



Etude de la résistance mécanique des bois de mine en fonction des facteurs de la production forestière

Jean Venet

► To cite this version:

Jean Venet. Etude de la résistance mécanique des bois de mine en fonction des facteurs de la production forestière. *Revue forestière française*, 1958, 12, pp.765-782. <10.4267/2042/27454>. <hal-03382165>

HAL Id: hal-03382165

<https://hal.science/hal-03382165v1>

Submitted on 18 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Dans ce numéro: J. VENET: Etude de la résistance mécanique des bois de mine en fonction des facteurs de la production forestière. — R. CHABROL: Notes sur la sylviculture du chêne en Lorraine. — P. ARBONNIER: Une méthode graphique pour la détermination rapide du volume approché d'un peuplement. — G. SOULÈRES: Elevage de plants forestiers en mottes.

ETUDE DE LA RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES BOIS DE MINE en fonction des facteurs de la production forestière

Le tome XVI, fascicule 1, des Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences forestières publie le texte de la thèse d'Ingénieur-Docteur que j'ai eu l'honneur de soutenir devant la Faculté des Sciences de Nancy en 1957.

Cette thèse est relative à l'*Etude de la résistance mécanique des bois de mine, en fonction des facteurs de la production forestière*.

Ses buts sont les suivants:

1) Montrer comment les bois de soutènement se comportent en flexion statique et en flambement et chiffrer les résistances qu'ils offrent à ces deux types de contraintes,

2) Rechercher comment varient ces résistances mécaniques (ainsi d'ailleurs que les signes avertisseurs donnés par les bois avant rupture et l'allure du défibrage, après rupture), en fonction des principaux facteurs de la production forestière: l'essence, la station et le mode de traitement,

3) Etablir la corrélation existant entre les résistances mécaniques, les signes avertisseurs et le défibrage, d'une part et certains caractères ou certaines particularités des bois telles que la densité, la largeur des cernes, le degré d'humidité, les dimensions et les anomalies de forme, de structure ou de composition chimique d'autre part.

Malgré les progrès considérables accomplis depuis quelques années par le soutènement métallique, le bois garde une place importante dans la mine, quand les difficultés de travail, le type d'exploitation ou la nature des contraintes justifient son maintien. La consommation de bois de soutènement semble tendre vers une asymptote de l'ordre de 20 à 25 dm³ par tonne de houille extraite

ce qui, compte tenu de l'importance croissante de la production charbonnière, représentera toujours un volume de bois important.

Mais surtout, par comparaison avec les étais ou les cadres métalliques, il est vraisemblable que les utilisateurs se montreront de plus en plus exigeants en ce qui concerne les qualités des bois de soutènement, ce qui est parfaitement logique et souhaitable. *Le bois de mine sera de plus en plus une sélection.* Il importe donc de bien connaître ses caractéristiques mécaniques, de rechercher les facteurs dont elles dépendent et de mettre au point des méthodes de culture permettant de produire dans les meilleures conditions possibles ce matériau de choix.

Les recherches qui viennent d'être effectuées à cet égard par la 4^e Section de la Station de Recherches forestières de Nancy depuis une dizaine d'années continuent celles qui avaient été entreprises par le regretté Frédéric CRESTIN, mon ancien Professeur de l'Ecole, auquel je tiens à rendre un particulier hommage. La méthode d'essai des bois de mine qui a été utilisée au cours de mes recherches a été mise au point par lui, en adaptant aux bois de soutènement les méthodes créées pendant la guerre 1914-18 au laboratoire de l'aéronautique par Marcel MONNIN et Philibert GUINIER.

Les recherches que j'ai pu faire sur les bois de mine ont reçu à leur origine et pendant leur réalisation, l'appui complet et précieux des Houillères Nationales et de la Commission des Bois de mine. Je tiens à remercier vivement les dirigeants des Charbonnages de France, des divers bassins français et des Mines de la Sarre qui m'ont cordialement aidés. Ou'on me permette également d'évoquer ici la mémoire du regretté Jean CHABANAT qui fut pour moi, au début de ces recherches, alors qu'il était Secrétaire de la Commission des Bois de mine, un conseiller et un ami.

Commentaires sur la méthode employée

LES BOIS ÉTUDIÉS

Une quarantaine d'essences diverses ont été étudiées, en majeure partie des essences indigènes provenant de France, mais aussi des essences étrangères introduites depuis plus ou moins longtemps dans notre Pays. En outre, deux lots de bois de mine venant de Finlande (épicéa et pin sylvestre) et un lot de palétuvier venant de Guinée Française ont été essayés à titre de comparaison.

Les quarante essences étudiées comprennent 16 essences résineuses et 24 essences feuillues. Dans chacun de ces deux groupes, une essence (*le pin sylvestre* chez les résineux et *le chêne* chez les feuillus) a été choisie comme *essence de comparaison*, étudiée en détail, et confrontée avec les autres bois.

La plupart des essences étudiées existant dans une grande par-

tie du pays, dans des conditions variées de station et de mode de traitement, il a été nécessaire de constituer plusieurs lots de chaque essence, choisis dans des conditions-types. Le nombre de lots essayés dépasse donc 350. Pour certaines essences importantes, le nombre de lots expérimentés a été particulièrement élevé (42 lots de pin sylvestre, 30 lots de pin maritime, etc...).

Enfin, pour établir des moyennes générales valables et pour étudier, à l'intérieur d'un lot, l'action de certains facteurs tels que la durée du stockage, l'influence des anomalies, etc..., il a fallu constituer des lots comportant un grand nombre de pièces. Les échantillonnages ont représenté, en moyenne, chacun 25 à 100 unités. Plus de 15 000 pièces en tout ont donc été expérimentées.

Ces pièces étaient des bois de mine classiques: *bois de voie* de 2,50 m de longueur, *rallonges*, essayés sur 1 m de portée, *petits bois de taille*, essayés en flambement sur 1,60 m de longueur, avec des circonférences identiques à celles des bois de mine normaux.

LES MÉTHODES D'ESSAIS

Les essais ont été effectués en *compression axiale* et en *flexion*.

L'éclatement (1) des pièces étant généralement supérieur à 10, les essais de compression furent en réalité des essais en *flambement*. Les pièces essayées en flexion reposaient librement et horizontalement sur deux appuis et la charge était appliquée en leur centre par un couteau à tranche arrondie.

Les machines d'essais étaient des presses hydrauliques ou mécaniques avec mesures des charges par balance, dynamomètre ou manomètre et mesures correspondantes des raccourcissements ou des flèches. Le travail de rupture était, soit directement tracé au cours de l'essai sur un cylindre enregistreur, soit construit ultérieurement, point par point. Les presses employées ont permis d'effectuer des essais en compression sur des pièces ayant jusqu'à 2,50 m de longueur et sous des pressions pouvant dépasser cent tonnes.

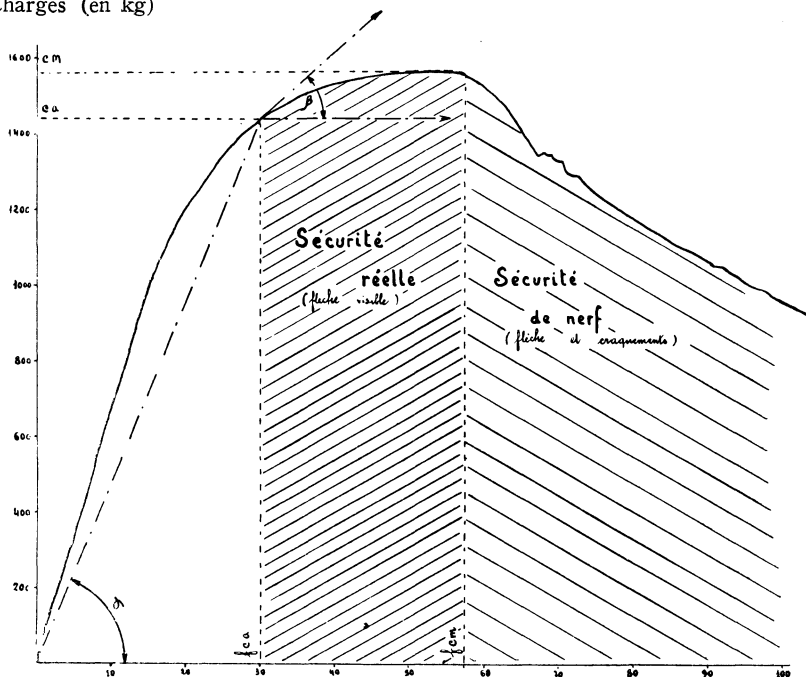
Les diagrammes individuels de rupture donnent:

- 1) l'allure de la *mise en charge* avant rupture,
- 2) une idée générale sur la *phase élastique*, qui se situe au début de cette mise en charge,
- 3) la valeur de la charge atteinte par la pièce (*charge d'alerte*) au moment où elle commence à donner des signes avertisseurs (à vue ou à l'ouïe),
- 4) la valeur de la *charge maxima* et de la flèche correspondante,
- 5) l'allure générale de la *rupture*,
- 6) le *travail total de rupture*, qu'on peut décomposer en diverses fractions comme l'indique le graphique n° 8, par des parallèles à

(1) On appelle « éclatement » d'une pièce le rapport existant entre sa longueur et sa plus faible largeur, en l'occurrence, le diamètre au fin bout.

l'axe des ordonnées. La phase dite de *sécurité réelle* correspondant au travail de rupture développé, en flexion, entre l'apparition du signe avertisseur à vue et l'arrivée à la charge maxima est particulièrement importante à considérer. La phase dite de *sécurité de nerf*, située au delà de la parallèle à l'axe des ordonnées correspondant à la charge maxima, est également intéressante à chiffrer.

Charges (en kg)



(Flèches (en mm))

GRAPHIQUE n° 8

Au cours des essais, on note tout particulièrement les signes avertisseurs à vue (flèche) ou à l'ouïe (craquements) avant rupture.

L'aspect de la cassure, la mesure du degré d'humidité du bois au moment de l'essai, la détermination de la densité, la mesure de l'âge sont également des renseignements importants qui ont été notés pièce par pièce.

LA PRÉSENTATION ET L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Les résultats se présentent, comme il vient d'être dit, soit sous forme de graphiques individuels de rupture, soit sous forme de valeurs instantanées de la charge et de la déformation correspondante.

Ces résultats ont permis d'établir ou de calculer les résultats suivants :

- 1) allure du graphique moyen de rupture pour un lot donné, à un degré d'humidité donné,
- 2) graphiques comparés, à l'intérieur d'un lot donné, échelonnés par ordre de grosseur croissante des pièces ou en fonction d'une siccité croissante des pièces,
- 3) charge maxima *moyenne* pour chaque lot ou fraction de lot et circonférence correspondante et charge maxima *moyenne* par cm^2 ,
- 4) dans le cas de la flexion, charge *moyenne* correspondant à l'apparition du signe avertisseur à vue (*charge d'alerte*), circonférence correspondante et charge d'alerte *moyenne* par cm^2 ,
- 5) Pour les lots importants, nous avons également établi les *diagrammes de distribution de la charge maxima par cm^2* à l'intérieur de la population totale de résultats afin d'en étudier les paramètres de position et les paramètres de dispersion (voir tableau 1, figure 21, et figures 103 et 109).

L'étude de ces paramètres a permis, dans un certain nombre de cas, de voir dans quelle mesure la distribution observée se rapproche d'une distribution normale et de calculer le *pourcentage de résultats compris dans une gamme de valeurs données*, soit autour de la moyenne — soit au-dessus d'une valeur donnée.

6) *L'analyse factorielle*, à l'intérieur d'une population de résultats a permis également de mettre en relief l'influence de certains facteurs de variation accidentels tels qu'anomalies de forme ou de structure, humidité anormale, échauffure, etc...

7) Enfin, pour la plupart des lots, ont été effectuées des *études de dépendance statistique* se traduisant par des graphiques de corrélation (voir figures 36 et 108).

La corrélation la plus étudiée a été celle qui existe entre la grosseur et la charge maxima, mais nous avons pu aussi étudier quelques cas de corrélation entre densité, degré d'humidité, état de conservation, etc... d'une part et charge maxima par cm^2 d'autre part.

Commentaires sur les résultats obtenus

Il n'est pas possible, évidemment, de donner, dans cette présentation rapide de nos recherches, la totalité des résultats obtenus.

Nous nous contenterons de donner les résultats moyens pour les principales essences avec quelques commentaires sur l'influence des provenances les plus importantes.

Valeurs suc- cessives de la variable (centre des classes) xi	Nombre d'observations dans chaque classe n	$\sum n \cdot xi$	écarts arith- métiques e_a	e_a^2	$\sum ne_a$	$\sum ne_a^2$
1,600	1	1,6	- 2,030	4,12	- 2,03	4,12
1,800	2	3,6	- 1,830	3,35	- 3,66	6,70
2,000	4	8,0	- 1,630	2,66	- 6,52	10,64
2,200	8	17,6	- 1,430	2,04	- 11,44	16,32
2,400	15	36,0	- 1,230	1,51	- 18,45	22,65
2,600	22	57,2	- 1,030	1,06	- 22,66	23,32
2,800	29 <u>81</u>	81,2	- 0,830	0,69	- 24,07	20,01
3,000	39 <u>120</u>	117,0	- 0,630	0,40	- 24,57	15,60
3,200	43	137,6	- 0,430	0,18	- 18,49	7,74
3,400	40 <u>203</u>	136,0	- 0,230	0,05	- 9,20	2,00
3,600	35 <u>238</u>	126,0	- 0,030	0,001	- 1,05	0,03
3,800	30	114,0	+ 0,170	0,03	+ 5,10	0,90
4,000	26 <u>294</u>	104,0	+ 0,370	0,14	+ 9,62	3,64
4,200	23 <u>317</u>	96,6	+ 0,570	0,18	+ 13,11	6,44
4,400	20	88,0	+ 0,770	0,59	+ 15,40	11,80
4,600	18	82,8	+ 0,970	0,94	+ 17,46	16,92
4,800	15	72,0	+ 1,170	1,37	+ 17,55	20,55
5,000	12	60,0	+ 1,370	1,88	+ 16,44	22,56
5,200	9	46,8	+ 1,570	2,46	+ 14,13	22,14
5,400	7	37,8	+ 1,770	3,13	+ 12,39	21,91
5,600	5	28,0	+ 1,970	3,88	+ 9,85	19,40
5,800	3	17,4	+ 2,170	4,71	+ 6,51	14,13
6,000	2	12,0	+ 2,370	5,62	+ 4,74	11,24
	<u>408</u>	<u>1,481,2</u>	<u>+ 3,910</u>		<u>+ 142,30</u>	<u>300,76</u>
					<u>- 142,14</u>	
					<u>+ 0,16</u>	

$N = 408$ $\sum nxi = 1481,2$

moyenne arithmétique : $\frac{\sum (nx_i)}{N} = 3,63$

dominante = 3,20

1er quartile 2,908

médiane 3,406

3e quartile 4,104

écart interquartile = 4,104 - 2,908 = 1,196

écart probable = $\frac{1,196}{2} = 0,598 = e_p$

variance (s^2) = $\frac{300,76}{408} = 0,7372$

écart moyen arithmétique $\frac{142,30 + 142,14}{408} = \frac{284,44}{408} = 0,697$

$\frac{0,697}{0,859} = 0,8114 \neq 0,8$

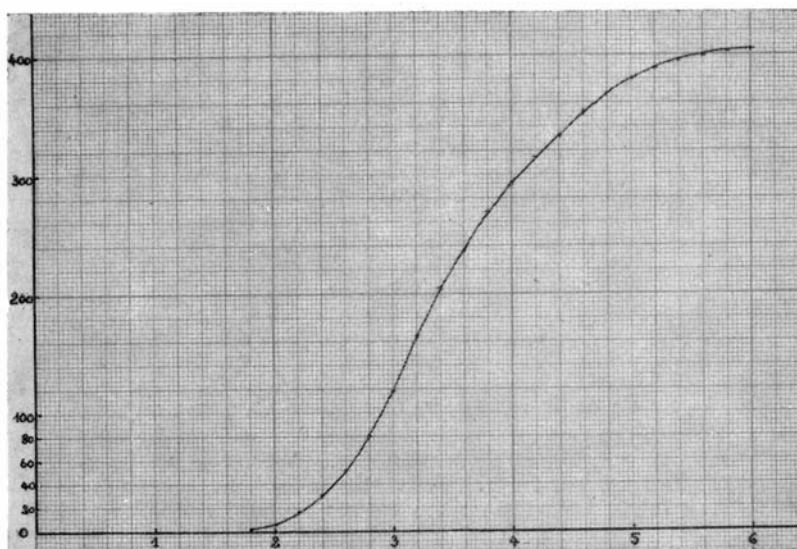
$\frac{ep}{s} = \frac{0,598}{0,859} = 0,696$

écart-typ. = $\sqrt{s^2} = \sqrt{0,7372} = 0,859 = s$

TABLEAU I

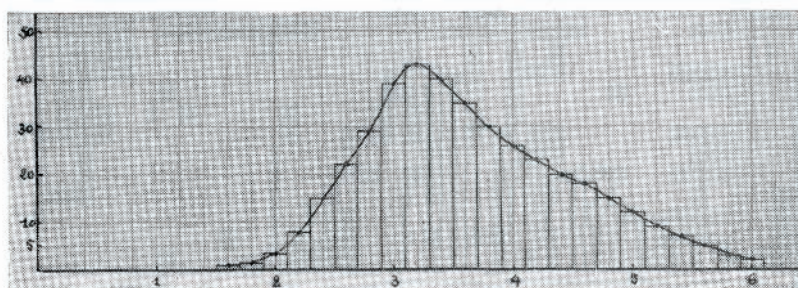
Exemple de tableau représentatif d'une population de résultats.
(essais de pin maritime en flexion)

Fréquences
cumulées



Valeur de la variable

Fréquence
de la variable



Valeur de la variable

FIG. 21.

Diagramme cumulatif d'une population de résultats.
(même population que celle du Tableau I)

Nombre
de résultats

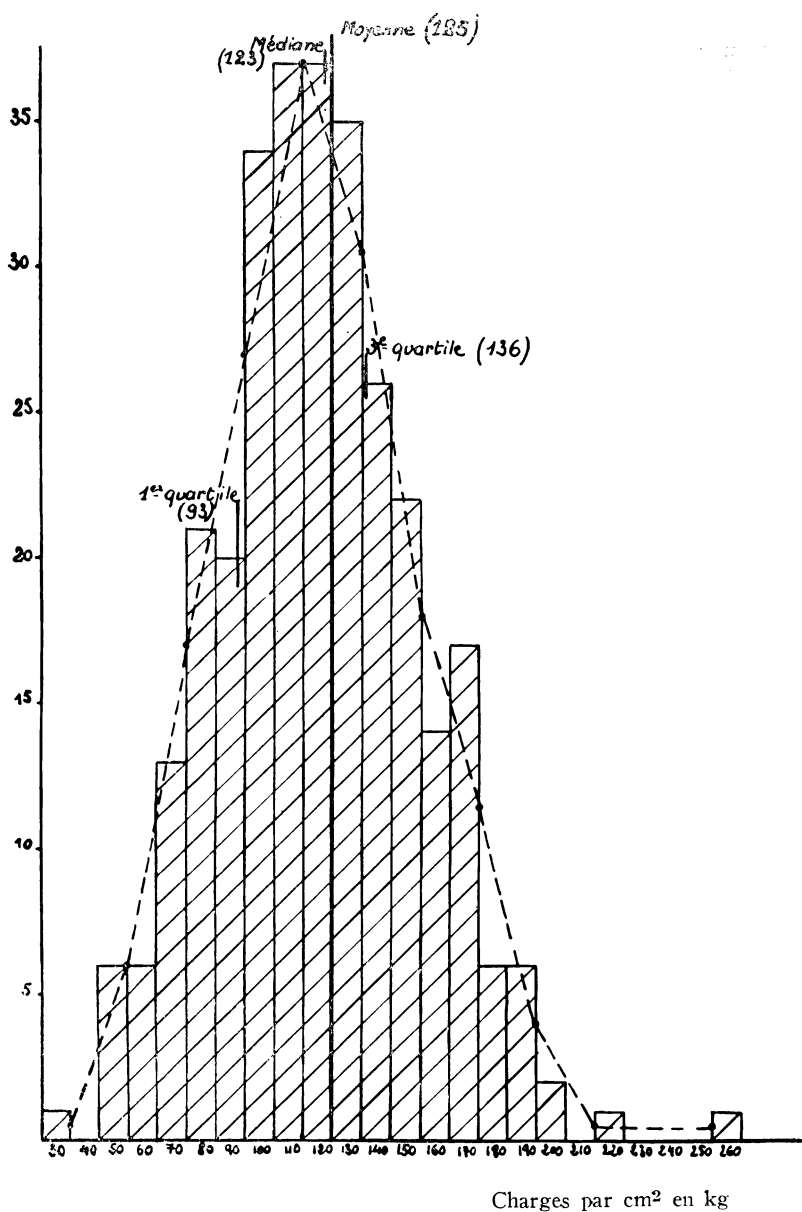


FIG. 103.

Pin maritime

Essais en flambement sur 2,50 m

Laboratoire de Sarrebrück

Diagramme de répartition des charges par cm² supportées par les pièces.

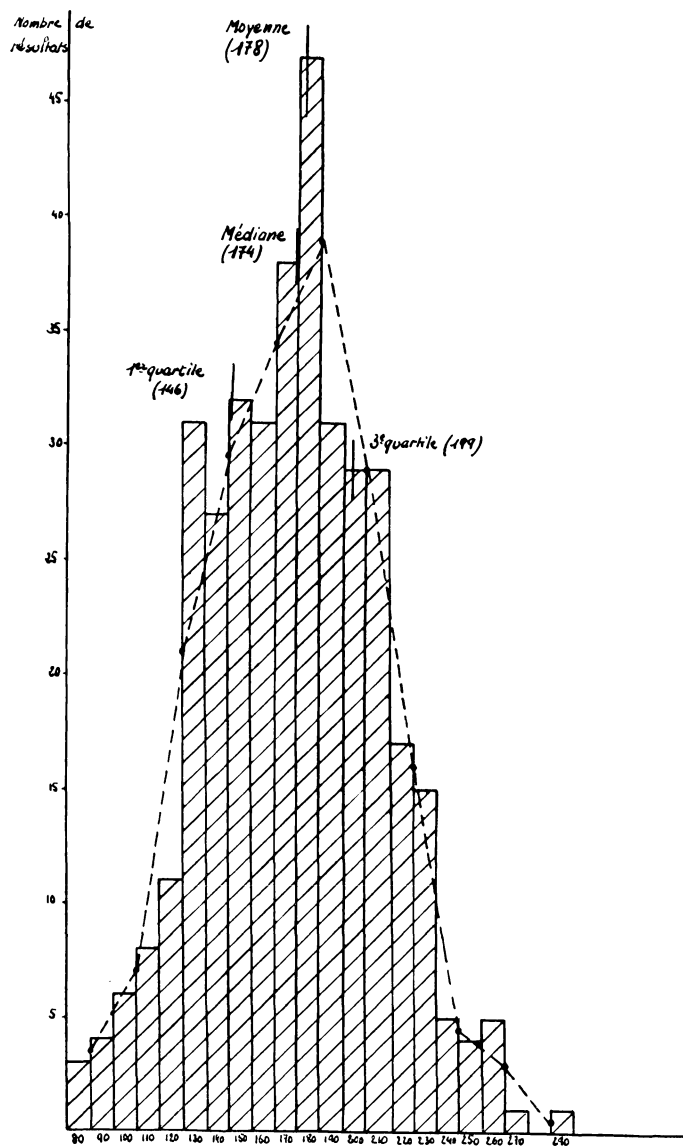


FIG. 109. Valeurs de la variable

Pin sylvestre

Essais en flambement sur 2,50 m

Laboratoire de Sarrebrück

Diagramme de répartition des charges par cm^2 supportées par les pièces.

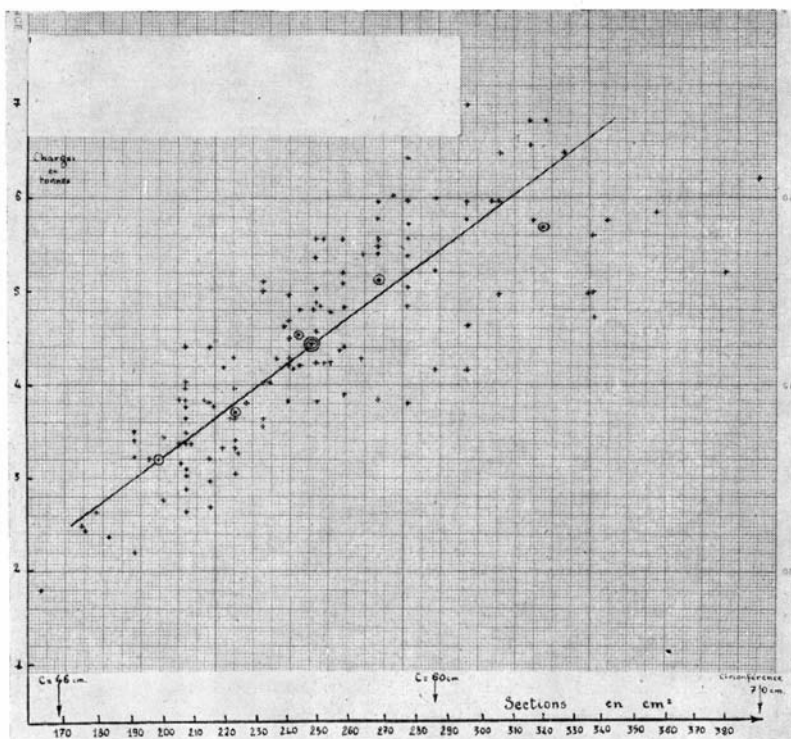


FIG. 36.

Moyenne des essais en flexion statique sur 2 m.
 Laboratoire de Nancy (Trayvou) 1954.
 Epicéa - provenances diverses.

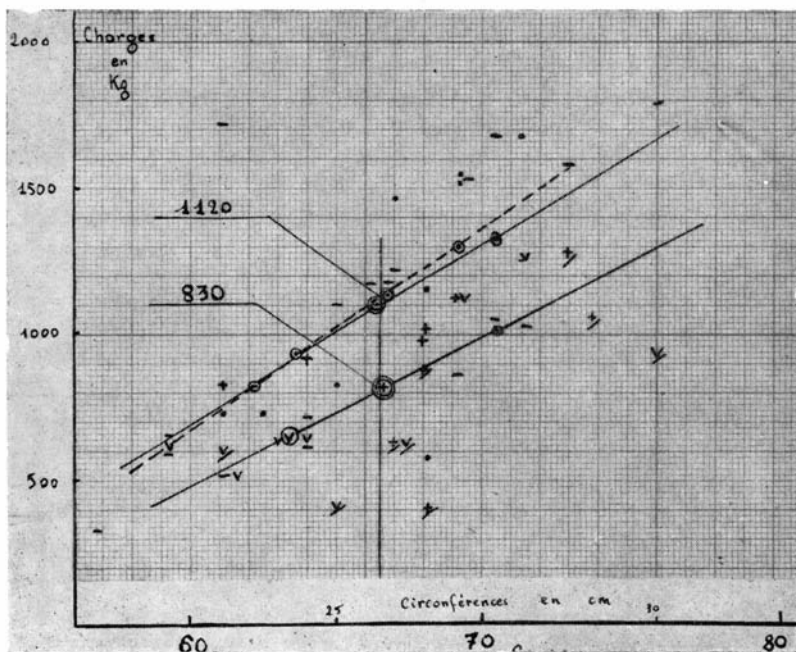


FIG. 108.

Influence de l'échauffure sur la résistance des bois.
Hêtres essayés en flexion statique sur 1 m.

- — bois sains.
- + bois légèrement échauffés.
- v/ bois fortement échauffés.

ESSENCES RÉSINEUSES

Parmi les essences résineuses, une importance particulière a été attachée à quatre essences indigènes importantes: le pin sylvestre, l'épicéa, le sapin pectiné et le pin maritime.

En flambement, l'épicéa et le sapin pectiné donnent des résultats identiques: 200 kg par cm² (pour des pièces ayant entre 45 et 70 cm de circonférence au milieu et 2,50 m de longueur). Le pin sylvestre donne des résultats sensiblement moins élevés: 175 kg et le pin maritime (à cause de ses accroissements larges) est nettement plus faible: 129 kg.

En flexion, sur 2 m de portée, toujours pour des pièces de 45 à 70 cm de tour, les résultats moyens donnés par ces quatre essences sont à peu près semblables et s'établissent autour de 18 à 18,6 kg par cm².

Par contre, les signes avertisseurs à vue et à l'ouïe avant rupture donnés par le pin sylvestre et le pin maritime sont nettement supérieurs à ceux que donnent le sapin et l'épicéa et leur rupture est moins rapide.

Il faut noter en outre que la dispersion des résultats donnés par les différents lots est plus faible avec une essence comme le sapin pectiné (qui jusqu'à présent a été peu cultivée en dehors de son aire) que pour l'épicéa (très fréquemment introduit en plaine), le pin sylvestre (chez lequel il y a de très mauvaises races) et le pin maritime (qui a parfois de très larges accroissements).

La corrélation bien connue, entre accroissements fins, texture forte, densité élevée et résistances mécaniques élevées a pu être confirmée et chiffrée au cours des essais que nous avons effectués sur bois de mine.

Pour le pin sylvestre par exemple, quand la largeur des cernes passe de 3 à 1 mm, la densité à 15 % d'humidité passe de 0,55 à 0,70 et la charge maxima moyenne par cm² en flambement de 125 à 220 kg.

Pour l'épicéa, les résistances suivant provenances s'échelonnent de 170 à 220 kg et pour le sapin de 152 à 227. Pour le pin maritime, la dispersion est énorme: 85 kg par cm² pour les provenances les moins bonnes et 185 kg pour la meilleure (Dom. de Bormes).

Tout ce qui contribue à ralentir la croissance des résineux, sans nuire à la régularité des accroissements ou au bon état physiologique des arbres, améliore la résistance mécanique. La sélection de pin de races de montagne à accroissements fins et réguliers, l'éducation en peuplements denses, la culture sur sols relativement pauvres (mais quand même bien arrosés), et à exposition pas trop chaude, sont des facteurs favorables pour l'obtention de bois à hautes résistances mécaniques.

A ces quatre résineux bien connus, nous avons pu comparer d'autres essences moins fréquemment utilisées et dont certaines donnent d'excellents résultats.

En flambement, par exemple, les charges développées sont les suivantes :

mélèze d'Europe	194 kg par cm ²
cèdre de l'Atlas	193 kg
pin Laricio de Corse	182 kg
douglas	181 kg

Ces essences se placent donc au même niveau que les essences de référence. A noter que les mélèzes de haute montagne, à accroissements fins, ont donné des chiffres records (243 kg par cm²).

Viennent ensuite des bois à accroissement relativement rapide qui se situent entre le pin sylvestre et le pin maritime :

mélèze du Japon	166 kg
pin noir d'Autriche	154 kg
pin à crochets	151 kg
pin Laricio de Calabre	142 kg
thuya géant	151 kg

Un résineux à accroissements très larges comme l'épicéa de Sitka vient loin derrière avec 124 kg.

Même groupement en flexion :

pin Laricio de Corse 26,1 kg ; douglas 22,6 ; mélèze d'Europe 20,9 ; mélèze du Japon 20,6 ; pin noir 20,4 ; cèdre 20,3 ; thuya 18,9 ; se montrent comparables aux quatre résineux de référence.

Le pin à crochets 17,5 ; le pin Laricio de Calabre (à accroissements larges) 17,4 et l'épicéa de Sitka 14,9 viennent après.

A noter que certaines essences comme le mélèze d'Europe, le douglas, le cèdre, le pin Laricio de Corse donnent des signes avertisseurs très nets avant rupture (craquements en flambement et flèche en flexion) et que leur rupture n'est pas brutale. Leur conservation est bonne et leur forme est, en général, excellente.

De telles essences peuvent permettre une véritable « culture » de bois de soutènement.

ESSENCES FEUILLUES

Certains feuillus donnent en flambement des résultats comparables aux essences résineuses, mais la plupart donnent des chiffres plus faibles.

En flexion, par contre, beaucoup de feuillus se montrent supérieurs aux résineux.

Voici les résultats obtenus en flambement :

charme (sec et sain)	187 kg
chêne rouge	172 kg
chêne commun	169 kg

Ces essences donnent des résultats assez voisins de ceux donnés par le pin sylvestre.

Châtaignier.	144 kg
aune glutineux (sec et sain)	142 kg

donnent des résultats assez voisins de ceux du pin maritime.

Par contre,

le bouleau, le tremble, le tilleul et même le robinier, avec 120 kg environ sont sensiblement inférieurs.

Manquent à ce tableau les résultats du frêne, les essais sur 2,50 m n'ayant pas été réussis. Toutefois, sur 1,60 m, le frêne donne des résultats comparables ou supérieurs à ceux du chêne.

En flexion, le comportement des feuillus est meilleur :

robinier faux acacia	32,5 kg
frêne	29,5
chêne rouge	27,6
merisier	22,6
chêne commun	22,4
tilleul	20,3
charme (sain)	20,2
châtaignier	19,8

Viennent nettement après :

bouleau	15,8
tremble	15,3
aune glutineux	15,1

A titre de curiosité, citons les palétuviers de Guinée qui ont développé 300 kg par cm² en flambement et 48,5 kg en flexion, ce qui constitue un incontestable record.

Les feuillus donnent surtout des signes avertisseur *à vue* avant rupture (aussi bien en flexion qu'en flambement) — Robinier, frêne, chêne, émettent en outre des craquements (plus discrets toutefois que ceux des pins).

Certains feuillus (châtaignier, chêne, robinier, frêne et charme sain) ont un défibrage lent. D'autres malheureusement ont une rupture brutale (hêtre, même sain, érable, alisier). Enfin, et ceci est particulièrement grave, certains feuillus sont très altérables (hêtre, charme, bouleau, aune, tremble, ailante) et perdent de ce fait à la fois leurs qualités mécaniques et leurs signes et caractères de sécurité.

Un grand nombre de feuillus sont donc capables de donner d'excellents bois de soutènement. *Mais leur façonnage doit être particulièrement soigné*: abattage hors sève, choix de pièces bien droites, rainage, empilage en grille pour hâter le séchage et favoriser la conservation.

CARACTÉRISTIQUES AUTRES QUE L'ESSENCE ET LA PROVENANCE
AGISSANT SUR LES RÉSISTANCES MÉCANIQUES

Nous avons essayé de chiffrer l'influence de certaines caractéristiques des pièces telles que :

longueur (ou portée),
grosueur,
défaut de rectitude,
conicité,
méplat,
fibre torse,
couronnes de nœuds,
humidité,
échauffure,
etc...

1) *longueur ou portée*

En flexion et en *flambement*, il y a généralement proportionnalité inverse entre la portée ou la longueur et la résistance, ce qui est bien conforme aux lois de la résistance des matériaux.

A noter toutefois, que les essais axiaux ont été des essais en flambement et non en compression pure, l'élancement des pièces dépassant toujours 6.

2) *grosueur*

En flambement, nous n'avons pas pu mettre en évidence une corrélation entre charge par cm^2 et section. Dans la gamme des plus gros bois essayés (45 à 70 cm de tour), cette corrélation semble ne pas exister (ce qui est logique tant qu'on ne passe pas du flambement à la compression pure).

Toutefois, nous avons pu noter que la charge par cm^2 offerte par les petits bois (de 18 à 34 cm de tour), sur 1,60 m de longueur, était la même que celle des gros bois, sur 2,50 m de longueur. Il serait intéressant de reprendre ces études de corrélation en fonction de l'*élancement* des pièces.

En flexion, nous avons trouvé une corrélation, toutefois assez faible, entre résistance mécanique et section, dans la gamme de grosueur des pièces essayées, sur 2 m de portée (45 à 70 cm de tour). Cette corrélation est peu étroite parce que la grosueur introduit souvent certaines causes supplémentaires de faiblesse des bois : gros nœuds, siccité moins bonne, échauffures en résultant, fentes de cœur, etc...

Cependant les corrélations étudiées nous ont permis de calculer le *coefficient de forme*, qui est l'exposant n de la formule classique de la « fatigue » donnée par les normes de l'A.F.NOR.

$$F_H = \frac{3 P L}{2 b \times h_n}$$

où F_H est le chiffre de la fatigue en flexion,

P la charge de rupture,

L la portée,

b et h les dimensions horizontale et verticale de la section,

et n , le coefficient de forme.

Nous avons trouvé pour les bois de mine un exposant n un peu plus faible que celui qui est donné par Marcel MONNIN pour les petits bois de charpente $n = 6/5$ au lieu de $8/6$.

Nous avons pu observer également que les petits bois (de 18 à 34 cm de tour) présentaient en flexion sur *un mètre* seulement de portée, une résistance par cm^2 analogue à celle des gros bois sur *deux mètres*. Le temps ne nous a pas permis d'étudier l'influence de la grosseur, pour une même portée, sur toute la gamme des circonférences (de 18 à 70 cm). Il y aurait là une étude à entreprendre.

3) défauts de forme

Sans pouvoir entrer dans le détail, notons qu'une flèche simple, supérieure à 3 cm par mètre diminue la résistance en flambement de 10 à 20 %. Avec une flèche en S, la réduction peut aller jusqu'à 30 %.

De même, une conicité exagérée (2 à 2,5 cm par mètre sur le diamètre) amène, en flambement, une réduction de la résistance de l'ordre de 15 à 20 %.

Un méplat accusé ($1 \leq 2/3 L$) réduit la résistance en flexion d'environ 20 %.

4) anomalies

Les couronnes de nœuds apparents de faible dimension semblent ne jouer aucun rôle ni en flexion, ni en flambement.

Par contre, quand les nœuds dépassent 2 cm de diamètre, la résistance en flexion est diminuée, la rupture « saute » vers la couronne de nœuds et devient plus brutale. On note une diminution de la charge maxima de l'ordre de 12 à 18 %. En flambement, la perte de résistance s'enregistre à partir de nœuds de 3 cm environ de diamètre et elle est de l'ordre de 10 à 15 % ; les pièces éclatent au niveau des nœuds apparents ou faiblement recouverts.

L'élitage artificiel *précoce*, assurant aux couronnes de nœuds une sorte de *fretage* constitué par du bois sans défaut, augmenterait donc nettement la résistance des pièces.

5) *humidité*

Le degré d'humidité exerce une influence considérable sur la résistance. Les normes de l'A.F.N.O.R. donnent des formules permettant de ramener la résistance d'une pièce (mesurée à un degré H) au degré normal D_{15} (15 % d'humidité). Par exemple, la fatigue de rupture en flexion: $F_{15} = FH (1 + c' (H - 15))$ où c' est un coefficient dit de « tenue à l'humidité ».

Nous avons pu calculer ces coefficients c' , en flambement et en flexion, pour un certain nombre d'essences.

Nous avons trouvé par exemple, en flambement :

2 à 3 % avec le douglas et le mélèze de montagne,

3 à 4 % avec le sapin, l'épicéa et le pin sylvestre,

4 à 5 % avec le mélèze de plaine et les feuillus (chêne, châtaignier, charme),

5 à 6 % avec le pin noir et le pin maritime à accroissements larges.

En flexion, on trouve :

2 % avec le douglas, le sapin, l'épicéa, le mélèze,

2 à 3 % avec le chêne, le châtaignier, le charme, le pin sylvestre,

3 à 4 % avec le pin maritime, et le pin noir.

Ceci est très important pour évaluer la résistance d'une pièce en fonction de son humidité, le degré d'humidité variant non seulement après l'abattage, pour tendre vers une siccité limite en équilibre avec l'état hygrométrique et la température du lieu de stockage mais subissant, par la suite, une variation sinusoïdale avec reprise d'eau pendant les saisons froides et humides.

6) *échauffures*

Les résineux, s'ils ont été écorcés dès le façonnage (en particulier écorcer rapidement le pin noir) s'échauffent assez peu. Toutefois, les grosses pièces de pin présentent parfois des signes de bleuissement, peu dangereuses en soi, mais masquant souvent d'autres échauffures plus graves. Il importe d'éviter, en plaine, l'abattage des pins en sève (les bois incendiés présentent un danger analogue).

Les échauffures se manifestent par une odeur éthérée du bois et par un certain hystérésis sur le séchage estival (les pièces reprennent plus d'eau pendant les saisons pluvieuses et en perdent moins pendant les saisons sèches).

Beaucoup de feuillus : chêne, châtaignier, robinier, etc... ont une conservation parfaite.

D'autres, par contre (ailante, aune, bouleau, charme, hêtre, tremble, etc...), s'échauffent de façon parfois catastrophique. Abattus en sève, ils s'échauffent immédiatement. Abattus hors sève, certains (bouleau, charme) peuvent durer un an mais *tous* s'échauffent au cours de la deuxième année. Et alors les résistances sont réduites de moitié, sinon plus, et la rupture devient toujours brutale et sans signes avertisseurs.

Le façonnage et l'utilisation de bois de mine de bouleau et de charme doivent être conduits en tenant compte de ce grave inconvénient.

Conclusion

Il est difficile de résumer une étude comme celle-ci qui comporte de nombreux chiffres et graphiques.

Le bois présente de nombreuses causes de variations influant sur ses propriétés mécaniques. Il est cependant possible de chiffrer celles-ci et de *prévoir* les résistances offertes par des pièces d'essence et de dimensions données en flexion ou en flambement.

Les causes de réduction de ces résistances (humidité, défauts de forme, etc.) peuvent également être chiffrées.

Ceci met en relief les améliorations mécaniques qu'il serait possible d'obtenir par une amélioration de la qualité des bois de mine :

— amélioration par la culture (*choix* d'essences *et de stations* appropriées, *sélection* de races de bonne forme, à accroissements fins et à branches fines, *culture* en peuplements réguliers et denses, *élagage artificiel précoce*, etc...),

— amélioration de la récolte (abattage hors sève, mécanisation des chantiers pour hâter le façonnage, empilage soigné, emploi d'antiseptiques, livraisons rapides).

Cette étude n'a pas la prétention d'avoir épuisé le sujet. Elle pose un grand nombre de questions auxquelles les chercheurs futurs devront s'efforcer de répondre.

Dotée de machines plus modernes et plus rapides et des moyens matériels supplémentaires appropriés, la 4^e Section de la Station de Recherches Forestières espère poursuivre les recherches entreprises en tenant compte de toutes les suggestions qui lui seront faites.

J. VENET,
Ingénieur Principal des Eaux et Forêts,
Chef de la 4^e Section de la Station
de Recherches Forestières.
