

Photo Chatelain.

Centre Technique Forestier Tropical. Laboratoire des essais et emplois du bois. Essai de flexion statique.

ÉVALUATION DES PROPRIÉTÉS DES BOIS TROPICAUX ⁽¹⁾

par le Professeur DR DETLEF NOACK

Directeur du Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft

Traduction et commentaire de P. Gueneau

Ingénieur de Recherches au Centre Technique Forestier Tropical.

SUMMARY

EVALUATION OF PROPERTIES OF TROPICAL TIMBERS

The economic utilisation of wood demands a knowledge of its properties. In the case of the utilisation of tropical forests which normally consist of a great number of lesser-known species it is often necessary to determine the wood properties as quickly as possible. Those studies must be carried out very carefully and special consideration has to be taken in respect to sampling, test methods, and wood properties to be tested. To rationalise the work of testing and to reduce the number of tests it is recommended to distinguish between two levels of examination, namely between preliminary studies on a smaller sample of about five to ten

(1) Article publié dans le n° 29, Juillet 1971, du « Journal of the Institute of Wood Science » et reproduit avec la bienveillante autorisation de cette revue et de l'auteur.

randomly selected trees and a full scale testing of about 30 trees. Furthermore, uniform test methods, standardised on an international level, are a prior condition for obtaining test results in different laboratories and countries if they are to be directly comparable with each other. The properties to be tested should be chosen which are of importance for the utilisation of tropical woods, and in all cases where properties are strongly correlated with others only one of these properties should be tested. The practical work of sampling wood specimens in the forests should be combined with the normal forest inventory work because the forest inventories must also be carried out according to the fundamentals of statistical sampling to get samples which are representative of the whole forests.

RESUMEN

EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LAS MADERAS TROPICALES

La utilización económica de la madera exige el conocimiento de sus propiedades. En el caso de la utilización de los bosques tropicales, que están compuestos normalmente por un gran número de especies mal conocidas, resulta frecuentemente necesario determinar las propiedades de las maderas con la mayor rapidez posible. Estos estudios deben ser llevados a cabo con un gran esmero y debe ponerse una atención especial por lo que se refiere al muestreo, a los métodos de pruebas y las propiedades que se trata de estudiar. Para racionalizar la ejecución de las pruebas y reducir su número, se recomienda establecer la distinción entre dos niveles de estudio, que son : en primer lugar, los estudios preliminares respecto a un muestreo ligero, del orden de 5 a 10 árboles designados por sorteo y, en segundo lugar, un conjunto de pruebas completas tomando unos 30 árboles, aproximadamente. Por otra parte, métodos uniformes de pruebas, normalizados a nivel internacional, constituyen una condición primordial para obtener resultados de prueba en distintos laboratorios y distintos países, en caso de que los mismos deban ser directamente comparables entre sí. Las propiedades que se trata de probar deberían ser elegidas entre aquellas que presentan una importancia determinada para la utilización de las maderas tropicales y en todos aquellos casos en que ciertas propiedades se encuentran en estrecha correlación entre sí, una sola de estas propiedades debería ser medida. La ejecución práctica de la colecta de muestras de madera en los bosques debería quedar combinada con el trabajo normal de inventario forestal, ya que estos inventarios forestales deben, por su parte, ser emprendidos según los principios de muestreo estadístico, con objeto de obtener así una correcta representación del conjunto de los bosques.

INTRODUCTION

Dans de nombreux pays tropicaux, on peut trouver de grandes surfaces de forêt jusqu'à présent inexploitées, contenant des volumes substantiels de bois appartenant à des espèces peu connues et quelquefois pratiquement inconnues. Pour évaluer les possibilités d'utilisation de ces espèces, il est normalement nécessaire d'acquérir une connaissance correcte de leurs propriétés avant que le bois puisse être commercialisé. La connaissance des propriétés du bois est aussi une nécessité fondamentale et préliminaire dans le cas où l'on doit mener des études sur l'opportunité d'installations d'industries du bois.

De plus, le facteur temps a son importance. Très souvent, il est nécessaire de déterminer les propriétés d'un grand nombre d'espèces peu connues en consentant la plus faible dépense possible en personnel et en matériel.

La plupart des essais pour la détermination des

propriétés du bois sont des essais de routine normale qui peuvent donc être menés à une échelle de plus en plus importante dans des laboratoires spécialement équipés, installés dans les pays tropicaux eux-mêmes. Au stade initial, ces essais peuvent être faits sur le terrain et dans les laboratoires avec un minimum d'instrumentation technique. D'un autre côté cependant, ces laboratoires peuvent être transformés en unités de recherche, élargies à un stade ultérieur, lorsque les chercheurs expérimentés et les ressources financières suffisantes se trouvent disponibles. Ces laboratoires d'essais des bois contribueront effectivement à l'utilisation économique du bois dans un proche avenir. L'échange mutuel des résultats d'essais entre les différents laboratoires est important, non seulement pour éviter que le même travail ne soit fait deux fois, mais encore pour augmenter la précision des résultats.

TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE

L'importance des techniques d'échantillonnage pour l'estimation et la précision des valeurs moyennes des différentes propriétés du bois, en liaison avec les prix de revient, n'est jamais trop soulignée et dans les 15 dernières années, les techniques d'échantillonnage ont été l'objet d'une

attention considérable à la suite des publications australiennes fondamentales de PEARSON (1952) et PEARSON et WILLIAMS (1958). L'objectif initial était de développer les techniques d'échantillonnage pour la détermination économique de certaines propriétés mécaniques de base et des propriétés

physiques associées, autant que pour obtenir des estimations de la résistance moyenne et de la variabilité des différentes propriétés.

Dans les premiers temps — et malheureusement quelquefois aussi aujourd'hui — on a suivi souvent des plans d'échantillonnage systématique dans la recherche sur les produits forestiers. Un tel plan d'échantillonnage systématique est prescrit par exemple dans la norme ASTM (1) n° D 143-61 pour tirer d'un arbre des éprouvettes de bois sans défaut, en vue de mener les essais de résistance et de propriétés associées. En ce qui concerne le nombre d'arbres, il est simplement dit qu'habituellement un nombre minimum de 5 arbres devrait être utilisé. Un tel plan d'échantillonnage systématique est basé sur l'hypothèse que la variabilité des propriétés à l'intérieur d'un arbre est plus grande que la variabilité entre différents arbres. Cette hypothèse n'est pas correcte, car PEARSON et WILLIAMS (1958) et d'autres (KRAMER et SNODGRASS, 1967, LAURICIO et DE LA CRUZ, 1969) ont montré que les variations des propriétés d'un pied d'arbre à l'autre sont plus significatives que les variations à l'intérieur d'un arbre, si bien qu'on obtient une beaucoup plus haute précision sur les valeurs moyennes en prélevant un plus grand nombre d'arbres qu'il n'était prévu initialement, et un plus petit nombre d'éprouvettes dans chaque arbre. Pour établir un plan d'échantillonnage pour les bois, plan qui soit le plus efficace et aussi en même temps le plus économique, il peut être nécessaire d'instaurer un équilibre idéal entre le nombre d'arbres et le nombre d'éprouvettes prises dans chaque arbre. De plus, chaque fois que l'on exécute un débit systématique des éprouvettes d'essai dans un arbre, on introduit des erreurs dans les résultats de l'essai, si on prend un nombre égal d'éprouvettes dans chaque zone de croissance. Les éprouvettes d'essai doivent être distribuées au hasard dans l'ensemble du volume de l'arbre, parce que les éprouvettes prélevées dans les zones externes de l'arbre représentent un volume de bois beaucoup plus important que celles du voisinage du cœur. Pour ne pas biaiser les résultats, et pour pouvoir calculer l'erreur d'estimation des moyennes d'espèces, c'est une exigence statistique fondamentale que chaque partie utilisable ou commercialisable d'un tronc ait une chance égale d'être tirée lors de l'échantillonnage. Il s'ensuit que l'échantillonnage des éprouvettes d'essai doit être mené au hasard et proportionnellement au volume. Du point de vue pratique également, il faut bien noter que l'utilisateur du bois ne sait pas si la pièce dont il se sert provient du haut ou du pied de l'arbre, de la zone interne ou de la zone périphérique.

En conclusion, nous pouvons affirmer que l'échantillonnage systématique n'est pas réellement adéquat. C'est aussi la raison pour laquelle l'échan-

tillonnage du type ASTM n'est pas utilisé actuellement dans la pratique des essais du Laboratoire des Produits Forestiers américain de Madison et une norme révisée est en préparation. De même, dans le travail de normalisation internationale de l'ISO (2), qui a tenu son premier congrès en 1970 en Turquie, il a été décidé de préparer un plan d'échantillonnage basé sur l'échantillonnage au hasard.

Aujourd'hui, nous avons de bonnes connaissances fondamentales sur l'échantillonnage pour des essais normalisés par les bases de la théorie statistique moderne. Du point de vue théorique, il n'y a aucune difficulté, mais en pratique, il est souvent presque impossible de mettre en application l'idée d'une récolte faite purement au hasard, spécialement en forêt primaire, à cause de son inaccessibilité, si bien que l'on est amené à choisir des compromis entre une certaine systématique, inévitable dans l'échantillonnage, et la méthode de hasard intégral qui est préconisée.

Si nous résumons les caractéristiques de l'échantillonnage pour des essais normalisés nous pouvons énoncer ce qui suit :

1) L'échantillonnage statistique au hasard doit être conduit convenablement pour aboutir à des estimations solides des valeurs moyennes des propriétés et de leur variabilité, qui est la seconde qualité importante du bois, généralement aussi importante que la valeur moyenne de la propriété elle-même.

L'échantillonnage au hasard devrait être fait en plusieurs phases :

— échantillonnage d'unités écologiques à l'intérieur desquelles les conditions de croissance soient similaires, au sein de l'aire géographique totale de l'espèce, chaque unité écologique étant pondérée en fonction de son importance,

— échantillonnage des arbres à l'intérieur de chaque unité écologique,

— échantillonnage des éprouvettes d'essai à l'intérieur de chaque arbre.

2) L'échantillonnage au hasard a de plus le grand avantage de pouvoir être fait progressivement. Au stade initial, les arbres peuvent être récoltés dans les massifs accessibles et des arbres supplémentaires peuvent être récoltés ultérieurement lorsque de nouveaux massifs deviennent accessibles. Ce faisant, la précision des valeurs moyennes peut être améliorée au cours du temps.

3) La taille de l'échantillon dépend de la variabilité de chaque propriété et de la précision avec laquelle on désire estimer la moyenne d'espèce. De plus, la taille de l'échantillon dépend des coûts relatifs, d'une part de la sélection d'un arbre dans la forêt, et d'autre part de la préparation et de

(1) ASTM : American Society for Testing Material.

(2) ISO : International Standardisation Organization.

l'exécution de l'essai sur chacune des éprouvettes. Par conséquent, atteindre la taille correcte de l'échantillon est un problème d'optimisation qui dépend des conditions originales de chaque pays et de chaque projet.

Dans la pratique, il a été montré clairement que dans de nombreux cas il est plus économique de prélever seulement une, ou, mieux, deux éprouvettes d'essai de chaque arbre échantillonné. Dans le dernier cas, il est possible d'obtenir également une estimation de la variabilité des propriétés à l'intérieur des arbres.

Dans le cas où l'on prend une ou deux éprouvettes par arbre, une estimation rapide du niveau de précision de la valeur moyenne d'espèce en fonction du nombre d'arbres est donnée ci-dessous (tabl. 1, valable pour les espèces dont les propriétés ont une variabilité normale).

Dans l'optique pratique d'un inventaire proprement préliminaire d'une propriété, un niveau de précision de $\pm 15\%$ sur la moyenne sera suffisant. Cela signifie que l'on aura besoin seulement de 5 ou 6 arbres tirés au hasard.

Pour une précision supérieure de $\pm 10\%$, l'information requise sera fournie par 10 ou 12 arbres, et pour des études plus précises, par exemple pour

mettre au point un système de classement par résistance, une précision de $\pm 5\%$ est nécessaire, et elle sera atteinte par un échantillon de 20 à 30 arbres tirés au sort.

4) Par ailleurs, il est évident que de nombreuses études sur les propriétés du bois, qui ont été menées dans le passé très intensivement sur un très grand nombre d'éprouvettes par différents laboratoires de produits forestiers, ont seulement une signification limitée, parce que les éprouvettes ont été tirées seulement d'un arbre, ou tout au moins d'un très petit nombre d'arbres, qui, de plus, n'avaient pas été toujours tirés au sort. Bien souvent, les arbres qui ont été choisis comme échantillons représentent subjectivement une « qualité moyenne » et un « volume moyen » et sont souvent situés à proximité de routes d'exploitation. Cette situation complique l'évaluation des résultats existant dans les études des propriétés du bois ; elle conduit à réclamer, en même temps que les résultats des essais, des renseignements plus détaillés sur le protocole d'échantillonnage suivi dans chaque étude particulière. Une bonne expérience dans le domaine des essais est nécessaire pour permettre une évaluation soigneuse et critique des résultats déjà acquis.

TABLEAU I

Nombre d'arbres échantillonnés au hasard dans une espèce pour atteindre différents niveaux de précision sur la moyenne

Niveau de précision de la moyenne (au seuil de confiance de 95 %)	Nombre d'éprouvettes par arbre			
	Une		Deux	
	Densité	Résistance mécanique	Densité	Résistance mécanique
$\pm 15\%$	4	6	3	5
$\pm 10\%$	5	12	4	8
$\pm 5\%$	20	35	12	20
$\pm 2,5\%$	70	150	40	80

MÉTHODES D'ESSAI

Une autre question d'importance primordiale concernant la détermination et l'évaluation des propriétés du bois réside dans les méthodes d'essais qui, malheureusement, diffèrent elles aussi à l'heure actuelle, dans une large mesure, d'un pays à l'autre. Des méthodes d'essais uniformes constituent une condition préalable à l'obtention de résultats qui soient directement comparables d'un pays à l'autre et une somme importante de travaux d'essais très valables ne peut pas être consultée ni se prêter à des évaluations comparatives en raison des différences entre les méthodes utilisées pour la détermination de la même propriété.

Il y a donc un besoin urgent de méthodes uniformes pour les essais normalisés. L'ISO vient juste de commencer son travail dans ce domaine dans le Comité Technique 55 (bois sciés).

D'après ce travail, il est important de noter que les éprouvettes dites de 2 cm, qui ont une section de 2 cm \times 2 cm, seront adoptées au niveau international. Donc, les éprouvettes d'essai seront relativement petites, ce qui facilite l'exécution pratique du travail.

Eu égard à la corrélation entre les propriétés obtenues sur des éprouvettes de 2 cm et sur des éprouvettes de 5 cm (2 inch), un travail valable a été mené pour les propriétés mécaniques les plus

importantes au Royaume-Uni par le Laboratoire des Produits Forestiers de Princes Risborough (ARMSTRONG, 1955). Dans beaucoup de cas, ces

facteurs de corrélation permettent l'évaluation commune des résultats d'essais obtenus sur des éprouvettes de différentes sections.

LES PROPRIÉTÉS IMPORTANTES DU BOIS

La question suivante que nous avons à examiner concernant l'utilisation des bois tropicaux est :

Quelles propriétés fondamentales du bois devons-nous connaître pour avoir une information suffisante sur ses utilisations finales possibles, et donc, sur sa valeur commerciale ?

Ces propriétés fondamentales sont :

— Des caractéristiques de structure, y compris la connaissance de l'identité botanique par la famille et le genre de l'arbre,

— quelques propriétés physiques telles que la densité en particulier et la rétractibilité perpendiculaire au fil du bois,

— quelques propriétés mécaniques, telles que la contrainte de rupture en flexion, le module d'élasticité, la résistance en compression de fil, les propriétés en compression perpendiculaire au fil, la résistance au cisaillement, la résilience, etc... et aussi,

— quelques données technologiques telles que les caractéristiques d'usinage et de séchage, le comportement au clouage et au fendage, la perméabilité aux produits de préservation et la durabilité naturelle.

La vocation pour la fabrication de produits tels que par exemple le contreplaqué ou les panneaux de particules, ou pour la production de pâte et de papier, présente aussi de l'intérêt. Mais, les recherches dans ce domaine ne peuvent être réalisées effectivement que par des essais à l'échelle industrielle sur de petits lots de bois, à un stade ultérieur de l'investigation.

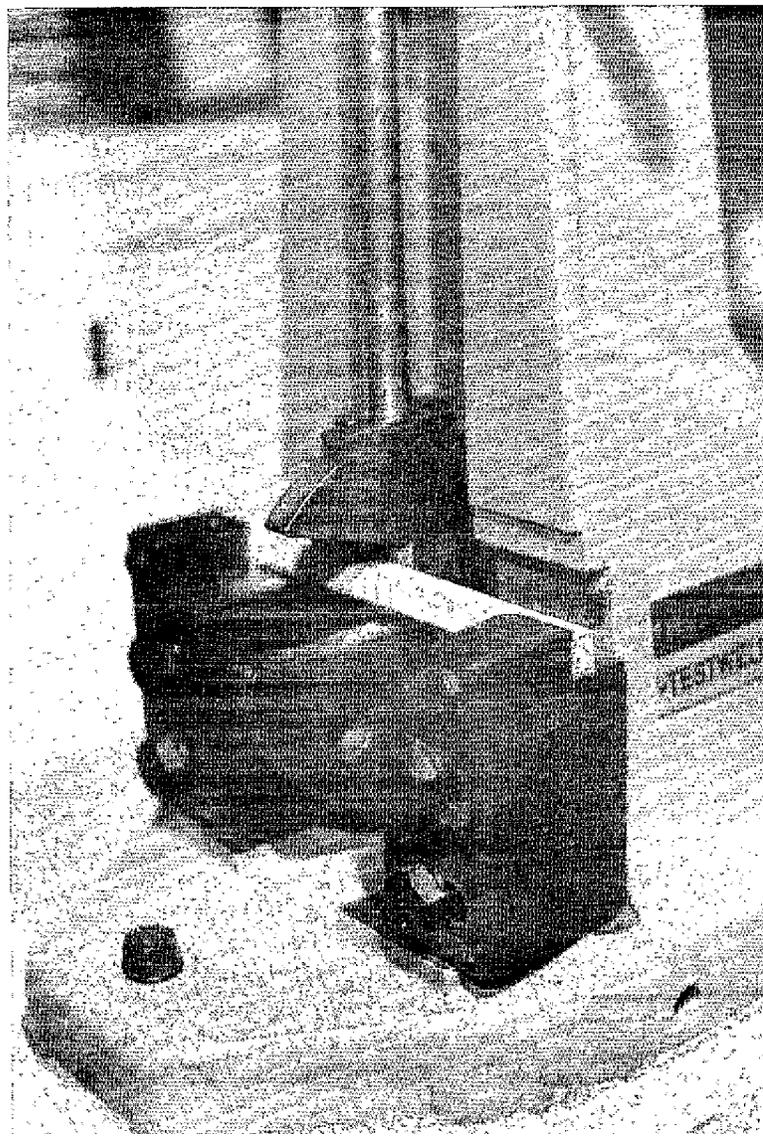
Les caractéristiques citées ci-dessus forment une liste assez longue des propriétés du bois pouvant être considérées comme importantes pour l'utilisation des espèces tropicales les moins bien connues.

L'étude de toutes ces propriétés, à partir de zéro, constituera un énorme travail. Il est donc préconisé, et utile, d'établir des priorités selon l'ordre d'importance, en procédant, comme nous l'avons fait, en fonction de la précision des valeurs moyennes des propriétés ; l'importance du travail dépendra très largement des utilisations finales prévues pour le bois.

Cette proposition d'établir des priorités serait assez pleinement conforme à une proposition faite par la FAO en 1964 et appliquée plus tard par KAUMANN et KLOOT (1968) qui envisageaient trois étapes dans la connaissance initiale d'une espèce de bois :

— Premièrement, un inventaire préliminaire qui consiste en une identification précise (y compris l'écorce, les feuilles, les fleurs, etc...), une description de l'arbre, de la proportion d'aubier, des essais simples de travail du bois, une détermination provisoire de la densité, et un essai simple de séchage ;

— Deuxièmement, une connaissance exploratoire au moyen d'essais relativement simples et



Centre Technique Forestier Tropical. Laboratoire des essais et emplois du bois. Essai de résistance au choc.

souvent combinés avec l'inventaire forestier préliminaire. Les simples essais normalisés devraient être menés sur la densité, les propriétés en flexion, le séchage et la préservation, sur au moins 5 arbres ;

— Troisièmement, un travail à grande échelle qui ne peut être réalisé effectivement que dans un laboratoire de produits forestiers convenablement équipé.

LES PROPRIÉTÉS CORRÉLÉES DU BOIS

Pour une espèce connue, il y a tant de propriétés qui sont importantes, non seulement du point de vue scientifique mais encore du point de vue d'une utilisation économique finale, que l'on doit se demander : existe-t-il certaines propriétés, particulièrement des propriétés mécaniques, qui soient étroitement corrélées aux autres ? Dans ce cas, le volume des travaux d'essais pourrait être considérablement réduit, parce qu'il ne serait plus nécessaire d'essayer l'ensemble des propriétés corrélées. Il est bien connu que certaines propriétés mécaniques et technologiques sont étroitement corrélées avec la densité, par exemple la dureté et aussi la résistance à l'abrasion du bois. Donc, ces propriétés apparaîtront à un stade plutôt tardif dans notre liste des propriétés importantes.

De même, la résistance à la compression de fil est très bien corrélée avec la densité, si bien qu'il

Telles sont les propositions de KAUMANN et KLOOT faites à la 9^e Conférence du Commonwealth il y a deux ans, qui se trouvent aussi, pour l'essentiel, dans la récente publication de KAUMANN et ODDONE (1970). Dans cette publication sur la description des espèces tropicales du Paraguay, KAUMANN et ODDONE rendent compte des résultats pratiques qu'ils ont obtenus en testant les propriétés des espèces peu connues du Paraguay.

est plus important d'essayer aussi d'autres propriétés mécaniques au premier stade.

Une corrélation plutôt forte, qui est utilisée dans le classement mécanique des bois sciés pour l'utilisation en charpentes, existe aussi entre le module d'élasticité et la contrainte de rupture en flexion, comme on peut le voir sur la figure 1.

Nous avons étudié les valeurs moyennes sur 600 espèces de bois citées dans la littérature par différents laboratoires de produits forestiers (BOLZA et KLOOT, 1963, 1966 ; KENNEDY, 1965 ; LAVERS, 1967 ; MARKWARDT et WILSON, 1935) et nous avons trouvé une régression selon l'équation

$$\sigma_{bB(\text{cond})} = 0,00756 \cdot E_{b(\text{cond})} + 67 \quad (1)$$

pour les éprouvettes conditionnées ; le coefficient de corrélation était $r = 0,85$. Nous avons aussi calculé la régression linéaire la mieux adaptée qui passe par l'origine du système de coordonnées, parce que du point de vue physique, aucune ordonnée sur l'axe des y n'est prévisible lorsque le module d'élasticité est égal à 0. Cette relation qui est pratiquement la même que « la meilleure droite » (ligne pointillée) passant par le centre de gravité du nuage de points (équation 1) suit l'équation

$$\sigma_{bB(\text{cond})} = 0,0081 \cdot E_{b(\text{cond})} \quad (2)$$

La même liaison étroite, avec un coefficient de corrélation de $r = 0,84$ entre la contrainte de rupture et le module d'élasticité existe aussi pour les éprouvettes de bois vert. Les équations sont respectivement :

$$\sigma_{bB(\text{green})} = 0,0060 \cdot E_{b(\text{green})} + 32 \quad (1a)$$

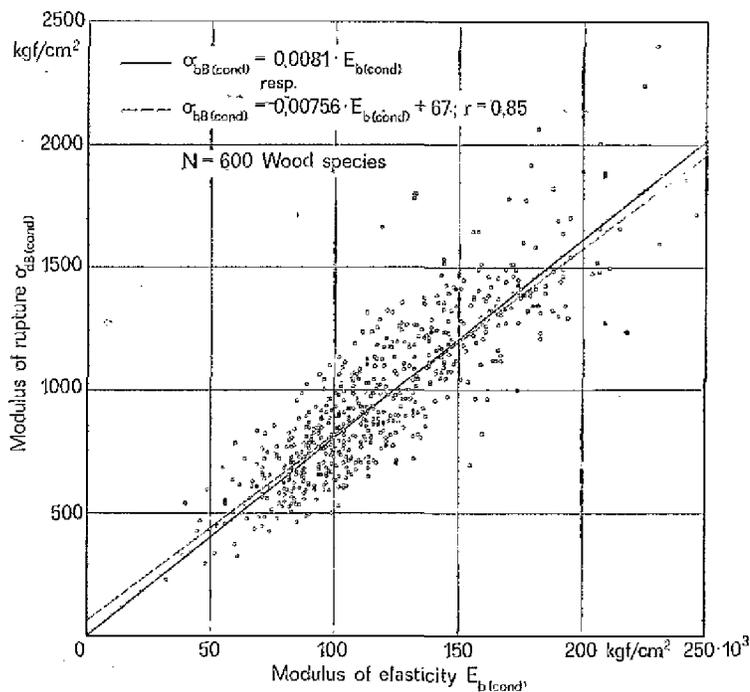


FIG. 1. — Relation entre le module d'élasticité et la contrainte de rupture.

et

$$\sigma_{dB(\text{green})} = 0,0063 \cdot E_{d(\text{green})} \quad (2a)$$

Du fait que la détermination du module d'élasticité réclame généralement une instrumentation plus fine, il est heureux qu'une assez bonne estimation du module d'élasticité puisse être déduite de la contrainte de rupture ; cette estimation peut être satisfaisante pour de nombreux desseins.

Une autre question importante est la relation entre les propriétés mécaniques du bois vert et les mêmes propriétés du bois ayant été soigneusement conditionné jusqu'à une humidité d'équilibre de 12 à 15 %.

La figure 2 démontre la corrélation très étroite, pour plus de 550 espèces de bois, entre la contrainte moyenne de rupture en flexion sur bois vert, et la contrainte de rupture sur éprouvettes conditionnées. Le coefficient de corrélation atteint 0,91 et la « meilleure droite » passe presque exactement par l'origine du système de coordonnées, comme la théorie le prévoit.

Son équation est

$$\sigma_{dB(\text{green})} = 0,63 \cdot \sigma_{dB(\text{cond})} - 9 \quad (3)$$

Le diagramme montre clairement que la résistance en flexion du bois vert est égale à seulement 63 % de la résistance du bois à l'humidité de 12 %. Une relation analogue existe pour le module d'élasticité avec l'équation

$$E_{d(\text{green})} = 0,79 \cdot E_{d(\text{cond})} + 3.000 \quad (4)$$

Le coefficient de corrélation est très haut avec $r = 0,95$, en dépit du grand nombre d'espèces de bois. Le module d'élasticité est beaucoup moins influencé par l'humidité que la résistance en flexion, car le module d'élasticité du bois vert atteint presque 80 % de celui du bois à l'humidité de 12 %, et dans la figure 3, nous voyons la relation correspondante pour la résistance en compression de fil.

Ici, la divergence entre la meilleure ligne droite d'équation

$$\sigma_{dB(\text{green})} = 0,68 \cdot \sigma_{dB(\text{cond})} - 59 \quad (5)$$

et la droite passant par l'origine du système de coordonnées qui suit l'équation

$$\sigma_{dB(\text{green})} = 0,58 \cdot \sigma_{dB(\text{cond})} \quad (6)$$

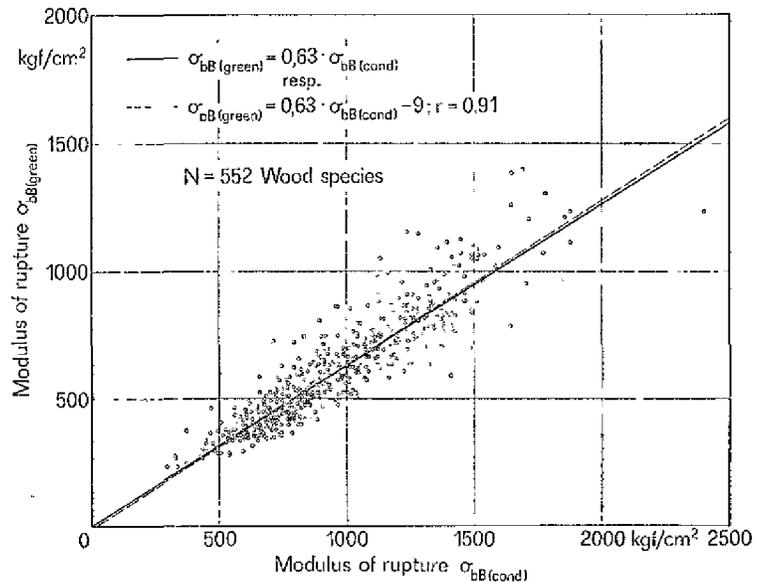


FIG. 2. — Relation entre la contrainte de rupture sur bois vert et sur éprouvettes conditionnées.

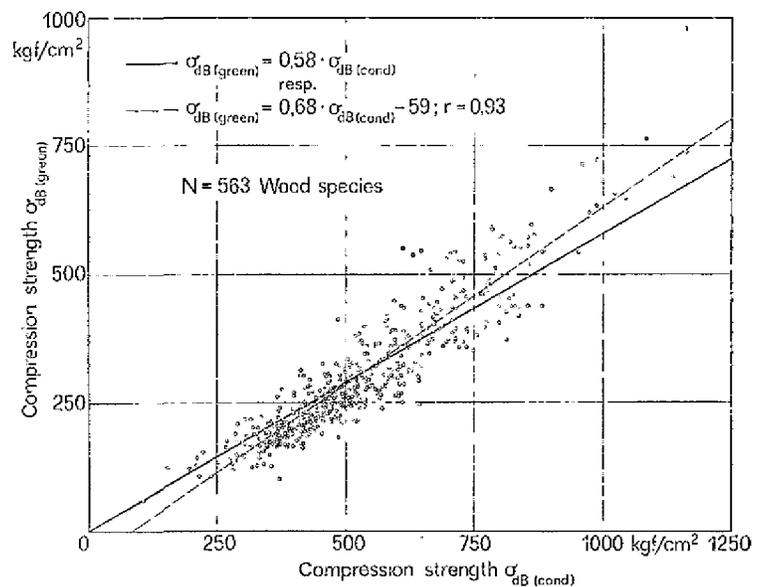


FIG. 3. — Relation entre la résistance en compression sur bois vert et sur éprouvettes conditionnées.

est un peu plus grande, mais, néanmoins, la corrélation est assez forte et montre que la résistance en compression est aussi très influencée par l'humidité, avec un rapport de 60 % entre la résistance en compression du bois vert et la résistance en compression du bois conditionné.

Il est possible aussi de calculer la relation entre la contrainte de rupture du bois vert et le module d'élasticité du bois conditionné, déduite des valeurs individuelles moyennes de 600 espèces de bois.

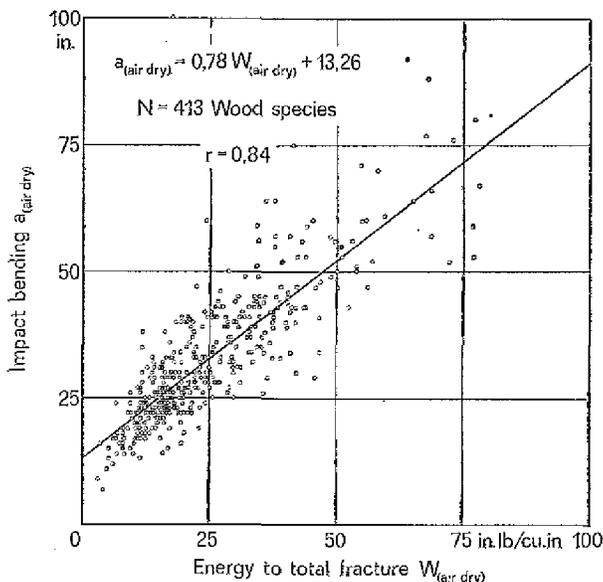


FIG. 4. — Relation entre la résistance en flexion dynamique et le travail maximum de rupture en flexion sur éprouvettes conditionnées.

Cette relation correspond exactement à celle qui peut être théoriquement prévue et a pour équation

$$\sigma_{bB(\text{green})} = 0,0048 \cdot E_b(\text{cond}) + 41 \quad (7)$$

avec un coefficient de corrélation qui atteint $r = 0,81$. La meilleure régression linéaire passant par l'origine a pour équation

$$\sigma_{bB(\text{green})} = 0,0051 \cdot E_b(\text{cond}) \quad (8)$$

Ces corrélations entre les propriétés du bois vert et du bois conditionné conduisent à la conclusion pratique que, dans beaucoup de cas, il sera pleinement suffisant de déterminer les propriétés du bois uniquement sur des éprouvettes vertes. Cette énorme restriction aura pour conséquence de

CONCLUSIONS PRATIQUES

Dans les forêts tropicales, on trouve, souvent par centaines, un grand nombre d'espèces de bois aux propriétés inconnues. Il est donc tout à fait nécessaire et important de rationaliser les normes de détermination de leurs propriétés.

Quelles conclusions pratiques peut-on tirer à la suite de ces considérations générales sur l'échantillonnage et les essais ?

La première question dans cette optique est :

- Quelles propriétés du bois devraient être déterminées impérativement,
- à quel stade et,

faciliter radicalement le protocole d'essai, particulièrement dans les pays tropicaux dépourvus de laboratoires de produits forestiers spécialement équipés. Dans cette éventualité de ne faire les essais que sur des bois verts, il ne sera pas nécessaire de sécher les échantillons de bois après la préparation des planches et des barrettes, avec le risque de défauts dus au séchage et le risque de pertes liées aux altérations fongiques et aux attaques d'insectes xylophages. De plus, le travail d'essai peut être mené très rapidement et plus ou moins sur le terrain.

Finalement, du point de vue théorique, on peut aussi attendre une relation entre la résilience et le travail total en flexion, à cause de la forte dépendance de la contrainte de rupture et du facteur temps de l'essai. Cette relation a aussi été rapportée par LAVERS, 1967. Dans la littérature (BRYCE, 1967 ; KENNEDY, 1965, LAVERS, 1967 ; MARKWARDT et WILSON, 1935), nous n'avons trouvé les valeurs du travail total de rupture que pour les espèces dont la résistance à une charge appliquée instantanément est indiquée par la descente maximum du marteau sur la machine du type HATT-TURNER. Dans ce cas, nous avons obtenu une bonne liaison entre la flexion dynamique et l'énergie de rupture totale pour les éprouvettes vertes, aussi bien que pour les éprouvettes conditionnées, l'équation pour les éprouvettes de bois sec à l'air est

$$a_{(\text{air dry})} = 0,78 \cdot W_{(\text{air dry})} + 13 \quad (9)$$

avec un coefficient de corrélation $r = 0,84$. La corrélation correspondante pour les éprouvettes vertes ($r = 0,83$) est :

$$a_{(\text{green})} = 0,90 \cdot W_{(\text{green})} + 8,5 \quad (10)$$

Donc, il ne semble pas nécessaire de déterminer les deux propriétés surtout si l'une d'elles (par exemple la flexion dynamique), montre une variabilité plutôt élevée.

— avec quelle précision pour obtenir l'information souhaitée sur,

— la possibilité d'utilisation d'une espèce de bois ?

La seconde question sera :

- comment mener les études nécessaires,
- de la manière la plus économique,
- et la plus efficace ?

A mon avis, nous devrions distinguer seulement deux stades d'études qui seraient :

- une étude préliminaire et,
- des essais à grande échelle.

ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

Les propriétés à étudier au stade préliminaire devraient être :

— l'identification botanique, y compris la description des principales caractéristiques de la structure du bois et de l'arbre,

— les propriétés physiques : densité et rétractibilité dans les deux directions perpendiculaires au fil,

— les propriétés mécaniques : contraintes de rupture en flexion, éventuellement résistance en compression de fil et dureté. Toutes ces propriétés mécaniques devraient être déterminées sur le bois vert seulement, ainsi que :

-- quelques données technologiques comme les caractéristiques de séchage et la durabilité naturelle en essais de champ.

Les résultats de ces études préliminaires ne réclament pas une très haute précision. La détermination de ces propriétés peut donc être faite avec une précision de ± 3 à 5% et l'intervalle de confiance des valeurs moyennes devrait être de l'ordre de ± 10 à 15% , ce qui signifie que l'on aurait à prendre des échantillons de bois dans un lot de 5 à 10 arbres tirés au sort.

En ce qui concerne l'exécution pratique du travail d'échantillonnage en forêt et des essais sur le terrain ou en laboratoire, je suggère que ce travail soit combiné avec le travail normal d'inventaire forestier. Cette proposition n'est peut-être pas très orthodoxe, elle est même peut-être révolutionnaire, mais elle est faite dans le contexte suivant :

1) Le travail d'inventaire forestier est toujours la base de l'estimation de la réserve potentielle de bois sur pied, et il doit être exécuté dès le début de chaque étude s'intéressant à la valeur et à l'utilisation des forêts tropicales.

2) Normalement, les inventaires forestiers sont relativement coûteux, et nécessitent un effectif important de personnel entraîné. Dans cet esprit, il devrait être facile de prévoir que les technologues du bois soient au travail en même temps que les forestiers.

3) En relation avec les inventaires forestiers pour la détermination des réserves de bois exploitables, il est aussi nécessaire d'identifier les différentes espèces avec beaucoup de soin et de précision.

4) Les inventaires forestiers doivent être exécutés en observant les règles fondamentales de l'échantillonnage statistique, dans le but d'obtenir

des échantillons qui soient représentatifs de l'ensemble de la forêt. Il devrait donc être facile de combiner le protocole d'échantillonnage des bois avec le travail d'inventaire, par exemple de telle façon que dans chaque nouvelle espèce le x^e arbre de dimensions utilisables soit choisi pour y prélever un échantillon de bois. Cela signifie que, plus une espèce est importante, plus on en prendra d'échantillons.

5) L'échantillonnage pour les essais et pour le travail d'inventaire peut être fait en même temps. De cette façon, il n'est pas nécessaire de retourner dans la forêt une seconde fois, ce qui est très coûteux en argent et en temps, dans le cas de la récolte de bois au hasard dans les forêts tropicales.

6) L'équipement technique pour la récolte des échantillons de bois et pour les essais de leurs propriétés est assez léger. En forêt, on n'a besoin que d'une scie à chaîne pour abattre les arbres.

Une fois abattu l'arbre qui a été déterminé par tirage au sort, il faudrait extraire au hasard un morceau, ou, mieux, deux morceaux de bois sain, englobant de préférence du bois de cœur, et d'une longueur d'environ 50 cm pour des dimensions transversales d'environ 6 à 10 cm. Si ce sont deux morceaux que l'on prend, ils devraient représenter des périodes de croissance différentes. Le poids de chacun des échantillons sera inférieur à 5 kg.

Si l'arbre est trop grand, ou s'il n'est pas commode à abattre pour d'autres raisons, l'échantillon devrait être extrait à la scie de l'arbre sur pied. Si les arbres ont des contreforts accentués, l'échantillon de bois devrait être pris au moins à 1 mètre au-dessus du contrefort (KAUMAN et KLOOT, 1968). Il faut savoir que cette récolte de bois dans des arbres sur pied entraîne une part d'erreur systématique parce que l'échantillon provient toujours du voisinage du pied. Mais, normalement, cette erreur ne sera pas très importante. Cette simplification dans le protocole, qui a un très grand intérêt pratique, devrait donc être autorisée.

Les morceaux de bois choisis devraient être traités avec un produit de préservation du bois et déposés dans un sac de plastique, pour éviter un séchage excessif. Pendant le stockage qui suit, les morceaux de bois peuvent avantageusement être conservés sous l'eau.

Pour débiter les éprouvettes d'essai dans les échantillons de bois vert, on peut se contenter aussi de moyens d'usinage très simples. En principe, on a seulement besoin d'une petite scie d'atelier et d'une raboteuse, et le débit des éprouvettes

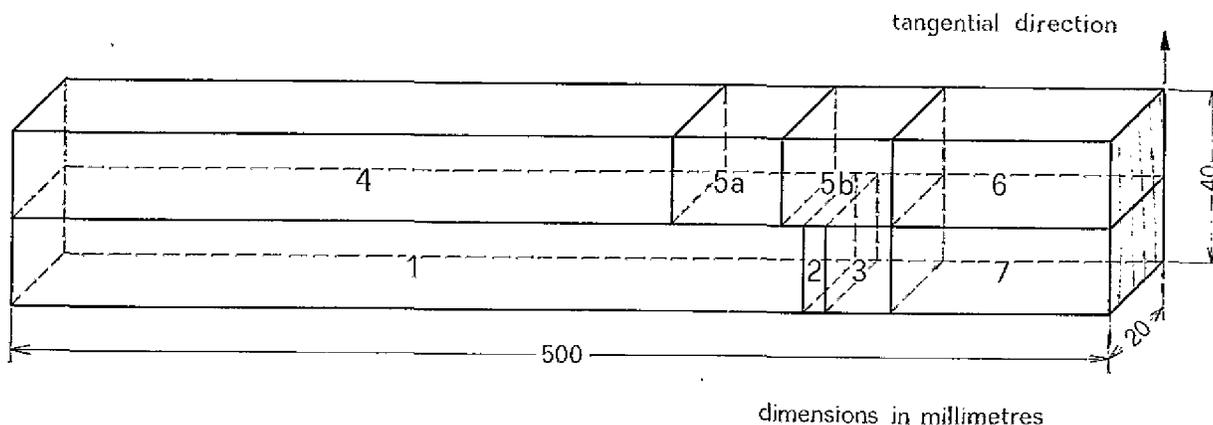


FIG. 5. — Plan de découpe des éprouvettes d'essai. 1, flexion ; 2, rétractibilité ; 3, compression ; 4, flexion dynamique ; 5a, 5b, compression perpendiculaire au fil ; 6, séchage ; 7, durabilité.

d'essai pourra être fait systématiquement suivant un plan de coupe simple, comme celui qui est donné en exemple dans la figure 5.

Pour les essais, on n'a besoin que d'une simple machine permettant les essais de flexion et, éventuellement aussi, un essai de compression et de dureté ; en plus, un comparateur au centième de mm,

une balance au centigramme environ et une étuve de laboratoire.

Malgré la simplification considérable de la récolte et de l'exécution de l'essai, il devrait être possible d'obtenir une information tout à fait valable et compréhensible sur les propriétés des espèces peu connues.

ESSAIS A GRANDE ÉCHELLE

L'essai à grande échelle exige la détermination d'un plus grand nombre de propriétés physiques et mécaniques, en particulier sur des échantillons de bois conditionné, et doit être, en conséquence, exécuté dans un laboratoire convenablement équipé. L'intervalle de confiance des valeurs moyennes devrait être de $\pm 5\%$, ce qui implique qu'environ 30 arbres de chaque espèce soient échantillonnés par tirage au sort.

Dans ce cas, il faut abattre les arbres et les blocs de bois qui fourniront les éprouvettes d'essai doivent aussi être choisis par tirage au sort.

Il n'est pas dans mon intention de détailler ici le protocole d'un tel essai à grande échelle ; je voudrais seulement souligner que l'installation initiale d'un laboratoire d'essais complets sur les bois ne demande pas une très grosse mise de fonds, surtout quand on considère l'important bénéfice qui peut être tiré des travaux d'essai pour l'utilisation des bois tropicaux.

Mais, en tout cas, je pense que la détermination des propriétés du bois peut être heureusement cautionnée par une bonne et opportune coopération entre les forestiers et les technologues dès le début de l'entreprise.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ARMSTRONG, F. H. (1955). — The Strength Properties of Timber — The 2-cm. Standard for Tests of Small Clear Specimens. London. Dep. of Scientific and Industrial Research, *For. Prod. Res., Bull.* n° 34.
2. BOLZA, E. and KLOOT, N. H. (1963). — The Mechanical Properties of 174 Australian Timbers. C. S. I. R. O., Australia, *Div. of For. Prod., Technol. Paper* n° 25.
3. BOLZA, E. and KLOOT, N. H. (1966). — The Mechanical Properties of 81 New Guinea Timbers, C. S. I. R. O., Australia, *Div. of For. Prod., Technol. Paper* n° 41.
4. BRYCE, J. M. (1967). — *The Commercial Timbers of Tanzania*. Ministry of Agric. and Co-operations, Tanzania, Forestry Division.
5. KAUMAN, W. G. and KLOOT, N. H. (1968). — *Technological Appraisal of Little Known or Unused*

- Timber Species. Ninth British Commonwealth Forestry Conference. Proceedings. (*Div. of For. Prod., C. S. I. R. O., Australia*, Reprint n° 720).
6. KAUMAN, W. G. and ODDONE, O. G. (1970). — Evaluation of Tropical Species in Paraguay. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt f. Forst- und Holzwirtschaft* n° 81 (1971), 41/49.
 7. KENNEDY, E. I. (1965). — Strength and Related Properties of Woods Grown in Canada. *Dep. of Forestry. Public. n° 1104*.
 8. KRAHMER, R. L. and SNODGRASS, J. D. (1967). — A Sampling Procedure for Estimating Selected Physical Properties of Wood in a Forest. *For. Prod. Journ.*, 17 (3), 21/29.
 9. LAURICIO, F. M. and DE LA CRUZ, R. Z. (1969). — New Sampling Plan Promotes Standard Mechanical Testing of Philippine Woods. *Philippine Lumberman*, 15 (5).
 10. LAVERS, M. (1967). — The Strength Properties of Timbers, London, Ministry of Technology. *For. Prod. Res., Bull. n° 50*.
 11. MARKWARDT, L. J. and WILSON, T. R. C. (1935). — Strength and Related Properties of Woods Grown in the United States. *U. S. Dep. of Agric., Techn. Bull. n° 479*.
 12. PEARSON, R. G. (1952). — The Sampling of Timber for Standard Mechanical Tests. *Australian Journ. Appl. Sci.*, 3 (1), 25/52.
 13. PEARSON, R. G. and WILLIAMS, E. J. (1958). A Review of Methods for the Sampling of Timber. *For. Prod. Journ.*, 8 (9), 263/268.

D. NOACK.

Communication présentée à la 1^{re} conférence IUFRO, Groupe de travail « Propriétés et utilisation des bois tropicaux » Hamburg, 26-26 nov. 1970.

L'auteur ayant exposé le problème et sa solution avec une telle clarté et une telle maîtrise, le commentaire ne peut porter que sur le contexte et non sur le sujet lui-même trop parfaitement traité pour qu'il y soit ajouté quoi que ce soit.

Ce contexte mérite, quant à lui, d'être explicité : il est primordial de savoir que tous les instituts de par le monde spécialisés dans l'étude des bois tropicaux se sont trouvés confrontés aux mêmes difficultés et ont choisi souvent assez empiriquement leur méthode de travail, tout au moins dans un premier temps. Il n'était d'ailleurs guère possible de procéder autrement, car le choix d'un protocole rationnel comme celui que propose D. NOACK devait être étayé par la connaissance détaillée des corrélations entre les diverses propriétés physiques et mécaniques, ainsi que par une investigation approfondie de leur variabilité au niveau du pied d'arbre et d'un arbre à l'autre, au niveau des différentes stations écologiques, de l'aire géographique de chaque espèce.

Autant il était difficile d'éviter, dans les années d'avant 1960, d'accumuler dans chaque institut des résultats numériques recueillis d'après un protocole d'échantillonnage assez empirique et différant d'un pays à l'autre, autant il est maintenant indispensable de modifier l'organisation des essais : l'optimisation de la qualité, de la quantité et du coût de l'information apportée par les essais a maintenant ses règles bien établies et l'heure n'est plus de s'attarder à des protocoles qui sont aux antipodes de cette optimisation.

Grâce aux principes rappelés par D. NOACK, la mission de décrire les propriétés technologiques de plusieurs centaines d'espèces tropicales est réalisable dans un délai et pour une dépense acceptables, alors que des protocoles trop lourds en faisaient une tâche séculaire, donc pratiquement utopique.

Il est pour nous très réconfortant, après avoir recueilli les notions de base auprès de R. G. PEARSON en 1966, les avoir exposées en français (Note sur l'échantillonnage pour essais technologiques — document interne CTFT, P. GUÉNEAU — janvier 1967), les avoir éprouvées concrètement (Etude sur un exemple du problème de l'échantillonnage pour essais physiques et mécaniques — document interne CTFT, F. CAILLIEZ — mars 1971), les avoir appliquées à l'étude des bois de Madagascar, de lire la mise au point magistrale que l'autorité scientifique de D. NOACK présente sur l'ensemble de la question et qu'il nous a autorisé à traduire ici, ce dont nous le remercions respectueusement.

P. GUÉNEAU,

Ingénieur de Recherches
au Centre Technique Forestier Tropical.