CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL
45bis, avenue de la Belle Gabrielle
94736 NOGENT-SUR-MARNE CEDEX
Tél. 43 94 43 00
Télex CETEFO 264653
Télécopie 43 94 43 29

ESSAIS COMPARATIFS

POUR LA MESURE

DU MODULE D'ELASTICITE

DIVISION DE TECHNOLOGIE

JUIN 1989

ESSAIS COMPARATIFS

POUR LA MESURE

DU MODULE D'ELASTICITE

Philippe CURIE

COMPARAISON DE METHODES ET DE DISPOSITIFS POUR LA MESURE DU MODULE D'ELASTICITE EN FLEXION

AVANT-PROPOS

Le module d'élasticité est une caractéristique du matériau bois indispensable pour la plupart des calculs de structure.

Il représente le coefficient de proportionnalité entre la charge appliquée à une pièce de bois et la déformation correspondante, dans la limite d'élasticité du matériau.

Actuellement, la méthode utilisée par la pluspart des normes, pour la détermination du module d'élasticité de Young, a pour principe une sollicitation mécanique en flexion.

A la suite des travaux entrepris par P.A. BORDONNE sur la vibration des éléments en bois, le C.T.F.T. dispose maintenant d'un appareillage permettant d'obtenir un module d'élasticité " dynamique " par sollicitation acoustique d'éprouvettes normalisées.

Compte tenu des nombreux atouts de cette nouvelle méthode, il est intéressant d'entreprendre des essais comparatifs selon ces deux principes. Nous présentons ci-après, une étude préliminaire réalisée sur un matériel d'essais réduit. (16 éprouvettes).

PRESENTATION DES DIFFERENTS DISPOSITIFS (tableau A et B)

1 - Vibration (Méthode acoustique). (*)

Le module d'Young " dynamique " est obtenu par interprétation du spectre des fréquences des vibrations naturelles d'une poutre. Le dispositif a été conçu pour admettre des éprouvettes de dimensions normalisées. La propagation du son se fait par percussion de l'élément de bois mis en place sur des supports élastiques. Un microphone enregistre les fréquences. Un interface permet l'entrée sur micro-ordinateur. Le traitement des données s'effectue sur un logiciel développant un modèle mathématique.

Pour faciliter la lecture, on nommera le module obtenu acoustiquement " module dynamique ".

2 - Flexion (Méthode classique mécanique).

- En raison de la diversité des normes et des moyens différents pouvant être mis en oeuvre pour la saisie des données, le module d'élasticité peut être obtenu selon de nombreuses approches.

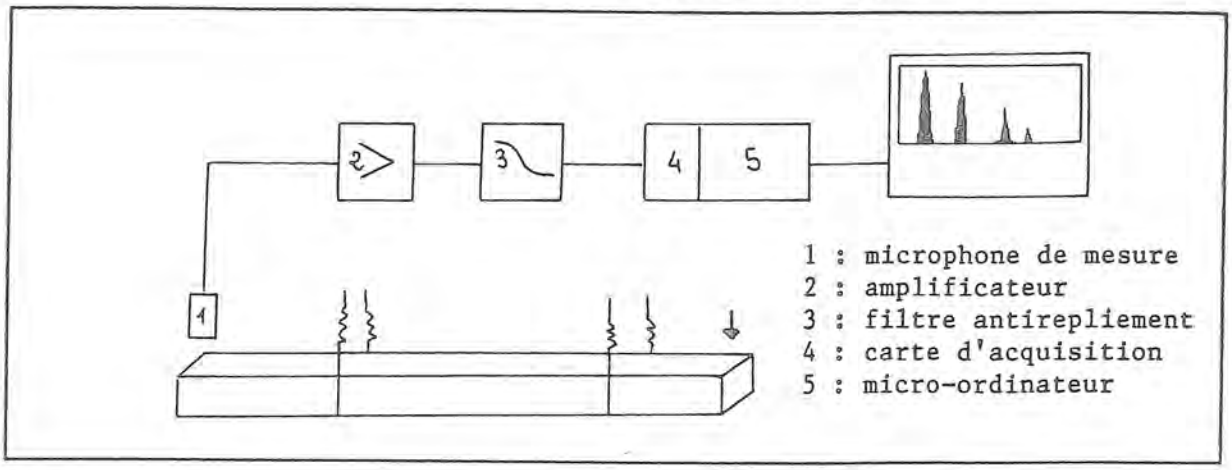
- Disposant d'une presse MTS de haute précision avec saisie instantanée des données sur ordinateur et traitement par logiciel spécialement conçu pour la flexion, nous avons testé plusieurs dispositifs normalisés. De même, plusieurs principes de saisie ont été essayés.

(*) Ce principe a fait l'objet d'une thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

TABLEAU A

CARACTERISTIQUES DU DISPOSITIF

POUR LA DETERMINATION DU MODULE DYNAMIQUE EN VIBRATION
(tiré de la thèse de Pierre Antoine BORDONNE)



$$E = 4\pi^2 \mu l^2 . \frac{f_k^2}{X_k^4 . \alpha} . \left[1 + \alpha . [\theta^2(m_k) + 6\theta(m_k)] + \alpha . \frac{E}{KG} . [\theta^2(m_k) - 2\theta(m_k)] \right]$$

où :

E est le module d'élasticité dans la direction de l'axe de la poutre

μ est la masse volumique

K est le facteur de forme (en principe ≈ 5/6)

G est le module de cisaillement dans le plan de flexion

$\alpha = \frac{h^2}{12 l^2}$: h est l'épaisseur

l est la longueur

m_k est la kième racine positive de l'équation $\cos(m).ch(m) = 1$

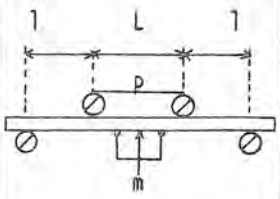
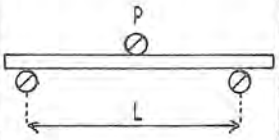
$X_k = m_k$

$\theta(m)$ est la fonction $m . \frac{tg(m).th(m)}{tg(m) - th(m)}$

f_k est la kième fréquence propre de la poutre

TABLEAU B

CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS DISPOSITIFS RETENUS POUR LA DETERMINATION DU MODULE EN FLEXION STATIQUE

	Dispositif	Caractéristiques du dispositif	Norme	Réf. du module	Calcul	Machine
FLEXION 4 POINTS		L = 140 m/m l = 80 m/m ø = 60 m/m m = 120 m/m	Dispositif particulier	M1/V	$E = \frac{2Pl^2}{fbh^3} \times (l + \frac{3L}{2})$	MTS
				M1/C	$E = \frac{3P\ (2l) \times m^2}{8\ bh^3 \times F'}$	MTS
	P = charge h = hauteur éprouvette b = largeur éprouvette f = déplacement des vérins m = entre appuis du capteur F'= flèche entre appuis et capteur	L = 160 m/m l = 80 m/m ø = 60 m/m m = 120 m/m	Nouvelle norme Française NFB 51-016	M2/V	$E = \frac{2Pl^2}{fbh^3} \times (l + \frac{3L}{2})$	MTS
				M2/C	$E = \frac{3P\ (2l) \times m^2}{8\ bh^3 \times F'}$	MTS
FLEXION 3 POINTS		L = 280 m/m ø = 60 m/m	Norme ISO 3133	M3/V	$E = \frac{P\ L^3}{4\ fbh^3}$	MTS
		L = 280 m/m ø = 30m/m	Ancienne norme Française	M4/V		MTS
				A31/V	Détermination manuelle de la pente à l'origine sur graphe avec une échelle des déformations de 1x1 $E = \text{Pente} \times L^3/4bh^3$	AMSLER
	P = charge h = hauteur éprouvette b = largeur éprouvette f = déplacement des vérins			A35/V	Détermination manuelle de la pente à l'origine sur graphe avec une échelle des déformations de 5x1 $E = \text{Pente} \times L^3/4bh^3$	AMSLER

- Disposant également d'une presse utilisée pour les essais systématiques avec un enregistrement sur graphe, des mesures ont aussi portées sur ce matériel.

Pour faciliter la lecture, on nommera le module obtenu sur presse " module statique ".

21 - Dispositif sur presse MTS

La saisie des données se fait par un voltmètre. Une liaison RS232 permet l'acquisition sur micro ordinateur.

211 - Flexion 4 points

Deux dispositifs ont été retenus. Un dispositif conforme à la norme française en vigueur et un dispositif particulier avec une distance inférieure entre appuis intérieurs pour étudier des éventuelles incidences sur la mesure des modules.

2111 - Dispositif particulier

- Entraxe extérieur = 300 m/m
- Entraxe intérieur = 140 m/m
- Diamètre des appuis = 60 m/m

M1/V. Mesure du module avec saisie de la déformation par mesure du déplacement des vérins.

M1/C. Mesure du module avec saisie de la déformation par un capteur placé sous l'éprouvette.

Il se différencie du dispositif normalisé par une zone à moment constant inférieure de 20 m/m.

2112 - Dispositif normalisé (NFB 51016)

- Entraxe extérieur = 320 m/m
- Entraxe intérieur = 160 m/m
- Diamètre des appuis = 60 m/m

M2/V. Mesure du module avec saisie de la déformation par mesure du déplacement des vérins.

M2/C. Mesure du module avec saisie de la déformation par un capteur placé sous l'éprouvette.

212 - Flexion 3 points

Deux dispositifs ont également fait l'objet de cette étude. Le premier, conforme à la norme ISO, et le second, conforme à l'ancienne norme française.

Ces deux dispositifs se différencient uniquement par le diamètre des appuis.

2121 - Dispositif normalisé (Norme ISO)

- Entraxe = 280 m/m
- Diamètre des appuis = 60 m/m

M3/V. Mesure du module avec saisie de la déformation par mesure du déplacement des vérins.

2122 - Dispositif conforme à l'ancienne norme française

- Entraxe = 280 m/m
- Diamètre des appuis = 30 m/m

M4/V. Mesure du module avec saisie de la déformation par mesure du déplacement des vérins.

22 - Dispositif sur presse AMSLER

Les essais systématiques de la division ESSEM ayant été réalisés sur cette machine, nous avons cherché à mettre en évidence les écarts avec les autres mesures afin d'envisager si nécessaire des formules de passage.

Les données sont tracées sur un graphe charge/déformation.

221 - Flexion 3 points

2211 - Dispositif conforme à l'ancienne norme française

- Entraxe = 280 m/m
- Diamètre des appuis = 30 m/m

A31/V. Mesure du module par détermination manuel de la pente de la tangente à l'origine du graphe charge/déformation, avec une échelle des déformations de 1.

A35/V. Mesure du module par détermination manuel de la pente de la tangente à l'origine du graphe charge/déformation, avec une échelle des déformations de 5.

CARACTERISTIQUES DES EPROUVETTES (tableau C)

16 éprouvettes représentant chacune une espèce différente ont été sélectionnées pour réaliser cette étude.

Les caractéristiques communes de ces éprouvettes sont leurs dimensions :

Longueur = 340 m/m à 360 m/m
Largeur = 20 m/m
Epaisseur = 20 m/m

TABLEAU C

LISTE ET

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES EPROUVETTES

	Nom commercial	Nom scientifique	Provenance	Densité (H≈12%)
1	SAMBA	Triplochiton scleroxylon	AFRIQUE	0.36
2	ASSACU	Hura crepitans	BRESIL	0.43
3	SIMAROUBA	Simarouba amara	GUYANE	0.47
4	YAYAMADOU	Virola melinonii	GUYANE	0.52
5	URAT MATA	Parashorea malaanonan	INDONESIE	0.54
6	TULIPIER	Liriodendron tulipifera	FRANCE	0.55
7	ASSAO	Arthrosamanea corymbosa	GUYANE	0.63
8	NYATOH	Palaquium sp.	MALAISIE	0.64
9	SAINT MARTIN JAUNE	Hymenolobium sp.	GUYANE	0.66
10	SEMANGKOK	Scaphium sp.	ASIE DU SUD EST	0.67
11	LOURO GAMELA	Ocotea rubra	BRESIL	0.69
12	EUCALYPTUS M.	Eucalyptus maculata	BURUNDI (Plant.)	0.84
13	EUCALYPTUS P.	Eucalyptus paniculata	BURUNDI (Plant.)	1.08
14	AZOBE	Lophira alata	AFRIQUE	1.09
15	BALATA	Manilkara bidentata	GUYANE	1.10
16	PANACOCO	Swartzia panacoco	BRESIL	1.26

Ces éprouvettes ont été choisies sans défauts apparents, c'est-à-dire :

- fil droit
- pas de noeuds, pas de fractures transversales
- pas de coloration ni piqûres
- pas de fentes ni gerces
- pas de déformations

Elles ont été volontairement retenues pour répondre à une grande plage de densité (0.36 à 1.26) et de provenance.

Ces éprouvettes étaient stabilisées en salle climatisée, dans les conditions hygrométriques suivantes :

Température = 22°C
Etat hygrométrique = 65 %

soit une humidité du bois d'environ 12%.

Pendant toute la durée de l'étude, entre chaque essai, les éprouvettes étaient en attente dans une enceinte climatisée pour une stabilisation avoisinant les 12 % .

DEROULEMENT DES ESSAIS

La détermination du module d'élasticité par méthode vibratoire ne présentant aucun risque de traumatisme pour les éprouvettes, c'est par cette nouvelle méthode que les éprouvettes ont été testées en tout premier lieu.

Dans un second temps, les bois ont été soumis à des sollicitations mécaniques sur la presse MTS puis sur la presse AMSLER suivant les différents dispositifs présentés ci-avant. Dans le cas de la flexion 4 points, la détermination du module a été obtenue simultanément par la saisie du déplacement des vérins et par l'enregistrement du capteur mis en place sous l'éprouvette.

Pour ne pas risquer d'endommager les échantillons de bois dans les cas d'une sollicitation mécanique, les charges limites appliquées correspondaient au tiers théorique des charges de rupture.

Pour avoir confirmation du non-endommagement du bois, nous avons procédé à une nouvelle détermination du module par la méthode vibratoire à l'issue des essais effectués selon la méthode mécanique.

RESULTATS D'ESSAIS

Le tableau n° I rassemble la totalité des modules obtenus pour les 16 éprouvettes, c'est-à-dire :

- Méthode acoustique YOUNG AVANT ESSAI
  ---------- YOUNG APRES ESSAI

- Méthode mécanique

  - sur MTS — M1/V et M1/C. dispositif particulier
    M2/V et M2/C. nouvelle norme française
    M3/V. dispositif de la norme ISO
    M4/V. dispositif de l'ancienne norme française.

  - sur AMSLER — A31/V. A35/V dispositif de l'ancienne norme française.

Pour une meilleure visualisation des résultats, une présentation graphique par lot de 4 essences suit le tableau d'ensemble. On trouvera sur l'axe horizontal, les différentes méthodes et dispositifs et sur l'axe vertical l'échelle du module. Ces graphiques permettent de faire ressortir les différences notables entre les principes de détermination.

II. A - SAMBA / ASSACU / SIMAROUBA / YAYAMADOU
II. B - URAT MATA / TULIPIER / ASSAO / NYATOH
II. C - ST MARTIN / SEMANGKOK / LOURO GAMELA / E. MACULATA
II. D - E. PANICULATA / AZOBE / BALATA / PANACOCO

Pour chaque éprouvette, 10 mesures ont été réalisées. Les variantes sont la méthode, les dispositifs, les machines et les moyens d'enregistrements des données. Les rapprochements possibles sont donc nombreux et peuvent porter sur les comparaisons suivantes :

- Méthode acoustique et mécanique
- Flexion 3 points et 4 points
- Dispositifs normalisés
- Machines AMSLER et MTS

L'analyse des mesures a portée sur trois paramètres :

- La corrélation entre les mesures
- La moyenne des mesures
- Les coefficients des régressions entre les mesures

- Avant d'effectuer des analyses détaillées, plusieurs remarques peuvent être faites concernant l'ensemble des résultats.

- La matrice des corrélation est indicatrice de l'excellente similitude des modules obtenus selon la méthode acoustique ou classique. Elle confirme une assez bonne crédibilité des mesures quelque soient les dispositifs, les machines et les normes.
- La comparaison des moyennes fait apparaître des différences notables liées au principe d'enregistrement de la déformation.

1 - COMPARAISON DES METHODES

a) Méthode acoustique et mécanique

. Le module obtenu par sollicitation acoustique donne pour tout l'échantillonnage des résultats particulièrement proches du module obtenu en

RESULTATS DES MODULES OBTENUS SUR LES DIFFERENTS DISPOSITIFS (EN MILLIERS DE DaN/CM²)

				Module dynamique		Module statique							
				YOUNG		MTS						AMSLER	
		CTFT	DENSITE	AP	AV	M1/V	M2/V	M1/C	M2/C	M3/V	M4/V	A35/V	A31/V
1	SAMBA	—	0.36	60	61	46	48	59	61	47	46	48	52
2	ASSACU	30294	0.43	92	91	79	77	98	94	73	71	80	87
3	SIMARCUBA	30230	0.47	131	139	105	105	148	147	100	97	105	137
4	YAYAMADOU	30226	0.52	192	184	103	109	180	184	107	103	109	108
5	URAT MATA	28371	0.54	166	165	119	120	161	161	106	109	115	136
6	TULIPIER	28449	0.55	100	98	83	81	99	92	75	77	85	90
7	ASSAO	30233	0.63	165	158	125	123	157	164	117	116	124	144
8	NYATOH	27811	0.64	179	176	141	139	188	186	132	127	146	138
9	ST MARTIN	30677	0.66	121	117	96	92	114	113	89	86	100	112
10	SEMANGKOK	—	0.67	200	198	144	142	202	199	129	126	149	157
11	LOURO GAMELA	30318	0.69	182	174	134	135	182	177	119	118	140	175
12	E. MACULATA	29373	0.84	187	179	150	145	191	189	135	133	157	182
13	E. PANICULATA	29379	1.08	301	291	248	241	323	314	216	221	235	250
14	AZOBE	—	1.09	243	244	190	202	255	262	171	175	189	204
15	BALATA	—	1.1	287	290	246	242	292	291	225	228	252	293
16	PANACOCO	30329	1.26	327	330	291	284	341	338	268	268	274	311
			Moyenne	183	181	144	143	187	186	132	131	144	161

flexion statique.
La matrice des corrélations est un bon indicateur de l'étroite liaison entre les deux.
Ces résultats sont, de plus, confirmés par l'analyse des moyennes.
On met en évidence l'excellent rapprochement entre le module déterminé en flexion 4 points avec enregistrement de la déformation par capteur et le module dynamique obtenu au debut de l'étude.
En chiffres :

MODULE PAR VIBRATION AVANT ESSAI (YG)	AVEC	MODULE EN FLEXION 4 POINTS M2/C

Régression linéaire modèle complet avec résidus.

$$\boxed{YG = 0.94 \times M2/C + 6.4}$$

Ecart type = 0.02
Corrélation = 0.997

. Les termes de la régression de YG = b x M2/C + a, dans le cas d'une similitude parfaite, devrait théoriquement donner les valeurs suivantes :

$$b = 1$$
$$a = 0$$

de telle sorte que YG = M2/C.

. Par la loi de STUDENT, il est possible d'évaluer la plage dans laquelle se situent les termes a et b à un niveau de confiance de 90 %.

Ecart type a = 4.14
Ecart type b = 0.02

Coefficient de STUDENT = 1.76 (Echantillonnage de 16 éprouvettes à 90 %, degré de liberté de 2).

$\alpha = a \pm 7.3$ soit $-0.86 < \alpha < 13.74$
$\beta = b \pm 0.035$ soit $0.91 < \beta < 0.98$

. Ces résultats nous révèlent que le terme β est très voisin de 1 et que le terme α peut prendre la valeur 0, tendant à confirmer que le module dynamique et statique sont équivalents.

Moyenne sur 16 échantillons :

E (YG) = 181 000 DaN/cm²
E (M2/C = 186 000 DaN/cm²

Une comparaison de ces moyennes par la méthode des couples donne les résultats suivants :

Différence théorique nulle
Moyenne = 4.81
Ecart-type = 7.89
t de Student = - 2.44

En référence à la loi de Student, la probabilité d'une égalité des moyennes est rejetée à un seuil de 5 % mais est acceptée à un seuil de 10 %

b) Comparaison des modules obtenus par vibration

. Les deux tests effectués en vibration ont été séparés par tous les essais de sollicitation en flexion. Le test final permettait de montrer un éventuel endommagement des éprouvettes pendant les essais mécaniques.

. La comparaison des moyennes révèle la bonne fidélité de la manipulation par vibration (181 000 DaN/cm² puis 183 000 DaN/cm²). Une comparaison de ces moyennes par la méthode des couples confirme l'égalité à un seuil de 5 % .

. La légère augmentation du module peut s'expliquer par une légère perte d'humidité de l'ensemble de l'échantillonnage (+ 0.5 %).

c) Comparaison des modules obtenus en flexion statique

. Les différences les plus significatives sont liées au choix du principe de mesure de la déformation.

. Dans le cas de l'utilisation d'un capteur positionné au centre de l'éprouvette (dans la zone à moment constant) les modules sont significativement plus élevés que dans le cas de la mesure du déplacement des vérins (correspondant à la déformation à l'aplomb des appuis).

Dispositifs comparés	Moyennes des modules	Corrélation	Expression de la régression	Ecart_type
M2/V M2/C	143 000 186 000	0.983	M2/V = 0.81xM2/C -8 M2/C = 1.23xM2/V +8	0.04

On constate malgré tout une bonne corrélation qui signifie un écart systématiquement inférieur dans le cas de la saisie du déplacement des vérins.

Pour confirmer l'hypothèse du cisaillement, nous avons effectué des mesures de module d'élasticité sur un dispositif en flexion 4 points dont nous avons fait varier la distance entre les appuis extérieurs et les appuis inté-

rieurs. Le matériel végétal était composé de 3 essences africaines de densité très différente.

SAMBA : 1 m x 50 mm x 21 mm

SAPELLI : 1 m x 50 mm x 25 mm

CONGOTALI : 1 m x 50 mm x 24 mm

Le tableau ci-après permet de visualiser les différences entre mesure.

Entre appuis extérieur D 1 mm.	Entre appuis intérieurs D 2 mm	(D1-D2)/2 D 3 mm	Eprouvette SAMBA Hauteur=21 mm		Eprouvette SAPELLI Hauteur=25mm		Eprouvette CONGOTALI Hauteur=24mm	
			Mesure 1	Mesure 2	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 1	Mesure 2
290	160	65	-	-	-	-	150	203
300	160	70	-	-	-	-	162	210
310	160	75	-	-	-	-	163	207
320	160	80	50	64	122	156	171	211
340	160	90	-	-	-	-	171	208
360	160	100	54	64	131	156	180	209
380	160	110	-	-	-	-	181	208
400	160	120	54	63	134	153	186	205
440	160	140	55	62	138	154	191	203
480	160	160	55	60	136	150	194	205
520	160	180	56	61	135	150	194	203
560	160	200	58	62	135	150	196	203
600	160	220	57	61	137	151	197	205
		MINI	50	60	122	150	150	203
		MAXI	58	64	138	156	197	211
		DIF	8	4	16	6	47	8

Mesure 1 = Saisie de la déformation par mesure du déplacement des vérins.

Mesure 2 = Saisie de la déformation par capteur placé sous l'éprouvette.

Dans le cas d'une saisie par capteur sous l'éprouvette, les différences de mesure sont peu significatives lorsque l'on fait varier les appuis.

Dans le cas d'une saisie par déplacement des vérins, on remarque :

- Une grande variation des mesures, en fonction de la distance entre appuis.

- Une diminution de la valeur du module avec une réduction de la distance entre appuis.

Il semble par ailleurs que la liaison ne soit pas linéaire. En rapprochant les appuis extérieurs des appuis intérieurs, les valeurs du module chutent considérablement.

A l'inverse, en éloignant les appuis extérieurs, la valeur du module "vérins" tend à se rapprocher (sans toutefois l'atteindre) de la valeur du module "capteur".

Il faut donc considérer comme aléatoire la mesure du module en flexion 4 points sur barrettes normalisées si l'enregistrement de la déformation ne peut se faire que par le déplacement des vérins (perte de 25 % en moyenne).

Même si la mesure avec capteur est convenable, le terme de "flexion circulaire pure" n'est peut être pas approprié dans le cas de barrettes d'une hauteur de 20 mm alors que la distance entre appuis intérieure et extérieure n'est que de 80 mm (rapport 4).

. Nous supposons que les efforts de cisaillement, non pris en compte dans le calcul du module par déplacement des vérins, et de façon moindre, l'écrasement aux appuis, sont des facteurs ayant tendance à abaisser le module d'élasticité.

2 - COMPARAISON DU TYPE DE FLEXION

Flexion 3 points et 4 points (M2/V et M3/V)

Dispositifs comparés	Moyennes des modules	Corrélations	Expression de la régression	Ecart-type
M2/V	143 000	0.996	M2/V = 1.10xM3/V -2	0.027
M3/V	132 000		M3/V = 0.91xM2/V +2	

Les corrélations sont très bonnes entre ces deux modes de flexion, à condition que l'enregistrement du déplacement soit identique (déplacement des vérins). L'analyse des moyennes montre cependant un écart notable signifiant un module " 4 points " supérieur au module " 3 points ". Ces moyennes sont significativement différentes. Cependant, on constate là aussi, un écart systématiquement inférieur dans le cas de la flexion 3 points.

Il est reconnu qu'une sollicitation en flexion 3 points est plus exigente pour le matériau. Compte tenu de la concentration de l'effort, les défauts non apparents contribuent à affaiblir le module.

3 - COMPARAISON DES DISPOSITIFS

. Ces essais nous ont donné l'occasion de tester des éprouvettes sur plusieurs dispositifs, c'est-à-dire :

M2/V - M2/C. Flexion 4 points. Nouvelle norme française (NF 51008)
M3/V. Flexion 3 points. Norme ISO (3133)
M4/V. Flexion 3 points. Ancienne norme fançaise.

. Le tableau établit ci-après présente les moyennes, la corrélation et l'expression de la régression des dispositifs pris deux à deux.

Dispositifs comparés	Moyenne des modules	Corrélation	Expression de la régression	Ecart type
M2/C	186000	0.977	M2/C = 1.31 x M3/V + 13 M3/V = 0.76 x M2/C - 13	0.076
M3/V	132000			
M2/C	186000	0.977	M2/C = 1.28 x M4/V + 18 M4/V = 0.78 x M2/C - 18	0.075
M4/V	131000			
M3/V	132000	0.999	M3/V = 0.98 x M4/V + 4 M4/V = 1.02 x M3/V - 4	0.012
M4/V	131000			

a) Dispositif de la nouvelle norme française et autres (norme ISO et ancienne NF)

Les différences sont notables si l'on respecte le principe de mesure spécifié par la norme, à savoir l'enregistrement des déformations par capteur. Dans ce cas là, le module obtenu est significativement plus élevé, pour les raisons déjà supposées avant, et qu'il serait intèressant d'approfondir.

b) Dispositif ISO et ancien dispositif de la norme française

La différence entre ces deux dispositifs est le diamètre des appuis qui dans le cas de la norme ISO est fixer à 60 m/m alors qu'il est de 30 m/m pour l'ancienne norme française.

La moyenne des modules et les termes de la régression indiquent qu'il n'y a aucune différence notable dans les résultats. La comparaison des moyennes par la méthode des couples confirme l'égalité à un seuil de 5 % .

En chargeant les éprouvettes au 1/3 approximatif de leur valeur de rupture, il semble que l'écrasement au niveau des contacts, plus important dans le cas d'un petit diamètre d'appuis n'est pas significatif, avec une perte inférieure à 1% sur la moyenne des modules.

4 - COMPARAISON DES MACHINES MTS ET AMSLER

. Les deux résultats obtenus sur machine AMSLER se différencient uniquement par l'échelle d'enregistrement de la déformation.

. Dans le cas d'un enregistrement à l'échelle 1, le tracé de la droite est délicat car pour une déviation moindre, l'erreur sur le module est importante. Pour cette raison la comparaison des machines s'est faite en prenant en compte un enregistrement de la déformation à l'échelle 5 sur machine AMSLER. Le dispositif commun retenu est celui de l'ancienne norme française.

. Les résultats sont présentés ci-après :

MTS : (M4/V) : Module moyen = 131 000 DaN/cm²
AMSLER : (A35/V) : Module moyen = 144 000 DaN/cm²

La comparaison des 2 moyennes par la méthode des couples confirme qu'elles sont significativement différentes.

CORRELATION = 0.994

EXPRESSION DE LA REGRESSION :

M4/V = 0.95 x A35/V - 6	ECART TYPE = 0.028
A35/V = 1.05 x M4/V + 6	

- Corrélation avec la densité

Les caractéristiques mécaniques du bois sont bien corrélées à la densité, et le module n'échappe pas à cette règle. La matrice des corrélations entre les différents dispositifs et méthodes retenus dans le cadre de ces essais et la densité le confirme.

Il est important de remarquer que la corrélation du module avec la densité reste cependant inférieure aux corrélations entre modules. Ce résultat est indicateur de la grande similitude entre le module obtenu par vibration et le module obtenu en flexion mécanique. Compte tenu de ce résultat, la détermination du module d'élasticité par la méthode acoustique est une meilleure approche du module tel que le spécifie la nouvelle norme française, plutôt qu'une détermination par le biais de la densité :

- CORRELATION DENSITE/MODULE EN FLEXION SELON NF = 0.924

- CORRELATION DENSITE/MODULE PAR VIBRATION = 0.922

- CORRELATION MODULE EN FLEXION SELON NF ET MODULE EN VIBRATION = 0.997

CONCLUSION

Ces essais préliminaires ont été l'occasion d'aboutir à deux enseignements importants.

En flexion 4 points sur dispositif normalisé, la détermination du module est sujette à caution si l'enregistrement de la déformation de l'éprouvette se fait par le déplacement des vérins de la machine. Dans ce cas, le module varie en fonction du rapport de la distance entre appuis intérieur et extérieur sur la hauteur fléchie.

D'autre part, les essais ont montré l'excellente similitude entre le module mesuré acoustiquement et le module mesuré mécaniquement. La diversité de l'échantillonnage, tant en provenance qu'en densité, s'ajoutant au principe de répétition des mesures de module sur le même échantillonnage permettent d'accorder une bonne crédibilité à ces premiers résultats.

Ce nouveau procédé de détermination du module par vibration, qui a été mis au point au CTFT pour des éprouvettes de bois de dimensions normalisées (et autres...) présente de nombreux intérêts au regard du dispositif normalisé actuellement en vigueur.

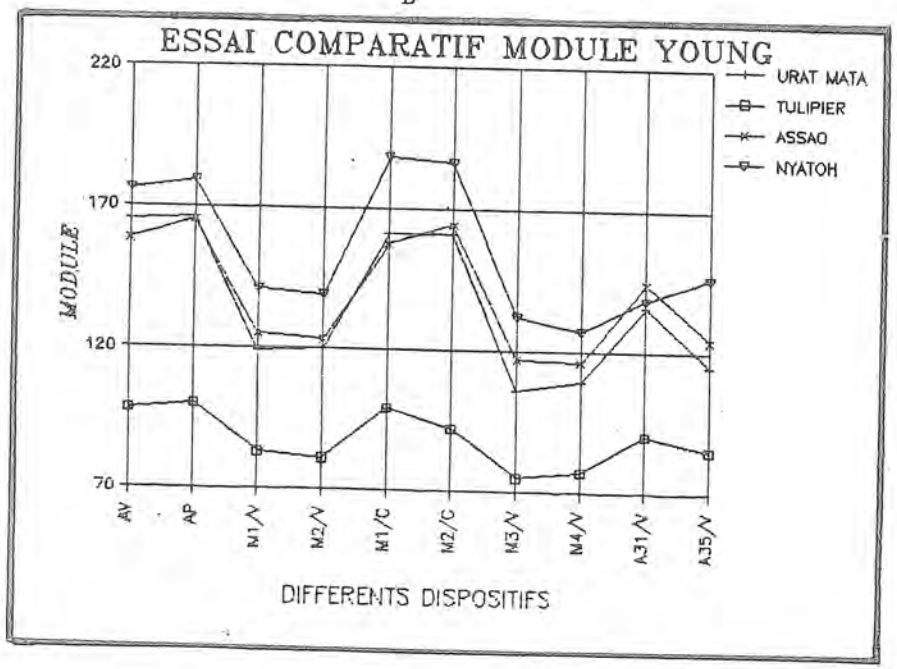
De par ses facilités d'utilisation, sa rapidité d'exploitation, ses effets non traumatisants pour l'éprouvette, et sa fiabilité, cette nouvelle méthode de détermination du module Young doit être prise en considération.

MATRICE DES CORRELATIONS

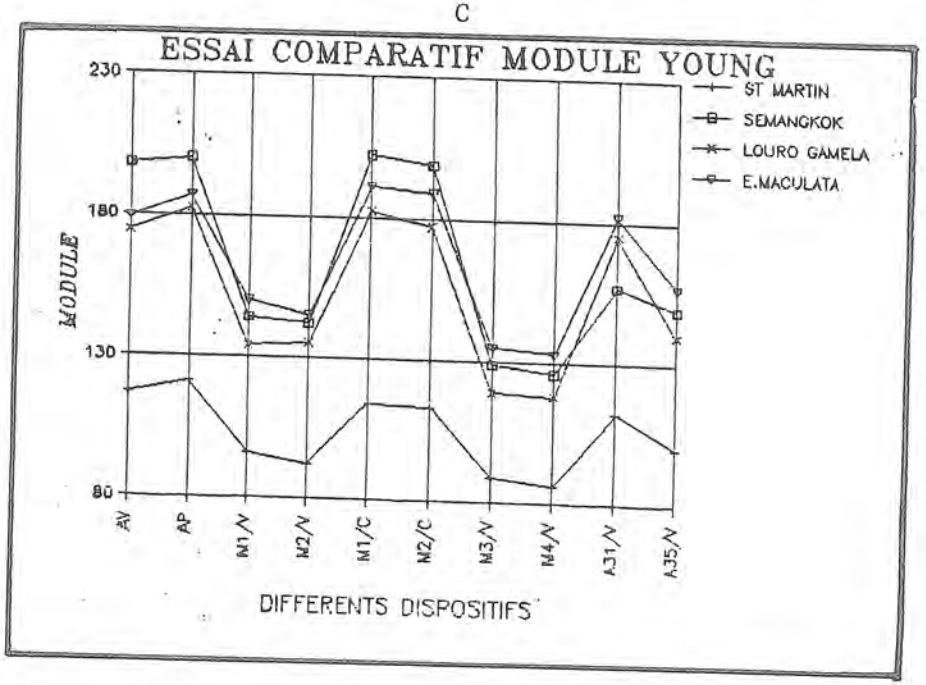
Réf.	DISPOSITIFS / MACHINE	Y/AP	Y/AV	M1/V	M2/V	M1/C	M2/C	M3/V	M4/V	A35/V	A/31V
Y/AP	Mod. dynamique final	1									
Y/AV	Mod. dynamique initial	0.998	1								
M1/V	Mod. statique 4 points ("vérins") MTS	0.971	0.976	1							
M2/V	Mod. statique 4 points N F ("vérins") MTS	0.977	0.983	0.998	1						
M1/C	Mod. statique 4 points ("capteur") MTS	0.995	0.995	0.980	0.985	1					
M2/C	Mod. statique 4 points N F ("capteur") MTS	0.995	0.997	0.976	0.983	0.999	1				
M3/V	Mod. statique 3 points M T S (ANF)	0.973	0.980	0.997	0.996	0.979	0.977	1			
M4/V	Mod. statique 3 points (ISO) M T S	0.973	0.979	0.998	0.998	0.979	0.977	0.999	1		
A35/V	Mod. statique 3 points (ANF) AMSLER	0.973	0.978	0.996	0.995	0.979	0.976	0.994	0.994	1	
A31/V	Mod. statique 3 points (ANF) AMSLER	0.948	0.956	0.982	0.979	0.954	0.951	0.979	0.980	0.986	1
	DENSITE	0.919	0.922	0.956	0.960	0.925	0.924	0.948	0.953	0.958	0.943

TABLEAU II

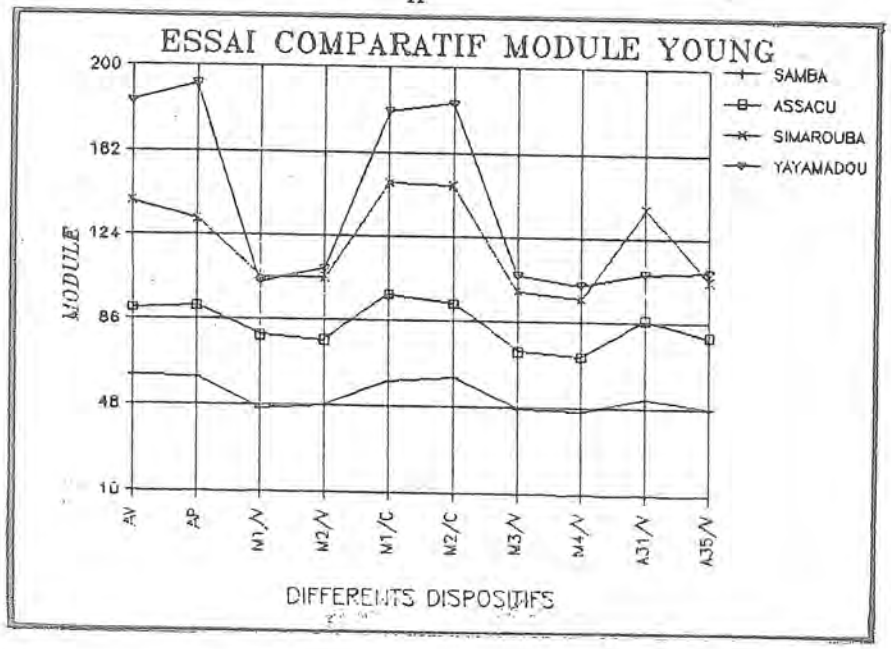
B



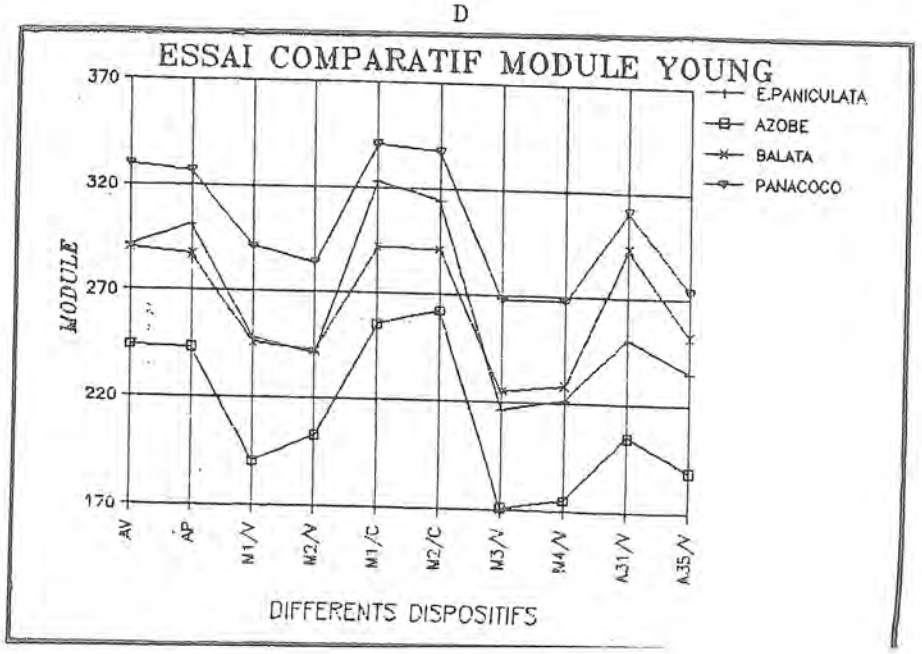
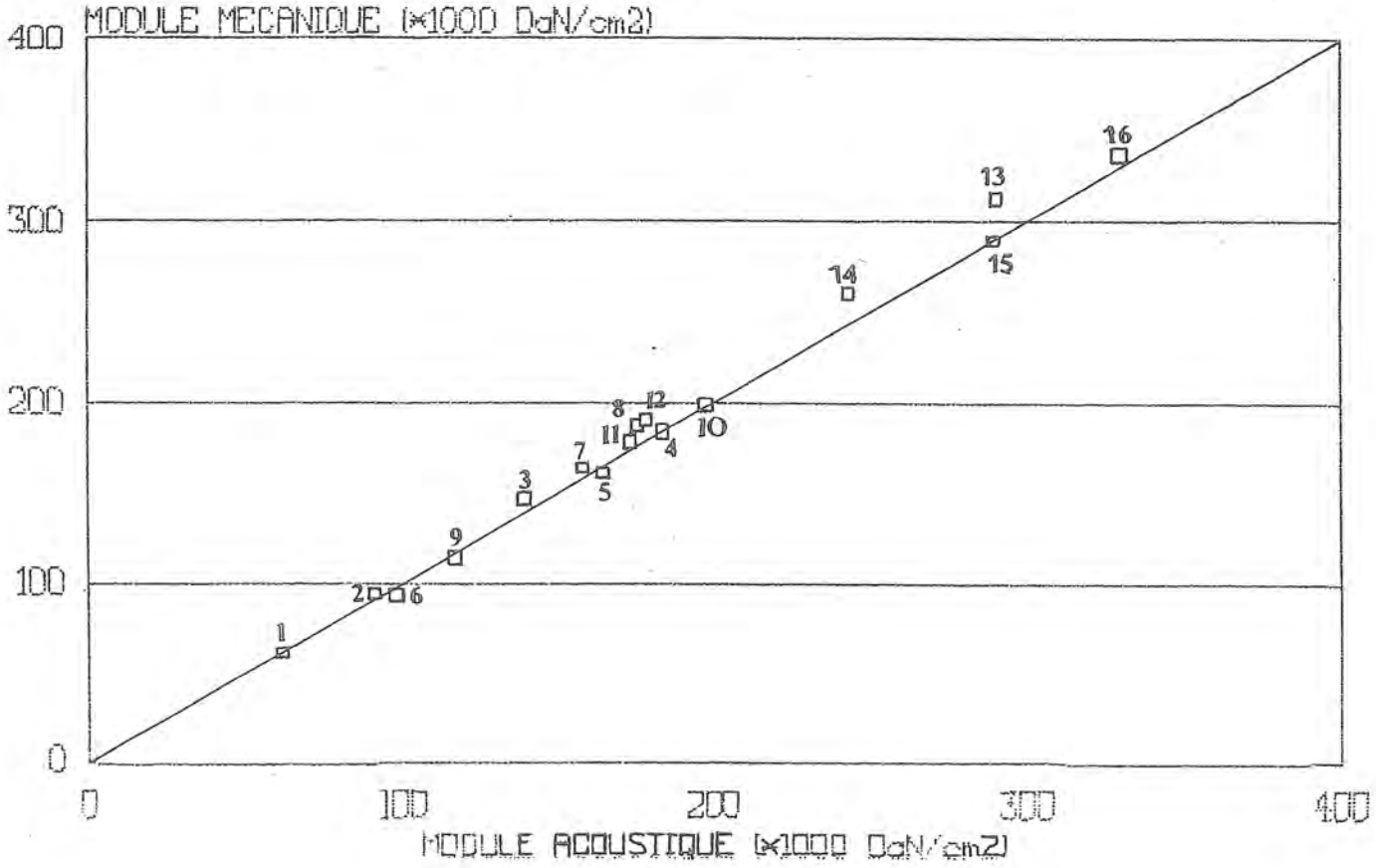
C



A



D



COMPARAISON DES METHODES MECANIQUE/ACOUSTIQUE