

Photo Brunck

Au Gabon, essai de séchage à l'air.

LE SÉCHAGE DES BOIS TROPICAUX

par Ch. SALES

Ingénieur à la Division d'Essais et Emplois des Bois

SUMMARY

DRYING TROPICAL TIMBER

Drying timber is necessary to protect it against attack from decay fungus, to facilitate mill working and gluing, and to give it a stable degree of humidity, which corresponds to that when utilized, and, lastly, to improve its mechanical properties.

The aim of the paper is, thus, to provide users with the necessary basis for a better understanding of drying phenomena.

The essential criteria which should be adopted are given as well as an insight into usable techniques. In this first part, after an explanation of the theory, the rules of air drying are recalled.

In the following paper, artificial drying will be studied at length.

RESUMEN

EL SECADO DE LAS MADERAS TROPICALES

El secado de la madera es necesario para su preservación contra el ataque de los hongos de pudrición, facilitar su trabajo y el encolado, dar a la madera una humedad de estabilización que corresponda a aquella de las condiciones de utilización y, finalmente, incrementar sus características mecánicas.

Así, pues, el objeto de este artículo consiste en facilitar los fundamentos indispensables para dar a comprender del mejor modo a los utilizadores los fenómenos del secado.

Los criterios primordiales a respetar son indicados y al mismo tiempo, figura un resumen de las técnicas utilizables.

En esta primera parte, y tras un resumen teórico, se recuerdan las reglas que deben ser observadas al proceder al secado de la madera al aire.

En el artículo siguiente, será largamente estudiado el secado artificial de la madera.

AVANT-PROPOS

But de l'opération.

Retirer une certaine quantité d'eau du bois par absorption dans le milieu environnant.

Qu'est-ce que le taux d'humidité du bois ?

On appelle taux d'humidité la quantité en poids d'eau contenue dans un certain volume de matière ramenée au poids de cette matière à l'état anhydre.

EXEMPLE :

Soit un échantillon de bois contenant une certaine quantité d'eau et de masse P^h . Après passage à l'étuve 110 °C pendant 48 h sa masse anhydre sera P^a . Son taux d'humidité lorsqu'il présentait une masse égale à P^h sera donc :

$$H \% = \frac{P^h - P^a}{P^a} \times 100$$

H est directement exprimé en % grâce à la multiplication par 100.

Application numérique : $P^h = 100$ g, $P^a = 80$ g, d'où : $H = 25$ %.

Pourquoi sécher le bois ?

— Si l'humidité du bois est inférieure à environ 20 % il est inattaquable par les champignons de pourriture.

— L'usinage (rabotage, ponçage, etc...) est généralement de bien meilleure qualité lorsqu'il est effectué sur bois sec.

— La généralisation des techniques d'assemblage par collage nécessite des bois secs à l'air (taux d'humidité maximum admissible pour une résorcine 16 %).

— Le bois subit des variations dimensionnelles au séchage. Par suite, toutes les fabrications qui en découlent ne devraient être mises en œuvre qu'à des humidités correspondant à l'humidité de stabilisation du bois dans les conditions d'utilisation.

— Les caractéristiques mécaniques varient avec le taux d'humidité et sont d'autant plus élevées que celui-ci est faible.

— Le transport de l'eau contenue dans le bois coûte d'autant plus cher qu'il est inutile.

LA THÉORIE DU SÉCHAGE

L'HUMIDITÉ DU BOIS DÉPEND DE CELLE DU MILIEU DANS LEQUEL IL EST PLACÉ

Le bois tend à perdre de l'eau dans un milieu peu humide, inversement il tend à en reprendre dans un milieu plus humide. Lorsqu'il reste soumis aux mêmes conditions, au bout d'une durée variable selon les circonstances, son humidité se stabilise à une valeur fixe, qui dépend de l'humidité et de la température de l'air ambiant : on dit que le bois a atteint son humidité limite ou d'équilibre (voir fig. 1).

Quelques exemples de conditions d'équilibre :

• En hiver, dans une pièce chauffée, la température de l'air est souvent de 20 °C et l'humidité de 40 %. Dans ces conditions, le bois se stabilise vers 8 %.

• En été, où les conditions sont, en moyenne, de 25° en température et de 60 à 65 % en humidité relative de l'air, le bois se stabilise vers 12 %.

L'eau dans l'air.

L'air qui nous environne contient une certaine quantité de vapeur d'eau, gaz incolore, invisible dans les conditions normales. Pourtant dans certaines occasions, cette vapeur d'eau se manifeste, c'est la condensation.

L'air peut, soit absorber de l'eau (par ébullition, par exemple), soit éliminer une certaine quantité d'eau (condensation). Cela signifie que l'air contient de la vapeur d'eau, mais que la quantité qu'il peut admettre est limitée : cette quantité maximum correspond au seuil de saturation et dépend principalement de la température de l'air comme indiqué figure 2.

On retiendra principalement qu'augmenter la température de l'air revient à augmenter son pouvoir « absorbant en eau » et qu'à un milieu ambiant donné correspond une quantité limite de vapeur d'eau absorbée ou à recevoir.

On rencontre l'eau sous trois formes :

- eau libre,
- eau liée,
- eau de constitution.

Eau libre.

Le bois est essentiellement composé de lignine et de cellulose qui constituent les parois des cellules. Le groupement et l'assemblage de ces cellules donnent naissance au matériau. Toutefois, il ne s'agit pas d'une matière continue et alternant avec la matière, on rencontre un très grand nombre de vides. L'eau libre est de l'eau à l'état liquide occupant les « vides » intercellulaires et qui n'est liée à la matière par aucune liaison chimique.

L'EAU DANS LE BOIS

Eau liée.

Les molécules d'eau sont ici liées à la matière bois par réaction chimique. Des deux constituants fondamentaux, lignine et cellulose, seul ce dernier est très hydrophile et la réaction chimique entraînant la liaison des molécules d'eau se produira avec les molécules de cellulose qui peuvent se présenter sous la forme α -cellulose, β -cellulose, hémicelluloses, etc...

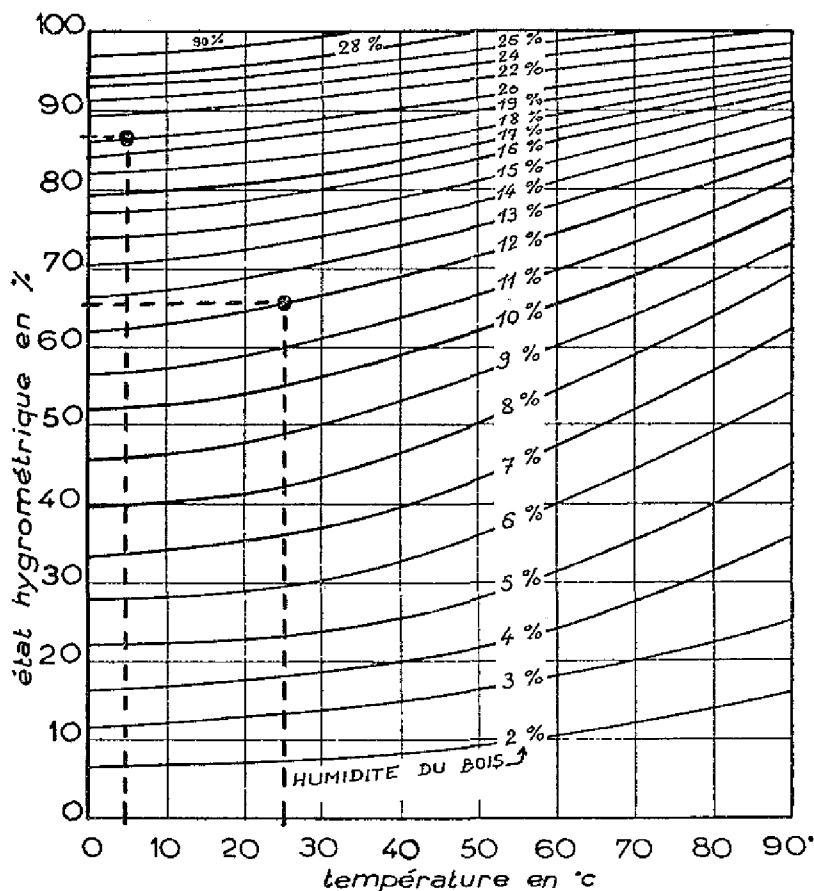
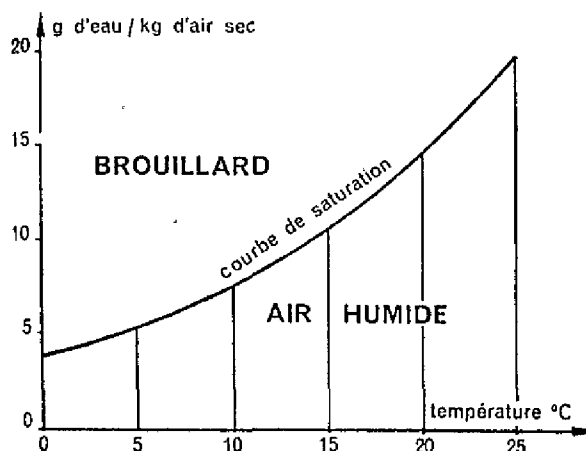
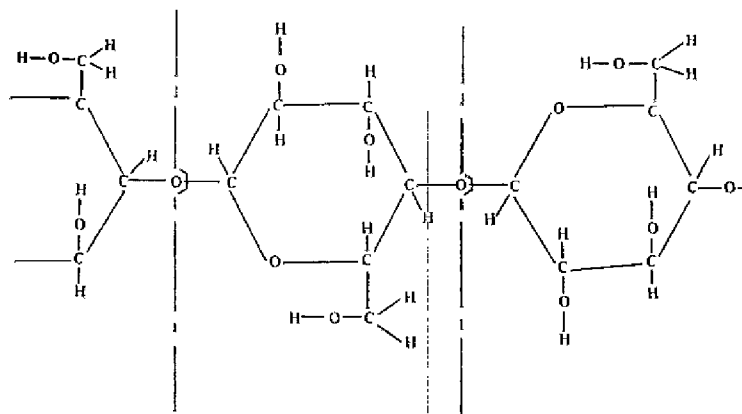


FIG. 1. — Courbes d'équilibre hygroscopique du bois.

FIG. 2.





Molécule de cellulose

Molécule de cellulose en chaîne $(C_6H_{10}O_5)_n$

D'après Y. Quémère-D. Aleon.

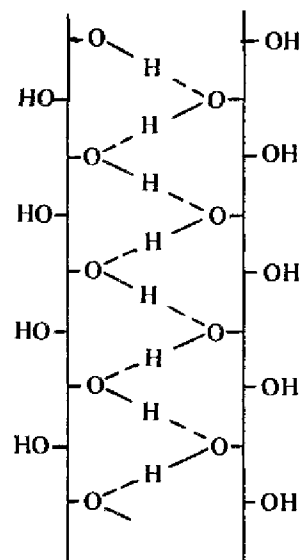
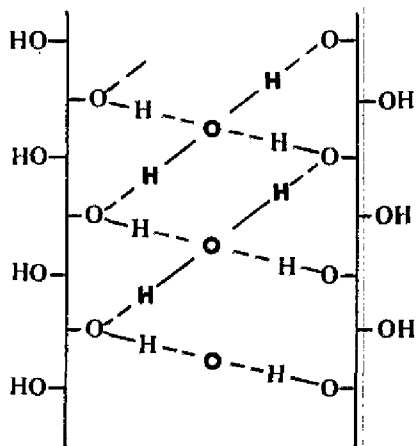


FIG. 3.

D'après Y. Quémère-D. Aleon.

Les différentes chaînes de macromolécules de cellulose sont reliées entre elles par les ponts hydrogènes (voir fig. 3).



Cellulose « hydratée »

FIG. 4.

D'après Y. Quémère-D. Aleon.

L'insertion de molécules d'eau entre les chaînes de macromolécules de cellulose (voir fig. 4) entraîne

la distorsion du réseau atomique et donc le gonflement des parois des cellules. La réaction de fixation des molécules d'eau est exothermique. Contrairement à l'eau libre, l'eau liée entraîne une variation géométrique de la structure intime du bois et donc un retrait ou un gonflement.

Eau de constitution.

Il s'agit d'eau constituée par des réactions hautement énergétiques se situant aux niveaux des radicaux périphériques du noyau cellulosique.

L'eau ainsi formée est fortement liée au noyau cellulosique et ne peut être évacuée au séchage ou même par des traitements thermiques à moyenne température. Seule la carbonisation, ou la combustion permet la libération de l'eau de constitution. En réalité, l'état anhydre tel que nous l'avons envisagé précédemment est en fait un faux état anhydre, puisque le poids P^a est celui du bois effectivement anhydre, plus l'eau de constitution. En réalité, l'eau de constitution ne représente qu'une très infime partie de l'eau contenue dans la matière.

PROCESSUS D'ÉVACUATION DE L'EAU DANS LE BOIS

Le bois dit « vert » contient donc essentiellement de l'eau libre et de l'eau liée. La première n'est que très faiblement liée à la matière (phénomènes de

capillarité). Aucun apport d'énergie n'est pratiquement nécessaire et c'est donc l'eau qui s'évacuera en premier lieu pourvu que le milieu ambiant

soit susceptible de l'accepter. Le départ de cette eau qui n'occupe que des « vides » naturels dans la matière n'entraînera aucune modification de structure et donc aucun retrait du bois. Lorsque toute l'eau libre est éliminée, on atteint le **point de saturation de la fibre** (généralement aux alentours de 30 %) et dès lors le séchage ne peut se poursuivre que par évacuation de l'eau liée, ce qui :

— nécessite un apport énergétique plus important, afin de rompre la liaison chimique,

— entraîne une modification de structure de la molécule de cellulose, et dans le cas du séchage, une diminution de volume des macromolécules de cellulose entraînant le retrait bien connu du bois.

Le graphique de la figure 5 illustre ce phénomène.

En réalité la notion de point de saturation de la fibre n'est pas aussi nette car les deux processus précédemment évoqués voient leurs effets s'interpénétrer assez fortement lors du franchissement de ce seuil. En fait, de l'eau liée commence à

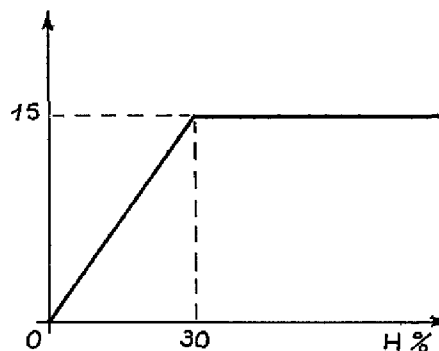


FIG. 5.

s'évacuer alors que l'eau libre n'a pas encore été absorbée en totalité par le milieu environnant. Dans ces conditions, le point de saturation de la fibre correspond plutôt à une zone de transition entre deux états de la matière.

LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LE BOIS

Principes généraux liés à la structure du bois.

Une certaine quantité d'eau est donc éliminée par le bois au cours du séchage. En réalité, le phénomène se décompose en deux phases :

• Migration de l'eau dans le bois = déplacement d'une certaine quantité de liquide des parties internes vers les parties externes des pièces.

• Evaporation en surface de l'eau y parvenant.

Le bois étant un matériau anisotrope, la circulation de l'eau ne s'effectue pas de la même façon dans les trois directions privilégiées :

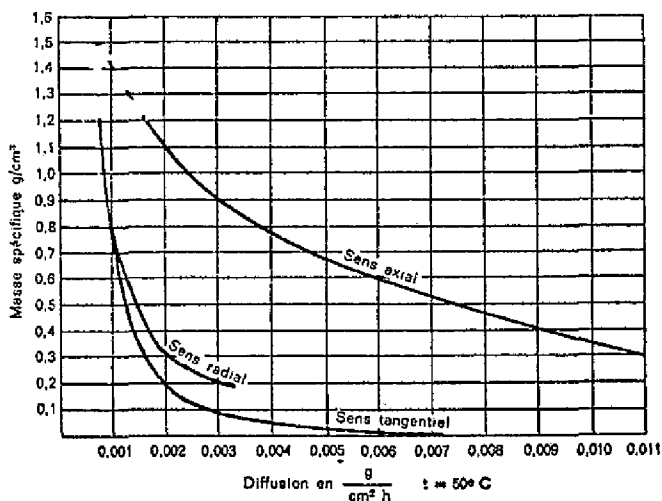
- axiales,
- radiales,
- tangentielles.

En fait, il existe un **chemin privilégié parallèle à la direction axiale**, constitué par les **vaisseaux du bois** et dans lequel l'eau circule relativement facilement. Ceci explique l'importance de la vitesse de circulation dans cette direction et la nécessité sur certains bois assez fendifs, de protéger le bout des pièces par un produit anti-fente, afin d'éviter une dessiccation trop rapide des extrémités. Le graphique de la figure 6 illustre ce phénomène. Toutefois, les vaisseaux peuvent être obstrués par des thylles ou des gommés et l'expérience ne confirme pas systématiquement la théorie.

Dans un plan perpendiculaire aux fibres, l'eau se déplace principalement soit par les rayons, soit par les fibres, mais beaucoup moins facilement que par les vaisseaux. Dans ce cas, le système le plus avantageux semble être celui des rayons ce qui explique que dans la pratique, les pièces sur dosse séchent plus vite que les pièces sur quartier puisque le déplacement de l'eau se fait radialement.

FIG. 6.

D'après A. Villière.



Formulation mathématique de la circulation de l'eau dans le bois.

Soit un élément de substance conductrice :

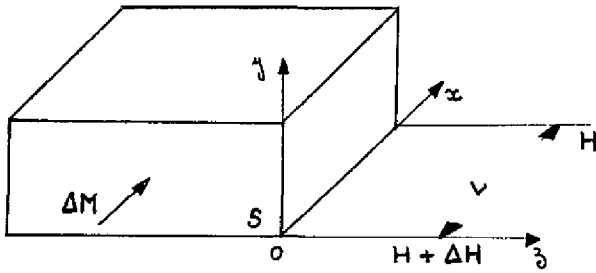


FIG. 7.

ΔM = la masse d'eau déplacée pendant le temps t .

Débit : $\Delta M/t$.

Gradient d'humidité : $\Delta H/L$ par unité de longueur.

Conductance (K) :

$$K = \frac{\text{débit}}{\text{section} \times \text{gradient}} = \frac{\text{flux}}{\text{gradient}}$$

avec :

$$\frac{\text{débit}}{\text{section}} = \text{flux}$$

et :

$$K = \frac{\Delta M/S \cdot t}{\Delta H/L}$$

Si L et t sont petits, alors :

$$\begin{aligned} L &\rightarrow \Delta x \\ t &\rightarrow \Delta t \end{aligned}$$

$$K = \frac{\Delta M/S \cdot \Delta t}{\Delta H/\Delta x}$$

d'où :

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = K \cdot S \cdot \frac{\Delta H}{\Delta x}$$

K conductance dépend de la direction envisagée et de la nature de l'espèce.

Si Δt , Δx , et S sont des infiniment petits on aboutit à l'équation différentielle :

$$\frac{\partial M}{\partial t} = K \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{dH}{dx}$$

Or : $H = f(M)$ car :

Si M est la masse à l'humidité H , et M_0 à l'état anhydre :

$$H = \frac{M - M_0}{M_0} \Rightarrow H = f(M)$$

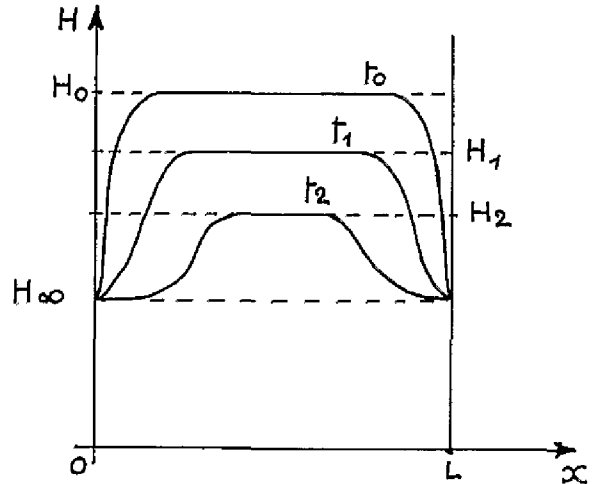


FIG. 8.

et réciproquement M est une fonction de H variable dans le temps au cours du séchage :

$$M = f(H) \text{ avec } H = f(t) \Rightarrow M = f(H, t)$$

H varie selon l'axe Ox , et si on se ramène aux coordonnées Ox, Oy, Oz , il vient :

$$M = f(x, t)$$

On peut donc remplacer M par H mais étant donné que M est fonction de x et t , on doit introduire des dérivées partielles et :

$$\frac{\partial H}{\partial t} = d \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$$

d est le coefficient de conduction. Il s'agit d'une constante à température et pression constantes et s'exprime en m^2/s .

En fait, d est fonction :

- de l'essence,
- de la pression,
- de la température du bois, mais aussi de l'humidité, ce qui contribue à augmenter la quantité d'eau à évacuer par unité de temps en début de séchage par rapport à la fin du traitement.

La figure 8 permet de déduire les valeurs de d .

L'équation différentielle trouvée n'est pas intégrable directement et doit être décomposée en séries de Fourier. Le tracé de la courbe $H = f(x)$ fait apparaître alors la forme de la distribution de l'eau dans le bois.

En fait, le coefficient de circulation de l'eau dans le bois (fig. 6) est le critère généralement retenu et mesuré. Il est lié au coefficient de conduction d .

Facteurs extérieurs susceptibles d'influencer la circulation naturelle de l'eau.

— Température du bois : le coefficient de circulation de l'eau dans le bois augmente avec la température.

Coeff. de circulation (cm/s)

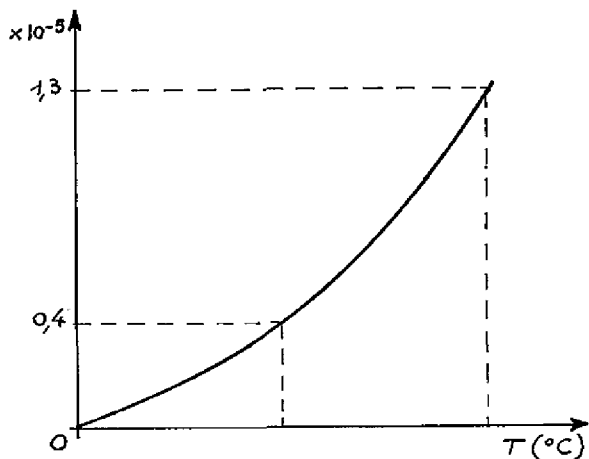


FIG. 9. D'après A. Villière.

— Pression de l'air : le coefficient de circulation de l'eau dans le bois augmente quand la pression diminue.

Coeff. de circulation (cm/s)

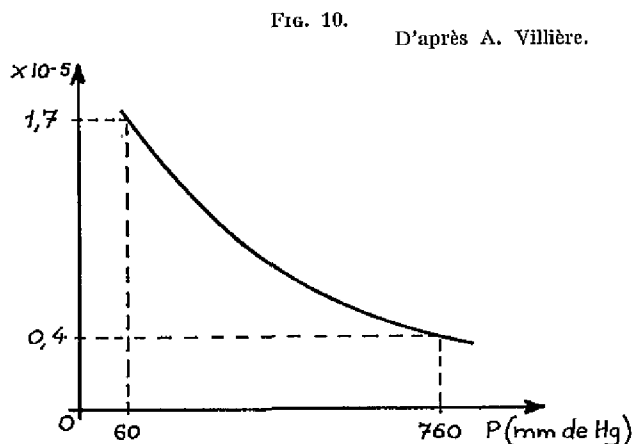


FIG. 10. D'après A. Villière.

Pression de l'air et température du bois sont les deux facteurs fondamentaux sur lesquels on peut jouer pour augmenter la vitesse de circulation de l'eau et donc, réduire la durée du séchage.

Le séchage est une opération en deux étapes : on amène une certaine quantité d'eau à la surface des pièces en jouant sur les critères que nous venons de définir, et dans un deuxième temps on l'évapore en intervenant sur l'aptitude de l'air à absorber une certaine quantité d'eau.

Plus l'air est sec et plus son pouvoir d'absorption (ou d'évaporation) est élevé. En pratique, il est impossible d'avoir un air trop sec car le cas théorique idéal dont on doit chercher à se rapprocher est défini par la loi.

Quantité d'eau parvenant sur la surface S pendant le temps t = Quantité d'eau évaporée sur la surface S pendant le temps t .

D'où la nécessité de maintenir le bois dans une ambiance relativement humide afin de tendre le plus possible vers l'égalité précédente. En effet, la quantité d'eau évaporée tend toujours en séchage à être supérieure à la quantité d'eau parvenant à la surface.

La circulation de l'air (ventilation forcée) a pour but d'évacuer l'air chargé de vapeur d'eau et à le remplacer par un air aux caractéristiques d'évaporation optimum.

REMARQUE : Si l'air est trop sec, il évapore beaucoup plus d'eau qu'il n'en parvient à la surface et provoque un dessèchement des zones superficielles entraînant un retrait rapide en surface d'où des phénomènes de cimentation ou de création de tensions provoquant l'apparition de fentes et de déformations.

Le séchage artificiel tendra donc à réaliser le compromis le plus judicieux entre tous ces facteurs.

LE SÉCHAGE DU BOIS

GÉNÉRALITÉS. RAPPELS

L'opération se décompose donc en deux phases :

- diffusion de l'eau dans le bois,
- évaporation en surface.

Au cours du séchage, trois phénomènes essentiels doivent être pris en considération :

a) L'équilibre hygroscopique du bois. Comme tous les corps poreux hygroscopiques, le bois perd une partie de son eau dès qu'il est exposé à l'air.

Le degré d'humidité du bois s'abaisse jusqu'à ce qu'il vienne en équilibre avec celui de l'atmosphère. C'est l'équilibre hygroscopique du bois.

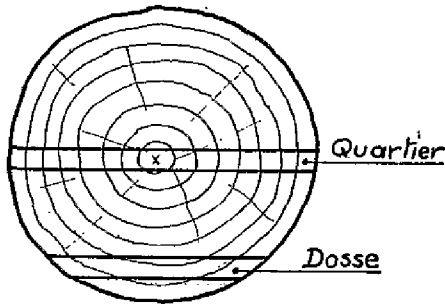


Fig. 11.

b) Le séchage d'un bois « vert » est rapide après sciage. L'évaporation de l'eau en surface se fait assez vite, puis ralentit progressivement en raison de la diffusion de l'humidité interne vers les parties superficielles plus sèches jusqu'à l'état d'équilibre hygroscopique du bois avec l'atmosphère.

L'eau circule :

- rapidement dans le sens axial,
- moins vite dans le sens radial,
- lentement dans le sens tangentiel du bois.

REMARQUES : Les planches débitées sur quartier sèchent plus lentement que celles débitées sur dosse (fig. 11).

Les bois lourds sèchent plus lentement que les bois légers.

c) La répartition de l'humidité dans le bois doit devenir régulière dans toute sa masse.

Les parties externes étant plus sèches que les parties internes, ce gradient crée des tensions qui entraînent des fentes et des déformations après les opérations d'usinage.

REMARQUE : Bien souvent, les déformations sont attribuées à tort à un séchage insuffisant alors qu'elles sont dues à un séchage irrégulier.

LE SÉCHAGE A L'AIR

Le séchage à l'air présente :

— l'avantage de donner de bons résultats sans installation coûteuse ;

— de multiples inconvénients : il est assez lent ; il impose un stock de bois important ; il immobilise

un capital, le paiement d'une prime d'assurance assez lourde ; il s'accompagne de manutentions fréquentes ; il ne détruit pas les insectes ni les champignons ; il offre un bois dont le degré d'humidité final peut être insuffisant pour l'utilisation à laquelle on le destine.

Les chantiers.

1) LES CONDITIONS REQUISES PAR LES CHANTIERS.

a) Un sol de préférence minéral. Les terrains humides, même bien drainés, proches des rivières, favorisent le développement des champignons.

b) Une situation à proximité des ateliers ou des usines pour qu'ils soient alimentés économiquement. Les voies d'accès doivent être en rapport avec l'importance du chantier.

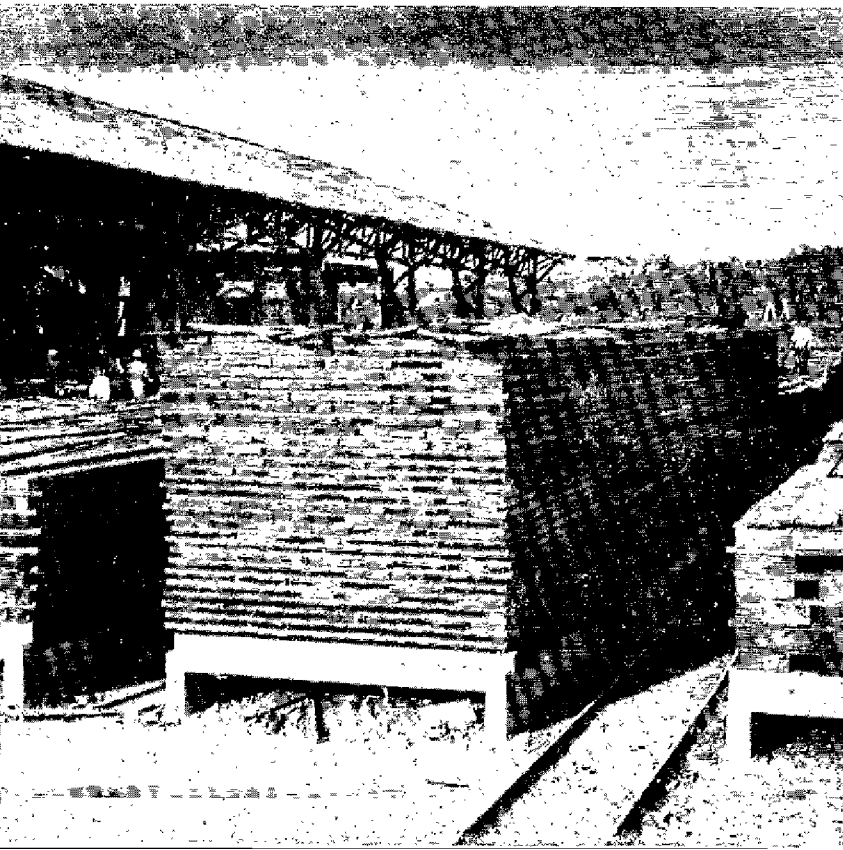
c) Une surface suffisante pour aménager :

- des allées empierrées ou cimentées de deux sortes :

- les unes principales, de 5 à 6 m de large, orientées perpendiculairement aux vents dominants. Elles servent au trafic intérieur du chantier et de pare-feux en cas d'incendie,

Dans une scierie de Côte d'Ivoire, les bois sèchent à l'air pendant 45 jours environ. Ils sont baguettés mais pas à l'abri des intempéries.

Photo Dubois,



— les autres secondaires, de 0,50 à 1,50 m de large pour permettre à l'air de circuler entre les piles de bois,

- des piles de bois pas trop élevées afin d'obtenir un séchage homogène des planches,
- éventuellement des points d'eau afin de lutter contre le feu.

2) LA PROPRIÉTÉ DES CHANTIERS.

Elle concerne l'absence :

- a) d'herbes vivantes ou mortes,
- b) de vieux bois ou autre matière organique en décomposition.

L'empilage du bois.

Deux modes d'empilage qui sont :

1) L'EMPILAGE DEBOUT.

Il permet d'obtenir le séchage accéléré des bois tendres qui possèdent un pourcentage d'eau élevé. Ce mode de séchage ne reste plus utilisé que dans des cas particuliers pour de très petites quantités de bois (peuplier, par exemple).

2) L'EMPILAGE HORIZONTAL.

C'est l'empilage le plus employé pour le séchage de toutes les essences de bois.

Avec les bois délignés, on édifie des piles de façon que l'air puisse circuler facilement autour des planches (fig. 12).

a) Les piles sont constituées :

- de lits de planches de même essence :
- de même épaisseur et de même longueur,
- de même degré d'humidité afin d'obtenir un séchage régulier,

- d'épingles qui séparent les lits de planches les uns des autres pour assurer la circulation de l'air,
- de chantiers supportés par des dés en maçonnerie (fondations).

NOTA : On peut remplacer les épingles par des planches lorsqu'elles ont peu de valeur (fig. 13).

b) La circulation de l'air dans les piles se manifeste par :

- des courants horizontaux produits par les vents locaux. Ils se déplacent à travers les piles de bois grâce :

- aux épingles qui séparent les lits de planches ou de madriers,
- et à la bonne orientation géographique des piles,

- des courants verticaux descendants causés par les différences de température à l'intérieur de la pile de bois dues à l'évaporation de l'eau (fig. 14).

C'est la circulation la plus importante. L'air absorbe l'eau parvenant à la surface des pièces. Il

EMPILAGE HORIZONTAL

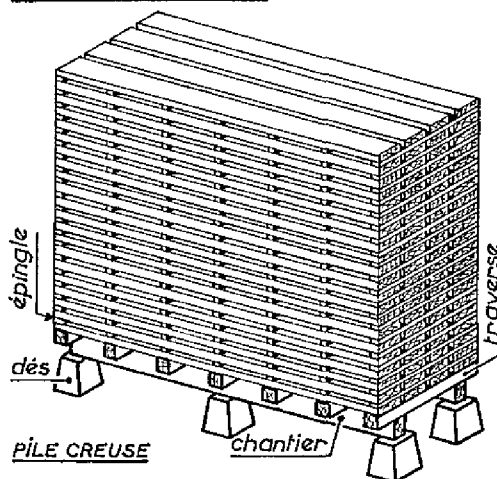


FIG. 12.

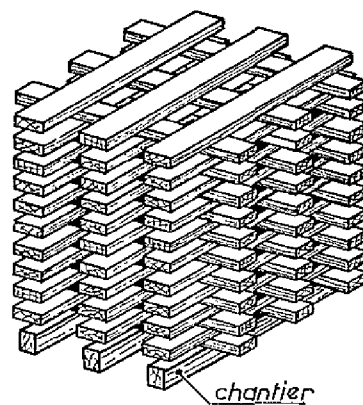


FIG. 13.

CIRCULATION DE L'AIR

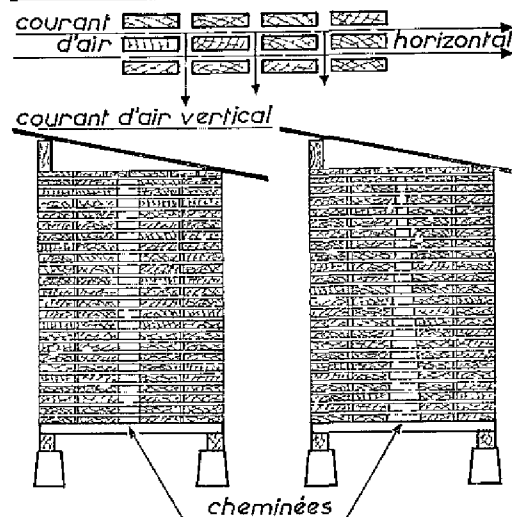


FIG. 14.

TOITURE

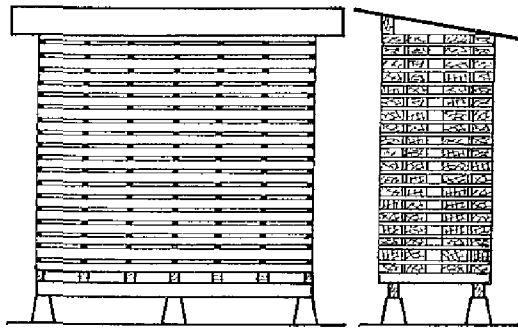


Fig. 15.

ÉCRANS

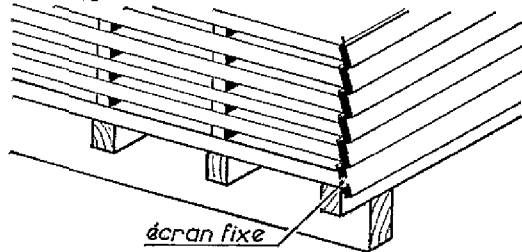


Fig. 16.

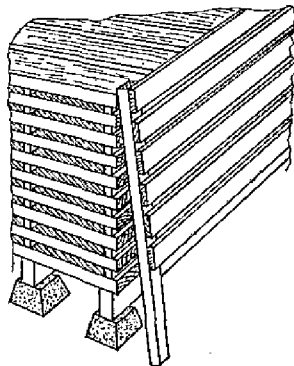


Fig. 17.

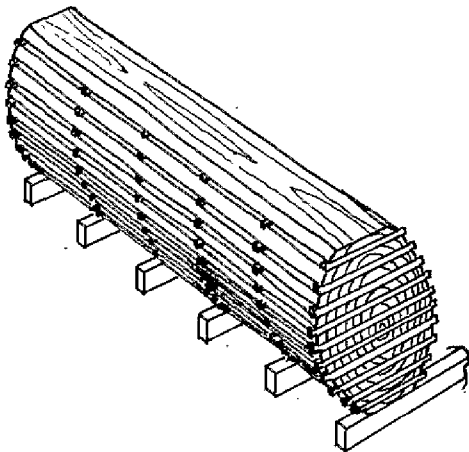


Fig. 18.

se refroidit, s'alourdit et descend du haut vers le bas de la pile. Il se forme ainsi un appel d'air qui favorise son renouvellement.

Le mouvement de l'air est efficace si l'on conserve :

- un espace de 2 à 3 cm entre les lits de planches,
- une cheminée de 20 à 30 cm de largeur au milieu de la pile (fig. 15),
- si l'on prévoit des fondations qui permettent l'évacuation de l'air humide à la base des piles grâce aux vents locaux,
- un espace de 0,50 à 1 m entre les piles.

e) Les piles sont orientées :

- de préférence par rapport aux vents secs dominants,
- parallèlement aux allées principales où peuvent se déplacer des chariots élévateurs utilisés pour les manutentions.

Les fondations peuvent être constituées :

- de dés en maçonnerie de 30 cm de hauteur,
- et de « chantiers » et traverses en bois disposés horizontalement.

REMARQUE : Les chantiers peuvent avoir une pente de 8 % environ.

— les épingles sont de section rectangulaire, presque carrée, en bois sain (sans tannin) séché à l'air,

- leur épaisseur varie entre 20 et 40 mm (20 à 30 mm en moyenne).

Les plus minces sont réservées à la partie supérieure des piles ou aux bois qui risquent de présenter des fentes de séchage en cas de traitement trop rapide.

Les plus épaisses sont placées à la base des piles sur 1/3 de leur hauteur ou utilisées pour quelques bois tendres,

- l'écartement des épingles est de 0,30 m pour les feuilletés, 0,60 m pour les planches, 0,90 m pour les madriers.

REMARQUES : il est bon :

- d'enlever les sciures avec une brosse avant d'empiler les planches,
- de disposer en ligne les épingles les unes au-dessus des autres,
- de ne pas les faire dépasser des piles de plus de 1 cm.

d) Les piles sont protégées contre les agents atmosphériques :

— des pluies et des neiges, par une couverture étanche (faite d'un matériau léger et solide) :

- disposée en pente de 10 ou 15 cm au-dessus des piles,
- débordant de 20 à 50 cm environ (fig. 19 sur les côtés ;

— du soleil, par des écrans qui maintiennent la



Photo Henrot.

Séchage de plateaux à l'air libre.

circulation de l'air. Ils peuvent être soit fixés et cloués à l'extrémité des plateaux (fig. 16), soit mobiles en forme de persiennes sommaires faites de voliges (fig. 17).

Les bois débités en plots sont épinglés en conservant l'ordre du débit des planches ou des plateaux (fig. 18).

Les piles de bois avec des débits en plots sont peu stables et occupent plus de place que les piles de bois délinés.

La durée du séchage à l'air.

Elle est variable et dépend :

- a) de la nature du bois,
- b) de l'épaisseur des débits,

c) du mode de débit des bois. L'humidité circulant plus facilement dans le sens radial que dans le sens tangentiel, les pièces débitées sur dosse sèchent plus vite que celles débitées sur quartier,

d) du climat, du site.

A titre indicatif, nous donnons quelques résultats d'essais effectués par le C. T. F. T. à Douala (Cameroun) :

— des pièces d'Iomba (*Pyrenanthus angolensis*) en 30 mm d'épaisseur ont séché en 30 jours (temps écoulé entre la tombée de scie et les conditions de stabilisation entre 19 et 20 % dans le climat de Douala),

— de la même façon, des pièces d'Azobé (*Lophira alata*) ont atteint leur taux de stabilisation en 50 jours.

(A suivre).