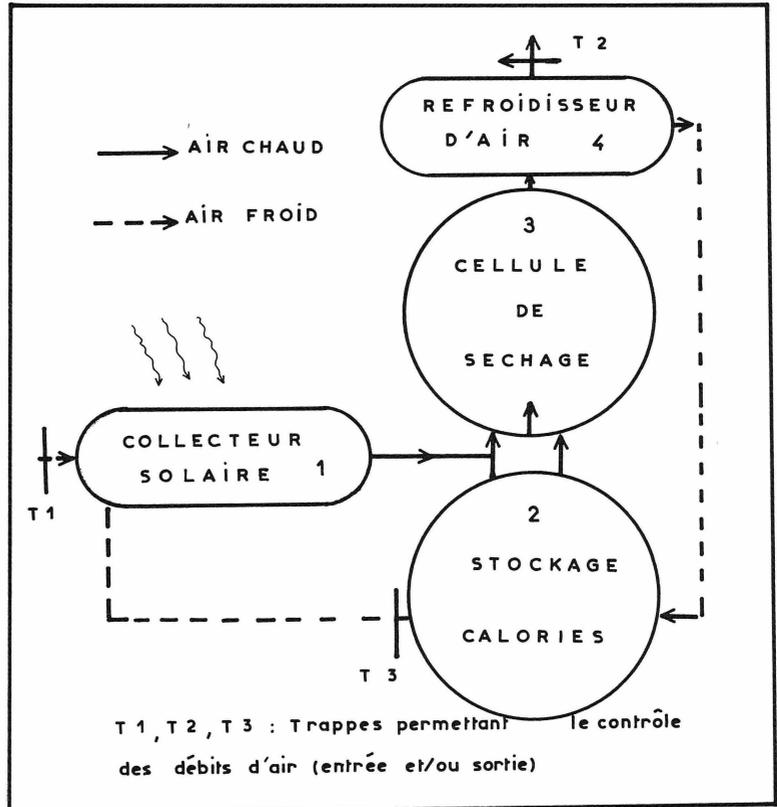


FIG. 5. — Disposition d'ensemble des 4 systèmes thermodynamiques du prototype II.

système de clapets et de trappes d'échanges à l'entrée du collecteur solaire, à la sortie, ainsi qu'entre le système de stockage des calories et l'enceinte de séchage, permet d'assurer le contrôle des flux d'air en fonction du taux d'humidité du bois et des conditions météorologiques. Pour ce nouveau séchoir expérimental, il est prévu un ventilateur de 1/2 CV seulement (375 W environ) pour maintenir le flux d'air.

Ce prototype devrait être construit prochainement, et des essais préliminaires sont nécessaires concernant le système de refroidissement ainsi que des mesures de vitesse de l'air dans l'enceinte de séchage.

## CONCLUSION

Le premier séchoir solaire rustique de 1 m<sup>3</sup> construit en Côte-d'Ivoire a démontré que le séchage solaire était

efficace même en saison des pluies, à condition que les critères de conception suivants soient respectés : simpli-

cité de la construction et de la manipulation, facilité d'entretien, faible investissement et modicité des coûts de fonctionnement.

Quelques problèmes économiques apparaissent quand on veut augmenter la capacité utile de séchage de ce

type de séchoir.

D'autres essais doivent être entrepris selon la nouvelle conception décrite ci-dessus pour le second prototype qui permet déjà d'escompter des résultats satisfaisants pour une capacité de 4 m<sup>3</sup>.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. — BEDEL (J.), RAKOTOVAO (G.), 1973. — Compte-rendu d'une expérience de séchage en séchoir solaire. C.T.F.T. — Madagascar.
2. — BERNARD (R.), MENGUY (G.), SCHWARTZ (M.), 1979. Le rayonnement solaire — Tech. et Documentation, Paris.
3. — DESAVIEL (J.), 1979. Les capteurs heliothermiques PYC-ÉDITION, Paris.
4. — ESPINET (D.), 1979. Conception et réalisation d'un prototype de séchoir solaire à ventilation forcée — C.T.F.T. ABIDJAN.
5. — GUÉNEAU (P.), 1969. Une expérience de séchage solaire du bois — *Bois et Forêts Tropiques*, n° 131.
6. — PLUMPTRE (R.), 1967. The design and operation of a small solar seasoning kiln on the Equator in Uganda. Commonwealth. For. Res. London. 46 (4). N° 130 : 298-309.
7. — REHMAN (M. A.) and CHAWLA (D. P.), 1962. Seasoning of timber using solar energy. Indian For. Bull. N° 229. For. Res. Inst. Dehra Dun, India.
8. — ROSEN (H.) et CHEN (P. Y.), 1980. Drying lumber in a kiln with external solar collectors, Am. Inst. of Chem. engineers. 76 (200).
9. — WENGERT (E. M.), 1971. Improvements in solar dry kiln design.
10. — YANG (K. C.), 1980. Solar kiln performance at a high latitude, 48 °N. For. Prod. Journ. 30 (3).