

Photo Centre Technique du Bois, Paris.

Piscine à Aulnay-sous-Bois (Seine-Saint-Denis).

CHARPENTES LAMELLÉES COLLÉES EN BOIS TROPICAUX

par J. BEDEL, R. GAUTIER
Ingénieurs au Centre Technique Forestier Tropical.

SUMMARY

GLUED LAMINATED STRUCTURES FROM TROPICAL HARDWOODS

A steep rise of build in the field of glued laminated structures occurred in most developed countries since last world war. The advantages of such structures are wellknown, and the range of their uses increases day after day. Just now, the timbers most widely used are softwoods from Northern Areas. It has appeared most interesting to the Centre

Technique Forestier Tropical to test the best tropical hardwoods, in order to determine if they could be used for laminated structures, to be built either in Europe or in developing countries where timbers are easily available.

Until now, these tests, some of which are to be completed, seem to be quite encouraging. Nevertheless, as far as tropical countries are concerned, there remain, in the field of structure manufacturing, a few drawbacks, lately overcome on the spot, that is in Tropical Africa, where gluing and building conditions are most difficult.

After a short history and general considerations upon glued laminated structures, this paper is to deal with manufacturing conditions, glues commonly used, convenient tropical timbers, then with the tests, carried out in Technology laboratories of the Centre Technique Forestier Tropical, both in Paris and in Libreville (Gabon).

RESUMEN

ESTRUCTURAS LAMINARES ENCOLADAS DE MADERAS TROPICALES

En la mayor parte de los países industrializados se asiste, desde la última guerra mundial, a un prodigioso desarrollo de la construcciones, en las cuales se utilizan las estructuras de madera laminar encolada. Las ventajas de estas estructuras son perfectamente conocidas y la lista de sus utilidades es cada día más importante. Las maderas empleadas actualmente en mayor proporción son las coníferas de los países nórdicos. El Centre Technique Forestier Tropical ha pensado que sería interesante proceder a pruebas utilizando las mejores maderas tropicales frondosas, con objeto de determinar si las mismas podían ser empleadas para las estructuras laminadas encoladas, ya sea construidas en Francia, o bien en los países en vías de desarrollo, en los cuales la madera es abundante.

Hasta la fecha, estas pruebas — algunas de las cuales deberán ser aún completadas — parecen dar resultados perfectamente alentadores. No obstante, por lo que se refiere a los países tropicales, las pruebas efectuadas no son aún bastante numerosas y pueden subsistir algunas incertidumbres. Este género de dificultades parece haber sido vencido en los países de Africa Tropical, en los cuales las condiciones de construcción y de encolado son más fáciles.

Después de un corto resumen histórico y de diversas consideraciones acerca de las estructuras laminadas encoladas, este artículo trata de las condiciones de realización, de las colas utilizadas con mayor frecuencia, de las especies tropicales más adecuadas y, asimismo, de las pruebas realizadas en los laboratorios del Centre Technique Forestier Tropical de Nogent y de Libreville (Gabón).

LA CHARPENTE LAMELLÉE-COLLÉE

HISTORIQUE

On a utilisé jusqu'à une époque récente en matière de charpentes du bois massif avec des assemblages traditionnels : tenon et mortaise, embrèvement... Récemment sont apparues les charpentes triangulées, qui permettent une grande économie de matière, et des structures plus légères et plus résistantes, les assemblages se faisant par pointes ou boulons.

Les structures à âme pleine multiplient les points de contact des divers éléments, l'âme pouvant être constituée de planches jointives ou de panneaux de contre-plaqué, avec des profils divers.

HETZER imagina, vers 1906, en Allemagne, de lier les éléments entre eux de façon parfaitement continue avec de la colle à la caséine. Le système Hetzer connut un certain succès dans les pays avoisinants, en particulier en Suisse, où la tour de l'Université de Zurich, construite en 1913, comprend de nombreux éléments collés. Il s'écoule une trentaine d'années avant que cette technique ne se répandit aux U. S. A. et au Canada, qui sont actuellement les pays où l'on rencontre le plus d'ouvrages lamellés-collés.

Ce n'est que vers 1955 en France, avec le développement des résines synthétiques, que commencèrent les premières réalisations lamellées-collées. Actuel-

lement ce mode de construction est très répandu et connaît la faveur des architectes. Les réalisations en France sont nombreuses et souvent spectaculaires.

On peut citer en particulier la charpente du stade couvert de l'Institut National des Sports à Joinville avec 92 m de portée et 138 m de long, le hall d'exposition de Tours avec 100 m × 100 m d'une seule portée, le hall industriel de la Société Ugine Kulmann à Rouen avec 19.491 m² de surface couverte.

Ces dernières années, le développement de la charpente lamellée-collée a été très important, puisque les surfaces couvertes sont passées d'environ 120.000 m² en 1962 à environ 630.000 en 1970, ce qui représente une progression moyenne de près de 25 % par an. A cet égard, le VI^e plan se montre prudent, puisqu'il ne prévoit qu'un développement de 10 % par an. On peut estimer que ces prévisions seront largement dépassées, malgré la pénurie récente de colle résorcine, la plus utilisée en France.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La technique du lamellé-collé consiste à coller les uns sur les autres des débits de faibles sections appelés plis, de façon à obtenir des poutres de sec-

tion généralement rectangulaire, parfois en forme de I, d'importance variable, fonction des contraintes subies en chaque point par la poutre. Cette technique est utilisée essentiellement en charpente, mais peut s'adapter à d'autres utilisations : pont, poteaux, etc... Elle présente un certain nombre d'avantages :

— d'ordre technique et économique ;

— meilleure réparation des défauts du bois, rendant le matériau nouveau plus homogène et améliorant très sensiblement ses performances mécaniques ;

— simplification des calculs de charpentes lamellées-collées, ceux-ci s'apparentant aux calculs béton. La tendance des promoteurs ou des bureaux d'études s'intéressant au lamellé-collé se porte actuellement vers une normalisation des méthodes de calcul permettant une diminution des coûts de mise en œuvre ;

— possibilité de réaliser plus économiquement de grandes portées donnant au lamellé-collé la priorité sur d'autres techniques (charpente métallique ou en béton précontraint), chaque fois que sont érigés des ouvrages tels que : stades couverts, halls d'exposition, etc... ;

— grande résistance du bois et des colles vis-à-vis de la corrosion par les produits chimiques conférant aux charpentes lamellées-collées une bonne tenue dans les usines de fabrication ou magasins de stockage de certains produits chimiques ;

— remarquable résistance du bois au feu : alors qu'une charpente métallique se déforme et s'effondre rapidement en cas d'incendie, une charpente lamellée-collée se consume très lentement, seules, les parties externes des pièces sont carbonisées, l'intérieur reste intact ; si les sections initiales sont suffisantes, les zones épargnées par le feu peuvent encore supporter l'ensemble ;

— économie sur le prix des fondations. La charpente en bois lamellée-collée, plus légère que la charpente métallique ou la charpente en béton, autorise des fondations moins étendues et moins profondes, donc plus économiques ;

— d'ordre esthétique ;

— l'utilisation de profils et sections variables, indépendamment du fait qu'elle correspond à une économie de matière autorise des formes géométriques très pures particulièrement esthétiques ;

— le matériau bois est en lui-même un élément de décoration primordial par sa chaleur ; par ailleurs il se combine toujours harmonieusement avec d'autres matériaux en particulier le béton brut et le verre ;

— ces caractéristiques font en général préférer le lamellé-collé à des matériaux concurrents chaque fois que l'aspect esthétique est déterminant. On

peut signaler à ce propos la construction de nombreuses chapelles.

Actuellement la technique du lamellé-collé est très peu pratiquée en zone tropicale et elle est peu connue en Afrique francophone. Cependant, elle est appelée à se développer, quelques promoteurs commencent à s'y intéresser, et des projets prennent forme. En effet :

— le développement de la construction en bois correspond à une utilisation rationnelle des importantes réserves de bois de nombreux pays africains ;

— l'originalité et les performances techniques et esthétiques qu'autorise le lamellé-collé sont tout à fait propres à séduire les dirigeants des jeunes pays africains, généralement très ouverts à toute technique moderne.

Il est donc apparu nécessaire au CTFT de mettre en place un ensemble d'essais pour préciser certaines données notamment :

— le choix des essences susceptibles d'être employées pour la fabrication de lamellé-collé,

— l'aptitude au collage de ces essences,

— l'évolution des éléments lamellés-collés en climat équatorial.

La présente note se propose d'établir les conclusions auxquelles les premiers essais ont permis d'aboutir. Nous avons jugé opportun d'y intégrer une rapide description d'une chaîne de fabrication de poutres lamellées-collées. Il existe, en effet, dans ce domaine une littérature assez dispersée, difficile d'accès à un industriel qui voudrait, en Afrique, se lancer dans la fabrication de lamellés-collés.

On remarquera que nos essais ont porté également sur des essences asiatiques. Il nous est apparu, en effet, nécessaire d'avoir une première connaissance des possibilités d'utilisation en lamellé-collé d'essences actuellement bien connues sur le marché des bois tropicaux. Il n'est pas impossible que, face aux besoins sans cesse croissants de l'industrie du lamellé-collé, et devant les difficultés de plus en plus grandes d'approvisionnement en résineux des zones tempérées, on ne s'oriente à l'avenir, vers l'utilisation en Europe, de bois tropicaux, pour les charpentes de ce type.

FABRICATION DES CHARPENTES LAMELLÉES-COLLÉES

La fabrication de charpentes lamellées-collées comprend une suite d'opérations relativement simples, mais dont la coordination nécessite une organisation très poussée, et qui doivent être contrôlées très strictement.

Séchage des éléments.

D'une part, les planches utilisées doivent être séchées jusqu'au taux d'humidité optimum pour le collage. Ce taux se situe aux environs de 12 % pour les résines synthétiques. Dans la pratique, l'humidité du bois varie de 12 à 15 % ; il est donc bien évident que sous les climats humides le bois doit être séché en séchoir, éventuellement en complément d'un séchage à l'air.

D'autre part, la différence d'humidité entre lamelles ne doit pas excéder 3 %, ceci afin d'éviter le cisaillement dans les joints de colle à la suite des variations dimensionnelles des lamelles au cours de leurs changements d'humidité. Pour la même raison, il est conseillé d'appareiller les éléments, dosse sur dosse, quartier sur quartier, pour éviter les différences de retrait. Dans le cas de certains bois tropicaux, cette précaution serait moins importante.

Si l'on désire coller des bois d'essences différentes il importe de veiller à ce que les retraits soient très proches d'une essence à l'autre.

Stabilisation.

Après séchage, les éléments sont laissés à stabiliser afin que leurs humidités s'équilibrent pour les raisons évoquées plus haut, cette opération est particulièrement importante.

Élimination des défauts.

Celle-ci comprend :

- P'élimination des fentes ;
- P'élimination des nœuds (plus rares sur les bois tropicaux que sur les résineux, où l'on n'élimine pas les nœuds sains et adhérents) ;
- P'élimination des échauffures et grosses attaques d'insectes. Ces altérations peuvent se rencontrer chez certains bois tropicaux sensibles aux attaques des insectes et des champignons, comme le Fraké, par exemple, s'il a été insuffisamment traité. Par contre, les piqûres mortes, de faible diamètre, assez fréquentes chez cette essence, ne compromettent généralement guère ses propriétés mécaniques.

Jointage en bout.

Cette opération parfois effectuée après rabotage est presque toujours nécessaire quand les arcs à exécuter atteignent une certaine longueur. On peut exécuter :

— un biseau, plat ou à décrochement, de pente généralement égale à 1/10^e ;

— un assemblage en doigts de gant, de préférence de grande profondeur.

Rabotage des éléments.

Le but de cette opération est d'obtenir des éléments d'épaisseur rigoureusement constante afin d'éviter des irrégularités d'épaisseur du joint de colle, les joints de colle épais étant à proscrire en raison de leur faible résistance mécanique.

Les fers devront être bien affûtés pour que la surface usinée soit aussi plane que possible.

Encollage.

Les éléments devront être encollés le plus rapidement possible, après rabotage, afin d'éviter la détérioration de leur surface par des salissures ou des dépôts de poussières. L'encollage se fait habituellement au moyen d'une encolleuse à rouleaux, de préférence sur les deux surfaces en contact (double encollage). Dans ces conditions, le grammage est d'environ 300 g/m².

Mise en forme et pressage.

Immédiatement après l'encollage, les pièces sont empilées, le plus souvent directement sur gabarit. On veille à ce que les joints en bout ne se superposent pas, car ce sont des points de moindre résistance. Les empilements, mis en place sur les supports de gabarit, sont serrés pour s'appliquer sur le gabarit et être mis en pression. Les gabarits sont mobiles, et fixés au sol lors du serrage. Celui-ci est assuré par des dispositifs à vis variés ou des vérins hydrauliques, assez rapprochés pour pouvoir appliquer une pression uniforme et élevée (jusqu'à 15 kg/cm²).

Le temps qui s'écoule entre la préparation de la colle et la mise sous pression doit être aussi court que possible, et inférieur à la durée pratique d'utilisation de la colle, généralement indiquée par le fabricant, en fonction de la température.

La polymérisation est considérablement accélérée par la chaleur ; en pays tropicaux on aura donc intérêt à utiliser des colles résorcine dont la durée d'utilisation est longue (colles lentes ou à retardateur de prise).

Finition.

Les poutres collées sont laissées à stabiliser au moins quinze jours à l'abri, pour permettre la polymérisation complète de la colle. On pratique

ensuite les travaux de finition usuels : suppression des gouttes et des trainées de colle, rabotage et ponçage, tronçonnage pour suppression des bouts où les collages sont toujours moins résistants. Ensuite a lieu généralement une hydrofugation de surface, pour prévenir les variations d'humidité.

Bois tropicaux utilisables en charpente lamellée-collée.

Pour être utilisables en charpente lamellée-collée, les essences tropicales doivent être disponibles en quantité suffisante, d'un prix abordable, bien connues des scieurs et présenter des caractéristiques physiques et mécaniques favorables. Elles doivent enfin avoir une bonne durabilité ou se prêter facilement aux traitements de préservation.

Les propriétés physiques à rechercher sont :

- un retrait relativement peu élevé (rétractibilité volumétrique totale inférieure à 15 %) ;
- un rapport retrait tangentiel/retrait radial peu élevé, inférieur à 1,8, ce facteur condition-

nant la propension des lamelles à se déformer au cours du séchage ;

— un séchage facile et sans risque de grosses pertes. Ce facteur n'encourage pas l'utilisation de bois de densité élevée, supérieure à 0,80 (car ces bois sont généralement lents ou difficiles à sécher) ;

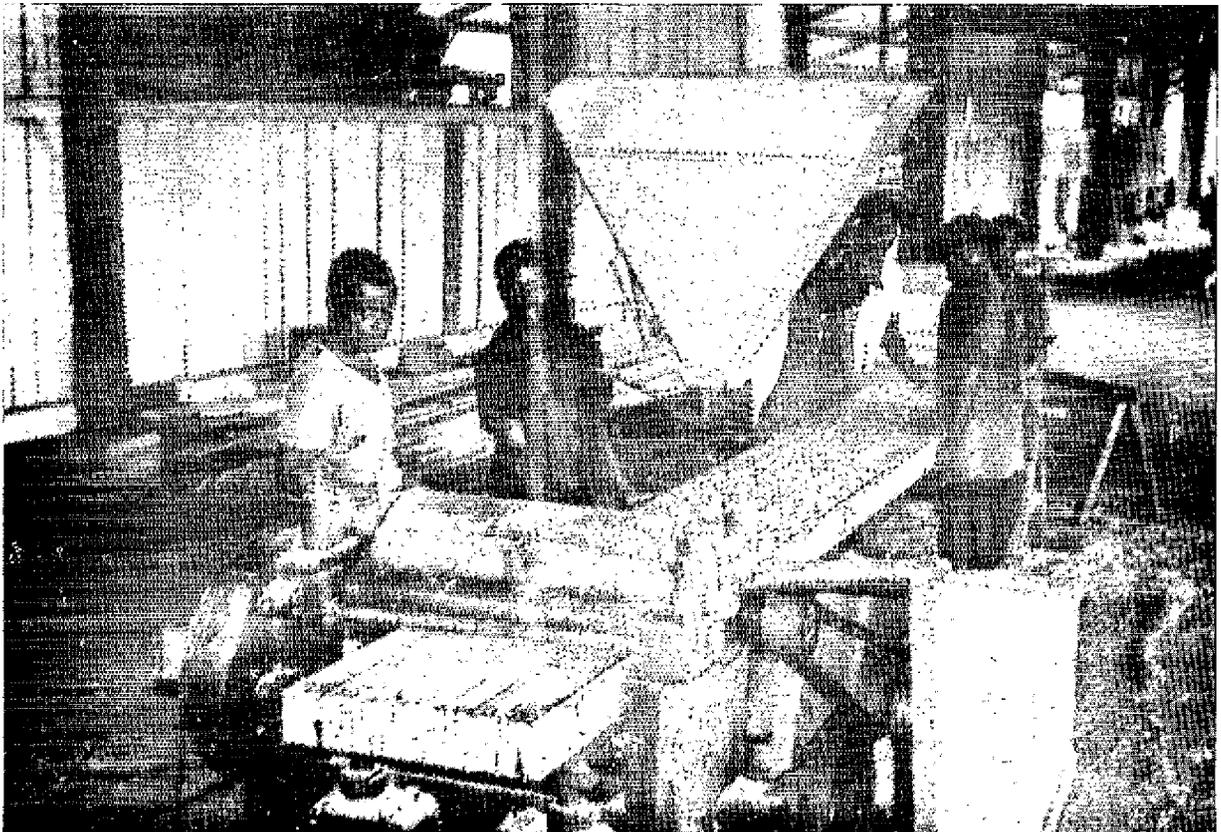
— un contrefil limité : le contrefil est en principe gênant pour le collage, et cause souvent aussi des déformations parmi les pièces minces en cours de séchage. De plus, il semble que le fluage des poutres soit plus important quand les éléments constitutifs sont contrefilés.

Parmi les caractéristiques mécaniques interviennent surtout :

- la fissilité ;
- la résistance au cisaillement longitudinal ;
- la résistance en flexion statique F et la cote de flexion $\frac{F}{100D}$ (de l'ordre de 20) ;

Une étape de la fabrication des premières poutres lamellées collées (ici du Fraké) en Afrique.

Photo Uhalde.



— l'élasticité (permettant le cintrage) caractérisée par la cote de raideur L/f ($L =$ portée et $f =$ flèche au moment de la rupture) ;

— le module d'élasticité qui doit être au moins égal à celui admis pour les résineux du Nord : 100.000 kg/cm^2 .

Sur la base de ces critères, on peut indiquer 9 essences qui paraissent susceptibles de convenir à ces travaux : le Fraké ou Limba, l'Ozigo, l'Olon tendre, le Movingui, Le Makoré et le Douka, le Kotibé, l'Iroko, le Framiré, le Bété.

Pour chacune d'elles, nous avons résumé les propriétés les plus intéressantes pour la charpente lamellée-collée. En tête, nous avons fait figurer l'Épicéa, essence de référence européenne, à des fins de comparaison.

D'autres essences tropicales peuvent également convenir, citons : l'Angélique, le Méranti, le Lauan, le Niangon, le Sipo...

Comme on le verra plus loin, toutes les essences citées n'ont pas encore fait l'objet d'essais de charpente lamellée-collée (seuls le Fraké, l'Iroko, le Movingui, l'Angélique, le Dark red Méranti, l'Ozigo ont été essayés) et par contre, pour des raisons qui seront indiquées, des essences non mentionnées (Bilinga, Huynh) ont fait l'objet d'essais.

ÉPICÉA

Picea excelsa — Europe du Nord

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D .	0,43 à 0,50	0,47
Retrait total B %	14,4 à 15,7	15,0
Coefficient de rétractibilité v %	0,40 à 0,47	0,43
Retrait tangentiel T %	10,3 à 11,3	10,8
— radial R %	4,8 à 5,0	4,9
Rapport T/R	2,2	

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm^2	82	
Flexion statique F kg/cm^2	958 à 1.108	1.033
Côte de flexion F/100 D	21 à 23	22
Module d'élasticité E kg/cm^2	100.000	

SÉCHAGE : rapide et facile.

DURABILITÉ : médiocre résistance aux attaques des champignons. Non résistant aux attaques du capricorne des maisons et des termites.

FRAKÉ — LIMBA

Terminalia superba

(Congo, Côte-d'Ivoire, Cameroun, Gabon, R. C. A.)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D ...	0,42 à 0,73	0,53
Retrait total B %	9,1 à 14,7	11,8
Coefficient de rétractibilité v %	0,26 à 0,51	0,40
Retrait tangentiel T %	4,4 à 8,7	6,6
— radial R %	3,3 à 6,4	4,9
Rapport T/R	1,2 à 2,1	1,35

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm^2	29 à 100	67
Flexion statique F kg/cm^2	764 à 1.603	1.120
Côte de flexion F/100 D	16,4 à 24,6	20,5
Côte de raideur L/f	23 à 51	35
Module d'élasticité kg/cm^2	103.000	

SÉCHAGE : rapide et facile.

DURABILITÉ : assez faible, attaqué par les lyctus. S'imprègne bien par tous les procédés.

OBSERVATIONS : la présence de piqûres mortes et de veines colorées (noires) sur certains bois a handicapé jusqu'à présent la commercialisation de cette essence par ailleurs très intéressante.

OZIGO

Dacryodes buettneri (Gabon)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D .	0,50 à 0,69	0,59
Retrait total B %	11,1 à 17,8	13,3
Coefficient de rétractibilité v %	0,31 à 0,60	0,42
Retrait tangentiel T %	6,3 à 9,8	8,0
— radial R %	5,0 à 7,4	5,6
Rapport T/R	1,2 à 1,8	1,4

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm^2	57 à 90	70
Flexion statique F kg/cm^2	1.023 à 1.640	1.300
Côte de flexion F/100 D	17 à 25	22
Côte de raideur L/f	26 à 43	34
Module d'élasticité kg/cm^2	112.000	

SÉCHAGE : lent.

DURABILITÉ : bois d'assez faible durabilité, mais non attaqué par les lyctus.

OBSERVATIONS : cette essence, bien connue au Gabon apparaît souvent un peu « nerveuse ». Le bois est assez contrefilé.

OLON TENDRE

Fagara heitzii (Gabon)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D ..	0,46 à 0,56	0,52
Retrait total B %	9,9 à 12,4	11,6
Coefficient de rétractibilité... v %	0,22 à 0,48	0,38
Retrait tangentiel T %	6,1	
— radial R %	3,9	
Rapport T/R	1,6	

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Flexion statique kg/cm ²	1.040 à 1.240	1.123
Cote de flexion F kg/cm ²	20,4 à 24,3	21,8
Cote de raideur L/f	29 à 40	34
Module d'élasticité kg/cm ²	102.000	

SÉCHAGE : assez rapide et facile.

DURABILITÉ : bois d'assez faible durabilité, mais non attaqué par les lyctus.

MOVINGUI

Distemonanthus benthamianus (Cameroun)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité	0,57 à 0,86	0,71
Retrait total B %	10,0 à 20,9	12,8
Coefficient de rétractibilité... v %	0,40 à 0,85	0,59
Retrait tangentiel T %	5,6	
— radial R %	3,5	(1 seul essai)
Rapport T/R	1,6	

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Flexion statique kg/cm ²	1.430 à 1.805	1.680
Cote de flexion F kg/cm ²	22 à 27	24
Cote de raideur L/f	24 à 35	31
Module d'élasticité kg/cm ²	109.000	

SÉCHAGE : lent.

DURABILITÉ : bois de bonne durabilité, non attaqué par les lyctus.

OBSERVATIONS : parfois un peu « nerveuse », cette essence apparait comme un très bon bois de charpente.

MAKORÉ — DOUKA

Tieghemella heckelii (Côte-d'Ivoire, Ghana)

— *africana* (Cameroun, Gabon, Congo)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D	0,59 à 0,72	0,66
Retrait total B %	12,3 à 14,3	12,8
Coefficient de rétractibilité... v %	0,40 à 0,53	0,44
Retrait tangentiel T %	7,5 à 8,7	8,1
— radial R %	6,2 à 6,8	6,5
Rapport T/R	1,25	

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm ²	79 à 114	94
Flexion statique F kg/cm ²	770 à 1.684	1.280
Cote de flexion F/100 D	13,0 à 23	19
Cote de raideur L/f	27 à 33	30
Module d'élasticité kg/cm ²	113.000	

SÉCHAGE : lent.

DURABILITÉ : très bonne durabilité, non attaqué par les lyctus. Excellente résistance aux termites.

OBSERVATIONS : ce bois, de plus en plus apprécié en menuiserie extérieure, ne devrait pas poser de difficultés de mise en œuvre pour la charpente lamellée-collée.

KOTIBÉ

Nesogordonia Papaverifera (Côte-d'Ivoire)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D	0,66 à 0,83	0,76
Retrait total B %	13,2 à 16,8	14,6
Coefficient de rétractibilité v %	0,38 à 0,62	0,48
Retrait tangentiel T %	5,0 à 9,4	8,0
— radial R %	5,0 à 6,2	5,6
Rapport T/R	1,5	

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm ²	82 à 87	85
Flexion statique F kg/cm ²	1.400 à 2.020	1.740
Cote de flexion F/100 D	18 à 25	23
Cote de raideur L/f	17 à 37	23
Module d'élasticité kg/cm ²	112.000	

SÉCHAGE : lent et prudent.

DURABILITÉ : très bonne, non attaqué par les lyctus, très bonne résistance aux termites.

OBSERVATIONS : ce bois, dont le séchage devra être mené avec prudence offre des résistances élevées et conviendrait donc pour des ouvrages spéciaux.

IROKO

Chlorophora excelsa

(Côte-d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Cameroun, Congo)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D	0,56 à 0,75	0,66
Retrait total B %	7,8 à 11,5	10,1
Coefficient de rétractibilité... v %	0,32 à 0,53	0,44
Retrait tangentiel T %	4,6 à 7,5	5,8
— radial R %	3,2 à 4,6	3,7
Rapport T/R	1,30 à 1,95	1,55

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm ²	54 à 103	76
Flexion statique F kg/cm ²	960 à 1.590	1.280
Cote de flexion F/100 D	14 à 27	19
Cote de raideur L/f	18 à 49	31
Module d'élasticité kg/cm ²	105.000	

SÉCHAGE : facile.

DURABILITÉ : très bonne, non attaqué par les lyctus. Très bonne résistance aux termites.

FRAMIRÉ

Terminalia ivorensis (Côte-d'Ivoire, Ghana)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D ..	0,41 à 0,67	0,51
Retrait total B %	8,5 à 12,1	11,1
Coefficient de rétractibilité... v %	0,29 à 0,46	0,36
Retrait tangentiel T %	4,5 à 7,4	5,4
— radial R %	2,9 à 4,8	3,5
Rapport T/R	1,35 à 1,60	1,55

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm ²	41 à 75	60
Flexion statique F kg/cm ²	811 à 1.265	1.058
Cote de flexion F/100 D	19 à 23	21
Cote de raideur L/f	26 à 38	31
Module d'élasticité kg/cm ²	96.000	

SÉCHAGE : facile.

DURABILITÉ : bonne, bois parfait, peu distinct, non attaqué par les lyctus.

OBSERVATIONS : le cœur est parfois altéré.

BÉTÉ

Mansonia altissima

(Côte-d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Cameroun)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

		Moyenne
Densité à 12 % d'humidité D ..	0,59 à 0,72	0,66
Retrait total B %	10,5 à 14,5	11,7
Coefficient de rétractibilité... v %	0,34 à 0,52	0,43
Retrait tangentiel T %	7,1 à 9,7	8,0
— radial R %	4,1 à 5,7	4,9
Rapport T/R	1,55 à 1,85	1,65

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (à 12 % d'humidité).

		Moyenne
Cisaillement kg/cm ²	66 à 98	82
Flexion statique F kg/cm ² ..	1.310 à 1.802	1.567
Cote de flexion F/100 D	20 à 26	24
Cote de raideur L/f	21 à 27	24
Module d'élasticité kg/cm ²	112.000	

SÉCHAGE : assez facile, mais le bois a tendance à se fendre.

DURABILITÉ : bois de bonne durabilité, non attaqué par les lyctus, excellente résistance aux termites.

L'examen de ces caractéristiques fait apparaître une majorité de bois de densité moyenne, comprise entre 0,60 et 0,75.

Les trois bois les moins denses : Fraké, Framiré et Olon tendre, sont de densité 0,52 environ, comparable à celle de l'Epicéa. Leurs propriétés physiques sont plutôt plus favorables, mais les propriétés mécaniques sont un peu inférieures à celles de l'Epicéa, compte tenu de la différence de densité (environ 10 %).

COLLES UTILISABLES EN CHARPENTE LAMELLÉE-COLLÉE

Les colles à employer en charpente doivent répondre à certaines exigences :

— elles ne doivent pas être plastiques après leur prise, afin d'éviter le fluage des poutres sous charge ;

— elles doivent être résistantes à l'eau, surtout dans les emplois extérieurs ;

— elles doivent être utilisables à froid. Des systèmes ingénieux ont été imaginés pour pouvoir laisser la colle prendre à chaud, mais ils sont compliqués et généralement coûteux.

Pratiquement, il existe à présent trois types de colles qui peuvent convenir en pays tempéré.

1. — Colles caséine : ne conviennent que pour les résineux et les feuillus tendres. En effet, très alcalines, elles tachent les bois à tannin. Elles résistent bien à l'action de l'eau, mais sont assez sensibles aux attaques fongiques. Dans le cas de bâtiments non fermés, elles doivent donc être améliorées par un produit anticryptogamique. Il est à noter que ces colles sont très employées aux Etats-Unis, (90 % des charpentes y sont

collées à la caséine) et qu'elles tolèrent des bois peu secs.

Leur durée de stockage en poudre est très longue dans des boîtes étanches.

2. — Colles urée-formol : elles conviennent pour toutes essences de bois. Elles résistent bien à l'action de l'eau et sont assez peu sensibles aux attaques de microorganismes. Elles nécessitent des bois relativement secs (6 à 15 %). Leur durée de stockage est limitée lorsqu'elles sont livrées en sirop et elles doivent être à l'abri de la chaleur. Dans les pays chauds, il est préférable d'utiliser ces colles sous forme de poudre.

3. — Colles « résorcine » : elles conviennent pour tous les bois, et résistent très bien à l'action de l'eau et des microorganismes. Elles sont donc recommandées en climat équatorial où le danger d'attaques fongiques est particulièrement marqué.

L'humidité du bois peut varier de 8 à 18 %. Leur durée de stockage est de l'ordre d'un an. Les colles résorcine sont les plus employées en France, malgré leur prix.

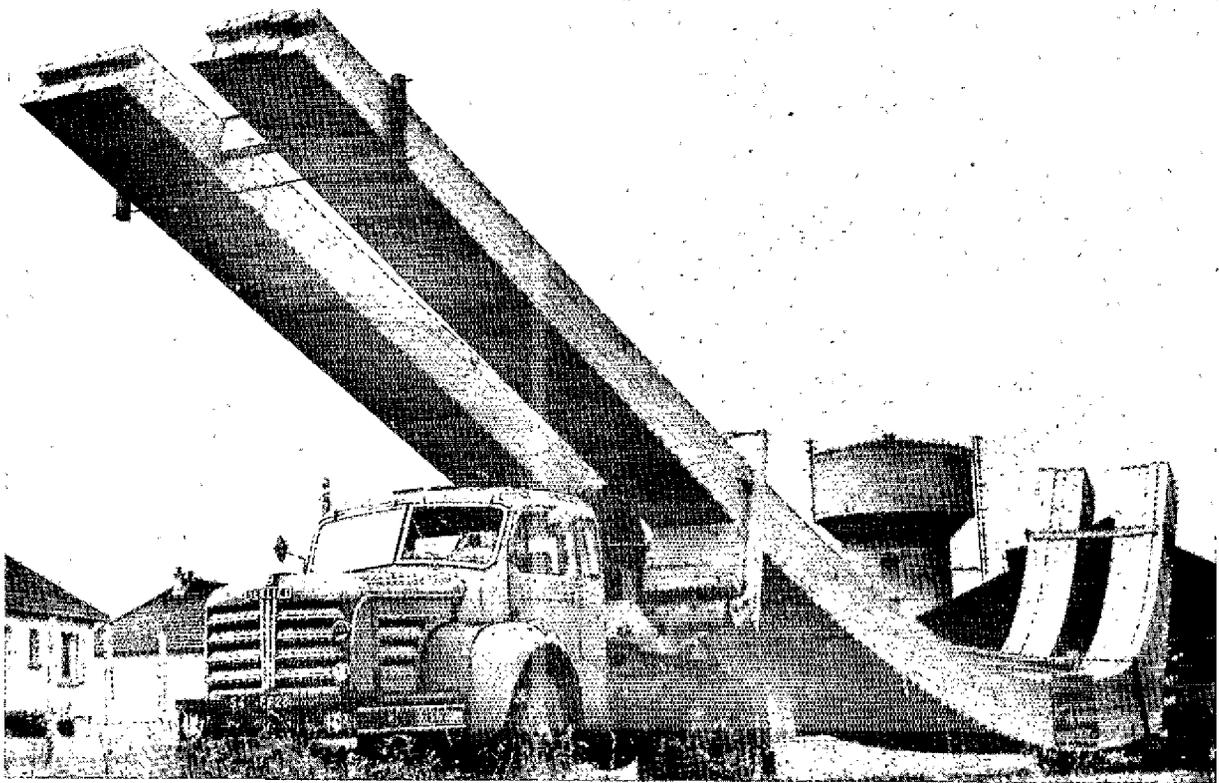


Photo Uhalde.

Transport de 10 éléments lamellés collés.

Dans les pays tropicaux, où l'humidité est élevée, soit constamment, soit durant la saison des pluies, seule la colle résorcine peut répondre à coup sûr à ces exigences particulières.

Nous avons, de ce fait, effectué tous nos essais avec ce seul type de colle, en utilisant des marques éprouvées et bien connues. C'est pourquoi nos essais sont des **essais de collage** (compatibilité bois-colle) et **non pas des essais de colle**, même si nous avons employé plusieurs colles commercialement différentes.

En effet, lors d'essais de colle, on emploie des *épreuves de bois*, d'une essence bien déterminée (en général hêtre et chêne) dont les caractéristiques physiques et mécaniques sont sensible-

ment les mêmes et qui sont collées deux à deux avec la colle de type et de marque commerciale à qualifier. On peut donc fixer des minimums de résistance des plans de collage, exprimés par exemple en kg/cm^2 et comparer les résistances de ces diverses colles entre elles et avec la résistance du bois massif utilisé.

Lors d'essais de collage, si on utilise plusieurs essences très différentes assemblées à l'aide d'une même colle, on ne peut qu'établir une comparaison entre la résistance du collage et celle du bois lui-même (par exemple 90, 95 ou 100 %).

C'est pourquoi deux des essais choisis (cisaillement par compression et essai de flexion) sont des essais comparatifs.

DIVERS ESSAIS DE COLLAGE ADOPTÉS

Etant donné leur caractère élaboré, on a adopté pour les essais de collage les essais de colle décrits dans le fascicule intitulé: « Recommandations relatives au choix des colles à froid destinées à la

fabrication des charpentes » édité par le Centre Technique du Bois en 1964.

Nous rappelons brièvement le principe de ces essais :

1° L'essai de cisaillement par compression se divise en deux essais de même type :

— un essai de cisaillement par compression dans le bois lui-même, dont les éprouvettes sont prélevées dans une poutre lamellée-collée (Photo). Cet essai porte sur 25 plans de cisaillement de surface unitaire 20 cm², soit au total sur 500 cm² ;

— un essai de cisaillement par compression dans les différents plans de collage, dont les éprouvettes sont prélevées dans la même poutre que ci-dessus, et côte à côte avec les éprouvettes précédentes (cf. Photos, ci-contre). L'essai porte également sur une surface totale de 500 cm².

Au terme de cet essai on peut :

— d'une part, comparer les résistances des collages et des bois massifs en faisant leur rapport. Le collage est considéré comme satisfaisant si ce rapport est supérieur à 90 % ;

— d'autre part, noter le coefficient d'adhérence lors de la rupture du collage. Celui-ci doit être supérieur à 50 %.

2° L'essai de délamination.

Cet essai comporte un vieillissement artificiel, qui tend à ouvrir les joints de colle.

Ce principe de l'essai consiste à imbiber d'eau un bloc de bois collé prélevé dans la même poutre lamellée-collée que précédemment, puis à le sécher dans des conditions climatiques assez dures. Ce cycle est répété trois fois et à l'issue du dernier cycle, on mesure la longueur de joint décollée, en la rapportant à la longueur totale du joint de colle. Le résultat sera considéré comme acceptable si le rapport est inférieur à 10 %.

Pour les bois tropicaux, la présence de contrefil peut influencer les résultats des essais dans un sens défavorable.

3° L'essai mécanique de flexion sur poutres massives et sur poutres collées.

Cet essai a pour principe de comparer les caractéristiques en flexion de poutres massives et de poutres lamellées-collées : contrainte de rupture et module d'élasticité. Nous avons mis cet essai au point pour pouvoir étudier le collage dans des poutres dont la dimension est plus proche de celle des poutres en vraie grandeur que celle des éprouvettes de laboratoire. Cet essai sera décrit en détail dans le chapitre « résultats d'essais ».

RÉSULTATS D'ESSAIS

Les essais effectués se divisent en deux groupes :

— Ceux dont le collage et le pressage ont été faits à Nogent, dans des conditions de laboratoire, en principe les meilleures, avec des bois d'humidité relativement faible.

— Ceux dont le collage et le pressage ont été faits dans notre Centre du Gabon, dans des conditions plus difficiles avec, d'une part, des bois secs à l'air à Libreville, mais dont l'humidité était relativement élevée, d'autre part, des bois séchés en séchoir.

Le premier groupe d'essais était destiné à juger de l'aptitude de certains bois à ce type de fabrication.

Le second groupe d'essais était plus particulièrement destiné à étudier l'influence du climat tropical sur le collage.

I. — ESSAIS EFFECTUÉS A NOGENT

A. — Essences utilisées : Huit essences ont été soumises à divers essais.

Fraké, Iroko, Movingui, Ozigo, Angélique, Bilinga, Huynh, Méranti.

Les quatre premières ont été décrites dans le chapitre « Bois Tropicaux utilisables en charpente lamellée-collée » ; le Bilinga a été étudié également en raison du fait que cette essence est utilisée couramment au Gabon, mais elle présente certaines caractéristiques qui ne la classent pas parmi les meilleurs bois de charpente :

— son coefficient de rétractibilité volumétrique est relativement fort (de l'ordre de 0,57 %),

— c'est un bois plutôt lourd par rapport à ses propriétés mécaniques (sa cote de flexion F/100 D n'est en moyenne que de 17).

L'Angélique, le Huynh, le Dark red Méranti ont été étudiés pour ne pas se limiter uniquement à des bois d'origine africaine.

B. — Matériel d'essai.

Bois : les lamelles utilisées pour les divers essais étaient nettes de tous défauts (sauf les piqûres du Fraké), d'épaisseur 19 mm ; leur humidité était comprise entre 12 et 18 % (cette dernière humidité se rapprochant de l'humidité des bois séchés à l'air dans certaines régions tropicales).

ENCOLLAGES ET PRESSAGE :

— Colles : nous avons utilisé trois colles type résorcine de marques commerciales différentes que nous désignerons par A, B et C.

Ci-contre, de gauche à droite et de haut en bas :

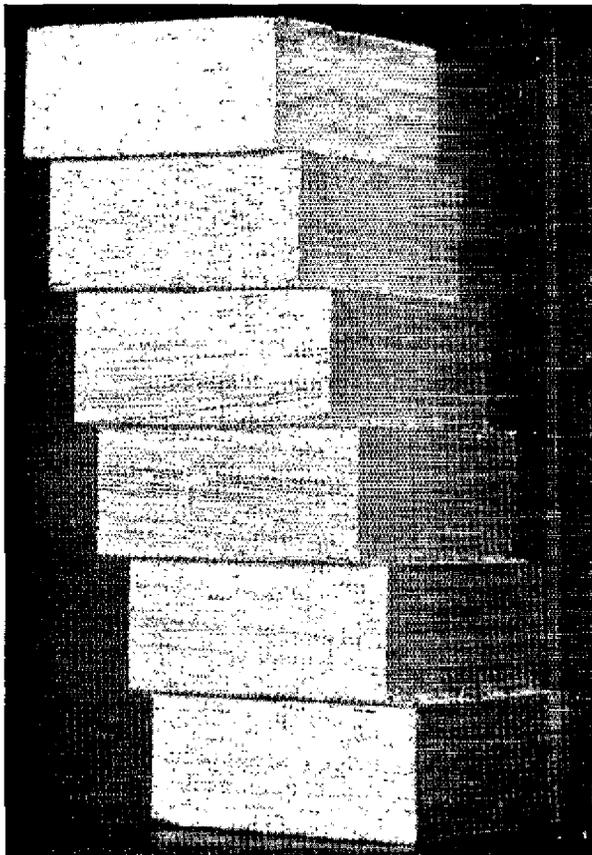
1. — Eprouvette de cisaillement par compression dans le plan de collage.

1 bis. Essai de cisaillement par compression dans le plan de collage.

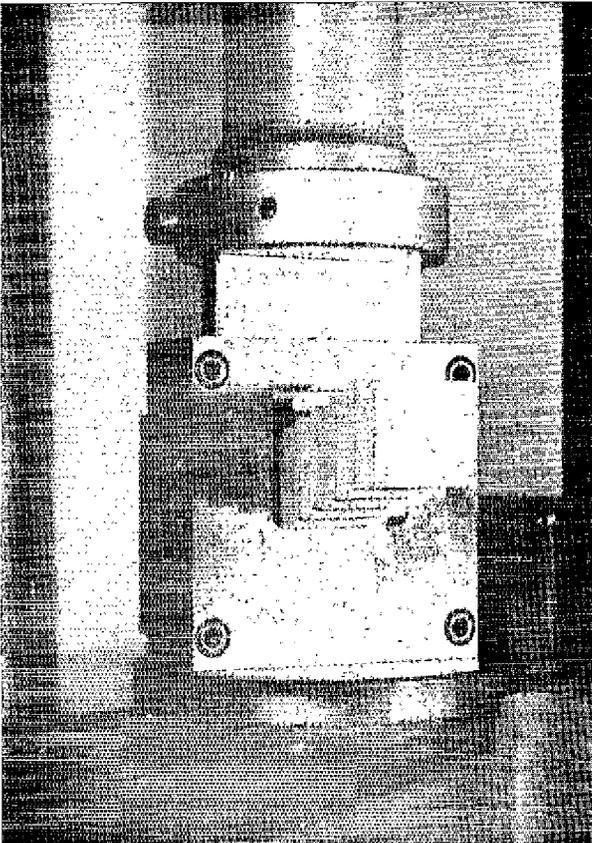
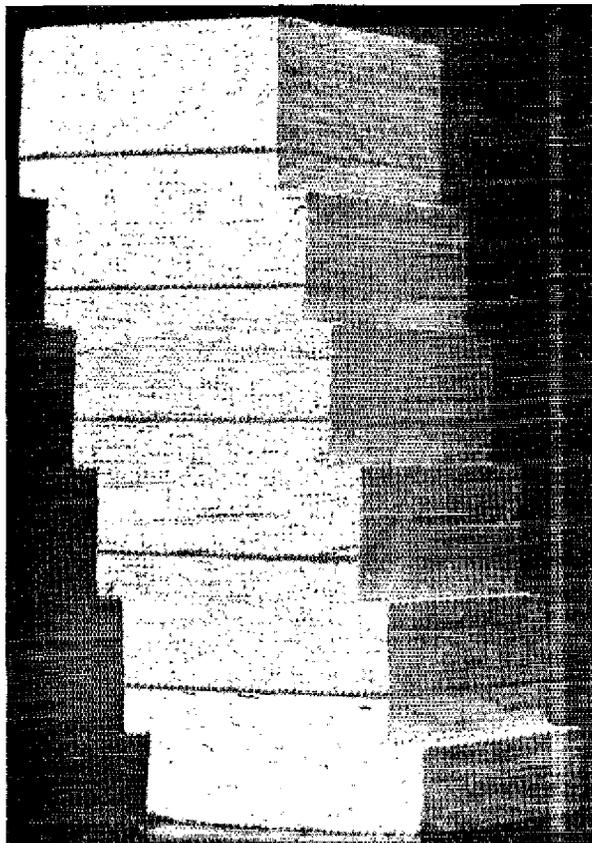
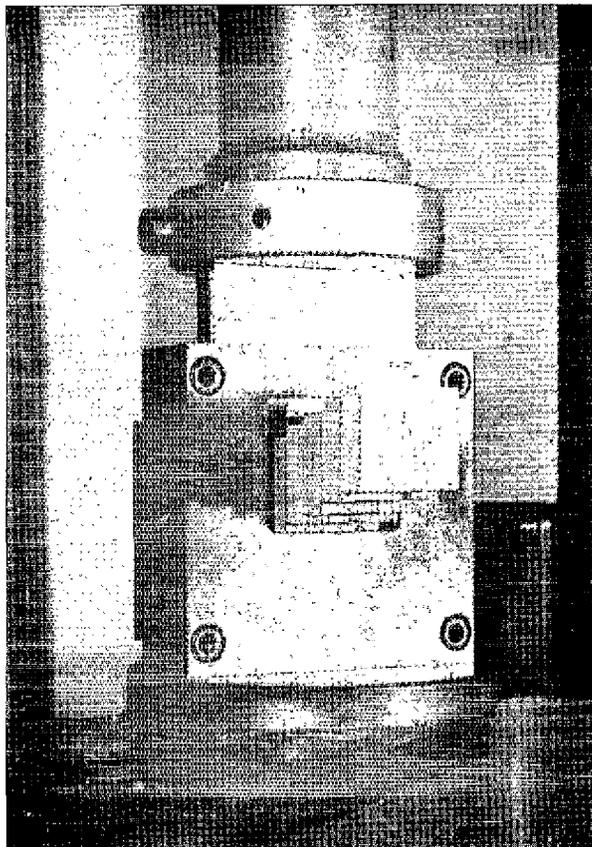
2. — Eprouvette de cisaillement par compression dans le bois.

2 bis. Essai de cisaillement par compression dans le bois. On distingue nettement les plans de collages légèrement décalés des plans de cisaillement.

1



1 bis



2

2 bis

Les colles A et C sont des colles liquides avec durcisseur en poudre. La colle B est une colle liquide avec durcisseur liquide, qui se présente en deux variantes, l'une à durée d'utilisation normale, l'autre à longue durée d'utilisation. Cette dernière a été employée au Gabon. L'encollage a été fait au rouleau encolleur, qui permet une distribution uniforme et économique de la colle. Le grammage était de l'ordre de 300 g/m², avec un encollage double face. Les prescriptions des fabricants ont été scrupuleusement respectées.

— Pressage : au moyen d'un châssis à plaquer d'ébéniste, qui permet le pressage dans de très bonnes conditions, puisque la distance entre vis peut varier aussi bien selon la longueur que selon la largeur des pièces. D'autre part, nous avons employé des cales épaisses (4-5 cm) en bois très dur, placées de part et d'autre des poutres.

La pression ainsi appliquée était très uniforme et variait entre 8 et 12 kg/cm² selon les essences. Les poutres étaient laissées 24 heures sous presse, et les essais avaient lieu au moins une semaine après.

C. — Résultats par essence.

Nous présentons les résultats par essence, en fonction des divers types d'essais effectués :

— l'essai mécanique de flexion sera traité à part, car il a été mis au point assez récemment et ne porte que sur une seule essence, le Fraké ;

— l'essai de cisaillement par compression fournit plusieurs groupes de données :

- charge de rupture du bois (25 valeurs),
- charge de rupture du collage (25 valeurs),
- coefficient d'adhérence (25 valeurs).

Des deux premiers groupes, on tire le rapport moyen : résistance du collage/résistance du bois. La quantité de données permet une analyse statistique, qui a été faite pour chaque essence et qui a permis de dégager des conclusions, qui figurent dans les commentaires relatifs à chaque essence. Nous avons donc :

1) des résultats fondés sur une moyenne, avec des seuils à ne pas franchir : 90 % pour le rapport des résistances, 50 % pour les coefficients d'adhérence ;

2) des résultats de l'analyse statistique, qui indiquent :

— s'il existe un « effet poutre », c'est-à-dire une variation des propriétés d'une poutre à l'autre (c'est-à-dire d'un arbre à l'autre, toutes les lamelles composant une poutre ayant été prises dans un même arbre). Etant donné l'hétérogénéité du matériau bois, c'est le cas le plus fréquent, mais il arrive que l'effet poutre ne soit pas significatif, ce qui veut dire que les résultats pour trois arbres ne sont pas statistiquement différents ;

— s'il existe un « effet traitement », c'est-à-dire

une différence statistique entre bois massif et collage d'où l'on peut déduire que le collage est faible ou satisfaisant.

En principe, les deux groupes de résultats ne doivent pas se contredire. Une analyse statistique plus fine aboutit parfois à des résultats en apparence surprenants.

L'essai de délamination ne fournit qu'un nombre restreint de données (4 par essai) dont nous présenterons simplement la moyenne.

Dans les tableaux qui suivent figurent donc :

- le numéro d'essai (chaque numéro correspond à un arbre),
- l'humidité à l'encollage — H %,
- le type de colle — A, B ou C,
- les résistances mécaniques au cisaillement par compression, du bois massif et du collage,
- le rapport de celles-ci, qui doit en principe être supérieur à 90 %,
- le coefficient d'adhérence, qui doit en principe être supérieur à 50 %,
- le coefficient de délamination, qui doit en principe être inférieur à 10 %.

FRAKE

L'analyse statistique n'a été faite que sur les poutres 12, 15 et 32.

CONCLUSIONS : En valeur absolue, les résistances trouvées pour cette essence sont assez variables, les chiffres les moins élevés correspondant à des échantillons de faible densité, qu'il serait préférable d'écarter pour l'emploi en charpente. L'analyse statistique montre d'ailleurs qu'il existe un effet poutre très net pour cette essence.

— Les rapports de résistance sont satisfaisants, ainsi que les coefficients d'adhérence. L'analyse statistique montre cependant qu'il existe un facteur effet traitement, en défaveur du collage. Des essais sont actuellement en cours pour élucider ce point précis.

— Il semble que l'humidité n'intervienne pas nettement pour diminuer la tenue du collage ; le rapport des résistances dans l'essai 16 est un peu faible : 86 %, mais le coefficient d'adhérence reste élevé.

— Le type de colle n'a apparemment pas d'influence significative.

— Le coefficient de délamination reste très faible (0 à 3 %), ce qui est normal étant donné le retrait assez faible de cette essence.

Le Fraké se montre donc un bois très intéressant au point de vue du collage, sous réserve d'éliminer les bois trop légers.

IROKO

CONCLUSIONS : Les valeurs absolues des résistances sont très proches. L'analyse statistique

montre qu'il n'existe pas d'effet poutre, c'est-à-dire que le bois est homogène.

Le rapport des résistances et le coefficient d'adhérence sont plus variables, mais sont satisfaisants. L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas de différence entre bois massif et collage.

Le coefficient de délamination est négligeable. L'Iroko apparaît donc comme un bois très intéressant, malgré son contrefil fréquent.

MOVINGUI

Le collage de cette essence se révèle satisfaisant, à tous points de vue. L'analyse statistique indique que l'effet poutre est très net, mais que l'effet traitement est négligeable.

OZIGO

Ce résultat peut être considéré comme excellent. L'analyse statistique n'a pas été effectuée puisqu'il

FRAKÉ

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
10	12	B	126	114	90	75	—
12	12	A	116	111	96	84	3,1
13	12	C	127	119	94	68	0,7
14	12	C	123	114	92	72	—
15	18	A	136	134	98	76	0
16	18	B	141	121	86	84	—
31	12	B	146	139	95	54	—
32	13	A	90	87	97	66	2,1
35	12	B	99	93	94	50	—
36	12	B	77	73	95	90	—

IROKO

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
20	14	A	133	139	104	84	1,2
25	12	A	140	132	94	72	0,3
26	13	A	139	127	91	92	0

MOVINGUI

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
24	14	A	140	140	100	70	3,5
27	14	A	172	157	91	78	5,2

OZIGO

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
8	13	B	122	149	122	61	—

ANGÉLIQUE

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
17 ...	17	A	156	145	93	82	1,3
18 ...	12	A	157	161	102	65	11,3
19 ...	14	A	155	152	98	58	15,3

BILINGA

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
9	17	C	130	147	113	52	—

HUYNH

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
21	14	A	145	129	89	56	0
28	14	A	105	125	119	74	1,0
29	14	A	130	140	108	58	1,5

n'y a eu qu'un seul essai, ce qui ne permet pas de conclusions définitives sur cette essence.

ANGÉLIQUE

Les résultats sont bons au point de vue de la compatibilité colle-bois. L'analyse statistique montre que les effets poutre et traitement sont négligeables. Par contre, le coefficient de délamination est souvent élevé, ce qui laisse craindre des décollements sous l'influence des variations climatiques.

BILINGA

Le résultat peut être considéré comme très bon. L'analyse statistique n'a pas été faite pour ce seul

essai, ce qui ne permet pas de conclusions définitives sur cette essence.

HUYNH

Les résistances du bois massif sont assez variables, l'analyse statistique indique d'ailleurs un effet poutre important. Les rapports de résistance et les coefficients d'adhérence sont très satisfaisants, sauf pour l'essai n° 21. Par contre, l'analyse statistique indique qu'il n'y a pas d'effet traitement.

Dans ces conditions, il faut considérer que le Huynh se comporte bien vis-à-vis de la résorcine. En outre, les coefficients de délamination sont très faibles.

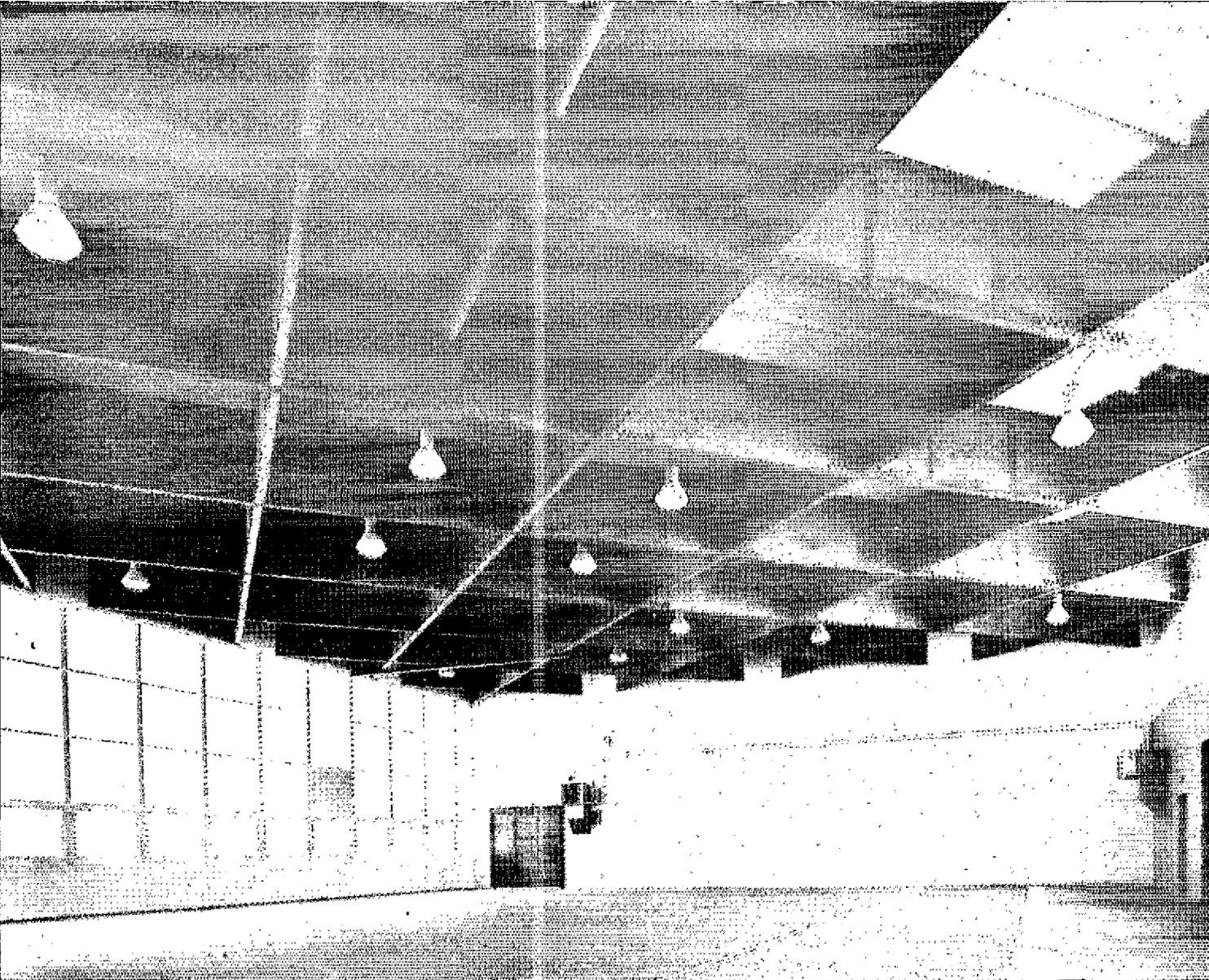


Photo Centre Technique du Bois, Paris.
Gymnase à Romainville (Seine-Saint-Denis). Poutres-Caissons.

MÉRANTI (DARK RED)

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
22	17	A	108	111	103	90	1,2
23	16	A	119	118	99	78	0
34	14	A	117	115	98	64	0

DARK RED MERANTI

Les résistances unitaires paraissent très homogènes. L'analyse statistique montre qu'il existe cependant un effet poutre, mais pas d'effet traitement.

Les résultats du collage sont donc très satisfaisants, en outre le coefficient de délamination semble négligeable.

II. — ESSAIS PRÉPARÉS ET RÉALISÉS AU GABON

Ceux-ci concernaient deux essences, le Bilinga et l'Ozigo. Les premiers essais portaient sur des bois secs à l'air issus de piles de séchage mises en place par le Centre Technique Forestier Tropical et dont l'humidité variait entre 18 et 20 %. Il est à remarquer qu'à ces humidités, les fabricants de colle se montrent très réservés quant à la bonne tenue des collages. Les résultats des essais ont été encourageants pour l'Ozigo, son étude a été complétée par des essais d'humidité plus basse (12-13 %) pour tenter d'étudier l'influence de ce facteur sur le collage de cette essence.

En outre, une poutre lamellée-collée de dimensions courantes (longueur 6 m) a été réalisée sur place pour étudier le fluage en flexion sous charges permanentes.

En ce qui concerne le Bilinga, des essais complémentaires seront nécessaires.

BILINGA

Les résistances du collage sont variables, mais les caractéristiques demeurent assez faibles. L'analyse statistique montre des effets poutre et traitement assez nets, ce dernier n'étant pas en faveur du collage. On pourrait en déduire qu'il n'est pas conseillé d'utiliser du Bilinga à cette humidité pour le collage. Toutefois, des essais complémentaires sont nécessaires car les premiers essais n'ont pas été effectués, faute de moyens suffisants, dans les meilleures conditions.

OZIGO (sec à l'air)

Le rapport des résistances est favorable, sauf dans le cas où la colle C a été employée sans ralentisseur de prise, ce qui est normal.

L'analyse statistique a été effectuée, d'une part, sur les échantillons collés avec la colle C (aucune conclusion n'a pu en être dégagée), d'autre part, avec la colle B, où l'effet poutre existe ; par contre l'effet traitement est négligeable.

BILINGA

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
1 GA ..	19	B	164	135	82	40	—
4 GA ..	19	B	151	104	69	20	—
9 GA ..	18	B	171	150	88	58	—
11 GA ..	18	B	162	135	83	78	—

OZIGO sec à l'air

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
2 GA	20	B	156	157	100	39	—
3 GA	20	B	143	135	94	29	22
8 GA	20	B	144	134	93	68	4
10 GA	20	B	139	140	101	44	—
13 GA	19	C + R *	137	132	96	50	—
15 GA	19	C	129	99	77	28	—
17 GA	19	B	122	115	94	26	—

* Colle C avec ralentisseur de prise.

OZIGO
séché en étuve

Essai N°	H %	Colle	Résistance cisaillement bois massif kg/cm ²	Résistance cisaillement collage kg/cm ²	Rapport %	Coefficient d'adhérence %	Délamination %
12 GA...	12	C + R	136	120	88	63	—
14 GA...	12	C	145	131	90	56	—
16 GA...	13	C	131	126	96	70	—
18 GA...	12	B	136	118	87	33	—

— Les coefficients d'adhérence sont assez bas quoique variables dans l'ensemble.

— Dans un cas sur deux, le coefficient de délamination est élevé, alors que le coefficient d'adhérence est faible. En conclusion, on peut estimer que le collage n'est pas entièrement satisfaisant, mais les résultats sont assez encourageants et les quelques difficultés rencontrées proviennent peut-être des conditions de collage assez précaires.

OZIGO (séché)

Les résultats sont variables, mais assez décevants. Il apparaît alors que le facteur « conditions de collage et de pressage » prédomine sur le facteur « humidité du bois » ou « nature de la colle ».

En Afrique, où les conditions de travail sont généralement plus aléatoires qu'en Europe, il faudra donc veiller particulièrement à ce que le collage et le pressage soient faits dans les règles de l'art. Il sera plus prudent d'employer des bois relativement secs et d'employer les colles les mieux adaptées.

Essai de fluage.

Une poutre dont les dimensions étaient les suivantes : longueur 600 cm, largeur 12 cm, hauteur fléchie 34 cm a été réalisée en Ozigo, avec des lames dont la largeur et la longueur étaient celles de la poutre.

Ces lames, d'épaisseur 19 mm, étaient au nombre de 18, et provenaient de piles de séchage naturel (humidité 20-21 %).

La colle employée était du type B, avec un grammage d'environ 400 g/m² par surface de joint. Le pressage s'est fait par serre-joints écartés de 20 cm.

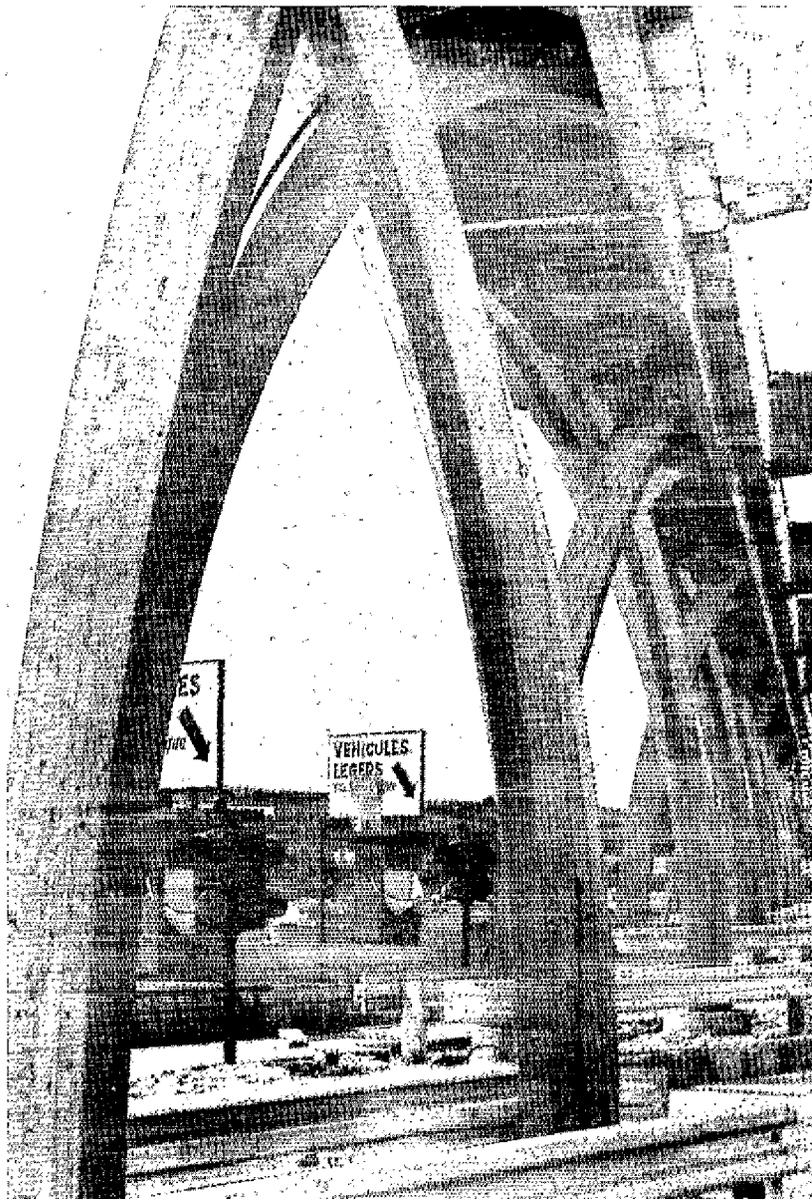
*Passerelle de l'autoroute de Normandie
(Péage près de Mantès).*

Photo Centre Technique du Bois, Paris.

La charge appliquée était uniformément répartie, à raison de 400 kg/m.

Les flèches ont été mesurées au comparateur, placé sous le centre de la poutre, la surface de référence choisie étant le sol cimenté.

Cet essai a donné les résultats suivants :



— le module d'élasticité avant fluage a été calculé égal à 128.000 kg/cm², ce qui est relativement élevé,

— le fluage s'est manifesté de façon assez sensible (croquis n° 1) si bien qu'au bout de 135 jours le module d'élasticité est tombé à 94.000 kg/cm².

Il est reconnu que le fluage est d'autant plus élevé que l'humidité du bois est plus forte. Cet essai montre donc que :

— l'Ozigo présente des caractéristiques qui sont dans l'absolu intéressantes pour la fabrication de charpentes,

— on a intérêt à sécher les lames à 14-15 % d'humidité avant collage ; en effet, le collage en sera facilité ; les résistances mécaniques et le module d'élasticité seront plus élevés qu'avec du bois simplement sec à l'air (18 à 20 %). D'autre part, étant donné les conditions climatiques, le bois reprendra un peu d'humidité et se stabilisera à 17 % environ : l'influence du facteur humidité sera limitée.

3° L'essai mécanique de flexion sur poutres massives et sur poutres collées.

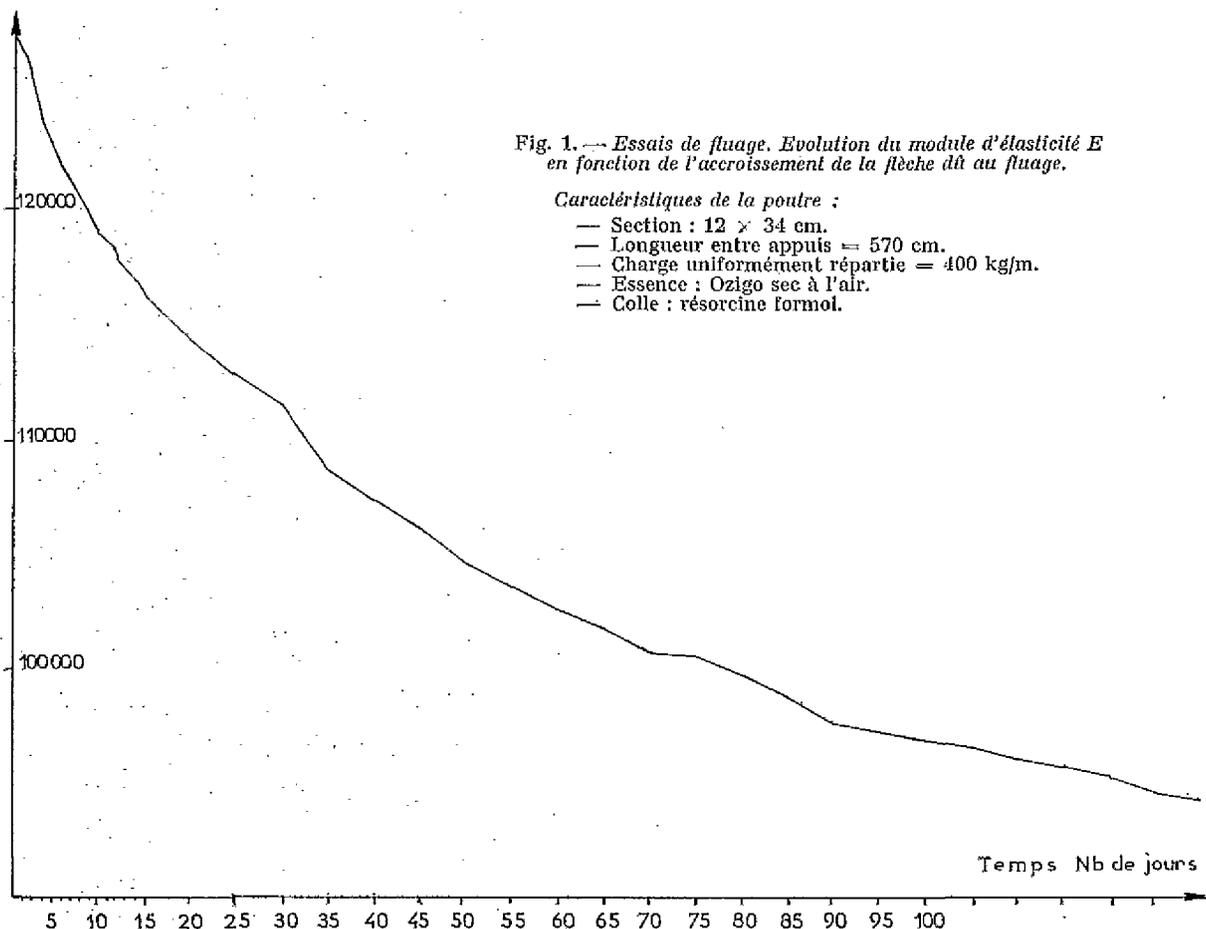
Ces essais avaient un double but :

— permettre de connaître les contraintes de rupture et les modules d'élasticité de poutres collées et massives,

— permettre de comparer ces caractéristiques entre ces deux types de poutres.

Matériel d'essai.

Nous avons soumis à l'essai des poutres en Fraké, correspondant à deux échantillons différents (numéros de référence 18122 et 18123). Ceux-ci présentent des caractéristiques physiques et mécaniques supérieures à la moyenne ; leurs densités, très proches, étaient respectivement de 0,57 à 0,58. Leurs résistances unitaires à la flexion statique F calculées selon la méthode d'essai normalisée (éprouvettes de 2 × 2 cm de section, portée 28 cm) étaient proches de 1.400 kg/cm². Les modules d'élasticité étaient de 104.000 et 111.000 kg/cm².



Pour chacun des échantillons, trois poutres massives et trois poutres collées ont été préparées. Les poutres avaient les dimensions suivantes :

- largeur 6 cm,
- hauteur fléchie, (11,4 cm) (6 lames de 19 mm d'épaisseur dans le cas des poutres collées),
- longueur 170 cm.

Les pièces étaient placées sur une machine d'essai Amsler de force totale 30 t.

Conditions d'essai.

Les charges étaient appliquées de façon à provoquer entre les deux points d'appui un moment fléchissant constant qui se rapproche de celui obtenu avec des charges uniformément réparties, cas le plus courant dans la construction. A cet effet, la distance entre appuis était de 150 cm, les charges étant réparties symétriquement par rapport au milieu de la poutre et distantes de 50 cm (croquis n° 2). Un comparateur placé sous le milieu de la pièce enregistrant la flèche et deux autres les déformations

sur appuis (Photo p. 70, croquis ci-dessous). Au niveau des appuis, des plaquettes métalliques avaient pour but d'empêcher un trop grand écrasement du bois. Les charges ont été appliquées d'une façon lente et continue jusqu'à la rupture, les flèches n'étant enregistrées que pendant la période élastique.

Résultats d'essai.

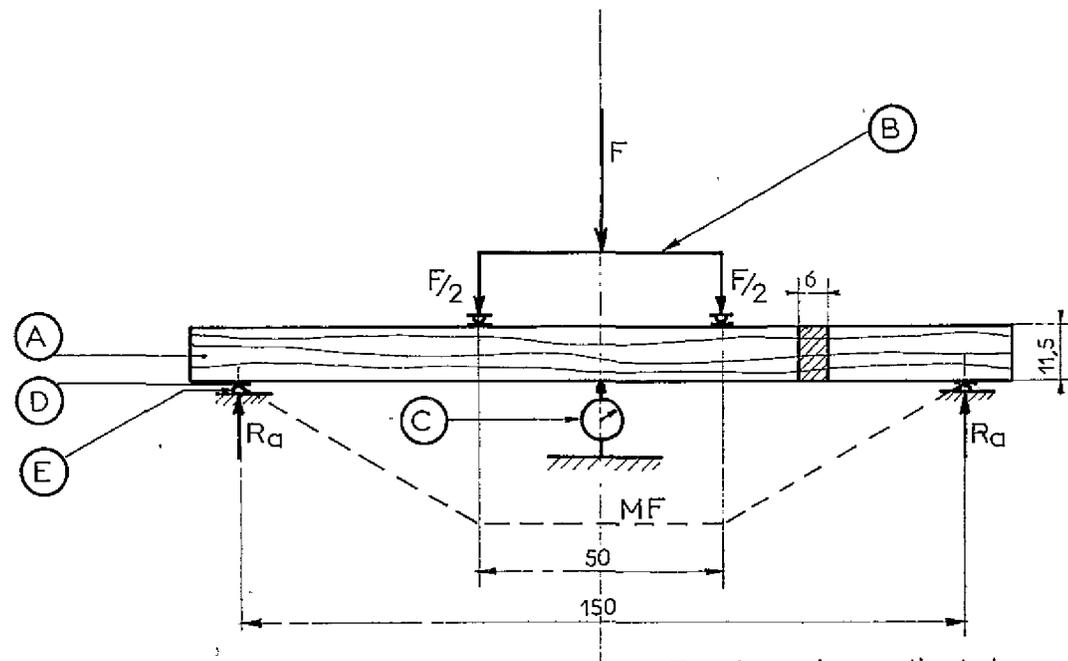
Ceux-ci sont consignés dans le tableau de la page 70. Les valeurs sont ramenées à 12 % d'humidité.

OBSERVATIONS : Les poutres massives montrent un comportement assez variable d'un échantillon à l'autre ; l'échantillon 18123 apparaît à cet égard nettement inférieur à l'échantillon 18122.

Ces résultats ne sont pas en contradiction avec les résultats des essais normalisés, sur petites éprouvettes.

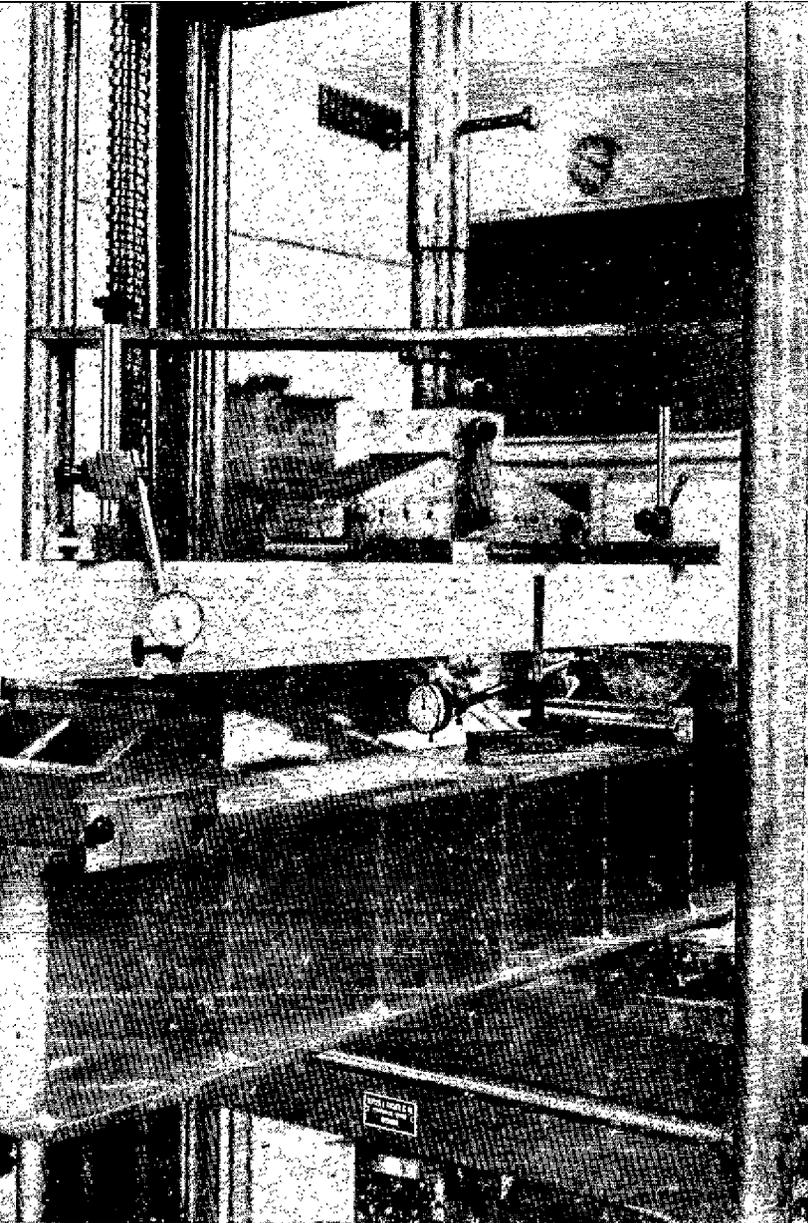
Les résistances unitaires à la flexion statique F kg/m^2 sont bien inférieures à celles qui ont été trouvées lors de ces essais, mais ceci est normal.

**Fig. 2. — ESSAI DE FLEXION
SCHEMA DE PRINCIPE**



- A Poutre
- B Dispositif d'application de la charge
- C Comparateur
- D Plaques de répartition (4)

- E Appuis cylindriques (4)
 - F Charge totale appliquée
 - R_a Réactions d'appui
 - MF Courbe du moment fléchissant
- Ech 1/10^e



Essai de flexion circulaire sur une poutre de *Terminalia superba*.

Photo Chatelain, C. T. F. T.

En effet, les essais ne sont pas effectués dans les mêmes conditions que les essais normalisés, la charge de rupture est appliquée en deux points au lieu d'un seul et les dimensions des poutres essayées sont différentes de celles des éprouvettes normalisées. En particulier la hauteur fléchie est plus grande (11,4 cm au lieu de 2 cm) et la contrainte de rupture F diminue lorsque cette hauteur augmente ce qui, dans le cas présent, amène un coefficient de minoration de 0,56. De plus, la différence de comportement entre les deux échantillons peut provenir de la présence de défauts (fentes, coups de vent, etc...) plus fréquents sur l'échantillon 18123, et qui ne pouvaient jouer sur des éprouvettes d'essai normalisées qui sont, par définition, exemptes de défauts.

— Les poutres collées offrent au contraire des résultats plus comparables, se situant à un niveau assez élevé.

— L'amélioration apportée par la lamellation est, en contrainte de rupture de 8 % environ pour l'échantillon 18122 et de 25 % pour l'échantillon 18123. Par contre, le module d'élasticité n'est augmenté que dans le cas de l'échantillon 18123, mais d'une façon très sensible (+ 50 %).

POUTRES MASSIVES

N° C. T. F. T. 18122		N° C. T. F. T. 18123	
Résistance unitaire à la flexion statique		Résistance unitaire à la flexion statique	
Contrainte de rupture kg/cm ²	Module d'élasticité kg/cm ²	Contrainte de rupture kg/cm ²	Module d'élasticité kg/cm ²
557	124.000	450	66.000
702	109.000	563	88.000
782	127.000	715	105.000
680 (moyennes)	120.000	576	86.000
POUTRES LAMELLÉES-COLLÉES			
775	105.000	740	151.000
690	130.000	835	135.000
743	107.000	583	101.000
736 (moyennes)	114.000	719	129.000

CONCLUSIONS

Il semble donc que le bois lamellé-collé présente dans ce cas particulier un avantage assez net sur le bois massif. Ceci est un peu surprenant ; on sait depuis longtemps que, pour les résineux utilisés couramment, la lamellation permet une augmentation des qualités mécaniques à cause de l'élimination des plus gros défauts : nœuds, fentes, poches de résine, etc... En principe, les bois tropicaux ne présentent pas de gros défauts et l'amélioration par lamellation pourrait alors être causée par d'autres facteurs. Nous avons l'intention, au cours de cette année, d'approfondir cette question, en étudiant en particulier du Fraké de diverses provenances.

Des études effectuées à Nogent, on peut déduire qu'il ne semble pas y avoir d'incompatibilité entre les colles résorcine et les bois tropicaux que nous avons soumis aux essais. Ceux-ci, rappelons-le, appartiennent à la catégorie des bois feuillus légers ou de densité moyenne, les bois plus denses étant réputés difficiles à coller.

Ces observations ne sont valables que si les conditions d'encollage, de pressage et de siccité du bois sont correctes. Parmi les essences soumises aux essais, le Fraké semble se dégager parmi celles qui peuvent présenter le plus d'intérêt pour les utilisateurs. De nombreux essais sont actuellement en cours au Centre Technique Forestier Tropical pour tenter de connaître à fond les diverses caractéristiques de cette essence malheureusement très variables selon la provenance, et même à l'intérieur d'un même individu.

En ce qui concerne l'exploitation des données d'essais, l'analyse statistique a montré qu'elle pouvait fournir des données beaucoup plus fines que de simples comparaisons de moyennes. L'aspect statistique apparaît ainsi très important, et l'analyse sera faite systématiquement pour les essais à venir.

Les essais réalisés au Gabon semblent nettement moins encourageants, mais permettent de tirer des conclusions fructueuses. A Libreville, les condi-

tions d'encollage et de pressage étaient loin d'être idéales, ce qui se répercute automatiquement sur la qualité intrinsèque du collage. Les fabricants de charpentes lamellées-collées en Afrique devront en tenir compte et contrôler de très près les conditions de fabrication locales. De nombreuses précautions seront à prendre, par exemple :

— si les colles en sirop voyagent par bateau, elles risquent de vieillir prématurément dans l'atmosphère des cales et d'être quasi inutilisables au moment de leur emploi ;

— pour les mêmes raisons, elles devront être stockées sur place dans un endroit frais et sec.

A cet égard, les emballages en matière plastique se révèlent supérieurs aux emballages ferreux, susceptibles de rouiller rapidement en atmosphère humide.

On aura donc intérêt à choisir une colle de longue durée de vie et un durcisseur à l'état de poudre.

Au moment de la fabrication, les temps d'assemblage risquent d'être courts, la température de l'air et des lamelles de bois étant élevée. L'intérêt de colles à durée d'utilisation longue après préparation apparaît également évident.

— Le matériau bois devra être, de préférence, séché en séchoir, à une humidité maximale de 14 %. Les inconvénients, lorsqu'on utilise du bois sec à l'air en climat chaud et humide, sont en effet nombreux et importants. Citons en particulier : un collage quelquefois defectueux, une diminution des résistances de la structure, un fluage plus important, etc...

Il est cependant rassurant de constater que les industriels qui entreprennent actuellement la fabrication de charpentes lamellées-collées en Afrique Equatoriale sont bien conscients de ces difficultés.

Ces quelques essais, dont certains sont encore incomplets, devraient les encourager à gagner une partie dont l'enjeu est considérable.

BIBLIOGRAPHIE

- LAVAL (G.). — Colles et collages dans l'industrie du bois. C^o Française d'édition, 1963.
- LANEN (J.). — Contribution à une étude des essences tropicales d'Afrique Noire en vue de la réalisation de charpentes lamellées-collées. 1965, Thèse CNAM.
- LEEUW (J. de) et LEFEUVRE (J.). — Recommandations relatives aux choix des colles à froid destinées à la fabrication des charpentes. C. T. B., 1964.
- Gluing techniques for Timber engineering structures. CSIRO, 1967.
- CHUGG (W. A.). — Glulam. The Manufacture of glued laminated structures. 1964.
- BROCHARD (F. X.). — Bois & Charpentes en bois. Eyrolles, 1960.
- Normes britanniques BS 1204-BS 4169.
- La fabrication des éléments de structure en bois lamellé collé. *Cahiers du Centre Technique du Bois*, n^o 86, novembre 1971.