

Photo Trong.

Dispositif expérimental.

*Vue générale des éprouvettes en panneaux posées dans des bacs,
en période d'essai dans une serre où seule la température est réglée.*

RECHERCHE EXPÉRIMENTALE D'UNE MÉTHODE D'ESSAI DE LA RÉSISTANCE DES PANNEAUX À LA POURRITURE

par Lucien TRONG
Centre Technique Forestier Tropical

Cette étude a été effectuée dans le cadre d'une opération de recherche de la Division de Préservation du Centre Technique Forestier Tropical sur aide incitatrice de la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique (D.G.R.S.T.). Cette publication ne fait état que des travaux entrepris sur les panneaux contreplaqués et n'aborde pas toutes les expérimentations préliminaires faites sur des panneaux de particules.

SUMMARY

« DIRECT METHOD OF TESTING THE RESISTANCE OF BOARDS AGAINST FUNGAL DECAY »

A method directly inspired from the French standard testing method of boards against fungal decay is described (AFNOR N° 51.295 — May 1980). The infestation, localized and controlled, is realized in non sterile conditions according to the basic principles used in the last few years at the Preservation Unit of the Centre Technique Forestier Tropical, France. The results obtained after 12 weeks of exposure to basidiomycetes and static bending test seemed to assess the efficiency of this direct testing method.

RESUMEN

« BÚSQUEDA EXPERIMENTAL DE UN MÉTODO DE RESISTENCIA DE LOS PANELES À LA PODREDUMBRE »

Se describe un nuevo método de ensayo de resistencia de paneles al ataque de hongos que se inspira directamente del método normalizado en Francia (AFNOR N° 51.295 — Mayo 1980). La contaminación con hongos xilófagos se localiza en la parte media de los probetas de ensayo y se realiza en condiciones no estériles según los principios básicos utilizados estos últimos años en el laboratorio de preservación del Centre Technique Forestier Tropical en Francia. Los resultados obtenidos a partir de un ensayo de ruptura en flexión estática después de 12 semanas de tratamiento al contacto con los hongos, parecen mostrar la eficacia de este método de ensayo.

INTRODUCTION

Matériaux à base de bois, les panneaux contreplaqués et les panneaux de particules présentent, *a priori*, une assez grande analogie avec leur matériau d'origine dans leur réaction aux divers facteurs biologiques d'altération, de dégradation et de destruction.

Exposés à l'humidité ils sont, comme le bois, susceptibles de pourrir ou d'être le siège de développements en surface de moisissures peu détériorantes mais nuisibles à l'aspect. Les attaques de termites sur des panneaux contreplaqués ou des panneaux de particules sont chose courante là où les termites existent. Vis-à-vis des insectes xylophages dont l'action se développe durant la phase larvaire, l'analogie avec le bois massif commence à devenir moins évidente, notamment dans le cas des panneaux de particules chez lesquels, à la fois l'extrême dissociation du bois et la présence, en tout point, d'un liant chimique de synthèse, semblent se conjuguer pour désorganiser le processus normal d'attaque. Cependant, chez les panneaux contreplaqués d'essences feuillues sensibles aux lyctus (Obeche, Ilomba, Koto, Ramin, aubiers en général), ces derniers peuvent développer des attaques d'une extrême gravité.

D'une manière générale donc, le risque biologique existe bien pour les panneaux contreplaqués et les panneaux de particules et on s'est attaché à examiner plus particulièrement en quels termes se pose le problème de leur comportement vis-à-vis des champignons de pourriture (basidiomycètes) et comment, à l'heure actuelle, on est en mesure de juger expérimentalement de la résistance de ces panneaux à la pourriture. A partir de l'information obtenue par l'étude des documents cités en bibliographie, on s'est efforcé d'établir une synthèse de la question et d'envisager ce que pourraient être de nouveaux travaux expérimentaux.

Lorsqu'on aborde le domaine de la préservation chi-

mique du bois contre la pourriture, il faut distinguer clairement deux domaines d'expérimentation : celui des produits de préservation en eux-mêmes, et celui de la préservation apportée au bois par ces produits.

Sur le plan méthodologique, il s'agit de déterminer les seuils d'efficacité du produit étudié vis-à-vis d'un certain nombre d'espèces définies de champignons basidiomycètes : le seuil d'efficacité d'un produit est compris entre les 2 valeurs limites de teneurs correspondant :

— l'une à la concentration la moins élevée protégeant le bois,

— l'autre à la concentration immédiatement inférieure dans la série employée, pour laquelle le bois commence à ne plus être suffisamment protégé (perte de masse moyenne $> 3\%$).

Lorsqu'il s'agit de juger non plus de la valeur fongicide intrinsèque d'un produit de préservation mais de la valeur de la préservation apportée à un bois donné par un produit sous sa forme d'emploi, appliqué selon un mode de traitement défini, le problème expérimental devient moins simple car l'adéquation des conditions expérimentales aux conditions réelles est alors un souci majeur, même si, de toute évidence, la complexité du processus microbiologique complet de détérioration du bois dans la réalité rend illusoire toute prétention de le reproduire au niveau de méthodes courantes d'essai en laboratoire. C'est cependant le souci exprimé plus haut qui est à l'origine de travaux divers ayant abouti à la définition de méthodes dans lesquelles le bois traité, représentatif pour ce qui le concerne de la réalité, est confronté au facteur biologique le plus « destructeur » au sens pratique, c'est-à-dire aux champignons basidiomycètes de pourriture. Ces divers travaux seront mentionnés plus avant dans le corps de cet article.

Le rappel sommaire et quelque peu schématique des principaux axes méthodologiques dans le domaine du bois massif et de sa préservation permet, nous semble-t-il, de mieux introduire la question de l'expérimentation sur les panneaux, en montrant, d'une part, ce qu'elle peut avoir de commun avec les méthodes exposées plus haut et, d'autre part, ce qu'elle doit avoir de mieux adapté et de plus spécifique.

L'étude des méthodes d'essai de la résistance des panneaux contreplaqués et des panneaux de particules à la pourriture ne peut se faire, pour ces raisons, sans évoquer au préalable, les méthodes s'appliquant au bois en son état naturel (bois massif) ainsi que celles relatives à l'efficacité des produits de préservation du bois. Aussi bien, dans le cas des panneaux, peut-on avoir affaire soit à des panneaux non traités soit à des panneaux rendus résistants à la pourriture par des traitements fongicides.

Une très grande variété de méthodes d'essai ont été mises au point (COGGINS, 1978) dont les travaux présentés ici sont une contribution.

A de très rares exceptions près (MATEUS, 1954) les méthodes d'évaluation de la résistance du bois à la pour-

riture sont fondées sur le critère de la **perte de masse** provoquée, dans des conditions expérimentales bien définies, par le champignon d'essai en culture pure sur un milieu nutritif approprié. Il existe une assez grande variété de méthodes, se différenciant surtout les unes des autres, notamment par la nature du substrat nutritif, la forme des éprouvettes, qui sont toujours de faible volume, par le type de récipient d'essai, et, bien entendu, par les gammes d'espèces de champignons adaptées pour chaque pays ou pour une zone climatique donnée.

Ces méthodes, dont le domaine d'application est surtout l'étude de la résistance naturelle d'espèces nouvelles de bois ou d'espèces insuffisamment connues, mettent habituellement en jeu au moins un champignon représentant chacun un des deux grands types de pourriture par les basidiomycètes : pourriture fibreuse et pourriture cubique.

En fin d'essai, le degré d'attaque est évalué, pour chaque champignon, soit par la perte de masse anhydre exprimée en % (cette valeur pouvant théoriquement varier de 0 à 100) soit par la perte de résistance qui, elle, peut être comprise entre 100 et 0.

LES MÉTHODES D'ESSAI CLASSIQUES

Tout d'abord, les **méthodes d'essai en flacons clos**, appliquées aux panneaux contreplaqués ou aux panneaux de particules, sont directement dérivées des méthodes utilisées pour les bois massifs. Les éprouvettes, dont le volume est nécessairement limité par la forme et la capacité des flacons de culture, sont exposées pendant des durées de l'ordre de 12 à 16 semaines selon les méthodes, à des espèces bien répertoriées de basidiomycètes lignivores, et choisies en fonction de la nature des essences de bois, selon qu'elles appartiennent au groupe des essences feuillues ou à celui des essences résineuses. Le critère d'attaque est, le plus souvent, la **perte de masse**.

Les substrats nutritifs varient d'une méthode à l'autre :

EN BELGIQUE, au laboratoire de technologie forestière de l'université de Gembloux, LECLERCQ (1979) emploie un milieu malt-agar et, dans chaque flacon d'essai, l'éprouvette de panneau est accompagnée d'une éprouvette de bois massif (Hêtre ou aubier de Pin selon le champignon) dont l'attaque, en fin d'essai, est un critère de la viabilité de celui-ci (Fig. 1).

EN GRANDE-BRETAGNE, dans le projet de norme « B.S. 0000 — Norme anglaise pour le contreplaqué — partie 6 : durabilité », un essai de résistance à la pourriture est décrit, dont le mode opératoire est très proche de celui de la norme B.S. 868 : « Méthode d'essai de la toxicité des produits de préservation du bois vis-à-vis des champignons », et le milieu nutritif est également un milieu malt-agar. Mais les éprouvettes d'essai vont deux par deux dans chaque flacon, et le contrôle de viabilité des souches de champignons est fait séparément sur des éprouvettes d'un bois massif approprié.

Un travail récent effectué au laboratoire de mycologie du Building Research Establishment (LEA, 1982) montre que, tout en conservant le principe de l'essai en flacon clos et le critère de perte de masse, on pourrait s'orienter, en Grande-Bretagne, vers l'emploi d'un substrat

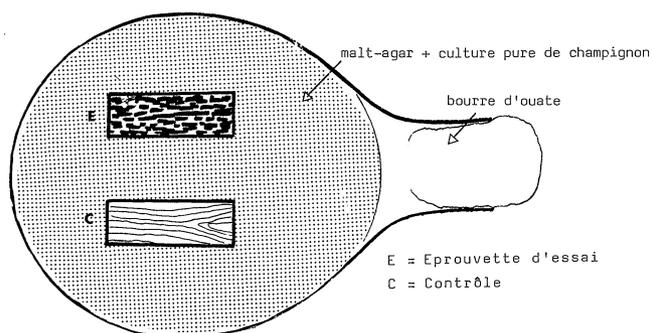


FIG. 1. — Méthode d'essai en flacon clos avec substrat en malt-agar (LECLERCQ, 1979).

constitué d'une terre stérile éventuellement enrichie de certains éléments nutritifs, les éprouvettes d'essai étant par ailleurs enrobées dans une couche de vermiculite, dont la haute capacité d'absorption d'eau est bien connue, jouant un rôle de régulation de l'humidité des éprouvettes à un taux optimal pour l'action des champignons.

DANS LES PAYS DE L'EUROPE DU NORD (Suède, Norvège, Danemark et Finlande), dont il est intéressant de noter au passage que pour tous les problèmes de préservation ils ont décidé de mener une politique commune par le canal d'un organisme commun, le Nordic Wood Preservation Council, la méthode d'essai des panneaux est directement dérivée, là encore, de la norme NWPC 1.4.1.1.1970 d'essai des produits de préservation du bois. Elle emploie une terre comme substrat et le critère d'attaque est la perte de masse.

AUX ÉTATS-UNIS, les essais sur panneaux s'effectuent selon un mode opératoire très proche de celui décrit dans la norme ASTM D-1413, ou dans la norme très voisine AWWA (American Wood Preserver Association) M-10-77, destinées l'une et l'autre à l'essai des produits de préservation du bois (technique des seuils). Dans ces méthodes, le substrat est une terre stérilisée puisensemencée à l'aide des champignons d'essai ; les éprouvettes de panneaux sont placées non pas au contact direct des cultures mais déposées sur de petites plaques de bois après que celles-ci aient été envahies par le mycelium, et désignées sous le nom de « feeder blocks » (= blocs nourriciers) ; la perte de masse est le critère d'attaque retenu.

AU CANADA, c'est selon cette méthode que SMITH et BYRNE (1982) ont réalisé des essais de résistance de panneaux contreplaqués, en laissant entendre toutefois que le choix de cette méthode était « dû à l'absence de méthode plus spécifique des panneaux ».

EN NOUVELLE-ZÉLANDE au laboratoire du Forest Research Institute de Rotorua, HEDLEY (1976) décrit succinctement la méthode employée. Après de premiers essais dans lesquels les éprouvettes étaient entièrement enfouies dans une terre stérilisée puisensemencée des champignons d'essai, il s'est orienté vers une méthode plus directement inspirée de la norme américaine ASTM D-1413 brièvement exposée plus haut.

EN ALLEMAGNE, les essais de laboratoire à proprement parler, au sens où ils sont généralement entendus, c'est-à-dire en flacons clos (flacons de KOLLE, boîtes de ROUX, etc.) ont été abandonnés, du moins dans les laboratoires des organismes officiels tels que le Bundesanstalt für Materialprüfung, depuis plus de vingt ans, au profit des essais en « cave à champignons » (= Schwammkeller).

Jusqu'à-là, ils étaient réalisés sur cultures pures établies sur milieu malt-agar, selon un mode opératoire très proche de la norme d'essai des produits de préservation du bois (DIN 52 176). C'est en 1958, qu'en Allemagne, GERSONDE et BECKER ont défini la première méthode exposant à des cultures pures de champignons basi-

diomycètes des éprouvettes de bois dont les dimensions les rendaient parfaitement représentatives de pièces employées dans la pratique. Dans cette méthode, universellement désignée sous le nom de « Schwammkeller » (cave à champignons) que lui ont donné ses auteurs, trois espèces de basidiomycètes, responsables fréquemment de pourriture du bois dans le bâtiment, sont cultivées dans des bacs de grandes dimensions (qui peuvent avoir plusieurs mètres de côté) où des éprouvettes d'une essence très sensible sont infestées à l'aide de petits blocs pré-infestés eux-mêmes en laboratoire selon les méthodes classiques. Ces éprouvettes sont posées sur une épaisse assise de terre stérile maintenue humide, et elles constituent un socle infesté sur lequel, lorsque le degré d'infestation apparaît satisfaisant, sont placées les éprouvettes d'essai (couramment 50 × 5 × 2 cm) séparées les unes des autres par des éprouvettes en tous points semblables mais non traitées ; l'ensemble est ensuite recouvert de plaques de verre pour empêcher une dessiccation trop rapide.

Tout ce dispositif est installé dans une grande cave aménagée à cet effet, et équipée de dispositifs de filtration d'air pour éviter l'introduction en trop grande quantité de germes étrangers ; il s'agit d'un dispositif lourd, dont l'équipement et l'entretien sont coûteux. Des difficultés avec des microorganismes contaminants ont été rencontrées à diverses reprises.

Les observations qui précèdent étant faites, il n'en demeure pas moins que le travail de GERSONDE et BECKER est le premier qui, en opérant sur des bois convenablement représentatifs de la réalité, a permis à l'expérimentation de briser le cercle vicieux « petites éprouvettes — petits flacons — signification pratique limitée des résultats », et a ouvert la voie aux recherches qui ont conduit à des méthodes d'essai nouvelles dans lesquelles l'adéquation des conditions expérimentales aux conditions réelles est meilleure.

AU DANEMARK, HANSEN (1973), a imaginé une « mini cave à champignons » dans un bac en matière plastique rigide, d'environ 60 × 40 × 22 cm, et à l'intérieur duquel est constitué un lit de laine de verre, puis de terre stérile humide réhumidifiée. Sur ce substrat humide sont déposées des planchettes infestées à l'aide de champignons d'essai (*Serpula lacrymans*, *Coniophora puteana*, éventuellement *Gloeophyllum trabeum*). Les éprouvettes d'essai sont disposées en alternance avec des éprouvettes témoins non traitées sur les planchettes-inoculats. Un couvercle ferme le bac une fois l'expérience mise en place. Bien que ce dispositif ne semble pas avoir été utilisé pour l'essai de panneaux, il est apparu intéressant de le décrire brièvement comme exemple d'une démarche inspirée par la « cave à champignons » proprement dite mais tendant à une certaine miniaturisation. De divers essais d'application de cette méthode aux panneaux (résultats non publiés) il semble que le problème des contaminations, souvent importantes, constitue un grave handicap pour cette méthode, cependant séduisante dans son inspiration (Fig. 2). La démarche de KUFNER (1973) avec le « flat steel vessel » procède globalement de la même idée.

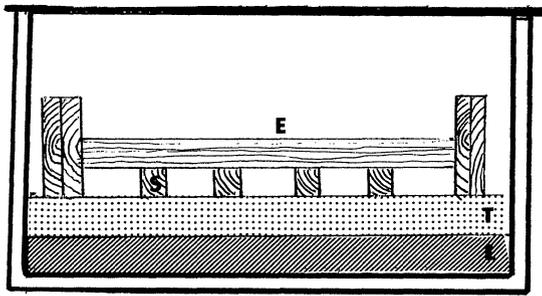


FIG. 2. — Mini-cave à champignons (HANSEN, 1973).

E = éprouvette d'essai
 T = terre stérile humide
 L = laine Rock Wool
 S = support

AU JAPON, TAKAHASHI (1981) décrivait une méthode dans laquelle des éprouvettes de panneaux contreplaqués de 35 cm de long, infestées dans leur partie médiane par une culture de *Tyromyces palustris*, demeurent, tout au long de l'essai, soumises à une charge constante entraînant une flèche dont l'évolution révèle l'évolution de l'attaque. Cela est rendu possible par l'emploi, comme récipient d'essai, de sacs en polyéthylène souples comportant deux ouvertures obturées à l'aide de bouchons en silicone poreux. Extrêmement originale et séduisante, cette méthode n'a pas encore été, à notre connaissance, confrontée au problème de l'accumulation éventuelle de produits volatils toxiques émis par certaines colles.

EN FRANCE, pendant longtemps, les essais se faisaient selon un mode opératoire très proche de celui de la norme NF X 41 502, désormais en désuétude « Méthode d'essai des produits fongicides pour la protection des bois des régions boréales utilisés dans ces mêmes régions (produits pour imprégnation profonde) » utilisant également un milieu malt-agar. C'est toujours ce milieu nutritif qui est utilisé dans le cadre de l'actuelle norme expérimentale NF B 51 295 « Panneaux de particules — Méthode d'essai de la résistance à la pourriture (champignons basidiomycètes) », mais, on le verra plus loin, le critère de perte de masse a été abandonné au profit d'un critère mécanique. FOUGEROUSSE et BARRAY (1977), ainsi que plusieurs autres auteurs, ont longtemps critiqué l'emploi du critère de perte de masse en soulignant un fait bien établi depuis longtemps, à savoir que la perte de masse n'est souvent que le reflet très atténué des chutes correspondantes de certaines propriétés mécaniques, notamment des résistances en flexion dynamique et en flexion statique ; ils citent des exemples de pertes de masse très faibles (inférieures à 1 %) auxquels correspondent après exposition à *Serpula lacrymans* d'éprouvettes de panneaux contreplaqués de diverses essences, des pertes de résistance en flexion statique atteignant près de 25 %.

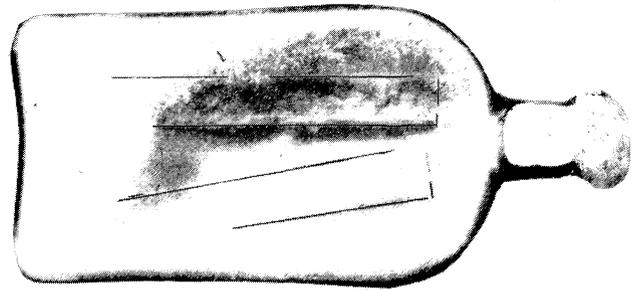


FIG. 3. — Méthode française d'essai de résistance des panneaux suivant la norme NF B 51.295. Deux éprouvettes d'essai soumises à l'attaque des cultures pures de champignon en flacon clos.

En outre, d'un point de vue pratique, dans les emplois où les panneaux n'ont pas qu'un rôle de revêtement, mais sont sollicités mécaniquement (certains planchers en panneaux de particules par exemple) la résistance en flexion statique joue un rôle important et il est évident que son évolution sous l'action des agents de pourriture offre à l'« utilisateur » un intérêt beaucoup plus évident que la perte de masse. C'est en fonction de ces diverses considérations qu'en France, sur la base des travaux des deux auteurs cités ci-dessus, a été élaborée la norme NF B 51.295 dans laquelle des éprouvettes de flexion sont exposées, en flacons clos, à des cultures pures, sur milieu malt-agar (Fig. 3) de champignons basidiomycètes au nombre de quatre : deux représentant les pourritures fibreuses, l'un tempéré et l'autre tropical, et deux représentant la pourriture cubique, l'un tempéré et l'autre tropical. Après exposition fongique, les éprouvettes sont soumises à la rupture en flexion statique. Un inconvénient majeur subsiste cependant, car ces essais se réalisent dans des récipients de volume relativement faible et fermés habituellement à l'aide d'un tampon de coton cardé qui permet certains échanges gazeux entre l'air ambiant et l'atmosphère interne au récipient, mais cependant assez limités. La plupart des auteurs s'accordent à considérer que cette limitation des échanges gazeux constitue un inconvénient extrêmement grave lorsque les panneaux essayés sont liés à l'aide d'une colle susceptible de laisser, après fabrication, certains produits volatils dans le panneau, dont la lente émission durant l'essai et l'accumulation dans le flacon d'essai peuvent nuire à l'activité des champignons, voire l'inhiber totalement. Ce phénomène est particulièrement net dans le cas de certains types de colles urée-formol ou phénol-formol, les vapeurs de formol se révélant particulièrement toxiques (DEPPE & GERSONDE (1969), WILLEITNER (1969), FOUGEROUSSE & BARRAY (1976-1977)). Deux solutions ont été définies pour y remédier :

— l'une par HINTERBERGER (1970) qui a imaginé un dispositif assurant un renouvellement de l'air à l'intérieur des flacons, donc l'élimination des produits vola-

tils toxiques au fur et à mesure de leur émission, en prenant les précautions nécessaires pour que ne soient pas introduits dans les flacons des germes contaminants.

— l'autre dans le projet britannique de norme B.S. 0000 (1979) et dans la norme expérimentale française NF B 51.295 (1980), qui consiste à soumettre les éprouvettes, avant leur exposition aux champignons, à un vieillissement artificiel léger, dont l'expérience montre qu'il suffit à éliminer le risque.

Une autre solution encore serait d'essayer de sortir l'éprouvette d'essai du flaconnage, solution adoptée pour les travaux expérimentaux de cet article, travaux fondés, d'une part, sur l'actuelle norme expérimentale française NF B 51.295 et, d'autre part, sur les nouvelles méthodes d'essai direct (FOUGEROUSSE, 1980) dont l'originalité réside dans l'**expérimentation à l'air libre**, à l'aide de champignons d'essai parfaitement définis, maintenus à l'abri de contaminations par d'autres microorganismes grâce à l'emploi de bactéricides et, surtout, de fongicides sélectifs très actifs contre les *imperfecti* et les *ascomycètes* mais inoffensifs, aux concentrations employées, pour les *basidiomycètes*. Ainsi libérée des limitations dimensionnelles, l'expérimentation sur des éprouvettes de grandes dimensions devient possible,

y compris sur des produits finis tels que des fenêtres (FOUGEROUSSE, 1982). Ce sont ces principes que nous avons appliqués dans les expériences décrites au chapitre suivant.

Avant de clore cette revue succincte des principales méthodes d'essai de la résistance de panneaux à la pourriture — et surtout de leurs principes de base — nous ne manquerons pas d'indiquer qu'un autre problème se pose, pratiquement, aux utilisateurs de panneaux, notamment de panneaux de particules, celui de la protection contre les **développements de moisissures** en surface. Par définition, les microorganismes responsables sont bien différents des champignons basidiomycètes de pourriture, et l'expérience montre que la lutte contre ces moisissures, détériorantes de l'aspect des panneaux, ne se combine pas facilement avec la lutte contre la pourriture. Il est intéressant de noter qu'au niveau des panneaux on retrouve, en matière de préservation contre les microorganismes la même dualité que dans le cas du bois massif : d'une part, la préservation structurelle du matériau, garante de sa solidité et, d'autre part, la protection d'aspect, ces deux types de protection apparaissant d'ailleurs, comme pour le bois massif, et dans l'état actuel des techniques, difficiles à conjuguer au sein d'un unique dispositif de traitement.

EXPÉRIMENTATION

Les deux principaux objectifs que nous cherchions à atteindre étaient :

— de localiser les attaques fongiques sur la partie médiane de l'éprouvette d'essai (c'est-à-dire à l'endroit où s'applique l'effort de rupture), afin d'obtenir des résultats plus homogènes que ceux généralement enregistrés par la méthode décrite dans la norme NF B 51.295.

— de se libérer des contraintes dimensionnelles liées à l'expérimentation en flacons (de capacité usuelle très limitée), ceci étant particulièrement important pour l'étude de la résistance des panneaux de particules multicouches dont l'épaisseur peut atteindre quelques centimètres.

DÉFINITION DES ÉPROUVETTES ET CONSTITUTION DES LOTS

138 éprouvettes ont été prélevées dans des panneaux contreplaqués constitués de 7 plis de 2 mm d'épaisseur en Okoumé (*Aucoumea klaineana* Pierre), la colle utilisée répondant à la spécification « Panneaux CTBX extérieur ».

Les éprouvettes d'essai ont été réparties en six séries :

— 4 séries de 28 éprouvettes destinées à être exposées aux quatre champignons cités ci-après.

— 1 série de 14 éprouvettes soumises aux mêmes conditions expérimentales mais en l'absence de champignons basidiomycètes.

— 1 série témoin de 12 éprouvettes gardées en pièce climatisée (salle de stabilisation) à $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à $65\% \pm 5\%$ d'hygrométrie.

Dans chacune des 5 premières séries, la moitié des éprouvettes a subi une exposition de 12 semaines. Pour l'autre moitié, cette période d'exposition est de 8 semaines, pour l'étude du facteur « temps d'exposition ». À la fin de ces périodes, les éprouvettes, débarrassées de leur mycélium, ont été placées pendant un mois pour séchage et stabilisation dans une pièce climatisée à $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à $65\% \pm 5\%$ d'humidité relative.

À l'issue de cette période de stabilisation, les éprouvettes d'essai ont subi l'épreuve de rupture en flexion statique définie dans la norme NF B 51.295. La baisse de la charge appliquée sur les éprouvettes exposées à un champignon traduit le degré d'attaque de ce dernier.

INOCULATS :

Les inoculats découpés dans une essence de bois périssable (Hêtre, *Fagus sylvatica*) de dimensions $60 \times 20 \times 10$ mm (le fil du bois étant parallèle aux grandes faces) ont été préalablement infestés en flacon de culture par les différents champignons d'essai ; la durée d'infestation a été de 4 à 6 semaines selon les souches (Fig. 4).

CHAMPIGNONS D'ESSAI :

Les espèces employées sont choisies en fonction de la nature des essences de bois entrant dans la composition des panneaux, mais aussi en fonction de leur importance et de leur fréquence dans la réalité des attaques observées sur des panneaux en services.

Certaines espèces à distribution géographique très large se retrouvent dans un très grand nombre de laboratoires ; c'est par un exemple, et notamment, le cas de *Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex Fr.) Murrill.

— *Gloeophyllum trabeum* (souche BAM Ebw 109), agent de pourriture cubique de zone tempérée (des bois résineux comme des essences feuillues).

— *Coriolus versicolor* (L) (souche CTB 863 A), agent de pourriture fibreuse de zone tempérée.

— *Lentinus squarrosulus* (souche CTFT 55 A), agent de pourriture fibreuse de zone tropicale.

— *Antrodia sp.* (souche CTFT 57), agent de pourriture cubique de zone tropicale.

TECHNIQUE DE MISE EN PRÉSENCE ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Les inoculats extraits des flacons de culture et débarrassés du mycélium qui les enrobe sont, tout d'abord, trempés dans une solution aqueuse de bénomyl à 0,000 8%. Puis, les éprouvettes d'essai également traitées par immersion brève dans cette solution, sont ensuite infestées (comme le montre la figure 5) en mettant en contact étroit la partie supérieure des inoculats et la partie médiane des chants des éprouvettes d'essai. Les montages ainsi réalisés sont disposés dans des bacs dits « à réserve d'eau constante », permettant une réhumidification régulière et permanente, dans lesquels on a préalablement mis une couche de vermiculite humidifiée par la solution de bénomyl décrite ci-dessus. La base des inoculats est enfoncée d'un centimètre environ dans la vermiculite, les éprouvettes d'essai étant à l'air libre et séparées de la surface du substrat humide par une plaque de polyéthylène dont la présence est destinée aussi à ralentir au maximum l'évaporation de l'eau et à conserver en permanence une humidité suffisante au niveau de la zone de contact inoculat/épreuve d'essai. L'ensemble des inoculats d'infestation et des éprouvettes d'essai par série de 7 est maintenu par la seule pression exercée par les parois longitudinales des bacs en plastique (Fig. 6). L'essai s'est déroulé dans des serres réglées à 20 °C environ où l'humidité ambiante est de l'ordre de 70 %.

Dans nos essais, la période d'exposition a été de 8 semaines pour la moitié des éprouvettes de chacun des quatre premiers lots (soumis aux champignons) et de

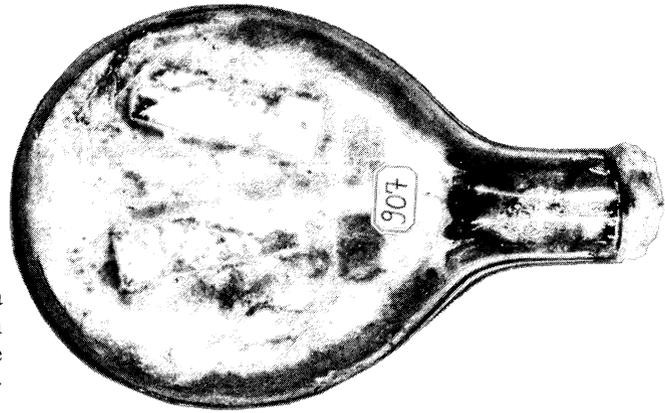


FIG. 4. — Inoculat et infestation de l'inoculat.

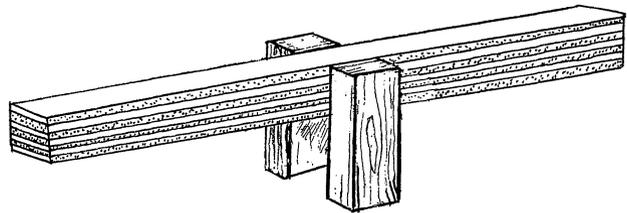
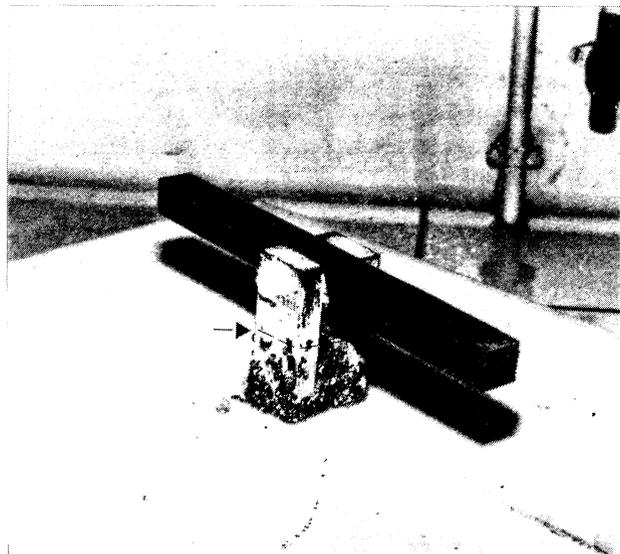


FIG. 5. — Montage et dispositif expérimental.



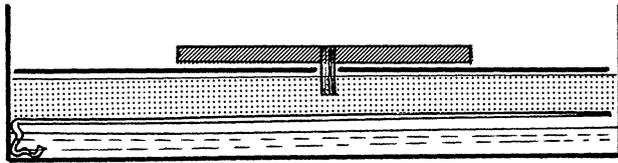


FIG. 6. — *Détail et vue d'ensemble du dispositif expérimental.*

12 semaines pour l'autre moitié. Pour les témoins « sur vermiculite seule », cette période a été de 8 semaines. A l'issue de ces périodes, les éprouvettes, débarrassées des inoculats et du mycélium adhérent, ont été placées pendant un mois pour séchage et stabilisation dans une pièce climatisée à $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à $65\% \pm 5\%$ d'humidité relative. Après stabilisation, les éprouvettes ont subi l'épreuve de rupture en flexion statique.

ESSAIS MÉCANIQUES :

Dans ces essais mécaniques conformes à la Norme NF B 51.295 (Fig. 8), les résultats s'expriment sous forme des contraintes de rupture en flexion calculées à partir de la mesure des efforts de rupture, suivant la formule classique,

$$n_f = \frac{3 PL}{2 ba^2}$$

où P est, en décanewtons, la charge de rupture,

L est, en centimètres, la distance entre appuis,

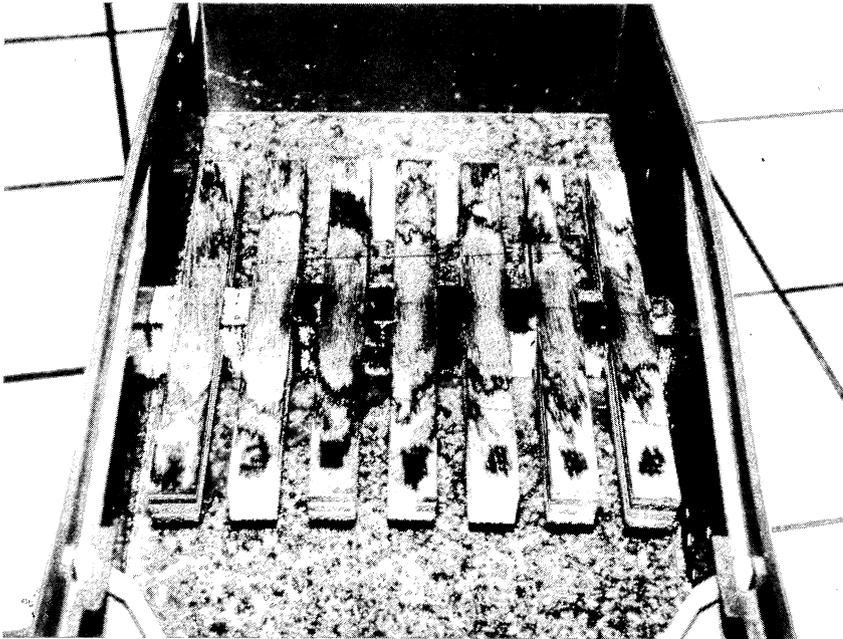


FIG. 7. — *Eprouvette exposée à Coriolus versicolor après cassure, montrant l'attaque localisée du champignon au niveau médian de l'éprouvette.*

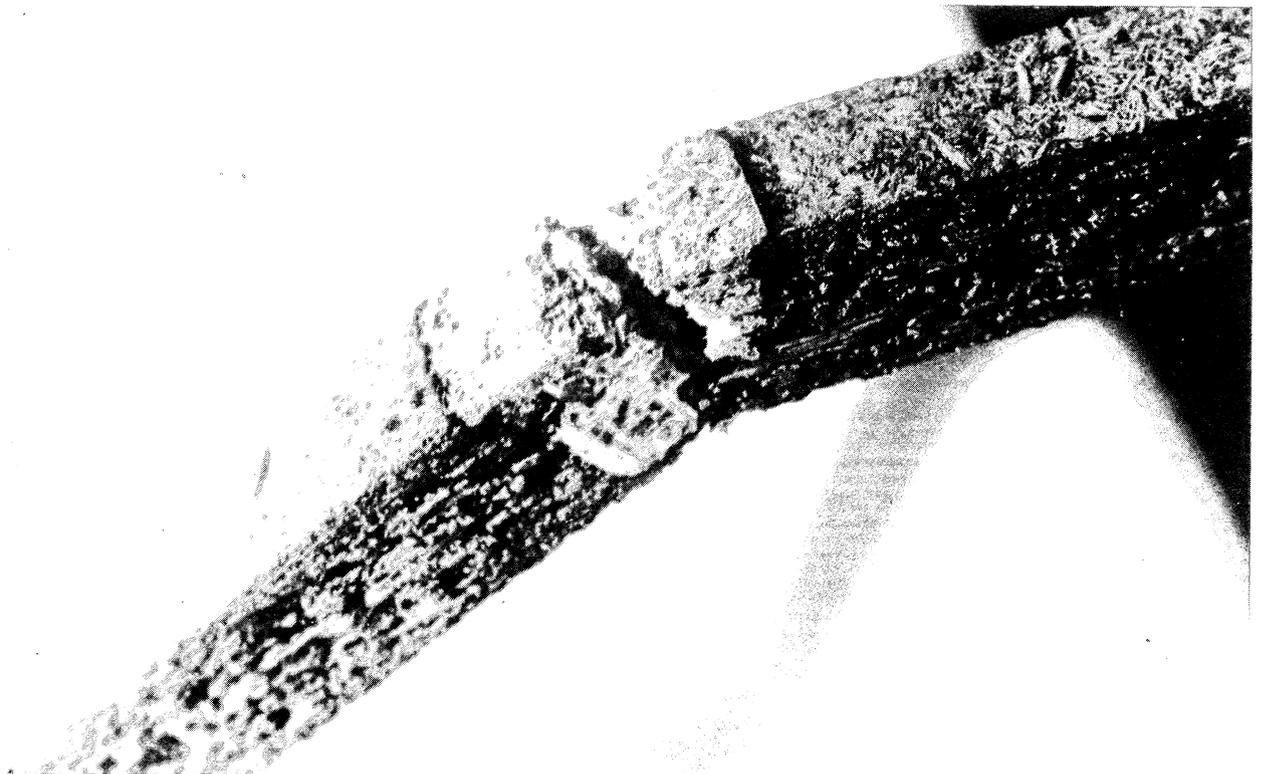


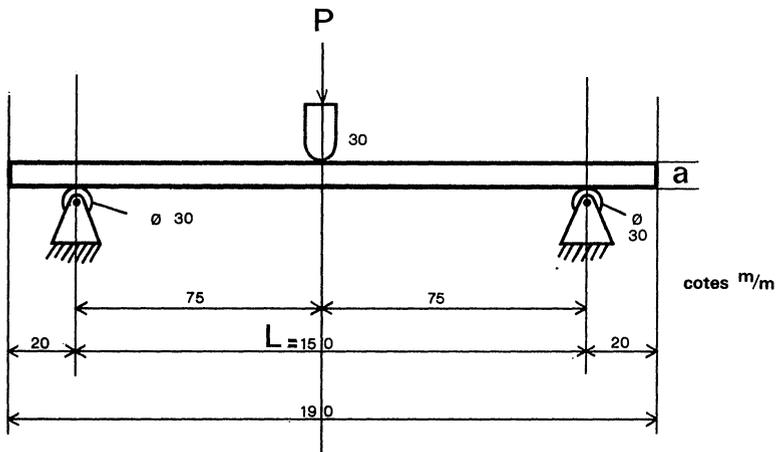
FIG. 8. — Essai de rupture en flexion statique (d'après FOUGEROUSSE et BARRAY, 1977).

b est, en centimètres, la largeur de l'éprouvette,
 a est, en centimètres, l'épaisseur de l'éprouvette,
 et, pour chaque champignon, est calculé un coefficient de résistance c.r du panneau :

$$c.r = 100 - \left(\frac{\bar{e}_1 - \bar{e}_{2x}}{\bar{e}_1} \right) \times 100$$

où \bar{e}_1 est la contrainte moyenne de la série e_1 (témoin),

\bar{e}_{2x} est la contrainte moyenne de la série e_{2x} exposée au champignon x.



RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

a) Observations externes

Nous avons constaté que le développement mycélien variait en fonction du champignon d'essai et, à cet égard, si l'on veut donner une classification, on pourrait citer en ordre décroissant *Gloeophyllum tra-beum*, *Coriolus versicolor*, *Lentinus squarrosulus* et *Antrodia sp.* ; ces observations, liées à la biologie spécifique de chaque espèce, ne doivent cependant pas être considérées comme un critère d'intensité d'attaque. Il faut signaler, par ailleurs, que les attaques fongiques sont toujours localisées d'une manière satisfaisante dans la partie médiane des éprouvettes (Fig. 9).

b) Résultats quantitatifs

Les contraintes de rupture individuelles dans chaque série d'éprouvettes, leurs moyennes et leurs écarts-types calculés, ainsi que les coefficients de résistance, sont regroupés dans le tableau I. Le tableau II schématise sous forme d'histogrammes ces données.

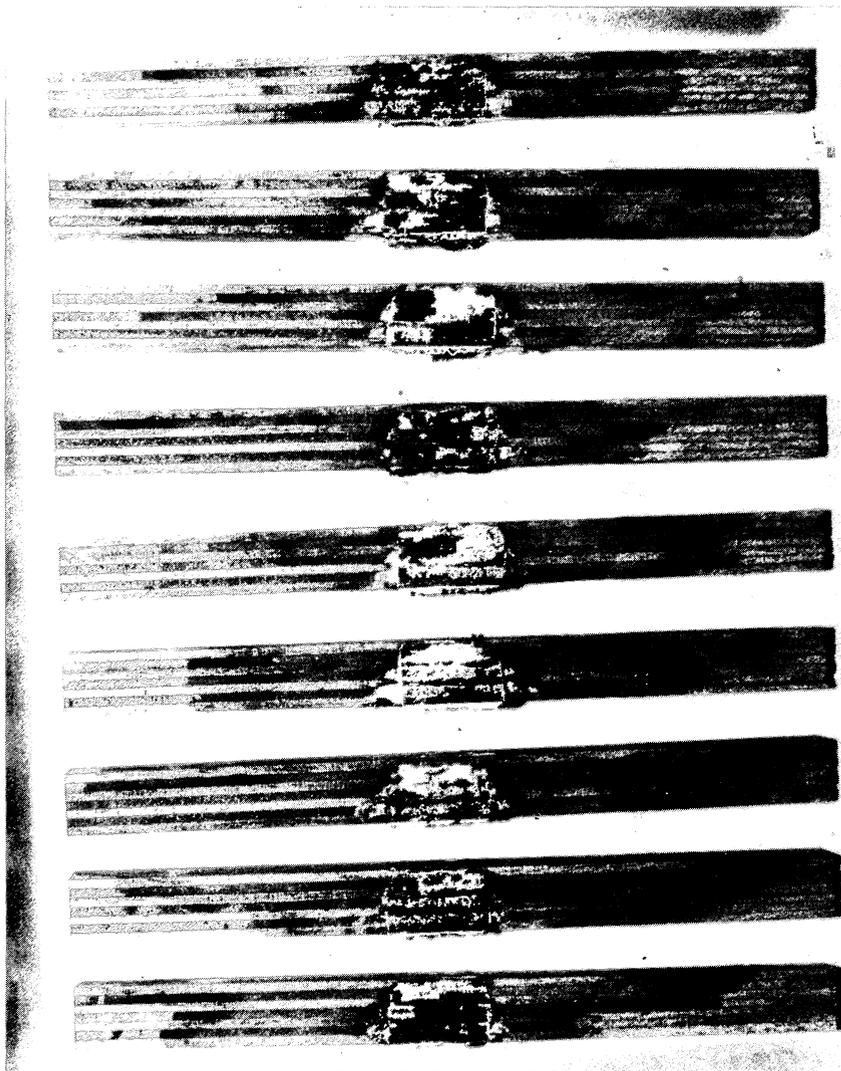


FIG. 9. — Eprouvettes en panneaux contreplaqués exposées à *Lentinus squarrosulus*.

TABLEAU I

RÉCAPITULATION DES ESSAIS EFFECTUÉS SUR PANNEAUX CONTREPLAQUÉS
(les contraintes de rupture sont exprimées en décanewtons)

Contraintes de rupture individuelle	Témoins	Témoins sur vermiculite	Gloeophyllum trabeum		Coriolus versicolor		Lentinus squarrosulus		Antrodia sp.	
			8 sem.	12 sem.	8 sem.	12 sem.	8 sem.	12 sem.	8 sem.	12 sem.
			907	751	432	495	607	526	664	745
795	745	432	620	607	413	676	595	607	457	
889	695	407	626	651	457	638	626	570	682	
839	745	463	457	588	570	626	626	632	826	
782	764	701	463	745	538	688	757	513	570	
739	757	739	388	557	457	620	770	595	664	
745	764	695	645	588	457	532	538	701	588	
757	739	613	476	513	470	551	613	620	682	
858	759	570	488	563	526	563	551	426	538	
726	782	620	469	594	520	570	520	613	232	
770	751	570	394	482	526	764	539	651	282	
776	826	588	507	495	482	757	520	545	288	
—	864	570	463	651	507	682	651	576	232	
—	751	551	520	645	701	720	419	507	326	
\bar{x}	798	764	568	500	592	511	646	605	586	502
écart-type σ	60,4	40,1	104,7	79,3	69,9	69,0	74,3	101,5	70,9	197,3
c.v (%)*	7,6	5,2	18,4	15,9	11,8	13,5	11,5	16,8	12,1	39,3
c.r (%)**	—	100	74	65	77	67	84	79	77	66

* Coefficient de variation.
** Coefficient de résistance.

TABLEAU II

COMPARAISON DE RUPTURE

Contraintes de rupture	Témoins	Témoins sur vermiculite	8 semaines				12 semaines			
			G.T.	C.V.	L.S.	A.sp.	G.T.	C.V.	L.S.	A.sp.
960										
920										
880										
840										
800	Ⓜ									
760	Ⓜ	Ⓜ								
720										
680										
640										
600										
560										
520										
480										
440										
400										
360										
320										
280										
240										

Ⓜ MOYENNE

G.T. = *Gloeophyllum trabeum* L.S. = *Lentinus squarrosulus*
C.V. = *Coriolus versicolor* A.sp. = *Antrodia sp.*

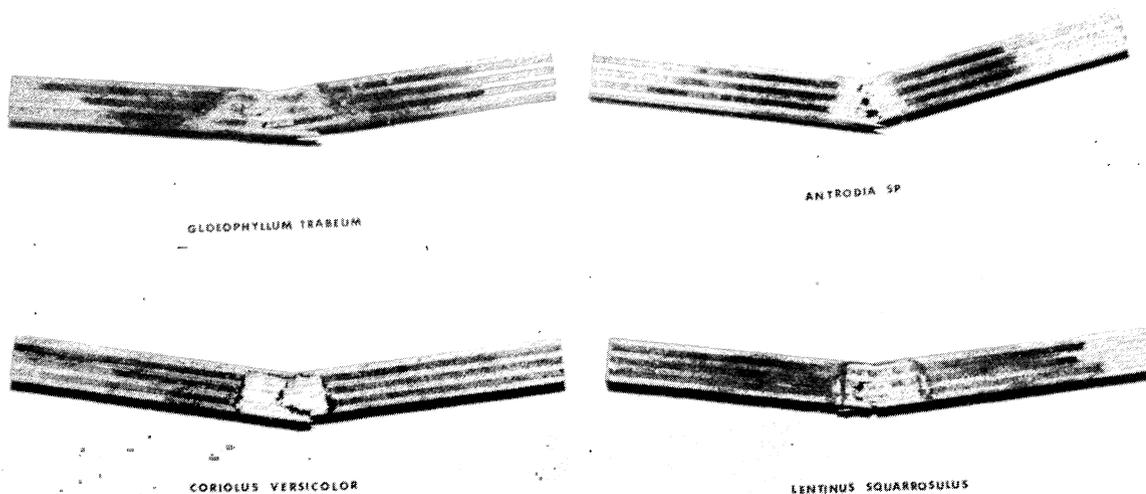


FIG. 10. — Comparaison de la localisation des cassures : ces éprouvettes expérimentées avec la nouvelle méthode hors flacon montrent des cassures homogènes et centralisées dans leur partie médiane.

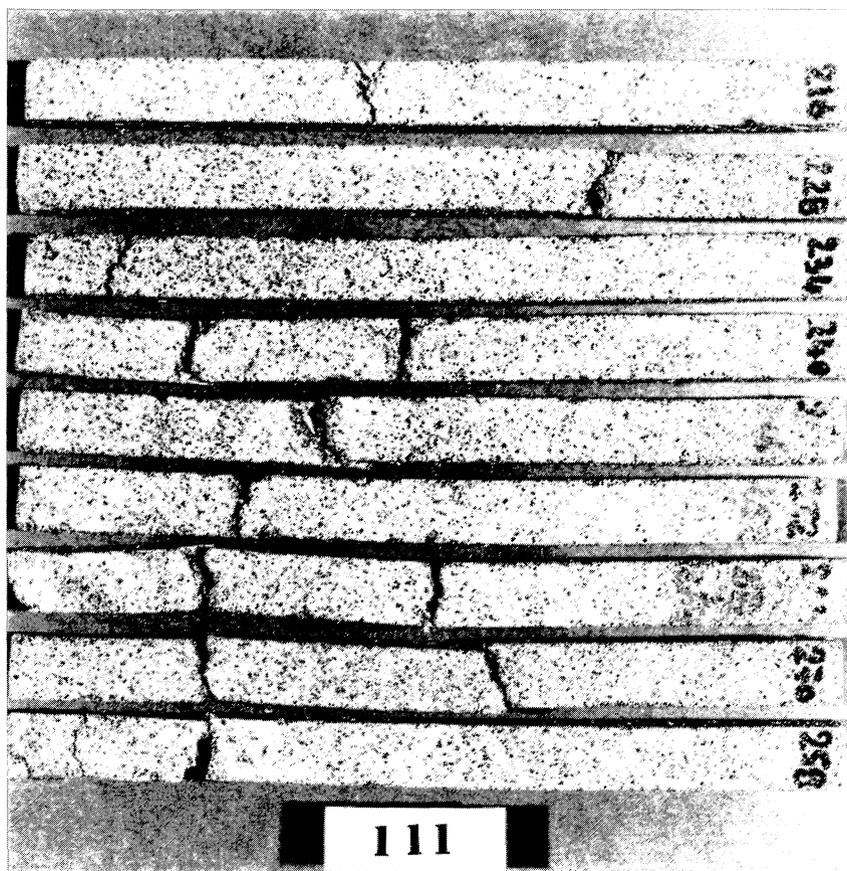


FIG. 11. — Comparaison de la localisation des cassures : ces éprouvettes expérimentées avec la méthode du flacon clos montrent des cassures hétérogènes et non contrôlables.

Photo C.T.F.T.

Un premier examen de ces tableaux indique que :

— les pertes de résistance en flexion statique varient de 20 à 35 % selon les champignons d'essai, ce qui montre que la méthode d'exposition est bien adaptée à l'infestation des éprouvettes par les basidiomycètes utilisés ;

— les coefficients de variation (exprimés en %) sont relativement peu élevés (sauf dans la série *Antrodia sp.* — 12 semaines), ceci étant un critère d'assez bonne homogénéité dans les attaques.

Ces constatations nous ont amenés à effectuer une analyse statistique des données.

Une première étude de l'analyse de variance a permis de soupçonner une différence dans les degrés d'attaque

entre 8 et 12 semaines, mais les hypothèses liées à cette analyse (notamment l'égalité des variances) n'étant pas satisfaisantes, on ne pourrait conclure valablement.

C'est pourquoi, nous avons fait un test de rang (MANN-WHITNEY) pour comparer globalement les résultats obtenus après les deux temps d'exposition. Ce test de rang a montré que l'évolution des attaques était très nettement significative entre 8 et 12 semaines.

Il est à noter ici qu'avec *Gloeophyllum trabeum* on a obtenu avec cette méthode d'infestation des attaques aussi importantes qu'avec les autres champignons d'essai, alors que dans la méthode en flacons clos ce basidiomycète a un comportement irrégulier se traduisant très souvent par des attaques très faibles ou nulles.

CONCLUSION

De l'ensemble des expériences réalisées au CTFT décrites ou non dans cet article, il semble que l'on puisse tirer divers enseignements qui pourraient être mis à profit pour définir un programme de recherches plus important, dont le travail présenté ici ne constitue qu'un préalable :

D'une part, il a été mis en évidence la possibilité d'appliquer aux panneaux de particules et aux panneaux contreplaqués les principes d'une expérimentation « hors flacon », tout en utilisant comme champignons d'essai des espèces bien définies et des souches bien répertoriées de certains basidiomycètes lignivores, tant de pourriture fibreuse que de pourriture cubique. Toutefois, divers problèmes importants demandent une étude approfondie :

- l'adaptation éventuelle du dispositif opératoire à certaines espèces de champignons dont la spécificité biologique pourrait ne pas s'accommoder du dispositif actuel ; on peut penser notamment à *Serpula lacrymans*, *Coniophora puteana*, *Poria incrassata*, *Tyromyces palustris*...

- comprendre et résoudre le problème des contamina-

tions rencontrées dans certains cas ; étudier en particulier l'influence de la nature des liants entrant dans la composition de ces panneaux.

D'autre part, ces expériences ont montré que, par améliorations successives dans la forme et la mise en place des inoculats, il était possible de localiser l'action des champignons d'essai dans la partie médiane des éprouvettes, ce qui était l'un des objectifs du travail présenté.

Toutefois, sur ce point également, plusieurs questions demandent à être résolues :

- la dispersion des résultats est-elle moindre que dans l'application stricte de l'actuelle norme ? Un essai parallèle sur des échantillons identiques serait nécessaire pour y répondre.

- l'application à des panneaux de plus forte épaisseur ne demande-t-elle qu'une extrapolation dimensionnelle, à la fois des éprouvettes et des inoculats, ou n'exige-t-elle pas une adaptation particulière au mode opératoire ? Seules, de nouvelles expériences sur un matériel approprié permettraient d'y apporter une réponse.

BIBLIOGRAPHIE

ARMSTRONG (F. H.) et SAVORY (J. G.), 1959. — The influence of fungal decay on the properties of timber. *Holz-forschung* 13.

BARRAY (R.) et FOUGEROUSSE (M.), 1980. — La résistance durable des panneaux de particules à la pourriture. Communication Congrès FEYSIP.

BECKER (G.) et DEPPE (H. J.), 1969. — Deterioration of particle board under attack by microorganisms and preservation problems. Items 2 of the provisional outline. I.U.F.R.O. Czechoslovakia.

BEHR (E.), 1977. — Effect of prewetting of particle board in laboratory decay tests. *International Biodeterioration Bulletin*, vol. 13, n° 1.

CLAD (W.) et POMMER (E. H.), 1976. — Building with processed-wood materials investigations into the durability of fungicidally treated particle boards for roof boarding. I.U.F.R.O., Oslo.

COGGINS (C. R.), 1978. — Mycological testing of plywood and board materials. Review of information supplied by IRG members. I.R.G./WP/284 1978, Scotland.

ELBEZ (G.), 1976. — Durabilité des contreplaqués. Etude du collage des différentes essences. C.T.B., Etude n° 113.

FOUGEROUSSE (M.), 1980. — Contribution à une méthodologie d'essai de l'efficacité préventive des traitements de

- préservation du bois contre la pourriture. C.T.F.T. Rapport interne.
- FOUGEROUSSE (M.), 1980. — An attempt to develop a direct and reliable method for testing the preventive action of preservation treatments of wood against fungal decay. Communication I.R.G. Congress, U.S.A.
- FOUGEROUSSE (M.), 1982. — Récents développements des recherches au C.T.F.T. pour expérimenter la résistance à la pourriture des produits finis. *Holz-Zentralblatt*, Stuttgart, Nr. 138/139.
- FOUGEROUSSE (M.) et BARRAY (R.), 1976-1977. — Recherches méthodologiques sur la détermination de la résistance à la pourriture de panneaux contreplaqués et panneaux de particules. *Le Bois d'Aujourd'hui*, n° 42/4, 1976 et n° 43/1, 1977.
- FOUGEROUSSE (M.), BARRAY (R.) et DEON (G.), 1982. — Résistance des panneaux contreplaqués à la pourriture ; premiers essais sur l'influence de l'épaisseur des plis. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 197, 1982.
- FOUGEROUSSE (M.) et TRONG (L.), 1980. — Fenêtres en bois — vers un essai spécifique de durabilité. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 198, 1982.
- GERSONDE (M.) et BECKER (G.), 1958. — Prüfung von Holz Schutzmitteln für den Hochbau auf Wirksamkeit gegen Pilz an praxisgemässen Holzproben (« Schwammkeller » — Versuche). *Holz Roh- und Werkstoff*, 16 (9).
- GRIFFIOEN (K.), 1973. — Some notes on the testing of the durability of particle board. F.P.R.I. de T.N.O. Delft — I.U.F.R.O. — Div. V — R.C.A.
- HANSEN (J.), 1973. — The « mini-fungus cellar ». A mycological test method for wood protection products. *International Biodeterioration Bulletin*, 9 (3).
- HARDIE (K.), 1980. — A review of strength testing as a measure of biodeterioration of wood and wood based materials. I.B.B., vol. 16, n° 1.
- HEDLEY (M. E.), 1976. — Preservative requirements for exterior particle board as predicted from accelerated laboratory evaluations. I.R.G./WP/265.
- HINTERBERGER (H.), 1970. — Zur mykologischen Prüfung von Holzwerkstoffen. *Holz Roh- und Werkstoff*, 28 (11), 416/420.
- LEA (K. G.), 1982. — Contribution to the testing of wood based board materials. I.R.G./WP/2176, Turkey.
- LECLERCQ (A.), 1979. — Evolution dans le temps de la résistance de panneaux de particules traités à l'attaque des champignons lignivores. Station de Technologie Forestière, Ministère de l'Agriculture, Gembloux (Belgique).
- LUCAS (S.) et FOUGEROUSSE (M.), 1982. — Catalogue des cultures de champignons basidiomycètes de pourriture du bois. Division de Préservation, C.T.F.T.
- MATEUS (T. J. E.), 1954. — Caracterização dos preservativos para madeiras por um novo método baseado na medição de flechas. Publ. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, n° 48.
- NICHOLAS (D. D.) et COCKCROFT (R.), 1982. — Wood preservation in the U.S.A. Styrelsen for teknisk utveckling. Information n° 288.
- REISINGER (O.), KILBERTUS (G.) et KIFFER (E.), 1978. — Documents de travaux dirigés de mycologie. Université de Nancy I, Laboratoire de Botanique et de Microbiologie.
- SAVORY (J. G.), 1969. — Testing the fungus resistance of board materials. *Material und Organismen*, suppl. 2, 49/56.
- SMITH (R. S.) et BYRNE (T.), 1982. — A laboratory soil-block decay and evaluation of plywood edge treated with preservatives. Forintek Canada Corp. Western Lab. I.R.G./WP, Turkey.
- TAKAHASHI (M.). — Bending creep test of wood and wood based materials under fungal attack for the evaluation of their durability. I.U.F.R.O., Kyoto.
- TRONG (L.), 1981. — Aptitude aux traitements de préservation de quelques essences asiatiques employées dans les menuiseries extérieures et contrôle biologique de ces essences après traitement. Colloque « Sciences et Industries du Bois, Grenoble ».
- TRONG (L.) et FOUGEROUSSE (M.), 1982. — Méthode de contrôle direct de l'efficacité de traitements de préservation du bois contre la pourriture. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 195, 1^{er} trimestre.
- WÄLCHLI (O.), 1976. — Resistance of various wood species against decay by *Coniophora cerebella* (Pers.) *Duby* and *Lenzites trabea* (Pers.) Bres. I.R.G./WP/142.
- WILLEITNER (H.), 1965. — Zerstörung von spanplatten durch basidiomyceten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 23, 204/271.
- B.S.I., B. 5000, NORME ANGLAISE. — Norme anglaise pour le contreplaqué. Projet, Septembre 1979.
- FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES SYNDICATS DE FABRICANTS DE PANNEAUX DE PARTICULES. — Rapports et discussions de la 39^e réunion du Comité Technique, Wiesbaden 1981.
- I.U.F.R.O. CONGRESS OF DIVISION V. — Rapport I.U.F.R.O., Rép. Centrafricaine, 1973.
- I.U.F.R.O. CONGRESS OF DIVISION V. — Rapport I.U.F.R.O., Kyoto, 1981.
- NORME A.F.N.O.R. — Panneaux de particules. Méthodes d'essai de résistance à la pourriture (champignons basidiomycètes). Norme A.F.N.O.R., n° B 51.295, Mai 1980.
- NORME EUROPÉENNE. — Norme européenne EN 113, NF X 41.552, Avril 1980.
- NWPC STANDARDS. — NWPC Standard for testing of wood preservatives mycological test. NWPC standard n° 1.4.1.1./70. Nordic Wood Preservation Council.
- SA BUREAU OF STANDARDS. — Resistance of particle boards to fungal growth. SA bureau of standards, SABS method 1021.
- STANDARDS A.S.T.M. — Standard method of testing wood preservatives by laboratory soil-block culture. ASTM — D 1413.