

ETUDE DE L'APTITUDE AU COLLAGE DU BOIS D'AZOBE (Lophira alata)

A PARTIR DE RESINE RESORCINE-FORMALDEHYDE

par J. GUISCAFRE, Chef de Division
et C. SALES, Ingénieur
Division d'Essais et Emplois des Bois

Centre Technique Forestier Tropical
45bis, avenue de la Belle-Gabrielle
94130 Nogent-sur-Marne (France)

1980

CR (13-C)(73)(1)

oocf

ETUDE DE L'APTITUDE AU COLLAGE DU BOIS D'AZOBE (*Lophira alata*)

A PARTIR DE RESINE RESORCINE-FORMALDEHYDE

* *
*

824.833 : 176.1 *Lophira alata*

CR (13-C) (73) (1)

S O M M A I R E

	Pages
PREAMBULE	1
1 - GENERALITES - MATERIEL D'ESSAI	3
2 - INFLUENCE DE LA PRESSION DE SERRAGE APPLIQUEE PENDANT LA POLYMERISATION	5
3 - INFLUENCE DU TEMPS D'ASSEMBLAGE FERME	7
4 - INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DU BOIS AU MOMENT DU COLLAGE ET DE LA TEMPERATURE DE STABILISATION	11
5 - INFLUENCE DU MODE DE PREPARATION DES BOIS	13
6 - ADJONCTION D'UN AGENT MOUILLANT A LA RESINE DE BASE	15
7 - INFLUENCE DE L'ORIENTATION DES BOIS ET DU CONTREFIL	17
8 - CONCLUSIONS	19
ANNEXES	
BIBLIOGRAPHIES	

PREAMBULE

En 1960, une première tentative pour coller l'AZOBE avait été faite pour la fabrication d'éléments courbes lamellés-collés devant servir de chemin de roulement pour le métro sur pneus parisien de la ligne N° 1. Une colle urée-formol joint épais avait été alors utilisée. Toutefois, de nombreux emplois pour lesquels l'AZOBE serait particulièrement intéressant sous forme lamellée-collée, nécessitent l'emploi de colles résorcine. Il convenait donc d'étudier ses possibilités d'assemblage par collage à la résorcine.

Toutes les lamelles ont été systématiquement stabilisées avant essai à un taux d'humidité moyen de 12%. La colle utilisée est une résorcine du commerce à durcisseur, à vitesse de polymérisation moyenne :

- viscosité du mélange : 4.500 à 6.000 cPo
- durée de vie en pot : 2 heures à 20° c.

.../...

./.

1 - GENERALITES - MATERIEL D'ESSAI

Le matériel d'essai utilisé pour cette étude provenait d'un même arbre échantillon, débité et séché dans les installations de Nogent-sur-Marne du Centre Technique Forestier Tropical. D'une façon générale, l'AZOBE (*Lophira alata*) donne un bois très dur, très lourd, à retrait particulièrement élevé. L'ensemble de ses caractéristiques physiques en fait un bois particulièrement difficile à coller. En fait, il s'agissait, à ce jour, du seul bois tropical, étudié dans nos laboratoires, qui nous ait posé quelques difficultés de collage.

Les caractéristiques physiques et mécaniques de l'échantillon utilisé pour les essais sont rassemblés dans le tableau 0.

En réalité, il n'existe pas encore de méthode normalisée pour mesurer l'aptitude d'un bois à être utilisé pour la fabrication de structures lamellées-collées. Toutefois, un protocole d'essais et des spécifications ont été mis au point par le Centre Technique du Bois. Ils font l'objet d'un projet de norme A F N O R. Le Centre Technique Forestier Tropical s'y est référé pour toutes les études menées dans ce domaine sur les bois tropicaux. Un exposé détaillé de la méthodologie d'essai figure page 27 du numéro 175 de "Bois et Forêts des Tropiques" (septembre-octobre 1977).

Rappelons simplement que trois caractéristiques sont mesurées au cours de ces essais et que le collage est considéré comme bon, si simultanément :

- . le coefficient de résistance est supérieur à 90%
- . le coefficient d'adhérence est supérieur à 50%
- . le coefficient de délamination est inférieur à 10%

Pour les deux premiers, il s'agit de valeurs moyennes portant sur au moins 20 cisaillements. Pour le dernier, l'essai porte sur au moins 3.500 mm. de joints de collage.

.../...

./.

La notation suivante sera utilisée pour toute l'étude :

- R - Coefficient de résistance exprimé en %
- A - " d'adhérence " "
- D - " de délamination " "
- σ_R - Variance sur R
- σ_A - Variance sur A
- n - Nombre d'essais de cisaillement - les calculs de R et A portant sur n valeurs.
- Δ - Intervalle de confiance de la moyenne au seuil 0,95

2 - INFLUENCE DE LA PRESSION DE SERRAGE APPLIQUEE PENDANT LA POLYMERISATION

L'influence de la pression de serrage et du temps d'assemblage fermé ont été étudiés simultanément. Pour chacun des trois temps d'assemblage retenus 10, 20 et 35 minutes, des poutres élémentaires ont été pressées sous des charges différentes de 6 à 15 Kg/cm² (voir tableau N° 1).

D'une façon générale, les résultats obtenus, sans être très mauvais, sont nettement insuffisants. En fait, pour un temps d'assemblage donné, la variation de pression de serrage n'a pas fait apparaître de loi générale. Lorsque les valeurs tendaient à dépasser le seuil de 90% pour les coefficients de résistance, la dispersion des résultats reste telle (voir tableau N° 2) qu'il est impossible de conclure à une amélioration systématique. Il en est de même pour les coefficients d'adhérence.

En fait, et contrairement à certaines théories avancées parfois sur le collage des bois durs, il ne semble pas que l'application de pressions de serrage élevées augmente la résistance mécanique du plan de collage pour peu que les bois soient convenablement usinés et pour cela, fraîchement rabotés avant collage. Bien au contraire, des pressions trop élevées, de l'ordre de 15 kg/cm² tendraient, selon S. White : Wood science and technology, juin 1977, à chasser la colle et à donner naissance à des joints maigres peu résistants, ce qui rejoint, en fait, les résultats obtenus par Carruthers et Paxton (1960). Ces essais montrent en fait que la pression de serrage ne joue qu'un rôle extrêmement secondaire sur la qualité du collage, lorsque les valeurs se situent dans une fourchette

.../...

./.

allant de 5 à 10 kg./cm² dans la mesure où les lamelles sont, bien sûr, convenablement usinées et parfaitement planes. Il ne semble pas que l'application de pressions supérieures à 10 kg./cm² soit susceptible d'améliorer le collage de l'AZOBE.

L'influence semble être beaucoup plus marquée sur les coefficients de délamination. Ce phénomène n'a pu être vérifié pour les séries collées avec des temps d'assemblage de 20 et 35 mn., mais pour la série à 10 mn., le phénomène est très net (voir Fig. 1). En effet, le coefficient de délamination croît linéairement avec la pression de serrage, ce qui tendrait à mettre en évidence l'importance de l'épaisseur du joint de colle et la pénétration de la résine sur la résistance à la délamination. Celui-ci avoisine les 10% (valeur maximum admissible) pour des pressions de l'ordre de 5 kg./cm², alors qu'il atteint 57% pour 15 kg./cm².

Ces résultats confirment l'inutilité de l'utilisation de pressions de serrage trop élevées et situent pour l'AZOBE la pression optimum entre 6 et 9. kg./cm².

3 - INFLUENCE DU TEMPS D'ASSEMBLAGE FERME

Seul le temps d'assemblage fermé a été contrôlé. Les variations de temps d'assemblage ouvert de quelques dizaines de seconde à 2 minutes, liées aux conditions de fabrication, ont été négligées.

31 - Les essais ont été divisés en deux parties. Tout d'abord les résultats pris en compte pour l'étude de l'influence des pressions de serrage ont fait l'objet d'un examen tout particulier (voir tableau 2). D'une façon générale, les résultats obtenus avec un temps total d'assemblage court sont systématiquement insuffisants pour des pressions de serrage élevées. Les rapports des résistances ne semblent bons que pour une pression de serrage de 6 kg./cm², ce qui a entraîné l'étude complémentaire du § 32.

Dans le cas présent, l'augmentation de la durée du temps total d'assemblage, n'a pas permis d'améliorer sensiblement la qualité du collage pour des pressions de serrage élevées. Toutefois, la corrélation entre rapport des résistances, adhérence et coefficient de délamination est mauvaise et l'amélioration de l'un n'entraîne pas systématiquement l'amélioration de l'autre. En outre, la dispersion des résultats, caractérisée par l'écart-type sur la moyenne des plans de collage étudiés, est importante et ne permet pas de conclure de façon satisfaisante, même lorsque les valeurs moyennes dépassent les seuils admissibles. Dans ces conditions, il était difficile d'analyser réellement l'influence des temps d'assemblage et des essais complémentaires ont été effectués.

.../...

./.

32 - Ayant constaté au § 1, l'inutilité d'appliquer des pressions de serrage extrêmement élevées d'une part, et d'autre part la poutre élémentaire E ayant laissé entrevoir une tendance très favorable vers les temps d'assemblage courts et pressions de serrage faibles, il a été décidé de réaliser une nouvelle poutre élémentaire (notée F), sous pression de serrage faible, de l'ordre de 6 kgs./cm². Chaque joint de colle constitutif de la poutre F a fait l'objet de temps d'assemblage différents, variant de 10 à 40 minutes. Cette technique a permis de s'assurer que la pression de serrage était bien la même pour tous les plans de collage.

Les résultats obtenus sont particulièrement intéressants. Ils sont rassemblés sur les figures N° 2a, 2b et 2c.

D'une façon générale, il est assez troublant de constater que ces résultats vont à l'encontre de certaines théories, communément avancées sur le collage des bois durs. En effet, il est fréquent de rencontrer dans les ouvrages spécialisés, l'affirmation selon laquelle l'augmentation des temps d'assemblage facilite le collage des bois durs. L'essai complémentaire effectué dans le cadre de cette étude tendrait à limiter cette tendance, soit qu'il s'agisse d'un comportement particulier du bois d'AZOBE, soit que l'on rejoigne les résultats des expériences de Freeman (1959) qui tendaient à montrer que le coefficient de résistance pour les collages des bois durs augmentait avec la diminution des temps d'assemblage. Les meilleurs résultats ayant été alors obtenus pour des temps total d'assemblage de l'ordre de 6 minutes.

Dans le cas présent, coefficients de résistance, d'adhérence et de délamination se dégradent avec l'augmentation du temps total d'assemblage. Le coefficient de délamination semble toutefois moins sensible à ce phénomène. En effet, si les coefficients de résistance et d'adhérence varient linéairement, en fonction du temps d'assemblage, le coefficient de délamination semble être une fonction linéaire du carré du temps d'assemblage fermé.

De très bons résultats ont donc été obtenus dans les conditions suivantes :

- . température de collage : 21° c.
- . pression de serrage : 6 Kg./cm² pendant 24 heures
- . temps total d'assemblage : 10 minutes

Toutefois, les essais ne portant que sur un seul plan de collage, il convient donc de vérifier, de façon plus systématique, ces résultats qui diffèrent sensiblement de ceux obtenus dans les mêmes conditions avec la poutre E.

.../...

./.

En conclusion, l'application de temps d'assemblage long semble tout à fait inutile et peu souhaitable. D'une part, elle diminue en fabrication la productivité et, d'autre part, semble exiger, en raison probablement du début de polymérisation des résines, des pressions de serrage élevées nécessitant un matériel de pressage puissant, le tout se soldant par des complications inutiles.

Les graphiques 3a et 3b indiquent pour chaque temps d'assemblage la pression de serrage qui semble avoir donné les meilleures qualités de collage. Ils semblent faire apparaître une loi linéaire de la forme :

$$[P]^4 = f(t)$$

Toutefois, les seuls résultats vraiment satisfaisants ont été obtenus pour des pressions relativement modérées à des temps d'assemblage courts.

En outre, pression de serrage et temps d'assemblage ne sont pas les seuls facteurs susceptibles d'intervenir dans la qualité du collage d'un bois. Par suite, d'autres facteurs tels que température de conditionnement des bois et de polymérisation, usinage, présence de contrefil, ont été examinés en se plaçant dans les conditions optimum de temps d'assemblage (10 minutes environ) et de pression de serrage soit 10 minutes environ et des pressions de 6 à 9 kg./cm².

4 - INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DU BOIS AU MOMENT DU COLLAGE ET DE LA TEMPERATURE DE STABILISATION

Plusieurs auteurs ont attiré l'attention des utilisateurs sur l'intérêt qu'il y avait à chauffer légèrement le bois avant collage. En effet, cette technique s'est toujours avérée fournir des assemblages d'excellente qualité et améliorer de façon parfois spectaculaire l'aptitude au collage d'espèces souvent réputées difficiles. En 1955, Newall et Grosert ont étudié l'influence de la température du bois sur la qualité des collages de Chêne, à partir de colles résorcines. Ces résultats très satisfaisants, obtenus à l'époque, amenaient à penser que cette technique devrait pouvoir être transposée à l'AZOBE.

Deux poutres élémentaires, numérotées G1 et G2 ont donc été fabriquées dans les conditions indiquées au tableau N° 2bis. Il s'agissait de conditionner les lamelles de façon homogène, à une température donnée T, et de maintenir cette température pendant toute la durée de la polymérisation et durant une semaine après collage. En effet, les résorcines n'atteignent leur résistance mécanique maximum qu'au bout de cette période et la température qui leur est appliquée pendant la post-polymérisation a une influence non négligeable sur la résistance mécanique des plans de collage.

.../...

./.

Par ailleurs, il convenait de chauffer le bois, mais sans le dessécher exagérément. Pour cela, le conditionnement s'est fait dans un air dont le degré hygrométrique était parfaitement contrôlé (de l'ordre de 65%) afin de respecter un taux d'humidité moyen de stabilisation des bois de l'ordre de 12%. Deux températures ont été retenues pour l'essai : 30°c. pour G1 et 40° c. pour G2. Les pressions de serrage et les temps d'assemblage furent ceux de la poutre A 11, afin de disposer de résultats comparatifs à 20° c. En outre, ces conditions sont assez voisines des conditions idéales établies aux paragraphes précédents.

Les résultats des tests effectués sur ces poutres échantillons sont rassemblés dans le tableau N° 2bis.

Les coefficients de résistance et d'adhérence obtenus avec les bois préchauffés à 30° c. sont excellents. Puis les performances diminuent à 40° c., tout en restant légèrement supérieures aux résultats de référence à 20° c. En fait, il semble bien que 30° c. soit la température idéale pour ce genre de traitement. Au delà, la durée de vie des colles diminue très rapidement et les temps d'assemblage ouvert doivent être très courts. Il y a risque de début polymérisation avant serrage. Nous avons rencontré ce phénomène lors du collage à 40° c.

Par contre, les coefficients de délamination sont toujours insuffisants. Dans ces conditions, le facteur température de pré et de post-polymérisation apparaît comme un facteur essentiel au bon collage de l'AZOBE, mais il ne devait pas être le seul à mettre en oeuvre pour obtenir des collages particulièrement performants.

5 - INFLUENCE DU MODE DE PREPARATION DES BOIS

Plusieurs auteurs ont proposé diverses techniques de préparation des surfaces à encoller. Toutefois, les résultats sont souvent contradictoires et l'étude bibliographique effectuée sur ce sujet n'a pas permis de dégager une méthode particulièrement évidente.

Gottstein et Plomley (CSIRO 1967) proposent un rainurage des surfaces à réaliser au moyen d'une tige filetée (pas de 2 filets/mm.). Les auteurs indiquent que cette technique permet de doubler la résistance mécanique des plans de collage par rapport à l'état brut de rabotage.

Pour V.R. Gray (TRADA 1962) qui a mené une étude sur la mouillabilité du bois d'AZOBE, il semblerait qu'un "sablage" des surfaces avant encollage augmente de façon très sensible l'énergie de mouillage et entraînerait une évolution favorable de l'énergie d'adhésion colle - bois.

.../...

./.

Enfin, d'autres auteurs recommandent un ponçage des surfaces lorsqu'il y a risque de brûlage des bois au rabotage. Deux techniques de préparation ont été retenues pour les essais. Les lamelles ont tout d'abord été rabotées, puis une partie a été passée au rabot à dents (poutre échantillon H1), et l'autre partie (poutre échantillon H2) a été ponçée. Deux poutres ont ainsi été collées dans les mêmes conditions que l'échantillon A12 afin de comparer les résultats à ceux obtenus sur une poutre constituée de lamelles rabotées. Les résultats sont rassemblés dans le tableau N° 3.

D'une façon générale, on n'observe aucune amélioration évidente de la qualité du collage. On peut, tout au plus, noter une certaine progression des coefficients d'adhérence avec, toutefois, une importante dispersion des résultats et une certaine tendance vers un meilleur comportement en délamination. Malgré cela, les résultats obtenus aux différents tests restent insuffisants et il ne semble pas que le rainurage ou le ponçage soient des techniques à retenir dans le cas de l'AZOBE. Par ailleurs, il n'est pas apparu de différence sensible entre les deux modes de préparation sur le comportement ultérieur des plans de collage.

6 - ADJONCTION D'UN AGENT MOUILLANT A LA RESINE DE BASE

Un produit mouillant, liquide, actuellement commercialisé a été utilisé pour ces essais. La résine se prépare de façon habituelle et l'agent mouillant est ensuite ajouté en très petite quantité. Ce produit n'ayant jamais été utilisé avec des colles résorcines on ne disposait d'aucune indication sur les concentrations. Trois poutres échantillons ont été réalisées, chacune étant collée avec mélange résorcine - agent mouillant dans des proportions différentes. Pour la première (N° I 1), la concentration en produit mouillant était de 1,5% (pondéral), pour la deuxième (I 2) 3% et 15% pour la dernière (I 3).

La modification de comportement du mélange collant est très spectaculaire et peut être observée dès l'encollage. En effet, le pouvoir couvrant est très sensiblement augmenté et les quantités de colle nécessaires, pour couvrir 1 m² de surface, sont considérablement diminuées et varient de 300 gr. (concentration 1,5%) au lieu de 500 gr. environ, à 200 gr. (concentration 15%). Les conditions d'assemblage (température, pression de serrage, etc.....) sont identiques à celles de l'échantillon A 12 auquel les résultats pourront être comparés; ceux-ci sont rassemblés dans le tableau N° 4.

Leur examen fait apparaître une certaine amélioration des coefficients de résistance et de délamination dans le cas d'une adjonction de

.../...

./.

produit mouillant en faible concentration (1,5%). Toutefois, et parallèlement à ces deux résultats positifs, on note une perte d'adhérence assez importante qui rend impossible toute conclusion définitivement favorable quant aux possibilités d'utilisation de cette technique. Par la suite, les performances chutent très vite dès que la concentration en agent mouillant augmente (voir graphique N°4). En fait, il est probable qu'à partir d'un certain taux, les propriétés chimiques du mélange sont très sensiblement modifiées et affectent fortement la qualité de la colle.

Cette première approche dans le domaine des agents mouillants n'en reste pas moins intéressante et méritera d'être approfondie. En effet, les résultats obtenus à faible concentration sont plutôt encourageants. Il est probable que, même dans le cas présent, la concentration en produit mouillant était trop importante. Il semble que la concentration optimum devrait se situer entre 0,3 et 0,5%. Ces propositions devraient permettre une modification suffisante des propriétés physiques du mélange collant sans altérer pour autant de façon sensible les propriétés chimiques.

7 - INFLUENCE DE L'ORIENTATION DES BOIS ET DU CONTREFIL

Les lamelles utilisées pour les essais précédents étaient orientées sur faux quartier. C'est-à-dire que l'angle fait par les cernes d'accroissement et les surfaces à encoller était d'environ 45°.

Le problème de l'orientation des bois a été étudié par S. White sous l'aspect pénétration des colles. Il affirme que grâce aux rayons médullaires, la colle pénètre plus facilement et plus profondément dans les pièces orientées sur dosse. Des essais effectués par White sur Southern Pine permettent d'évaluer à une vingtaine de microns, la différence de pénétration entre les orientations quartier et dosse. Cette différence pourrait dépasser 100 μ pour des bois très tendres.

Pour l'AZOBE, le problème se pose différemment. En effet, les délaminations importantes, souvent observées au cours de l'essai de vieillissement artificiel, peuvent être imputées au retrait important de ce bois. Il entraîne le développement de tensions élevées localisées à l'inter-face colle-matériau. Pour des bois à faible cohésion, il s'ensuit une rupture des fibres et peu de délaminations dans les plans de collage. Dans le cas de l'AZOBE, la résistance mécanique élevée du bois n'est pas très éloignée de celle de la colle. Dans ces conditions, les ruptures peuvent se produire dans le bois ou dans le plan de collage avec des probabilités voisines entraînant des coefficients de délamination élevés. L'objectif était donc d'orienter les lamelles de façon à

.../...

./.

obtenir des variations relatives de dimensions les plus faibles possibles. Pour cela, l'orientation sur quartier s'imposait. Une poutre échantillon (appelée E) a donc été réalisée à partir de lamelles particulièrement sélectionnées, parfaitement orientées sur quartier et sans la moindre trace de contrefil, afin d'étudier parallèlement l'influence de ce défaut. Les conditions de collage sont les mêmes que celles de la poutre A 11. Les résultats comparés sont les suivants :

Orientation des lamelles	n	R	$\overline{\sigma}_R$	A	$\overline{\sigma}_A$	D
Faux quartier	25	83	21	35	23	36
Quartier sans contrefil	15	95	7	43	33	15

On observe une amélioration importante du coefficient de résistance associée à un comportement beaucoup plus homogène des plans de collage. Par contre, les coefficients d'adhérence restent insuffisants ainsi que le comportement à l'essai de vieillissement artificiel et ce, malgré une progression spectaculaire des coefficients de délamination. Par ailleurs, l'influence du contrefil, s'il n'est pas trop important, ne semble intervenir que d'une façon très secondaire. En effet, des espèces telles que le DABEMA (*Piptadeniastrum africanum*) beaucoup plus contrefilée que l'AZOBE, ont été collées dans les mêmes conditions et subi avec succès les différents tests d'aptitude au collage. Enfin, l'orientation sur quartier des lamelles qui permet de réduire de façon sensible les tensions dans le plan de collage, mais qui par ailleurs, demande du point de vue industriel un mode de débit particulier, ne semble pas devoir être l'élément essentiel au bon collage du bois d'AZOBE. Des résultats bien supérieurs ont été obtenus par préchauffage des bois ou par adjonction d'un produit mouillant en très petite quantité pour des poutres-échantillons constituées de lamelles tout venant.

8 - CONCLUSIONS :

Les essais systématiques mettant en oeuvre les différents paramètres de collage, nous permettent de tirer, dans le cas de l'AZOBE, les conclusions suivantes :

. des bois convenablement usinés ne nécessitent pas des pressions de serrage élevées au moment de la polymérisation. Bien au contraire, la colle pénétrant mal le matériau, il y a risque de création de joints maigres en cas de serrage important. Des pressions de l'ordre de 6 à 8 kg./cm² peuvent être considérées comme suffisantes.

.../...

./.

. augmenter le temps d'assemblage fermé semble sans intérêt. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec un temps d'assemblage fermé assez court, de l'ordre de 10 minutes.

. la température des bois, au moment de l'encollage, semble jouer un rôle essentiel. Cette conclusion rejoint celle de R.J. Newall et J.E. Grosert (F P R L). Des résultats assez bons ont été obtenus par préchauffage à 30° c. des lamelles avant collage. Le maintien de cette température pendant la durée de polymérisation et le stockage des éléments à au moins 25° c. pendant une semaine, ne peuvent qu'augmenter la résistance mécanique des joints.

. un simple rabotage, convenablement effectué est suffisant. Les techniques de rainurage ou de ponçage n'apportent aucune amélioration particulière.

. l'orientation au hasard des lamelles est tout à fait possible et se justifie par la faible différence entre retrait tangentiel et retrait radial pour le bois d'AZOBE. Par ailleurs, le contrefil ne semble pas suffisamment important pour pouvoir perturber, de façon sensible l'aptitude au collage. Bien au contraire, la présence de fil, légèrement incliné (au plus 5% de perte) peut, selon S. White, faciliter la pénétration de colle dans le bois, ce qui est un facteur non négligeable, dans le cas de l'AZOBE.

D'une façon générale, les perspectives, quant au collage de l'AZOBE à partir de colles résorcines, sont particulièrement encourageantes. Une des difficultés majeures réside dans l'essai de vieillissement artificiel, en raison de la haute résistance mécanique du bois d'AZOBE. Des essais comparatifs de vieillissement naturel seront entrepris dès 1981 en champs d'essais extérieurs dans diverses conditions de sollicitation.

Par ailleurs, cette phase d'approche a permis d'orienter les recherches vers deux points essentiels concernant :

- d'une part, une approche scientifique de la mouillabilité de l'AZOBE par des colles résorcines et les moyens de l'améliorer (préchauffage des bois - adjonction d'agents mouillants - traitements chimiques des supports avant collage etc...)

- d'autre part, une étude systématique des corrélations existant entre grammage optimum, pénétration des colles, pression de serrage.

Des travaux seront menés dans ce sens dès 1980. Toutefois, un essai complémentaire a immédiatement été entrepris à la lumière des conclusions précédentes. Il s'agissait de réaliser une poutre de 80 cm. de long, en utilisant les conditions optima précédemment définies :

.../...

./.

- . température des bois à l'encollage et pendant la durée de la polymérisation : $35^{\circ} + 2^{\circ}$ c., état hygrométrique de l'air $70 + 5\%$.
- . température de stockage pendant une semaine après polymérisation : $30^{\circ} + 2^{\circ}$ c., état hygrométrique de l'air $65 + 5\%$.
- . temps d'assemblage fermé : 10 minutes.
- . temps d'assemblage ouvert non contrôlé, mais inférieur à 5 minutes.
- . pression de serrage : 6 kg./cm^2 .
- . état de surface rabotée, orientation des bois essentiellement sur faux quartier.
- . adjonction d'un produit mouillant à raison de $0,3\%$ en parties pondérales du mélange.
- . grammage.

Les essais ont essentiellement porté sur les tests de délamination. Aucune éprouvette n'a présenté à l'issue des 3 cycles un taux supérieur à 4 % . Ce résultat, très satisfaisant montre qu'il est possible de réaliser des éléments lamellés, collés à la résorcine, à partir de bois d'AZOBE répondant aux tests habituels de laboratoire. La transposition au stade industriel des conditions optima de collage ainsi définies, ne devraient pas poser de problème particulier. Toutefois, il convient de conserver un optimisme mesuré sur les possibilités de développement industriel, tant qu'aucun test de reproductibilité systématique à grande échelle n'aura pas été réalisée dans des conditions industrielles. Des perspectives de débouchés nouveaux pourraient alors être envisagés pour le bois d'AZOBE, grâce à l'application des techniques de reconstitution par collage.

* *
*

A N N E X E S

TABLEAU N° 0

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES
DE L'ECHANTILLON D'AZOBE UTILISE POUR L'ETUDE

Caractéristiques physiques	Unités	Valeurs moyennes
Dureté (Chalais-Meudon)	sans	14,1
Densité à 12 % d'humidité (par rapport à l'eau)	sans	1,04
Rétractibilité volumétrique totale	%	20,0
Coefficient de rétractibilité volumétrique pour une variation de 1 % du taux d'humidité	%	0,7
Rétractibilité tangentielle	%	11,3
Rétractibilité radiale	%	9,2
Rapport T/R	sans	1,2
Caractéristiques mécaniques		
Fendage	N/m	31 . 10 ³
Traction	Pa	54 . 10 ⁵
Cisaillement	Pa	174 . 10 ⁵
Compression axiale à 12 % d'humidité	Pa	886 . 10 ⁵
Cote statique - C/100 D	sans	8,7
Flexion statique à 12 % d'humidité	Pa	2318 . 10 ⁵
Cote de flexion - F/100 D	sans	22,7
Module d'élasticité apparent	Pa	154 . 10 ⁸
Résilience	Pa	9,7 . 10 ⁴
Cote dynamique K/D ²	sans	0,96

* mesurées sur deux éprouvettes

TABLEAU N° 1

CONDITIONS DE FABRICATION DES POUTRES AZOBE

N°	Usinage			Orientation des bois	Conditionnement				Collage		Conditions de stockage pendant une semaine °C
	Rabotage	Rainurage o	Ponçage		Vide	Chimique divers	H % encollage	Température encollage	Temps assemblage en min.	Pression en kg/cm ²	
A-11	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	10	10	21
A-12	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	10	12	21
A-13	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	10	15	21
A-21	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	20	10	21
A-22	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	20	12	21
A-23	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	20	15	21
A-31	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	35	10	21
A-32	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	35	12	21
A-33	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	35	15	21
D	oui	-	-	Q sans contrefil	-	-	12	21°	10	12	21
E	oui	-	-	Q	-	-	12	21°	10	10	21
F	oui	-	-	F Q	-	-	12	21°	1-2 : 50 2-3 : 40 3-4 : 30 4-5 : 20 5-6 : 10	6	21
G-1	oui	-	-	F Q	-	-	12	30°C 65%	10	9	35
G-2	oui	-	-	F Q	-	-	12	40°C 65%	5	9	35
H-1	-	oui	-	F Q	-	-	12	21°C 65%	10	9	35
H-2	-	-	oui	F Q	-	-	12	21°C 65%	10	9	35
I-1	oui	-	-	F Q	-	1,5% *	12	25°C 65%	10	11,5	21
I-2	oui	-	-	F Q	-	3% *	12	25°C 65%	10	11,5	21
I-3	oui	-	-	F Q	-	15% *	12	25°C 65%	10	11,5	21

* Concentration pondérale en agent mouillant.

o Présence du rabot à dents.

TABLEAU N° 2

INFLUENCE DE LA PRESSION DE SERRAGE

Temps d'assemblage en minutes	n	1 0								n	2 0								n	3 5							
		R	$\overline{\sigma}_R$	Δ	A	$\overline{\sigma}_A$	Δ	D	R		$\overline{\sigma}_R$	Δ	A	$\overline{\sigma}_A$	Δ	D	R	$\overline{\sigma}_R$		Δ	A	$\overline{\sigma}_A$	Δ	D			
Pression 15 kg/cm ²	22	77	21	9	17	25	11	57	25	90	12	5	57	31	14	21	25	92	22	10	25	26	12	25			
Pression 12 kg/cm ²	25	88	15	6	48	34	14	49	25	92	15	6	42	32	13	15	25	90	12	5	57	29	12	25			
Pression 10 kg/cm ²	25	83	22	9	35	23	9	36	25	85	8	3	77	24	10	20	25	94	20	8	45	32	13	13			
Pression 6 kg/cm ²	15	95	7	4	43	33	18	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

n : nombre de plans de collage testés

Δ : intervalle de confiance de la moyenne au seuil 0,95

R, A et D exprimés en %

TABLEAU N° 3

INFLUENCE DU MODE DE PREPARATION DES BOIS

	n	R	\bar{J}_R	Δ	A	\bar{J}_A	Δ	D
Rabotage	25	88	15	6	48	34	14	50
Rainurage	25	86	15	6	60	34	14	18
Ponçage	25	87	12	5	61	24	10	22

Δ : intervalle de confiance de la moyenne au seuil 0,95

R, A et D exprimés en %

TABLEAU N° 4

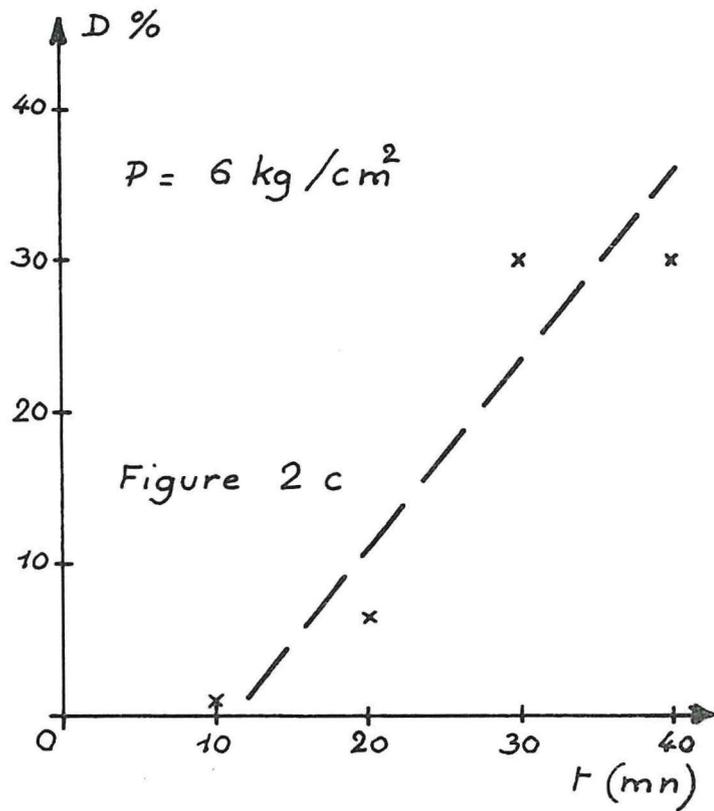
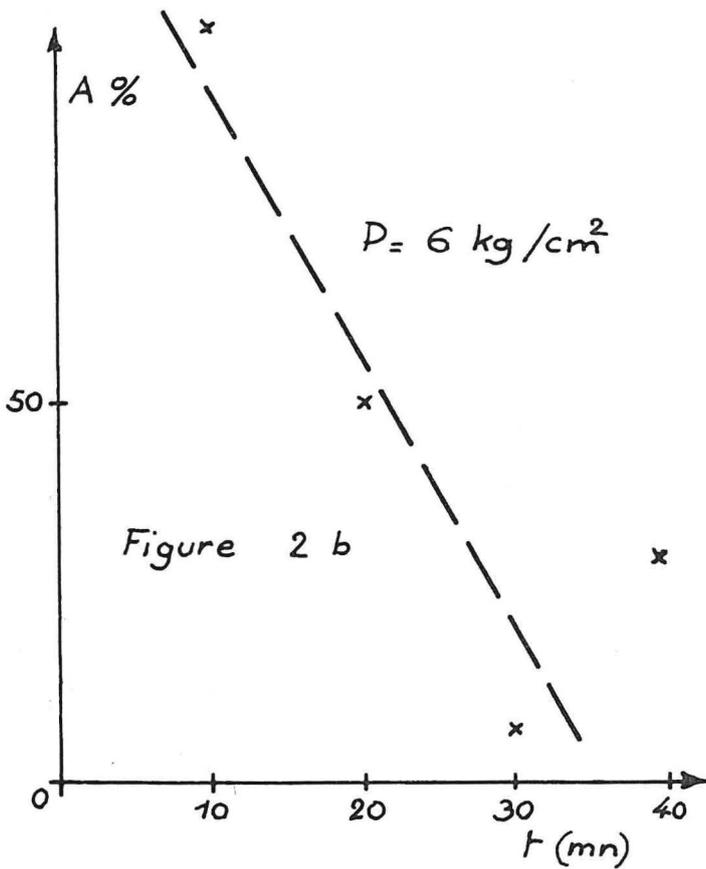
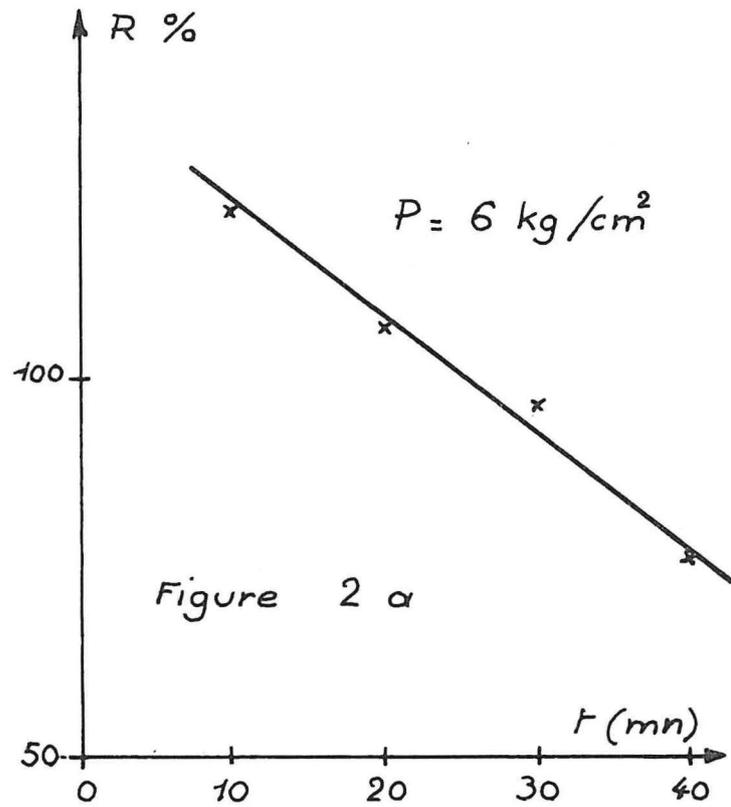
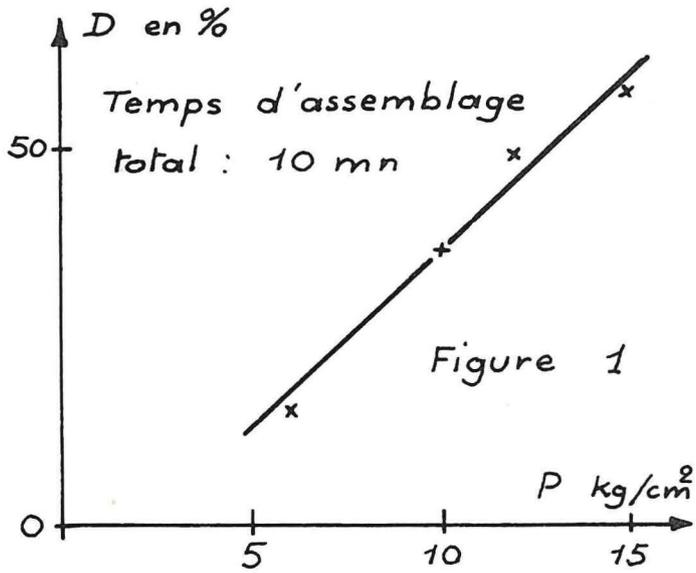
ADJONCTION D'UN AGENT MOUILLANT

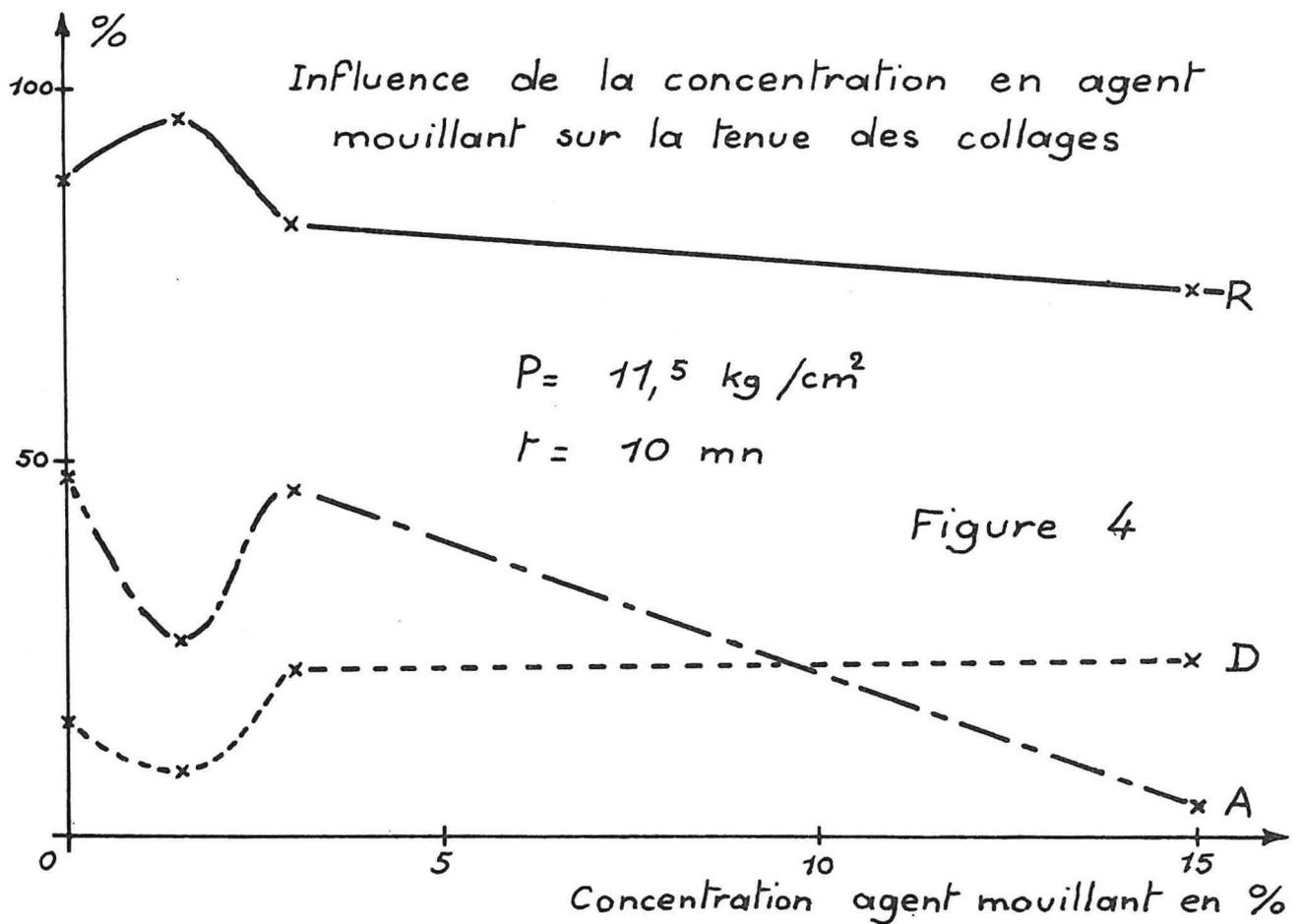
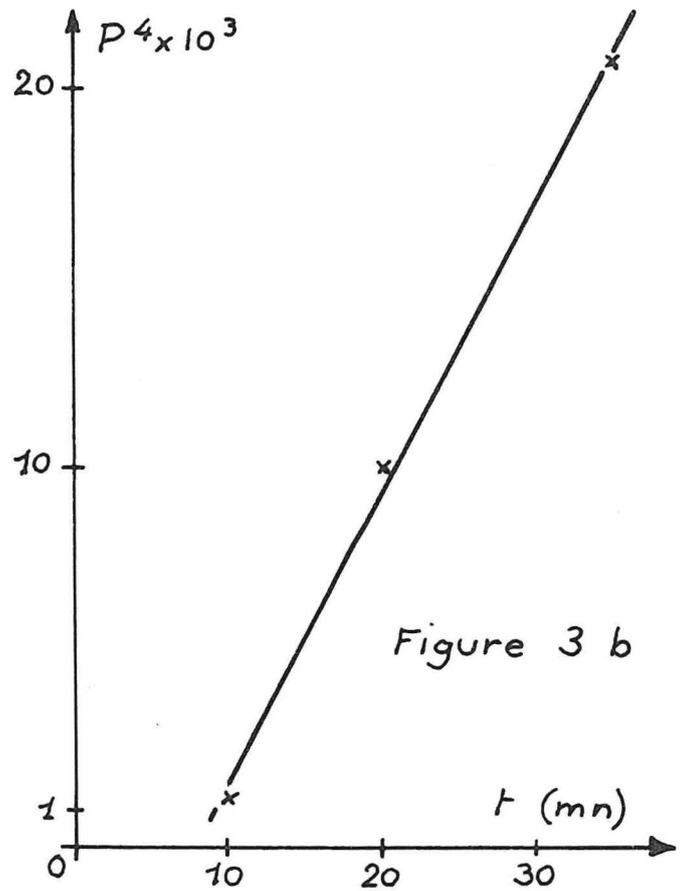
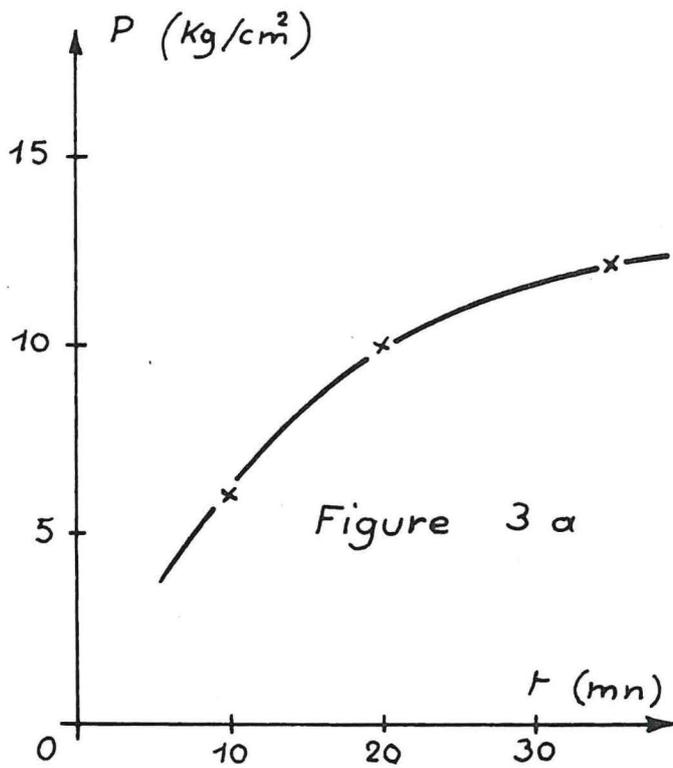
Concentration pondérale en agent mouillant	n	R	\bar{J}_R	Δ	A	\bar{J}_A	Δ	D
0 %	25	88	15	6	48	34	14	15 %
1,5 %	24	96	15	6	26	23	10	8,5 %
3 %	23	82	18	8	46	32	14	22 %
15 %	23	73	17	7	04	11	5	23 %

Δ : intervalle de confiance de la moyenne au seuil 0,95

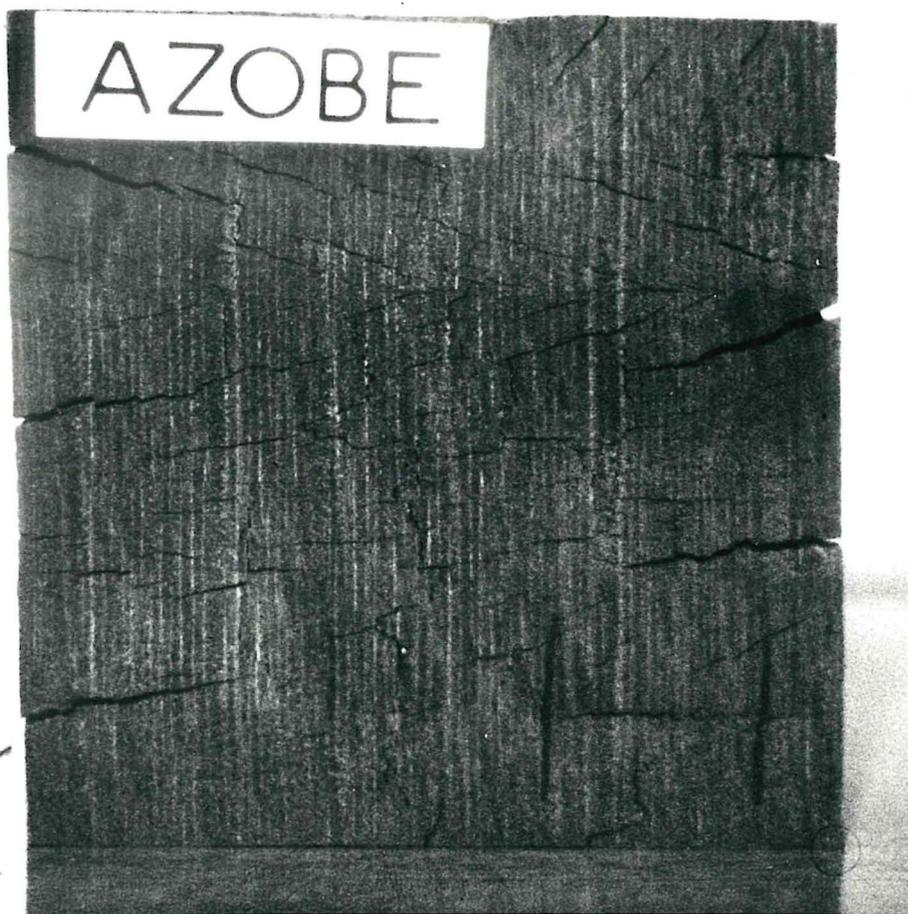
R, A et D exprimés en %

Influence de la pression de serrage sur la délamination à t constant





AZOBE



Eprouvette de délamination en bois d'AZOBE

BIBLIOGRAPHIE D'ORDRE GENERAL

- M.S. White - Influence of Resin Penetration on the Fracture toughness of wood adhesive bonds. Wood Science and Technology - Juin 1977.
- J.F.S. Carruthers et O.M. Paxton - (F P R L 1960) A Study of the function of Pressure and some associated factors in the gluing of wood.
- Freeman H.A. (1959) - Relation between physical and chemical properties of wood and adhesion. For. Prod. J. 9 (12), 1959 (451-8).
- R.J. Newall et J.E. Grosert (F P R L 1955) - The cold gluing of oak and african mahogany laminates.
- J.W. Gottstein et K.F. Plomley (C S I R O - 1967) - Bonding high density wood species with resorcinol formaldehyde adhesives.
- V.R. Gray (Trada 1962) - The Wettability of Wood. Septembre 1962.
- J.T. Quirk - T.T Kozlowski et R.F. Blomquist - (1967) Effects of adhesive formulation and age on strength of bonded butt joints.
- L.S. Doman (F P R L 1964). The Effect of moisture contact at the time of manufacture and after subsequent storage, on the bond quality of laminated beams glued with a resorcinol resin.
- G. Laval - (1968) - Colles et collages dans l'industrie du bois.
- J. Guiscafré et C. Sales - Etude de l'aptitude du Movingui (*Disthemonanthus benthamianus*) à l'utilisation en lamellé-collé - BFT n° 161 - (1975).
- J. Guiscafré et C. Sales - Possibilités de collage en mélange de plusieurs espèces africaines de "Bois rouges" - BFT n° 175 (1977).
- Le collage du bois - Cahier CTB n° 109.

BIBLIOGRAPHIE - COLLAGE AZOBE

- Monographie de l'Azobé - C.T.F.T. 1954.

- Note sur la fabrication de trois pièces de roulement en Azobé pour la régie autonome des transports parisiens. Sallenave 1961.

- Les pièces de roulement en Azobé pour le métro sur pneu. Sallenave Juin 1959.

- Etat d'avancement des recherches sur la fabrication de pièces de roulement en Azobé collé - Sallenave Octobre 1959.

- Séchage de frises d'Azobé de 30 mm - Sallenave août 1959.