



HAL
open science

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

Jean Venet

► **To cite this version:**

Jean Venet. Étude de la résistance mécanique des bois de mine en fonction des facteurs de la production forestière. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières*, 1958, 16 (1), pp.001-339. <hal-03483858>

HAL Id: hal-03483858

<https://hal.science/hal-03483858v1>

Submitted on 16 Dec 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.

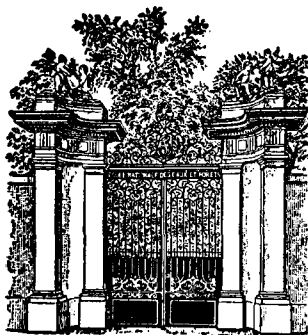
L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

ANNALES
DE
L'ÉCOLE NATIONALE DES EAUX ET FORÊTS
ET DE LA
STATION DE RECHERCHES ET EXPÉRIENCES

Tome XVI — Fascicule I - 1958



NANCY
ÉCOLE NATIONALE DES EAUX ET FORÊTS
14, RUE GIRARDET, 14
1958

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE par M. A. OUDIN, Inspecteur Général des Eaux et Forêts	3
PREMIÈRE PARTIE. — <i>Généralités</i> (Présentation de la méthode employée).	5
A — Introduction	5
B — Observations générales sur les recherches entreprises	6
1° But des recherches	6
2° Principe des méthodes employées	9
C — Constitution des échantillonnages	11
1° Essences	11
2° Races	11
3° Provenance (aire naturelle, station, nature et consis- tance des peuplements et traitement)	13
4° Variables résultant du façonnage et du stockage des échantillons	15
5° Nombre de pièces pour un échantillonnage	15
D — Exécution pratique des essais	18
1° Flexion statique (les machines, les méthodes d'essai)	18
2° Flambement (les machines, les méthodes d'essai)	25
E — Présentation des résultats	27
1° Diagrammes individuels (flexion et flambement)	27
2° Résultats statistiques	42
F — Interprétation des résultats	47
1° Interprétation des diagrammes individuels	47
a) Flexion statique (élasticité, souplesse, sécurité, résis- tance, nerf)	47
b) Flambement	50
2° Interprétation des résultats statistiques	51
a) Connaissance et définition des séries statistiques dans le cas où une seule variable est considérée à la fois	51
b) Application à l'étude des tests statistiques	59
c) Cas des plusieurs variables étudiées simultanément - Dépendance statistique - Corrélation	65
DEUXIÈME PARTIE. — <i>Exposé des résultats</i>	69
A — Essences résineuses	69
— Pin sylvestre (généralités, caractères d'identification des bois de mine de pin sylvestre, provenances expérimentées, résultats généraux en flexion et en flambement, résul- tats détaillés par provenance)	70

	Pages
— Epicéa	105
— Sapin pectiné	127
— Pin maritime	150
— Pins Laricios	160
— Pin à crochet	182
— Pin Weymouth	185
— Mélèzes d'Europe et du Japon	186
— Cèdre de l'Atlas	192
— Douglas	193
— Résineux divers (Sapin de Nordmann, Epicéa de Sitka, Thuya géant)	203
B — Essences feuillues	207
— Chêne rouvre et chêne pédonculé	207
— Chêne rouge d'Amérique	223
— Châtaignier	232
— Charme	240
— Hêtre	249
— Frêne	252
— Ailanthé	257
— Robinier	258
— Tremble	263
— Aunes (glutineux, blanc et à feuilles en cœur)	267
— Bouleau	273
— Divers (érables sycomore, plane et champêtre, merisier, tilleul, alisiers blanc et torminal, cornouiller mâle, noi- setier, saule)	278
— Palétuvier de Guinée	286
 TROISIÈME PARTIE. — Caractéristiques et particularités des bois de sou- <i>tènement, autres que l'essence et la provenance, exerçant une influence</i> <i>sur les propriétés mécaniques</i>	 289
A — Influence des caractéristiques dimensionnelles en flexion et en flambement (longueur ou portée, section)	 289
B — Influence de la forme (flèche simple ou en S, conicité, mé- plat)	 299
C — Influence des anomalies (couronnes de nœuds, fibre torse, fentes, humidité, échauffures)	 301
 CONCLUSION	 310
ZUSAMMENFASSUNG	314
SUMMARY	325
TABLE ALPHABÉTIQUE des provenances classées par départements ou par nations	 335
BIBLIOGRAPHIE	337

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

PAR

Jean VENET

Ingénieur Principal des Eaux et Forêts
Professeur à l'Ecole Forestière
Chef de la 4^e Section
de la Station de Recherches et Expériences forestières

PRÉFACE

La si rapide évolution scientifique et technique qui caractérise notre époque impose l'obligation de donner à la recherche un développement considérable dans les domaines les plus variés.

Pour conserver et agrandir la place qu'il doit tenir dans l'économie moderne, le bois aussi, doit justifier et préciser par de sérieuses études scientifiques, ses qualités et les conditions de son emploi. Ces recherches sont d'autant plus nécessaires que le bois est un matériau d'une nature particulière. Il a vécu et porte sur son plan ligneux l'histoire de sa vie. C'est un matériau hétérogène susceptible de présenter une résistance mécanique, qui, à poids égal, peut être comparée à celle de l'acier, mais à la *condition expresse* de calculer correctement les contraintes, de faire travailler rationnellement tous les éléments de l'ouvrage, et d'en assurer la conservation.

Me sera-t-il permis d'ajouter que, dans le passé, ces conditions nécessaires n'ont pas toujours été suffisamment respectées, que trop souvent l'utilisation du bois était basée sur des habitudes anciennes résultant dans bien des cas d'une longue et judicieuse expérience mais parfois aussi, reposant sur des hypothèses ou sur des préjugés et non sur des données techniques valables.

Cette époque est heureusement révolue. Les travaux de MONNIN, GUINIER... ont ouvert la voie. Le large développement donné aux divers laboratoires spécialisés et notamment au Centre Technique du Bois, la valeur des études entreprises, la confiance que leur témoignent les industriels sont le meilleur témoignage de l'importance que les utilisateurs attachent actuellement à une expérimentation réalisée avec tout la rigueur scientifique possible.

Dans la répartition des tâches avec le Centre Technique du bois en particulier, les études sur les bois ronds, notamment, restent dans les attributions de la section de technologie de la station de recherches forestières rattachée à l'École Nationale des Eaux et Forêts. Aussi M. l'Ingénieur principal des Eaux et Forêts VENET qui assure depuis plusieurs années la direction du laboratoire, a-t-il choisi comme base de ses travaux une utilisation particulièrement importante des bois ronds, celle consacrée à la mine.

Il a donné à son travail une ampleur inégalée à ce jour. Les essais ont porté sur une quarantaine d'essences diverses, prises en grande

majorité parmi les essences indigènes en France métropolitaine, mais comprenant également quelques essences étrangères introduites. Deux lots de bois du Nord et un lot de palétuvier venant de la Guinée française ont été essayés à titre de comparaison.

Non seulement les différentes essences cultivées en France ont été étudiées dans des conditions variées de station et de traitement, mais encore des lots ont été constitués en tenant compte des époques d'abattage, de la durée de stockage, etc... Les essais ont été effectués sur des pièces en vraie grandeur dans les laboratoires de l'École Nationale des Eaux et Forêts, dans plusieurs laboratoires des Houillères de France (Blanzay, Carmaux, Saint-Etienne) et dans les laboratoires des Mines de la Sarre à Sarrebrück.

Au total, plus de 15 000 pièces ont été expérimentées au cours de recherches patientes et méthodiques, échelonnées sur une dizaine d'années, avec de nombreuses répétitions permettant l'application des méthodes statistiques. C'est dire sur quel faisceau de solides déterminations reposent les conclusions de M. l'Ingénieur Principal VENET.

Son travail a déjà fait l'objet des appréciations les plus élogieuses. Il sera lu avec beaucoup d'intérêt, non seulement par les utilisateurs, mais aussi par les propriétaires forestiers et par tous ceux qui s'intéressent à l'avenir de la forêt. Ils y trouveront une documentation abondante et précise sur les propriétés des différentes essences forestières: valeur des charges maxima, allure générale de la rupture, signes avertisseurs à la vue (flèche) ou à l'ouïe (craquements). Ils y trouveront aussi des considérations très pertinentes sur diverses caractéristiques autres que l'essence et la provenance qui agissent sur les résistances mécaniques (longueur, défaut de rectitude, conicité, méplat, couronne de nœuds, etc...) et sur les améliorations à apporter à la culture et à la récolte pour améliorer la qualité des bois de mine.

25 juillet 1957.

A. OUDIN,

Inspecteur Général des Eaux et Forêts,
Directeur de l'École Nationale
des Eaux et Forêts.

PREMIERE PARTIE

GÉNÉRALITÉS

(Présentation de la méthode employée)

A. — INTRODUCTION

Dans le tome XII, fascicule 2, de 1951, des Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières de Nancy, nous avons exposé *le but des recherches* que nous avons entreprises et *les principes des méthodes employées*.

Cette première étude ne donnait que quelques résultats provisoires. Depuis cette époque, les expériences se sont poursuivies, tant au laboratoire de la 4^e Section de la Station de Recherches, que dans les laboratoires des Houillères Nationales à Blanzey, Carmaux, Saint-Etienne et dans le laboratoire des Mines de la Sarre à Sarrebrück.

Nous avons, en outre, établi d'utiles contacts avec l'Office Central d'Approvisionnements des Charbonnages de Belgique (OCACHAR) et avec la Station de Recherches Forestières de Gembloux.

Enfin, depuis novembre 1952, nous avons bénéficié des conseils éclairés de M. OLMER, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure de la Métallurgie et des Mines de Nancy.

Jusqu'à ce jour, nos expériences ont porté sur près de 400 provenances différentes de bois de mine, ce qui représente une quinzaine de milliers de pièces essayées.

Les résultats obtenus sont donc maintenant suffisamment nombreux pour que les lois et les tests de la statistique mathématique puissent leur être appliqués.

Nous croyons utile, au début de cette seconde étude, de résumer, en les complétant quelque peu, les notions et les principes exposés dans notre première étude.

B. — OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES RECHERCHES ENTREPRISES

1° But des recherches

La consommation de bois de l'industrie minière européenne s'est élevée, en 1950, à 17 millions de m³ d'équivalent de bois rond dont 14,5 pour les mines de charbon et de lignite et 2,5 pour les autres minerais. 90 % des quantités de bois consommées l'ont été sous forme de bois de soutènement, ronds ou partiellement travaillés. Les 10 % restants représentent les bois utilisés sous forme de sciages (pour le soutènement ou à d'autres fins).

Les principaux utilisateurs sont l'Allemagne Occidentale (près de 3 millions de m³, rien que pour les mines de charbon), le Royaume-Uni (2,8 millions), la France (2,15 millions, 2,53 avec la Sarre), la Pologne (1,6 million), la Belgique (1,08 million), etc...

En ajoutant aux chiffres ci-dessus les besoins des autres mines et carrières et les bois de soutènement exportés, on arrivait, pour la France et la Sarre, à un volume d'équivalent de bois ronds supérieur à 3 millions de m³.

Qui plus est, ces trois millions de m³ de bois de mine représentent une sélection quant aux essences, aux qualités mécaniques, aux dimensions ou à la forme. Leur préparation nécessite l'observation de règles strictes pour que les pièces conservent leurs qualités pendant toute la période de stockage et d'emploi.

Nous n'ignorons pas que le bois a été largement remplacé par le métal comme matériau de soutènement et que son emploi continuera à décroître. Mais *cette substitution ne sera ni totale, ni subite*. Pendant un certain nombre d'années encore, les bois de mine poseront un problème de quantité et *ils poseront toujours et de plus en plus un problème de qualité*. Dans les galeries à forte pente, à profil escarpé et irrégulier, dans les couches de puissance variable, dans les systèmes d'exploitation où l'on pratique le remblayage, partout où le bois garde une place importante, il est nécessaire de fournir au mineur des produits de haute qualité, propres à assurer pleinement sa sécurité.

Les utilisateurs qui peuvent maintenant dans la mine comparer le bois avec les matériaux concurrents se montreront, en effet, de plus en plus difficiles envers le bois, les nouveaux matériaux présentant des caractéristiques intéressantes de résistance mécanique, de facilité d'emploi, de durabilité et de prix. Ce sont donc *des produits de qualité accrue* que la forêt devra livrer à l'utilisateur tout en conservant à ces bois *le faible prix de revient* qui était jusqu'à ce jour un de leurs principaux avantages.

Or, la production forestière est variée. On rencontre, en France, *un grand nombre d'espèces d'arbres (essences)* dont les bois ont des propriétés physiques et mécaniques très diverses. En outre, la plupart de ces espèces sont susceptibles de vivre dans *des conditions de station très différentes* (quant au climat, à l'altitude, à l'exposition, au sol, etc...). L'influence de la station est une cause supplémentaire de variabilité pour les bois. Enfin, *l'homme exerce par le traitement* (traitement en taillis ou en futaie, maintien des peuplements à l'état dense ou exécution d'éclaircies, pratique éventuelle de l'élagage artificiel, etc...) *une influence profonde sur les qualités physiques et mécaniques des bois.*

Une même essence, dans des stations différentes, donnera des bois profondément différents. Une même essence, dans deux stations semblables, mais où les peuplements sont traités de façons différentes, donnera aussi des bois mécaniquement très différents.

L'homme peut donc, dans une certaine mesure, agir sur les propriétés physiques ou mécaniques des bois. Il lui est possible *de cultiver des arbres* pour en faire du bois de papeterie, du bois de mine, des poteaux, des planches de caisse ou des placages précieux. Une certaine orientation peut donc être donnée à la culture forestière en vue de *produire les catégories de bois dont l'économie du pays a besoin.*

Or, la France comporte 11 millions d'hectares de forêts, dont 7 millions d'hectares de forêts privées où les propriétaires sont intéressés par une culture forestière à courte révolution, ce qui est le cas de celle des bois à fibres et des bois de soutènement. Il se trouve que pour l'ensemble de ces produits, la production forestière française est déficitaire. Il nous manque, en effet, chaque année, près de trois millions de mètres cubes de rondins résineux pour la papeterie et le soutènement. Il serait donc particulièrement souhaitable d'augmenter notre production à cet égard.

Ce résultat peut être atteint dans des délais plus ou moins longs par la modification des aménagements en vigueur, la transformation des forêts existantes ou la création de nouveaux massifs.

Par exemple, le raccourcissement des âges d'exploitation adoptés pour les peuplements de futaie pleine résineuse, la révision des valeurs adoptées pour les possibilités par volume (de manière à ce que celles-ci ne conduisent pas à une accumulation excessive de capital sur pied) peuvent, dans une certaine mesure, augmenter, dès à présent, la production de bois ronds de faible diamètre.

A plus long terme sont les mesures visant à transformer les forêts: conversion de taillis en futaie, substitution d'essences, etc... Ces mesures, en cours d'exécution depuis la fin du siècle dernier, portent déjà leurs fruits.

Enfin, la création de forêts résineuses, entreprise chez nous depuis plus de cent ans et souvent d'ailleurs très difficile à réaliser, a don-

né lieu à de remarquables réussites. Une nouvelle impulsion vient de lui être donnée grâce à l'aide du Fonds Forestier National.

Mais il ne suffit pas de planter, il faut *savoir quels produits seront tirés des essences qu'on plante en fonction de la station dans laquelle on les introduit*. Une plantation, en effet, n'est jamais désintéressée, même si son but n'est qu'esthétique ou sanitaire. Il peut arriver que les produits ligneux n'y jouent qu'un rôle accessoire, si par exemple le but de la plantation est de fixer ou d'améliorer le sol. Mais, dans la plupart des cas, le but d'une plantation est de rapporter un revenu aussi élevé que possible à celui qui l'exécute.

Avant de planter, il importe donc de savoir si le peuplement qu'on crée donnera des produits vendables, de déterminer à quel âge il sera exploitable et quelle sera alors sa production en volume, en qualité et en argent.

Il faut donc :

- estimer les possibilités de la station, ses aptitudes à la culture forestière, sa fertilité,
- connaître les exigences des essences forestières et voir si ces exigences sont compatibles avec les caractéristiques de la station,
- déterminer les règles de culture à leur appliquer pour en tirer les produits de la meilleure qualité,
- calculer l'accroissement du peuplement et voir ce qu'il peut donner comme produits commerciaux aux différents âges de sa vie,
- rechercher les méthodes à employer pour effectuer au plus bas prix possible l'abattage, le débardage et le transport des produits, tout en veillant à conserver et même à accroître leurs qualités (par exemple par le séchage ou la préservation),
- enfin, tester les produits obtenus au laboratoire ou en usine, pour déterminer la valeur industrielle comme bois de papeterie, de mine, de déroulage, etc..

Toutes ces recherches nécessitent une étroite collaboration entre botanistes, physiologistes, sylviculteurs, technologistes et utilisateurs des bois et un laps de temps très élevé.

L'étude que nous avons entreprise sur les bois de mine (*et les bois ronds en général*) essaie de rassembler ces diverses observations. Elle comporte pour chaque échantillonnage des considérations relatives à la station, à l'essence, à la race, aux règles de culture.

Elle comprend, en outre, quelques chiffres de production et quelques observations relatives à l'exploitation des bois et enfin, elle donne les résultats des essais physiques et mécaniques effectués.

2° Principe des méthodes employées

Il existe, en France et dans les divers pays, d'excellentes normes relatives aux essais physiques, mécaniques ou chimiques des bois.

En France, par exemple, citons les normes NF 51-002 à 51-013 de l'Association Française de Normalisation, dont le bureau de vente se trouve : 19, rue du Quatre-Septembre, à Paris (2^e).

Les essais qu'elles codifient sont relatifs à des éprouvettes de dimensions bien définies, de droit fil et sans défaut. Ces essais conviennent parfaitement pour *comparer le matériau bois à d'autres matériaux* ou pour déceler, à l'intérieur du *matériau bois*, l'influence de la provenance, de la siccité, d'un traitement chimique, etc...

Elles ont été appliquées avec fruit pour comparer certaines essences, races ou provenances quant à leur élasticité, leur dureté, leur résistance à la compression de flanc ou axiale, etc... Pendant la guerre 1914-1918, les travaux effectués dans ce domaine par MM. M. MONNIN et Ph. GUINIER ont rendu à l'aviation française d'incontestables services.

La méthode d'essais des *bois de mine* mise au point à l'École Nationale des Eaux et Forêts de Nancy par Frédéric CRESTIN, ancien Sous-Directeur de l'École, et appliquée actuellement dans notre laboratoire, est une adaptation aux bois ronds des méthodes de Marcel MONNIN.

Deux solutions étaient possibles pour effectuer ces essais : soit débiter dans les bois de mine des éprouvettes normalisées de 2×2 cm d'équarrissage et les essayer en leur appliquant les méthodes de l'AFNOR, soit adapter les méthodes de l'AFNOR à des bois ronds ayant les caractéristiques commerciales des bois de mine.

La première solution présente certains inconvénients :

1) le débit en éprouvettes introduit des causes de variations supplémentaires (différences entre cœur et aubier, entre bois formé récemment et bois formé dans le passé, influence du débit, etc...).

2) les essais normalisés ne permettent pas de juger de l'influence exercée par des anomalies du bois inévitables et constantes comme les nœuds, les fentes de dessiccation, etc...

3) la rupture d'un prisme à section carrée n'est pas la même que celle d'un cylindre.

La seconde solution : *essais sur bois ronds ayant les dimensions et les caractéristiques des bois de mine*, est préférable. L'essai est plus « parlant » que celui sur éprouvette (il y a là un côté psychologique d'une certaine importance) et il permet d'étudier l'influence de traitements éventuels subis par les bois de mine (sciage par un plan diamétral ou par un plan parallèle à celui-ci, entaillage à gorge de loup ou à mi-bois, etc...).

Les bois ronds sont, en quelque sorte, la « somme » d'un certain nombre d'éprouvettes de 2×2 cm d'équarrissage et ils donnent au cours des essais (malgré la présence des nœuds), des résultats moins dispersés que ceux obtenus avec des éprouvettes isolées.

Nous avons donc choisi pour nos essais la méthode générale suivante :

a) constituer des échantillonnages formés par des bois ayant les dimensions et les caractéristiques commerciales des bois de mine (telles qu'elles figurent aux cahiers des charges).

b) essayer ces pièces, en flexion ou en compression (pure ou flambement), sous les dimensions qu'elles ont normalement dans les galeries et dans des conditions aussi semblables que possible à celles de la mine.

On appelle *flambement*, la contrainte en compression axiale s'exerçant sur une pièce dont l'*élancement* est supérieur à six. L'*élancement* est le rapport entre la longueur de la pièce et sa plus petite dimension transversale (ici le diamètre au fin bout).

Nous ne pouvons évidemment pas réaliser des conditions absolument identiques à celles du « fond ». La rapidité d'application de la charge, sa permanence, l'ambiance (température et état hygrométrique), l'état de conservation des bois (action de certains champignons vivant dans les galeries) n'ont pu être réalisés comme ils le sont dans les mines

Nos méthodes actuelles peuvent certainement être améliorées et gagneraient à l'être. Nous souhaitons vivement que toutes suggestions utiles à cet égard nous soient adressées pour nos essais futurs.

Les essais en flexion sont faits, soit sur des pièces ayant la grosseur des rallonges et sous la même portée (un mètre), soit sur des pièces ayant la grosseur des chapeaux et sous la même portée (un mètre soixante, deux mètres ou deux mètres cinquante).

Les essais en flambement sont faits sur les longueurs et grosseurs correspondant, soit aux étauçons des tailles (1,00 à 1,60 mètres), soit aux montants des cadres de voies (1,60 à 2,50 mètres).

Nous disposons à Nancy d'une machine de flexion universelle AMSLER permettant des essais sur un mètre de portée et sous dix tonnes de charge. Elle convient bien pour les essais sur rallonges ou queues de moins de 10 cm de diamètre. Nous disposons, en outre, d'une machine d'essais TRAYVOU, d'une force de 30 tonnes, permettant de faire des essais en flexion sur une portée de 2 mètres au plus, et des essais en flambement sur une longueur maximum de 1,60 mètre.

Les machines des laboratoires des Houillères permettent de faire des essais sur de plus grandes portées et longueurs et avec des bois plus gros puisque certaines d'entre elles peuvent développer des efforts de 200 tonnes.

L'ensemble de ces machines permet donc d'expérimenter toutes les dimensions de bois utilisés normalement dans les mines.

Au cours des essais, nous mesurons les *caractéristiques maxima* présentées par les pièces. Ces caractéristiques sont intéressantes à connaître pour le mineur dans la mesure toutefois où l'on peut les rapprocher de contraintes connues susceptibles de peser normalement sur les soutènements. Elles permettent, en tout cas, de faire d'utiles comparaisons entre des pièces d'essences, de provenances ou de siccité différentes ou bien ayant subi un stockage plus ou moins long.

Nous observons également les *caractéristiques de nerf (défibrage)*, c'est-à-dire la rapidité et l'allure de la rupture. Ce facteur présente un intérêt certain quant à la sécurité plus ou moins grande qu'il donne au mineur.

Nous notons en outre les *signes avertisseurs* offerts par les pièces sous l'influence de la charge: par exemple, la flèche avant rupture, les craquements, etc...

Enfin, nous mesurons certains facteurs intéressants pour le mineur, à savoir, *le poids et la densité des pièces* (compte tenu du degré d'humidité) ou pour le producteur de bois de mine, par exemple *l'âge des bois* (en liaison avec leur résistance).

Telle est, dans ses grandes lignes, la méthode que nous utilisons. Elle nous permet de comparer entre elles les diverses essences feuillues ou résineuses récoltées sur notre territoire, ou importées, et de comparer entre elles les diverses provenances (pour une même essence). Elle permet de déterminer l'influence de l'époque d'abattage, de la durée du stockage, de la siccité et de certaines anomalies (défauts ou altérations), de voir comment varient les résistances en fonction de la portée, de la longueur ou de la grosseur des pièces, etc... Mais le grand nombre de ces variables montre bien la difficulté du problème de l'échantillonnage qu'il nous faut aborder maintenant.

C. — CONSTITUTION DES ÉCHANTILLONNAGES

1° Essences

Nous désignons sous le nom *d'essences forestières* les espèces botaniques susceptibles de donner des arbres, y compris les espèces jordaniennes (variétés), géographiquement isolées, par exemple Pin Laricio de Corse, Pin Laricio de Calabre, etc...

Un certain nombre d'essences forestières sont acceptées par l'ensemble des mineurs qui en connaissent les qualités et les défauts

et y sont accoutumés. Diverses essences sont acceptées par certains bassins et rejetées par d'autres, qui ne les connaissent pas ou qui ont contre elles une opinion défavorable. Il y a là quelquefois une question d'approvisionnement local, chaque bassin se fournissant dans une région déterminée. Cela peut être aussi une question de différence dans le type de soutènement (celui des Houillères du Centre-Midi n'est pas le même que celui des Houillères du Nord-Pas-de-Calais ou des Houillères Lorraines) ou encore dans la nature des contraintes et dans les conditions de la mine (certaines galeries « chargent » plus que d'autres ou sont plus « aquifères »).

Il peut y avoir aussi, disons-le, des idées préconçues contre tel ou tel bois, inconnu des ouvriers. Ceci est d'ailleurs parfaitement compréhensible. On ne peut pas reprocher aux mineurs de manquer d'enthousiasme pour expérimenter, au-dessus de leur tête, un nouveau bois de soutènement, au détriment peut-être de leur sécurité. Certains bois, à cause de leurs défauts bien connus, sont d'ailleurs refusés, à juste titre, par l'ensemble des bassins.

Enfin, certaines essences ne figurent nulle part dans les cahiers des charges. C'est en particulier le cas de nombreuses essences étrangères cultivées sur notre territoire depuis quelques dizaines d'années seulement, ou achetées à l'étranger. Des essences résineuses comme les douglas, thuyas, par exemple, ont été introduites chez nous à la fin du siècle dernier. Elles donnent des bois avantageux quant à leur forme, leur dimension, leur durabilité, leur rapidité de croissance, etc... et il serait intéressant de les situer, mécaniquement par rapport aux essences indigènes. C'est un des points que nous avons étudié le plus dans nos recherches.

Les essences forestières constituent donc la première des variables entrant en ligne de compte dans la constitution de nos échantillonnages.

2° Races

A l'intérieur de certaines essences, il est quelquefois possible de distinguer des races, qui diffèrent l'une de l'autre par des caractères extérieurs de feuilles, d'écorce, etc..., mais aussi par des caractères de forme du fût (rectitude, cylindricité), de finesse des branches (donc de diamètre des nœuds) et par des caractères internes du bois (régularité des accroissements, texture plus ou moins forte, duraminisation plus ou moins précoce). Certains de ces caractères exercent sur les propriétés mécaniques et la durabilité des pièces d'importantes influences.

La sélection des meilleures races est une des grandes préoccupations des généticiens et il importe donc, à l'appui de leurs travaux, de pouvoir qualifier et chiffrer l'influence de la race sur certaines qualités des bois.

Les différences mécaniques entre lots de pins sylvestres de races différentes, par exemple, sont souvent plus grandes que les différences présentées par deux espèces voisines, comme le Pin sylvestre et le Pin Laricio.

Un bois de mine rigoureusement droit résiste incomparablement mieux au flambement qu'un bois, complètement identique par ailleurs, mais présentant une certaine flèche. Une couronne de petits nœuds a une influence à peu près nulle en flambement et faible en flexion. Il n'en est pas de même des gros nœuds, surtout en flexion. Le bois de cœur a une durée beaucoup plus grande que l'aubier, mais est moins tenace. La texture agit puissamment sur les propriétés mécaniques, etc... Or, tous ces caractères sont liés à la race.

Parmi les échantillonnages, il importe donc de constituer des lots caractéristiques des « races » susceptibles d'être décelées dans certaines essences (pin sylvestre, épicéa, douglas, tremble, etc...).

3° Provenance

Il s'agit de la provenance géographique *des bois* constituant l'échantillonnage (et non de la provenance des *graines* dont est issu le peuplement où l'échantillonnage a été prélevé). Cette question est très complexe.

a) Aire naturelle

Une essence donnée existe, à l'état spontané, sur une surface de territoire plus ou moins grande, d'un seul tenant ou morcelée, qui est son aire naturelle. Mais beaucoup d'essences ont été plantées en dehors de leur aire. En France par exemple, on rencontre de nombreux peuplements constitués par des essences plantées en dehors de leur aire, croissant cependant parfaitement bien et donnant des semis (essences dites acclimatées).

Bien que les bois, donnés par ces peuplements, diffèrent souvent notablement, par certains caractères, des bois que donnent ces essences dans leur aire naturelle, leur intérêt comme producteurs de bois ronds est incontestable et elles méritent d'être expérimentées au même titre que les essences indigènes.

Ces essences intéressent d'ailleurs tout particulièrement le Fonds Forestier National et elles font, elles aussi, l'objet d'études génétiques.

Pour chacune des principales essences indigènes expérimentées au laboratoire, nous avons joint, en annexe, le croquis sommaire de l'aire naturelle, en indiquant approximativement les lieux d'où proviennent les échantillonnages soumis aux essais.

Il est bon de savoir, comme première approximation, si l'échantillonnage a été récolté en dehors de l'aire naturelle de l'essence ou dans cette aire, mais aussi, s'il provient du centre ou des bords

de l'aire. Cette notion doit toutefois être complétée par celle de *station*.

b) **Station**

Une aire naturelle, tracée sur la carte, sous forme d'une figure aux contours plus ou moins irréguliers, peut englober des régions très différentes les unes des autres par l'altitude, la pente, l'exposition, le sol, le climat, etc... Si une essence est suffisamment plastique pour vivre à des altitudes, sur des expositions ou dans des sols variés, il en résultera souvent des variations notables dans la qualité des produits qu'elle fournit.

Il arrive qu'une essence existe, *naturellement*, dans des stations différentes, ou se soit répandue spontanément au cours des siècles, en dehors de sa station naturelle. Mais le plus souvent, elle a été largement diffusée en dehors de sa station par l'action de l'homme qui, même, va jusqu'à cultiver des essences dans des stations qui ne leur conviennent absolument pas.

On constate, par exemple, de très grandes différences mécaniques entre l'épicéa ayant crû en montagne et celui qui a crû dans le fond d'une vallée voisine, entre le hêtre des sols calcaires et celui des sols siliceux, etc...

On est donc amené, pour la plupart des essences, à constituer des échantillonnages provenant de « *stations* » différentes, c'est-à-dire de régions, plus ou moins limitées, différant les unes des autres par un ou plusieurs facteurs climatiques ou édaphiques (de sol) ou biotiques (liés à l'action des êtres vivants).

Ceci est extrêmement complexe. Pour une même essence, on devra constituer des échantillonnages provenant de régions géographiques, d'altitudes, d'expositions, de pentes, de sols différents. Pour le pin noir d'Autriche, par exemple, nous avons expérimenté des lots s'échelonnant géographiquement de la plaine d'Alsace aux Pyrénées, venant les uns de plaine, les autres de plateaux ou de basses montagnes et ayant crû sur des sols correspondant à des étages géologiques très différents. Ceci multiplie à l'infini le nombre des échantillonnages.

c) **Nature et consistance des peuplements et traitement**

Parmi les facteurs biotiques, il faut envisager surtout *l'influence humaine*. Une même essence pourra être traitée par l'homme en taillis simple ou, au contraire, en futaie régulière ou jardinée. Les peuplements pourront être maintenus plus ou moins denses, bénéficier ou non d'éclaircies, posséder ou non un sous-étage, avoir été élagués artificiellement ou non, etc... Cette action de l'homme sur le peuplement a non seulement une influence directe et immédiate sur les arbres eux-mêmes, mais aussi sur certaines caractéristiques

de la station : sol et même microclimat qui agiront ensuite sur la croissance des arbres.

Il y a là encore de multiples causes de variations, souvent plus importantes que les autres facteurs, et dont il y a lieu de déterminer les corrélations éventuelles avec certaines propriétés mécaniques. Les bois, issus de peuplements denses, par exemple, présentent avec les bois issus de peuplements très clairs des différences mécaniques considérables. Les arbres ayant été élagués artificiellement et dont les plaies d'élagage sont recouvertes d'une couche de bois sans défaut ont des qualités nettement améliorées.

4° Variables résultant du façonnage et du stockage des échantillons

Enfin, l'influence humaine s'exerce au cours de la récolte des produits : choix de l'époque d'abattage, mode d'écorçage, méthode d'empilage, durée du stockage en forêt et dans la mine, emploi éventuel des produits préservant le bois, etc...

Tout ceci montre les difficultés du problème de la constitution des échantillonnages de bois ronds, les variables étant nombreuses et souvent non indépendantes.

5° Nombre de pièces pour un échantillonnage

Nous avons déjà effectué des essais sur des échantillonnages nombreux, par exemple sur plus de mille étais de pin maritime. L'ensemble des résultats obtenus se distribue suivant une courbe, voisine de la courbe de Gauss et pouvant être définie par sa moyenne et son écart-type.

Mais il n'est pas possible, pratiquement, d'opérer toujours sur d'aussi grandes séries.

Il n'y a d'ailleurs pas lieu de rechercher à tout prix l'application de la loi des grands nombres. Il est parfaitement possible, en effet, d'utiliser les résultats donnés par de petites séries (de 25 pièces par exemple). Ce chiffre sera discuté dans la 3^e partie de cette étude relative à l'interprétation des résultats.

Cependant, dans un but de simplification, nous nous sommes efforcés de limiter le nombre des facteurs de variation. Pour comparer entre elles des essences, par exemple, ou des provenances, nous avons choisi des pièces de mêmes dimensions, toutes abattues pendant la même saison, stockées de la même manière avant l'essai et expérimentées alors qu'elles avaient atteint le même degré d'humidité. Nous avons aussi employé les mêmes machines. Ceci ne veut pas dire que nous avons absolument recherché « à garder constantes toutes les variables sauf une », ce qui serait parfaitement illusoire. Nous avons cherché seulement à nous rapprocher de la méthode expéri-

mentale, en essayant de limiter le nombre des variables. Ce nombre reste suffisamment élevé, d'ailleurs, pour nécessiter une analyse factorielle.

De même l'étude de l'influence de l'époque d'abattage n'a été pratiquée que sur un nombre limité de lots, d'essences et de provenances données, abattus de quinze en quinze jours pendant plusieurs années, toujours dans la même parcelle de forêt.

Dans la constitution de nos échantillonnages, nous avons cru devoir éliminer les individus aberrants tels que préexistants et arbres de lisière. Nous savons bien qu'ils font partie de la population. Mais, si leur présence est normale dans une grande série, elle risquerait, par contre, de rendre difficile l'interprétation des résultats d'une petite série.

Ayant fixé les stations où prélever les échantillonnages, le nombre de pièces, les « aberrants » (s'ils ne sont pas aberrants statistiquement, ils le sont biologiquement) à éliminer, il restait à fixer la manière de choisir les bois d'expérience.

Divers cas peuvent alors se présenter : ou bien il s'agit d'une éclaircie enlevant sélectivement certains individus ou bien il s'agit d'une coupe à blanc réalisant la population entière.

Dans le premier cas, l'éclaircie porte le plus souvent sur deux populations distinctes :

les dominants, plus ou moins mal conformés ou gênants, qu'on enlève pour dégager les tiges d'élite et les *dominés* qu'on enlève parce qu'ils ne jouent plus de rôle dans la vie collective du peuplement, ou tout au moins dans sa production. Ces deux catégories d'arbres sont généralement parfaitement distinctes, par leur grosseur et par leurs propriétés mécaniques. Elles ont toujours constitué des lots différents essayés, les premiers, par exemple comme bois de voie et les seconds, comme rallonges ou queues.

Mais, sur la coupe, existent des centaines de perches parmi lesquelles il y a lieu d'en prélever 25 ou 50. Les perches destinées à faire des expériences furent quelquefois choisies alors qu'elles étaient encore sur pied en pratiquant « l'échantillonnage systématique » (par exemple 1 sur 5 ou 1 sur 10). D'autres fois, l'échantillonnage a été réalisé, non pas au hasard, mais plutôt au « petit bonheur », car nous n'avons utilisé ni papiers dans un chapeau, ni tables spéciales. Les perches ont été prélevées çà et là par l'opérateur qui a cherché à ne se laisser influencer que par les conditions imposées par les cahiers des charges des mines : rectitude, cylindricité, absence de défauts, etc... L'échantillon prélevé ne représente donc pas l'ensemble de la population sur pied, mais *la partie de la population abandonnée propre à faire du bois de mine*, ce qui est d'ailleurs bien le but pratique recherché.

Dans les coupes à blanc, les deux méthodes ci-dessus ont été employées (systématique ou plus ou moins dirigée), mais l'échantillon

obtenu représentait, cette fois, *l'ensemble de la population* puisque la totalité des individus était abandonnée.

A l'avenir, nos échantillonnages seront toujours choisis « systématiquement » sur pied, avant l'abattage, en quantité telle que, le façonnage étant terminé, après élimination des tordus ou tarés, il reste au moins 25 pièces propres aux essais.

Il se peut qu'une perche soit apte à donner, dans toute sa longueur, plusieurs pièces d'expériences. Bien entendu, toutes ces pièces sont utilisées, et non pas seulement la bille de pied, si non l'échantillonnage ne représenterait pas fidèlement la population. Toutefois, on marque de façon spéciale les billes de pied en vue de « l'analyse factorielle » future. On donne, par exemple, un numéro à l'arbre : 24, et on numérote les premières, deuxième, troisième, etc... billes successives en partant de la bille de pied, de la façon suivante : 24a, 24b, 24c, etc...

La principale sujétion, au cours du façonnage, est de ne faire, sauf stipulations spéciales, que des pièces conformes à la moyenne des cahiers des charges des mines, avec toutefois certaines conditions plus restrictives adoptées dans un but technique, à savoir :

- flèche inférieure à 3 cm par mètre et dans un seul sens, pas de courbure en S,
- défilement inférieur à 1 cm par mètre sur le diamètre,
- pas de couronnes de gros nœuds de plus de 2,5 cm de diamètre,
- pas de bois altérés, ni parasités,
- pas de bois morts sur pied ou incendiés,
- pièces bien coupées d'équerre aux extrémités, sans cassures ni fentes,
- nœuds bien arasés, sans éclats,
- bois abattus avant le 31 janvier (et après le 1^{er} novembre) sauf exception pour les provenances de haute montagne ou pour des recherches spéciales,
- bois demi-écorcés (en ce qui concerne les résineux) ou rainés (cas des feuillus) sauf prescription contraire de la commande,
- empilage sur coupe en grilles triangulaires ou carrées, isolées du sol par une pièce de bois au moins aussi grosse que les étais, stockage sur coupe, d'au moins quatre mois.

Quelques lots ne sont pas écorcés ni rainés, dans le but d'étudier l'influence de cette opération sur la conservation du bois. On en trouvera les résultats dans la troisième partie de cette étude.

Le séjour sur coupe est imposé pour permettre la contamination éventuelle des pièces. Nous avons observé, par exemple, que des pièces de charme transportées, sitôt abattage, de la forêt à notre laboratoire, se conservaient anormalement bien parce qu'elles n'avaient pas eu le temps d'être contaminées par les champignons spécifiques de cette essence. D'autres, laissées en forêt, s'étaient contaminées.

Or, les bois de mine séjournent assez fréquemment sur coupe avant d'être rassemblés et expédiés vers les parcs. Il y a donc lieu, pour nous rapprocher de ces conditions, de prévoir un séjour des bois sur coupe.

On pourrait nous reprocher par contre d'imposer un mode d'empilage qui n'est généralement pas pratiqué par les exploitants. Mais les méthodes qui consistent à laisser les bois en contact avec le sol sont interdites par les cahiers des charges et elles devraient être totalement abandonnées par les bûcherons, la contamination des pièces qui en résulte, mettant en danger la vie des mineurs. Nous avons pu faire des observations précises à cet égard.

Après ce séjour en forêt, les bois sont stockés sur parc, près de Nancy, dans des conditions se rapprochant de celles des parcs à bois de mines. Pendant cette période de stockage, les bois sèchent et leurs propriétés mécaniques varient. Pour bien faire, il faudrait expérimenter des pièces ayant même degré d'humidité. Il est difficile en effet de leur appliquer les coefficients de « tenue à l'humidité », déjà douteux pour les essais normalisés, sur éprouvettes. Nous avons cependant essayé, pour certains lots, de déterminer expérimentalement ces coefficients, à titre purement indicatif.

Le stockage à l'air ne permet guère de descendre au-dessous de 12 à 18 %. La majeure partie des essais a donc été effectuée avec des bois ayant cette siccité. A titre de comparaison, nous avons fait (avec des lots spéciaux) des essais sur bois plus humides et aussi sur bois plus secs.

De même, nous avons essayé, à titre de comparaison, des lots de bois morts sur pied, des bois tarés, des pièces ayant des couronnes de gros nœuds, une conicité ou une flèche inadmissible.

Chaque échantillonnage reçoit un *indicatif d'ensemble* (deux lettres et un numéro) caractérisant la provenance de l'essence. Cet indicatif correspond à une *fiche* qui décrit avec précision les caractéristiques de la station. Il est également reporté sur les feuilles de résultats et les graphiques correspondant aux essais.

D. — EXÉCUTION PRATIQUE DES ESSAIS

1° Flexion statique

a) Les machines

La majeure partie des essais en flexion statique sont effectués au Laboratoire de Technologie de l'École Forestière sur un ou deux mètres de portée, soit sur une machine d'Amsler, pour les petites pièces (de diamètre inférieur à 10 cm) et les portées d'un mètre, soit sur machine Trayvou, pour les pièces de diamètre supérieur à 10 cm ou les portées plus grandes qu'un mètre.

La machine d'Amsler (fig. 1) est constituée par un fléau, terminé par deux appuis, capable de s'élever verticalement sous l'action d'une presse hydraulique, tandis que le couteau central reste fixe. Un dynamomètre, à plusieurs démultiplications, équilibre la pression d'huile et mesure les charges supportées par la pièce (charges qui peuvent aller jusqu'à dix tonnes). Les déplacements du dynamomètre se lisent sur un cadran gradué et se transmettent à une réglette horizontale portant un crayon. Les déplacements verticaux du fléau se lisent également sur le cadran gradué en mm et, par l'intermédiaire d'une cordelette, se transmettent à un tambour enregistreur devant lequel se déplace le crayon du dynamomètre. Sur ce

MACHINE D'AMSLER
Laboratoire de Nancy

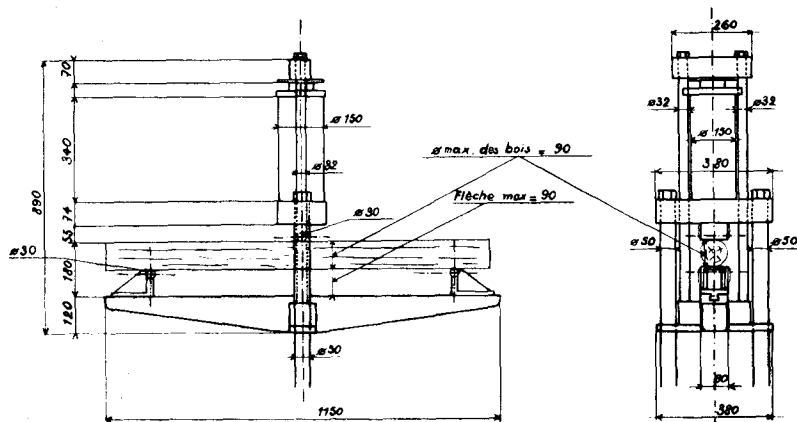


FIG. 1.

tambour enregistreur peuvent donc s'inscrire des graphiques donnant en abscisses les charges et en ordonnées les flèches. On règle le débit de la pompe à huile pour que la vitesse d'ascension du fléau soit toujours la même au cours des essais (20 mm par minute).

Cette machine a l'avantage de donner directement des diagrammes continus et de posséder des cadrans faciles à lire. Sa mise en œuvre est simple et les essais sont exécutés rapidement. Les inconvénients sont par contre assez graves : portée limitée à un mètre, impossibilité d'essayer des bois de plus de 10 cm de diamètre par suite du manque de place entre l'arête inférieure du couteau et les arêtes supérieures des appuis du fléau, trop faible course du piston de la presse hydraulique (20 cm) et manque de hauteur des appuis du fléau (9 cm). Les bois flexibles viennent donc toucher le fléau avant

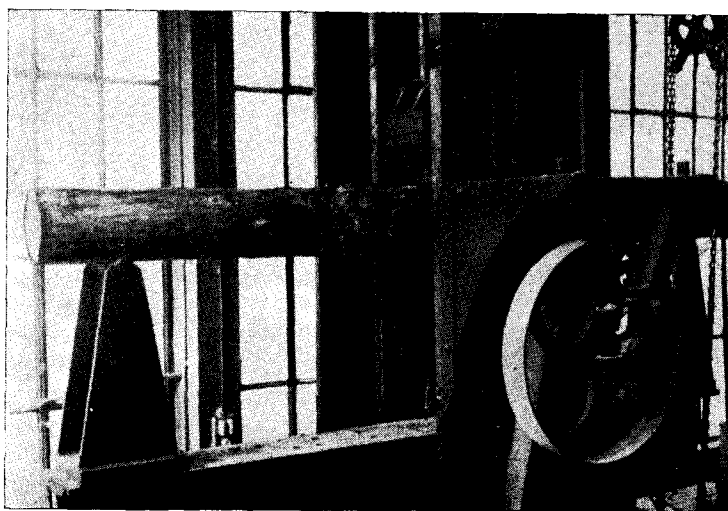


FIG. 2.

MACHINE D'ESSAIS TRAYVOU (Laboratoire de Nancy).

Essai en flexion statique.

d'avoir commencé à se rompre. Cette machine ne nous permet guère que de faire des essais sur bois secs ou raides et sur des pièces ayant les dimensions de queues ou de rallonges, mais toutefois avec des portées correspondant à celles sous lesquelles ces pièces sont normalement employées dans la mine.

La machine Trayvou (fig. 2) possède un fléau constitué par une poutre en fer profilé de 2,30 m de longueur, portant deux appuis de 50 cm de hauteur. Elle permet d'essayer des pièces sur des portées de 0,8 à 2 mètres.

Le diamètre maximum des pièces qu'il est possible d'expérimenter est de 25 cm (intervalle existant entre les montants de la machine).

La poutre portant les appuis est fixe ; c'est le couteau médian qui descend sous l'action d'une vis verticale, de 160 cm de longueur à faible pas. Cette vis est actionnée par un volant de 80 cm de diamètre par l'intermédiaire d'engrenages donnant une forte démultiplication : 5 tours de volant font descendre le couteau médian de 2,875 mm.

Deux hommes tournant le volant arrivent facilement à exercer sur les pièces une charge d'une trentaine de tonnes. L'entraînement du volant peut également être réalisé par un moteur électrique à vitesse à peu près constante. Un dispositif à voyant lumineux et à sonnette a été installé sur la machine pour compter les tours.

La charge est mesurée par l'intermédiaire d'une bascule romaine précise, mais qui rend les essais extrêmement longs. Cette machine nous permet d'essayer, sur un ou deux mètres de portée, des pièces ayant la grosseur des plus gros bois de mine. La flèche maxima possible des pièces en essai est de 50 cm (hauteur des appuis). Elle permet d'obtenir la rupture des bois les plus flexibles, même si ceux-ci sont verts.

Le seul inconvénient de cette machine est d'être lente. Il est difficile d'essayer plus de 35 pièces par jour (à deux ou trois hommes). D'autre part, elle n'est pas munie d'appareils enregistreurs. On est donc obligé de construire les diagrammes de rupture point par point, en mesurant la charge un certain nombre de fois au cours de l'essai, par exemple tous les 5 ou 10 tours de volant.

Les laboratoires des mines sont dotés de machines de traction ou de compression sur lesquelles sont montés divers types d'appareillage permettant d'effectuer des essais de flexion (voir fig. 3).

Ces machines permettent de faire des essais sur des pièces jusqu'à 2,5 m de portée et sous des charges pouvant aller jusqu'à 200 tonnes (charges qui ne sont jamais atteintes au cours d'essai de bois de mine en flexion).

Les machines des laboratoires des mines, par exemple celles de Sarrebrück, sont des presses hydrauliques avec lecture directe des charges sur le cadran d'un dynamomètre. Elles permettent de faire

des essais rapides (80 ou 90 par jour contre 30 ou 35 à la machine Trayvou).

b) **Les méthodes d'essai**

Les pièces qui sont essayées *avec la machine d'Amsler* ont moins de 10 cm de diamètre. Comme nous l'avons dit, cette machine ne permet pas d'essayer des bois trop flexibles, c'est-à-dire des bois frais. Aussi la réservons-nous pour des bois secs, dont le degré d'humidité est de l'ordre de 15 à 20 %. Nous essayons de préférence des bois à 15 %.

Avec ces petites pièces, les résultats sont assez dispersés, et il faudrait faire de grandes séries pour obtenir des moyennes valables. Cela demanderait beaucoup trop de temps. Aussi réservons-nous cette machine pour essayer des essences ou des provenances secondaires, par exemple des bois peu répandus, mais extrêmement curieux au point de vue mécanique, comme le cornouiller mâle, l'if, le coudrier, etc... La machine nous sert aussi pour étudier l'influence du séchage, du vieillissement, des altérations, etc...

Ces essais sont faits selon la méthode mise au point depuis 1948.

Chaque pièce porte un numéro de série et elle reçoit en plus un numéro d'ordre. On range généralement toutes les pièces d'une série par ordre de grosseurs croissantes (donc, en principe, de résistances croissantes) avant de les numéroter.

Les lots ainsi constitués sont essayés le même jour, sur la même machine par le même expérimentateur.

Pour chaque série, on note:

- le numéro de série,
- le nombre de pièces,
- la portée sous laquelle sont faits les essais,
- la démultiplication du dynamomètre,
- la date de l'essai,
- le nom de l'expérimentateur (ou des expérimentateurs).

Pour chaque pièce, on note:

- le numéro d'ordre,
- la circonférence au milieu,
- les anomalies éventuelles qu'elle présente (flèche, décroissance anormales, couronnes de nœuds, fentes, etc...).

La pièce est placée sur les supports du fléau de la machine d'Amsler, exactement dans l'axe du fléau, de manière à ce que le couteau central soit au contact de la pièce et bien perpendiculaire à celle-ci. La charge est alors appliquée avec une vitesse de l'ordre de 20 mm par minute (vitesse d'ascension du fléau, c'est-à-dire de production de la flèche).

On note au passage :

la charge C_A correspondant à l'apparition d'une flèche nettement visible à l'œil (3 % de la portée, soit 3 cm avec la portée la plus classique qui est de un mètre) ;

la charge maxima C_M , celle-ci est parfois difficile à déterminer car chez certains bois souples, la charge passe par un maximum, puis diminue très lentement avant qu'aucun craquement ne se fasse entendre, c'est-à-dire sans qu'on observe de décrochement sur le diagramme. Il se peut aussi que des craquements avant rupture produisent de légères pertes de charge avec reprises, avant d'atteindre la charge maxima ;

la flèche F_{CM} , correspondant à la charge maxima ;

une ou deux charges C_{d_1} , C_{d_2} , etc... correspondant aux paliers observés pendant le défibrage de la pièce ;

les flèches F_{d_1} , F_{d_2} , etc... correspondant à ces charges ;

la charge et la flèche finales, C_f et F_f ;

les signes avertisseurs fournis par la pièce pendant l'essai : froissements ou craquements avant la charge maxima, nombre et importance des craquements après la charge maxima ;

l'aspect de la cassure : fibreuse, éclatée, en coquille, etc...

les anomalies de la cassure : fentes diamétrales ou radiales, fente allant rejoindre un nœud, etc... ;

l'importance de la pénétration du couteau médian dans la pièce.

Puis, les essais étant achevés, on pèse les pièces, on mesure leur degré d'humidité et on détermine, au voisinage de la section médiane : l'âge, la largeur des cernes, la texture, la proportion relative de cœur et d'aubier, etc...

Sous chaque diagramme enregistré par la machine d'Amsler, on porte le numéro de série, le numéro d'ordre, la date de l'essai et la démultiplication du dynamomètre.

On a soin, avant chaque essai, de faire tracer par la machine sur les papiers à diagramme, qui sont de préférence des papiers quadrillés, les axes des abscisses et des ordonnées.

Les essais en flexion, sur la machine Trayvou, se font de façon analogue. Avant les essais, on procède au numérotage individuel comme ci-dessus et on note, comme il a été dit, les circonférences médianes, portées, anomalies, etc...

Initialement, la pièce étant placée sur les supports, la mise en charge était faite par volées successives d'importance variable. Avec des bois verts et des portées de deux mètres, on procédait par volées de 20 tours jusqu'à 100 tours, ce qui correspondait à une flèche de 57,5 mm, c'est-à-dire à la flèche visible à l'œil. Avec une portée de 1 mètre, on exécutait deux volées de 20 tours et une de 10 tours, ce qui correspondait à une flèche de 28,75 mm (soit à la flèche visible pour cette portée). On procédait ensuite par volée de 10 et

même 5 tours en arrivant près du maximum de charge. Si les bois étaient échauffés, ou très secs, ou raides, ils risquaient de casser avant d'atteindre une flèche visible à l'œil et on procédait dès le début, par volées de 10 ou 5 tours. Quant la charge maxima était dépassée, on accélérât alors la rupture en procédant par volées de 20 et même de 40 tours (si la portée était de 2 mètres).

Il fallait s'efforcer de plier les pièces avec des vitesses constantes, de manière à ce que, comme pour la machine d'Amsler, les flèches soient proportionnelles aux temps. Ceci dépendait de la vitesse de rotation du volant, vitesse d'ailleurs facile à régler (d'autant plus que la machine dispose d'un moteur électrique utilisable avec des charges inférieures à 10 tonnes).

Toutefois, il fallait procéder rapidement, pendant et entre chaque volée de n tours de volant, à la mesure des charges au moyen de la balance romaine. On constate en effet que, si cette lecture dure trop longtemps, la charge supportée par les pièces décroît. Un opérateur lent n'arrive pas à lire les charges réellement supportées par les pièces, mais seulement les charges résiduelles supportées par les pièces après un certain temps de défilage sous le couteau.

C'est pourquoi nous avons changé quelque peu la méthode. Quand les pièces sont placées sur les appuis et que le couteau médian est à leur contact, le moteur électrique entraînant le volant est mis en marche.

Un compte-tour permet de lire le nombre de tours du volant. Un opérateur maintient constamment horizontal le fléau de la balance romaine. Au fur et à mesure que la charge varie, la balance est donc toujours en équilibre. L'autre opérateur compte les tours et inscrit les charges correspondantes. Ceci demande une certaine habileté, surtout au moment où la rupture se produit. Mais des observateurs exercés y parviennent très bien.

Au cours des essais à la machine Trayvou, on note, à l'issue de chaque série de n tours:

- le nombre de tours de volant effectués,
- la charge correspondante,
- les signes accompagnant la rupture.

A la fin des essais, les mêmes observations et mesures sont faites qu'au cours des essais d'Amsler.

2° Flambement

a) Les machines

Les essais sont faits sur la machine Trayvou du Laboratoire de Nancy, pour des pièces ayant au maximum 1,60 m de long et ne résistant pas à plus de 30 tonnes de charge (cette limite de 30 tonnes est atteinte assez rapidement avec les bois résineux). Nous avons

vu des douglas de 40 cm de circonférence et de 1,60 m de long, ne se rompre que sous 40 tonnes.

Pour les pièces plus longues et plus résistantes, les essais sont faits sur les machines des laboratoires des mines à l'aide d'un appareillage spécial (voir fig. 4).

Ces machines nous permettent pratiquement de rompre les plus gros bois de mine sous 2,50 m de longueur. Mais il nous a fallu 110 tonnes pour rompre des palétuviers de 2,50 m de long et de 60 cm de circonférence au milieu.

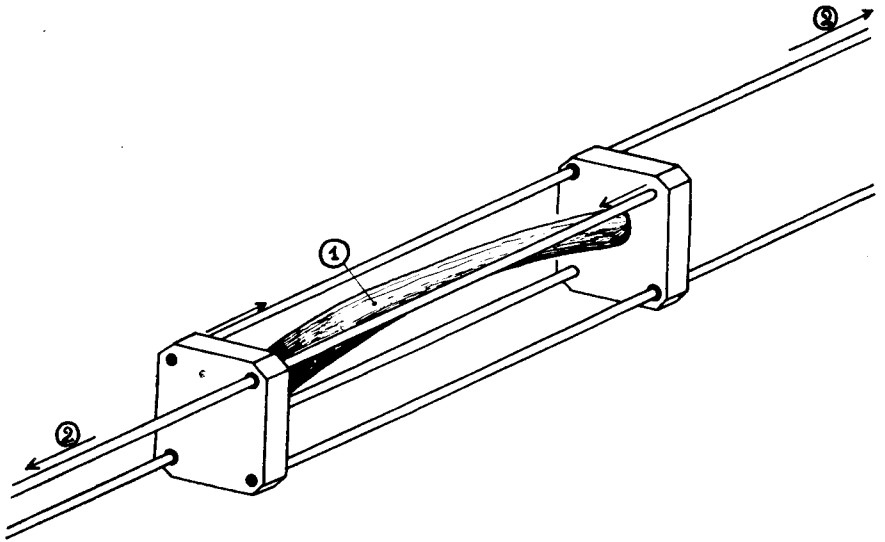


FIG. 4.

DISPOSITIF POUR ESSAIS DE FLAMBEMENT
SUR LA MACHINE DE SARREBRUCK

1. Pièce de bois en compression.
2. Efforts de traction.

b) Les méthodes d'essai

Les essais en flambement *sur machine Trayvou* se rapprochent des essais en flexion.

Après avoir été numérotées, mesurées et observées quant à leurs anomalies éventuelles, les pièces sont placées verticalement entre les plateaux à coquilles de la machine.

La mise en charge se fait par volées de 10 tours. La charge croît au début très rapidement, puis elle augmente de plus en plus lentement, en même temps que se produisent des signes avertisseurs :

flèche, froissements et foulures du bois comprimé, craquements. On ne procède plus alors que par volées de 5 tours pour augmenter la précision du diagramme, point par point, qu'il y a lieu de construire après les essais.

Quand la rupture s'est produite, on accélère les essais comme dans le cas de la flexion.

On note au cours des essais :

- le nombre de tours de volant,
- les charges (initiales et résiduelles le cas échéant),
- l'apparition d'une flèche visible à l'œil,
- le nombre et l'importance des craquements,
- la flèche correspondant à la dernière charge mesurée,
- l'aspect de la cassure,
- les incidents d'expériences.

Les incidents sont assez fréquents. Par exemple, des pièces ripent sur les plateaux et se placent obliquement entre ceux-ci, la charge décroît puis reprend. Il arrive aussi que les extrémités s'écrasent en s'épanouissant en balais. La charge, là encore, décroît, puis reprend. Il se peut également que des pièces fendent diamétralement, quelquefois d'un bout à l'autre. Il y a alors chute brutale de la charge, puis les deux moitiés ainsi obtenues résistent conjointement et des paliers s'observent dans la rupture.

Quand les essais sont terminés, on pèse les pièces, on mesure leur degré d'humidité, leur âge, la largeur des cernes, la texture, la proportion de cœur et d'aubier, etc..

Si des ruptures anormales se produisent, on en recherche les causes : mécaniques ou pathologiques.

Les machines des laboratoires des mines, comme celles de Sarrebrück, donnent les charges par lecture directe sur le cadran d'un dynamomètre. On peut, par exemple, noter la charge toutes les dix secondes ou toutes les cinq secondes, sans oublier de noter la charge correspondant à la flèche visible et la charge maxima.

Ces deux méthodes permettent, l'une et l'autre, de construire les diagrammes point par point.

E. — PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

1° Diagrammes individuels

a) Diagrammes enregistrés par la machine d'Amsler

L'appareil enregistreur de la machine d'Amsler donne les diagrammes du type de ceux représentés sur la figure 5.

Pour les rendre plus lisibles, ces diagrammes sont recalqués en mettant en abscisse les déformations (c'est-à-dire dans le cas de la

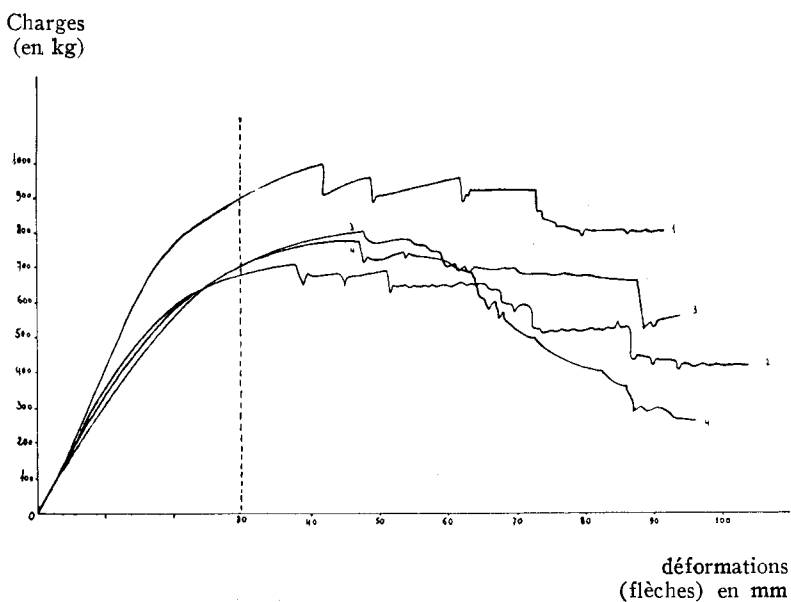


FIG. 5.

Essais en flexion statique

Essence : Charme
 Provenance : Forêt de Haye
 Altitude : 380 mètres
 Abattage : Mars-Avril 1949
 Essais : 21 février 1950
 Portée : 1 mètre

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Circonférence (mm)	230	210	220	195
Charge à flèche 30 mm (kg)	900	680	700	700
Flèche à charge maxima (mm) ..	42	38	48	47,5
Charge maxima (kg)	1 000	710	800	770
Poids (kg)	1,820	2,100	2,700	2,770
Humidité (%)	13	14	15	16

flexion statique, les *flèches* accusées par les pièces soumises aux essais, à la verticale du couteau médian). En ordonnées, sont portées *les charges* successives *supportées* par les pièces au cours des essais (c'est-à-dire *les forces* produisant les déformations observées).

Les charges s'appliquant par l'intermédiaire du couteau médian, les flèches représentent également *les distances* dont se sont déplacées les forces au cours des essais (en négligeant l'enfoncement du couteau médian dans le bois).

La surface du diagramme donne donc *le travail* dépensé pour obtenir la rupture. On adopte les échelles suivantes pour les abscisses et les ordonnées: abscisses 1 cm pour 5 mm de flèche, ordonnées 1 cm pour 100 kg de charge.

A noter que, l'abaissement du couteau étant régulier (20 mm par minute), les flèches sont proportionnelles *aux temps*. Pour l'interprétation des résultats, la notion de déformation peut donc être remplacée en abscisse par la notion de temps. Un diagramme (fig. 8) peut se décomposer comme suit:

1) *Au début*, il y a proportionnalité entre les forces et les déformations.

La pièce subit une déformation élastique réversible. Si on cesse d'appliquer la charge et si on relève le couteau, la pièce reprend sa forme initiale et le crayon de l'appareil enregistreur revient au point de croisement des axes de coordonnées.

La « *période élastique* » dure plus ou moins longtemps, suivant les essences, et la courbe fait avec l'axe des abscisses un angle plus ou moins prononcé, faible chez les bois souples ou frais, supérieur à 60° chez les bois raides ou secs (avec les échelles des abscisses et des ordonnées définies plus haut).

La partie élastique peut n'être pas aussi longue que la partie rectiligne initiale du diagramme. Chez les bois raides en particulier, où la charge s'élève rapidement, on constate parfois que l'effort cessant et le couteau se relevant, le crayon ne revient pas exactement au zéro, mais que la pièce garde une déformation positive durable (ce qui semble évidemment contraire à la loi de Hooke).

2) *Dans la deuxième partie du diagramme*, les charges continuent à décroître et les flèches augmentent beaucoup plus rapidement qu'au début. Les déformations ne sont plus élastiques, c'est-à-dire que, libérées de leur contrainte, les pièces gardent une déformation résiduelle. Le passage de la « *période* » élastique à la « *période non élastique* » est généralement progressif et ne se manifeste sur le diagramme que par le fait que la tangente à la courbe s'incline vers l'horizontale. Toutefois, il arrive que de petits décrochements en marches d'escalier ou en dents de scie se produisent (généralement accompagnés de craquements), la charge alors décroît temporaire-

Charges
(en kg)

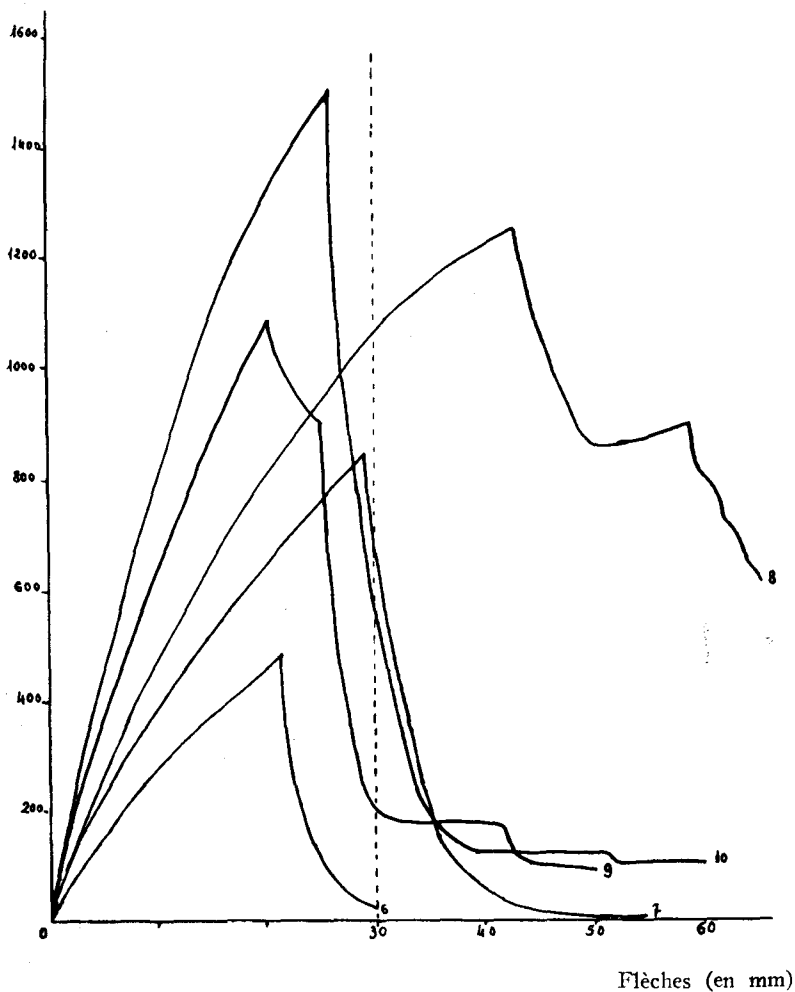


FIG. 6.

Essais en flexion statique

Essence : Charme
 Provenance : Forêt de Haye - parcelles 47-48 4°
 Altitude : 380 m
 Abattage : Février 1950
 Essais : Août 1951
 Portée : 1 mètre

	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10
Circonférence (mm)	200	220	245	250	260
Charge à flèche 30 mm (kg)			1 070		
Flèche à charge maxima (mm) ..	21,5	29	43	20,5	26
Charge maxima (kg)	490	850	1 250	1 090	1 505
Poids (kg)	2,250	2,915	4,060	3,775	4,800
Humidité (%)	12	12	14	14	13

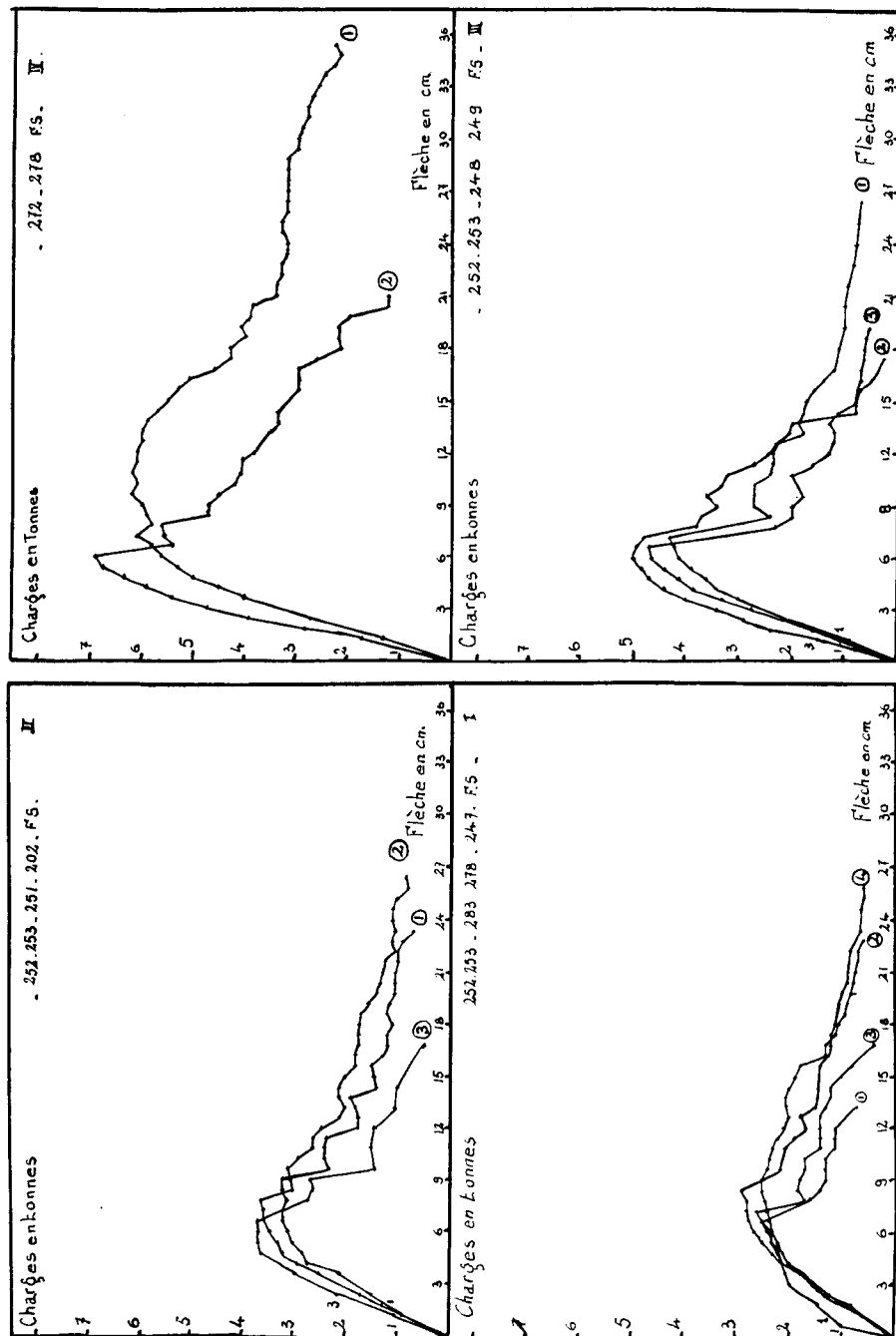


Fig. 7.

Essais en flexion statique sur 2 m de portée. Châtaigniers - provenances diverses
 Laboratoire de Nancy (Trayvou)

ment, reste fixe ou croît un peu moins vite, la flèche continuant évidemment à augmenter.

La charge maxima est atteinte quand la tangente, au point le plus haut de la courbe, est horizontale. Ce point de tangence peut se trouver au sommet d'une courbe arrondie comme une meule de foin (cas de la fig. 5). Il se peut aussi (et ceci est le cas le plus fréquent), que la charge maxima coïncide avec une nette brisure de la courbe (voir fig. 6). Les courbes arrondies correspondent aux bois très souples et très frais et les courbes avec décrochement aux bois secs et plus ou moins raides. Enfin, l'anomalie suivante peut se présenter : la courbe présente un brusque décrochement, puis la charge augmente à nouveau et atteint un second maximum plus élevé que le premier. Ceci se produit quelquefois chez les bois fissiles, le premier décrochement correspond à une fente de cisaillement qui se produit dans un plan axial de la pièce. Tous ces décrochements s'accompagnent de craquements plus ou moins forts, généralement proportionnels aux branches descendantes des diagrammes (voir fig. 7).

3) *La troisième partie* du diagramme correspond au « défibrage ». Son tracé est descendant, sinueux, très irrégulier, plus ou moins vertical, suivant que le bois est peu ou très *tenace*, qu'il a moins ou plus de « *nerf* ».

Les diagrammes sont enregistrés et recalqués sur des papiers quadrillés, mais, dans un but de contrôle, on lit au cours des essais, sur les cadrans correspondants, quelques charges ou flèches caractéristiques : *charge à la flèche 30 mm* (3 % de la portée), *charge maxima et flèche correspondante, une ou plusieurs charges pendant le défibrage de la pièce et flèches correspondantes*. (Ces mesures sont faites au niveau des paliers que présentent souvent les diagrammes autant que possible, avant que la charge soit tombée au-dessous de la moitié de la charge maxima).

En effet, quand les charges sont devenues trop faibles, la viscosité de l'huile amène des retards dans les déplacements du dynamomètre et la courbe manque de fidélité.

Les ordonnées correspondant à la flèche 30 mm et à la flèche de rupture (flèche à la charge maxima) divisent le diagramme en trois parties (voir fig. 8) :

1) *La période de mise en charge*, élastique ou non, pendant laquelle la mise en charge ne se manifeste, ni par des signes avertisseurs à vue (la flèche étant à ce moment-là inférieure à 3 % de la portée), ni par des craquements audibles.

2) *La période de sécurité réelle*, avant le passage par la charge maximum, période pendant laquelle la charge se manifeste par une flèche visible à l'œil et parfois par des craquements, la pièce conti-

Charges
(en kg)

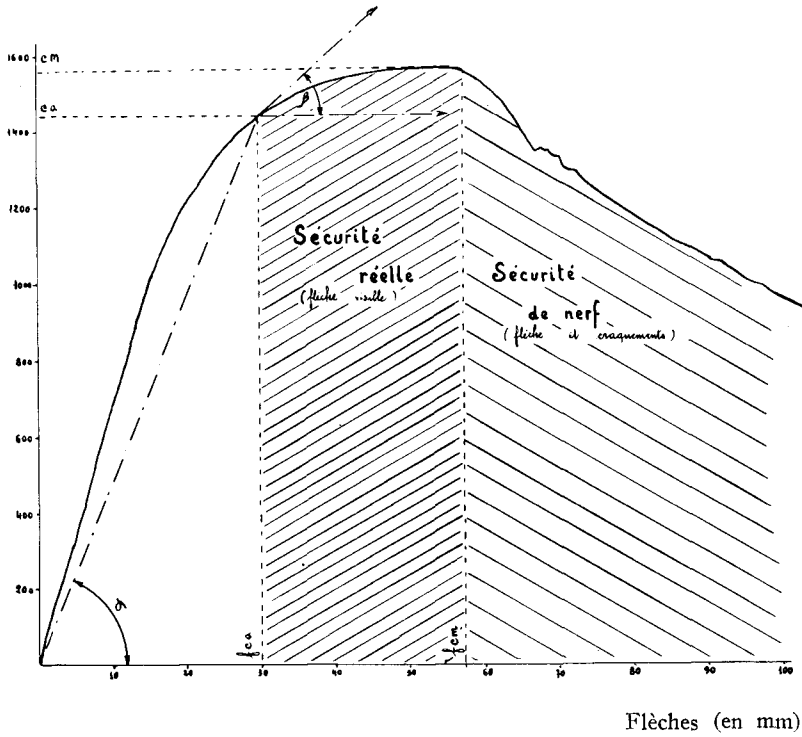


FIG. 8.

Essais en flexion statique

Essence : Mélèze d'Europe
 Provenance : Hery (Moselle)
 Altitude : 23 ans
 Abattage : Février 1950
 Essais : Mars 1950
 Portée : 1 mètre

N° 4

Circonférence (mm)	295
Charge à flèche 30 mm (kg)	1 440
Flèche à charge maxima (mm)	57
Charge maxima (kg)	1 570

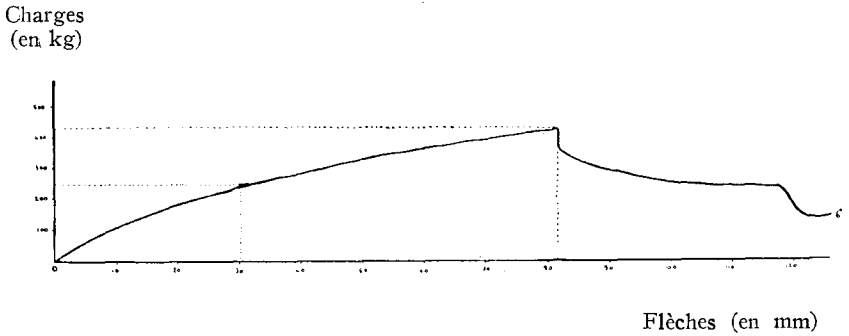


FIG. 9.

Essais en flexion statique

Essence : Aune blanc
 Provenance : Terril Solvay à Maxéville
 Altitude : 300 mètres
 Abattage : Hiver 1949-1950
 Essais : 31 mars 1950
 Portée : 1 mètre

	N° 6
Circonférence (mm).....	210
Charge à flèche 30 mm (kg)	260
Flèche à charge maxima (mm)	81
Charge maxima (kg)	430

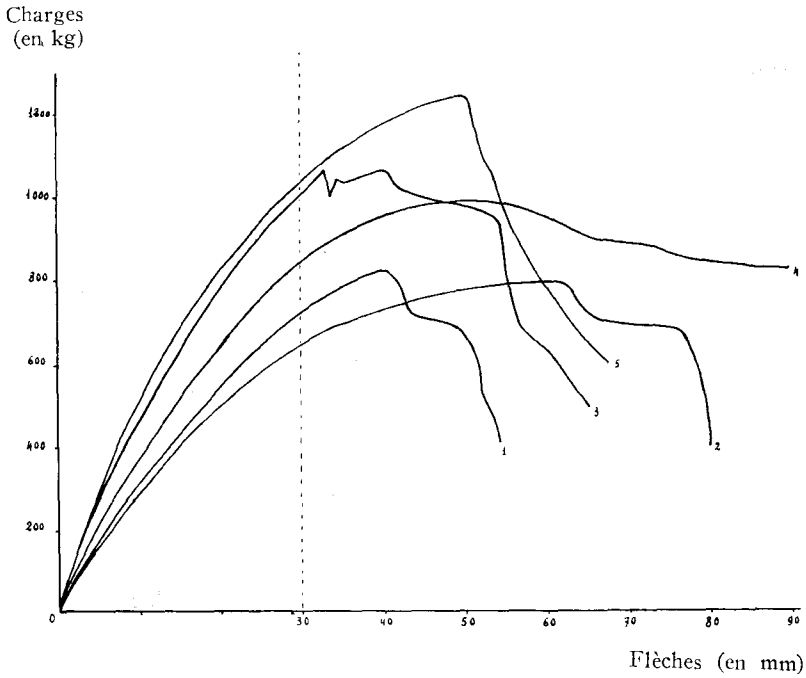


FIG. 10.

Essais en flexion statique

Essence : Douglas
 Provenance : Forêt domaniale du Donon
 (Route des Minières à Raon-sur-Plaine)
 Altitude : 700-750 mètres
 Abattage : Février 1950
 Essais : 26 mars 1952
 Portée : 1 mètre

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
	—	—	—	—	—
Circonférence (mm)	215	225	230	240	245
Charge à flèche 30 mm (kg)	720	645	1 000	840	1 035
Flèche à charge maxima (mm) ..	40	62	33	52	50
Charge maxima (kg)	820	800	1 070	990	1 250
Poids (kg)	2	2,500	2,500	2,500	3
Humidité (%)	15	14	15	15	14

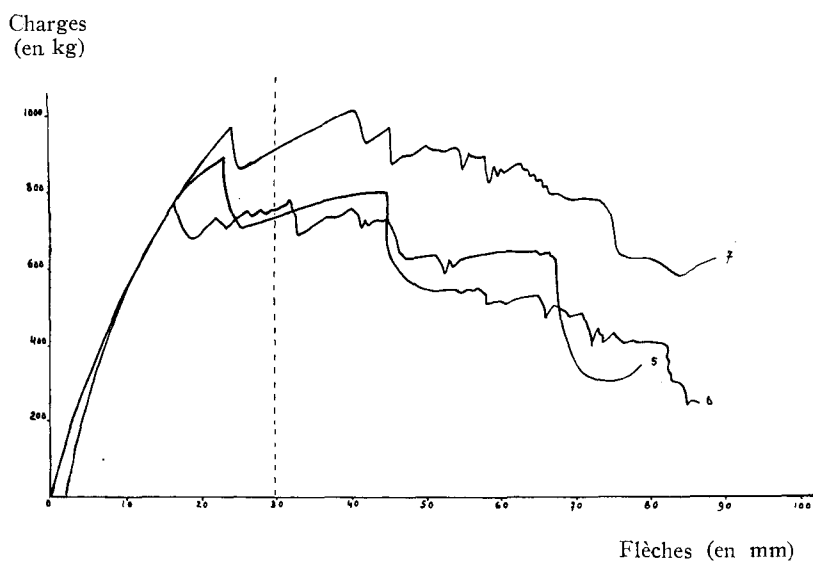


FIG. 11.

Essais en flexion statique

Essence : Merisier
 Provenance : Forêt de Haye - Parcelle 47-48 - 4^e Série
 Altitude : 380 mètres
 Abattage : Février 1950
 Essais : 4 novembre 1952
 Portée : 1 mètre

	N° 5	N° 6	N° 7
Circonférence (mm)	240	260	260
Charge à flèche 30 mm (kg)	750	730	910
Flèche à charge maxima (mm) ..	32	23	40,5
Charge maxima (kg)	780	890	1 010
Poids (kg)	3,100	4,300	4,600
Humidité (%)	19,5	21	21

Charges
(en kg)

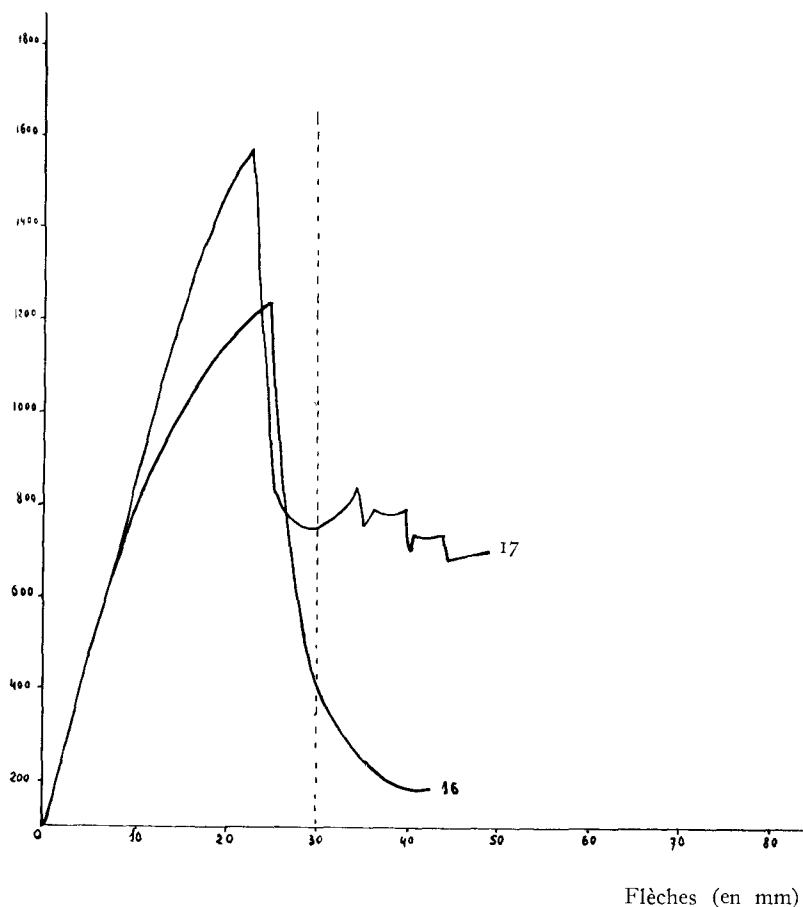


FIG. 12.

Essais en flexion statique

Essence : Hêtre
 Provenance : Forêt de Haye - Parcelle 47-48 - 4^e Série
 Altitude : 380 mètres
 Abattage : Février 1950
 Essais : 5 mars 1952
 Portée : 1 mètre

	N° 16	N° 17
Circonférence (mm)	260	285
Flèche à charge maxima	25	23
Charge maxima (kg)	1 240	1 580

nuant toutefois à supporter des charges croissantes, c'est-à-dire à accorder une sécurité réelle à l'ouvrier.

3) *La période de sécurité de nerf*, après le passage par la charge maximum, période pendant laquelle les signes avertisseurs se multiplient, craquements, éclats, flèche, etc... mais alors la pièce se rompt et n'accorde à l'ouvrier un temps suffisant pour se garer que si elle possède assez de *nerf*, c'est-à-dire un défibrage progressif se manifestant par un angle faible du diagramme sur l'horizontale, avec des décrochements de faible amplitude.

Les divers diagrammes des figures 5 à 12 montrent bien ces trois périodes. La seconde période peut ne pas exister (cas des charmes échauffés de la figure 6), si la rupture survient avant que la flèche soit visible; il s'agit alors d'un bois particulièrement raide.

Les relevés numériques sont présentés comme l'indiquent les tableaux accompagnant les figures 5 à 12. Ces tableaux n'ont pas besoin d'être commentés.

b) Diagrammes de la machine Trayvou

1. Cas des essais en flexion statique

Jusqu'à maintenant, les diagrammes de la machine sont construits en partant des observations numériques. Celles-ci sont enregistrées comme l'indiquent les tableaux joints aux figures 13 à 16.

Ces tableaux n'ont pas besoin d'être commentés, la manière dont ils sont remplis ayant été décrite au chapitre D.

Les diagrammes qu'on en tire n'ont évidemment pas la fidélité des diagrammes de la machine d'Amsler. Ils sont seulement approchés. On a rarement exactement la charge maxima, celle-ci pouvant survenir entre deux lectures consécutives. Le premier signe avertisseur est, soit un craquement, soit la flèche correspondant à 3 % de la portée, c'est-à-dire à un nombre déterminé de tours de volant. Pour les portées de 2 mètres, la flèche visible, soit 6 cm, correspond environ à 100 tours de volant.

Les diagrammes construits au moyen de ces observations présentent cependant un grand intérêt et sont faciles à interpréter. Voir figures 13 à 16. Tout ce qui a été dit au paragraphe précédent peut leur être appliqué.

2. Cas des essais en flambement

Les diagrammes accompagnés de tableaux montrent comment sont relevées les observations au cours des essais en flexion statique et les types de diagrammes qu'on en tire (voir fig. 17 à 20). On sait que dix tours de volant correspondent à un raccourcissement de la pièce de 5,75 mm.

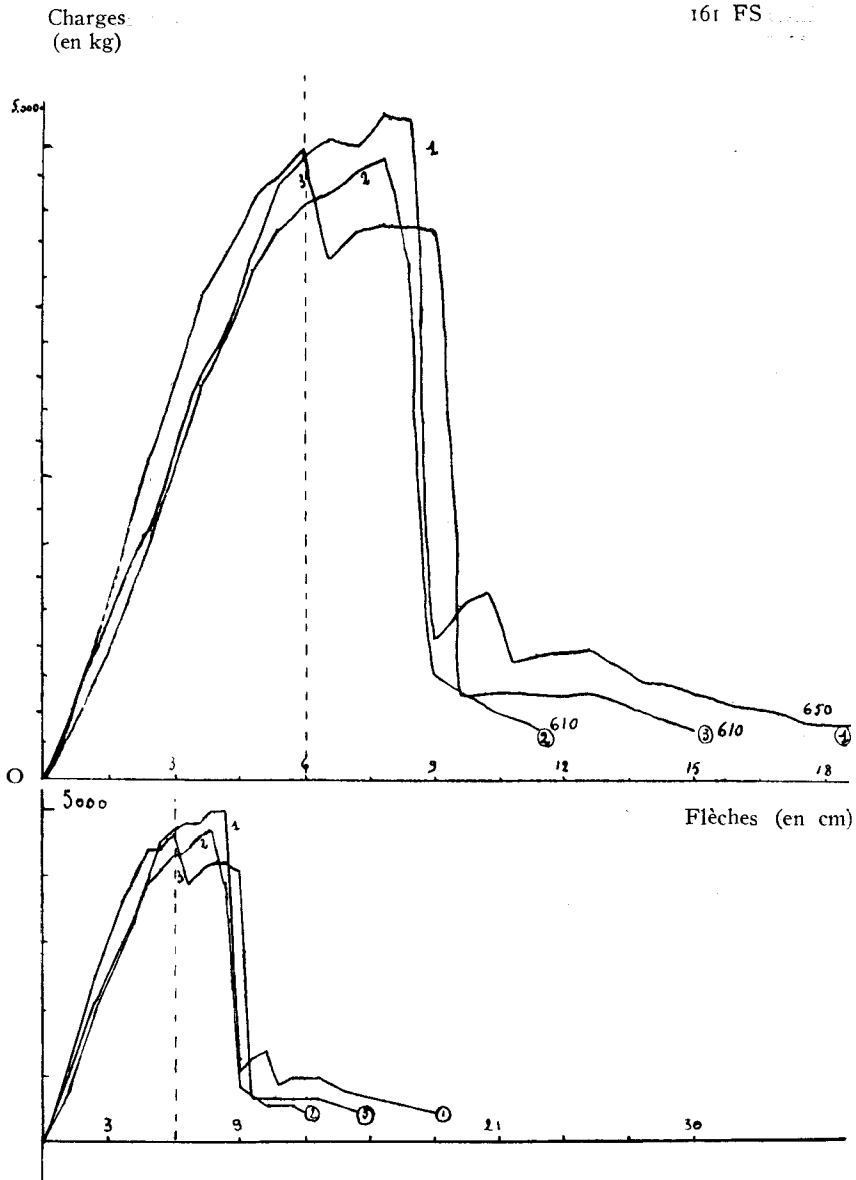


FIG. 13.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Septembre 1954.

Epicéa - Guebwiller (Haut-Rhin)

Charges
(en kg)

277 FS

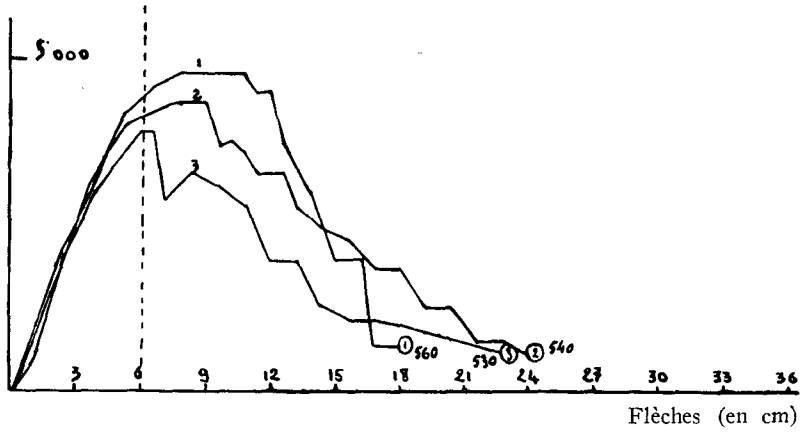


FIG. 14.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée : 200 cm.
Pin sylvestre - Rosières-aux-Salines (Meurthe-et-Moselle)

Charges
(en kg)

212 FS



FIG. 15.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée : 200 cm,
 Mars 1956.
Chêne rouvre - Forêt domaniale de Moulière (Vienne).

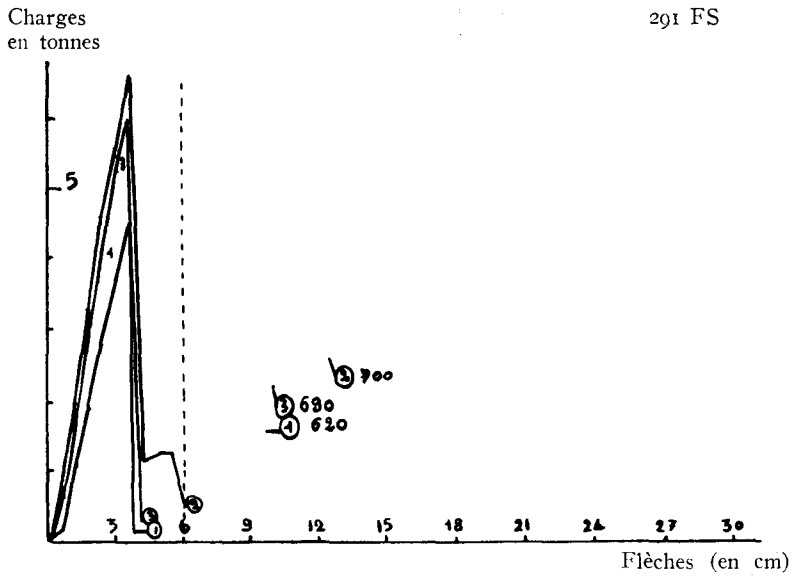


FIG. 16.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée : 200 cm.
Septembre et octobre 1955.

Hêtre - Forêt domaniale de Haye (Meurthe-et-Moselle)

Il est à peu près impossible, dans ces essais en flambement, de déterminer une période de sécurité réelle ou une période élastique. Au début, la charge augmente sans qu'aucun signe avertisseur ne se produise.

La pièce reste droite. Seuls peuvent être audibles des froissements ou de petits craquements. Les signes avertisseurs les plus nets sont donnés par la balance romaine. Si, en effet, on attend quelques secondes après avoir lu la charge, on constate que celle-ci se met à baisser sensiblement sans que l'intervalle entre les plateaux varie. Le bois « se prête », « s'agenouille » sous la charge. La déformation alors n'est plus élastique. Délivrée et remise en essai, la pièce accuserait une résistance plus faible. Mais, dans les conditions de la mine, le bois, à ce moment-là, prévient peu (certaines essences, toutefois, émettent des craquements).

Ensuite, la charge augmentant subitement, la pièce cède, craque, fléchit. La flèche peut apparaître avant les craquements, mais c'est souvent l'inverse qui se produit. La charge se met à décroître plus ou moins vite; seule compte alors la sécurité de « nerf ». Celui-ci se manifeste sur les diagrammes par l'inclinaison plus ou moins forte, sur l'horizontale, des branches successives du diagramme.

2° Résultats statistiques

En dehors des diagrammes individuels dont il vient d'être parlé, il est nécessaire de *présenter les « populations de résultats »* obtenues *sous forme de tableaux* et surtout, ce qui est le plus parlant, *sous forme de graphiques*.

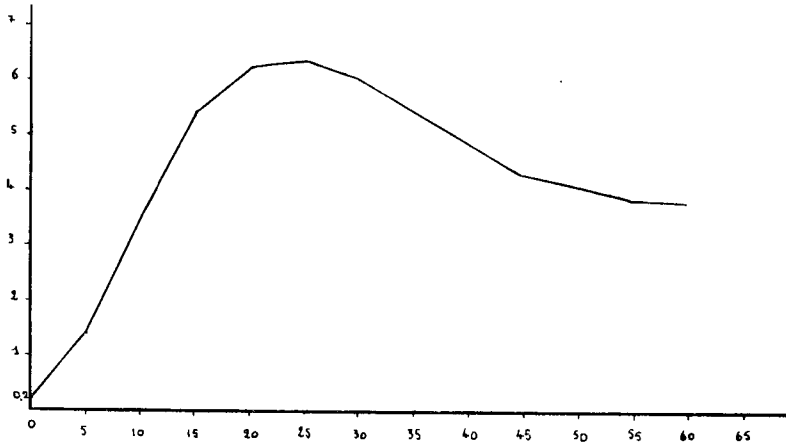
Par exemple, pour tout l'échantillonnage d'une essence ou d'une provenance déterminée, essayé en flexion statique ou en flambement sur la même portée ou la même longueur, on portera en ordonnées les charges et en abscisse le nombre de pièces correspondant à chacune de ces charges.

Pour traduire ce tableau sous forme d'un graphique, il est nécessaire évidemment de *grouper les données*. Le champ total de variabilité des charges est divisé en un certain nombre de classes d'égale étendue et l'on groupe toutes les observations qui tombent à l'intérieur d'une même classe en prenant comme ordonnée la valeur de la variable correspondant au centre de la classe.

Le tableau I et le graphique 22 (voir plus loin) montrent comment est réalisé ce groupement de données et comment on peut en tirer un graphique représentatif.

Quand plusieurs caractères sont observés simultanément, par exemple les charges et les circonférences des pièces, on construit des *tables de corrélation*, à double entrée, et des *graphiques* se présentant sous forme de *nuages de points*, distribution parfois con-

Charges
(en tonnes)
1 cm = 1 tonne



Nombre de tours du volant
2 cm = 10 tours = raccourcissement de 5,75 mm.

FIG. 17.

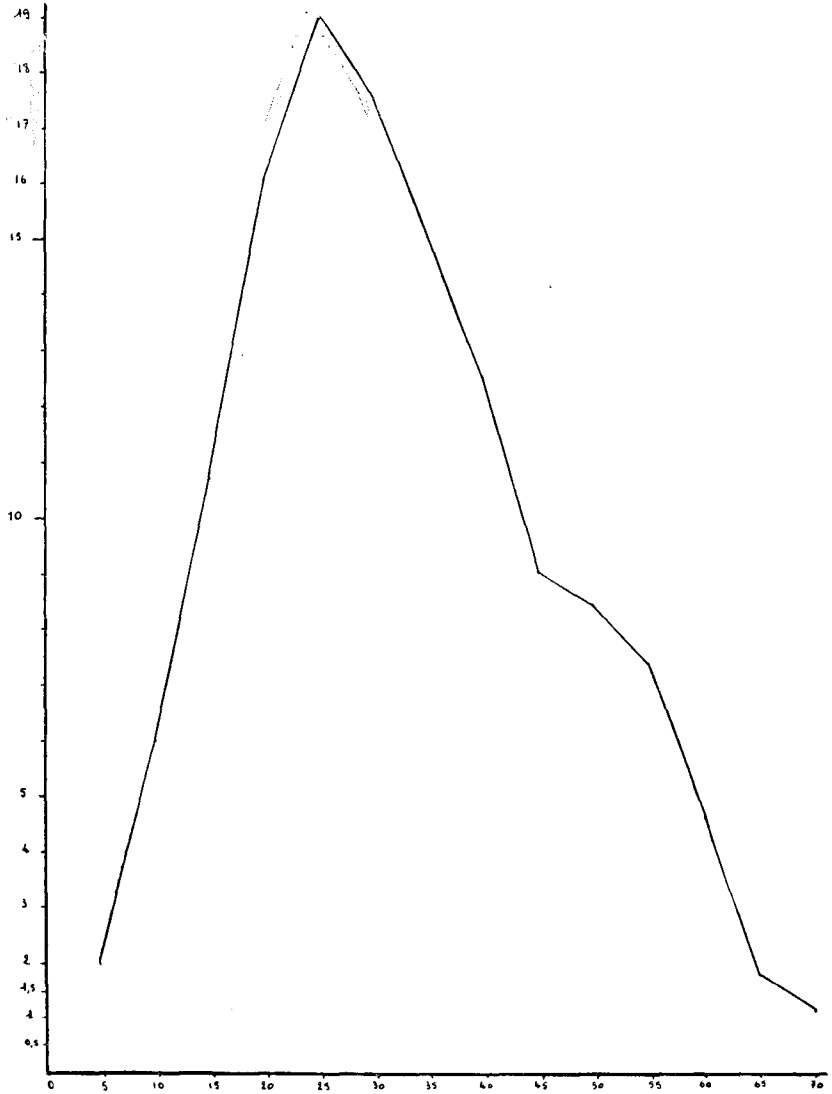
Essais en flambement

Essence : Chêne - longueur 1,60 mètre
Provenance : Forêt d'Amance, parcelle n° 25
Altitude : 240 mètres
Abattage : Mai-Juin 1949
Essais : 22 mai 1951

N° 2

Circonférence (mm)	300
Charge maxima (kg)	6 550
Flèche finale (mm)	130
Poids (kg)	7
Age	40/50

Charges
(en tonnes)



Nombre de tours de volant

2 cm = 10 tours = 5,75 mm de raccourcissement.

FIG. 18.

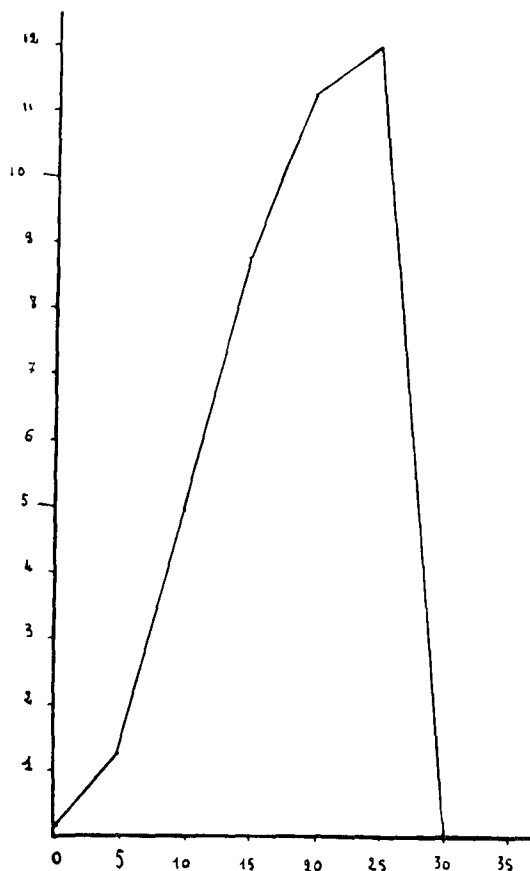
Essais en flambement

Essence : Douglas (longueur 1,60 mètre)
 Provenance : Forêt domaniale du Donon
 (route des Minières à Raon-sur-Plaine)
 Altitude : 700-750 mètres
 Abattage : Février 1950
 Essais : 4 septembre 1952

N° 24

Circonférence (mm)	360
Charge maxima (kg)	19 000
Poids (kg)	8,100
Humidité (%)	10,5

Charges
(en kg)



Nombre de tours de volant
2 cm = 10 tours = 5,75 mm de raccourcissement.

FIG. 19.

Essais en flambement

Essence : Hêtre (longueur 1,60 mètre)
 Provenance : Forêt de Haye - parcelles 47-48 - 4^e Série
 Altitude : 380 mètres
 Abattage : Février 1950
 Essais : 30 septembre 1952.

N° 6

Circonférence (mm)	340
Charge maxima (kg)	11 850
Poids (kg)	8
Humidité (%)	11

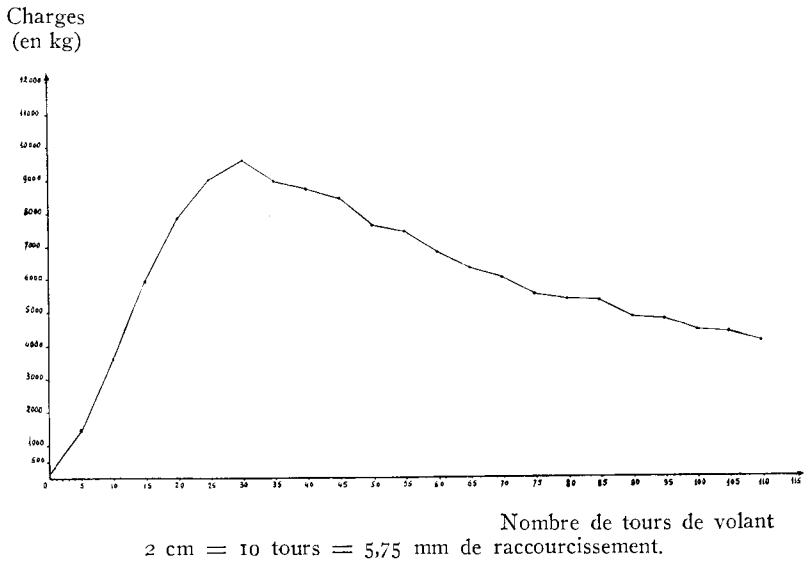


FIG. 20.

Essais en flambement

Essence : Mélèze du Japon (longueur 1,60 mètre)
 Provenance : Forêt de Servon Saint-Thomas (Marne)
 Altitude : 180 mètres - Argonne
 Abattage : Mars 1950
 Essais : 31 octobre 1952.

N° 2

Circonférence (mm)	370
Charge maxima (kg)	9,550
Flèche (mm) :	
Début	20
Fin	210
Poids (kg)	9,100
Humidité (%)	18

fuse, mais qu'il est souvent possible d'ajuster à une courbe de *régression* représentative.

Les tableaux V et VI et le graphique 23 (voir plus loin) montrent comment peuvent être construites ces tables de corrélation et ces courbes de régression.

F. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

1° Diagrammes individuels

a) Flexion statique

1. Elasticité

L'étude de la limite d'élasticité des bois présente, pour certains usages, un incontestable intérêt. Mais cette étude est longue et nous n'avons pas cru devoir nous y livrer, dans le cadre de nos recherches spécialement orientées vers l'emploi en soutènement.

Sur les diagrammes individuels, la longueur de la branche rectiligne initiale donne *une certaine idée* de l'élasticité des bois. Toutefois, surtout si les bois manifestent une rupture brutale, la période élastique est sensiblement plus courte que ne le laisse croire la longueur de la branche rectiligne du diagramme. Ceci ne devra pas être perdu de vue.

2. Souplesse

Les bois souples atteignent une flèche visible à l'œil (flèche d'alerte) sous une charge qui est sensiblement inférieure à la charge maximum et qui, évidemment, la précède.

En flexion statique, par exemple, la « flèche d'alerte », fca (égale à 3 % de la portée) est atteinte longtemps avant la « flèche de rupture », fcm (correspondant à la charge maxima) et le diagramme offre une période de « sécurité réelle » (proportionnelle à la différence des abscisses fcm et fca), particulièrement importante.

On appellera « bois souples » ceux qui, jusqu'à la « flèche d'alerte », présentent un diagramme des flèches nettement ascendant. L'angle α formé par l'axe des x et par la droite joignant le point de rencontre des deux axes de coordonnées et le point du diagramme correspondant à la flèche d'alerte, sert à caractériser cette propriété (voir figure 8), compte tenu des échelles fixées plus haut pour les abscisses et les ordonnées.

En gros,

- les bois très souples correspondent à α inférieur à 45° ,
- les bois souples correspondent à α compris entre 45 et 60° ,
- les bois raides correspondent à α compris entre 60 et 75° ,
- les bois très raides correspondent à α supérieur à 75° .

Un second coefficient angulaire, méritant de retenir l'attention, est celui de la tangente à la courbe au point correspondant à la « flèche d'alerte » (voir fig. 8). Ce point ouvre la période de sécurité réelle et quand la tangente à la courbe y fait un angle appréciable avec l'horizontale, on peut en déduire que le bois conserve encore une réserve importante de résistance.

Toutefois, cet angle n'est pas utilisable pour le classement des bois car les graphiques de certains bois raides possèdent encore à ce niveau un coefficient angulaire élevé, qui très rapidement, tend vers zéro. Au contraire, certains bois souples ont un coefficient angulaire faible, mais qui tend extrêmement lentement vers zéro.

Les diagrammes 5 à 12 illustrent ces diverses considérations.

3. Sécurité

La période de « sécurité réelle » est comprise entre le moment où la charge d'alerte (ca) est atteinte et celui correspondant à la charge maxima (cm).

Cette période est caractérisée, soit par la différence des abscisses (x_{cm} et x_{ca}), soit par la surface du diagramme comprise entre les deux parallèles à l'axe des ordonnées menées par x_{ca} et x_{cm} .

La différence des abscisses chiffre, d'une part l'importance du signe avertisseur à vue et, d'autre part, approximativement, l'ordre de grandeur de la durée de la période de sécurité réelle.

La différence des ordonnées, y_{cm} et y_{ca} , chiffre l'importance de la réserve de résistance des pièces après que la flèche d'alerte a été atteinte.

La surface du diagramme représente le travail nécessaire pour réaliser la rupture de la pièce (force \times déplacement). Plus cette surface est grande, mieux évidemment le bois résiste à la rupture et plus longue est la période de sécurité réelle, pendant laquelle l'ouvrier peut intervenir pour consolider le soutènement : les pièces se rompent d'ailleurs en flexion sous des charges beaucoup plus faibles qu'en flambement. La rupture d'une pièce en flexion n'entraîne donc pas forcément l'effondrement complet d'un soutènement et l'ouvrier peut intervenir pour consolider une pièce déformée par flexion. L'importance des signes avertisseurs donnés par les pièces en flexion est donc incontestable.

4. Résistance

La valeur de la charge maxima (cm) est importante à considérer, ainsi que celle de la flèche (cm) qui lui correspond.

Plus la charge maxima est élevée, plus, évidemment, les pièces sont capables de supporter une charge élevée venant peser accidentellement sur elles. Plus la flèche à ce moment-là est grande, plus important est le signe avertisseur à vue. Quand la rupture de cette pièce se produit, les charges peuvent encore être contenues par les pièces verticales du soutènement et l'observation des signes aver-

tisseurs donnés par la pièce en flexion garde encore une certaine signification

Il arrive cependant que certains bois soient *résistants* (c'est-à-dire qu'ils supportent des charges élevées), mais qu'ils ne soient pas *sûrs*, si à la charge maxima correspond une flèche (fcm) inférieure à la valeur de la flèche d'alerte (qui dans ce cas ne survient qu'après la rupture). Dans ce cas, aucun signe avertisseur à vue ne vient précéder la rupture et la sécurité du mineur ne repose que sur les signes avertisseurs à l'ouïe et sur la résistance des pièces verticales du soutènement.

5. Nerf

Le lent défilage du bois avec perte de charge, lentement décroissante et avec production de signes avertisseurs nombreux (en particulier de craquements), constitue le « *nerf* » du bois.

Il s'apprécie sur les diagrammes par l'inclinaison de la branche descendante du diagramme par rapport à l'horizontale.

Chez certains bois, cette branche descendante est d'abord peu inclinée sur l'horizontale, puis, de décrochements en décrochements, elle devient plus ou moins rapidement verticale.

Chez d'autres bois, au contraire, après un ou plusieurs décrochements, plus ou moins verticaux, la courbe se poursuit par une branche horizontale ou faiblement inclinée d'ordonnée plus ou moins faible (voir graphiques 5 à 16).

Il serait assez difficile de classer les ruptures d'après l'aspect des graphiques et d'en déduire un classement des bois selon le « *nerf* ».

On distingue en gros :

1) les bois à rupture *brutale*, se produisant en un ou un petit nombre de décrochements verticaux ou presque verticaux (ces décrochements correspondent généralement à des craquements violents) ;

2) les bois à rupture *rapide*, se produisant en une série de décrochements d'amplitude moyenne, échelonnés comme les marches d'un escalier ;

3) les bois à rupture *progressive*, se produisant en une longue série de petits décrochements dessinant une branche descendante inclinée à 45° environ ;

4) les bois à rupture *lente*, se produisant sous forme de nombreux décrochements, alternant avec des reprises de charge, ce qui donne un graphique à branche descendante faiblement inclinée sur l'horizontale, mais atteignant cette horizontale ;

5) les bois à rupture *très lente*, dont la branche descendante du graphique est très faiblement inclinée sur l'horizontale et n'atteint pas l'axe des abscisses dans les limites de l'expérience.

Ces cinq catégories correspondent aux bois :

- sans nerf,
- à faible nerf,
- à nerf moyen,
- à nerf développé,
- à nerf très développé.

La surface totale du diagramme de rupture correspond au *travail total de rupture*. Elle peut se subdiviser en trois parties si on trace des parallèles à l'axe des ordonnées par l'abscisse correspondant à la flèche d'alerte et par celle correspondant à la charge maxima.

- 1) le travail de *mise en charge* (avant la flèche d'alerte),
- 2) le travail de *rupture proprement dite* (entre l'alerte et le maximum),
- 3) le travail de *défilage* (après le maximum).

Du calcul de ces surfaces, on déduit un classement des échantillons.

b) **Flambement**

Les diagrammes de flambement sont plus difficiles à interpréter. En abscisse figurent les déplacements relatifs des plateaux (plus ou moins proportionnels au temps). En ordonnée, sont portées les charges correspondantes. La surface du diagramme correspond, comme dans le cas de la flexion (force \times déplacement) au travail de rupture.

Le tracé du graphique n'est pas continu, mais construit point par point, ces points étant plus ou moins espacés selon le temps dont disposent les opérateurs. (Voir figures 17 à 20).

Entre deux lectures, le tracé du diagramme est indéterminé. Il est donc arbitrairement dessiné, sous forme d'une ligne droite. Mais surtout, la valeur de la charge maxima n'est presque jamais connue. Elle est seulement approchée par deux lectures qui lui sont, l'une et l'autre, inférieures. Seules, les machines des laboratoires des houillères permettent de lire (avec une certaine approximation) la valeur de la charge maxima au moment précis de la rupture.

Toutefois, l'une et l'autre de ces approximations sont suffisantes pour comparer entre eux des échantillonnages.

En flambement, la rupture est presque toujours beaucoup plus rapide qu'en flexion et il est difficile, par exemple, de classer les bois selon le nerf. On distinguera seulement les ruptures brutales, rapides et progressives.

Les signes avertisseurs tels que flèche apparente, craquements, sont portés sur les graphiques à l'aide de signes conventionnels, mais ils ne permettent pas de subdiviser le graphique en sections, comme dans le cas de la flexion statique.

A noter, en outre, comme on le verra dans la seconde partie

consacrée aux résultats, que la rupture en *compression pure*, qui survient avec des pièces à faible élanement, donne des diagrammes sensiblement différents de ceux donnés par les ruptures en flambement.

2° Interprétation statistique des résultats

a) Connaissance et définitions des séries statistiques dans le cas où une seule variable est considérée à la fois

Pour un échantillonnage donné, les essais donnent une population de résultats qui peuvent être groupés sous forme de tableaux ou de graphiques. Cette population constitue une *série statistique*.

Le cas le plus simple est réalisé quand on se contente d'étudier la distribution d'une population de résultats d'après les fréquences observées d'une seule variable à la fois.

On appelle *distribution* la suite des valeurs observées du caractère, ordonnées par ordre de grandeur croissante ou décroissante, chaque valeur distincte étant répétée autant de fois qu'elle s'est présentée.

Les données sont en général groupées en classes d'égale étendue et présentées sous forme de tableaux à deux ou quatre colonnes (tables des nombres de répétition ou des fréquences), comme le tableau n° I, de *diagrammes en bâtons*, d'*histogrammes* ou de *polygones* construits sur les diagrammes des *fréquences successives* ou des *fréquences cumulées*, comme ceux des figures 21 et 22.

Les polygones construits avec les résultats de nos essais ont, en général, la forme de « courbes en cloche » se rapprochant plus ou moins de la courbe théorique de Gauss. Ces distributions de la fréquence d'un caractère mesurable (d'une variable) sont caractérisées, comme on le sait, par deux catégories de paramètres qui définissent la *position* et la *dispersion* des observations.

Les paramètres de position les plus commodes sont la *moyenne arithmétique* et la *dominante*. La *médiane* sert surtout pour le calcul des paramètres de dispersion comme les quartiles.

Nous référant aux ouvrages de statistique, aux normes NF X 001-002 et 003 et au fascicule de documentation FD X 05-010, nous avons désigné la moyenne arithmétique d'une variable x par le symbole \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{\sum n_i x_i}{n}$$

n_i étant l'effectif (nombre de répétitions de chacune des valeurs de la variable x_i

et n étant le nombre total des observations.

TABLEAU I
 EXEMPLE DE TABLEAU REPRESENTATIF
 D'UNE POPULATION DE RESULTATS
 (essais de pin maritime en flexion)

Valeurs successives de la variable (centre des classes) xi	Nombre d'observations dans chaque classe n	$\sum n xi$	écarts arithmétiques 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>2</u>	<u>12,0</u>	<u>+ 2,370</u>		<u>+ 4,74</u>	<u>11,24</u>
	408	1,481,2	+ 3,910		+ 142,30	300,76
					- 142,14	
					+ 0,16	

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

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

$$\text{dominante} = 3,20$$

$$\text{1er quartile} = 2,908$$

$$\text{médiane} = 3,406$$

$$\text{3e quartile} = 4,104$$

$$\text{écart interquartile} = 4,104 - 2,908 = 1,196$$

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

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

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

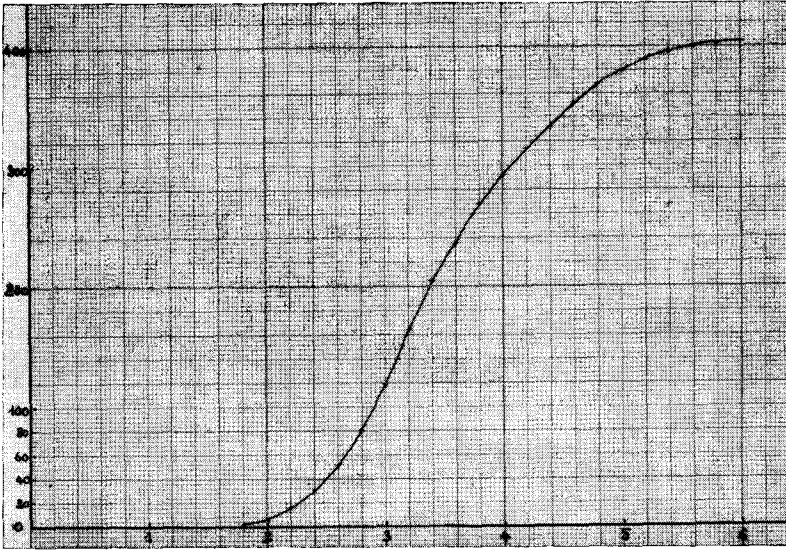
$$\frac{0,697}{0,859} = 0,8114 \neq 0,8$$

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

$$s = 0,859$$

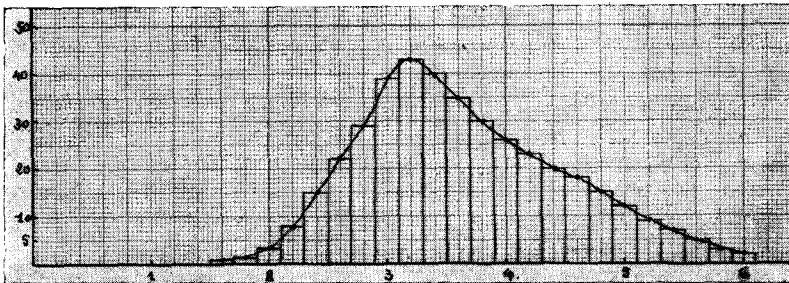
$$\text{écart-type} = \sqrt{(s^2)} = \sqrt{0,7372} = 0,859 = s$$

Fréquences
cumulées



Valeur de la variable

Fréquence
de la variable

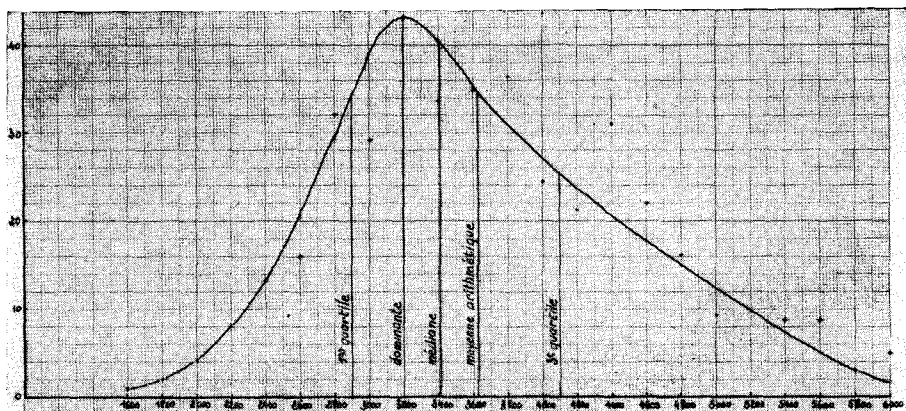


Valeur de la variable

FIG. 21.

*Diagramme cumulatif d'une population de résultats
(même population que celle du tableau 1)*

Fréquence
des observations



Valeurs successives
de la variable

FIG. 22.

Exemple de polygone de répartition
(population du tableau 1)

On appelle fréquence de la valeur x_i de la variable x le rapport

$$f_i = \frac{n_i}{n}$$

Les paramètres de dispersion les plus utilisés sont les *quartiles* et l'*écart type empirique*.

Les valeurs relatives du 1^{er} quartile, de la médiane et du troisième quartile donnent une idée assez précise de la forme du graphique de répartition.

On appelle *médiane* un nombre tel que la fréquence des données supérieures à ce nombre et la fréquence des données inférieures à ce nombre, soient toutes deux au plus égales à $1/2$.

De même, le *premier quartile* (quartile de gauche) est un nombre tel que la fréquence des données inférieures à ce nombre et la fréquence des données supérieures à ce nombre soient, la première, au plus égale à $1/4$, la seconde au plus égale à $3/4$.

On définit de la même manière le *troisième quartile* (quartile de droite) ou les *déciles*, *centiles*, etc..

On appelle *moment apparent* d'ordre q la moyenne arithmétique des q^{mies} puissances des *différences* entre les valeurs du caractère observé et la valeur de la moyenne arithmétique. Le mot *différence*

désigne une valeur *algébrique* tandis que le mot *écart* désigne la valeur absolue d'une différence.

On appelle *fluctuation empirique* ou *variance empirique* le moment apparent d'ordre 2.

On appelle *écart-type empirique* (ou écart moyen quadratique empirique, par rapport à la moyenne arithmétique — ou encore écart type moyen quadratique) la racine carrée de la fluctuation empirique.

On appelle *écart médian par rapport à la moyenne arithmétique*, la moyenne arithmétique des écarts (c'est-à-dire des valeurs absolues des différences) par rapport à la moyenne arithmétique.

L'*interquartile* est la différence entre le troisième et le premier quartile.

Le *semi-interquartile*, moitié de l'interquartile, joue un rôle qui sera précisé plus loin.

Dans un but de simplification, les mots variance, écart-type et écart moyen arithmétique désignent respectivement, dans ce qui suit, la fluctuation empirique, l'écart-type empirique et l'écart médian par rapport à la moyenne arithmétique tels qu'ils viennent d'être définis. Par exemple, le tableau I donne les écarts arithmétiques, les carrés des écarts, la variance et l'écart-type de la distribution.

Le polygone (graphique) de répartition de la figure 22 est divisé en 4 quartiles dont les valeurs respectives sont de 2,908 - 3,406 et 4,104.

Des relations simples permettent de voir dans quelle mesure la distribution étudiée se rapproche d'une distribution normale. Par exemple, le rapport entre l'écart moyen arithmétique et l'écart-type doit être voisin de 0,8 dans le cas d'une distribution normale.

Dans le cas de la population du tableau I, ce rapport est égal à 0,8114. On peut étudier aussi le rapport du semi-interquartile à l'écart-type (qui doit être voisin de 2/3). On désigne quelquefois sous le nom d'*écart probable* le semi-interquartile, mais ce terme prête à confusion quand on se livre à des considérations relevant du calcul des probabilités. Dans le cas étudié, l'écart interquartile = 4,104 — 2,908 = 1,196. le semi-interquartile (e_p) = 0,598 et le

$$\text{rapport } \frac{e_p}{s} = \frac{0,598}{0,859} = 0,696.$$

Ces deux chiffres, un peu plus forts que les valeurs-types, accusent la dissymétrie du graphique étudié, du côté des abscisses supérieures à celle de la dominante et montrent dans quelle mesure il s'écarte d'une courbe normale.

Dans le cas de nos recherches sur la résistance mécanique des bois de mine, les pièces constituant les échantillonnages subissent l'influence d'un grand nombre de causes de variation (sol, répartition et densité des tiges, voisinage d'une lisière, etc...). Certaines de

ces causes sont indépendantes les unes des autres (sol et lisière par exemple), d'autres sont dépendantes les unes des autres (sol et densité des tiges par exemple). Certaines sont très petites (cela peut être le cas pour une petite variation de profondeur de sol), *d'autres sont grandes* (influence de la lisière). Il y a donc de fortes chances pour que les *populations d'arbres* étudiées ne se distribuent pas exactement suivant la loi de Gauss, même si on procédait à l'essai de toutes les tiges d'une parcelle. Toutefois, plus le nombre de tiges essayées est grand, plus la population de *résultats* se rapproche de la loi normale, les échantillonnages éliminant les aberrants, *comme le fait le commerce des bois de mine*.

Le temps nécessaire (et les crédits) pour façonner, amener au laboratoire et expérimenter chaque pièce sont trop élevés pour qu'il nous soit possible d'effectuer des essais sur des échantillonnages nombreux. C'est pourquoi nous nous sommes contentés, pour chaque échantillonnage, de calculer l'écart-type, l'écart moyen arithmétique et le semi-interquartile, de comparer leurs rapports avec les deux rapports classiques des courbes de Gauss :

$$e_a = 0,8 \text{ s (0,7971 s)} \quad e_p = 2/3 \text{ s (0,6745 s)}$$

Le cas échéant, nous avons cherché à voir également quel pourcentage de résultats était compris, de part et d'autre de la moyenne, dans les intervalles égaux à 2 s et 4 s (deux ou quatre fois l'écart-type). Dans le cas d'une courbe de Gauss, ces pourcentages sont respectivement de 68 et 95 %.

Dans le cas de la population étudiée plus haut, les pourcentages calculés sont de 65,7 % et 95,8 % (la courbe étant dissymétrique).

Ceci montre qu'il y a 65,7 chances sur cent pour qu'un étau extrait de la population qui a servi à constituer l'échantillonnage donne en flexion statique sur deux mètres de portée, une résistance comprise entre 2,771 et 4,489 tonnes et 95,8 chances sur cent pour que sa résistance soit comprise entre 1,912 et 5,348 tonnes.

Ceci permet, si la distribution est symétrique, de chiffrer le pourcentage de la population dont la résistance est supérieure à une valeur déterminée a (par exemple à un minimum de résistance exigible), renseignement particulièrement intéressant.

L'*écart-réduit* de cette valeur de la variable est le rapport

$$\frac{a - \bar{x}}{s} = e_r$$

a étant cette valeur, \bar{x} la moyenne arithmétique et s l'écart-type.

Les tables de Gauss comme celle de la table II permettent de calculer la probabilité qu'il y a d'obtenir un résultat au moins égal ou supérieur à cette valeur.

TABLEAU II

Ecart-réduit	Probabilité P	Ecart-réduit	Probabilité P
0	1	1,960	0,05
0,126	0,90	2,054	0,04
0,253	0,80	2,170	0,03
0,385	0,70	2,326	0,02
0,524	0,60	2,576	0,01
0,674	0,50	3,291	0,001
0,842	0,40	3,891	0,0001
1,036	0,30	4,417	0,00001
1,282	0,20	4,892	0,000001
1,645	0,10	5,327	0,0000001
1,695	0,09	5,731	0,00000001
1,751	0,08	6,109	0,000000001
1,812	0,07	-	-
1,881	0,06	-	-

Si on veut savoir, par exemple, quelle probabilité il y a d'avoir une résistance supérieure à 4 tonnes avec la population étudiée précédemment, on calcule :

$$e_r = \frac{a - \bar{x}}{s} = \frac{4 - 3,63}{0,859} = 0,43$$

La table donne une probabilité de 67 % pour que l'écart avec la moyenne soit supérieur au chiffre envisagé, ce qui donne une probabilité de 33,5 % pour une résistance supérieure à 4 tonnes, 33,5 % pour une résistance inférieure à $\bar{x} - (4 - \bar{x}) = 3,26$ et 33 % pour une résistance comprise entre 3,26 et 4 tonnes.

Les polygones (graphiques) de répartition, bien qu'ils soient établis avec un nombre assez limité de mesures, permettent donc de tirer des conclusions intéressantes.

Plus ils se rapprochent d'une courbe de Gauss, plus ils sont censés représenter fidèlement la population dont ils sont issus.

En effet, lorsqu'une grandeur subit l'influence d'un grand nombre de causes de variation et que ces causes sont très petites et indépendantes les unes des autres, les valeurs individuelles des mesures se distribuent suivant la loi de Gauss.

La forme des polygones, la surface qu'ils engendrent donnent, on l'a vu, d'autres types de renseignements. En particulier, la sur-

face comprise entre deux ordonnées parallèles donne une idée de la probabilité qu'il y a d'obtenir les résistances entre les deux valeurs correspondantes des abscisses.

Mais il est possible également de déterminer la cause d'anomalies particulières de la courbe. Si tous les bois essayés ont la même grosseur, par exemple, la courbe se rapprochera beaucoup d'une courbe de Gauss, mais si les grosseurs s'échelonnent par exemple entre 50 et 70 cm de circonférence, la courbe aura une dissymétrie vers les abscisses les plus élevées, la résistance en cm^2 croissant avec la section (tout au moins en flexion).

Il se peut aussi que la courbe soit anormalement étalée ou à deux sommets, parce que l'échantillonnage comprend deux ou plusieurs populations. Si, par exemple, on mélange des épicéas ayant crû dans les Vosges dans un fond de vallée et des épicéas provenant de sommets voisins, on aura une courbe à deux dominantes.

En général, dans nos essais, les distributions des résultats isolés s'écartent quelque peu de la loi de Gauss. Mais si on étudie les lois de distribution des moyennes de plusieurs séries d'échantillons prélevés au hasard dans la population, on observe que la distribution des moyennes se rapproche d'autant plus de la loi de Gauss que les échantillons sont à plus fort effectif.

Si σ est l'écart-type d'une population d'observations, l'écart-type des moyennes de lots de n échantillons est :

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Dans une population de résultats, l'écart-type, tel qu'il peut être obtenu grâce à la formule :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}}$$

diffère sensiblement de l'écart-type vrai.

La dispersion, dans la population totale, est une combinaison de la dispersion des mesures autour de leur moyenne arithmétique (qui est plus ou moins différente de la moyenne exacte et possède sa dispersion propre) — et de la dispersion de cette moyenne arithmétique autour de la moyenne exacte, c'est-à-dire, respectivement.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{et} \quad \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

La loi d'additivité des variances ($\sigma^2 (x + y) = \sigma^2 x^2 + \sigma^2 y^2$)
 permet de dire que la variance $\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}$ est une *estimation*

de $\sigma^2 - \frac{\sigma^2}{N}$ (variance d'une mesure diminuée de la variance de
 la moyenne de N mesures), c'est-à-dire de $\frac{(N-1)}{N} \sigma^2$. La vraie

valeur de σ^2 n'est donc pas $\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}$ mais $\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N-1}$ et

la vraie valeur de σ est $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N-1}}$ valeurs qu'on utilise

parfois avec les petites séries d'essais.

b) Application à l'étude de tests statistiques

Comme on l'a vu, il nous faut tirer des conclusions d'un petit nombre d'observations. Ces conclusions nous amènent à déduire que la population totale, dont est tiré l'échantillon, se distribue suivant une loi statistique bien définie comme, par exemple, la loi de Gauss. Dans quelle mesure cette hypothèse est-elle fondée ou, plus précisément, *n'est-elle pas infirmée* par l'échantillon étudié. Bien entendu, une certitude *absolue* ne peut être atteinte, mais on peut se fixer, à l'avance, un *degré de certitude*, au delà duquel l'hypothèse sera considérée comme fondée. On adopte généralement pour cela, en statistique, le seuil de signification 5 %, mais on a parfaitement le droit de choisir un degré de certitude plus élevé.

Ceci permet de replacer ensuite l'échantillon, étiqueté d'un taux de probabilité, dans le groupe de toutes les éventualités qui peuvent intervenir par constitution d'un nouvel échantillonnage au sein de la population totale.

Mais, encore une fois, il ne nous est pas toujours possible de déduire de nos essais une loi statistique simple, applicable aux populations dont nos échantillonnages sont issus.

Dans la pratique, nous sommes souvent amenés à constater l'existence d'écarts entre l'échantillon étudié et une valeur théorique correspondante, déduite d'une loi statistique, ou entre deux échantillonnages tirés de la même population. Nous avons alors à *tester une hypothèse nulle*, c'est-à-dire à décider si *les écarts constatés sont seulement imputables au hasard de l'échantillonnage*. Si la réponse contredit l'hypothèse nulle, les écarts constatés sont si-

gnificatifs et non imputables au hasard de l'échantillonnage, ce qui prouve, par exemple :

ou bien que la loi statistique envisagée ne convient pas à la population,

ou bien que l'échantillon contient un mélange de population.

Il reste à noter d'ailleurs que, même si les tests ne décèlent pas d'écart significatif, cela ne veut pas dire qu'il n'y en a pas, mais seulement que la précision des essais effectués n'a pas permis d'en déceler. Autrement dit, « les tests peuvent apporter la preuve de l'existence d'une cause de variation non aléatoire, ou la non-preuve de cette existence, mais jamais la preuve de la non-existence » (Vessereau).

Plus les observations sont abondantes, mieux on est armé pour réfuter l'hypothèse nulle, c'est-à-dire pour *décèler une cause de variations à caractère systématique, mais peu accusées*. Autrement dit, « plus l'information est abondante, plus est étendu le champ des hypothèses que l'on est en mesure de repousser, plus étroit le champ des hypothèses admissibles et plus on a de chances de révéler la vraie nature du phénomène » (Vessereau).

Pour cela, on dispose d'un certain nombre de tests, les uns grossiers (symétrie par rapport à la moyenne), les autres plus ou moins précis (caractéristiques de la loi de Gauss, coefficient de Pearson, critérium χ^2).

Certains tests même s'appliquaient à de petits échantillons, comme le test « t » de Student-Fisher.

On sait par exemple que, dans une population Gaussienne, 95 % des valeurs sont comprises entre des limites égales à la moyenne \pm deux fois l'écart-type. Si le nombre observé est extérieur à ces limites, l'hypothèse est infirmée.

On peut également tester une moyenne (par exemple celle d'une série d'échantillons prélevés au sein d'une population plus nombreuse). L'écart-type des valeurs individuelles de la population et

celui de la moyenne sont entre eux comme 1 et $\frac{1}{\sqrt{n}}$.

L'écart-type $\frac{s}{\sqrt{n}}$ ainsi obtenu permet de déterminer les limites du seuil

de probabilité 5 % et de tirer les mêmes conclusions que ci-dessus.

Un point particulièrement intéressant, étant donné le peu de temps et de crédits dont nous disposons pour nos essais, est de tester les résultats obtenus avec de petits échantillons. Ceci est possible grâce au test « t » de STUDENT-FISHER.

Ayant exprimé, en valeur algébrique, la somme des différences entre deux séries de mesures des valeurs d'une variable x , dont la

distribution totale est supposée normale, on cherche à tester l'hypothèse nulle, c'est-à-dire à prouver que les deux séries de mesures sont identiques. Mais on ne connaît pas l'écart-type vrai σ de la variable. Il n'est donc pas possible de calculer l'écart-type vrai

$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ correspondant à la moyenne des N mesures effectuées sur cha-

cun des deux échantillonnages soumis à la comparaison. *STUDENT* a montré que pour un petit nombre de mesure (N) l'écart-réduit (t) peut être calculé à partir de l'estimation de l'écart-type (s), déterminé sur la population des différences algébriques entre les résultats des deux échantillonnages expérimentés.

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}}$$

($x_1, x_2 \dots x_n$ sont les différences algébriques entre les valeurs des résultats de deux échantillonnages et $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N}$.)

x_n est prise en valeur algébrique). Cet écart-réduit (t) suit une loi de distribution non gaussienne dont la forme analytique a été établie puis présentée sous forme de tables numériques par *FISHER* (voir tableau III).

Comme la table de la loi de Gauss, cette table de la distribution de « t » permet de calculer la probabilité pour qu'une valeur expérimentale t, prise en valeur absolue, soit atteinte ou dépassée du fait de « l'échantillonnage ».

On calcule donc $t = \frac{\bar{x}}{s/\sqrt{n}}$ et on trouve dans le tableau à

double entrée (N et t) la probabilité pour que les deux lots soient significativement différents ou non.

On en trouvera des applications dans la Seconde Partie de cette étude, présentant les résultats des recherches.

Un autre test intéressant pour la comparaison d'échantillonnages est le « criterium χ^2 de Pearson ».

Il permet de comparer successivement plusieurs échantillonnages (distributions observées) à une distribution théorique (loi de Gauss ou de Poisson, etc...).

Si on effectue une comparaison entre fréquences théoriques (c), telles qu'on peut les calculer en connaissant la loi statistique à laquelle semble obéir la distribution, et fréquences observées (o), on obtient les différences algébriques dont la somme ne donne aucune

TABEAU III

TABLE DE LA DISTRIBUTION DE t

α	P	0,50	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,820	4,303	6,965	9,925	
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,132	
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	
10	0,129	0,260	0,396	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,095	
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	
15	0,128	0,258	0,392	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	
	0,12566	0,25335	0,38532	1,52440	0,67449	0,84162	1,03643	1,28155	1,64485	1,95996	2,32635	2,57583	

indication précise. La somme des carrés de ces différences $(o - c)^2$ donne davantage de renseignements. Mais la somme :

$$\chi^2 = \Sigma \frac{(o - c)^2}{c}$$

appliquée à chacune des classes à comparer, donne des renseignements beaucoup plus précis. Plus χ^2 est faible, plus les différences entre distribution observée et distribution théorique sont, évidemment, faibles et imputables au hasard de l'échantillonnage.

La table graphique numéro IV donne, en fonction de χ^2 et du nombre n' de *degrés de liberté*, la probabilité pour que la distribution observée ne soit pas significativement différente de la distribution théorique.

Le nombre de *degrés de liberté* est le nombre de *comparaisons indépendantes* que l'on effectue entre les distributions. Par exemple, si le tableau de comparaison comporte 13 classes, le nombre de comparaisons indépendantes est de 12, puisque si ces douze conditions sont remplies, la treizième l'est ipso-facto.

Il existe aussi DES TESTS PERMETTANT DE COMPARER NON PLUS LES MOYENNES, MAIS LA VARIABILITÉ (variance ou écart-type) de deux échantillonnages. Ces tests ont pour but :

de voir si un groupe d'échantillons est homogène,

de voir, dans la variabilité *observée*, d'une population de résultats, quelle part revient au hasard et quelle part a des causes systématiques (le « hasard » n'étant d'ailleurs que l'ensemble des causes qui ne peuvent pas ou qui n'ont pas encore pu être identifiées).

Dans une distribution, on repère les groupes de valeurs susceptibles d'avoir été affectés par une cause systématique collective de variabilité, et on constitue, avec ces groupes, deux ou plusieurs sous-populations, dont on peut calculer la moyenne (\bar{x}'), par exemple. L'écart d'une valeur donnée (x'_1) avec la moyenne générale (\bar{x}) se compose :

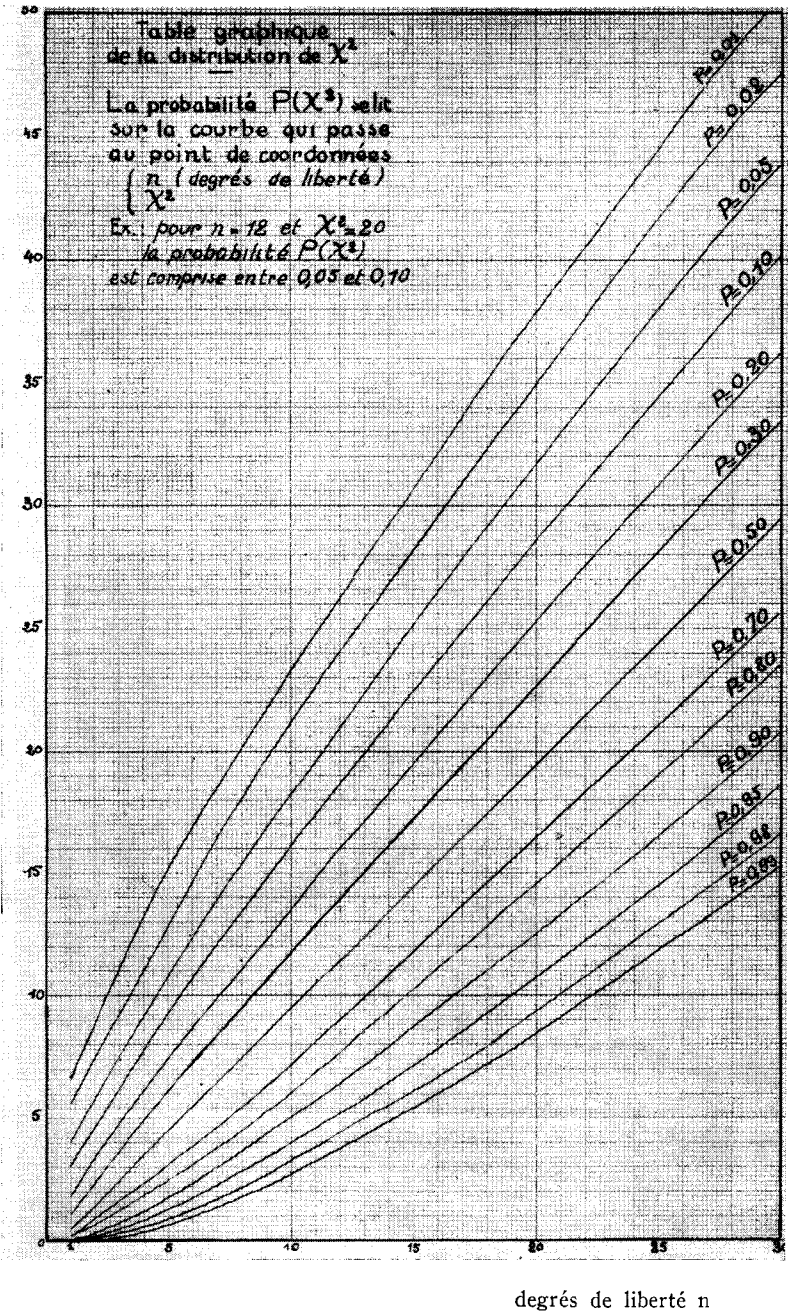
1) d'un écart entre x'_1 et la moyenne de sa sous-population : *l'écart aléatoire* = $x'_1 - \bar{x}'$ (cet écart provient du « hasard » de l'échantillonnage tel qu'il a été défini ci-dessus).

2) d'un écart entre la moyenne de la sous-population (\bar{x}') et la moyenne générale : *écart contrôlé* = $\bar{x}' - \bar{x}$.

Si, pour l'ensemble des individus constituant la série observée, *l'écart aléatoire est significativement plus faible que l'écart contrôlé*, les sous-populations, arbitrairement séparées, peuvent être considérées comme des populations réellement distinctes.

De nombreuses applications de cette méthode d'analyse de la variabilité pourraient être faites en matière de recherches forestières.

TABLE IV



c) **Cas de plusieurs variables étudiées simultanément**
La dépendance statistique
Tables de corrélation et lignes de régression

Un des points les plus importants de nos recherches est de *déceler si deux caractères étudiés simultanément dépendent l'un de l'autre*.

Par exemple, y a-t-il une relation entre la résistance totale et la grosseur? Dans l'affirmative, peut-on chiffrer cette relation?

On peut établir une table de corrélation entre la grosseur et la résistance pour une essence et une provenance données et la traduire par un graphique en portant en abscisses les grosseurs et en ordonnées les charges.

On obtient ainsi un nuage de points qui présente généralement une orientation montrant (ce qu'on prévoit évidemment à l'avance) que les charges totales que peuvent supporter les pièces, croissent quand les grosseurs de ces pièces augmentent.

Il est possible, pour chaque valeur des abscisses de x , par exemple, de calculer la moyenne des ordonnées y . Ces moyennes s'échelonnent sur une ligne, plus ou moins régulière, qui est la *ligne de régression de la variable y par rapport à la variable x* . On peut aussi de la même manière, déterminer une ligne de régression de la variable x par rapport à y . Voir tableaux V et VI.

La figure 23 montre un tel graphique de corrélation sur lequel ont été tracées deux lignes de régression. Les deux lignes de régression sont des droites sécantes autour desquelles les points dessinent un nuage de contour général elliptique aplati, ce qui témoigne d'une dépendance certaine entre les deux caractères observés.

Mais ceci n'est pas toujours le cas. Si on étudie d'autres variables, il se peut que les nuages de points n'aient aucune orientation privilégiée (voir III^e Partie de cette étude).

Dans l'exemple choisi (relation de dépendance entre la résistance et la grosseur), le nuage de points offre évidemment une orientation privilégiée et les deux lignes de régression toutes deux obliques par rapport aux axes de coordonnées, se coupent suivant un angle aigu.

On calcule les coefficients angulaires de ces deux droites :

$$b = \frac{\sum n_c (x_c - \bar{x}) (y_c - \bar{y})}{\sum n_c (x_c - \bar{x})^2}$$

Le coefficient de corrélation est la moyenne géométrique entre les coefficients des deux droites de régression. Il a une très grande signification pour définir la dépendance statistique de deux variables. Le coefficient est évidemment compris entre + 1 et - 1 et il

TABLEAU V
REGRESSION DE x PAR RAPPORT A y

y	x	n	n'	Σny	Σnx	$y' = \frac{\Sigma ny}{\Sigma n}$	$x' = \frac{\Sigma nx}{\Sigma n}$	$y' - \bar{y}$	$x' - \bar{x}$	$(y' - \bar{y})(x' - \bar{x})$	$(x' - \bar{x})^2$	$n(x' - \bar{x})^2$
1,8	18,2	2										
2,0	19,4	3										
2,2	18	8										
2,4	18	14										
2,6	18,6	12	39	92	713,8	2,359	18,30	- 1,552	- 2,12	3,290	4,494	175,282
2,8	18,8	28										
3,0	19,4	28										
3,2	19,4	47										
3,4	20	35										
3,6	19,6	35	173	557,8	3367,4	3,224	19,46	- 0,687	- 1,02	0,701	1,040	179,920
3,8	20,2	31										
4,0	21,2	26										
4,2	21,2	23										
4,4	21,4	31										
4,6	22	17	128	533	2702,4	4,164	21,11	+ 0,253	+ 0,63	0,159	0,397	50,803
4,8	21,6	24										
5	21,2	8										
5,2	21,8	13										
5,4	23,4	8										
5,6	23	10	62	317,2	1367	5,116	22,05	+ 1,205	+ 1,57	1,892	2,465	152,824
5,8	22,2	4										
6	23,2	5										
6,2	22,8	3										
6,4	23,2	6										
6,6	23,8	4	22	136,6	507,6	6,209	23,07	+ 2,298	+ 2,59	5,952	6,708	147,578
6,8	24,2	3										
7	24	1										
7,2	25,4	2										
7,4	-	0										
7,6	22,4	1	7	49,4	169,8	7,057	24,26	+ 3,146	+ 3,78	11,892	14,188	99,319
		431	431	1686,0	8828,0					23,886	600,487	805,726

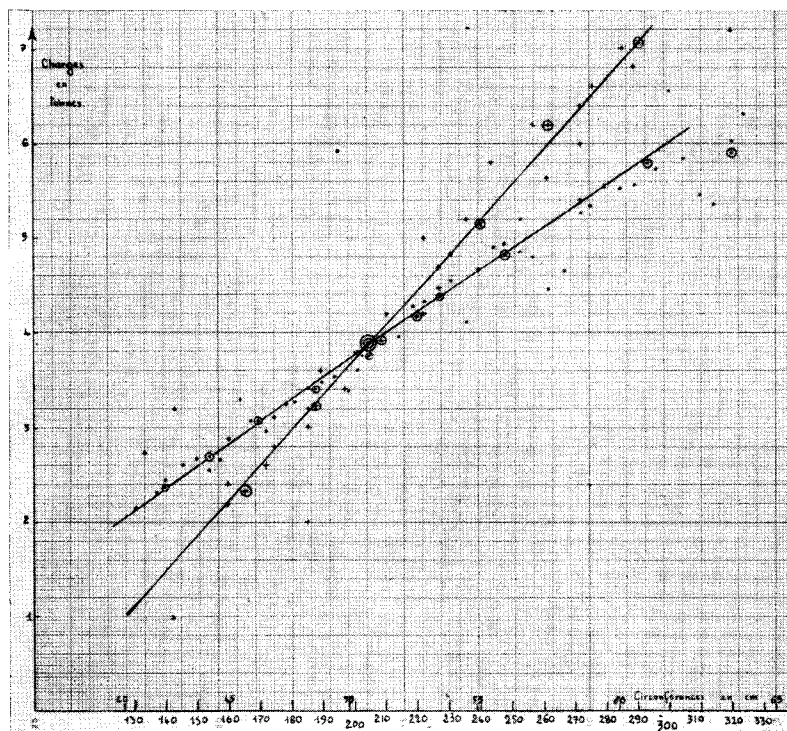
$$\bar{y} = 3,911 \quad \bar{x} = 20,48 \quad \bar{y}' = 3,911 \quad \bar{x}' = 20,48$$

$$b = \frac{n'(\bar{x}' - \bar{x})(\bar{y}' - \bar{y}')}{n'(\bar{x}' - \bar{x})^2} = \frac{600,487}{805,726} = 0,745$$

EXEMPLE D'ETUDE DE DEPENDANCE STATISTIQUE

Graphique représentatif d'une population (nuage de points)
et lignes de régression.

Charges
(en tonnes)



Circonférences en mm.

FIG. 23.

- Valeurs moyennes de y en fonction de x (par classes de 5 mm).
- ⊙ Valeurs moyenne de y en fonction de x (par classes de 25 mm).
- + Valeurs moyennes de x en fonction de y (par classes de 0,2 t).
- ⊕ Valeurs moyennes de x en fonction de y (par classes de 1 t).
- ⊗ Moyenne arithmétique de y en fonction de x et de x en fonction de y .

est d'autant plus voisin de ces limites que la corrélation est étroite.

L'effet de la variable indépendante sur la variable dépendante peut affecter la moyenne, ou la variabilité, ou les deux à la fois.

Par exemple, la résistance des gros bois est supérieure à celle des petits bois (augmentation de la moyenne). Mais la variabilité des résultats donnés par les classes des bois moyens (si la série d'essais est assez nombreuse, évidemment, pour ces catégories) et, par contre, beaucoup plus faible que celle donnée par des classes de petits bois ou de très gros bois. Également la variabilité, *dans une classe*, est moins grande que la variabilité *dans l'ensemble des classes*.

Quand une variable est indépendante et l'autre dépendante, on peut admettre comme *estimation* du coefficient de corrélation :

$$r = \frac{\Sigma (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma (x - \bar{x})^2} \times \sqrt{\Sigma (y - \bar{y})^2}} = \frac{\Sigma (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{N s_x s_y}$$

On comprend tout de suite, en examinant cette formule que, si la dépendance est absolue (liaison linéaire $y = a + bx$), le coefficient r devient alors $= \pm 1$.

Au contraire, s'il y a dépendance, le terme $\Sigma (x - \bar{x}) (y - \bar{y})$ s'annule et r devient égal à zéro.

Il existe des méthodes qui permettent d'évaluer la précision du coefficient de corrélation, en partant d'un petit nombre d'épreuves, mais nous ne les avons pas encore employées.

A noter que la corrélation n'implique pas forcément la causalité, les deux phénomènes pouvant être, l'un et l'autre, sous la dépendance d'une troisième cause externe, sans pour cela que le phénomène numéro 1 n'agisse sur le second.

On trouvera également quelques exemples d'étude de corrélation dans la deuxième et la troisième parties.

TABLEAU VI
REGRESSION DE y PAR RAPPORT A x

x (en 25 mm)	y (en tonnes)	n	n'	$x' = \frac{\sum nx}{n}$	$y' = \frac{\sum ny}{n}$	$\sum nx$	$\sum ny$	$x' - \bar{x}'$	$y' - \bar{y}'$	$(x' - \bar{x}')^2$	$(y' - \bar{y}')^2$	$(x' - \bar{x}')^2$	$n(x' - \bar{x}')^2$
16	1,840	1											
16,2	2,180	0											
16,4 x	2,760	1											
16,6	2,340	3		16,6	2,402			- 3,8	- 1,498	5,692	56,924	14,44	144,40
16,8	2,480	5	10			166,2	24,02						
17	3,200	2											
17,2	2,600	3											
17,4 x	2,680	0											
17,6	2,560	7		17,6	2,686			- 2,8	- 1,214	3,399	67,984	7,84	156,80
17,8	2,700	8	20			351,2	53,72						
18	2,900	9											
18,2	3,300	5											
18,4 x	3,060	16											
18,6	2,980	11		18,5	3,076			- 1,9	- 0,824	1,566	108,026	3,61	249,09
18,8	3,140	28	69			1278,4	212,26						
19	3,280	6											
19,2	3,300	24											
19,4 x	3,420	15											
19,6	3,460	23		19,5	3,420			- 0,9	- 0,480	0,432	39,312	0,81	73,71
19,8	3,540	23	91			1772	311,18						
20	3,400	22											
20,2	3,600	6											
20,4 x	3,780	13											
20,6	4,200	16		20,4	3,787			0	- 0,113	0	0	0	0
20,8	3,980	16	73			1488,8	276,42						
21	4,300	18											
21,2	4,320	16											
21,4 x	4,660	12		21,4	4,385			+ 1	+ 0,485	0,485	37,830	1	78
21,6	4,480	21											
21,8	4,140	11	78			1667,4	342,06						
22	4,620	12											
22,2	4,920	6											
22,4 x	4,920	10		22,4	4,885			+ 2	+ 0,985	1,970	86,680	4	176
22,6	5,240	9											
22,8	4,800	7	44			984,2	214,92						
23	4,440	5											
23,2	4,680	7											
23,4 x	5,260	5		23,4	4,984			+ 3	+ 1,084	3,252	84,552	9	234
23,6	5,320	7											
23,8	5,540	2	26			607,2	129,58						
24	5,500	6											
24,2	5,520	0											
24,4 x	5,700	4		24,3	5,808			+ 3,9	+ 1,908	7,441	111,618	15,21	20
24,6	6,560	3											
24,8	5,820	2	15			365	87,12						
25	5,400	1											
25,2	5,300	1											
25,4 x	6,000	0		25,4	5,920			+ 5	+ 2,020	10,100	50,500	25	125
25,6	6,300	3	5			127	29,60						
		431	431			8 807,4	680,88	+14,9	+ 6,482	34,337	643,426	80,91	1465,15

$$\bar{x}' = 20,4 \quad \bar{y}' = 3,900$$

$$\begin{aligned} & - 9,4 & - 4,129 \\ & + 5,5 & + 2,353 \\ & 24,3 & 10,611 \end{aligned}$$

$$b = \frac{n \sum (x' - \bar{x}') (y' - \bar{y}')}{n \sum (x' - \bar{x}')^2} = \frac{643,426}{1465,15} = 0,439$$

DEUXIEME PARTIE

EXPOSÉ DES RÉSULTATS

L'exposé des résultats est fait essence par essence, en étudiant séparément les essences *résineuses* puis les essences *feuillues*.

Pour chacun de ces deux groupes, une essence de référence est étudiée en premier, avec davantage de détails et les autres essences lui sont comparées.

En ce qui concerne les résineux, l'essence de référence est le *pin sylvestre* et, en ce qui concerne les feuillus, l'essence de référence est le *chêne* (rouvre ou pédonculé).

La totalité de nos résultats n'est pas publiée ci-après. Les lecteurs intéressés par certaines essences ou provenances pourront en demander les résultats détaillés à la 4^e Section de la Station de Recherches Forestières.

A - Essences résineuses

Les essences suivantes ont été étudiées :

1^o Essences indigènes :

- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Sapin pectiné (*Abies pectinata* D.C.)
- Épicéa commun (*Picea excelsa* Link.)
- Pin maritime (*Pinus pinaster* Sol.)
- Pin Laricio de Corse (*Pinus laricio* var. *corsicana* Loud.)
- Pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond.)
- Mélèze d'Europe (*Larix europaea* D.C.)

2^o Essences introduites :

- Pin noir d'Autriche (*Pinus laricio* var. *austriaca* Endl.)
- Pin Laricio de Calabre (*Pinus laricio* var. *calabrica* Endl.)
- Pin Weymouth (*Pinus strobus* L.)
- Douglas (*Pseudotsuga douglasii* Carr.)

Mélèze du Japon (*Larix leptolepis* Murr.)
 Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti.)
 Sapin de Nordmann (*Abies nordmanniana* Spach.)
 Epicéa de Sitka (*Picea sitchensis* Trautv. et Mey.)
 Thuya géant (*Thuja plicata* Don.)

Certaines essences n'ont pas encore été expérimentées. Elles pourront l'être dans l'avenir, pour permettre de les comparer à celles qui font l'objet de cette étude. Parmi les essences restant à expérimenter, notons :

Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.)
 Pin cembro (*Pinus cembra* L.)
 Sapin de Vancouver (*Abies grandis* Lindl.)
 Cyprès de Lawson (*Chamaecyparis lawsoniana* Parl.)
 Cyprès chauve (*Taxodium distichum* Rich.)
 Tsuga de Mertens (*Tsuga heterophylla* Sarg.)
 etc...

1° LE PIN SYLVESTRE

a) Généralités

Le Pin sylvestre occupe une aire très vaste, allant de l'Espagne à la Sibérie et de la Sicile jusqu'au nord du cercle polaire. Dans cette aire immense, on a pu distinguer *des races*, géographiquement localisées, et présentant entre elles des différences systématiques permettant de les identifier. Des différences systématiques existent également quant à l'aspect, aux propriétés physiques ou mécaniques et par suite quant aux usages des pins sylvestres de races différentes.

En France, l'aire naturelle du pin sylvestre s'étend sur les stations ensoleillées des Vosges, du Massif Central, des Alpes méridionales et des Pyrénées, donc presque toujours en montagne, sauf au nord et à l'est des Vosges où il existe à l'état vraisemblablement spontané, en plaine.

La carte n° 1 donne sommairement le contour de l'aire naturelle du pin sylvestre en France et les emplacements d'où proviennent les lots d'expérience essayés au laboratoire.

Le pin sylvestre a été très largement planté en dehors de son aire, en France, à partir du début du XIX^e siècle, en particulier dans le Massif Central, la Vallée de la Loire et le Bassin Parisien.

Il a été planté aussi bien en plaine qu'en montagne et aussi bien sur des sols siliceux et meubles qui lui conviennent que sur sols calcaires dont certains lui sont défavorables.

La plupart de ces reboisements, faits avec des graines de races quelconques, récoltées sur des arbres difformes et bas branchus, faciles à escalader, donnent des tiges de forme médiocre (flexueuses

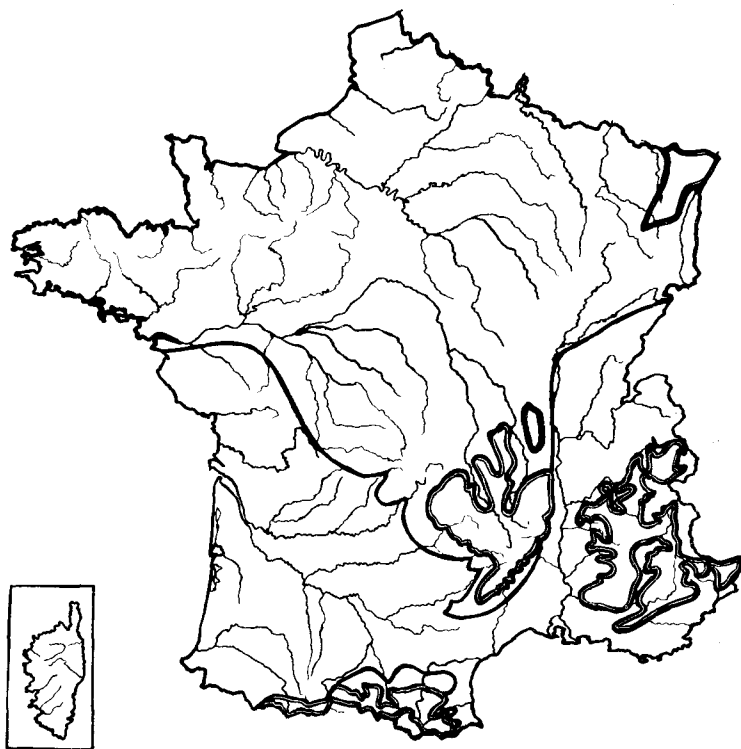




FIG. 24.

CARTE n° 1.

Aire du Pin sylvestre en France

-  Aire naturelle
-  Zone de diffusion.

et coniques) et des pièces de qualités mécaniques faibles et très variables (par suite des accroissements larges, de la texture faible et des couronnes de gros nœuds).

De grandes différences peuvent être constatées entre les échantillons issus de ces peuplements de pin sylvestre de races quelconques et les peuplements issus de bonnes races de montagne ou de races nordiques.

b) **Caractères d'identification des bois de mine de pin sylvestre**

Les bois de mine de pin sylvestre peuvent se reconnaître :

soit à leur écorce: brun rouge à brun noir, profondément crevassée, dans les billes de pied, rouge saumonée, finement crevascée ou lisse pelucheuse, dans les surbilles,

soit aux trainées de liber, brun chocolat, subsistant sur l'aubier jaune safran, si les pièces sont écorcées forestièrement,

soit au bois, riche en canaux résinifères, donc sentant nettement la résine, jaune safran dans l'aubier, rouge saumoné dans le cœur, les accroissements annuels étant nettement délimités par une zone de bois d'été brun rouge.

Si on fait un flachis à la surface du bois, déterminant ainsi une section tangentielle, *les canaux résinifères* y apparaissent sous forme de petites stries brunes parallèles à l'axe de la pièce, particulièrement visibles à la limite du bois de printemps et du bois d'été.

La texture (proportion du bois d'été dans la largeur du cerne) est d'autant plus élevée que l'accroissement est fin.

Les pins sylvestres de bonnes races de montagne ou de races nordiques se reconnaissent :

à leur forme, les pièces étant rectilignes et cylindriques,

à la faible dimension des nœuds (le faible diamètre des branches étant d'ailleurs la cause de la faible conicité),

à la finesse et à la régularité des accroissements annuels (engendrant une texture forte),

à la duraminisation précoce (même dans des pièces ayant la grosseur du bois de mine, il y a déjà une notable proportion de bois de cœur).

Dans les peuplements constitués avec des races de plaine, ces caractères se dégradent de façon d'autant plus importante que le climat est plus doux, le sol plus fertile et les tiges plus espacées.

c) **Provenances expérimentées**

Nos expériences ont porté sur 43 provenances de pin sylvestre (environ 1 800 pièces), 42 lots venaient de France et un lot de comparaison venait de Finlande.

La plupart des pièces ont été essayées en flexion statique sur 2 m de portée à la machine Trayvou (laboratoire de Nancy) ou

en flambement sur 2,50 m au Laboratoire de Sarrebrück. Mais des essais ont été effectués également en flexion sur 1 m de portée (machine d'Amsler et Trayvou du labo de Nancy) et en flambement sur 1,60 m de longueur (machine Trayvou). Certains essais ont été faits dans divers laboratoires des Houillères nationales: Blanzly, Carmaux et Saint-Etienne.

En même temps que des comparaisons entre provenances, nous avons pu étudier, sur le pin sylvestre, la variation des propriétés mécaniques avec la siccité du bois, l'influence des couronnes de nœuds et des courbures, la résistance comparée des billes de pied et des surbilles, etc...

d) Résultats généraux

1. Flexion statique

En flexion statique, sur 2 m, à la machine Trayvou, 224 pièces de provenances variées, mais de degré d'humidité assez constant (de l'ordre de 18 %) ont donné, pour une circonférence moyenne de 55 cm, une charge maxima moyenne de l'ordre de 4 500 kg,

La corrélation entre circonférence et charge maxima est donnée par la figure 25. Pour des circonférences comprises entre 45 et 65 cm, les charges maxima moyennes vont de 2 à 7 tonnes. La dispersion des résultats est importante, pour les raisons qui ont été indiquées plus haut. Par exemple, pour la circonférence moyenne de 55 cm, la dispersion est de 67 %. Il aurait été préférable d'établir ces corrélations en portant en abscisses les *sections* au lieu de porter les circonférences. Mais nous n'avons pas eu le temps matériel de réaliser cette amélioration, importante quand la gamme des circonférences est étendue. De tels graphiques seront établis dans l'avenir.

En flexion, sur 2 m de portée, les 23 provenances essayées au laboratoire de Nancy, ont donné des *charges maxima moyennes, par centimètre carré*, variant de 15 kg, pour les lots les moins bons, à 24 kg pour les lots les meilleurs, avec une moyenne de 18,5 (dispersion de 49 % par rapport au lot moyen).

La largeur des cernes variait, pour ces 23 lots, de 1 à 4 mm et la densité à 15 % d'humidité de 0,550 à 0,735.

La résistance mécanique et la densité augmentent, en gros, avec le nombre moyen de cernes par centimètre de rayon.

Les essais faits au laboratoire de Sarrebrück, sur la même portée, avec des pièces ayant le même degré d'humidité que celles essayées au laboratoire de Nancy, donnent des résultats comparables:

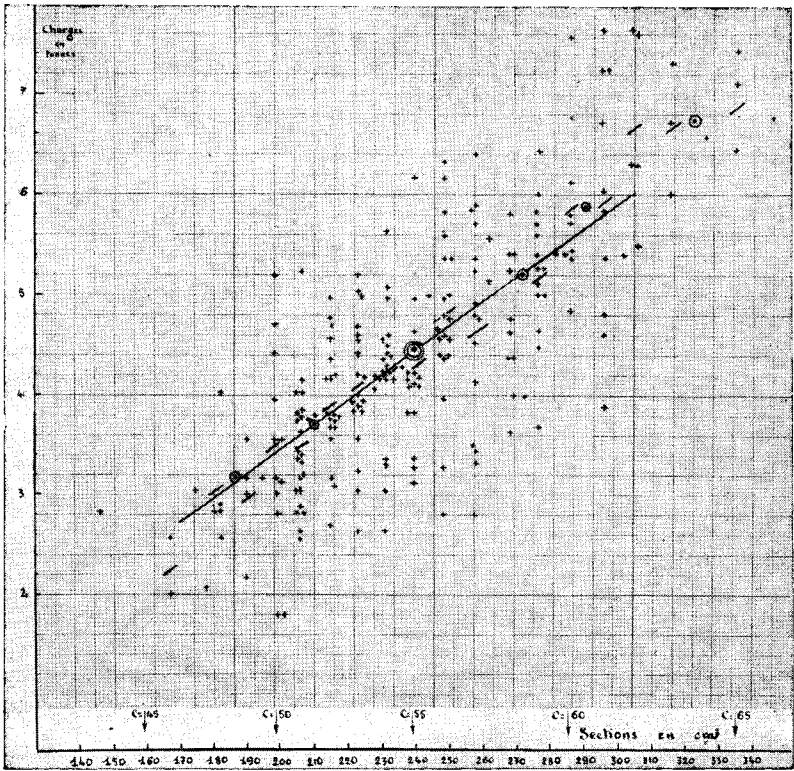


FIG. 25.

Pin sylvestre - Provenances diverses
Essais en flexion statique sur 2 m.
Laboratoire de Nancy - Trayvou.

Circonférence moyenne	57 (45 à 65) cm
Charge maxima moyenne	5 000 (2 800 à 6 600) kg
Dispersion au niveau de la circonférence moyenne	63 % $\left(\frac{3,600}{5,7} \right)$
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i>	19,7 kg

Voir la corrélation correspondant à ces essais sur la figure 26.

Les résultats obtenus en flexion statique, sur un mètre de portée, avec la machine d'Amsler, seront commentés dans les divers paragraphes relatifs aux provenances ayant fait l'objet de tels essais, ainsi que les résultats obtenus en flexion sur les machines des laboratoires de Blanzky, Carmaux et Saint-Etienne.

2. Flambement

En flambement, sur 2,50 m de longueur, sur la machine du laboratoire de Sarrebrück, 376 pièces, de provenances diverses, mais de degré d'humidité analogue à celui des pièces essayées en flexion (18 % environ) ont donné les résultats suivants :

Circonférence moyenne	55 (45 à 70) cm
Charge maxima moyenne	44 000 (28 000 à 66 000) kg
Dispersion autour de la circonférence moyenne	82 % $\left(\frac{3 600}{44} \right)$

Le nuage de points et la ligne de corrélation relative à ces essais sont portés sur la figure 27.

En flambement, sur 2,50 m de longueur, les 36 provenances essayées sur la machine du laboratoire de Sarrebrück ont donné des *charges maxima moyennes, par centimètre carré*, variant de 126 kg pour les lots les moins bons à 220 kg pour les lots les meilleurs, avec une moyenne de 174 kg (dispersion de 54 % par rapport au lot moyen).

La largeur des cernes variait, pour ces 36 provenances, de 1 à 4 mm et la densité de 0,526 à 0,662 (moyenne 0,600). La résistance mécanique et la densité augmentent, en gros, comme le nombre moyen de cernes par centimètre de rayon. Voir figure 28.

Les résultats des essais en flambement, effectués sur une longueur de 1,60 m ainsi que ceux obtenus avec les machines des laboratoires de Blanzky, Carmaux et Saint-Etienne, sont exposés dans les divers paragraphes relatifs aux provenances ayant fait l'objet de tels essais.

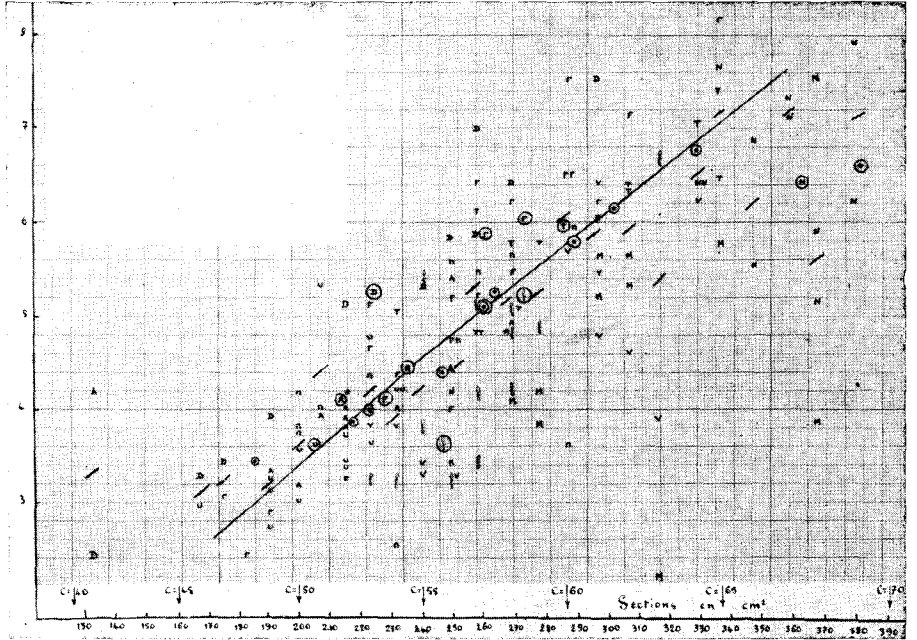


FIG. 26.

Pin sylvestre.
Essais en flexion statique sur 2 m.
Laboratoire de Sarrebrück 11/54

Provenances :

- N Ecouves n° 235 DH 18.
- D Andaines n° 233 DH 18.
- f Usson-en-Forez n° 232 DH 18-19.
- F Usson-en-Forez n° 231 DH 21.
- V Ribeauvillé n° 230 DH 20.
- M Hardt n° 225 DH 19.
- T Saverne n° 220 DH 21
- A Monnaie-Pontménard n° 188 DH 19.
- U La Petite-Pierre Sud n °185 DH 20.
- n La Chipotte Rambervillers n° 182 DH 18.
- r Niederbronn n° 177 DH 17.

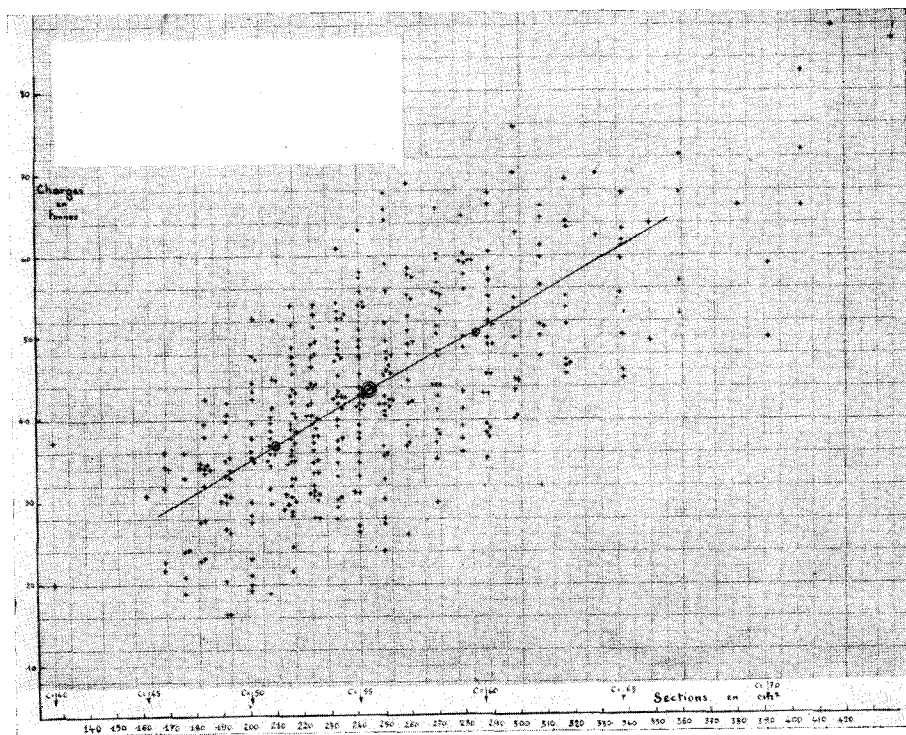


FIG. 27.

Pin sylvestre - provenances diverses.
Essais en flambement sur 2,50 m.
Laboratoire de Sarrebrück.

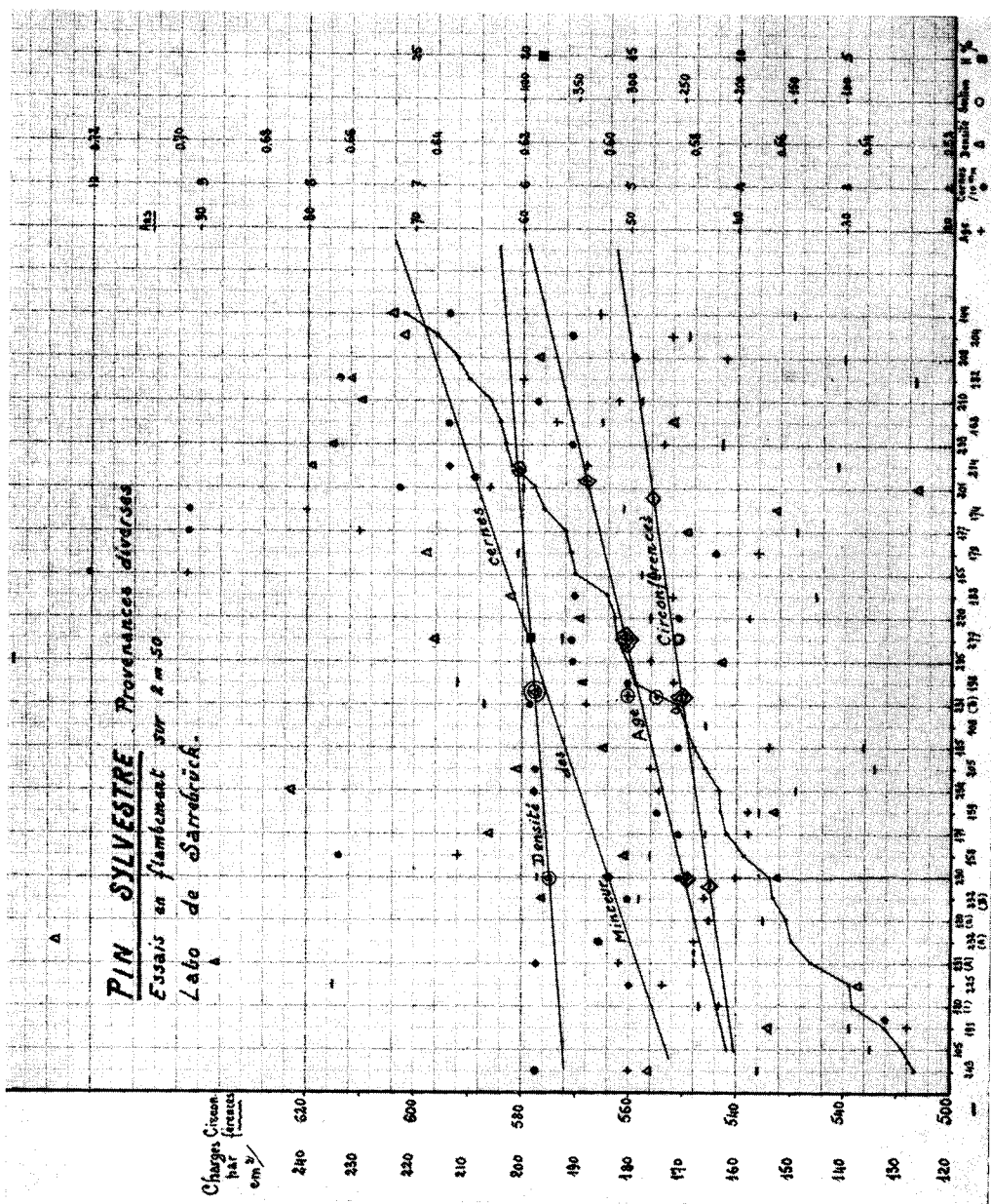


FIG. 28.
Pin sylvestre - provenances diverses. Essais en flambement sur 2 50 m. Laboratoire de Sarrebrück.

e) **Résultats donnés par les différents lots**

Pour faciliter la présentation des résultats donnés par les divers lots, nous présenterons ceux-ci dans l'ordre suivant :

1^{re} Série: lots ayant fait l'objet d'essais en flambement, sur 2,50 m de longueur, au laboratoire de Sarrebrück, classés dans l'ordre des résistances croissantes,

2^e Série: lots ayant fait l'objet d'essais en flambement, sur 1,60 m de longueur, au laboratoire de Nancy (machine Trayvou),

3^e Série: lots essayés, en flambement, dans les autres laboratoires.

Pour permettre aux lecteurs un repérage géographique et la recherche de renseignements en fonction des provenances, des répertoires alphabétiques et géographiques figurent à la fin du présent ouvrage

1^{re} Série

LOTS ESSAYÉS EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m
ET EN FLEXION STATIQUE SUR 2 m

CLOS D'ANJOU - LE MAS (Alpes-Maritimes) - Lot n° 243

Il s'agit d'un lot provenant d'une forêt particulière, territoire communal du Mas (Alpes-Maritimes), altitude 1 100 m, exposition N et N-E, pente forte, sol de *calcaire* jurassique supérieur et éboulis de pentes, climat montagnard mais semi-provençal, futaie irrégulière de sapin pectiné et pin sylvestre, en mélange pied par pied ou par bouquets.

Les pièces étaient de bonne forme et en bon état de conservation, mais leur densité à 15 % d'humidité était relativement faible (0,582), avec des cernes de largeur moyenne (1,7 mm). La plupart présentent d'importantes couronnes de nœuds.

Les pièces témoignent, en flambement, d'une charge maxima moyenne (29 tonnes pour une circonférence de 54 cm) sensiblement inférieure à la moyenne (41 tonnes). Cependant aucune anomalie de rupture n'est observée. La charge maxima moyenne par cm^2 est de 127 kg. Les bois craquent peu, avant de se rompre.

En flexion, sur 2 m de portée, à la machine Trayvou, la charge maxima moyenne (3 300 kg pour 53 cm de circonférence) est également inférieure à la moyenne (4 100). La charge maxima moyenne par cm^2 est de 15 kg (contre 18,6 pour la moyenne générale). La rupture est rapide, avec peu de signes avertisseurs à vue (bois raides) ou à l'ouïe (peu de craquements).

Il semble que les causes de l'infériorité de cette provenance soient surtout les périodes sèches du climat semi-provençal et l'importance des couronnes de nœuds. Le sol calcaire ne leur est pas non plus favorable.

COLROY-LUBINE (Vosges) - Lot n° 191

Il s'agit d'un lot provenant de la forêt domaniale de Colroy-Lubine (Vosges), canton de la Bollée - altitude 475 m - exposition est, pente faible - sol granitique. Peuplement régulier et assez dense de sapin, pin sylvestre et feuillus en mélange.

Les pins proviennent manifestement d'une mauvaise race de plaine. Ils sont flexueux, coniques et ont des accroissements irrégulier. - peu de bois de cœur et des gros nœuds. Les accroissements sont relativement larges (3,4 mm en moyenne). *La densité à 15 % est de 0,553* (inférieure à la moyenne qui est de 0,600 pour l'ensemble des lots).

En flambement, sur 2,50 m de longueur, la charge maxima moyenne (28 tonnes pour une circonférence de 52 cm) est sensiblement inférieure à la moyenne (39 tonnes). Les pièces (qui comportent beaucoup de couronnes de gros nœuds) présentent souvent une rupture brutale, sans signes avertisseurs. La cassure n'est pas fibreuse. *La charge maxima moyenne par cm² n'est que de 132 kg.*

En flexion, le comportement est un peu meilleur (charge maxima moyenne de 3,2 tonnes à 51 cm de tour, légèrement inférieure à la moyenne générale qui est 3,6). La charge maxima moyenne par cm² est de 15,5 kg (contre 18,8 pour la moyenne générale).

Ce lot illustre bien l'intérêt qu'il y aurait à planter des pins sylvestres de bonnes races. Voir à titre comparatif les résultats donnés par d'autres lots des Vosges.

HARDT (Haut-Rhin) - Lot n° 225

Ce lot provient de la parcelle 17 (Hardt-Nord) de la forêt domaniale de la Hardt - Altitude 220 m - Sol plat - Alluvions anciennes (diluvium) du Rhin - Climat à très faible pluviosité totale (550 mm) et à fortes chaleurs estivales. Enrésinement, sur bandes, d'un taillis-sous-futaie à chênes et charmes.

Les pièces sont de forme correcte, avec malheureusement beaucoup de couronnes de nœuds. Les accroissements annuels ont en moyenne 2 mm. La densité à 15 % est de 0,529 (*inférieure à la moyenne générale des lots*).

La charge maxima moyenne en flambement (42 tonnes, pour une circonférence de 60 cm) est inférieure à la moyenne générale (46). La rupture n'est pas rapide, mais la cassure est parfois éclatée. *La charge maxima moyenne par cm² n'est que de 139 kg.*

En flexion, la charge maxima moyenne (4,8 tonnes pour une circonférence de 60 cm) est également inférieure à la moyenne (5,7). La charge maxima moyenne par cm² *n'est que de 15,3 kg*, contre 19,7 pour la moyenne générale). En général, les bois avertissent à vue et à l'ouïe avant de se rompre.

La légère infériorité de ce lot semble devoir être imputée au climat aride de cette provenance.

USSON EN FOREZ (Loire) - Lots n° 231 et 232

Ces deux lots proviennent de forêts particulières - Altitudes 950 et 990 m - Sol granitique assez profond et fertile. Le lot 231 provient de semis naturels et d'un peuplement ayant été éclairci à plusieurs reprises. Le lot 232 provient d'une plantation claire ayant été élaguée artificiellement à la base.

On a distingué dans chacun de ces deux lots une fraction A formée de billes de pied et une fraction B formée de surbilles. Les billes de pied ont une forme assez belle. Les surbilles sont rectilignes et ne comportent pas de gros nœuds. Les cernes sont un peu plus larges dans le lot n° 232 que dans le lot n° 231 (1,9 mm contre 1,7 mm). Il n'y a pas de différence sensible, à cet égard, entre les billes de pied et les surbilles.

En flambement, on observe, pour chacun des deux lots une différence notable entre les billes de pied et les surbilles.

Chez les pièces de faible circonférence les surbilles se montrent en *flambement*, nettement supérieures aux billes de pied, les nœuds (petits) apparaissent comme un élément de liaison entre les couches annuelles.

Au contraire, chez les grosses pièces, les surbilles donnent en flambement des résultats inférieurs aux billes de pied, les nœuds, d'autant plus gros que le diamètre des pièces est élevé, apportant alors un grave élément d'hétérogénéité.

Pour le lot 231, la charge maxima moyenne est de 41 tonnes pour 57 cm de tour. Pour le lot 232, la charge maxima moyenne est de 37 tonnes pour également 57 cm de tour. Rappelons que pour l'ensemble des lots, la charge maxima moyenne à cette grosseur est de 46 tonnes.

Les charges maxima moyennes par cm² sont les suivantes:

231	}	A	146 kg
		B	171 kg
232	}	A	134 kg
		B	153 kg

Le nombre restreint des pièces de chacun de ces quatre lots conduit toutefois à considérer comme douteuse la charge maxima moyenne par cm² du lot 231 B.

Retenons la valeur moyenne de 144 kg pour l'ensemble des trois autres lots.

La densité à 15 % est de 0,607.

En flexion, au contraire, les billes de pied témoignent d'une nette supériorité sur les surbilles.

On enregistre les chiffres suivants :

	Lots	Charge maxima moyenne	Circonférence correspondante	Charge maxima moyenne par cm ²
231	{ A	6,1 T	58 cm	22,2 kg
	{ B	4,1 T	53 cm	17,5 kg
232	{ A	5,2 T	58 cm	18,9 kg
	{ B	3,7 T	56 cm	14,8 kg

Le lot 231 A avec 6,1 tonnes est supérieur à la moyenne générale de l'ensemble des provenances françaises (5,2) et le lot 231 B est identique à cette moyenne générale.

Le lot 231 B avec 4,1 tonnes est très légèrement inférieur à la moyenne générale des provenances (4,3). Le lot 232 B avec 3,7 tonnes est très nettement inférieur à la moyenne générale (4,9).

La présence de couronnes de nœuds non recouvertes dans les surbilles est la cause de leur nette infériorité en flexion statique.

La provenance 232 a une densité (0,603) inférieure à celle de la provenance 231 (0,611). La largeur des cernes est plus grande (2,1 mm contre 1,55). Le semis naturel, dense mais régulièrement éclairci, donne de meilleurs bois que la plantation claire, même améliorée par élagage artificiel. L'importance des couronnes de nœuds non recouvertes est, ici encore, mise en relief.

RIBEAUVILLÉ (Haut-Rhin) - Lot n° 230

Il s'agit d'un peuplement de moyenne altitude (550 m), composé d'un mélange par bouquets de sapin, épicéa et pin sylvestre. Les pièces sont issues d'un desserrement de l'étage dominant. Le sol, en pente rapide, provient de la décomposition du granit. L'exposition est sud-ouest. Le climat, du type colmarien, est caractérisé par une précipitation annuelle totale de 700 mm et des étés chauds.

Les pièces sont de forme satisfaisante. Elles comportent 50 % de billes de pied et 50 % de surbilles. L'absence d'élagage artificiel est la cause de la présence d'importantes couronnes de nœuds.

En flambement, la résistance (41 tonnes pour une circonférence de 58 cm) est légèrement inférieure à la moyenne générale (47 tonnes). *La charge maxima moyenne par cm² est de 154 kg* (la moyenne générale est 175). A noter que les accroissements sont moyens (2,2 mm) mais que la densité (0,549) est sensiblement inférieure à la moyenne générale (0,600). Il y a là encore un cas de

corrélation entre la densité et la résistance et un exemple de bois améliorables par un élagage artificiel précoce.

En flexion, la résistance (4,5 tonnes pour une circonférence de 58 cm) est également inférieure à la moyenne (5,4). *La charge maxima moyenne par cm² est 16,2 kg* (contre 19,7 pour la moyenne générale).

A noter que les bois préviennent bien, avant la rupture, par de nombreux et forts craquements. En flexion, la flèche est toujours nettement visible, bien avant que les pièces atteignent la charge maxima.

LA CHAPELLE - GENESTE (Haute-Loire) - Lot n° 158

Il s'agit d'un lot provenant de la forêt communale. - Altitude 1 000 m - Exposition Sud-Ouest - Pente 20 %. Sol provenant de la décomposition du granit. Le peuplement, provenant de semis naturels de pins sylvestres est clair mais a été sous-étagé en sapin.

Les pièces sont de forme satisfaisante mais très noueuses. Les accroissements sont fins (1,3 mm) et la densité (0,591) voisine de la moyenne générale.

En flambement, la charge maxima moyenne (39 tonnes pour 56 cm de tour) est légèrement inférieure à la moyenne générale (44 tonnes). *La charge maxima moyenne par cm² (150 kg) est inférieure à la moyenne générale (175).*

En flexion, les résultats sont analogues: charge maxima moyenne de 4,5 T à 57 cm de tour (la moyenne générale de cette grosseur est de 4,9). *Charge maxima moyenne par cm² de 17,7 kg* (la moyenne générale étant 18,8).

Là aussi, l'absence d'élagage semble cause de la faiblesse de ce lot.

DAMBACH-LA-VILLE (Bas-Rhin) - Lot n° 171

Il s'agit d'un lot provenant de la forêt communale - Altitude 400 m - Plateau en pente faible en bordure de la plaine d'Alsace - Sol provenant de la décomposition du granit, plutôt sec.

Le peuplement est un perchis de sapin, épicéa, pin sylvestre et feuillus, mélangés par bouquets. Les pièces proviennent d'une éclaircie. Les accroissements annuels sont moyens (2,2 mm) et la densité (0,614) est voisine de la moyenne.

En flambement, la résistance (38 tonnes à 55 cm de tour) est légèrement inférieure à la moyenne générale (43). *La charge maxima moyenne par cm² est de 162 kg* (contre 175 pour la moyenne générale).

Mêmes remarques en flexion.

Charge maxima moyenne: 3,6 tonnes à 54 cm. de tour (contre 4,2 T pour la moyenne générale).

Charge maxima moyenne par cm² : 16 kg (contre 18,8 pour la moyenne générale).

SERVILANGES - VENTEUGES (Haute-Loire) - Lot n° 159

Le lot provient de la forêt sectionale de Servilanges - Altitude 1 150 m - Plateau en pente légère vers l'est - Sol provenant de la décomposition du granit. Peuplement issu de régénération naturelle, régulier, assez dense et en bon état de végétation.

Les pièces sont assez flexueuses, ce qui diminue leur résistance en flambement. Les accroissements annuels (2,1 mm) sont moyens mais *la densité (0,550) est inférieure à la moyenne générale (0,600).*

En flambement, la charge maxima moyenne (37 tonnes pour 54 cm de tour) est légèrement inférieure à la moyenne générale correspondante (41 t). Les ruptures sont assez lentes, la plupart avec cassure fibreuse. *La charge maxima moyenne par cm² est 163 kg (contre 175 pour la moyenne générale).*

ANDAINES (Champsecret) (Orne) - Lot n° 234

Lot provenant de la forêt domaniale d'Andaines - Commune de Champsecret - 11° Série - Parcelle 12 - Altitude 280 m - Sol de schistes cambriens.

Le peuplement est une jeune futaie de pin sylvestre de 70 ans, d'origine artificielle (400 tiges à l'hectare).

Les pièces sont en général de forme correcte. Plusieurs, toutefois, présentent des flèches en S qui abaissent sensiblement la charge maxima moyenne en flambement.

Les accroissements annuels sont fins (1,7 mm). La densité (0,662) est supérieure à la moyenne (0,600).

En flambement, la charge maxima moyenne (37 tonnes pour une circonférence de 52 cm) est légèrement inférieure à la moyenne générale (40 tonnes). *La charge maxima moyenne par cm² (163 kg) est voisine de la moyenne générale (175 kg).*

En flexion, par contre (et il y a là un point intéressant à noter), la charge maxima moyenne offerte par ce lot (5,6 tonnes pour 56 cm de tour) *est très nettement supérieure à la moyenne générale correspondante (4,8 tonnes). Charge maxima moyenne: 22,5 kg (contre 18,8 pour la moyenne générale).*

La flexuosité des pièces soumises au flambement est très certainement responsable des faibles moyens enregistrés dans ce domaine.

L'analyse factorielle révèle d'ailleurs, pour les pièces ayant une flèche en S, une perte de résistance atteignant 25 % (par rapport aux pièces droites).

TREVES (Canayères) (Gard) - Lot n° 205

Le lot provient du massif de l'Aigoual - Série de Trèves - Canton de Canayères - Altitude 880 m - Exposition nord-ouest - Sol de schistes anciens, assez profond.

Le peuplement est une futaie équienne de 50 ans, provenant de semis naturels.

Les pièces sont de forme très médiocre: flexueuses, coniques, comportant de nombreuses couronnes de nœuds non recouverts. Cependant les accroissements sont fins (1,7 mm) et de densité (0,609) légèrement supérieure à la moyenne.

En flambement, la résistance (35 tonnes pour 51 cm de tour) est légèrement inférieure à la moyenne générale. *La charge maxima moyenne par cm² (165 kg)* est également très voisine de la moyenne générale (175 kg).

En flexion, la résistance (4,3 tonnes pour 54 cm de tour) est identique à la moyenne générale, *ainsi que la charge maxima moyenne par cm² (18,5 kg)*. Les pièces préviennent bien, à vue (flèche) et à l'ouïe (craquements), avant de se rompre.

Les résultats, seulement passables ou moyens, donnés par ce lot sont dus à la mauvaise forme des pièces et à l'abondance des couronnes de nœuds. Une bonne race et la pratique de l'élagage naturel amélioreraient considérablement les qualités mécaniques de cette provenance.

LA PETITE-PIERRE Sud (Bas-Rhin) - Lot n° 185

Lot provenant de la forêt domaniale de la Petite-Pierre-Sud. Versant en pente assez raide, exposé au sud-est - Altitude 330 m - Sol de grès vosgien, superficiel et sec.

Le peuplement est un haut perchis de pin sylvestre de 50 ans, avec sous-étage de hêtre.

Les pièces sont assez belles, mais présentent des couronnes de nœuds. Les accroissements (2,2 mm) et la densité (0,591) sont voisins des moyennes générales.

En flambement, la charge maxima moyenne (35 tonnes pour 52 cm de tour) est très voisine de la moyenne générale correspondante (38 t), ainsi, évidemment, que *la charge maxima moyenne par cm²: 168 kg* (contre 175).

En flexion également, la charge maxima moyenne (3,6 tonnes pour 51 cm de tour) et *la charge maxima moyenne par cm² (17,2 kg)* sont voisines des moyennes générales correspondantes (3,9 tonnes et 18,8 kg).

Les pièces avertissent bien à vue et surtout à l'ouïe (nombreux craquements) avant rupture. Bien que la rupture soit assez rapide, la cassure est fibreuse.

VAL-D'AJOL (Vosges) - Lot n° 198

Ce lot peut être considéré comme *le lot de pin sylvestre moyen*, aussi bien en flambement qu'en flexion.

Il provient de la forêt domaniale de Val-d'Ajol - 5^e Série - Parcelle H2 - Altitude 460 m - Parcelle en pente légère vers le sud - Sol de grès vosgien, peu profond.

Le peuplement est une jeune futaie de 50-55 ans, assez claire.

Les pièces sont de forme assez médiocre (flèche) et comportent beaucoup de couronnes de nœuds - Largeur de cernes 2 mm - Densité 0,594.

En flambement, la charge maxima moyenne (50 tonnes pour 59 cm de tour) et la charge par cm^2 (178 kg) sont identiques aux moyennes générales.

En flexion, la charge maxima moyenne (4,4 tonnes pour 56 cm de tour) est voisine de la moyenne générale (4,7) ainsi que la charge par cm^2 : 18,1 kg (contre 18,8).

Les pièces avertissent bien à vue et à l'ouïe avant rupture.

ECOUVES (Orne) - Lot n° 235

Lot provenant de la forêt domaniale d'Ecouvès - 5^e Série - Parcelle 10 - Altitude 260 m - Sol de grès de May avec éboulis.

Le peuplement est une futaie de pin sylvestre de 75 ans (450 tiges à l'hectare), partiellement sous-étagée en sapin pectiné. Les arbres sont longs.

Les pièces qui en sont issues présentent cependant des défauts de forme (conicité et courbures) et de nombreuses couronnes de nœuds. Les cernes sont assez fins (1,8 mm) mais la densité (0,561) est plus faible que la moyenne (0,600).

En flambement, la charge maxima moyenne (65 tonnes pour 68 cm de tour) est légèrement supérieure à la moyenne générale (63 tonnes) ainsi que la charge par cm^2 (179 kg).

Malgré leurs défauts de forme et leurs nœuds, les pièces de ce lot ont donné des résultats voisins de la moyenne à cause de leur circonférence élevée qui les empêche de « flamber » rapidement sous la charge (élanement voisin de 10).

Mêmes observations quant à la flexion où les chiffres suivants ont été notés :

charge maxima moyenne, 8,4 tonnes pour 67 cm de tour,
charge maxima moyenne par cm^2 : 23,3 (contre une moyenne générale de 19,7).

Les pièces avertissent bien à vue et à l'ouïe avant rupture. La cassure est fibreuse. La forte section des pièces du lot leur donne une bonne résilience.

ROSIERES-AUX-SALINES (Meurthe-et-Moselle) - Lot n° 277

Lot provenant de la forêt communale - 1^{re} Série - Parcelles VII et VIII. Plateau à l'altitude de 240-250 m - Alluvions anciennes de la Meurthe, argilo-siliceuses, sol acide, lessivé et sec - Climat lorrain paracontinental.

Le peuplement est une jeune futaie de pin sylvestre de 60-80 ans assez dense, de race quelconque et de croissance lente.

Les pièces bien sélectionnées parmi des tiges cependant flexueuses, sont d'assez belle forme. *Les couronnes de nœuds sont recouvertes, grâce à l'élagage naturel.* Les accroissements annuels sont fins (1,8 mm) et la densité élevée (0,620).

En flambement, les résultats sont à peu près identiques à la moyenne générale (47 tonnes pour 57 cm de tour et 181 kg de charge maxima moyenne par cm²). La rupture est lente et la cassure fibreuse mais les craquements sont peu prononcés.

En flexion, les résultats (4,5 tonnes pour 54 cm de tour) sont très légèrement supérieurs à la moyenne (4,3 t) — *ainsi que la charge maxima moyenne par cm² (19,4 contre 18,8).* Mais surtout, les bois sont souples, avertissent à vue par leur flèche bien avant la rupture et celle-ci est lente, conduisant à une cassure fibreuse. La rupture s'accompagne de nombreux craquements.

Il y a là encore un bon type de lot de pin sylvestre à qualités moyennes.

SAVERNE (Bas-Rhin) - Lot n 220

Lot provenant de la forêt domaniale de Saverne - Parcelle 48 b - Altitude 380 m - Exposition nord-est - Grès vosgien - Sol peu profond, sec.

Perchis dense de sapin, épicéa, pin sylvestre et feuillus mélangés en bouquets, âgé de 50-70 ans.

Pièces d'assez belle forme, à nœuds petits (mais apparents). Quelques pièces flexueuses. Accroissements annuels de largeur moyenne (2,2 mm). Densité (0,596) voisine de la moyenne générale.

En flambement, les résistances (charge maxima moyenne 45 tonnes, pour 56 cm de tour *et charge maxima moyenne par cm² 182 kg*) sont identiques ou voisines de la moyenne générale. Ces bois préviennent remarquablement bien à l'ouïe par de nombreux et forts craquements, longtemps avant la rupture. Celle-ci est lente et conduit à une cassure fibreuse, pour la totalité des pièces. Les résultats sont faiblement dispersés.

Mêmes remarques en flexion. Les résistances (charge maxima moyenne de 5,9 tonnes pour 60 cm de tour *et charge maxima moyenne par cm² de 20,7 kg*) sont légèrement supérieurs à la moyenne (19,7).

MONNAIE-PONTMENARD (Maine-et-Loire) - Lot n° 188

Lot provenant de la forêt domaniale de Monnaie-Pontmenard - Parcelle G 3 - Sol d'alluvions anciennes, silico-argileuses - Altitude 44 m - Climat doux.

Jeune futaie, bien venante mais clairière par l'ouragan de mars 1951.

Les pièces sont assez flexueuses et présentent des couronnes de nœuds. Les accroissements annuels sont assez fins (1,8 mm) et la densité (0,612) un peu plus forte que la moyenne. Les pièces ont été choisies parmi des arbres dominés, ce qui explique la finesse des cernes.

En flambement, les résistances (40 tonnes pour 52 cm de tour, 18,1 kg par cm²) sont légèrement supérieures aux moyennes générales.

Les pièces accusent une forte flèche et flambent nettement avant de se rompre mais craquent peu. Les ruptures sont relativement lentes et les cassures fibreuses.

Mêmes remarques en flexion: charge maxima moyenne, 4,1 tonnes pour 52 cm de tour, charge par cm² 18,7 kg, contre 19,7 pour la moyenne générale. Avertissement à vue avant rupture mais craquements faibles.

SAINT-MARTIN D'ENTRAUNES (Alpes-Maritimes) - Lot n° 155

Les lots qui suivent témoignent, tous, de bonnes résistances mécaniques, supérieures à la moyenne.

Le lot n° 155 provient de la forêt communale de Saint-Martin d'Entraunes à 1 100 m d'altitude. Exposition Est et Nord-Est. Sol d'éboulis de calcaires marneux sur une pente forte - Climat montagnard et lumineux des Alpes sèches.

Futaie de pin sylvestre (7/10) et mélèze (3/10) régulière, dense et bien venante, âgée de 60 à 100 ans.

Pièces d'assez belle forme avec nœuds recouverts par élagage naturel. Accroissements très fins (0,9 mm) et densité (0,581) voisine de la moyenne.

En flambement, la charge maxima moyenne (47 tonnes pour 56 cm de tour) est légèrement supérieure à la moyenne (44 tonnes) mais surtout, *les pièces commencent à craquer fortement quand elles ne sont qu'aux deux tiers de leur charge maxima.* Elles accusent une flèche de flambement bien avant que la charge maxima soit atteinte et cette charge se maintient pendant un certain temps alors que la flèche de flambement augmente. Les signes avertisseurs sont donc très nets. Charge maxima moyenne par cm² 191 kg.

Mêmes remarques en flexion: charge moyenne 5 tonnes à 56 cm de tour. Charge par cm² 19,9 kg (contre 18,8). Flèche nettement

visible avant que la charge maxima soit atteinte. Nombreux craquements.

Il y a là aussi un exemple de bonne provenance de montagne.

HAGUENAU (Bas-Rhin) - Lot n° 179

NIEDERBRONN (Bas-Rhin) - Lot n° 177

Le lot 179 provient de la forêt indivise de Haguenau (Ouest), parcelle 250 b - Altitude 145 m - Sol plat sableux mais humide (niveau d'eau et molinie) - Le peuplement est une jeune futaie d'une cinquantaine d'années, dense (1 400 perches à l'hectare ayant 14 à 18 cm de diamètre à 1,30 m), en très bon état de végétation.

Le lot 177 provient de la forêt domaniale de Niederbronn, III^e Série, parcelle 64 a - Altitude 200 mètres - Pente de grès vosgien, exposée au sud-ouest. Le peuplement est une futaie de pin sylvestre (6/10) et de feuillus, hêtre et chêne (4/10), le hêtre en sous-étage, assez claire mais en bon état de végétation et âgée de 90 ans

En flambement, les résultats sont les suivants :

Lot n° 179.

Charge maxima moyenne	51 t pour 58 cm de tour
Charge maxima moyenne générale correspondante	48 tonnes
<i>Charge maxima moyenne par cm² ...</i>	191 kg
Moyenne générale par cm ²	175 kg
Largeur des cernes	2 à 2,4 mm
Densité	0,629

Lot n° 177.

Charge maxima moyenne par cm ² ...	44 t pour 53 cm de tour
Charge maxima moyenne générale correspondante	41 tonnes
<i>Charge maxima moyenne par cm² ...</i>	192 kg
Moyenne générale par cm ²	175 kg
Largeur des cernes	1 à 1,1 mm
Densité	0,573

Les deux lots sont assez semblables mais les pièces du lot 179 sont plus souples et fléchissent davantage avant de se rompre. Leur rupture est plus lente et leur cassure plus fibreuse.

En flexion, la résistance du lot 179 est inférieure à la moyenne : 3,6 tonnes pour 55 cm de tour, contre 4,5 tonnes pour la moyenne générale correspondante. *La charge maxima moyenne par cm² (15,2 kg) est inférieure à la moyenne générale (18,8).* Les bois sont souples, mais moins résistants à cet égard que ceux du lot 177.

Le lot 177, en effet, accuse une résistance de 5,9 tonnes pour 57 cm de tour contre 5,1 tonnes pour la moyenne générale correspondante. *La charge par cm² est de 22,4 kg, contre 19,7 pour la moyenne générale.* Ceci confirme les remarques faites au sujet du flambement.

On note que, contrairement à la normale, et à siccité égale, les bois du lot 179 ont des cernes plus larges et cependant une densité plus forte que ceux du lot 177. La règle générale qui veut que les bois à accroissements fins soient plus résistants que ceux à accroissements larges est cependant confirmée par les essais en flexion.

RAMBERVILLERS-Housseras (Vosges) - Lot n° 174

DONON Salm (Bas-Rhin) - Lot n° 201

Le lot n° 174 provient de la forêt domaniale de Rambervillers, 6^e Série, parcelles 29 et 31, de même que les lots n° 172 (sapin) et 173 (épicéa). Une intéressante comparaison pourra être faite.

Altitude 400 m - Exposition Sud et Sud-Est - Sol de grès vosgien assez profond - Jeune futaie de quartier blanc, assez irrégulière, avec bouquets des essences mentionnées ci-dessus - Les pins proviennent surtout de la parcelle 29.

Le lot n° 201 provient de la forêt domaniale du Donon - 8^e Série - Parcelle 185 - Canton de Salm - Altitude 680 m - Exposition est - Sol de grès vosgiens peu fertile, pente raide - Peuplement irrégulier, avec bouquets sapin et pin sylvestre. Les lots 199 (sapin) et 200 (épicéa) proviennent de stations voisines. Une comparaison intéressante pourra également être faite.

Caractéristiques des pièces essayées en flambement :

- Lot 174 — Forme convenable - nœuds recouverts.
 largeur des cernes 1,1 mm - densité à 15 % 0,557.
 Lot 201 — Forme passable - nœuds recouverts,
 largeur des cernes 1,4 mm - densité à 15 % 0,526.

Résultats en flambement :

- Lot 174 — Charge maxima moyenne : 49 tonnes pour 56 cm de tour, contre 45 t pour la moyenne générale correspondante.
Charge maxima moyenne par cm² 196 kg, contre 175 pour la moyenne générale.
 Lot 201 — Charge maxima moyenne 53 tonnes pour 58 cm de tour, contre 48 tonnes pour la moyenne générale correspondante.
Charge maxima moyenne 198 kg par cm², contre 175 pour la moyenne générale.

Les signes avertisseurs et la rupture sont normaux.

Les caractéristiques des pièces essayées en flexion sont les mêmes que celles des pièces essayées en flambement.

Les résultats sont les suivants :

Lot 174 — Charge maxima moyenne 4,5 tonnes pour 56 cm, contre 4,7 pour la moyenne générale correspondante.

Charge maxima moyenne par cm², 17,4 kg, contre 18,8.

Lot 201 — Charge maxima moyenne 5,4 tonnes pour 59 cm de tour, contre 5,3 pour la moyenne générale correspondante.

Charge maxima moyenne par cm², 20 kg contre 18,8.

Le lot n° 174 comportait plusieurs pièces méplates qui ont accusé en flexion, placées à plat sur la machine, une résistance inférieure de 20 % à la normale.

Il s'agit cependant, là, de deux bonnes provenances.

MOULIERES Gaschet de Villiers (Vienne) - Lot n° 214

ANDAINES La Ferté Macé (Orne) - Lot n° 233

GRAMMONT (Meurthe-et-Moselle) - Lot n° 168

BELMONT (Loire) - Lot n° 210

Le tableau 7 donne les caractéristiques des lots mentionnés ci-dessus et les résultats obtenus en flambement et en flexion.

Il s'agit, là encore, de 4 bonnes provenances. A noter la forte densité des 3 lots provenant de l'ouest de la France, à basse altitude.

Le lot 214 donne cependant peu de signes avertisseurs avant rupture en flambement. En flexion, il prévient bien, par sa flèche.

Le lot 233 présente les mêmes inconvénients. En flexion, il présente également des signes avertisseurs à vue convenables.

Le lot 168 présente en flambement des caractéristiques excellentes. La rupture est lente. En flexion, il est moyen. Les bois sont souples.

Le lot 210 est excellent en flambement et en flexion. Les signes avertisseurs sont plus importants que pour les lots précédents et la rupture est relativement lente.

RAMBERVILLERS La Chipotte (Vosges) - Lot n° 182

HANAU (Moselle) - Lot n° 208

CHINON (Indre-et-Loire) - Lot n° 204

BORD (Eure) - Lot n° 144

Ces quatre lots constituent le « peloton de tête » des lots de pin sylvestre, essayés en flambement, sur 2,50 m, au laboratoire de

TABLEAU 7

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cermes.	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
MOULIERES 214	120 m	vallon à axe N.S. pente très faible	argilo-siliceux profond	Jeune futaie de 65 ans assez dense, élançée, bien venante	1,5	0,658	Forme convenable	4,8	54	39	202	21,2	18,8
ANDAINES 233	190 m	pente exposée au Nord très faible	schistes ordovi-ciens - sol argilo-siliceux	Jeune futaie de 60/70 ans d'origine artificielle, dense	1,8	0,656	Droites mais noueuses	5,2	53	42	203	24,0	19,7
GRAMMONT 168	300 m	exposition S. et S.O. - pente 12 %	grès vosgien	futaie assez claire avec sous-étage sapin	1,7	0,571	Normales	4,9	57	46	206	18,7	18,8
BELMONT 210	500 m	exposition S.O. pente 15 %	microgranulite - sol profond	peuplement clair avec sous-étage feuillu, chêne et châtaignier	1,5	0,650	Normales	5,7	55	45	204	23,4	18,8
MOULIERES 214	44	52						4,8	54	39	202	21,2	18,8
ANDAINES 233	48	54					5,2	53	42	203	24,0	19,7	
GRAMMONT 168	52	56					4,9	57	46	206	18,7	18,8	
BELMONT 210	51	56					5,7	55	45	204	23,4	18,8	

contre 175 kg pr. moy. gén.

Sarrebrück et en flexion, sur 2 m, aux laboratoires de Sarrebrück et de Nancy.

Le tableau 8 donne les caractéristiques des lots et des pièces et les résultats obtenus en flambement et en flexion.

Il y a là quatre excellents lots donnant tous, en flambement, des résultats très supérieurs à la moyenne générale et presque tous également en flexion.

Il n'est pas étonnant de voir figurer dans ce groupe des provenances comme Rambervillers et Hanau qui sont bien connues. Il est plus étonnant d'y voir figurer Chinon et Bord mais, dans les forêts du Val de Loire et de Normandie, ont été effectuées de nombreuses plantations de pin de races nordiques ou de bonnes races d'Auvergne qui conservent, même dans ces climats doux, une grande partie de leurs qualités mécaniques *et l'intégralité de leurs qualités de forme*. Les densités à 15 % de ces quatre lots sont élevées, caractérisant un bois à haute valeur mécanique.

Notons, en passant, une observation (ne portant malheureusement que sur un petit nombre de pièces) sur l'influence de la *fibrose*. Certaines pièces du lot 182 comportant ce défaut ont été expérimentées. Elles ont donné, aussi bien en flambement qu'en flexion, des résistances inférieures de 40 % à la moyenne générale.

Dans l'ensemble, les lots donnent des signes avertisseurs satisfaisants, à vue comme à l'ouïe.

Les figures 29 et 31 reproduisent un certain nombre de graphiques individuels de rupture des lots qui viennent d'être présentés.

On observera que la qualité des provenances ne se manifeste pas seulement par les valeurs absolues des résistances mécaniques mais aussi par la forme des graphiques.

Par exemple les graphiques relatifs aux provenances 29 et 31 montrent bien la supériorité du 29 sur le 31 quant à la sécurité et au « nerf ». Dans le lot 201, la charge maxima n'est atteinte qu'après que la flèche ait atteint les 6 cm à partir desquels elle est nettement visible et la rupture n'est pas brutale.

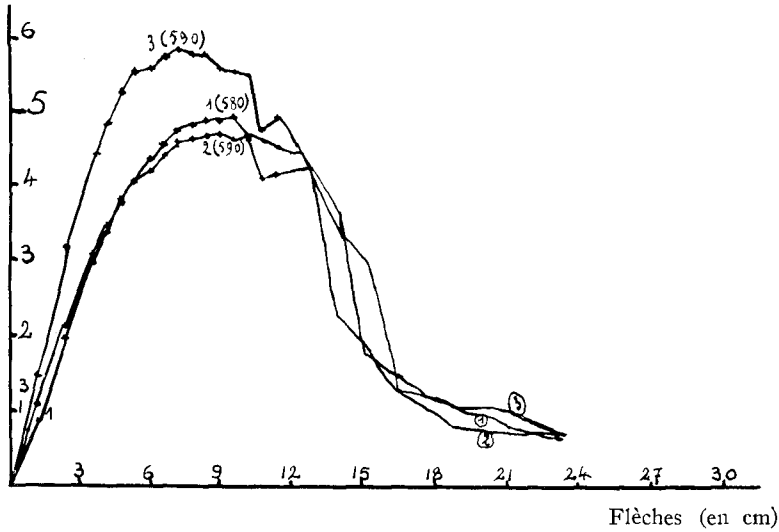
Il sera fait allusion à nouveau à l'influence exercée sur les diagrammes de rupture par d'autres causes que la provenance (siccité, échauffures, etc...) dans la III^e Partie de cette étude.

TABLEAU 8

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S								
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m					
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (tonnes)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)				
RAMBERVILLERS 182	350 m	Nord et Nord-Est	grès vosgien	Jeune futaie mélangée par bouquets sapin et pin sylvestre	1,3	0,649	Noeuds recouverts mais quelques pièces à fibre torse	44	50	37	210	4,7	54	4,5	18,1	19,7
HANAU 208	270 m	Nord-Ouest - pente 40 %	grès vosgien	Jeune futaie mélangée épicéa, sapin, pin sylvestre, hêtre en sous-étage	2,0	0,608	Belles pièces - noeuds recouverts	46	52	39	212	3,8	51	3,5	20,8	18,8
CHINON 204	105	très légère pente vers l'est	argile à silex	Reboisement âgé de 70 ans environ	1,8	0,640	Belles pièces - noeuds recouverts	52	55	43	216	4,95	55	4,4	20,4	18,8
BORD 144	80	terrain plat	argilo-siliceux	Jeune futaie de 75/90 ans - 300/360 tiges par hectare	1,5	0,644	Belles pièces, droites, sans gros noeuds.	49	53	40	222 contre 175 pr. la moy. générale	4,7	55	4,4	19,8	18,8

Charges
(en tonnes)

201 FS



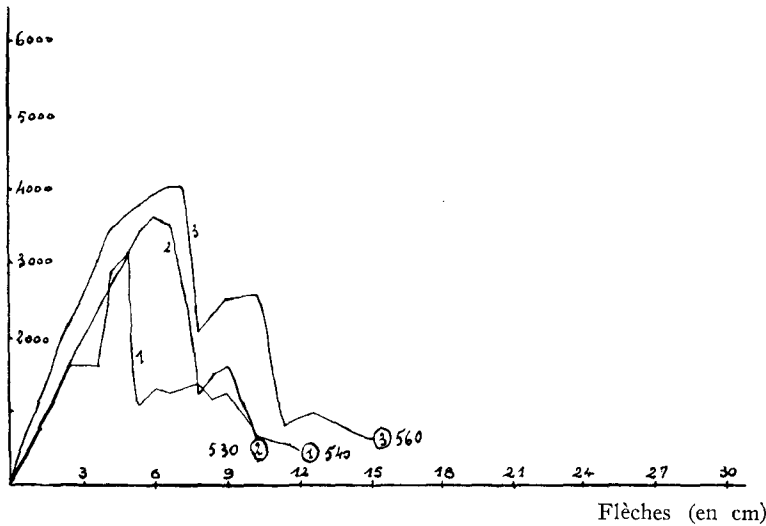
Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Septembre 1954.

Pin sylvestre - Donon-Salm (Bas-Rhin)

FIG. 29.

Charges
(en kg)

205 FS



Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Février 1955.

Pin sylvestre - Aigoual-le-Vigan (Gard).

FIG. 31.

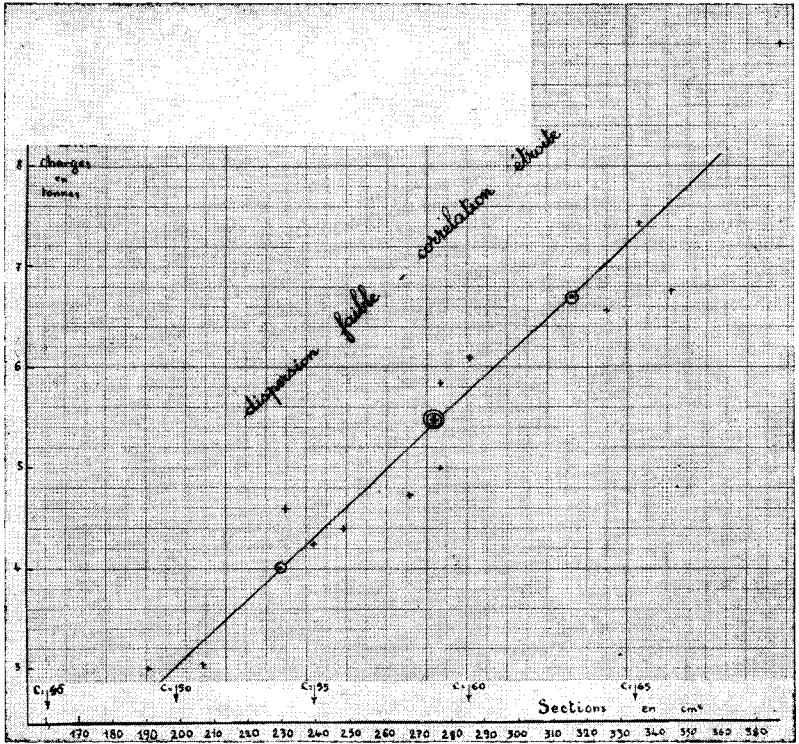


FIG. 30.

Pin sylvestre - Donon-Salm (Bas-Rhin) N° 201
 Essais en flexion statique sur 2 m.
 Laboratoire de Nancy (Trayvou) - 8 et 9/54.

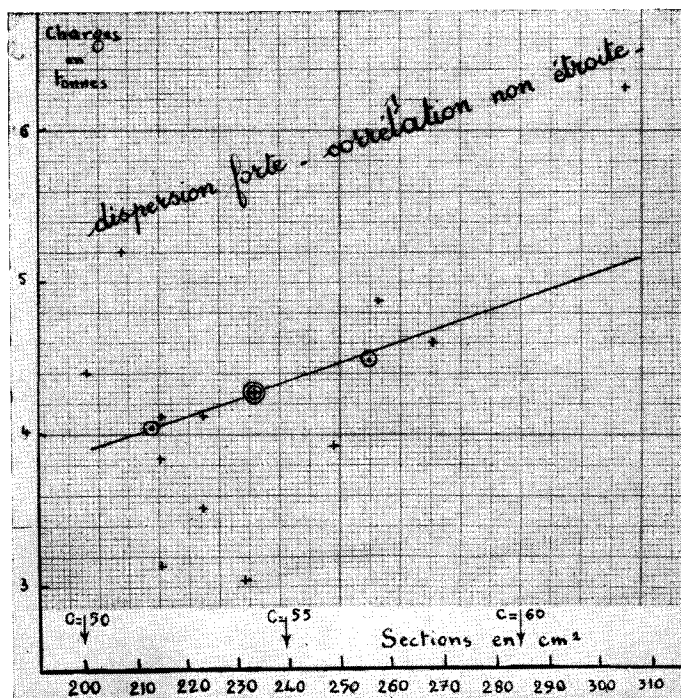


FIG. 32.

Pin sylvestre - Trèves-Aigoual - N° 205.

Essais en flexion statique sur 2 m.

Laboratoire de Nancy (Trayvou) - 2/55.

2^e Série

LOTS ESSAYÉS EN FLAMBEMENT, SUR 1,60 m ET EN FLEXION
SUR 1 m, AU LABORATOIRE DE NANCY

HAGUENAU (Bas-Rhin) - Lots n° 90 et 90 bis

RAMBERVILLERS (Vosges) - Lot n° 91

HARDT (Haut-Rhin) - Lot n° 50/51

AUSSONCE (Ardennes) - Lot n° 36/37

FRELAND (Haut-Rhin) - Lot n° 32/33

Ces lots, constitués surtout de pièces de faibles dimensions, ont été expérimentés :

1) en flambement, sur 1,60 m de long, avec la machine Trayvou du laboratoire de l'École Forestière,

2) en flexion, sur 1 m de portée, avec la machine Amsler de ce laboratoire.

Certains de ces lots, en particulier 90 - 90 bis et 91, comportant un grand nombre de pièces, des expériences systématiques ont pu être faites pour étudier l'influence de la siccité sur les propriétés mécaniques des bois.

Le tableau 9 donne quelques renseignements sur les provenances des lots et sur les résultats *moyens* obtenus. Voir aussi graphiques des fig. 33 et 34.

Les expériences effectuées avec les pièces des lots 90 - 90 bis et 91 donnent de précieux renseignements sur l'influence du degré d'humidité sur les valeurs absolues des charges que les pièces sont capables de supporter. Les diagrammes individuels de rupture sont fortement modifiés par le degré d'humidité. Cette question sera traitée dans la III^e Partie de l'étude.

Des lots de pin noir d'Autriche (n° 38/39 - 40 et 43) provenant, les deux premiers de Champagne crayeuse et le troisième de la forêt de la Hardt ont été expérimentés et peuvent être comparés aux lots 36/37 et 50/51. Voir le chapitre consacré aux pins Laricios.

Un lot de pin sylvestre provenant de Finlande a également été expérimenté au laboratoire de Nancy. Malheureusement, les pièces n'avaient que 2 m de longueur et elles n'ont pu être essayées en flexion que sur une portée de 1,65 m.

Pour comparer la résistance par cm² de ces bois à celle des bois français, il faudrait utiliser la formule classique :

$$F_{II} = \frac{3 PL}{2 bh^3}$$

de façon à comparer entre elles les fatigues de rupture.

TABLEAU 9

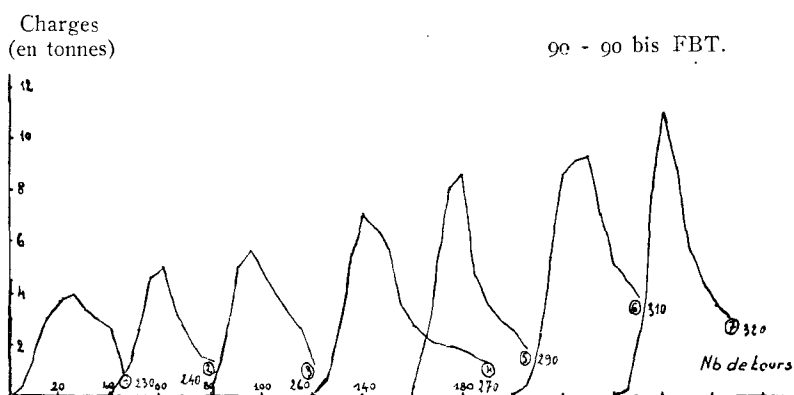
L O T S	Provenance	Date d'abattage	Observations quant aux pièces	FLAMÈMENT			FLEXION		
				C.M.M. (tonnes)	Circ.cor. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ.cor. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)
HAGUENAU 90	Forêt domaniale de Haguenau (Bas-Rhin) Altitude 145 m - Sol siliceux, acide	Août 1949							
HAGUENAU 90 bis	- ds -	Janvier 1950	Belles pièces, noeuds de faibles dimensions -	9,6	27	166	0,550	20,4	16,6
RAMBERVILLERS 91	Forêt domaniale de Ste Hélène - Altitude de 350 m - Grès vosgien - sol siliceux Peuplement d'origine artificielle - Graine venant de Haguenau	Octobre 1949	Bois essayés à divers degrés de siccité de Mars 1950 à Août 1952						
HARDT 50/51	Forêt domaniale de la Hardt - Alluvions anciennes du Rhin - Sol acide, peu fertile	Décembre 1950	Bois très frais : 26 à 40 %	14,7	48	79	2,350	43,3	15,8
AUSSONCE 36/37	Forêt appartenant à l'Ecole Forestière, dite "Bois Lapis" - Craie champenoise	Août 1950	<u>Bois très secs</u> : 10 à 12 % <u>Bois frais</u> : 30 %	12,6	31	164	1,300	26,8	22,7
FRELAND 32/33	Forêt de Fréland - Canton du Kalblin - Altitude 750 m - Grès vosgien	Août	Pièces de belle forme - petits noeuds - densité à 15 % = 0,523 Bois très secs : 10 à 12 %.	18,4	38	157	1,760	35,9	17,2



Pin sylvestre - Provenances 90 - 90 bis - 91 - Pièces de circonférences croissantes.

Essais en flexion statique sur 1 m de portée.
Machine Amsler (Nancy) - Démultiplication: 5 T.

FIG. 33.



Pin sylvestre - Provenances 90 - 90 bis - 91
Pièces de circonférences croissantes.

Essais en flambement - Longueur: 160 cm
Machine Trayvou (Nancy)

FIG. 34.

Toutefois, nous n'avons pas eu le temps de déterminer expérimentalement avec précision l'exposant n pour une catégorie de bois qui, par ses causes d'hétérogénéité, s'écarte sensiblement des éprouvettes employées dans les essais normalisés.

Les résultats donnés par les pièces de ce lot de pin sylvestre de Finlande sont donnés et commentés dans le chapitre relatif à l'épicéa en même temps que ceux qui sont donnés par un lot d'épicéa de même provenance.

3^e Série

ESSAIS EFFECTUÉS DANS D'AUTRES LABORATOIRES QUE NANCY ET SARREBRUCK

BLANZY

A Blanzay ont été effectuées, de juin à novembre, d'intéressantes expériences sur diverses essences feuillues et résineuses, chaque lot comportant environ 100 pièces.

Deux provenances importantes de pin sylvestre ont été expérimentées :

N^o 108 — Un lot provenant en partie de la forêt domaniale d'Orléans, au nord de la boucle de la Loire et en partie du centre de la Sologne, région de Lamotte-Beuvron.

N^o 105 — Un lot provenant des côteaux calcaires du Châtillonnais, région de Montbard.

Au lot n^o 108 ont pu être comparés des pins Laricios de Corse (lot n^o 106) et au lot n^o 105 des pins noirs d'Autriche (lot n^o 107). Voir les résultats donnés par ces lots dans le chapitre consacré aux Pins Laricios.

Le tableau 10 donne les renseignements relatifs à ces provenances et les résultats obtenus.

Il semble que, grâce à leur forme et à leurs qualités mécaniques supérieures, les pins Laricios de Corse, de Sologne soient préférables aux pins sylvestres.

Le point le plus important est la grande différence de qualité qui existe entre les pins sylvestres ayant crû sur sols siliceux ou argilo-siliceux et les pins provenant de sols calcaires. Ceux-ci témoignent d'une nette infériorité. Les résultats donnés par le lot 105 par exemple sont inférieurs à ceux du lot 108 aussi bien en flexion qu'en flambement.

TABLEAU 10

L O T S	Provenance	Date d'abattage	Observations quant aux pièces	R E S U L T A T S					
				FLAMBEMENT SUR 2,5 mètres		FLEXION SUR 2 m			
				C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. cor. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)
ORLEANS et LANOTTE- BEUVRON 108	Forêt domaniale d'Orléans - Parcelle 1 401 12e Série - Sol de sables et argiles de l'Orléanais et Forêt domaniale de Lamotte-Beuvron - Parcelle 7 - 1ère série - Sol de sables, argiles de Sologne	Novembre 1950	Pièces de forme moyenne, certaines flexueuses, d'autres avec couronnes de gros noeuds	40	55	171	6,6	57	26
AMPILLY-LE-SEC 105	Forêt communale d'Amilly-le-Sec (Côte d'Or) Altitude 310 m - Plateau - Calcaires du Jurassique moyen Plantations de 1910	Novembre et Décembre 1950	Beaucoup de pièces flexueuses ou noueuses	27	51	129	4,0	51	19,1

CARMAUX

Plusieurs séries d'essais ont été effectuées au laboratoire des Houillères du Bassin d'Aquitaine. Elles ont permis d'intéressantes comparaisons entre le pin sylvestre d'une part et le pin noir d'Autriche, le pin à crochets et le pin maritime d'autre part.

Deux lots de pin sylvestre ont été expérimentés :

N° 117 — Lot provenant de la Matte des Angles (Pyrénées-Orientales).

N° 120 — Lot provenant de la forêt de Verrières près de Millau (Aveyron).

Au lot n° 117 peuvent être comparés un lot de pin à crochets provenant de Matemale (Pyrénées-Orientales) n° 118 et un lot de châtaignier provenant de La Montagnole par Reynès (Pyrénées-Orientales) n° 121.

Au lot n° 120 peut être comparé un lot de pin noir d'Autriche (n° 119) provenant de Guiral (Aveyron).

Les résultats donnés par ces divers lots sont présentés dans les chapitres relatifs à chacune de ces essences.

Le tableau 11 donne les renseignements relatifs aux provenances des lots n° 117 et 120 et les résultats moyens obtenus.

La provenance Verrières 120, malgré des accroissements annuels plus larges, témoigne d'une certaine supériorité sur le lot n° 117. Ceci tient à la forme moins bonne et aux nœuds des pièces de ce lot. La rupture est aussi beaucoup plus brutale avec ces bois d'altitude. On peut observer que le pin sylvestre est ici à sa limite sud et sans doute dans des conditions de végétation défavorables.

SAINT-ETIENNE

Les Houillères du Bassin de la Loire ont expérimenté 5 lots de chacun cent pièces, à savoir, 1 lot de pin sylvestre, 2 lots de pin noir, 1 de mélèze et 1 de pin à crochets.

Les pins sylvestres expérimentés provenaient de Seyne-les-Alpes (Basses-Alpes). Ils avaient crû à 1 300 m d'altitude, sur une pente d'éboulis de calcaires marneux, secs en été. Leur forme était médiocre et leur végétation passable. Aussi n'ont-ils pas donné de bons résultats. Ils sont inférieurs aux mélèzes de la même provenance et aux pins noirs provenant de Lozère.

Les chiffres obtenus avec ces pins furent les suivants :
en flambement, sur 2,50 m, 110 kg par cm²,
en flexion, sur 2 m, 12,5 kg par cm².

Voici aussi les chapitres relatifs aux autres essences essayées à Saint-Étienne.

TABLEAU II

L O T S	Provenance	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
			FLAMMEMENT sur 2,50 m		FLEXION sur 1 m			
			C.M.N. (tonnes)	Circ.cor (cm)	C.M.N. (tonnes)	Circ.cor (cm)	C.M.N./cm ² (kg)	
LA MATTE DES ANGLÉS 117	Forêt de la Matte des Angles (Pyrénées-Orientales) Altitude 1 550 m	Pièces présentant des courbes de noeuds et souvent flexueuses	33	56	123	9,5	58	35,2
VERRIÈRES-MILLAU 120	Série domaniale de Verrières, près Millau (Aveyron) Plateau à l'altitude de 770 m - Calcaire Hettangien	Pièces moins flexueuses et moins noueuses que celles du lot précédent	34	54	144	8,2	52	36,4

2° L'ÉPICÉA

a) Généralités

L'épicéa (*Picea excelsa* Link) occupe une aire étendue et compacte dans le Nord de l'Europe et une aire morcelée dans les montagnes d'Europe centrale et occidentale.

En France, il existe à l'état spontané dans de rares stations des Vosges, dans le Jura, les Alpes et les Pyrénées.

La carte n° 2 donne l'aire de l'épicéa en France.

Mais, à cause de sa grande plasticité, de sa croissance rapide et de la réussite généralement bonne des plantations, on l'a diffusé un peu partout dans notre pays. Certains utilisateurs importants d'épicéa, comme les fabricants de pâte à papier ont contribué largement par la propagande et par une action directe sur les pouvoirs publics à la diffusion de cette essence.

Toutefois, introduit sur des sols très divers, qui lui sont parfois totalement défavorables, l'épicéa donne des résultats très variables en quantité *et surtout en qualité*. L'attention des utilisateurs mérite d'être attirée sur ce point important.

Il y a lieu également d'observer que des différences raciales existent entre les épicéas du type nordique, à branches fines, à écorce brun cuir finement écaillée, à accroissements réguliers et fins et certains types très répandus dans les plantations en plaine (et dont les caractères sont souvent exagérés par l'influence d'une station favorable et fertile), à grosses branches et à accroissements larges.

En outre, planté en dehors de son aire, l'épicéa s'élague mal (ou même ne s'élague pas du tout) et les couronnes de gros nœuds morts viennent s'ajouter aux autres caractères défavorables à une bonne résistance mécanique.

b) Caractères d'identification des pièces

Les bois de mine d'épicéa peuvent se reconnaître :

soit à leur écorce :

— brun rouge, lisse, pelucheuse dans le jeune âge et chez les surbilles.

— brun rouge, à brun clair, finement écaillée, chez les billes de pied, surtout dans les provenances de montagne.

soit aux traînées de liber, brun chocolat, *filamenteuses*, difficiles à rompre par traction, qui subsistent à la surface des bois écorcés forestièrement.

soit au bois, blanc ou jaune clair, à odeur de résine, à accroissements de forme bien circulaire, à texture généralement fine (le bois d'été présentant une limite nette avec le bois de printemps de la même année — et non progressive comme dans le bois de sapin, qui lui ressemble beaucoup).

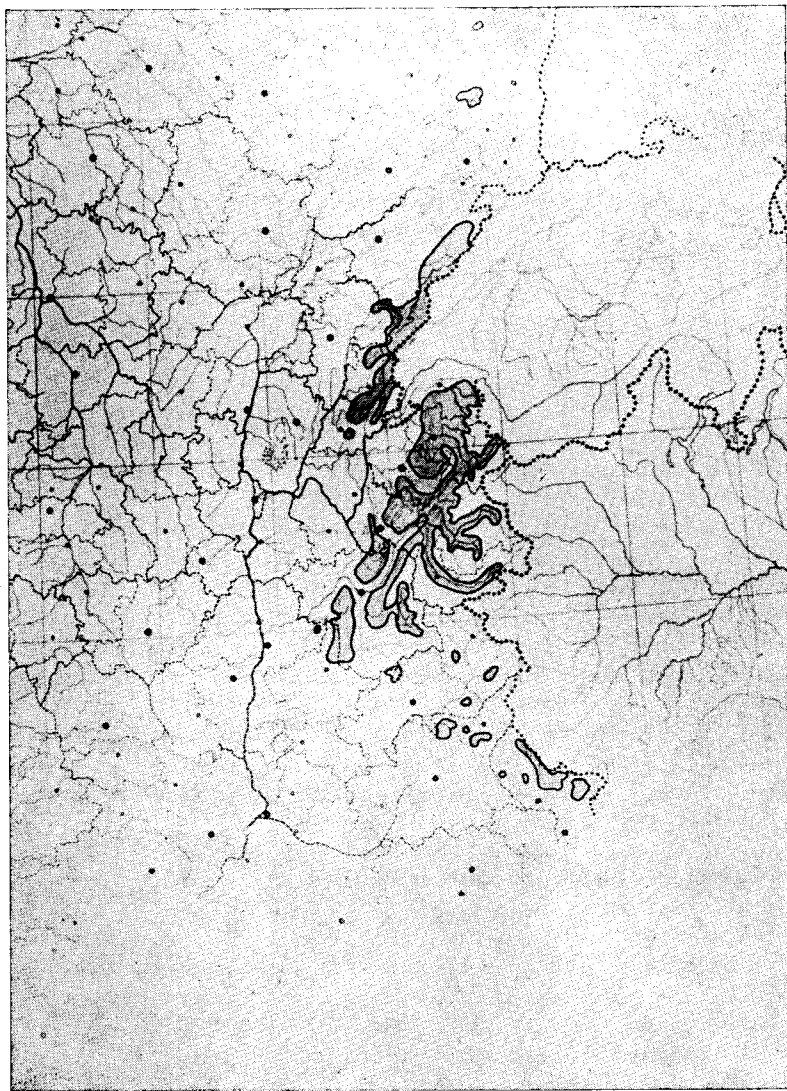


FIG. 35.

CARTE n° 2

Aire naturelle de l'épicéa en France (par P. BOUVAREL)

Chez l'épicéa, la texture et la densité diminuent quand la largeur des cernes augmente, comme chez tous les résineux. Mais chez l'épicéa, bien plus que chez les autres résineux, les propriétés mécaniques décroissent rapidement quand la largeur des cernes augmente.

c) Provenances expérimentées

Nous avons expérimenté 20 lots d'épicéa, soit environ 1 000 pièces, provenant de diverses régions de France et aussi de Finlande (1 lot).

La plupart des lots ont été essayés en flexion statique, sur une portée de 2 m et en flambement sur 2,50 m, dans les laboratoires de Nancy et de Sarrebruck.

Deux lots ont été essayés en flexion, sur 1 m de portée et en flambement, sur 1,60 m au laboratoire de Nancy.

Un lot a été expérimenté au laboratoire de Blanzky.

Le même type d'investigations que pour le pin sylvestre a été adopté.

Les lots expérimentés proviennent en majeure partie de l'est de la France : Vosges (versants ouest et est) et plaine d'Alsace. Un lot provient de la forêt domaniale de Saint-Prix, dans le Morvan (celui qui a été essayé à Blanzky) et un de Normandie (forêt d'Ecouves).

Nous avons reçu, depuis cette date, des lots provenant du Jura et de Savoie, mais ils n'ont pas encore été expérimentés.

Nous nous proposons, par la suite, de recruter des lots venant du Massif Central et des Pyrénées et, surtout, des lots venant de stations défavorables de plaine pour chiffrer les différences mécaniques qui existent entre ces lots et les bonnes provenances.

d) Résultats généraux

1. Flexion statique

En flexion statique, sur 2 m de portée, les essais effectués sur la machine Trayvon du laboratoire de Nancy, ont donné une charge maxima moyenne de 4,4 tonnes pour une circonférence de 56 cm.

La corrélation entre la grosseur et la résistance est évidemment très nette et peut se résoudre, dans la gamme assez étroite des circonférences essayées, par une droite dont les coordonnées sont, pour les charges, les ordonnées de 2,6 et 6,2 tonnes et pour les circonférences correspondantes les abscisses de 47 et 64 cm.

La figure 36 donne le nuage de points et la corrélation correspondants à ces essais.

La corrélation est presque identique pour les essais en flexion

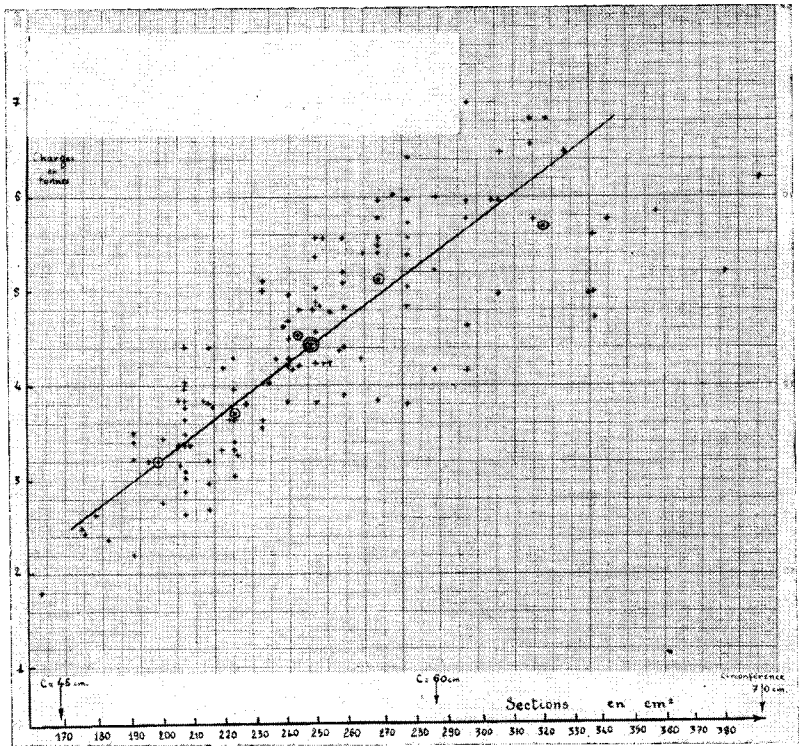


FIG. 36.

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

sur 2 m de portée faits à Sarrebrück avec 6 autres provenances (fig. 37).

Les charges maxima moyennes par cm² s'échelonnent de 15,4 à 19,7 kg (moyenne 18,1) en ce qui concerne les résultats de Nancy et 16,9 à 24,2 (moyenne 19,8) en ce qui concerne les résultats de Sarrebrück.

Si on rapproche ces chiffres de ceux donnés par les pins sylvestres (18,8 et 19,7), on constate une grande similitude.

Mais, comme en flambement, la rupture est toujours plus rapide avec l'épicéa qu'avec le pin, les signes avertisseurs sont moins nombreux (flèche rarement visible avant la rupture, peu de craquements avant rupture) et les pièces ont moins de « nerf ». Les diagrammes de la figure 39 montrent bien ces diverses caractéristiques.

2. Flambement

En flambement, sur 2,50 m (essais de Sarrebrück), la résistance moyenne s'est élevée à 50 tonnes environ pour 56 cm de tour. La corrélation grosseur-charge maxima moyenne, donne pour les essais de flambement, 32 à 68 tonnes, pour 47 à 65 cm de tour.

La dispersion est de l'ordre de 48 % pour les charges correspondant à la circonférence moyenne (56) mais elle atteint 100 % pour les petits bois (50 cm de tour). *L'influence de la provenance est la cause de cette dispersion énorme des résultats.*

Le nuage de points et la ligne de corrélation relative à ces essais sont portés sur la figure 38.

En flambement, sur 2,50 m de portée, les 16 lots essayés à Sarrebrück ont donné des *charges maxima moyennes par cm² allant de 170,9 kg à 219,4 (moyenne 200)*. La dispersion est donc de 24 %. Avec une correction de siccité (qui est de l'ordre de 1 % plus faible chez les épicéas que chez les pins), la charge maxima moyenne par cm² reste sensiblement plus élevée pour ces 16 lots d'épicéa que pour les lots de pin sylvestre (192 contre 174).

Toutefois, la rupture des épicéas est presque toujours plus brutale que celle des pins et les signes avertisseurs avant rupture (flèche ou craquements) sont nuls ou beaucoup moins importants (fig. 43).

La largeur des cernes, pour les bois essayés, variait de 1,1 à 3,7 mm (moyenne 2,3) et la densité, à 15 % d'humidité, de 0,448 à 0,576 (moyenne 0,534). La densité moyenne est donc inférieure à celle des pins sylvestres (0,552 contre 0,600) et la largeur des cernes est un peu plus élevée (2,3 contre 1,8). A noter que l'épicéa sèche plus vite que le pin. A durée de stockage égale, il chiffre 1 à 2 % d'humidité de moins que le pin. Là encore, on constate une corrélation étroite entre les propriétés mécaniques, la densité et la finesse des cernes (nombre moyen de cernes par cm de rayon).

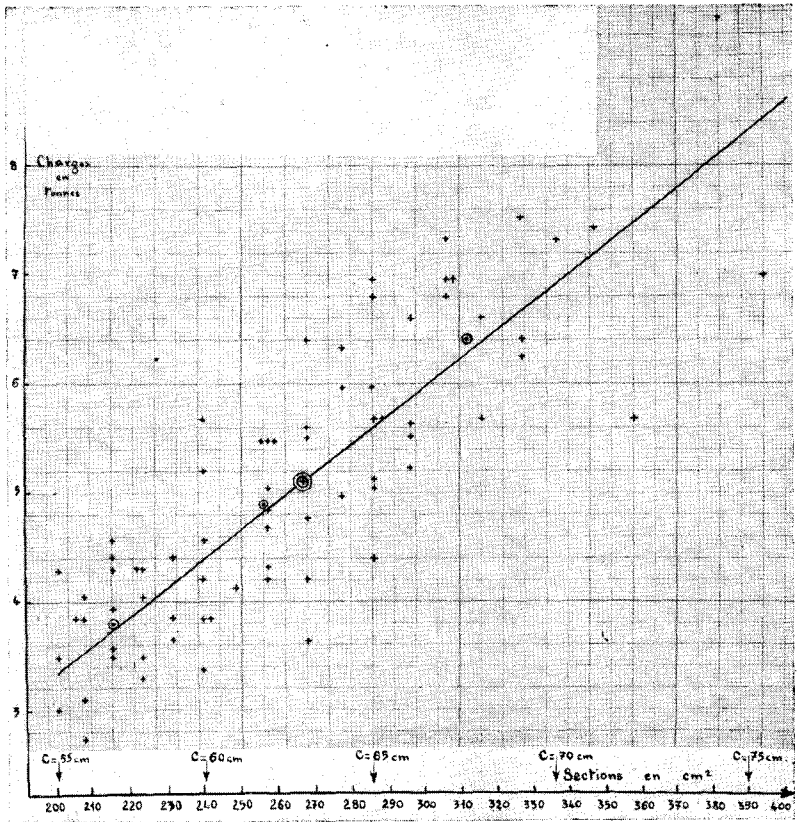


FIG. 37.

Moyenne des essais en flexion statique sur 2 m.
 Laboratoire de Sarrebrück - 1954
 Epicéa - provenances diverses.

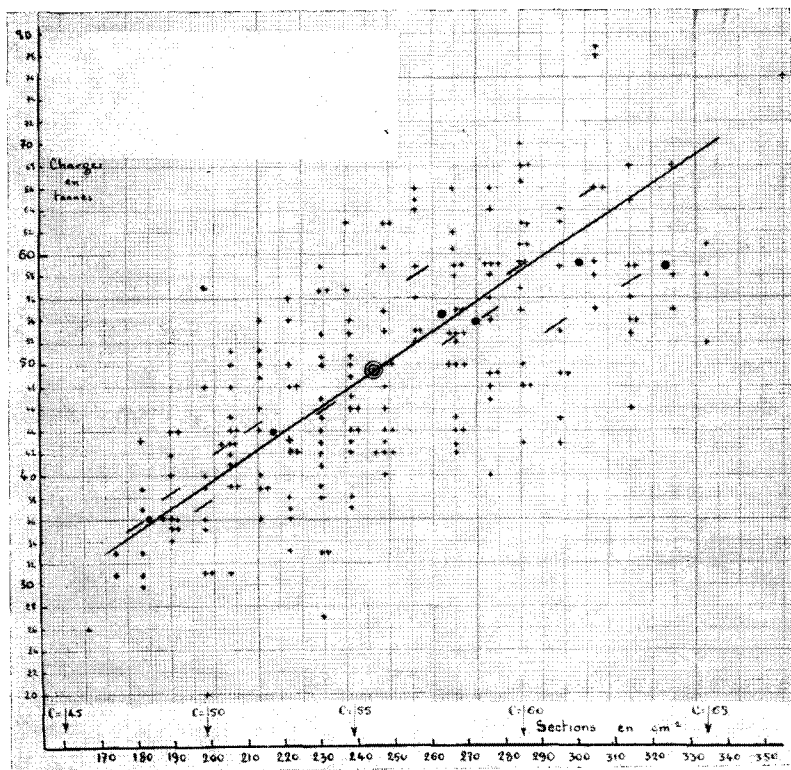


FIG. 38.

Epicéa - Provenances diverses.
Essais en flambement sur 2,50 m.
Laboratoire de Sarrebrück

Charges
(en kg)

190 FS

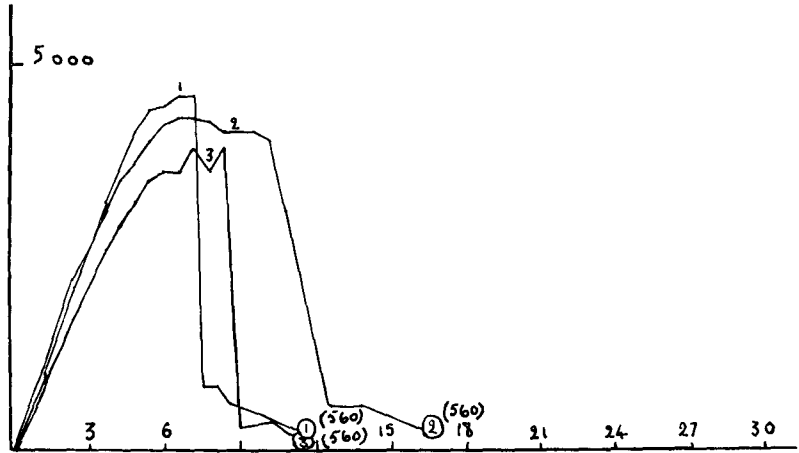


FIG. 39.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée : 200 cm.
Juillet 1954.*Epicéa* - Colroy-la-Grande (Vosges).

e) Résultats donnés par les différents lots

1^{re} SérieLOTS ESSAYÉS EN FLEXION SUR 2 m ET EN PORTÉE SUR 2,50 m
DANS LES LABORATOIRES DE NANCY ET DE SARREBRUCK

GUEBWILLER (Haut-Rhin) - Lot n° 161

RIBEAUVILLÉ (Haut-Rhin) - Lot n° 229

COLROY (Vosges) - Lot n° 190

Les renseignements relatifs à ces trois provenances et les résultats obtenus sont portés sur le tableau 12.

Ces trois lots donnent des résultats inférieurs à la moyenne. La cause en est dans leurs accroissements larges (parfois supérieurs à 3 mm) que souligne leur faible densité (nettement inférieure à la moyenne). En plus, les pièces comportent des couronnes de nœuds morts dues à l'absence d'élagage naturel ou artificiel. Le climat des contreforts des Vosges, en bordure de la plaine d'Alsace, n'est guère favorable à l'épicéa.

On notera cependant que la résistance au flambement des épicéas de Ribeauvillé (171 kg par cm^2) est supérieure à celle des pins de provenance voisine (154 kg). En flexion, avec 16,9 kg par cm^2 , les épicéas ont une résistance voisine de celle des pins de même provenance (16,2).

Les épicéas de Colroy (avec 181 kg par cm^2 en flambement et 18,2 kg par cm^2 en flexion) se montrent cependant nettement supérieurs aux pins de même provenance (avec 132 et 15,5 kg).

Notons toutefois la médiocrité des signes avertisseurs donnés par les épicéas: la flèche visible est rarement atteinte avant rupture, les pièces craquent mais souvent trop tard et, surtout, la rupture est brutale (voir diagrammes de la figure 39).

VAL-D'AJOL (Vosges) - Lot n° 197

Lot provenant de la forêt domaniale de Val-d'Ajol, 5^e Série, parcelle M¹ - Altitude 550 m - Pente légère exposée à l'ouest - Grès vosgien, sol assez profond, encore en bon état - Jeune futaie, régulière, dense, en bon état de végétation, âgée de 40 à 50 ans.

Ce lot présente une particularité. Les pièces sont inférieures à la moyenne en flambement et supérieures en flexion.

En flambement, les résultats sont les suivants:

Largeur des cernes. 2,1 cm (contre 2,26 pour la moyenne générale).

Densité. 0,543 (contre 0,534 pour la moyenne générale).

Pièces avec beaucoup de couronnes de gros nœuds et, par suite, une forte conicité.

Charge moyenne: 47 tonnes.

Circonférence correspondante: 56 cm.

Charge maxima moyenne générale correspondant à cette circonférence: 50 tonnes.

Charge maxima moyenne par cm^2 : 188 kg.

Moyenne générale: 200 kg.

Il semble que la faiblesse de la moyenne du lot soit due aux pièces coniques.

En flambement, celles-ci donnent des résistances inférieures de 15 à 30 % aux pièces normales, pour une conicité de 6 à 10 cm par mètre sur la circonférence.

En flexion, les épicéas du Val d'Ajol se placent à un classement plus normal. Les résultats sont les suivants:

Charge maxima moyenne: 5,2 tonnes.

Circonférence correspondante: 58 cm.

Charge maxima moyenne générale correspondant à cette circonférence: 4,8 tonnes.

Charge maxima moyenne par cm²: 19,6 kg.

Moyenne générale: 18,1 kg.

La conicité n'a pas exercé, en flexion, une influence aussi significative qu'en flambement.

Les mêmes reproches que pour les lots d'épicéa précédents sont à adresser à ce lot: raideur avant rupture, cassure brutale, manque de nerf.

HAGUENAU (Bas-Rhin) - Lot n° 178

SAVERNE (Bas-Rhin) - Lot n° 219

DAMBACH (Bas-Rhin) - Lot n° 170

LA PETITE-PIERRE (Bas-Rhin) - Lot n° 184

HANAU (Moselle) - Lot n° 207

Ces 5 lots, géographiquement voisins, ont donné des résultats assez semblables et voisins de la moyenne générale.

Le tableau 13 consigne les renseignements relatifs à la provenance, aux caractères des pièces et aux résultats obtenus.

Les résistances offertes par ces lots sont voisines de la moyenne en flambement. Le lot Saverne 219 offre une très bonne résistance. Haguenau 178 et La Petite-Pierre 184 sont inférieurs à la moyenne en flexion. Les deux autres lots sont normaux.

L'ensemble de ces lots offre les caractéristiques défavorables de l'épicéa en tant que bois de mine: raideur et rupture brutale. Notons toutefois que les craquements avertisseurs avant rupture deviennent nombreux et forts, beaucoup plus qu'avec les premiers lots.

Il est intéressant de rapprocher les caractéristiques de certains lots d'épicéas avec des lots de pins sylvestres de provenance analogue.

Lots	ÉPICÉA		Lots	PIN SYLVESTRE	
	Flambement C.M.M./cm ² (kg)	Flexion C.M.M./cm ² (kg)		Flambement C.M.M./cm ² (kg)	Flexion C.M.M./cm ² (kg)
Haguenau 178	195	16,9	Haguenau 179	191	15,2
Saverne 219	197	21,5	Saverne 220	182	20,7
Dambach 170	200	18,3	Dambach 171	162	16
Petite-Pierre 184 .	203	16,8	Petite-Pierre 185 ..	168	17,2
Hanau 207	203	19,7	Hanau 208	212	20,8

On observe que seuls les pins sylvestres de Hanau 208 restent supérieurs aux épicéas de même provenance, aussi bien en flexion qu'en flambement.

TABLEAU 13

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces		
HAGUENAU 178	145 m	Pente nulle	Sableux mais humide (molinie)	Jeune futaie de 50 ans, régulier, dense (1400 cm ³ en bon état de végétation)	2,3	0,513	Belles pièces mais courbes, mais de faible diamètre		
SAVERNE 219	430 m	Est	Grès vosgien, sec mais assez profond	Forêt domaniale, Saverny parcelle 113, Ht perchis en bon état de végétation	2,0	0,564	Belles pièces, noeuds en courbes, mais de faible diamètre		
DAMBACH 170	400 m	Nord et Nord-Ouest - pente faible	Granit	Haut perchis sapin à 6-parcelle 18, 1ère série - Forêt communale Dambach	1,8	0,550	- de -		
PETITE PIERRE 184	280 m	Nord-Est - pente raide	Grès vosgien, sec peu fertile	Haut perchis sapin avec bouquets épiciés 40/60 gr assez dense, bonne végét. Forêt domaniale de la Petite Pierre-Sud 9e série - parcelle 236	2,1	0,555	- de -		
HANAU 207	250 m	Nord-Ouest pente 40 %	Grès vosgien, sec mais assez profond	Jeune futaie mélangée par bouquets - Ft domaniale de Hanau - parcelle 126	2,3	0,543	- de -		
R E S U L T A T S									
Flèmbement sur 2,50 m									
L O T S	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
HAGUENAU 178	50	57	52	195	4	55	4,3	16,9	18,1
SAVERNE 219	53	58	54	197	5,45	61	4,9	21,5	19,7
DAMBACH 170	51	57	51	200	4,2	54	4	18,3	18,1
PETITE PIERRE 184	49	55	48	203	4,3	56	4,8	16,8	19,7
HANAU 207	46	54	45	203 moyenne générale 200	4,4	54,5	4,2	19,7	18,1

En flambement, les pins de Haguenau 179 sont à peu près analogues aux épicéas de même provenance, mais en flexion ils sont légèrement inférieurs.

En flexion, les pins sylvestres de Saverne 220 valent à peu près les épicéas de même provenance.

Les pins de Dambach 171 sont nettement inférieurs aux épicéas de même provenance.

Et surtout, en règle générale, les signes avertisseurs, à vue et à l'ouïe, donnés par les pins sont supérieurs à ceux donnés par les épicéas et leur rupture est moins rapide.

GRAMMONT (Meurthe-et-Moselle) - Lot n° 167

MASEVAUX (Haut-Rhin) - Lot n° 227

NIEDERBRONN (Bas-Rhin) - Lot n° 176

ECOUVES (Orne) - Lot n° 238

Les renseignements relatifs à ces 4 bonnes provenances d'épicéa sont donnés par le tableau 14.

Aucune observation supplémentaire n'est à faire en ce qui concerne ces provenances.

On peut les comparer avec des provenances analogues, de pin sylvestre :

Lots	ÉPICÉA		Lots	PIN SYLVESTRE	
	Flambement C.M.M./cm ² (kg)	Flexion C.M.M./cm ² (kg)		Flambement C.M.M./cm ² (kg)	Flexion C.M.M./cm ² (kg)
Grammont 167	207	19,6	Grammont 168	206	18,7
Niederbronn 176 ..	210	16,2	Niederbronn 177 ..	192	22,4
Ecouves 238	211	21,1	Ecouves 235	179	23,3

En flambement, les 3 lots d'épicéa 167 - 176 et 211 sont supérieurs aux lots de pin sylvestre de même provenance. Niederbronn 177 et Ecouves 235, produisent des pins meilleurs que les épicéas, en flexion

DONON Salm (Bas-Rhin) - Lot n° 200

RAMBERVILLERS Housseras (Vosges) - Lot n° 173

RAMBERVILLERS Chipotte (Vosges) - Lot n° 181

Il n'est pas possible de considérer comme une coïncidence que ces 3 lots, écologiquement très voisins, donnent tous trois des résultats identiques et supérieurs aux autres lots.

TABLEAU 14

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largueur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces		
GRAMMONT 167	300 m	Nord-Ouest - pente très faible	grès vosgien - sol siliceux mais assez profond - climat humide	Perchis d'épicéa pur, dense, bien venant, de 40 ans. Parc. 42 Forêt domaniale de Grammont	3,1	0,502	Belles pièces mais avec couronnes de noeuds		
MASEVAUX 227	650	Nord et Nord-Est pente 50 %	Grauwacke - sol assez sec, peu profond	Ht perchis dense, mais irrégulier - Parcelle 13 Forêt domaniale de Masevaux	2,2	0,567	- d ^o -		
NIEDEBRONN 176	200	Sud	Grès vosgien	Ht perchis assez clair - sapin, pin, épicéa et hêtre par bouquets - 60 ans - bonne végétation - Parc. 64 C - 3e série	2,1	0,495	- d ^o -		
ECOUVES 238	285	Nord (trou à géolées)		Bouquets d'épicéa d'origine artificielle introduits dans parties tourbeuses d'un taillis de bouleau - parc. 20 - 12e série	2,6	0,495	- d ^o -		
R E S U L T A T S									
Flambement sur 2,50 m				Flexion sur 2 m					
L O T S	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.N./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (tonnes)	C.M.N./cm ² (kg)	C.M.M.G. corr. (kg)
GRAMMONT 167	55	58	53	207	5,1	58	4,8	19,6	18,1
MASEVAUX 227	46	53	43	210	4,8	55	4,4	20	19,7
NIEDEBRONN 176	52	56	49	210	3,3	51	3,4	16,2	18,1
ECOUVES 238	46	52	42	211	4,7	55	4,4	21,1	19,7
				moyenne générale : 200					

On a déjà remarqué que, dans la hiérarchie des lots de pin sylvestre, ces 3 stations occupaient la 4^e, la 9^e et la 10^e place (sur 36 lots). Les lots de sapin pectiné des mêmes provenances arrivent respectivement au 1^{er} et au 7^e rang.

Les conditions écologiques de ces stations sont bien connues: altitude comprise entre 350 et 700 mètres. Grès vosgien donnant un sol meuble, parfois profond. Forte pluviosité dépassant fréquemment un mètre et répartie sur toute l'année. Hivers rigoureux avec manteau de neige. Étés jamais très chauds. Ambiance très forestière. Forêts naturelles, pour la plupart traitées en futaie régulière et maintenue en peuplements denses.

Les arbres d'élite sont souvent le produit de sols pauvres ou de conditions rigoureuses, comme le fait remarquer P. SILVY-LELIGOIS (1). Les bois à accroissements fins sont toujours des produits de luxe (épicéa d'aviation ou de résonance, chêne de tranchage).

Les trois stations ci-dessus ont des accroissements ayant respectivement 1,2 - 1,1 et 1,8 mm. Leurs densités (0,555 - 0,576 et 0,557) sont toutes les trois supérieures à la moyenne (0,522).

Il n'est pas extraordinaire d'obtenir avec ces bois les résultats intéressants suivants:

FLAMBEMENT

Lots	C.M.M.	Circonf.	C.M.M.G.	CMM/cm ²
	(tonnes)	corresp. (cm)	corresp. (tonnes)	(kg)
Donon Salm 200	51	55	47	215
Rambervillers Housseras 173	51	54	46	218
Rambervillers Chipotte 181	52	55	47	219
				contre 200 pour la moy. gén.

FLEXION

Lots	C.M.M.	Circonf.	C.M.M.G.	CMM/cm ²	CMMG/cm ²
	(tonnes)	corresp. (cm)	corresp. (tonnes)	(kg)	corresp. (kg)
Donon Salm 200	4,8	56	4,4	19,3	18,1
Rambervillers Housseras 173	4,15	53	3,9	18,5	18,1
Rambervillers Chipotte 181	5,3	57	4,9	24,2	19,7

(1) « Le Forestier entre l'ombre et la lumière ». Journal forestier suisse, n° 6, juin 1950, p. 259.

Rappelons les charges maxima moyennes par cm^2 des pins sylvestres des mêmes provenances.

Lots	Flambement (kg)	Flexion (kg)
Rambervillers (Chipotte) 182	210	18,1
Donon (Salm) 201	198	20
Rambervillers (Housseras) 174	196	17,4

Les trois provenances donnent donc d'excellents produits quelles que soient les essences. En outre, les signes avertisseurs sont plus importants chez ces 3 lots d'épicéas que dans les autres lots. La rupture est moins brutale et la cassure est fibreuse.

Les méthodes forestières employées dans ce secteur important des Basses-Vosges conduisent donc à des produits d'excellente qualité et méritent d'être maintenues. La pratique de l'élagage artificiel améliorerait encore les produits.

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR UN METRE
ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m AU LABORATOIRE DE NANCY

GERARDFER (Vosges) 85

HAGUENAU (Bas-Rhin) 86

HAGUENAU (Bas-Rhin) 86 bis

1) FLAMBEMENT

Le résultats obtenus avec ces 3 lots sont les suivants :

	Lots 85 et 86	Lot 86 bis
	—	—
Charge maxima moyenne générale .	5,9 tonnes	7,62 tonnes
Circonférence correspondante	23 cm	25 cm
Charge maxima moyenne par cm^2 ..	140 kg	156 kg

Le lot 86 bis a été abattu en janvier-février 1950. Le lot 86 en août 1949 et le lot 85, en octobre 1949.

Les nuages de points et les corrélations relatives à ces essais sont donnés par la figure 40.

Ces chiffres peuvent être rapprochés de ceux qui ont été obtenus au cours des essais de pin sylvestre de provenances analogues. La charge maxima moyenne par cm^2 obtenue avec les pins était de 166 kg. Les pièces avaient une circonférence moyenne de 27 cm.

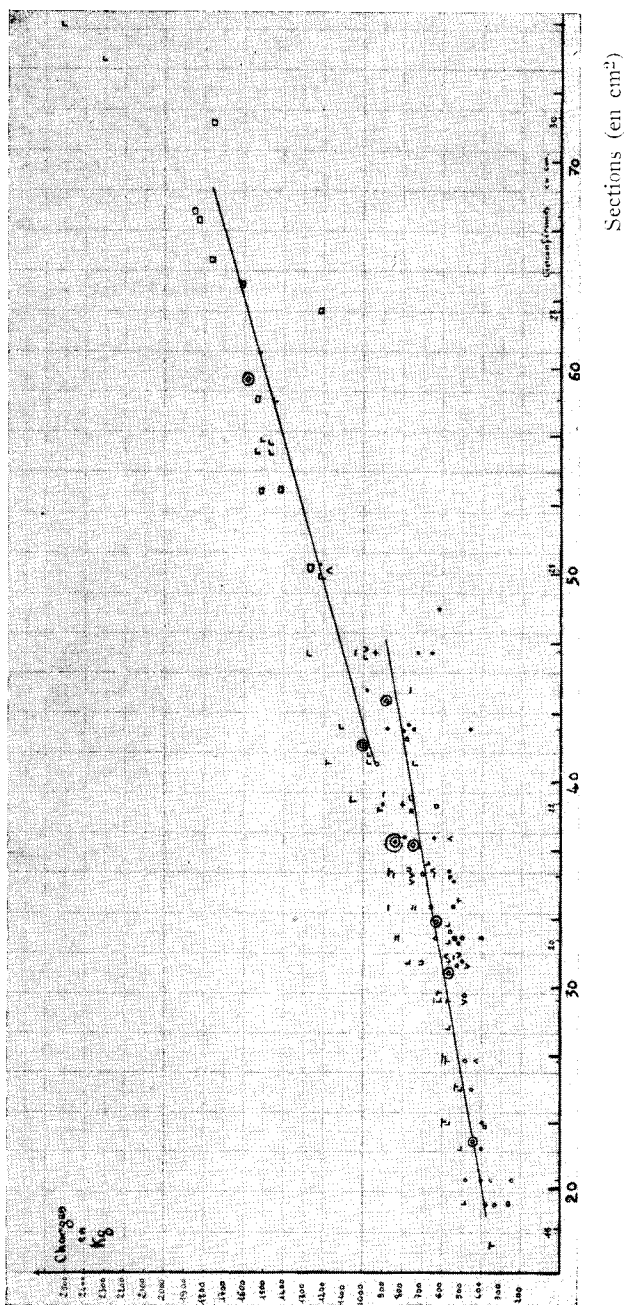


FIG. 40.

Epicea commun; - Gógardner et Haguenu n^{os} 85 et 86.
 Essais en flexion statique sur 1 m.
 Laboratoire de Nancy - Amsler.

2) FLEXION

Les résultats donnés par ces 3 lots sont les suivants :

	Lots 85 et 86	Lot 86 bis
	—	—
Charge maxima moyenne générale .	812 kg	1 344 kg
Circonférence correspondante	21,4 cm	25,5 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> . .	22,3 kg	26,0 kg

Les charges maxima moyennes sont sensiblement supérieures à celles qu'ont données, à degré d'humidité égal, les pins de même provenance (16,6 kg pour une circonférence de 20,4 cm).

Les couronnes de nœuds étaient plus importantes sur les pièces de pin sylvestre que sur les épicéas.

Les diagrammes de la figure 41 montrent bien l'influence de la durée du stockage (donc principalement de la variation du degré d'humidité) sur l'allure de la rupture. Plus les bois sont secs, plus leur raideur et la rapidité de leur rupture augmente sans même qu'ils soient altérés.

Les diagrammes des figures 42 et 43 donnent une idée de l'allure générale de la rupture des pièces d'épicéa, en flexion et en flambement.

3^e Série

ESSAIS EFFECTUÉS DANS D'AUTRES LABORATOIRES
QUE NANCY ET SARRBRUCK

BLANZY - Essai d'un lot d'épicéa
de Saint-Prix (Saône-et-Loire) n° 109

Ce lot provenant de la forêt domaniale de Saint-Prix (Saône-et-Loire) dans le Morvan (altitude 750-800 m - exposition N - pente 5 à 20 % - granulite - sol assez profond - parcelle A1 de la 1^{re} Série) a été essayé en flambement sur 2,50 m et en flexion sur 2 m, au laboratoire de Blanzly.

Il a donné les résultats suivants :

1) FLAMBEMENT

Charge maxima moyenne	53 tonnes
Circonférence correspondante	58 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i>	198 kg

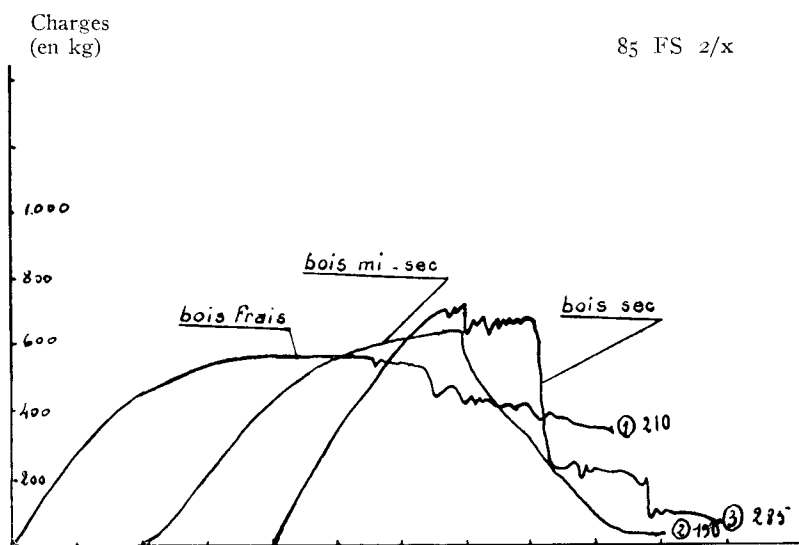


FIG. 41.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler) - portée: 100 cm.
Démultiplication: 2 T.
Epicéa - Gérardmer (Vosges) 1: 3/50 — 2: 3/51 — 3: 7/52

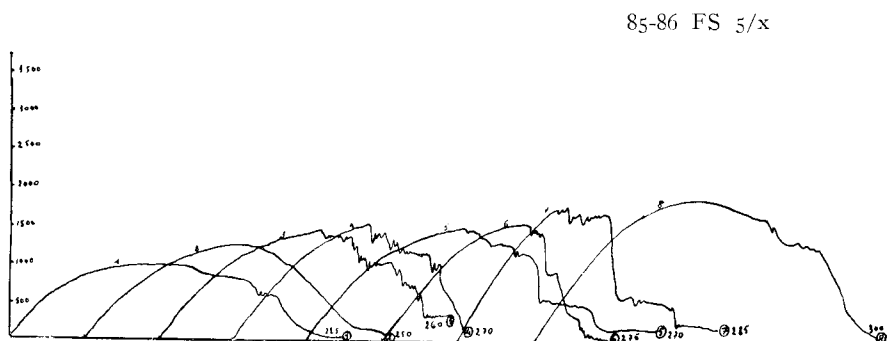


FIG. 42.

Epicéa - Provenances diverses - Pièces de circonférences croissantes.
Essais en flexion statique sur 1 m de portée.
Machine Amsler (Nancy) - Démultiplication : 5 T.

Charges
(en tonnes)

85 FBT

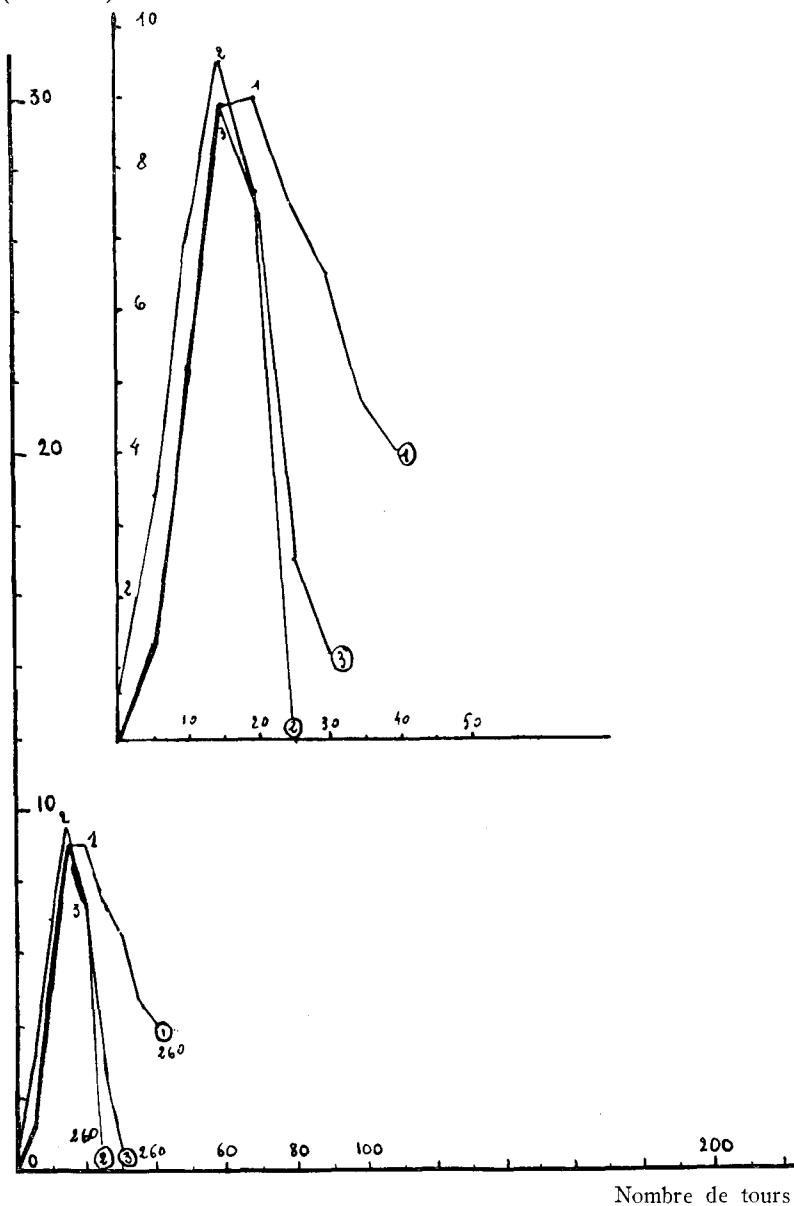


FIG. 43.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou).
 Longueur: 160 cm. - Mai 1951.
Epicéa - Gérardmer (Vosges)

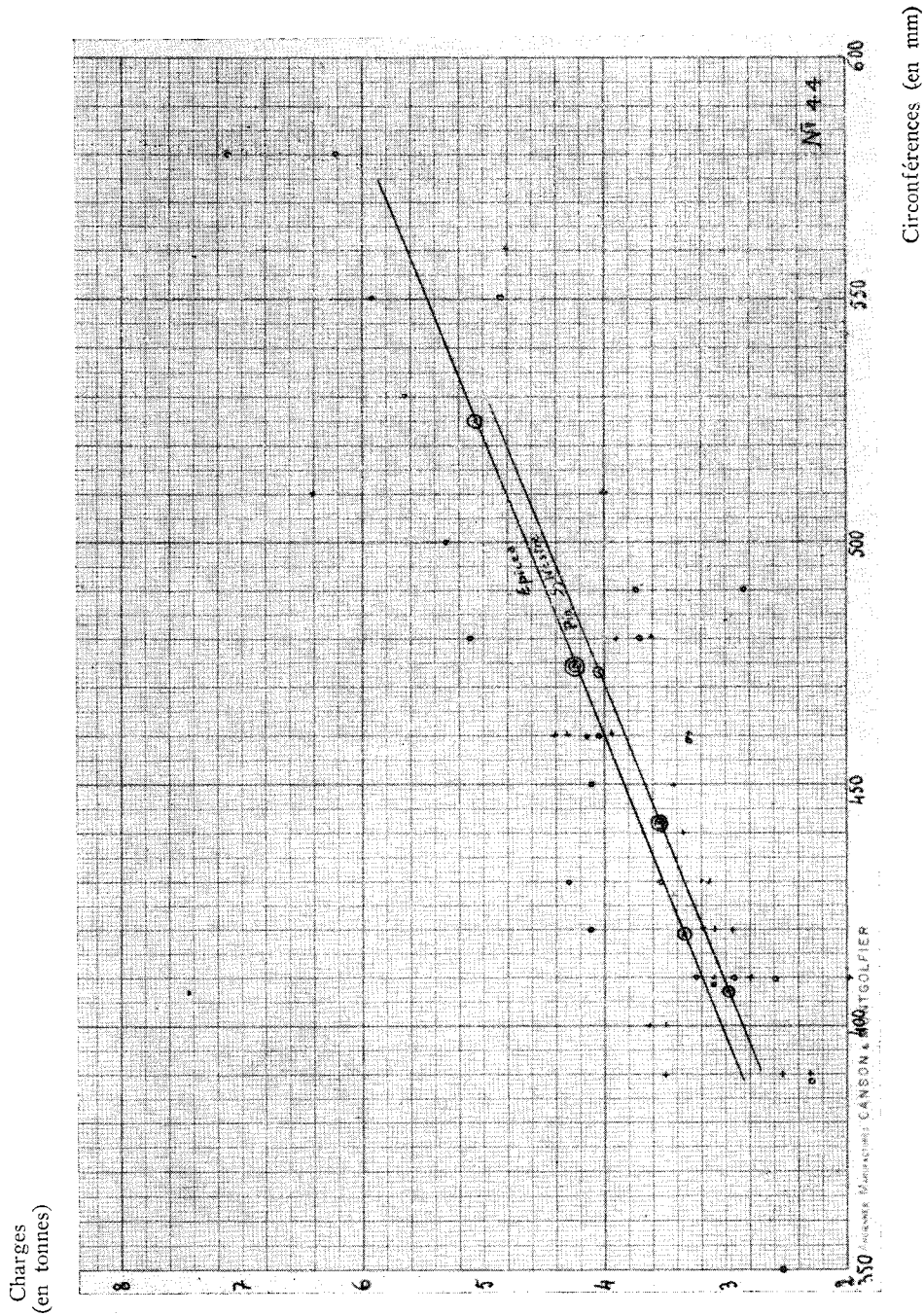


Fig. 44.
o Epicéa Finlande, + Pin sylvestre Finlande

2) FLEXION

Charge maxima moyenne	6,6 tonnes
Circonférence correspondante	58 cm
Charge maxime moyenne par cm ²	24,4 kg

Il n'a pas été essayé d'autres provenances d'épicéa dans ce laboratoire. Les résultats se rapprochent de ceux que donnent l'épicéa aux laboratoires de Sarrebrück et de Nancy.

On rapprochera aussi ces chiffres de ceux donnés par les pins sylvestres d'Ampilly-le-Sec n° 105 (129 kg par cm² en flambement et 19,1 kg par cm² en flexion).

L'épicéa donne, dans le Morvan, des pièces de bonne résistance mécanique mais, comme toujours, les épicéas sont raides et leur rupture est rapide.

4^e Série

BOIS DE FINLANDE

En même temps que les pins sylvestres, un lot d'épicéa de Finlande a été expérimenté, en flexion, sur 1,65 m de portée, au laboratoire de Nancy (machine Trayvou).

Le nuage de points et les corrélations (grosueur-charge maxima) donnés par ces pièces sont portés sur la figure 44.

On remarquera la grande similitude entre les épicéas et les pins sylvestres, la résistance des épicéas étant toutefois un peu plus élevée que celle des pins (5 %). Les pièces montrent une bonne régularité dans leurs qualités. La rupture des épicéas est cependant toujours plus rapide que celle des pins (voir graphiques de la figure 45).

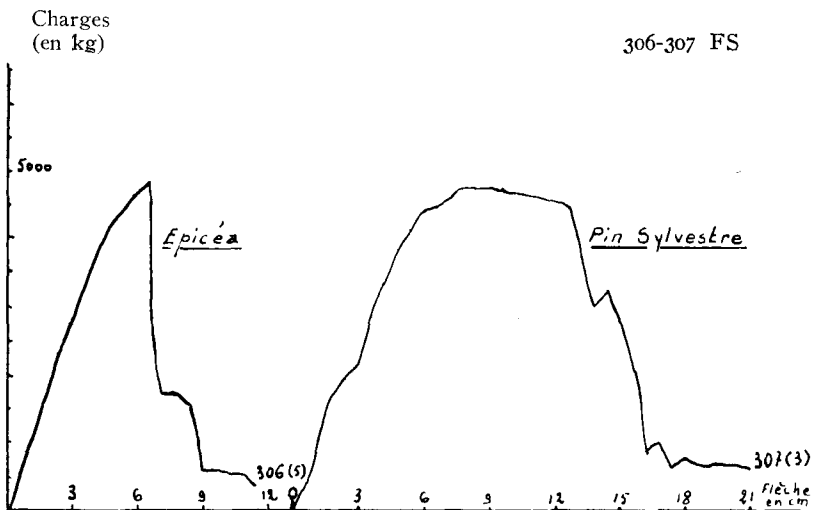


FIG. 45.

Essai en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) portée: 165 cm
Epicéa et Pin sylvestre de Finlande.

3° LE SAPIN PECTINÉ

a) Généralités

Le Sapin pectiné (*Abies pectinata*) occupe, en Europe, une aire morcelée, en montagne, des Pyrénées aux Balkans. En France, son aire s'étend principalement des Vosges aux Pyrénées, mais il oc-

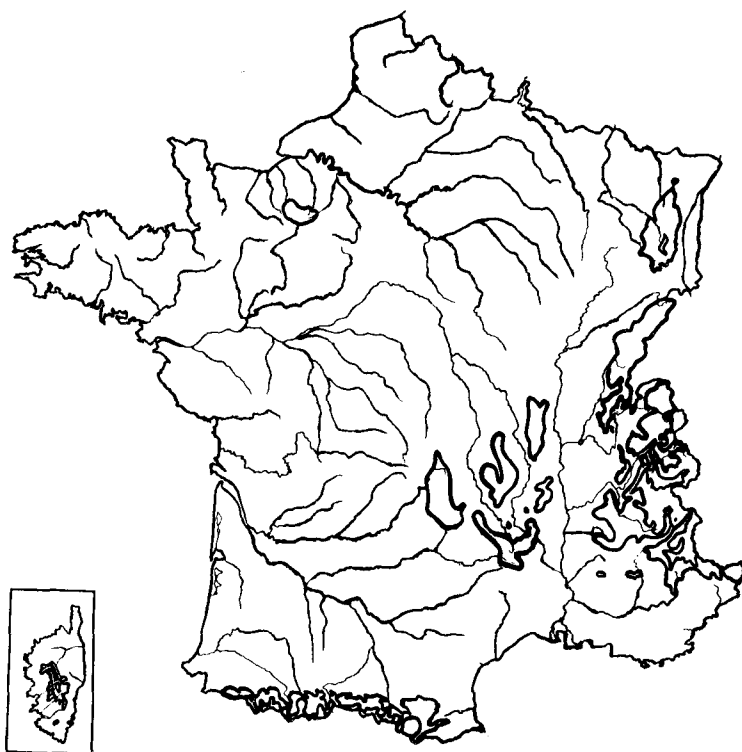


FIG. 46.

CARTE n° 3.
Aire naturelle du sapin en France.

cupe aussi quelques stations disséminées dans le Sud du Massif Central et en Normandie (Voir carte de l'aire du sapin n° 3).

On tend cependant à répandre le sapin en dehors de son aire, pour enrésiner des taillis à faible rendement, au voisinage toutefois de son aire naturelle.

Le sapin pectiné n'a pas eu la diffusion souvent inconsidérée de l'épicéa. Moins plastique, il est plus difficile à cultiver dans les

stations qui ne lui conviennent pas. Aussi donne-t-il des produits assez constants. Toutefois, on constate des différences assez nettes entre la qualité des bois qui ont crû sur des versants peu ensoleillés et celle des bois provenant de versants ensoleillés surtout si, en outre, ils sont peu arrosés, à sol ne retenant pas l'eau et en pente raide.

Les peuplements de sapin pectiné sont généralement très denses. Les basses branches meurent mais, sous le couvert épais des cimes, faute de la lumière, de la chaleur et de l'eau nécessaires aux champignons spécifiques saprophytes, les branches ne pourrissent que très lentement et sont longues à tomber. Comme les épicéas, les sapins, non élagués artificiellement, comportent donc, quand ils ont la dimension de bois de mine, de nombreuses couronnes de nœuds noirs.

b) **Caractères d'identification des bois de mine de sapin pectiné**

Les bois de mine de sapin pectiné peuvent se reconnaître :

— *soit à leur écorce*, lisse ou irrégulièrement, peu profondément et lâchement crevassée, de couleur gris argenté ou gris cendre.

— *soit aux traînées de liber*, ocre brun ou brun cuir, subsistant à la surface des pièces écorcées forestièrement et n'ayant pas la consistance filamenteuse du liber d'épicéa, elles se cassent en fragments courts quand on essaye de les arracher,

soit au bois, blanc-jaunâtre, n'ayant pas l'odeur de résine des pins ou de l'épicéa (mais une odeur fade peu agréable), à accroissements annuels bien marqués par une zone de bois d'été généralement abondante (texture forte).

Le passage du bois de printemps au bois d'été est progressif, moins brutal que chez l'épicéa. Le bois ne contient absolument pas de canaux résinifères. Il n'y a pas de différence entre cœur et aubier.

Les nœuds du sapin sont souvent plus gros que ceux de l'épicéa. Les nœuds morts restent longtemps adhérents et de couleur brun rouge. Ceux de l'épicéa ont tendance à devenir rapidement noirs et non adhérents.

c) **Provenances expérimentées**

21 provenances de sapin pectiné (soit environ 1 000 pièces) ont été expérimentées, à savoir :

18 en flexion statique sur 2 m et en flambement sur 2,50 m dans les laboratoires de Nancy et Sarrebruck,

3 en flexion statique sur 1 m et en flambement sur 1,60 m dans le laboratoire de Nancy.

Les lots expérimentés proviennent :

a) des versants lorrains et alsaciens des Vosges granitiques et gréseuses et des collines et basses montagnes bordant ces versants,

- b) des Alpes maritimes,
- c) de Normandie.

Depuis cette date, nous avons reçu des lots de sapin pectiné provenant du Jura et de Savoie mais l'expérimentation de ces lots n'est pas achevée. Il y aura lieu ultérieurement de constituer des échantillonnages dans les stations de sapin situées au sud du Massif Central et dans les Pyrénées.

Dès que nous le pourrons, nous réunirons également des échantillonnages provenant d'enrésinement de taillis dans le Jura et dans l'est du Bassin Parisien.

d) Résultats généraux

1^{re} Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 2 m

ET EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m

DANS LES LABORATOIRES DE NANCY ET DE SARREBRUCK

1) FLAMBEMENT

Les résistances par cm² des 18 lots essayés s'échelonnent de 151,6 kg à 226,9 (moyenne 195), soit une dispersion de 39 % autour de la moyenne. À noter que pour les 16 meilleurs lots, la dispersion n'est que de 27 %.

La charge maxima moyenne pour l'ensemble des 18 lots est de 47,5 tonnes, pour une circonférence de 55,5 cm.

Les chiffres sont donc assez voisins de ceux de l'épicéa (50 tonnes pour 56 cm de tour et 200 kg par cm²).

Le nuage de points et la ligne de corrélation grosseur-charge maxima, relatifs à ces essais sont portés sur la figure 47. Cette ligne est absolument parallèle à celle de l'épicéa et très légèrement en dessous (3 % environ), à siccité égale.

Les signes avertisseurs n'ont pas la régularité de ceux des pins. Certaines séries émettent des craquements longtemps avant la rupture (parfois au tiers de la charge maxima). D'autres ne craquent qu'au moment de la rupture. Celle-ci est moins rapide que celle de l'épicéa, mais plus rapide que celle du pin.

2) FLEXION

Les résultats obtenus avec la machine Trayvou, au laboratoire de Nancy sont les suivants :

Charge maxima moyenne : 4,4 tonnes, pour 54,5 cm de tour.

Charge maxima moyenne par cm² : 18,6 kg.

Là encore, les résultats sont voisins de ceux de l'épicéa. Voir corrélation correspondant à ces essais figure 48.

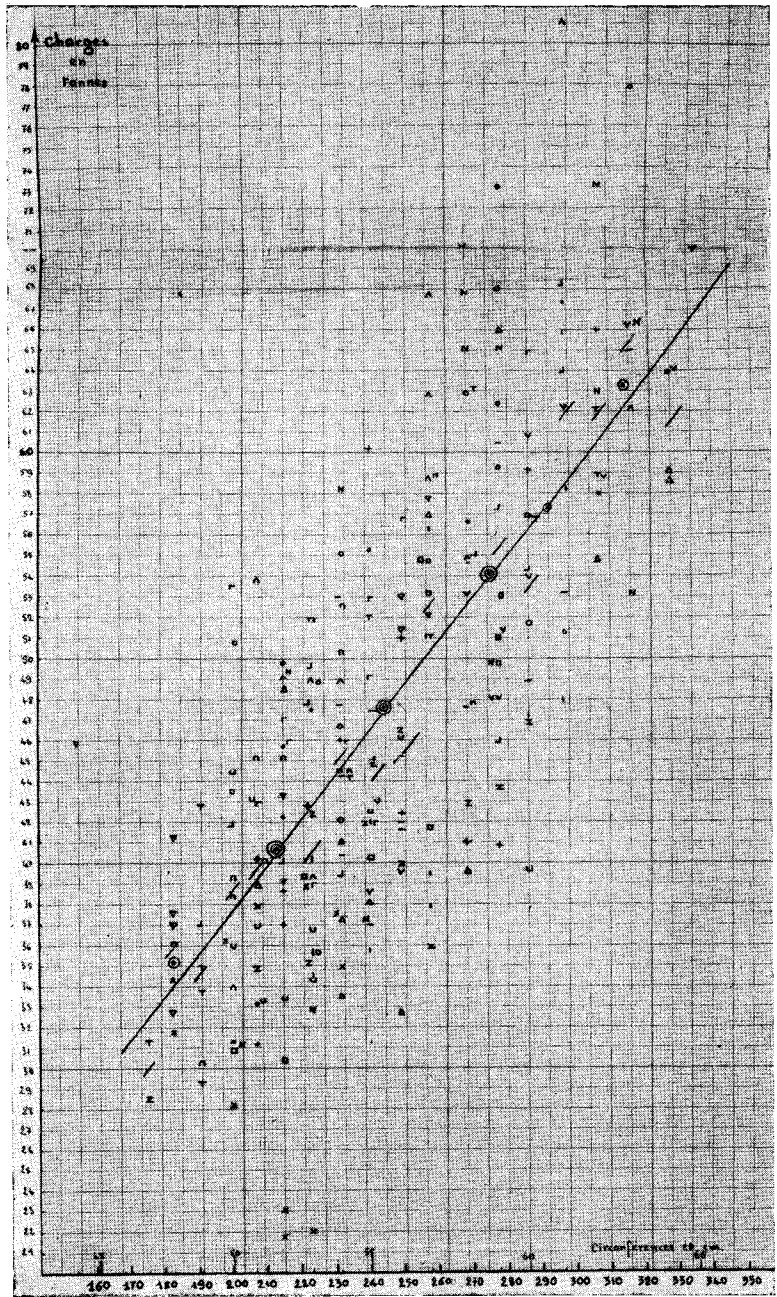


FIG. 47.

Sections en cm²)

Sapin pectiné de provenances diverses
Essais en flambement sur 2,50 m. Laboratoire de Sarrebrück

- | | | |
|----------------------|----------------------------|-----------------------|
| • Moulinet (A-M) | □ Niederbronn (B-R) | ▽ Hanau Bitche (Mos.) |
| I Entraunes (A-M) | ○ La Chipotte (Vosges) | T Saverne (B-R) |
| ^ Guebwiller (H-R) | ∪ La Petite-Pierre 5 (B-R) | Z Masevaux (H-R) |
| + Grammont (-M-M) | ∩ Colroy-Lubine (Vosges) | V Ribeauvillé (H-R) |
| - Dambach (B-R) | Δ Val-d'Ajol (Vosges) | N Ecouves (Orne) |
| ┘ Housseras (Vosges) | O Donon (B-R) | X Le Mas (A-M) |

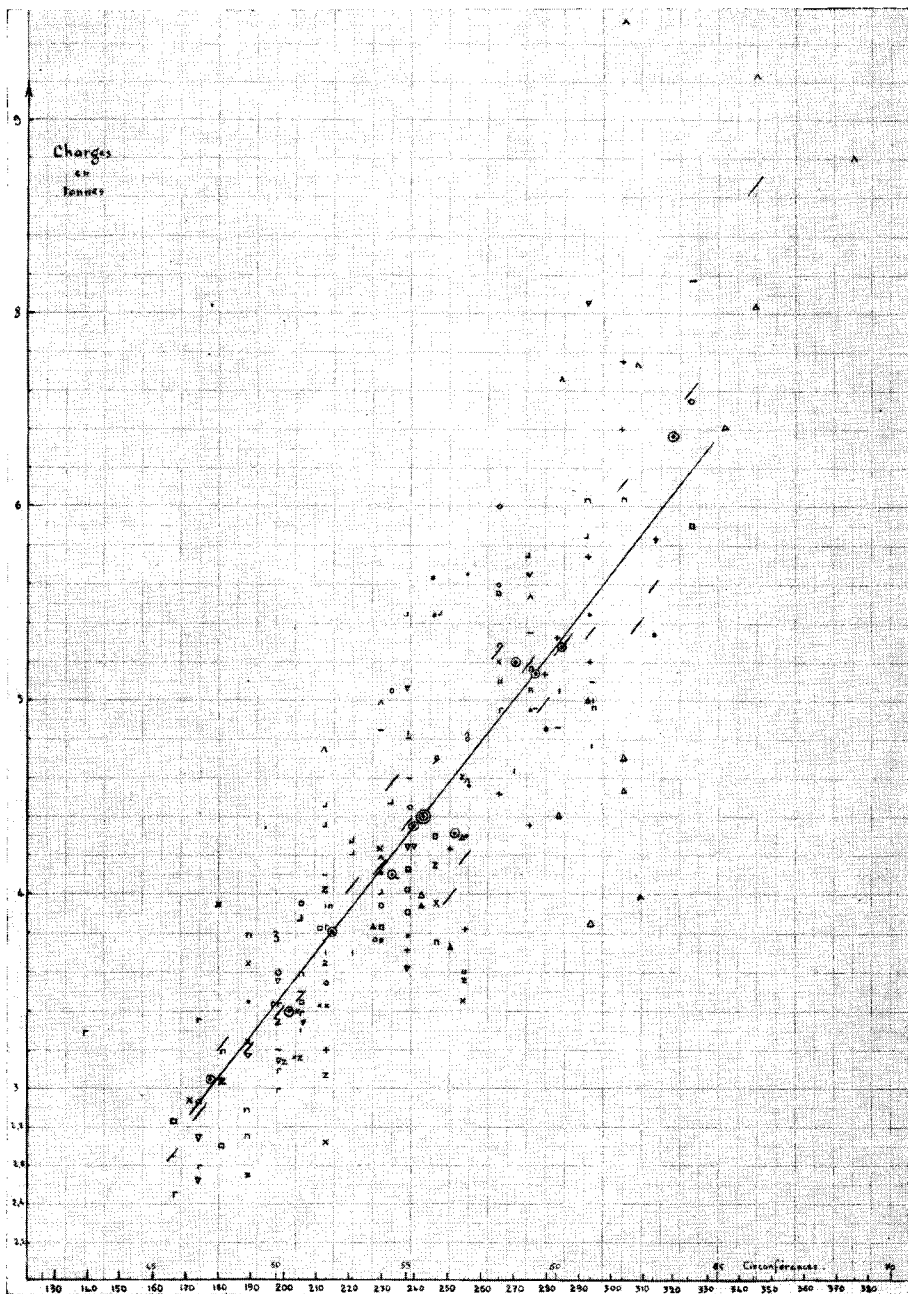


Fig. 48. Sections (en cm²)
 Sapin pectiné provenances diverses.
 Essai en flexion statique sur 2 m. Poids de l'appareil déduit.
 Laboratoire de Nancy (Trayvou)

- | | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|
| • Moulinet (A-M) | ┘ Housseras (Vosges) | ○ Donon (B-R) |
| I Entraunes (A-M.) | └ Niederbronn (B-R) | △ Hanau-Bitche (Mos.) |
| ^ Guebwiller (H-R) | □ La Chipotte (Vosges) | Z Masevaux (H-R) |
| + Grammont (M-M) | ▢ Colroy-Lubine (Vosges) | X Le Mas (A-M) |
| — Dambach (B-R) | △ Val-d'Ajol (Vosges) | |

Les essais faits à Sarrebrück sur la même portée ont donné des résultats identiques (5 tonnes pour 57 cm de tour, charge par cm², 22 kg) (fig. 49).

Les signes avertisseurs, en flexion également, sont assez irréguliers. En général, la charge maxima, pour une pièce essayée en flexion, sur 2 m de portée, survient alors que la flèche est de l'ordre de 6 à 9 cm. Rappelons qu'à partir de 6 cm, elle est nettement visible. La plupart des séries donnent donc des signes avertisseurs à vue, plus que l'épicéa. Toutefois, en général, sauf pour quelques provenances, la souplesse est un peu plus faible que celle des pins. Enfin, l'allure de la rupture, elle aussi, est intermédiaire entre celle des épicéas et celle des pins.

e) Résultats donnés par les différents lots

1^{re} Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m

ET EN FLEXION SUR 2 m

DANS LES LABORATOIRES DE NANCY ET DE SARREBRUCK

Voir classement des provenances sur le graphique de la fig. 50

CLOS D'ANJOU - LE MAS (Alpes-Maritimes) - Lot n° 244

MASEVAUX (Haut-Rhin) - Lot n° 226

ENTRAUNES (Alpes-Maritimes) - Lot n° 157

LA PETITE-PIERRE (Bas-Rhin) - Lot n° 183

Les renseignements sur ces quatre provenances, sensiblement inférieures à la moyenne, et les résultats obtenus sont portés sur le tableau 15.

Ce tableau montre bien l'infériorité de ces quatre lots, surtout en flambement. Le sapin des basses et moyennes vallées méditerranéennes, malgré l'altitude, souffre des chaleurs et des sécheresses estivales, ainsi d'ailleurs que celui qui croît à basse altitude sur les pentes des Vosges en bordure de la plaine d'Alsace. *Les quatre densités à 15 % sont légèrement inférieures à la moyenne*, ce qu'on peut considérer en général comme un symptôme de faiblesse mécanique. Les cernes sont fins mais toutefois légèrement plus larges que la moyenne.

Au point de vue allure de la rupture, les observations suivantes ont pu être consignées :

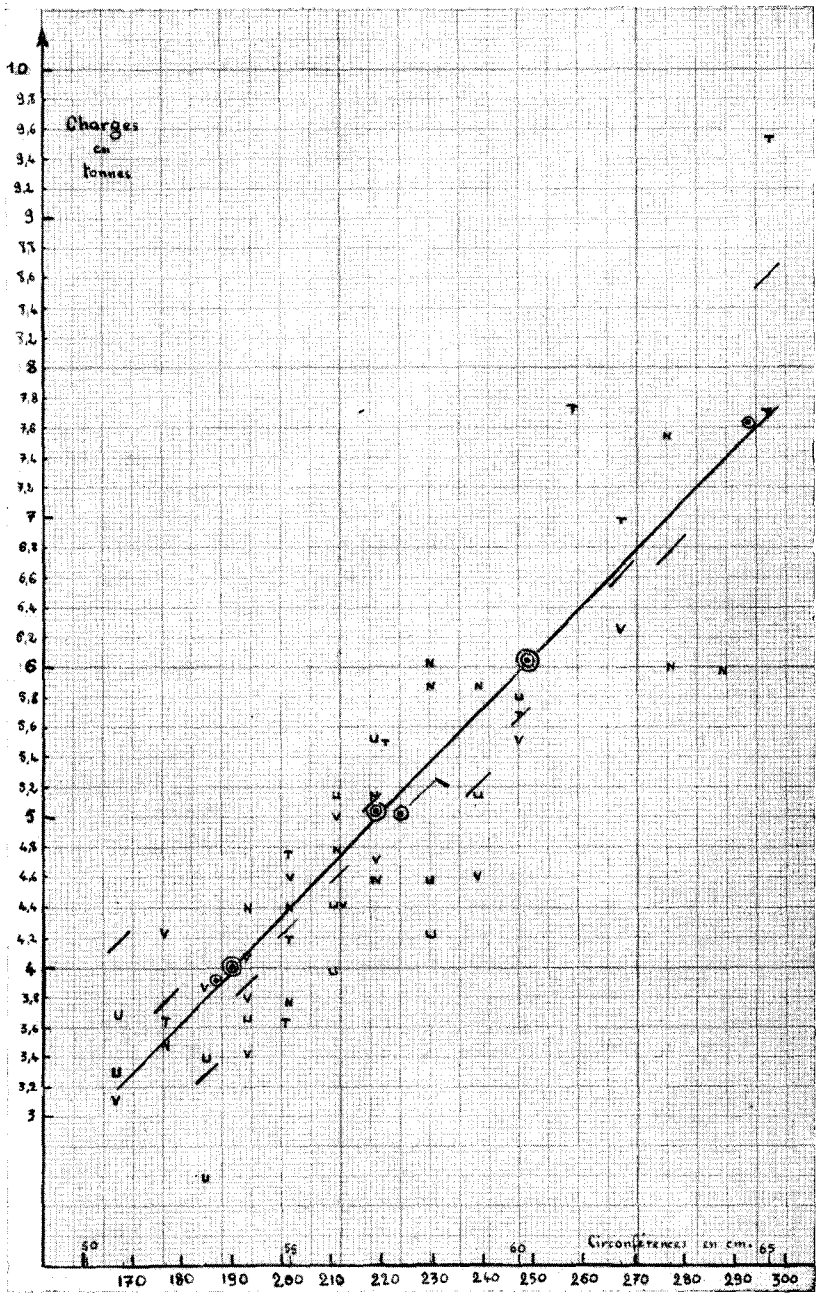


FIG. 49.
 Sapin pectiné provenances diverses.
 Essais en flexion statique sur 2 m.
 Laboratoire de Sarrebrück

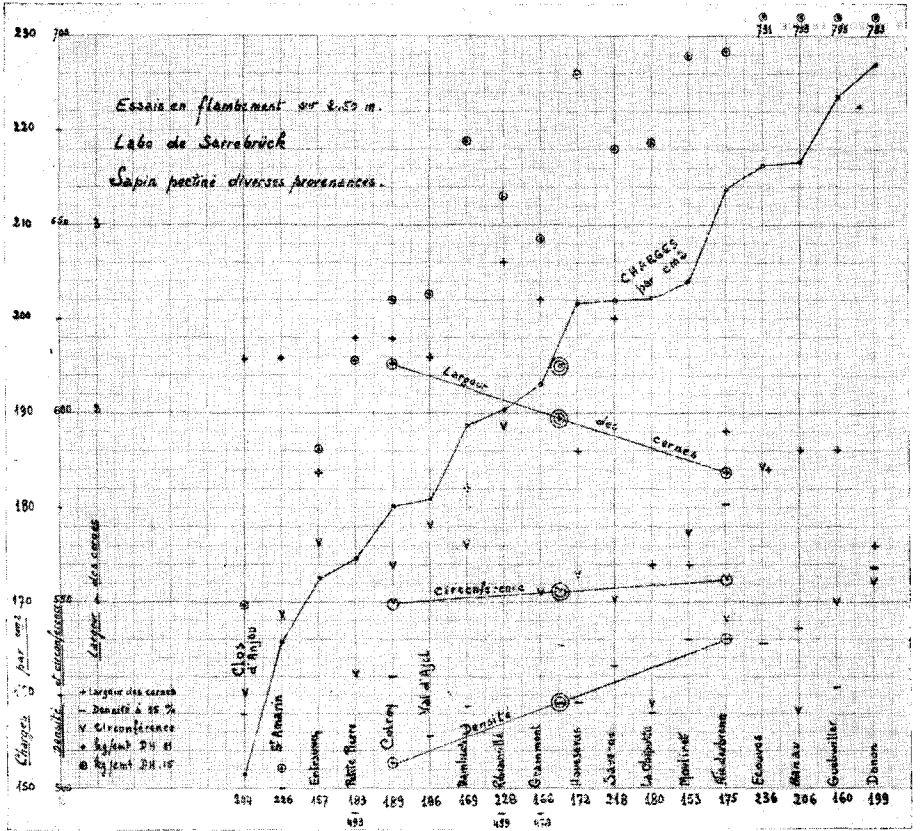


FIG. 50.

TABLEAU 15

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerneaux	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
CLOS D'ANJOU LE MAS 244	1 100 m	N. et Nord-Est pente forte, 30 à 50 %	Jurassique supérieur et éboulis de pente	Futaie irrégulière de sa- pin pectiné et pin syl- vestre en mélange	2,3	0,520	Assez belles pièces, cou- ronnes de noeuds de faible diamètre						
MASEVAUX 226	650 m	N. et Nord-Est pente forte 50 %	Grauwacke - sol su- perficieux, caillou- teux	Haut perchis, un peu ir- régulier assez dense, sa- pin et épicéa avec feuil- lus	2,3	0,500	- de -						
ENTRAUNES 157	1 400 m	Nord - pente très forte	Calcaires marneux assez profonds, fen- tilles, et éboulis calcaires recouvrant marnes du callovien -oxfordien.	Futaie irrégulière sapin et pin sylvestre	1,7	0,515	Belles pièces - couronnes de noeuds de faible dia- mètre						
PETITE PIERRE 183	280 m	Nord-Est	Grès vosgien	Haut perchis sapin avec bouquets d'épicéa, assez dense, bonne végétation	2,4	0,493	Couronnes de noeuds						
L O T S													
CLOS D'ANJOU LE MAS 244	33	52	42	152	3,6	52	3,8	17,2	18,6				
MASEVAUX 226	39	55	47	*166	3,5	52	3,8	16,7	18,6				
ENTRAUNES 157	44	56	50	173	4,3	57	4,6	17,8	18,6				
PETITE PIERRE 183	39	53	43	175 contre 195 pr. la moyenne gé- nérale	4,2	56	4,6	16,7	19,3				

LOTS	FLAMBEMENT		FLEXION	
	Avertissements à l'ouïe avant rupture	Rapidité de la rupture	Avertissements à vue avant rupture	Allure de la rupture
Clos d'Anjou Le Mas 244	Faibles et proches du maximum.	Rupture assez lente.	Nuls.	Relativement rapide.
Masevaux 226	Craquements nets et multiples aux 3/4 de la mise en charge.	Rupture lente.	Flèche visible aux 3/4 de la charge maximum.	Rapide.
Entraunes 157	Faibles et proches du maximum.	Rupture assez lente.	La flèche visible n'est atteinte qu'à la charge maxima.	Relativement rapide.
Petite-Pierre 183	Craquements multiples aux 3/4 de la mise en charge.	Rupture lente, en général.	Flèche visible à l'entrée d'un palier conduisant lentement à la charge maxima.	Rapide.

En gros, les deux lots d'Alsace donnent plus de signes avertisseurs que les deux lots méditerranéens.

COLROY (Vosges) - Lot n° 189

VAL-D'AJOL (Vosges) - Lot n° 196

DAMBACH (Bas-Rhin) - Lot n° 169

RIBEAUVILLÉ (Haut-Rhin) - Lot n° 228

GRAMMONT (Meurthe-et-Moselle) - Lot n° 166

Ces cinq lots sont voisins de la moyenne. Les renseignements relatifs à la provenance et les résultats obtenus sont consignés sur le tableau 16.

On remarque que ces cinq lots, assez proches de la moyenne en flambement, sont identiques ou même légèrement supérieurs à la moyenne en flexion (Colroy - Dambach - Grammont) ou très légèrement inférieurs (Val d'AJol - Ribeauvillé).

Deux lots ont une densité sensiblement inférieure à la moyenne (Ribeauvillé et Grammont). Ce sont eux qui ont les cernes les plus larges.

TABLEAU 16

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M./cm2 (kg)	C.M.M./cm2 corr. (kg)
COLROY 189	465 m	Nord - pente faible	granit	bouquet de haut perchis régulier et dense - parc. 9 - canton la Boliée	2,4	0,530	Belles pièces mais avec couronnes de noeuds (de faible diamètre)	45	56	49	54	180	18,6
VAL D'AJOL 196	550 m	Ouest - pente faible	grès vosgien	Jeune futaie, régulière dense, en bon état de végétation	2,3	0,514	- de -	47	57	51	59	181	18,6
DAMBACH 169	400 m	Nord et Nord-Ouest - plateau	granit	Haut perchis sapin, épicéa, pins et feuillus par bouquets - parc. 16 -ière Série	1,6	0,522	- de -	48	56	50	55	189	18,6
RIBEAUVILLE 228	550/560	Ouest à Nord-Est - pente assez rapide	granit	Haut perchis sapin, épicéa, pins et feuillus par bouquets - parc. 21ière Série	2,8	0,489	- de -	54	60	56	56	190	19,3
GRAMMONT 166	300 m	Nord et Nord-Ouest - pente faible	grès vosgien	Perchis élané, dense et de bonne végétation - parcelle 36	2,6	0,478	- de -	47	55	47	58	193	18,6

En réalité, les différences de résistances avec la moyenne sont faibles et souvent peu significatives. La dispersion des résultats est aussi plus faible que pour les 4 premiers lots.

Les signes avertisseurs donnés par ces lots ont été les suivants :

LOTS	FLAMBEMENT		FLEXION	
	Avertissements à l'ouïe avant rupture	Rapidité de la rupture	Avertissements à vue avant rupture	Allure de la rupture
Colroy 189	Faibles.	Rupture plutôt lente.	Flèche visible à l'entrée d'un palier conduisant lentement à la charge maxima.	Rupture rapide.
Val d'Ajol 196	Craquements aux 2/3 du maximum.	Rupture plutôt rapide.	d° mais palier plus court.	Rupture rapide.
Dambach 169	Craquements aux 2/3 du maximum.	Rupture assez lente.	Comme Colroy 189.	Rupture rapide.
Ribeauvillé 228	Signes avertisseurs faibles.	Rupture lente.	Flèche visible peu avant d'atteindre la charge maxima - craquements avant rupture.	Rupture rapide.
Grammont 166	Signes avertisseurs nets.	Rupture lente.	Comme Colroy 189.	Rupture rapide.

En gros, la rupture est généralement lente en flambement et rapide en flexion. Les bois préviennent en général bien par des craquements avant la rupture en flexion. La plupart accusent une flèche visible avant la rupture en flexion.

HOUSSERAS (Vosges) - Lot n° 172

SAVERNE (Bas-Rhin) - Lot n° 218

LA CHIPOTTE (Vosges) - Lot n° 180

MOULINET-TURINI (Alpes-Maritimes) - Lot n° 153

Ces quatre provenances sont légèrement supérieures à la moyenne. Le tableau 17 donne les renseignements relatifs aux provenances et les résultats mécaniques obtenus.

TABLEAU 17

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces
HOUSSENAS 172	400 m	Sud et Sud-Ouest	grès vosgien	Haut perchis irrégulier par bouquets, de bonne végétation - Parcelle 31 de série - Doman. Rambervillers	1,8	0,523	Pièces de forme passable (des flèches en S) - Couronnes de petits noeuds
SAVERNE 218	480 m	Nord	grès vosgien	Haut perchis régulier et dense sapin et épicéa par bouquets - parcelle 112	2,4	0,533	Belles pièces - Couronnes de petits noeuds
LA CHIPOTTE 180	350 m	Nord et Nord-Est	grès vosgien	Jeune futaie à prédominance sapin assez dense et en bon état de végétation - parcelle 30 - 2e série - doman. Rambervillers	1,2	0,520	- de -
MOULINET-TU-RINI 153	1 400 m	Nord - Est	Grès bien arrosés, brèves estivaux fréquents - hivers rigoureux et neigeux	Futaie jardinée de sapin en bon état de végétation - Parcelle 9 - Forêt de Moulinet	1,2	0,540	- de -
R E S U L T A T S							
Flambement sur 2,50 m							
L O T S	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	Flexion sur 2 m C.M.M.G. corr. (tonnes) C.M.M./cm ² (kg) C.M.M.G/cm ² corr. (kg)
HOUSSENAS 172	50	56	48	202	4,6	54	4,2 20,4 18,6
SAVERNE 218	48	55	47	202	6,4	60	6,1 22,2 19,3
LA CHIPOTTE 180	44	52	42	202	4,1	53	4,1 18,2 18,6
MOULINET-TU-RINI 153	52	57	50	204 contre 195 moyenne générale	4,7	56	4,6 19,4 18,6

En résumé, les pièces sont supérieures à la moyenne, à la fois en flambement et en flexion.

La physionomie de la rupture est la même que précédemment. Les bois des deux provenances de la forêt domaniale de Rambervillers (Housseras 172 et La Chipotte 180) sont plus souples que les autres: flèche visible bien avant le maximum de charge en flexion, rupture lente en flambement (avec craquements moins forts, ce qui est logique).

On notera que la station Moulinet-Turini est très montagnarde et diffère sensiblement du climat des stations du Clos-d'Anjou-Le Mas et Entraunes qui est montagnard mais semi-provençal.

NIEDERBRONN (Bas-Rhin) - Lot n° 175

ECOUVES (Orne) - Lot n° 236

HANAU (Moselle) - Lot n° 206

GUEBWILLER (Haut-Rhin) - Lot n° 160

DONON-SALM (Bas-Rhin) - Lot n° 190

Les renseignements relatifs à ces provenances et les résultats obtenus figurent au tableau 18.

On retrouve dans ce lot un certain nombre de provenances figurant déjà en tête dans les essais de pin sylvestre et d'épicéa.

La physionomie de la rupture est la même que pour le groupe précédent :

En flambement, avertissements à l'ouïe par craquements d'autant plus faibles que la rupture est plus lente.

En flexion, avertissements à vue dans tous les cas, mais rupture rapide (avec craquements).

Il semble intéressant de dresser par provenance le palmarès des résultats obtenus avec le pin sylvestre, l'épicéa et le sapin des principales provenances qui viennent d'être présentées. Voir tableau 19.

Ce tableau n'a pas la prétention de classer d'une façon définitive et absolue les provenances selon leurs qualités mécaniques. Les opérations de façonnage, le stockage, mal faits par l'homme, étant capables de compromettre les avantages accordés par l'essence et par la station.

Toutefois, on peut remarquer l'excellence de certaines provenances comme Donon-Salm, Rambervillers, La Chipotte et Housseras, Hanau, Ecouves.

Le tableau permet de remarquer l'influence profonde exercée par la station, qui vient masquer et dominer l'influence exercée par l'essence. Des stations comme celles qui s'échelonnent de part et d'autre de l'axe Rambervillers - Raon - Schirmeck sont bien con-

TABLEAU 18

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cernes	Densité à 15 %	Observations sur les pièces
NIEDERBRONN 175	200 m	Sud	grès vosgien	Jeune futaie claire, mais régulière, sapin, pin, hêtre, épicéa de bonne végétation - parc. 04 c 3e Série	1,9	0,576	Belles pièces - Couronnes de noeuds de faible diamètre
ECOUVES 236	380	Nord-Est	grès armoricain sol très superficiel	Essai régulière artificielle résultats de 800 tiges ha. 400 m - parc. 44 partie - 1ère Série	1,7	0,539	Présence de couronnes de noeuds moyens, quelques pièces flexueuses
HANAU 206	250	Nord-Ouest pente 40 %	grès vosgien	Haut perchis mélangé par bouquets - parc. 126 doman., Hanau	1,8	0,543	- d ² -
GUEBWILLER 160	750	Sud-Est pente rapide (vallée encaissée)	grès vosgien sol superficiel	Haut perchis mélangé avec bouquets épicéa et douglas - parcelle 145	1,8	0,527	Belles pièces - noeuds de faible diamètre
DONON SALM 199	680	Nord-Est	grès vosgien superficiel, peu fertile	Haut perchis par bouquets, sapin, épicéa, hêtre, châlières Parc. 187 - Dom. Donon	1,3	0,559	- d ² -
R E S U L T A T S							
Flambement sur 2,50 m							
L O T S	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (tonnes)	Flexion sur 2 m C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
NIEDERBRONN 175	50	54	46	214	50	3,5	18,6
ECOUVES 236	59	58	54	216	58	5,3	19,3
HANAU 206	47	52	41	217	52	3,9	18,6
GUEBWILLER 160	54	55	47	224	59	5,3	21,7
DONON SALM 199	57	55	48	227 contre 195 moyenne générale	54	4,3	19,8

	FLAMBEMENT						FLEXION					
	PIN SYLVESTRE		EPICEA		SAPIN		PIN SYLVESTRE		EPICEA		SAPIN	
	CMM/cm ²	Rang	CMM/cm ²	Rang	CMM/cm ²	Rang	CMM/cm ²	Rang	CMM/cm ²	Rang	CMM/cm ²	Rang
DONON SALM	198	5	215	3	227	1	20 N	2 N (1)	19,3 N	4 N	19,8 N	3 N
GUEBWILLER			171	15	224	2			15,4 N	10 N	21,7 N	1 N
HANAU	212	3	203	8	217	3	20,8 N	1 N	19,7 N	1 N	18,8 N	5 N
ECOUVES	179	13	211	4	216	4	23,3 S	1 S (2)	21,1 S	3 S	19,3 S	2 S
NIEDERBRONN	192	7	210	5	214	5	22,4 S	2 S	16,2 N	9 N	18,6 N	6 N
LA CHIPOTTE	210	4	219	1	202	7	18,1 N	5 N	24,2 S	1 S	18,2 N	9 N
SAVERNE	182	11	197	10	202	7	20,7 S	3 S	21,5 S	2 S	22,2 S	1 S
HOUSSERAS	196	6	218	2	202	7	17,4 N	7 N	18,5 N	5 N	20,4 N	2 N
GRAMMONT	206	4	207	7	193	10	18,7 N	4 N	19,6 N	2 N	18,6 N	6 N
RIBEAUVILLE	154	21	176	14	190	11	16,2 S	4 S	16,9 S	5 S	17,4 S	3 S
DAMBACH	162	19	200	9	189	12	16 N	9 N	18,3 N	6 N	19,6 N	4 N
VAL D'AJOL	178	14	188	12	181	13	18,1 N	5 N	19,6 N	2 N	17,3 N	4 S
COLROY	132	24	181	13	180	14	15,5 N	10 N	18,2 N	7 N	18,6 N	6 N
PETITE PIERRE	168	15	203	8	175	15	17,2 N	8 N	16,8 S	6 S	16,7 S	5 S
ENTRAUNES	191	8			173	16	19,9 N	3 N			17,8 N	10 N
MASEVAUX			210	5	166	17			20 S	4 S	16,7 N	12 N
CLOS D'ANJOU	127	25			152	18	15 N	12 N			17,2 N	11 N
HAGUENAU	191	8	195	11			15,2 N	11 N	16,9 N	8 N		
Moyennes générales.....	175		200		195		N = 18,8 S = 19,7		N = 18,1 S = 19,7		N = 18,6 S = 22	
Dispersion....	49 %		24 %		38 %		N = 36 % S = 36 %		N = 24 % S = 37 %		N = 27 % S = 25 %	

(1) N essais faits à Nancy

(2) S essais faits à Sarrebrück

TABLEAU 19

nues pour la qualité de leurs sapins, mais les épicéas et les pins sont également excellents.

Hanau est réputée pour ses pins, mais les épicéas et les sapins y présentent aussi de réelles qualités.

Loin de ces deux groupes de stations, on pourrait s'étonner de voir figurer en aussi bonne place les résineux de Normandie, que ce soient les pins de Bord ou les sapins d'Écouves. Les pins introduits dans cette région ont été souvent des graines de races nordiques qui comme les hommes y ont apporté une partie de leurs qualités. Les sapins, bien qu'artificiels, ont été semés au voisinage d'une station naturelle de sapin pectiné, station relique qui prouve l'existence de conditions écologiques locales favorables à cette essence.

La station exerce donc une influence considérable. Cette influence est très bonne ou très mauvaise. On constate que des stations à sols assez médiocres telles que les grès (qu'ils soient vosgiens ou armoricains), les sables, les grauwackes, à condition qu'ils soient régulièrement imbibés par l'eau des pluies produisent des bois d'excellente qualité. Les rigueurs des climats montagnards apportent les mêmes avantages. Ces arbres qui vivent « à la dure », ou frugalement, donnent des bois à accroissements fins mais généralement de densité supérieure à la moyenne. Ils sont en bon état physiologique. Les qualités de leurs bois sont excellentes.

Au contraire, les sols trop fertiles, les plans d'eau superficiels, à niveau variable, donnant tantôt une irrigation trop forte, tantôt une sécheresse momentanée, les climats chauds, les étés où alternent de fortes averses et des périodes plus ou moins longues de sécheresse, toutes ces ambiances amollissantes ou instables, donnent des bois de qualités moins bonnes. Presque toujours la densité (en ce qui concerne les 3 essences résineuses actuellement étudiées) est inférieure à la moyenne. La largeur des cernes, considérée seule, perd sa signification de test. Souvent, bien sûr, les accroissements sont larges. Mais, parfois, les arbres, *qui souffrent physiologiquement*, ont des accroissements fins avec une densité inférieure à la moyenne. Le seul test significatif pour juger de la qualité mécanique de ces bois est de calculer leur densité à 15 % et de la comparer à la moyenne.

Le choix d'essences bien adaptées aux conditions de stations, *le traitement régulier, en vue d'assurer des conditions de vie frugales mais stables*, semblent donc les conditions indispensables pour obtenir des bois de qualité. L'amélioration de cette qualité par la réduction des tares sera évoquée dans la 3^e partie de cette étude.

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 160 cm
ET EN FLEXION SUR 100 cm AU LABORATOIRE DE NANCY

SAVERNE - Lots n° 16 - 16 bis

SAVERNE - Lots n° 17 - 17 bis

GERARDMER - Lot n° 84

16 et 16 bis d'une part, 17 et 17 bis d'autre part, ont été abattus respectivement en août 1949 et janvier 1950. Les deux premiers ont été essayés en flexion sur 100 cm (Machine Amsler) et les deux autres en flambement sur 160 (Machine Trayvou). Le lot 84 a été abattu en octobre 1949. Il a fait l'objet des mêmes essais.

Les nuages de points et les corrélations relatifs à ces essais sont portés sur les figures 55 et 56.

En flexion, sur un mètre, la résistance moyenne s'est élevée à une tonne pour 23 cm de tour. Charges maxima moyennes par cm²: 16,3 à 30,2 kg suivant siccité. Ces lots ont permis de faire des observations intéressantes sur l'influence de la siccité envers les propriétés mécaniques (voir III^e partie de cette étude).

En flambement, sur 160 cm, la résistance moyenne s'est élevée à 9,8 tonnes pour 27 cm de tour. Charges maxima moyennes par cm²: 133 à 217 kg par cm² suivant siccité. Voir 3^e partie.

Les graphiques portés sur les figures 57-58 donnent une idée de la rupture en flexion et en flambement.

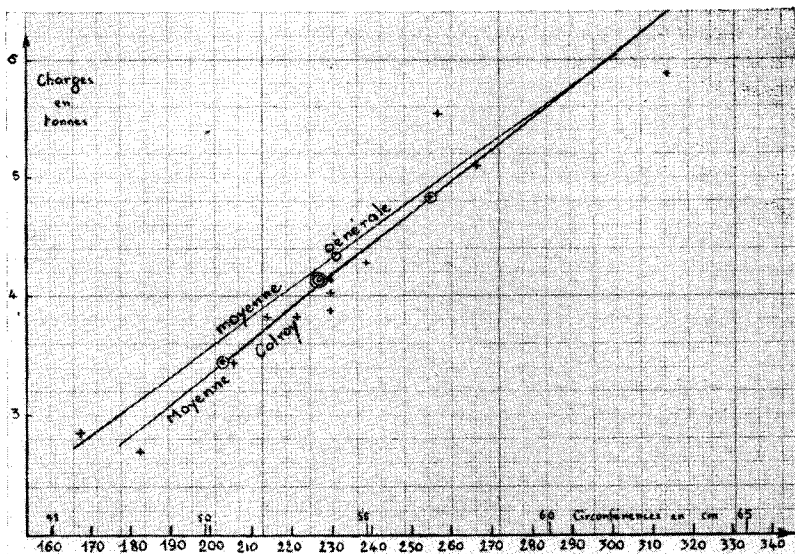


FIG. 51. Sections (en cm²)
Sapin pectiné Colroy-Lubine (Vosges). Flexion statique sur 2 m.
Laboratoire de Nancy - Trayvou 8 et 9/54. DH = 20/24.

Charges
(en tonnes)

189 FS

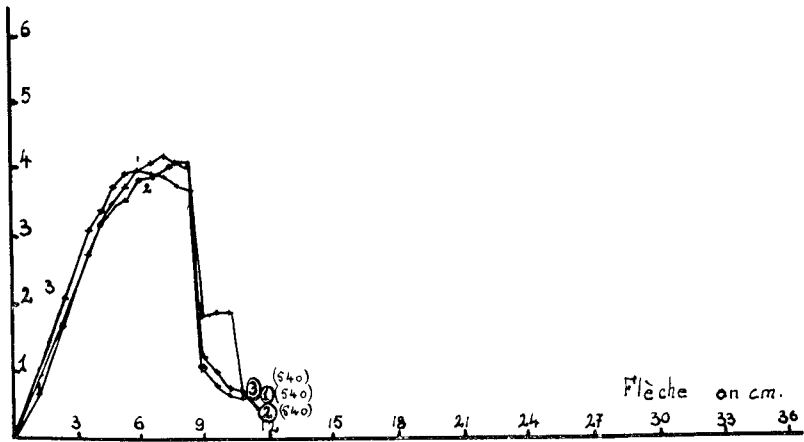


FIG. 52.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Septembre 1954.

Sapin - Colroy-Lubine (Vosges).

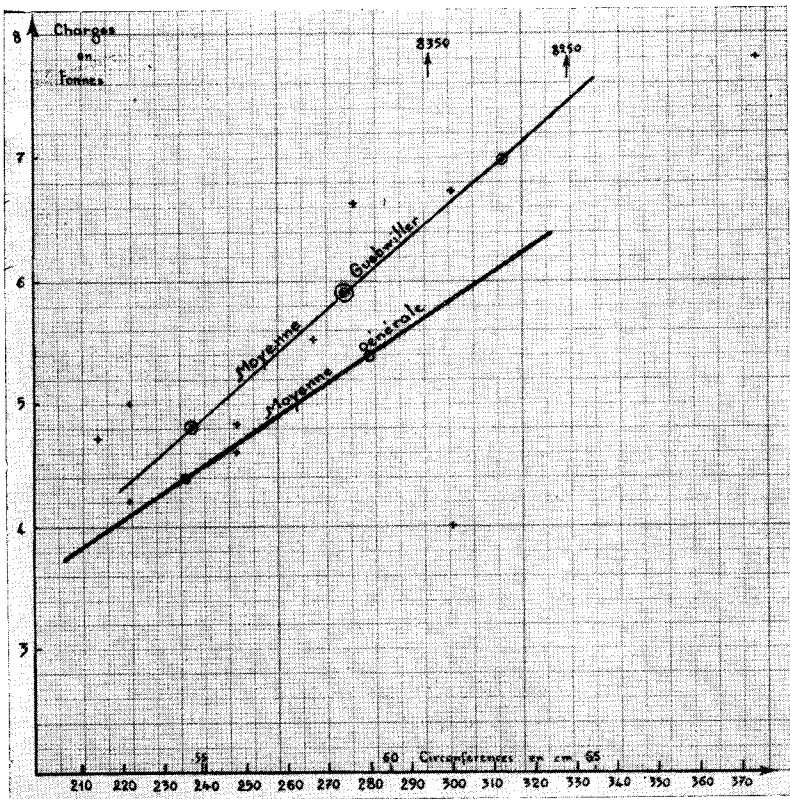


FIG. 53.

Sections (en cm²)

Sapin pectiné de Guebwiller (H.-R.) Essais en flexion statique sur 2 m.
Laboratoire de Nancy - Trayvou 9-10-11/54. DH = 16/21.

Charges
(en tonnes)

150 FS

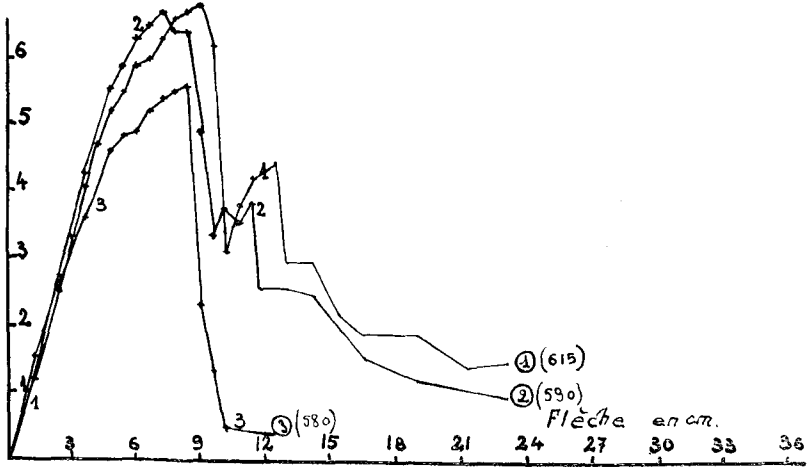
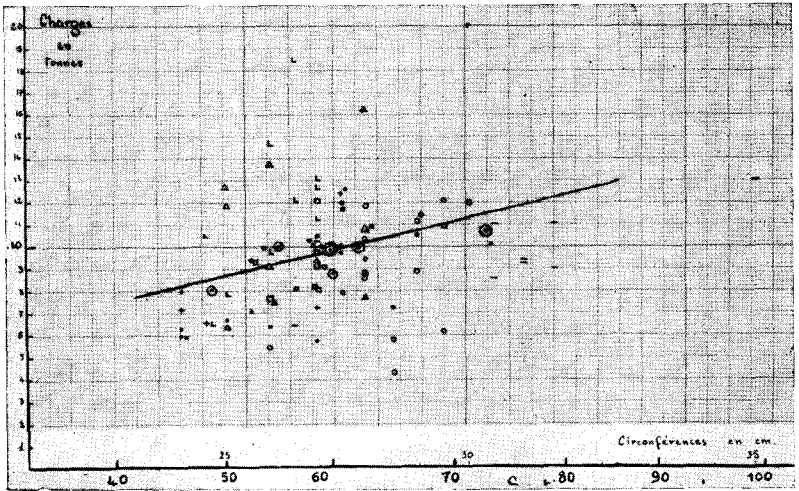


FIG. 54.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Octobre 1954.

Sapin - Guebwiller (Haut-Rhin)



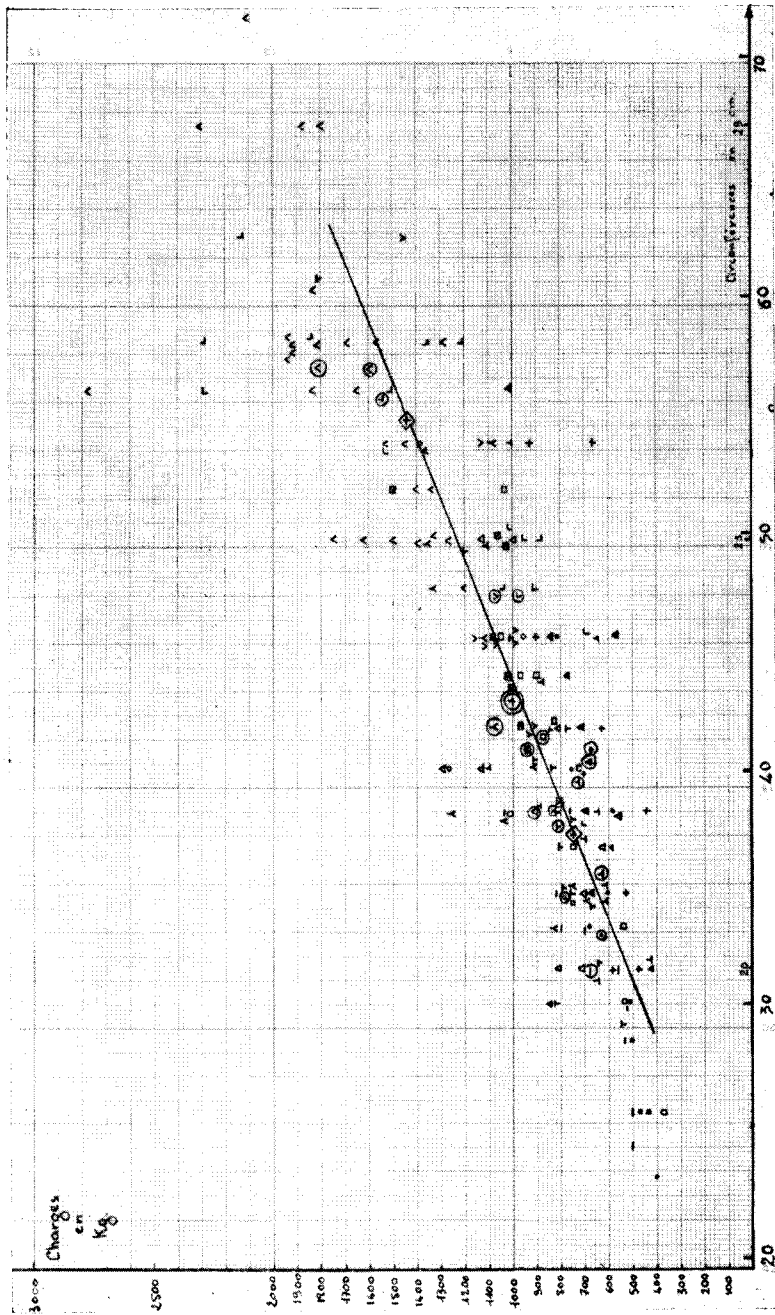
Sections (en cm²)

FIG. 55.

Sapin pectiné: { Gérardmer, abattage 10/49 n° 84.
Saverne, abattage 8/49 n° 17.
Saverne, abattage 2/50 n° 17 bis .

Essais en flambement sur 1,60 m.
Laboratoire de Nancy - Trayvou — DH = 11/22.

provenance 84 . essais de 4/50, — essais de 10/50, + essais de 5/51
provenance 17 □ essais de 10/50, L essais de 5/51
provenance 17 bis Δ essais de 4/50, o essais de 9/52 et 11/52



Sections (en cm²)

FIG. 56.

Sapin pectiné provenances diverses. Essais en flexion statique sur 1 m. Laboratoire de Nancy (Amstler).

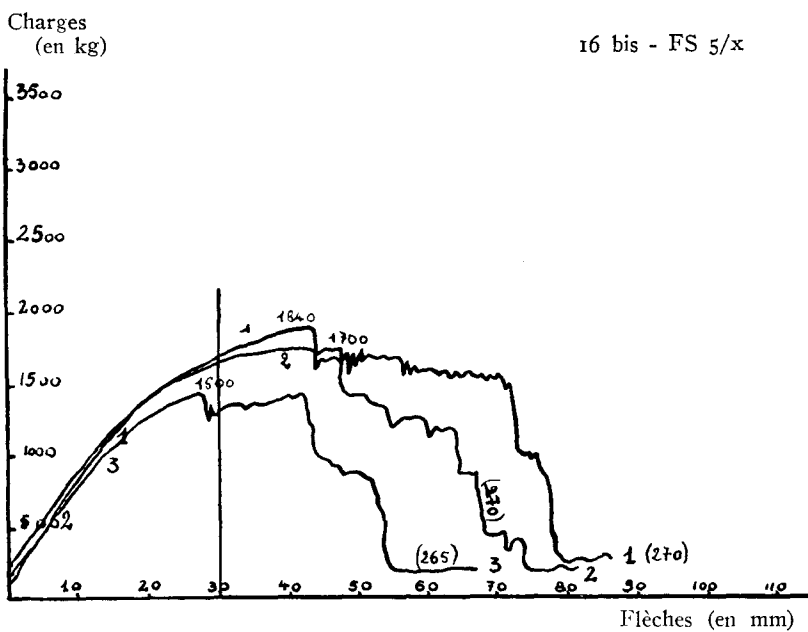


FIG. 57.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
portée: 100 cm - Démultiplication: 5 T.
Sapin - Saverne (Bas-Rhin) - Octobre 1952.

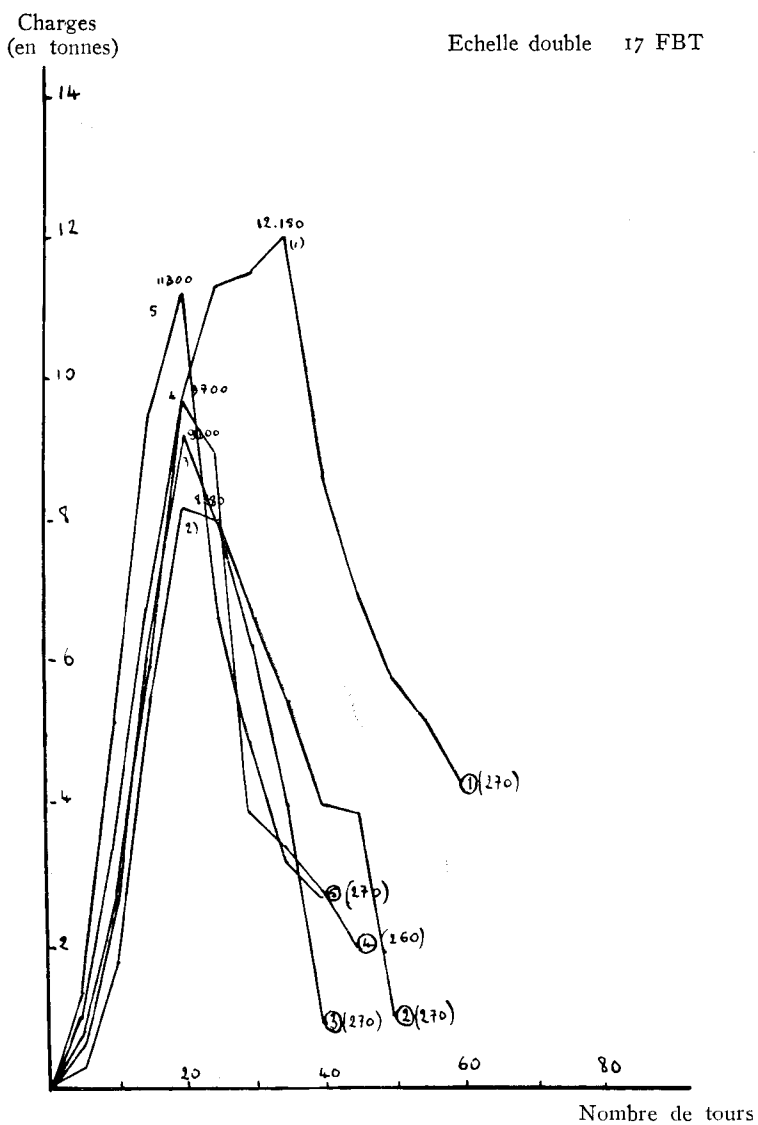


FIG. 58.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou).
Longueur: 160 cm - Mai 1951.
Sapin - Saverne (Bas-Rhin).

4° LE PIN MARITIME

a) Renseignements généraux

Le pin maritime (*Pinus pinaster* Soland.) s'étend, d'une part sur le bassin occidental de la Méditerranée et d'autre part sur la côte Atlantique de la Gironde au Maroc.

En France, il occupe une aire morcelée dans les Landes de Gascogne et le midi méditerranéen avec quelques stations intermédiaires éparées. On peut distinguer plusieurs races distinctes, celle des Maures et de l'Estérel (à laquelle on rattache celle de Corse) étant la plus belle.

Voir carte n° 4.

Le pin maritime a été largement planté en dehors de son aire, le long de la côte Atlantique, jusqu'en Bretagne, et dans le Val de Loire, jusqu'en Sologne. Certains sujets ayant résisté, dans cette région, au terrible hiver de 1789, ont donné des semis qui semblent bien supporter les grands froids (hiver de 1955-56). Ce point est intéressant à étudier car cette essence réussit dans des sols très pauvres et croît très rapidement.

b) Identification des bois de mine de pin maritime

Le pin maritime se reconnaît :

soit à son écorce, épaisse, feuilletée, profondément crevassée, brun noir à brun rouge foncé en surface, brun violacé en dessous, *soit aux traînées de liber*, brun foncé, subsistant sur les pièces écorcées forestièrement, à la surface de l'aubier jaune safran, *soit au bois*, jaune safran dans l'aubier, rouge saumoné ou rouge brique dans le cœur, très riche en gros canaux résinifères (donc très odorant), à cernes bien marqués, avec un bois d'été brun rouge violacé.

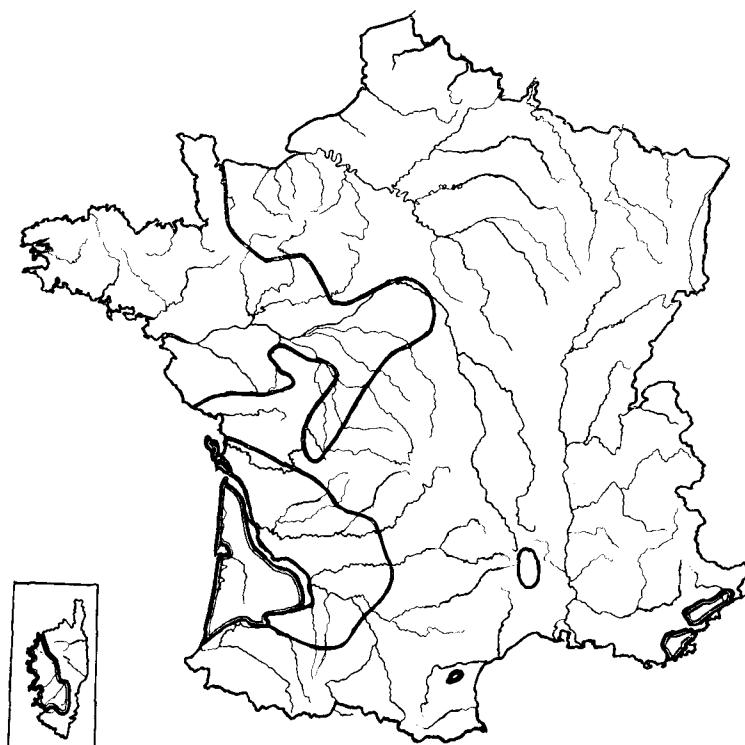
La texture est d'autant plus forte que les accroissements sont fins. Elle est particulièrement forte chez les pins gemmés qui sont très riches en résine.

A la loupe, en section transversale, on aperçoit bien les canaux résinifères et, même, les rayons ligneux (visibles aussi sur une section parfaitement radiale).

c) Provenances étudiées

30 provenances ont été étudiées (près de 1 500 pièces), dont 24 des Landes de Gascogne, deux du midi méditerranéen et 4 des régions de l'Ouest de la France, où le pin maritime a été introduit.

Les 24 provenances du bassin d'Aquitaine comportent des ar-



Carte n° 4.

Extension du pin maritime en France.



Aire naturelle.



Zone d'introduction.

bres de la dune et des arbres de la lande. Dans la dune, on a distingué les versants exposés au vent de mer et les versants abrités, les crêtes et les dépressions entre les cordons des dunes (lettes), les jeunes et vieilles dunes.

Dans la lande, on a distingué la lande humide à molinie et la lande sèche à callune, les landes drainées et non drainées, les sols plats et les dunes intérieures, etc..

En outre, pour chacune de ces provenances, 1/4 du lot a été abattu au printemps, 1/4 en été, 1/4 en automne et 1/4 en hiver, ce qui a permis d'étudier l'allure du séchage, la conservation et l'influence de l'humidité sur la résistance du bois.

Il y aurait lieu, par la suite, d'étudier d'autres provenances du midi méditerranéen et de Corse et d'autres provenances de l'Ouest de la France : Bretagne, Vendée, Sologne.

d) Résultats généraux

La plupart des pièces ont été essayées en flexion, sur 2 m de portée, et en flambement, sur 2,50 m dans les laboratoires de Nancy et de Sarrebrück. Toutefois, certains lots ont été expérimentés au laboratoire des Houillères d'Aquitaine à Carmaux, en flexion sur un mètre de portée (faute d'un appareillage permettant des essais sur 2 m) et en flambement sur 2,50 m.

En flexion, sur 2 m de portée, au laboratoire de Nancy, les 23 lots essayés ont donné les résultats suivants :

Charge maxima moyenne	3,87 tonnes
Circonférence correspondante	52 cm
Charge maxima moyenne par cm^2	18 kg/cm ²

Les résultats sont voisins de ceux donnés par le pin sylvestre.

A Sarrebrück, 3 provenances essayées (deux de l'ouest et une du midi) ont donné les résultats suivants :

Charge maxima moyenne	3,59 tonnes
Circonférence correspondante	52 cm
Charge maxima moyenne par cm^2	16,7 kg

A Carmaux, sur 1 m de portée, les 4 provenances du Sud-Ouest essayées ont donné les résultats suivants :

Charge maxima moyenne	7,75 tonnes
Circonférence correspondante	49 cm
Charge maxima moyenne par cm^2	40,1 kg

On notera au passage la proportionnalité inverse entre la charge par cm^2 et la portée.

En flambement, sur 2,50 m de longueur, les résultats suivants ont été enregistrés :

1) à Sarrebrück, pour 23 lots :

Charge maxima moyenne	27,6 tonnes
Circonférence correspondante	52 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	129 kg

La corrélation grosseur-charge maxima moyenne est donnée par la figure 59.

2) à Carmaux, pour 6 lots :

Charge maxima moyenne	30,9 tonnes
Circonférence correspondante	52 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	143 kg

Les résultats donnés en flambement par les pins maritimes sont sensiblement inférieurs à ceux que donnent l'épicéa, le sapin et le pin sylvestre, compte tenu des corrections pour siccité.

Cela tient à la forme presque toujours mauvaise des pièces (flèches accentuées ou courbures en S et conicité due aux couronnes de grosses branches. Ces défauts ont moins d'importance en flexion.

La dispersion des résultats est très grande :

64 % en flexion, au niveau de la charge maxima moyenne générale (3,9 t).

89 % en flambement au niveau de la charge maxima moyenne générale (28 t).

Cette dispersion énorme est due, elle aussi, aux défauts de forme des pièces.

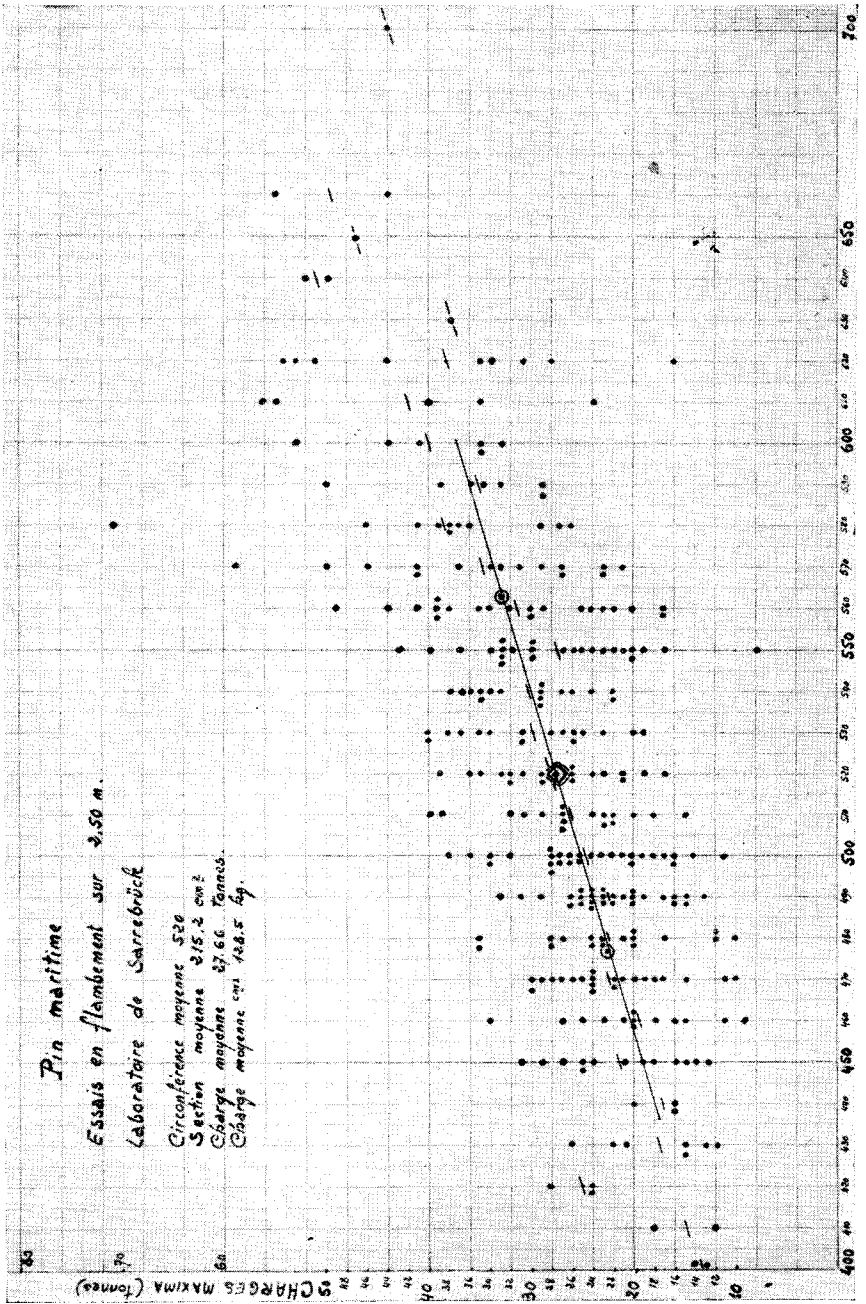
Les signes avertisseurs donnés par les pièces saines sont généralement bons. En particulier, les pièces émettent, en flexion et en flambement, avant d'atteindre la charge maximum, de nombreux et forts craquements.

En flexion, une flèche visible à l'œil se produit avant le début de la rupture, même avec les pièces ayant moins de 20 % d'humidité.

La rupture se produit, chez les pièces saines, avec la même rapidité que chez le pin sylvestre.

Il faut noter toutefois que les bois incendiés, ou abattus en sève, ont tendance à bleuir et à être attaqués ensuite par un certain nombre de parasites qui ne diminuent que légèrement les résistances maxima des pièces mais qui, par contre, augmentent nettement la brutalité de la rupture. Voir figure 60.

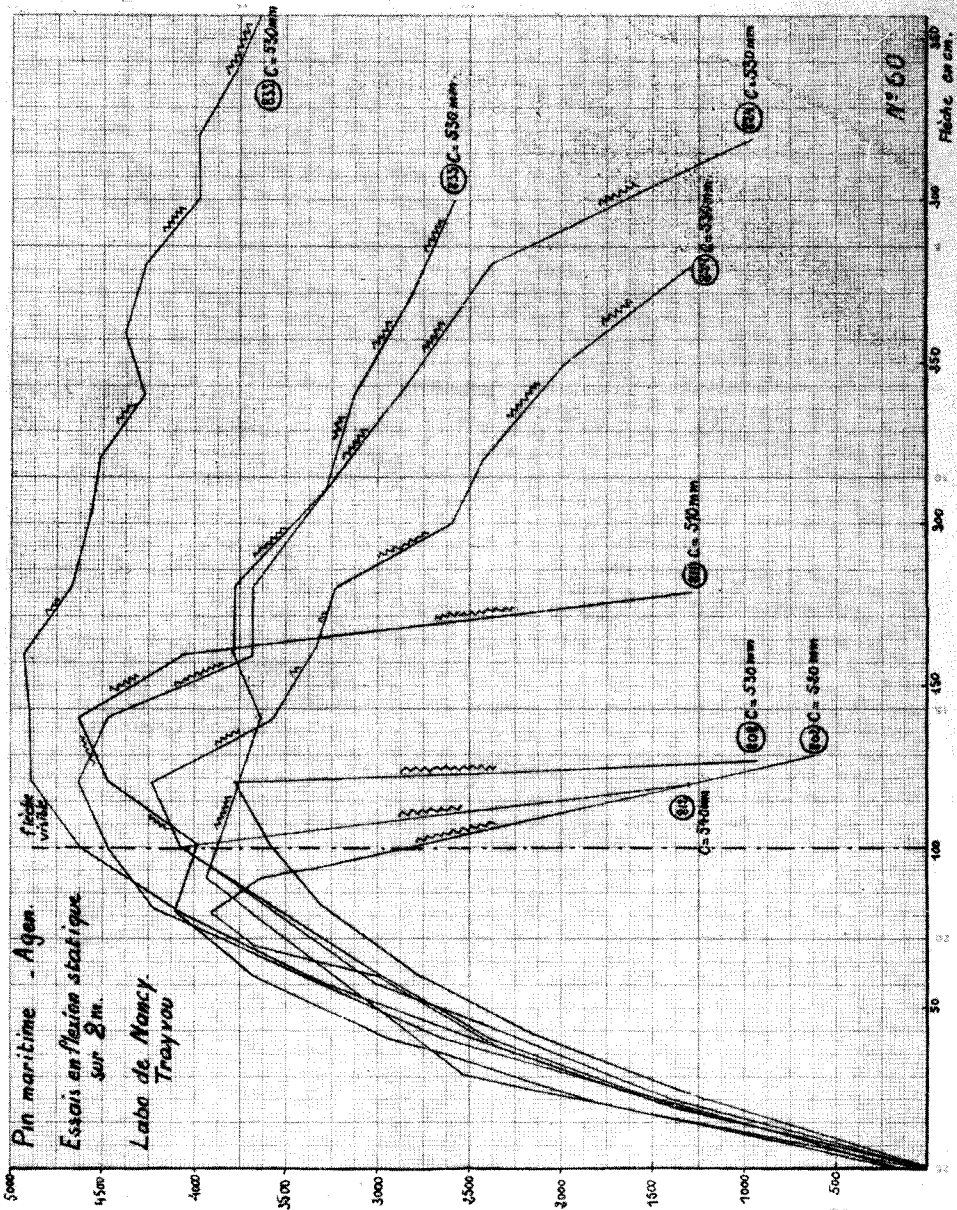
L'abattage hivernal et celui du début du printemps engendrent un séchage rapide, une bonne conservation et de bonnes propriétés mécaniques des pièces.



Circonférences (en mm)

FIG. 59.

Charges (en kg)



Nota: les 4 pièces à rupture rapide proviennent de lots abattus en été.
Fig. 60.

e) **Résultats par provenances***1^{re} Série*

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m

ET EN FLEXION SUR 2 m

DANS LES LABORATOIRES DE NANCY ET DE SARREBRUCK

Les charges maxima moyennes par cm² en flambement varient, pour les 23 provenances essayées, de 85 à 183 kg (moyenne 129) soit une dispersion de 76 % autour de la moyenne).

La largeur des cernes, dans les lots expérimentés, variait de 1,3 à 5,6 mm. Les densités n'ont malheureusement pas été étudiées avec assez de précision. Certaines séries n'ont fait l'objet que de mesures par sondages qu'il faut considérer comme insuffisantes. Nous ne pouvons donc donner pour le pin maritime les corrélations largeur de cernes-densité et densité-résistances mécaniques qui ont pu être établies pour d'autres essences.

On notera toutefois qu'il existe une corrélation assez étroite entre la largeur des cernes et la résistance en flambement.

Les charges de 80 à 110 kg par cm² ont été enregistrées avec des pièces ayant des largeurs de cernes comprises entre 5,6 et 4 mm (moyenne 4,4). Les charges de 111 à 130 correspondent à des cernes de 4,1 à 1,6 (moyenne 2,8). Les charges de 131 à 183 correspondent à des charges de 3,6 à 1,3 mm (moyenne 2,2).

Comme pour les essences précédentes, nous passerons en revue les divers lots, dans l'ordre de résistance croissante.

LIT et MIXE (Landes) - Lot n° 133 - Station 15
 SAINTE-EULALIE (Landes) - Lot n° 137 - Station 12
 BARBASTE (Lot-et-Garonne) - Lot n° 129 - Station 23
 LIT et MIXE (Landes) - Lot n° 134 - Station 16
 SOUSTONS (Landes) - Lot n° 131 - Station 17

Les renseignements relatifs à ces 5 provenances et les résultats moyens enregistrés sont donnés par le tableau 20.

Ces 5 lots ont comme caractère commun d'avoir des accroissements annuels de l'ordre de 4 à 5,6 mm. Il s'agit d'arbres jeunes, bien nourris, de stations abritées du vent,

En flambement comme en flexion, ils sont inférieurs à la moyenne générale.

TABLEAU 20

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cernes	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								FLAMBEMENT SUR 2,50 m			FLEXION SUR 2 m		
	C.M.M. (tonnes)	Circ.corr. (mm)	C.M.M.G.corr. (tonnes)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.M.G.corr. (tonnes)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)				
LIT et MIXE Station 133	18,8	526	29	85	3,44	514	3,8	16,4	18				
SAINTE EULALIE Station 137	21,4	553	32	88	3,14	529	4,0	14,1	18				
BARBASTE Station 129	21,0	532	29	93	3,48	519	3,9	16,2	18				
LIT et MIXE Station 134	23,2	537	30	101	3,30	501	3,6	16,5	18				
SOUSTONS Station 131	24,0	527	29	109 contre 129 moyenne générale	3,42	515	3,8	16,2	18				

LIT et MIXE Station 133 : Lette à plusieurs km du rivage, abritée par une es-carpe contre les vents de la mer.
 SAINTE EULALIE Station 137 : Sommet de dune en faible pente, très abrité du vent à 5 km de la mer.
 BARBASTE Station 129 : Dune intérieure, à faible pente exposée au Nord-Ouest de Nérac (L.-&-G.).
 LIT et MIXE Station 134 : Sommet de dune à faible pente.
 SOUSTONS Station 131 : Lande humide à Molinie de Thore.

Sol : Bruyère cendrée, cladonia, garance, ironçes, chêne occi-dental.
 Sol riche, genêts, bétoune, égarinim, feuilles, garrigues, table champêtre, or-mé.
 Sol riche, genêts, bétoune, égarinim, feuilles, garrigues, table champêtre, or-mé.
 Sol riche, genêts, bétoune, égarinim, feuilles, garrigues, table champêtre, or-mé.

Age : 30 ans environ, diamètre moyen 20 à 25 cm, hauteur totale : 15 m.
 Age : 24 ans environ, vigoureux.
 Age : 20 ans environ, vigoureux.
 Age : 20 ans environ, vigoureux.
 Age : 26 ans environ, vigoureux.

Bois avec forte flèche noueux et bleuis.
 -de-
 -de-
 -de-
 -de-

- LA TREMBLADE (Charente-Maritime) - Lot n° 62 - Station 5
 LA TREMBLADE (Charente-Maritime) - Lot n° 63 - Station 6
 SAINTE-EULALIE (Landes) - Lot n° 135 - Station 10
 LA COUBRE (Charente-Maritime) - Lot n° 65 - Station 8
 REAUP (Lot-et-Garonne) - Lot n° 130 - Station 24

Le tableau 21 donne les renseignements relatifs à ces 5 provenances et les résultats enregistrés.

Dans l'ensemble, il s'agit encore de lots à croissance assez rapide (2,4 à 4,1 mm) sauf le lot de La Coubre qui doit sa mauvaise moyenne en flambement à la grande flexuosité des pièces.

En flexion, les 5 lots sont, ou bien très voisins de la moyenne, ou légèrement supérieurs.

- ECOUVES (Orne) - Lot n° 237 -
 CAPBRETON (Landes) - Lot n° 132 - Station 18
 LA TREMBLADE (Charente-Maritime) - Lot n° 64 - Station 7
 LA COUBRE (Charente-Maritime) - Lot n° 66 - Station 9
 SAINTE-EULALIE (Landes) - Lot n° 136 - Station 11

Le tableau 22 donne les renseignements relatifs à ces 5 provenances et les résultats enregistrés.

Ces 5 lots donnent des résultats voisins de la moyenne.

Les lots de Sainte-Eulalie et Capbreton, malgré leurs cernes larges, semblent devoir leur assez bon comportement à la bonne rectitude des pièces qui les composent. Par contre, en flexion, ils sont sensiblement inférieurs aux lots de la Tremblade et de la Coubre. Ils se classent, à cet égard, comme les lots de Sainte-Eulalie et de Lit et Mixe déjà présentés.

Le lot d'Écouves, qui se comporte passablement en flambement, est médiocre en flexion et sa rupture est brutale. On rapprochera ce résultat des excellents résultats donnés par d'autres essences issues de cette forêt.

Pourquoi les lots de la Tremblade et de la Coubre, malgré leurs accroissements fins, ne donnent-ils pas de meilleurs résultats? Ceci tient sans doute à la forme défectueuse des fûts (les résultats en flexion, par contre, pour les 5 provenances de la Tremblade et la Coubre sont bons). Il y aurait lieu de voir aussi si la présence du calcaire dans le sol de ces stations n'exerce pas une influence défavorable sur la forme des tiges et sur la structure des bois, le pin maritime n'aimant pas le calcaire.

TABLEAU 21

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces
Flambement sur 2,50 m							
	C. M. M. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.N. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.N.G. corr. (tonnes)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
LA TREMBLADE 62 Station 5	23,6	506	26	116	525	4,0	18,1 18
LA TREMBLADE 63	21,6	484	24	116	495	3,5	19,5 18
SAINTE-EULALIE 135	23,6	504	26	117	513	3,8	19,3 18
LA COUBRE 65	26,2	525	28	119	516	3,8	19,7 18
BEAUF 130 Station 24	24,4	508	26	119 contre 123 moyenne gen.	496	3,5	17,6 18

TABLEAU 22

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cornes	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S				
								Flambement sur 2,50 m		Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² corr. (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
ECOUVES 237	270 m	Pente légère exposée au Sud	Grès de May, sili- ceux, acide, fou- gère aigle, callu- rite	Peuplement clair, semé en 1921 après incendie. 400 tiges/ha avec cépées de bouleau et châtai- gnier	2,5	0,602	Pièces flexueuses et noeuses					
CAPBRETON 132 Station 18		Vieille dune, à 1 km de la mer, mais assez abri- tée	Arbousier, houx, callune, garance, chênes, etc...	Peuplement clair, à fûts assez flexueux, mais vi- goureux. - 35 ans environ	4,2		Pièces assez droites et cylindriques					
LA TREMBLADE 64 Station 7		Dune et lette peu accu- sées	chêne vert, troène, Daphné, gnidium, viorne flexible	pins ayant été légère- ment brûlés au pied par un incendie 5 ans avant l'abattage	1,9		Pièces flexueuses et noeuses					
LA COUBRE 66 Station 9		Dune peu accentuée mais exposée au vent de mer vivante	peu de couverture vivante	- de -	1,6		- de -					
SAINTE-EULALIE 136 Station 11		Lette	quelques genêts	peuplement de 28 ans, assez vigoureux	4,3		Pièces assez droites et cylindriques					
R E S U L T A T S												
L O T S												
ECOUVES 237	19	442	19,5	122	2,82	468	3,7	15,5	21,2			
CAPBRETON 132	25,2	506	26	124	3,50	500	3,6	17,6	18			
LA TREMBLADE 64	25,0	498	25	127	4,10	500	3,6	20,6	18			
LA COUBRE 66	35,2	590	36	127	4,72	551	4,5	19,5	18			
SAINTE EULALIE 136	31,2	550	31	130	3,86	535	4,2	16,9	18			

TABLEAU 23

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne (mm)	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S			
								Flambement sur 2,50 m		Flexion sur 2 m	
	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (dm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm2 (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.M.G. corr. (tonnes)	C.M.M./cm2 (kg)	C.M.M.G./cm2 corr. (kg)		
AREBS Station 1	70	Lande humide	Mollinè, brande, bruyère ciliée	Peuplement assez dense, âgé de 32 ans, bien venant non élagué, non gemmé	3,6		Assez belles pièces quant à la forme				
LACANAU Station 4	73	Lette et versant Est, pente de 30 à 30%. Distance de la mer : 800 à 1 000 m	Pas de couverture vivante	Peuplement de 1ère génération abrité du vent de mer	1,3		Pièces flexueuses				
LACANAU Station 2	71	Versant de dune exposé à l'Ouest, pente 15 à 20% 500 m de la mer	Pas de couverture vivante	Peuplement très exposé au vent - âge 80/100 ans non gemmé	1,3		-- de --				
LACANAU Station 3	72	-- de --	-- de --	Mêmes conditions mais pins ayant été gemmés	1,4		-- de --				
LAMOTTE-BEUVRON 145		Altitude : 130 m - Pente nulle	Sables et argiles de Sologne.. Sol siliceux, perméable Calluné	Peuplement mélangé chêne et pin maritime - Ancien taillis enrésiné naturellement - 35 ans	2,5	0,604	Pièces assez belles ayant 14 d'humidité de moins que les séries qui précèdent.				
A R E S 70	26,8	500	25,0	135	3,46	503	3,6	17,2	18		
LACANAU 73	33,0	554	32,0	135	4,48	526	4,0	20,3	18		
LACANAU 72	34,8	547	31	146	4,76	547	4,4	20,0	18		
LACANAU 71	31,8	540	30	137	4,34	514	3,8	20,6	18		
LAMOTTE-BEUVRON 145	37,2	567	34	146	3,90	552	4,5	16	18		

TABLEAU 24

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces
PIERREFEU 209	650 m Exposition Ouest pente forte (30 à 60 %)		Sol squelettique sur calcaires marneux du crétacé supérieur	Jeune futaie assez claire de 50 à 80 ans Lieu dit "Les Braglias"	2,3	0,550	Pièces médiocres avec courbures fibre torse et noeuds.
CHINON 203	115 m pente nulle		Sol peu profond sur argile à silex	Semis de 1923-24 après incendie. Domaniale Chion - 1ère Série - Parcelle 4!	3,3	0,591	Certaines pièces flexueuses ayant donné des résultats bien inférieurs aux autres en flambement. Les autres assez belles.
BERCE 152	160 m pente très faible		Argile à silex acide. Sol lessivé. Molinie - bruyère	Peuplement dense (800 tiges à l'ha) et élané 55 ans, 11e série, parcelle 6	1,6	0,572	Assez belles pièces, bien que flexueuses
DOM DE BORMES 215	130 m pente 30 % Exposition Nord		Siliceux, profond sur micaschistes	Peuplement pur, dense qui s'est développé sur l'incendie de 1934 - Age : 20 ans	2,9	0,586	Assez belles pièces
R E S U L T A T S							
L O T S	Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m			
	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
PIERREFEU 209	30,8	504	26	4,86	542	4,8	20,2 20,1
CHINON 203	37,0	545	31	3,90	557	5,4	15,4 20,1
BERCÈ 152	29,5	462	21	2,30	450	2,7	18,4 18
DOM DE BORMES	45,0	554	32	4,42	549	4,7	13,3 18

ARES-LA-SAUSSOUZE (Gironde) - Lot n° 70 - Station 1

LACANAU (Gironde) - Lot n° 73 - Station 4

LACANAU (Gironde) - Lot n° 71 - Station 2

LACANAU (Gironde) - Lot n° 72 - Station 3

LAMOTTE-BEUVRON (Loir-et-Cher) - Lot n° 145

Les renseignements relatifs à ces provenances et les résultats obtenus figurent sur le tableau 23.

On notera que les lots des Landes de Gascogne proviennent de sols siliceux et que les meilleurs sont issus de stations exposées au vent de mer.

Le lot d'Arès doit sa bonne résistance en flambement à la forme satisfaisante des pièces. En flexion, il est légèrement inférieur à la moyenne.

Le lot de Lamotte-Beuvron doit son bon comportement à une siccité un peu plus grande. En lui appliquant la correction habituelle pour siccité, sa charge maxima moyenne par cm² serait ramenée à environ 135 kg, c'est-à-dire à un chiffre quand même supérieur à la moyenne. Par contre, en flexion, ce lot est médiocre, nettement inférieur à la moyenne.

Les conditions rigoureuses qui diminuent la largeur des cernes, sans nuire au bon état physiologique des arbres, modifient non seulement les charges maxima, mais exercent une influence sur les signes avertisseurs et l'allure de la rupture. Les pins maritimes à accroissements fins émettent beaucoup plus de craquements avant la rupture et celle-ci est plus fibreuse. On notera aussi que les lots de Lacanau, par exemple, se rompent en flexion, sur 2 m de portée, sous une flèche de 7 à 9 cm, alors que ceux de provenances à faible résistance maxima se rompent sous 5 à 6 cm de flèche.

PIERREFEU (Alpes-Maritimes) - Lot n° 209

CHINON (Indre-et-Loire) - Lot n° 203

BERCÉ (Sarthe) - Lot n° 152

DOM de BORMES (Var) - Lot n° 215

Les renseignements relatifs à ces quatre bonnes provenances et les résultats obtenus figurent sur le tableau 24.

Une correction de 12 % pour siccité supérieure à la moyenne est à apporter en *flambement*, aux lots 209, 152 et 215, ce qui les ramène à 135, 154 et 161 kg. Une correction de 8 % est à apporter pour la même raison au lot 203, ce qui l'amène à 144 kg. Leur hiérarchie est inchangée et ils restent de bons lots par rapport à la moyenne générale.

En flexion, la siccité des pièces était la même que celle des autres lots de pin maritime

Les observations suivantes sont à faire :

Pierrefeu 209. — La charge maxima moyenne par cm^2 , en flambement, est réduite par la mauvaise forme des pièces. La rupture est plus brutale que celle des pins des Landes. Cependant, les signes avertisseurs avant rupture sont bons. En flexion, la rupture se produit avant 6 cm de flèche et est brutale. Toutefois, les pièces craquent fortement avant d'atteindre la charge maxima.

Chinon 203. — Les cernes sont relativement larges. En flambement, cet inconvénient est racheté par la belle forme de certaines pièces. Toutefois, les pièces flexueuses ont une résistance inférieure de 20 à 25 % à celle des pièces droites. Les bois craquent beaucoup moins que ceux des Landes ou du Midi. Leur rupture, toutefois, est plus fibreuse que celle des bois du Midi.

En flexion, les résultats sont très médiocres, à cause des cernes larges. La rupture a lieu à 6 cm de flèche. Elle est relativement rapide.

Bercé 152. — Grâce à la forte densité du peuplement, les cernes sont fins (et le bois *dense*), ce qui rachète les défauts de forme des pièces et leur donne une bonne moyenne en flambement. Toutefois, les craquements avant rupture sont moins forts qu'avec les pins des Landes ou du Midi.

En flexion, la résistance est correcte. Toutefois les bois sont raides et avertissent peu, à vue, avant rupture (flèche de 6 cm).

Dom de Bormes 215. — C'est le meilleur lot de cette série. Les pièces sont belles ce qui, malgré les cernes assez larges (2,9 mm), leur donne une bonne résistance en flambement. Moins de craquements avant rupture qu'avec les pins des Landes et rupture plus rapide que celle des pins de Lacanau.

Bonne résistance moyenne en flexion. Rupture sous une flèche de 6 à 8 cm.

POMPOGNE (Lot-et-Garonne) - Lot n° 128

ALLONS-LA TOUR NEUVE (Lot-et-Garonne) - Lot n° 127
Station n° 21

ALLONS-LA TOUR NEUVE (Lot-et-Garonne) - Lot n° 126
Station n° 20

Ces lots n'ont fait l'objet que d'essais *en flexion* pour une cause fortuite. Il n'est donc pas possible de les comparer avec les lots précédents.

En flexion, le lot de Pompogne donne des résultats comparables à ceux de Barbaste 129 et de Reaup 130.

Les lots d'Allons sont un peu inférieurs à ceux de la Tremblade et de la Coubre (Charente-Maritime), mais supérieurs aux autres lots du Lot-et-Garonne.

Le tableau 25 donne les caractéristiques de ces stations et les résultats obtenus.

Les chiffres portés entre parenthèses dans les cases relatives à la charge maxima moyenne par cm^2 sont les charges par cm^2 ramenées au degré d'humidité 21 qui était celui des autres lots de pin maritime en flexion.

Ces trois lots sont donc légèrement supérieurs à la moyenne et voisins quant aux résultats de ceux de la Charente-Maritime.

2^e Série

ESSAIS DE CARMAUX

Six lots ont été essayés en flambement à Carmaux et quatre en flexion. Trois lots ont été essayés, en flambement, en partie à Carmaux et en partie à Sarrebrück, ce qui a permis de confronter les deux machines et de constater leur identité, la hiérarchie des lots étant conservée et la valeur absolue des résultats ne présentant qu'une différence en valeur absolue de 8 %, inférieure à la dispersion normale des lots.

Ceci permet de comparer, en flambement, les 3 lots de Sainte-Eulalie déjà présentés au paragraphe précédent et les trois lots d'Arengosse, non encore présentés.

ARENGOSSE (Landes) - Lot n° 130 - Station 14

ARENGOSSE (Landes) - Lot n° 140 - Station 19

ARENGOSSE (Landes) - Lot n° 138 - Station 13

Ces trois lots proviennent du très beau domaine de Castillon à Arengosse. Les pièces, particulièrement bien façonnées, grâce au Régisseur de ce domaine, ont fait l'objet d'essais minutieux au laboratoire des Houillères du Bassin d'Aquitaine à Carmaux.

Les renseignements relatifs à ces trois provenances et les résultats obtenus figurent sur le tableau 26.

Il y a là trois provenances supérieures à la moyenne en flambement.

En flexion, la comparaison est faussée par le fait que les essais ont eu lieu sur une portée de un mètre au lieu de 2. On peut toutefois constater que, pour la provenance Sainte-Eulalie 136, la ré-

TABLEAU 25

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces		
								R E S U L T A T S	
Flambement sur 2,50 m									
L O T S	C.M.N. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.N.G. corr. (t.)	C.M.N./cm ² (kg)	C.M.N. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	Flexion sur 2 m		
							C.M.N.G. corr. (t.)	C.M.N./cm ² (kg)	C.M.N.G./cm ² corr. (kg)
POMPOGNE 128 Station 22	Lande - 3 km Sud-Est de Pompoigne - Lieu dit "Auba"	Profond et bien drainé. Brande, callune, bruyère cendrée chêne tauzin	Peuplement irrégulier, les tiges ayant donné des étais ont 20 à 30 ans	4,2			Assez belles pièces pour du pin maritime Pièces humides au moment des essais (25 % contre 21 aux autres).		
ALLONS 127 Station 21	Lande sèche - 1 km Est d'Allons - Lieu dit : "Treples".	Callune, bruyère cendrée, hélianthème	Peuplement clair et ce pendant sans sous-étage Croissance rapide au début puis ralentissement brusque (causé par l'absence ?)	non mesuré			Pas d'observations faites sur la forme des pièces. Humidité supérieure à la moyenne de 3 %.		
ALLONS 126 Station 20	Bas-fond très humide à 3 km Sud-Ouest d'Allons. Lieu dit : "Luxuraguy"	Molinie, brande, sol humifère noir ; sous-sol argileux	Peuplement régulier de 30 à 35 ans. Arbres non gemmés	2,8			Une partie des pièces d'humidité normale. D'autres très humides ayant donné une résistance inférieure de 10 à 15 % à la moy.		
Flambement sur 2,50 m									
L O T S	C.M.N. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.N.G. corr. (t.)	C.M.N./cm ² (kg)	C.M.N. (tonnes)	Circ. corr. (mm)	C.M.N.G. corr. (t.)	C.M.N./cm ² (kg)	C.M.N.G./cm ² corr. (kg)
POMPOGNE 128	F a s d ' e s s a i s				3,62	527	4,0	16,4 (18,4)	18
ALLONS 127	F a s d ' e s s a i s				4,08	531	4,0	18,2 (19,8)	18
ALLONS 126	F a s d ' e s s a i s				4,22	532	4,1	18,7 (19,8)	18

TABLEAU 26

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cernes	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	C.M.N./cm ² (kg)	Circ. corr. (mm)	C.M.N./cm ² (kg)	C.M.N.G./cm ² corr. (kg)	
AREN-GOSSE 139 Station 14	200 m Nord-Ouest de la métairie de Gironsié.	Lande	Lande sèche à cal-lune, bryère cen-drée, ajonc, ché-ne tauzin	Peuplement régulier, vigoureux, de 35 ans. Diamètre moyen : 30 cm Hauteur totale : 18 m	2,7		Belles pièces avec toute-fois les couronnes de noeuds inhérentes aux grumes de Pin maritime				45		
AREN-GOSSE 140 Station 19	500 m Ouest de la gare d'Arengosse	Lande	Humus sur une gran-de profondeur. Pou-gère aigle, ajonc, bryère cendrée, chèvrefeuille, ger-mandré, chêne	Peuplement très vigou-reux de 24 ans. Diamètre moyen : 30 cm Hauteur : 18 m	3,4		-ds-						
AREN-GOSSE 138 Station 13	Lande très humide - 300 m Sud-Est de la métairie de Mascara		Sol très humide, molinie, bourdaine brande, etc...	Peuplement de 50/55 ans en bon état. Diamètre moyen : 35 à 40 cm. Hauteur totale : 16 m	2,8		-ds-						
L O T S													
AREN-GOSSE 139								29,4	140	513	9,30	45	
AREN-GOSSE 140								35,0	146	549	7,84	37	
AREN-GOSSE 138								35,0	153	534	7,72	42	
SAINTE-EULALIE									122 (Sainte-Eulalie 135-136-137)			28 (Sainte-Eulalie 136)	

sistance sur un mètre est à peu près le double de celles offertes sur 2 m, par des pièces de forme, grosseur et siccité équivalentes (ce qui est logique).

Les signes avertisseur et l'allure de la rupture ont été bien étudiés par le personnel de Carmaux.

En flambement, on note des *éclatements au niveau des couronnes de nœuds*, ce qui, avec la flexuosité, est un gros inconvénient du pin maritime. Ou bien les bois sont flexueux, et ils flambent au niveau des flèches les plus accusées. Ou bien ils sont droits et ils ont tendance à éclater au niveau des couronnes de gros nœuds, l'élagage naturel étant médiocre et l'élagage artificiel n'étant guère poussé au-dessus des 4 mètres nécessaires pour le gemmage. La qualité du pin maritime serait grandement améliorée par un élagage artificiel *précoce* dont les frais seraient facilement amortis grâce à la rapidité de croissance de cette essence.

En flexion, la rupture est progressive dans 60 % des cas et brutale pour le reste des pièces.

En résumé, on notera cette nette infériorité du pin maritime sur le pin sylvestre, en flambement (129 kg contre 175 kg par cm²) et la similitude avec les deux essences en flexion (18 à 20 kg par cm²).

Les pins maritimes à accroissements fins donnent plus de signes avertisseurs avant rupture en flambement que ceux à accroissements larges.

En flexion, les pièces craquent avant de se rompre, mais elles n'accusent en général (sauf celles des provenances côtières sur sols siliceux) une flèche visible que peu avant la rupture ou tout juste au moment où elle se produit.

La rupture est d'autant plus brutale que les bois sont à accroissements larges, surtout s'ils présentent des couronnes de gros nœuds non recouverts.

Les bois abattus pendant la sève se conservent mal, s'échauffent et sont tous à cassure brutale. L'amélioration des opérations de récolte et leur achèvement nettement avant la montée de sève, constitueraient un gros progrès.

5° LES PINS LARICIOS

a) Généralités

Cette espèce collective comprend plusieurs espèces, géographiquement isolées, et présentant entre elles des différences systématiquement constantes.

Ces espèces occupent des aires morcelées, distribuées autour du bassin de la Méditerranée. On les répartit en trois groupes :

Le groupe occidental, dont le type est *Pinus laricio* Poir. var. *Salzmanni* Dun.. Ce groupe n'a pas fait l'objet d'essais, bien que cette espèce existe en France, dans les Cévennes.

Le groupe central, dont le type est *Pinus laricio* Poir. var. *corsicana* Loud. Cette espèce, ainsi que *Pinus laricio* Poir. var. *calabrica* Delam. ont fait l'objet d'expériences et ont donné des résultats intéressants.

Le groupe oriental, dont le type est *Pinus laricio* Poir. var. *austriaca* Endl. Cette espèce a également fait l'objet d'un grand nombre d'expériences à cause de son importante diffusion en France.

En France, n'existent à l'état spontané que le pin Laricio de Corse et le pin Laricio de Salzmann. Toutefois, les pins Laricios de Corse et d'Autriche ont été largement plantés dans une grande partie de notre pays.

Le pin noir d'Autriche a été introduit dans un grand nombre de régions calcaires, de la Picardie, à la Champagne et à la Lorraine, du plateau de Langres et des côtes bourguignonnes aux Causses et aux Alpes sèches. Il a permis de reboiser des friches incultes où souvent, rien d'autre ne pouvait réussir.

Le pin Laricio de Corse a donné, dans la vallée de la Loire, de très beaux peuplements, droits, à branches fines, de forme et de qualité souvent supérieures à celles du pin sylvestre ou du pin maritime. Son homologue, le pin Laricio de Calabre, donne également d'excellents peuplements.

b) Identification à l'état de bois de mine

La distinction avec le pin sylvestre est difficile si les bois sont écorcés :

L'écorce des pins Laricios est gris argenté, épaisse, crevassée.

Le liber est de couleur brun cuir.

Le bois ressemble beaucoup à celui du pin sylvestre quand les pièces proviennent de peuplements ayant crû en dehors de l'aire des pins Laricios.

Les pièces provenant de Corse ont un bois de cœur brun rouge. Celles qui proviennent d'autres régions de France continentale n'ont pas de cœur ou un cœur très réduit rouge saumon foncé.

Les pins Laricios de Corse sont généralement bien droits et cylindriques. Les pins noirs d'Autriche sont souvent fourchus et plus coniques que les pins de Corse.

c) Provenances expérimentées

Pin Laricio de Corse. — Des essais nombreux ont été effectués sur des pins provenant de *Corse (forêt de Valdoniello)*. Malheureu-

sement, pour des raisons financières, nous n'avons réuni que des échantillons petits qui ont été essayés :

- en flexion sur 1 m de portée,
- en flambement sur 1,60 m de longueur.

Les essais ont porté sur 150 pièces.

A côté de cette provenance, nous avons expérimenté un lot important venant de la forêt de *Lamotte-Beuvron* (Loir-et-Cher). Ce lot, essayé en flambement sur 2,50 m et en flexion sur 2 m, pourra être comparé aux lots de pin sylvestre et de pin maritime de la même provenance.

Enfin, un lot de *pin Laricio de Calabre* venant d'une région voisine (le *domaine des Barres*, à *Nogent-sur-Vernisson* (Loiret), a été expérimenté dans les mêmes conditions.

Pin noir d'Autriche. — Huit lots de pin noir d'Autriche ont été essayés :

— un lot très important provenant de *Champagne crayeuse*: région d'Aussonce (Ardennes) expérimenté en flexion sur 1 m et en flambement sur 1,60 m, au laboratoire de Nancy.

— un petit lot, provenant de la *forêt de la Hardt* (Haut-Rhin) essayé en flambement sur 1,60 m à Sarrebrück.

— un autre lot important, provenant des *Côtes de Moselle*, essayé en flexion sur 1 m, à Nancy.

— un lot provenant de la région de *Montbard* (Côte-d'Or), essayé en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m, au laboratoire des houillères du Bassin de Blanzay (en parallèle avec d'autres lots de pins sylvestre et Laricio de Corse).

— un lot provenant de l'*Aveyron*, essayé en flexion sur un mètre et en flambement sur 2,50 m, à Carmaux (en parallèle avec du pin sylvestre de même provenance).

— deux lots provenant de *Lozère* et des *Alpes sèches*, essayés au laboratoire des houillères du Bassin de la Loire à Saint-Etienne, en parallèle avec d'autres pins et du mélèze.

— et enfin, un lot provenant des reboisements de l'*Aigoual*, essayé à Nancy et Sarrebrück.

Nous nous proposons, par la suite, d'essayer, à Nancy, des lots plus importants :

- 1) de pin Laricio de Corse, provenant de Sologne,
- 2) de pin noir d'Autriche, venant des Causses et des Alpes sèches.

d) **Résultats obtenus***1^{re} Série*

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 2 m
 ET EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m
 AUX LABORATOIRES DE NANCY ET SARREBRUCK

LES BARRES (Loiret) - 217 - Laricio de Calabre

Des renseignements détaillés sur le domaine des Barres sont donnés par le tome IX - fascicule 1 - 2^e édition (1954) des Annales de l'École Nationale des Eaux et Forêts, consacré au « Catalogue des espèces cultivées dans l'arboretum des Barres », par R. ROL, J. POURTET et P. TURPIN.

Le lot de Calabre provient du lieu dit « La Pépinière » sur argiles à silex, assez sableuses. Altitude 150 m - Plateau, situé à la limite du Bassin de la Seine (Vernisson et Loing) et du bassin de la Loire. Peuplement (4^e génération - graines récoltées aux Barres) âgé de 24 ans.

En flambement, sur 2,50 m, à Sarrebrück, les résultats suivants ont été enregistrés :

Largeur des cernes	3,8 mm
Densité	0,554
Charge maxima moyenne	26,8 t
Circonférence correspondante	49 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	142 kg

Ce chiffre est à rapprocher de la moyenne donnée par les pins maritimes (129 kg) et en particulier du lot de Lamotte-Beuvron (146 kg) et des moyennes données par le pin sylvestre (175 kg).

Notons toutefois que la largeur des cernes n'était que de 1,8 en moyenne pour les lots de pin sylvestre et de 2,5 mm pour le lot de pin maritime de Lamotte-Beuvron. Le pin Laricio de Calabre des Barres donne donc, malgré des accroissements plus larges (3,8 mm) des bois de qualité équivalente à ceux des pins maritimes de Sologne. Il est inférieur de 20 % au pin sylvestre, mais sa croissance radiale est deux fois plus rapide.

En flexion, sur la machine Trayvou du laboratoire de Nancy, les résultats suivants ont été enregistrés :

Largeur des cernes	4,4 mm
Densité	0,517
Charge maxima moyenne	3,38 t
Circonférence correspondante	50 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	17,4 kg

Ces résultats sont également assez voisins de la moyenne des pins sylvestres (18,8 kg) et supérieurs à ceux des pins maritimes de Lamotte-Beuvron (16 kg).

En flexion comme en flambement, les pièces fléchissent avant de se rompre et avertissent donc à vue. Les craquements sont moins forts qu'avec le pin sylvestre ou les pins maritimes des Landes. La rupture est rapide en flexion, beaucoup moins rapide en flambement, où moins de 20 % des pièces ont une rupture rapide (il y en avait 40 % chez les pins maritimes — ceux de Lamotte-Beuvron, en particulier, cassaient brutalement).

Si l'on rapproche l'une de l'autre, les courbes de corrélation, flambement et flexion, de la moyenne des pins sylvestres et du pin Laricio de Calabre des Barres, on observe qu'en flambement, le pin sylvestre moyen de 48 cm de tour donne la même résistance que le pin Laricio de Calabre des Barres de 55 cm ; *or, le pin sylvestre moyen de 48 cm de tour a 42 ans et le pin Laricio de Calabre de 55 cm a 23 ans.*

En flexion, la différence est beaucoup plus faible.

Il est donc possible avec cette essence d'obtenir, *plus jeunes*, des bois ayant la même résistance mécanique que ceux du pin sylvestre avec, toutefois, un encombrement diamétral supérieur de 15 % (4,5 cm environ pour les deux montants d'une galerie étayée avec des pièces de 48 cm de tour).

La rectitude, généralement très bonne, de cette essence, permettrait son utilisation pour la culture de bois de mine avec élagage artificiel précoce. Il en est de même d'ailleurs pour le pin Laricio de Corse.

AIGOUAL-LACAMP (Gard) - 149 - Pin Noir d'Autriche

Les renseignements relatifs à cette station sont les suivants :

Altitude: 980 m.

Plateau (Plateau de Lacamp - 3^e série - Parcelle 7).

Sol: calcaires hettangiens.

Climat: très pluvieux au printemps et en automne, souvent très sec en été, rigoureux en hiver.

Peuplement artificiel, équième (65 ans), dense.

Les résultats obtenus sont les suivants :

En flambement (sur 2,50 m, à Sarrebrück):

Largeur des cernes	1,7 mm
Densité	0,633
Charge maxima moyenne	41,2 t
Circonférence correspondante	54 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>177 kg</i>

En flexion (sur 2,00 m, à Nancy):

Largeur des cernes	1,8 mm
Densité	0,609
Charge maxima moyenne	4,58 t
Circonférence correspondante	55 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>19,1 kg</i>

Ce lot donne donc des résultats très légèrement supérieurs à celui du pin sylvestre moyen.

On peut le rapprocher du lot de pin sylvestre n° 205 provenant de la Série de Trèves (Camayères), sur schistes, lequel a donné en flambement 165 kg/cm² et en flexion 18,5. La légère supériorité du pin noir ainsi mise en évidence aurait été encore plus manifeste si on avait comparé ce lot de pin noir à un lot de pin sylvestre ayant crû sur calcaires hettangiens.

Il faut, toutefois, reprocher au pin noir de cette provenance :

en flambement, la discrétion des avertissements à l'ouïe, circonstance partiellement compensée par une flèche visible avant rupture, en flexion, une rupture rapide, souvent brutale.

En faveur du pin noir de cette provenance, on peut noter :

une certaine lenteur de la rupture en flambement,

la constance de l'avertissement à vue avant rupture en flexion.

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 1 m

ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m

AU LABORATOIRE DE NANCY

VALDONIELLO (Corse) - 142 - Pin Laricio de Corse
 AUSSONCE (Ardennes) - 38/39/40 - Pin noir d'Autriche
 HARDT (Haut-Rhin) - 43 - Pin noir d'Autriche
 ANCY (Moselle) - 87 - Pin noir d'Autriche

Les renseignements relatifs à ces 4 provenances et les résultats obtenus figurent sur le tableau 27.

La résistance moyenne des pins Laricios provenant de Corse est excellente. En flambement, elle dépasse la moyenne des essences précédemment étudiées et se situe au niveau des meilleures provenances de pin sylvestre.

En flexion, sur 1 m, elle est légèrement supérieure à celle des célèbres pins sylvestres de Freland. A noter qu'il s'agit de pièces petites et que *la charge moyenne maxima par cm², en flexion, augmente légèrement avec la grosseur de la pièce.* Cette question sera traitée dans la 3^e partie.

Les bois sont souples. En flambement, une flèche visible apparaît toujours avant rupture. En flexion, sur un mètre de portée, la rupture se produit sous une flèche de 6 à 9 cm (la flèche est déjà visible, à l'œil, quand elle atteint 3 cm). Malheureusement, si les avertissements à vue sont bons, les craquements avant rupture sont discrets. L'émission de craquements forts ne se produit que pendant le défibrage qui est généralement assez long.

Voir graphiques de la figure 62.

Les pins noirs de Champagne donnent, en moyenne, en flambement sur 160 cm de long, 130 kg par cm².

Le degré d'humidité exerce une influence considérable. En 8/52, les mêmes bois, secs à l'air, donnaient une résistance de l'ordre de 165 kg. Cette résistance était alors absolument la même que celle des pins sylvestres de même provenance (Lot n° 37).

Par contre, la résistance des bois frais n'est que de 80 kg environ avec le pin noir et 100 kg avec le pin sylvestre.

En flexion, la résistance par cm² des pins noirs s'échelonne, selon siccité de 12,5 à 20,1 kg et celle des pins sylvestres de même provenance de 18 à 19,5.

Les caractéristiques moyennes du pin noir de Champagne sont donc assez semblables à celles du pin sylvestre de même provenance, *mais il reprend plus facilement de l'humidité en hiver, ce qui*

TABLEAU 27

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S							
								Flambement sur 2,50 m				Flexion sur 2 m			
								C.M.M. (tonnes)	C.M.M./cm ² (kg)	Circ. corr. (cm)	C.M.M. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)		
VALDONIELLO 142	1050/1150 m pente 15 à 20 %	Est et Nord	Granit	Futaie jardinée	1,2	0,611	Très belles pièces, rectilignes, cylindriques et à petits noeuds								
AUSSONCE 36-39-40	140 m	Plateau	Craie senonienne	Peuplements artificiels équiennes et denses	2,8		Pièces assez droites mais coniques et noueuses								
HARDT 43	230 m	Pente nulle	Alluvions anciennes du Rhin- Sol assez pauvre	Peuplement artificiel équienne			Belles pièces mais bois frais de coupe au moment de l'essai								
ANCY 87	340 m	Pente douce sur la Moselle - Exposition N. E.	Calcaire bajocien	Peuplement artificiel équienne	2,3		Pièces droites mais noueuses.								
L O T S															
VALDONIELLO 142	15,7	30,2	216	2,08	38,8							17,3			
AUSSONCE 36-39-40	13,3	35,4	133	0,726	25,3							13,8			
HARDT 43	30,0	53,4 Essai fait à	132	Pas d'essai en flexion											
ANCY 87	Pas d'essais en flambement	Essai fait à	bois frais bois secs	0,400 0,857	21,1 27,6							10,8 14,2			

Charges
(en kg)

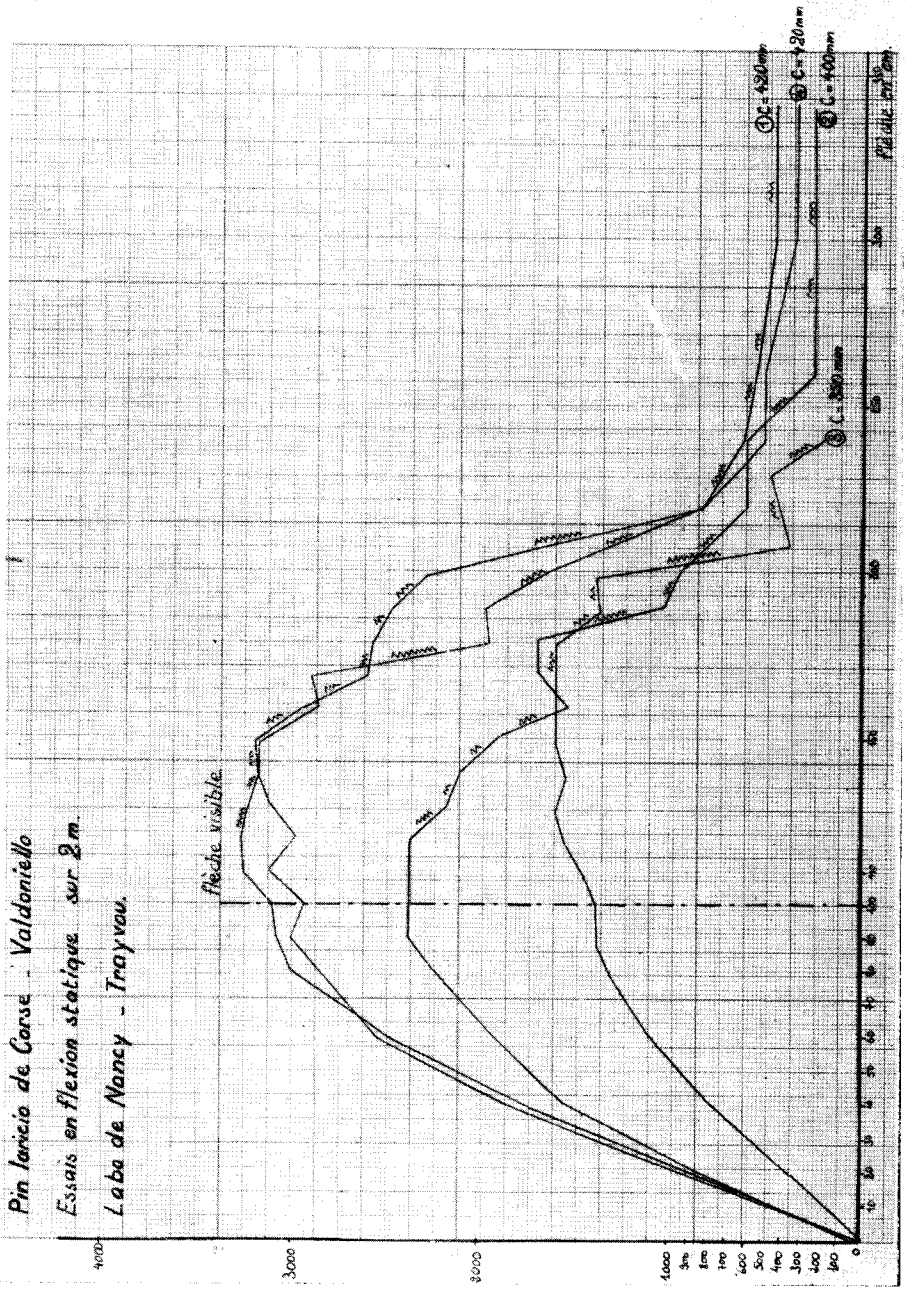


FIG. 62.

amène un fléchissement de ses résistances mécaniques plus marqué que chez le pin sylvestre.

Enfin, le pin noir est altérable. Il y a lieu de ne livrer que des bois de mine, *écorcés forestièrement*, jamais de poteaux bruts. Ceci sera exposé dans la III^e partie.

Les graphiques des figures 63 et 64 donnent une idée de la physiologie de la rupture du pin noir, en flexion et en flambement.

La provenance n^o 43, *pins noirs provenant de la forêt de la Hardt*, peut être rapprochée de la provenance 50/51, pin sylvestre venant de la même forêt. En flambement, à siccité et grosseur égales, les pins sylvestres donnent une résistance de 194 kg et les pins noirs de 132 kg soit 30 % en moins. Il est vrai qu'il s'agissait de bois frais de coupe. Mais la forêt de la Hardt convient mieux pour le pin sylvestre (à condition de choisir une bonne race et de l'élaguer) que pour le pin noir.

3^e Série

ESSAIS FAITS AU LABORATOIRE DES HOUILLÈRES DU BASSIN DE BLANZY

CREPAND-MONTBARD (Côte-d'Or) - 106 - Pin noir
LAMOTTE-BEUVRON (Loir-et-Cher) - 107 - Pin Laricio de Corse

Le tableau 28 donne les renseignements relatifs à ces deux provenances et les résultats obtenus.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux donnés par les provenances suivantes :

Ampilly-le-Sec: Pin sylvestre.

Lamotte-Beuvron: Pin sylvestre - Pin maritime.

Le pin noir de Crépand donne des résultats identiques ou même supérieurs à ceux que donnent les pins sylvestres de même provenance. En flambement, 131 contre 129 et en flexion, 21,7 contre 19,1. Et cependant, il pousse plus vite. Par ailleurs, sur ces sols calcaires, une coupe de pin noir donne une plus forte proportion de bois de mine qu'une coupe de pin sylvestre. En ce qui concerne les signes avertisseurs, on peut noter que les pins noirs sont plus souples, mais avertissent moins par des craquements avant rupture que le pin sylvestre. La rupture est rapide chez les deux essences pour cette provenance.

Le pin Laricio de Lamotte-Beuvron, avec 182 kg en flambement et 26,1 kg en flexion, se montre identique au pin sylvestre de la même provenance (178 et 26,4) et très supérieur au pin maritime (146 et 16).

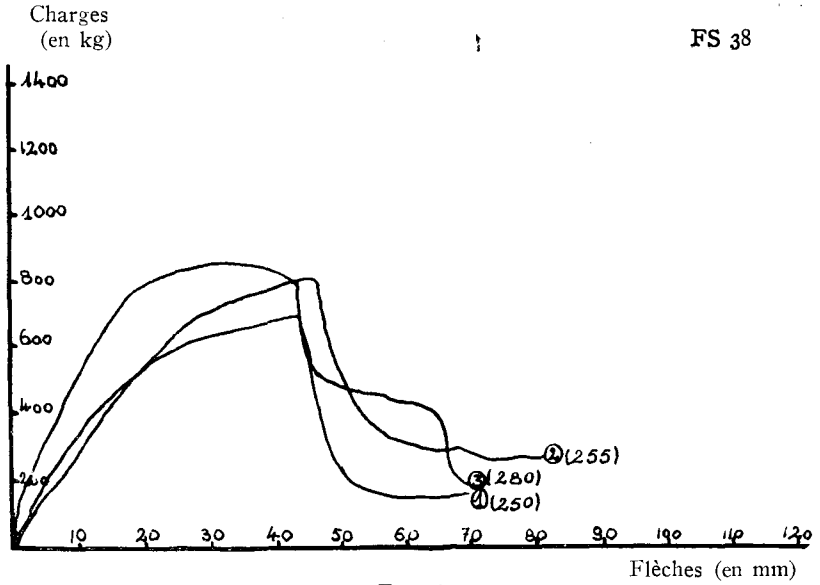


FIG. 63.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
portée: 100 cm - Démultiplication: 2 T.
Pin noir - Bois Lapie Aussonce (Ardennes) Fév. et Nov. -952.

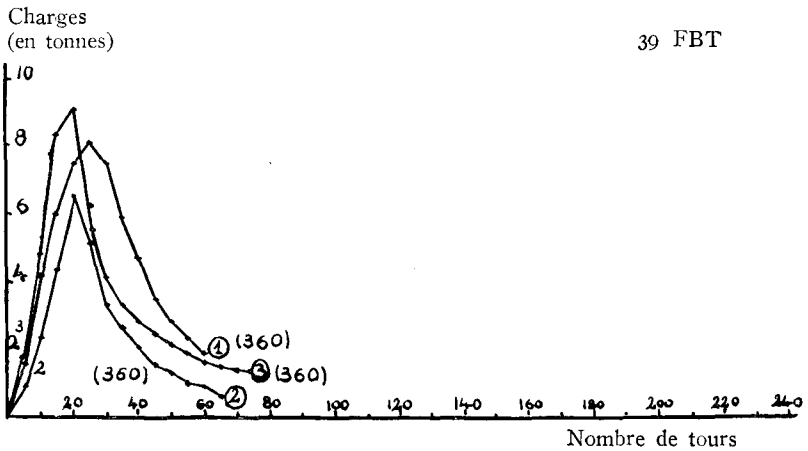


FIG. 64.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou)
Longueur: 160 cm - Novembre 1952.
Pin noir d'Autriche - Aussonce (Ardennes).

TABLEAU 28

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne.	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	C.M.M./cm ² (kg)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
CREPAND-MONTEARD (Côte d'Or) 106	350 m	Sud	Calcaire bajocien	Peuplement artificiel, équienne, créé en 1910	2,1								
LAMOTTE-BEUVRON 107	125 m	Sol plat	Sables et argiles de Sologne	Peuplement artificiel équienne de 65 ans - lère Sirie - Parcelle 7					131	52		21,7	
L O T S													
CREPAND-MONTEARD 106	27,2	51		4,62	56			26,1					
LAMOTTE-BEUVRON 107	42,6	54	182	6,44	56			26,1					

En outre, une éclaircie de pins Laricios de Corse, avec ses tiges droites, cylindriques et ses branches relativement fines donne un pourcentage de bois de mine plus élevé que le pin sylvestre ou le pin maritime.

La culture de cette essence en Sologne est donc très justifiée.

4^e Série

ESSAIS EFFECTUÉS AU LABORATOIRE DES HOUILLÈRES
D'AQUITAINE A CARMAUX, EN FLEXION SUR 1 m
ET EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m
GUIRAL (Aveyron) - Lot n° 119

Les caractéristiques de la station sont les suivantes :

Vallée du Cernon, pente nord, altitude 750 m, calcaires du sinémurien. Plantations effectuées de 1880 à 1883 - Largeur des cerne 1,2 mm - Belles pièces, droites mais noueuses.

Résultats en flambement

Charge maxima moyenne	42,6 t
Circonférence correspondante	54 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	182 kg

Résultats en flexion sur 1 m:

Charge maxima moyenne	10,54 t
Circonférence correspondante	54 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	45,9 kg

Ces résultats sont à rapprocher de ceux donnés par les pins sylvestres de Verrières (Aveyron) - Lot n° 120 - de provenance voisine :

Flambement: 145 kg.

Flexion: 32 kg.

Sur ces calcaires du sud du Massif Central, avec climat chaud et sécheresses estivales, le pin noir semble donc donner de meilleurs bois que le pin sylvestre.

L'influence de la variation du degré d'humidité a fait l'objet d'études particulières, dans ce lot et sera exposée dans la III^e partie.

5^e Série

ESSAIS EFFECTUÉS AU LABORATOIRE DES HOUILLÈRES

DU BASSIN DE LA LOIRE, A SAINT-ETIENNE

CHADENET (Lozère) - Lot n° 112 - Pin noir d'Autriche

Les résultats qui nous ont été transmis par les Houillères du Bassin de la Loire font ressortir le bon comportement des pins provenant de Lozère qui se classent nettement en tête, avec 4 à 5 tonnes de charges en flexion (pour 17,5 cm de diamètre), juste avant les mélèzes de Seyne-les-Alpes et très au-dessus des pins sylvestres, pins à crochets et pins noirs provenant des reboisements de cette provenance des Alpes *sèches*.

En flambement, les mélèzes, avec 37 tonnes, et les pins noirs de Lozère, avec 33 tonnes, se classent nettement avant les 3 autres essences (23 à 25 tonnes).

Les courbes moyennes de rupture accusent en flexion et en flambement une rupture non brutale des pins de Lozère.

Les renseignements relatifs à cette provenance sont les suivants :

Lot 112 A — Forêt domaniale de Chadenet - Section des pins - 2^e série du Bouchet - Parcelle 4 - Altitude de 920-1 050 m - Pente variant de 0 à 50 % - Exposition ouest - Sol calcaire - Peuplement artificiel de 65-75 ans, dense et bien venant.

Lot 112 B — Même forêt - Série unique - Parcelles 1 à 5 - Altitude de 1 040-1 050 m - Versant nord-est - Pente 0 à 40 % - Sol de schistes et marnes, profond et frais - Même peuplement, en gros.

Lot 112 C — Même forêt et série - Parcelle 1 - Même altitude - Exposition est - Même sol, même peuplement.

Les essais n'ayant pas été effectués sous notre contrôle, nous n'avons pu étudier comparativement ces trois lots.

Les conclusions suivantes peuvent être données pour ces 5 séries d'essais :

1) les pins Laricios, qui présentent pour le reboisement un très gros intérêt, sont capables de donner d'excellents résultats mécaniques,

2) dans le val de Loire, le pin Laricio de Corse se classe en tête des trois espèces de pin utilisé dans les reboisements, son rendement en bois de mine est aussi le meilleur,

3) le pin de Calabre donne également un excellent rendement en bois de mine, sa résistance, malgré ses accroissements larges, est du même ordre de grandeur que celle des pins sylvestres et supérieure à celle des pins maritimes,

4) le pin noir d'Autriche donne, dans les stations calcaires mé-

ridionales, d'excellents résultats mécaniques, supérieurs à ceux du pin sylvestre,

5) sur les calcaires de l'est et du nord-est de la France, le pin noir donne, avec une forte production en volume et un bon rendement en bois de mine, des pièces qui ont des résistances voisines de celles des pins sylvestres.

Les pins Laricios donnent davantage de signes avertisseurs à vue que les pins sylvestres, mais ils émettent moins de craquements avant rupture.

Il y a lieu de soigner le façonnage des étais de pin noir : écorçage rapide, bon empilage, pour faciliter son séchage, assurer sa conservation et accroître ses propriétés mécaniques.

6° LE PIN A CROCHETS

a) Généralités

Le pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond.) est voisin de deux autres espèces avec lesquelles il ne faut pas le confondre (*Pinus mughus* Scop. et *Pinus pumilio* Haenke) qui sont l'une rampante et l'autre buissonnante, les trois espèces étant souvent appelées sous le même nom de « pin de montagne ».

Le pin à crochets occupe une aire morcelée sur les montagnes du centre et du sud-ouest de l'Europe. En France, il constitue des peuplements importants dans les Pyrénées-Orientales.

Très plastique, résistant à des conditions climatiques rigoureuses, et très xérophile, le pin à crochets a été fréquemment utilisé en reboisement, en particulier en montagne, sur terrains nus et dans les dunes. Il craint la concurrence des autres essences. Quand il est planté en mélange, il est rapidement dominé, souffre, s'étiole et meurt.

Son écorce n'est pas profondément crevassée comme celle des pins sylvestres ou noirs, mais plutôt écailleuse et de couleur brun rouge à brun cuir en surface, rouge brique foncé en dessous, si on l'écaille. Ecorcé, il se distingue difficilement des autres pins. S'il provient de haute montagne, la finesse de ses cernes peut constituer un caractère distinctif, en même temps que la couleur blanc-jaunâtre de son bois et l'absence de duraminisation à la grosseur de bois de mine.

b) Résultats enregistrés

4 provenances ont été expérimentées :

Seyne-les-Alpes (Basses-Alpes) Lot n° 113, canton de Saint-Pons, altitude 1 400 m, exposition sud-ouest, pente 25 %, éboulis

de schistes noirs assez frais, brins dominés dans un peuplement mélangé pin noir et pin sylvestre, essayés à Saint-Etienne.

Matemale (Pyrénées-Orientales) Lot n° 118, altitude 1 600 m, canton de Soula Mal, parcelle 21, essayés à Carmaux (flexion sur 1 m et flambement sur 2,50 m).

Barèges - Sers et Betspouey (Hautes-Pyrénées) - Lots n° 123 et 123 bis - altitude 1 200-1 500 m, versant Nord (Sers) et Sud (Betspouey), essayés à Sarrebrück en flexion sur un mètre et en flambement sur 1,60 m et 2 m.

Aigoual - Col de Faubel (Gard) - Lot n° 148, altitude 1 300 m, exposition nord-ouest, granit, peuplement artificiel, équienne, 60 ans, peu dense, essayés à Nancy (flexion sur 2 m) et Sarrebrück (flambement sur 2,50 m).

Les conclusions suivantes ont pu être dégagées :

1) *Le lot 148* (Aigoual) donne, en flambement, sur 2,50 m, une charge maxima moyenne de 34,4 t pour 54 cm de tour, soit 151 kg par cm², avec des accroissements annuels de 1,9 mm et une densité à 15 % de 0,664.

En flexion, sur 2 m, on enregistre les résultats suivants : largeur des cernes 2,1 mm, charge maxima moyenne 4,26 t, circonférence correspondante 56 cm, charge maxima par cm² 17,5 kg.

On peut comparer ces résultats à ceux des pins noirs et des pins sylvestres de provenances voisines.

	Flambement (kg par cm ²)	Largeur des cernes (mm)	Flexion (kg par cm ²)
Pin noir	177	1,7	19,1
Pin sylvestre	165	1,7	18,5

Le pin à crochets se montre donc inférieur à ces deux essences. En outre, il avertit peu à vue et à l'ouïe avant rupture. Sa cassure est lente en flambement mais brutale en flexion.

2) *Les lots 123 et 123 bis* (Barèges) donnent des résultats semblables entre eux. La moyenne de leurs résultats est la suivante :

Flexion sur 1 m :

Charge maxima moyenne	3,9 t
Circonférence correspondante	44 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	27,5 kg

Flambement, sur 1,60 m :

Charge maxima moyenne	21,8 t
Circonférence correspondante	46 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	131 kg

Flambement sur 2 m :

Charge maxima moyenne	10,9 t
Circonférence correspondante	38 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	103 kg

On notera la proportionnalité pour les essais en flambement, effectués sur 2 longueurs distinctes.

En général, les lots provenant de l'exposition *nord*, ont une résistance 10 à 15 % supérieure à ceux qui proviennent du versant *sud*.

Les observations relatives aux signes avertisseurs n'ont pas été faites de façon assez précise pour être exposées.

On comparera ces résultats à ceux donnés par les mélèzes des mêmes provenances (lots n° 122 et 122 bis).

3) *Le lot 118 (Matemale) a donné les résultats suivants :*

Flambement, sur 2,50 m :

Charge maxima moyenne	42 t
Circonférence correspondante	57 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	162 kg

Flexion sur 1 m :

Charge maxima moyenne	9,78 t
Circonférence correspondante	58 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	37,1 kg

D'autres essais effectués l'année suivante avec des bois ayant repris quelques degrés d'humidité ont confirmé les résultats qui précèdent :

Flambement : 155 kg.

Flexion : 34 kg.

On comparera ces chiffres à ceux qui ont été donnés par les pins sylvestres de la forêt de la Matte des Angles (Pyrénées-Orientales) :

Flambement : 144 kg.

Flexion : 34 kg.

La différence est insensible et non significative. Le caractère *provenance* imprime aux bois leurs caractéristiques mécaniques, dans ce cas extrême, bien plus que le caractère essence.

4) *Le lot 113 (Seyne-les-Alpes) a donné, selon les essais de Saint-Etienne, des résultats assez médiocres. Ceci n'est pas surprenant,*

les pièces ayant été tirées d'arbres que la concurrence vitale des autres essences, peu à peu élimine.

En résumé, le pin à crochets est capable de donner des bois ayant des caractéristiques mécaniques correctes quand il provient de stations qui lui conviennent bien : altitudes élevées, versants pas trop arides, peuplements purs.

Quand il provient de peuplements mélangés, ou de stations situées bien en dehors de son aire, ses qualités sont douteuses.

7° LE PIN WEYMOUTH

Le pin weymouth (*Pinus strobus* L.) occupe une aire très vaste dans l'est du Canada et le nord-est des Etats-Unis. Il a été planté, dans l'est de la France, dans un certain nombre de stations fraîches, où il croît très vite et où il donne des semis. Sa plasticité le rend précieux pour le reboisement de certains sols difficiles. Son bois est apprécié comme support de placages.

Il est explicitement prohibé par les cahiers des charges des mines et les normes relatives aux poteaux de ligne. Sa cassure est réputée brutale.

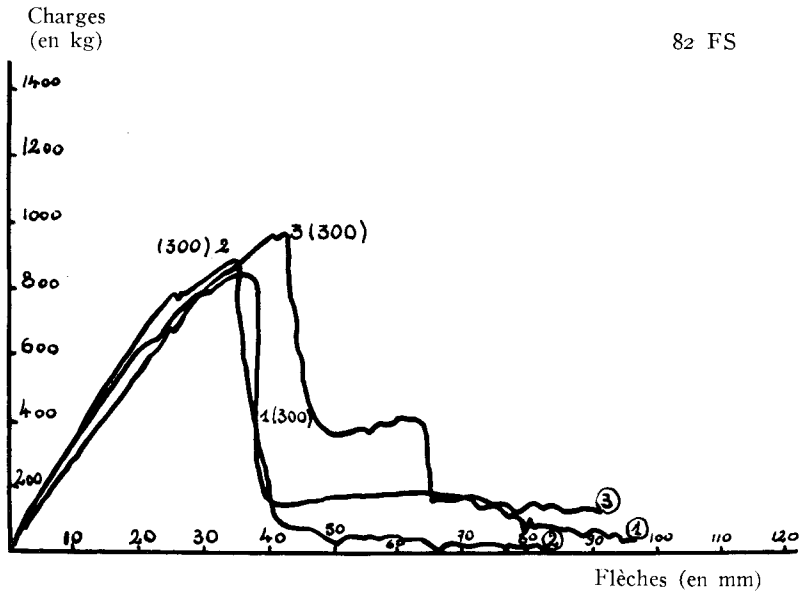


FIG. 65.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
portée : 0,80 m. - Démultiplication : 2 T.
Pin Weymouth - Saint-Avoid (Moselle) - Septembre 1948.

Une série a été essayée pour vérifier le bien-fondé de ces affirmations.

Les graphiques de la figure 65 sont démonstratifs et prouvent l'exactitude des observations faites par les mineurs.

Le pin weymouth a donné les résultats moyens suivants, en flexion, sur 0,80 m de portée:

Charge maxima moyenne	0,860 t
Circonférence correspondante	29 cm
Charge maxima moyenne par cm ² . .	12,9 kg

La faiblesse mécanique de ce bois semble donc bien exacte. Il serait intéressant d'étudier ses possibilités papetières, pour le placement des produits d'éclaircie.

8° MÊLÈZE D'EUROPE ET MÊLÈZE DU JAPON

a) Généralités

Le mélèze d'Europe (*Larix europaea* D.C.) occupe une aire étendue, mais fragmentée, dans les montagnes d'Europe centrale et occidentale, des Carpathes aux Alpes. En France, son aire naturelle s'étend sur les versants ensoleillés des Alpes, à haute altitude.

Il a été planté très largement en dehors de son aire, jusque dans les plaines du nord de la France et du Bassin Parisien. Sa croissance rapide, dans le jeune âge, le fait apprécier des reboiseurs. Son aspect esthétique, sa compatibilité avec l'herbe et le pâturage sont également des causes de sa diffusion.

Son bois d'œuvre est, à certaines époques et dans certains endroits, très apprécié pour la menuiserie, mais il subit aussi d'explicables périodes de méventes. Il donne de bons poteaux de ligne. Il a été assez peu offert aux mines jusqu'à présent. Toutefois, les reboisements effectués en plaine avec cette essence sont maintenant productifs. Certaines difficultés pour l'utilisation de ce bois en papeterie justifient les recherches faites au sujet de sa valeur comme bois de mine.

b) Indentification à l'état de bois de mine

Le mélèze est facile à identifier par son *écorce*, crevassée-écailleuse, brun-rouge à brun-violacé (soulever les écailles extérieures pour bien voir la couleur), épaisse, surtout chez les arbres de montagne.

Les pièces écorcées forestièrement peuvent se reconnaître aux *trâchées de liber*, lie de vin, subsistant à la surface.

Le bois de cœur est brun-rose et l'aubier jaune-rougeâtre. Le cœur est d'autant plus abondant que l'arbre vient d'altitude élevée. Le bois contient des canaux résinifères moins nombreux que chez les pins. Beaucoup de ces canaux apparaissent à la surface du bois, en section radiale ou tangentielle, sous forme de stries blanchâtres (et non brunes comme chez les pins).

c) Provenances essayées

Sept provenances de mélèze d'Europe ont été expérimentées :

Quatre de haute montagne : Seyne (Basses-Alpes) - Barèges (Hautes-Pyrénées) - Roure (Alpes-Maritimes) et Saint-Martin d'Entraunes (Alpes-Maritimes).

Une de moyenne montagne : Peyrols - Lavergne (Corrèze),

Deux de basse altitude : Hery (Moselle) et Servon Saint-Thomas (Marne).

D'autres lots venant de Savoie nous sont parvenus depuis, mais leur expérimentation n'est pas achevée.

En parallèle, ont été essayés *deux lots de mélèze du Japon* : l'un de Pérols-Lavergne et l'autre de Servon Saint-Thomas.

Si nous disposons de crédits suffisants, dans l'avenir, des lots de mélèze d'Europe provenant du Haut-Dauphiné et de Haute-Provence devront être également expérimentés.

Par la suite, il y aurait lieu d'étudier également certaines provenances des Vosges et d'Alsace où les mélèzes (Europe ou Japon) peuvent rendre des services comme essences de reboisement.

d) Résultats obtenus

1^{re} Série

MELEZES D'EUROPE

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 2 m A NANCY

ET A SARREBRUCK

ET EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m A SARREBRUCK

PEROLS-LAVERGNE (Corrèze) - Lot n° 68

ROURE-LA-FRACCIA (Alpes-Maritimes) - Lot n° 154

SAINT-MARTIN-D'ENTRAUNES (Alpes-Maritimes) - Lot n° 156

Le tableau 29 donne les renseignements relatifs à ces trois provenances et les résultats obtenus.

Les résultats donnés, en flambement, par le Lot Roure 154 sont sensationnels. Ceux de Saint-Martin sont également excellents.

Perols 68, malgré ses cernes larges, donne également en flambement des résultats honorables.

TABLEAU 29

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne mm	Densité à 15 %	Observations sur les pièces		
								R E S U L T A T S	
Flambement sur 2,50 m									
L O T S	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
PEROLS-LAVERGNE 68	900 m		Granulite, sol profond et léger, assez pauvre	Plantation de 40 ans - Forêt de Lavergne - Commune de Pérols - région de Meymac	2,7	0,604	N pièces essayées à Nancy en 4/53 DH = 18 S pièces essayées à Sarrebrück en 12/51 DH = 30		
ROURE La Fraccia 154	1 500 m	Nord-Est pente faible	Schistes permien, neige de novembre à mars - orages estivaux - pluies en toutes saisons	Mélezin pur, bien venant, dense, jamais éclairci - Forêt communale de Roure - parcelle 3	0,9	0,754	Belles pièces		
SAINTE-MARTIN D'ENTRAUNES 156	1 700 m	Nord-Ouest	Calcaire marneux, sur marnes grises du cénonien, affouillables - climat montagnard des Alpes sèches, humides	Futaie irrégulière mais pure, assez dense et bien venante, âgée de 100 à 150 ans.	1,4	0,670	Belles pièces		
Flambement sur 2,50 m								Flexion sur 2 m	
PEROLS 68	27,0	49,6	142	N 3,87 S 3,90	50 53		21,3 17,5		
ROURE 154	48,4	50,2	243	4,68	52		22,2		
St MARTIN D'ENTRAUNES	48,4	55,7	196	5,25	56,2		21,1		

En flexion, les 3 lots donnent de bons résultats, nettement supérieurs à la moyenne des pins.

Ces mélèzes sont remarquablement souples. La rupture, en flexion se produit sous 10 cm de flèche. Quand la flèche visible à l'œil (environ 6 cm) est atteinte, *les bois ne sont qu'à la moitié de leur charge maximum*. Le défibrage est long, en flexion, comme en flambement. Les pièces craquent, bien avant d'atteindre la charge maxima, en flexion et en flambement.

Les pièces de mélèze se conservent bien et gardent leurs propriétés mécaniques. Cette essence mérite d'être prise en considération comme bois de mine.

2^e Série

MELEZES D'EUROPE

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 1 m
AUX LABORATOIRES DE NANCY OU DE SARREBRUCK
ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m OU 2 m

HERNY (Moselle) - Lot n° 1

Ce lot provient des hauteurs de Moselle, entre Pont-à-Mousson et Metz, sur un versant exposé à l'est.

Charges
(en kg)

154 FS

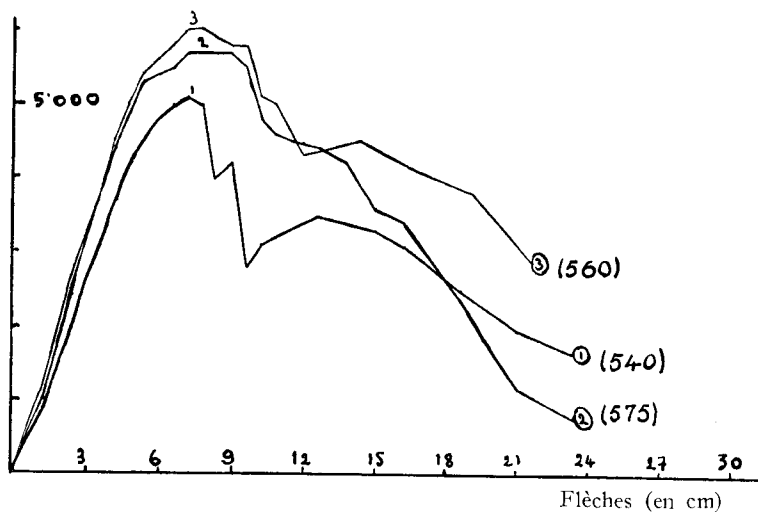


FIG. 67.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée : 200 cm.
Septembre 1954.

Mélèze - (Nice-Est) Roure (près St-Sauvein) A. M.

Les résultats moyens suivants ont été enregistrés en flexion :

Largeur des cernes	3,9 mm
Charge maxima moyenne	1,14 tonnes
Circonférence correspondante	28,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	17,6 kg

La rupture est généralement lente, avec nombreux signes avertissant à vue avant rupture.

On peut comparer ce résultat à celui des pins noirs provenant d'Ancy (Moselle) Lot n° 87 qui donnaient, en flexion, 10,8 à 14,2 kg par cm², suivant siccité, et avaient une cassure assez rapide.

BAREGES (Hautes-Pyrénées) - Lots n° 22 et 22 bis

Mêmes provenances, respectivement, que les lots de pins à crochets 23 et 23 bis. Résultats obtenus :

Flexion statique sur 1 m :

Charge maxima moyenne	4,18 t
Circonférence correspondante	42 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	29,9 kg

Flambement sur 1,60 m :

Charge maxima moyenne	27,7 t
Circonférence correspondante	44 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	180 kg

Flambement sur 2 m :

Charge maxima moyenne	8,38 t
Circonférence correspondante	29,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	135 kg

Une légère différence peut être enregistrée entre les pièces venant de l'exposition sud et celles qui viennent de l'exposition nord. Les premières ont une résistance (en flambement sur 160, par exemple) 10 à 12 % plus forte que les autres.

On rapprochera les chiffres ci-dessus de ceux donnés par les pins à crochets des mêmes provenances.

	Flexion sur 1 m (kg par cm ²)	Flambement sur 1,60 m (kg par cm ²)	Flambement sur 2 m (kg par cm ²)
Pin à crochets	25,7	131	103
Mélèze	29,9	180	135

Les pins à crochets ayant, on le sait, une rupture beaucoup plus brutale que les mélèzes.

3^e Série

MELEZES DU JAPON

PEROLS-LAVERGNE 69

SERVON SAINT-THOMAS 18/19

Les caractéristiques de la provenance du lot 69 ont déjà été données. Le lot 18/19 provient de reboisements effectués sur gaize cenomanienne dans la zone rouge de l'Argonne. Ses résultats seront comparés avec ceux des mélèzes d'Europe de Hery.

1^o LOT 69 PEROLS-LAVERGNE (Corrèze).

Flexion statique sur 2 m :

	Nancy	Sarrebrück
Charge maxima moyenne	3,87 t	5,15 t
Circonférence correspondante	51,7 cm	54,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	20,6 kg	21,9 kg
Largeur moyenne des cernes	2,9 mm	
Densité	0,563	

On se souvient que le mélèze d'Europe avait produit 19,3 kg avec des cernes un peu plus petits, 2,7 mm.

Flambement sur 2,50 m :

Charge maxima moyenne	36,9 t
Circonférence correspondante	53 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	166 kg

On se souvient que le mélèze d'Europe de même provenance n'avait produit que 142 kg par cm².

Dans cette région de France (Plateau de Millevaches), il semble que le mélèze du Japon soit légèrement supérieur au mélèze d'Europe. A cause de son origine (Ile de Hondo), il semble nor-

mal que le mélèze du Japon s'accommode mieux de stations soumises aux influences climatiques océaniques que le mélèze d'Europe qui est un continental. En outre, ses accroissements, qui se resserrent à la périphérie des tiges, constituent comme une sorte de frettage qui augmente la résistance.

2° LOT 18/19 SERVON-SAINT-THOMAS (Marne).

Flexion sur 1 m:

Charge maxima moyenne	1,09 t
Circonférence correspondante	25 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	21,9 kg

contre 17,6 au mélèze d'Europe de Herry.

Flambement sur 1,60 m:

Charge maxima moyenne	11,2 t
Circonférence correspondante	33,8 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	123 kg

Le mélèze du Japon donne, là encore, de bons résultats en flexion. En flambement, il est un peu faible, à cause de sa grande rapidité de croissance sur la gaize cénomaniennne.

4° Série

ESSAIS FAITS A SAINT-ETIENNE SUR MELEZE D'EUROPE DE SEYNE

Comme il a été dit précédemment à propos du lot de pins noirs de Chadenet (Lozère), le mélèze provenant de Seyne-les-Alpes (Basses-Alpes) est nettement supérieur aux autres essences de reboisement de la même provenance (pin sylvestre, pin noir et pin à crochets).

9° CÈDRE DE L'ATLAS

a) Généralités

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) occupe une aire morcelée dans les chaînes des Atlas algérien et marocain.

On l'a introduit avec succès dans certaines stations xérophiles, en France, en particulier dans les moyennes et basses vallées de la

Saône et du Rhône. Il se régénère bien naturellement et est capable de rendre de grands services en reboisement.

Certains utilisateurs ont, sur le cèdre (comme sur un grand nombre d'essences introduites, d'ailleurs) des opinions contradictoires, souvent préconçues et généralement bien arrêtées. Cette essence mériterait donc une étude technique complète, aussi bien comme bois de soutènement et poteau de ligne que comme bois d'œuvre.

Deux provenances françaises ont été essayées : l'une de Rialsese (Aude) n° 141, l'autre du Mont Ventoux (Vaucluse).

Beaucoup d'autres stations existent en France, où des lots pourraient être constitués et comparés avec des provenances d'Afrique du Nord.

Le cèdre est facile à identifier par son écorce gris foncé, écaïlleuse, son bois jaune brun ayant une forte odeur épicée, l'aubier étant jaune-brun clair et le cœur brun-châtain. Il n'y a pas de canaux résinifères.

b) Résultats obtenus

Le tableau 30 donne les renseignements relatifs aux deux provenances essayées et les résultats obtenus.

Les résultats mécaniques sont donc bons.

Le cèdre présente en outre diverses particularités :

C'est une des essences qui émet le plus de craquements avant rupture, aussi bien en flexion qu'en flambement.

Sa conservation est excellente.

Par contre, la rupture du cèdre est toujours rapide, parfois brutale, surtout s'il présente des couronnes de gros nœuds non recouverts. (Voir fig. 68).

L'élagage artificiel permettrait d'en faire de beaux bois de soutènement (compte tenu de l'inconvénient signalé ci-dessus) et, en tous cas, très certainement, d'excellents poteaux de ligne.

10° LE DOUGLAS

a) Généralités

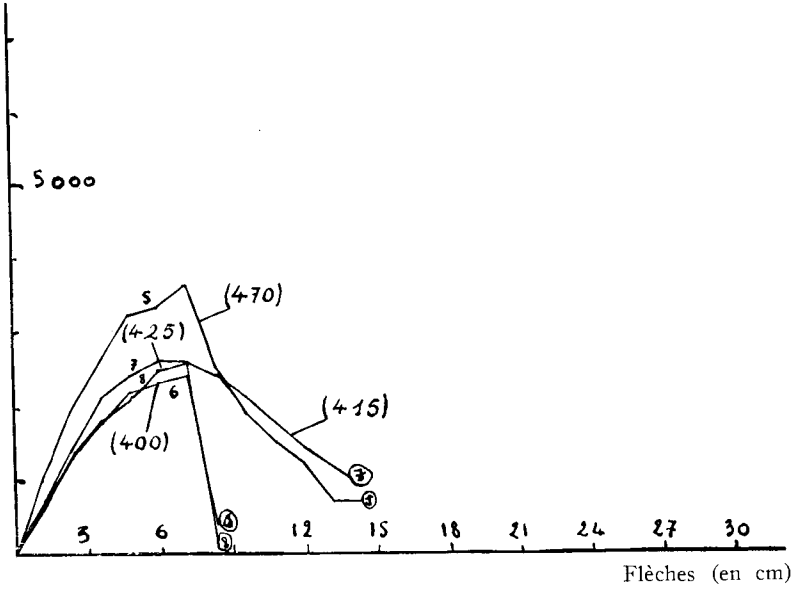
Le Douglas (*Pseudotsuga Douglasii* Carr.) occupe, en Amérique du Nord, une aire immense qui s'étend de la Côte de l'Océan Pacifique aux Montagnes Rocheuses, à 2 000 m d'altitude, et de l'Alaska à la Californie.

Dans cette aire extrêmement vaste, les conditions écologiques sont profondément variées et des races de Douglas adaptées aux divers types de stations peuvent être distinguées.

Il a été abondamment introduit en France, également dans des

Charges
en kg)

141 FS



Charges
en kg)

141 FS

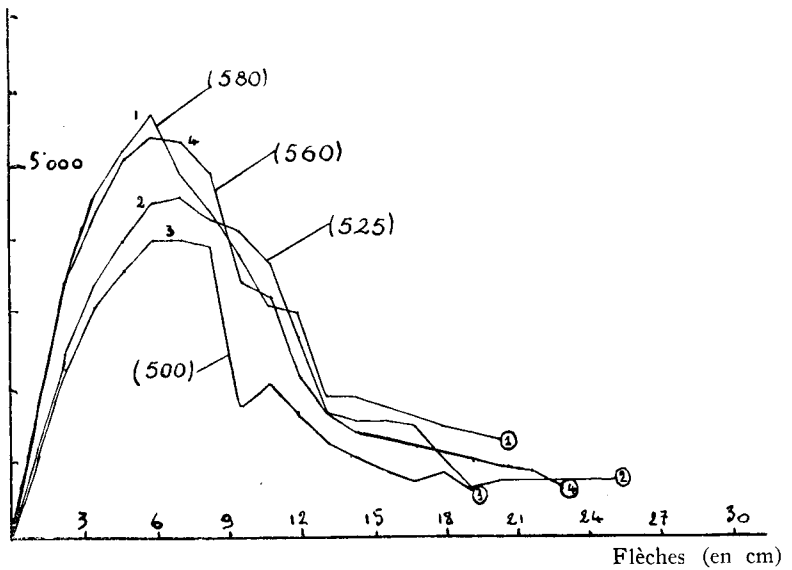


FIG. 68.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Avril 1953.

Cèdre de l'Atlas - (Rialsese).

TABLEAU 30

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cernes (mm)	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M. corr. (kg)	C.M.M./cm ² corr. (kg)	C.M.M./cm ² corr. (kg)	
RIALSESE (Aude) 141	700 m	Versant Nord pente forte	Grès rose	Peuplement régulier et dense de 50 à 60 ans	2,2	0,580							
VENTOUX (Vaucluse) 150	850 m	Sud pente 15 à 20 %.	Calcaires urgoniens	Peuplement à peu près pur de cèdre, avec quelques châênes - Aphyllantes monspessulanum, cistus, etc... Semis naturels âgés de 40 ans	1,4	0,511							
L O T S								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M. corr. (kg)	C.M.M./cm ² corr. (kg)	C.M.M./cm ² corr. (kg)	
RIALSESE 141	47	53	210	4,08	47,1			4,08	47,1		23,0		
VENTOUX 150	28	44,8	176	2,80	45,1			2,80	45,1		17,7		

milieux très différents : de la Bretagne à l'Alsace, du Nord de la France au Massif Central. Il s'adapte assez facilement à des conditions variées de climat et de sol, mais c'est sur les sols profonds, frais et meubles, dans les régions où les étés ne sont ni trop chauds ni trop secs, qu'il donne une production maximum. Cette production est considérable. Elle dépasse parfois 15 m³ par hectare et par an.

A cause de cela, il a été largement planté en France. De très beaux peuplements existent, parmi lesquels il est possible de sélectionner des types à croissance rapide et des types à branches fines.

Le Douglas présente les mêmes difficultés que le mélèze et le pin sylvestre pour être transformé en pâte de cellulose par la méthode au bisulfite de calcium. Son utilisation, comme bois de soutènement ou comme poteau de ligne, présenterait un gros intérêt pour le reboisement. La sélection de types à branches fines et la pratique de l'élagage artificiel permettraient de résoudre le problème de son utilisation comme grume d'œuvre.

b) **Caractères d'identification des bois de mine de Douglas**

Le Douglas peut se reconnaître à ce stade :

— soit à son *écorce* brun cuir ou brun jaune, d'une couleur terne en surface et vive en dessous, lisse, avec ampoules de résine visqueuse à odeur de citronnelle, ou lâchement crevassée et dans ce cas épaisse et liégeuse,

— soit aux *traînes de liber*, café au lait à la surface des pièces écorcées forestièrement,

— soit au *bois de cœur*, rouge-rose entouré d'un aubier jaune, en général peu important, peu résineux, à légère odeur de cèdre (résine plus citron).

c) **Provenances étudiées**

Dix provenances de Douglas ont été expérimentées (environ 600 pièces) :

Est de la France (Alsace et Vosges),

Bretagne,

Gâtinais - Val de Loire,

Beaujolais,

Massif Central (Plateau de Millevaches).

Ceci ne constitue, ni un tour d'horizon complet pour les provenances françaises, ni surtout une étude comparative complète des « types » existant en France. Nos recherches futures porteront sur les comparaisons entre types à branches fines et types normaux et

entre sujets ayant subi un élagage artificiel précoce et sujets non élagués.

L'influence de la largeur des cernes sur la densité et les résistances mécaniques fera aussi l'objet d'études systématiques.

d) Résultats obtenus

1^{re} Série

LOT PROVENANT DE PEROLS-LAVERGNE (Corrèze)
ESSAYÉ EN FLEXION SUR 2 m A NANCY ET A SARREBRUCK
ET EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m à SARREBRUCK

Ce lot (N° 67) est à comparer aux lots de mélèze d'Europe (68) et de mélèze du Japon (69) de la même provenance.

La description de la station a été faite dans le paragraphe consacré au lot n° 68.

Les résultats suivants ont été obtenus avec le lot de Douglas n° 67 :

Flexion statique (Nancy) sur 2 m :

Charge maxima moyenne	4,4 t
Circonférence correspondante	53,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	19,4 kg contre 19,3 et 20,6 pour les mélèzes (d'Europe et du Japon).
Largeur des cernes	3,1 mm
Densité	0,502

Flexion statique (Sarrebück) sur 2 m :

Charge maxima moyenne	4,2 t
Circonférence correspondante	53,6 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	18,2 kg

(bois plus frais que ceux du lot essayé à Nancy)

Flambement (Sarrebück) sur 2,50 m :

Charge maxima moyenne	38,6 t
Circonférence correspondante	54,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	164 kg contre 142 et 166 pour les mélèzes (d'Europe et du Japon).
Largeur des cernes	3,9 mm

La rapidité de la rupture est semblable à celle du pin sylvestre, c'est-à-dire beaucoup plus rapide que celle des feuillus. En flambement, elle est toujours moins rapide qu'en flexion.

Les signes avertisseurs sont moyens : craquements nombreux et forts avant rupture en flambement — rupture en flexion sous une flèche comprise entre 5 et 8 cm avec des bois très secs (16-18 % d'humidité). Rupture sous 9 cm de flèche avec des bois frais (30 % d'humidité). Quand la flèche devient visible (à 6 cm), dans ce dernier cas, la charge enregistrée est égale aux 3/4 de la charge maxima. (Voir fig. 69.)

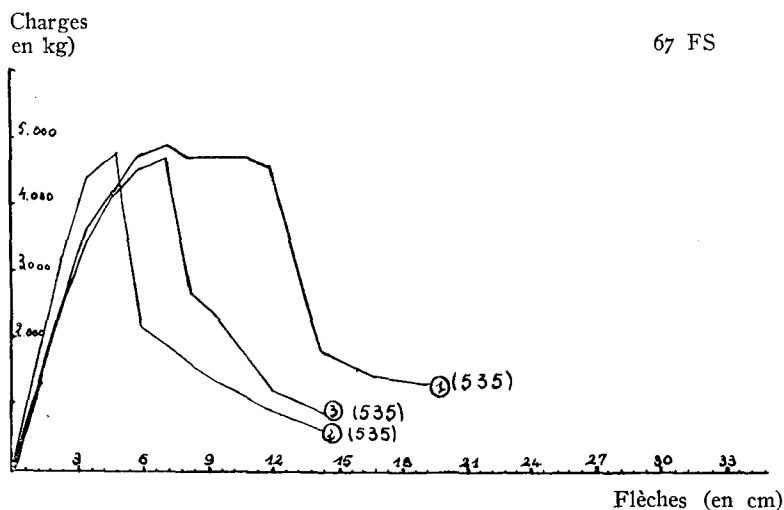


FIG. 69.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée : 200 cm.
Avril 1953.

Douglas - Lavergne-Pérols (Corrèze).

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m
A SARREBRUCK
ET EN FLEXION SUR 2 m A NANCY ET A SARREBRUCK

RIBEAUVILLÉ (Haut-Rhin) - Lot n° 279

KIENTZHEIM (Haut-Rhin) - Lot n° 280

LES BARRES (Loiret) - Lot n° 216

POHRMAN-en-REGUIGNY (Morbihan) - Lot n° 195

GUEBWILLER (Haut-Rhin) - Lot n° 162

Les renseignements relatifs à ces cinq provenances et les résultats obtenus figurent sur le tableau 31.

TABLEAU 31

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S							
								Flambement sur 2,50 m				Flexion sur 2 m			
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)		
RIBEAUVILLE 279	360 m	Sud-Est pente assez rapide	Granit	Bouquets de douglas au bas d'une pente, dans un fond de vallon - 73 ans	2,6	0,519	Belles pièces, droites, avec petits noeuds	69	70,2	69,2	176	8,47	66,2	24,3	22,4
KIENTZHEIM 280	420 m	Ouest fond de val- lon	Granit	Bouquets de douglas dans perchis sapin et épicéa 1ère série - parcelle 10	3,3	0,530	-do-	51,6	60,3	53,2	178	6,89	61,9	22,7	22,4
LES BARRES 216	150 m	Plateau	Argile à silex sableuse	Plantation équienne ra- vagée par tornade 1955 Les Barillons	4,3	0,595	-do-	45,1	54,2	43,2	191	5,30	54,2	22,6	23,0
POHRMAN 195	60 à 90 m	pente 50 % exposée à l'est	Schistes - sol as- sez profond	Plantation d'une ving- taine d'années - bien venante - 2500 plants/ha	3,1	0,610	-do-	37,5	49,4	35,2	196	5,82	52,7	26,2	23,0
GUEWILLER 162	750 m	S.E. pente ra- pide mais val- lée encaissée	grauwacke	Haut perchis 60/70 ans	3,3	0,521	-do-	53,1	58,3	50,0	197	5,65	58,9	20,7	22,4

Tous ces résultats sont excellents, très nettement supérieurs à la moyenne des pins sylvestres. (Voir corrélation fig. 71.)

La comparaison suivante peut être établie :

Le comportement du douglas, au point de vue des charges maxima moyennes, est donc excellent.

A Ribeauvillé, il se classe, en flexion, avant les autres essences et, en flambement, comme l'épicéa, derrière le sapin.

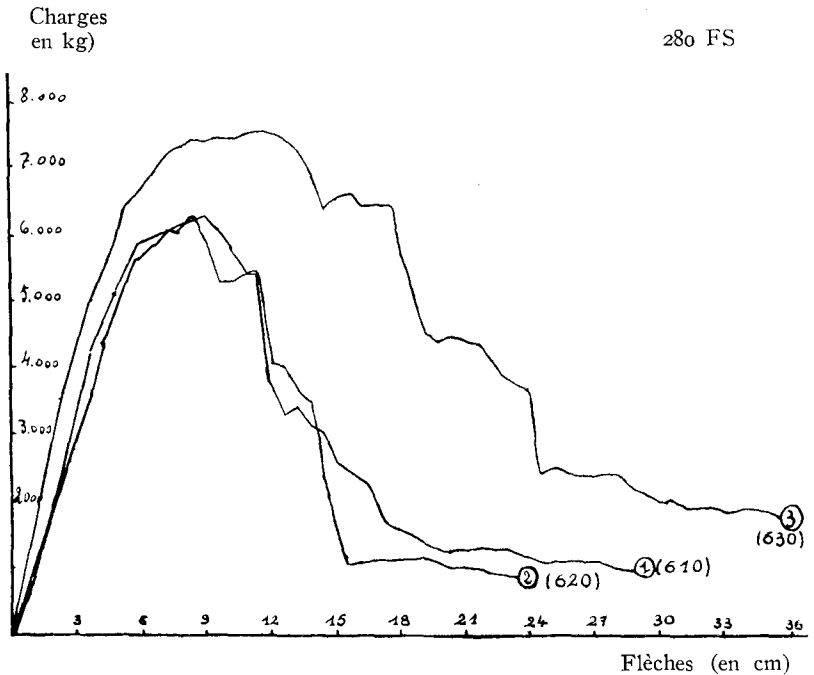


FIG. 70.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée : 200 cm.
23 mai 1955.

Douglas - Kientzheim (Bas-Rhin).

A Guebwiller, il se classe, en flexion et en flambement, peu derrière le sapin mais nettement avant l'épicéa.

Aux Barres, il surclasse le pin Laricio de Calabre.

L'étude des signes avertisseurs est favorable :

— craquements nombreux avant rupture en flambement, d'autant plus nombreux que le bois est sec,

— flèche visible avant rupture en flexion — celle-ci se produit sous 6 à 10 cm, la charge atteinte quand la flèche commence à être visible est d'environ les $\frac{3}{4}$ de la charge maxima.

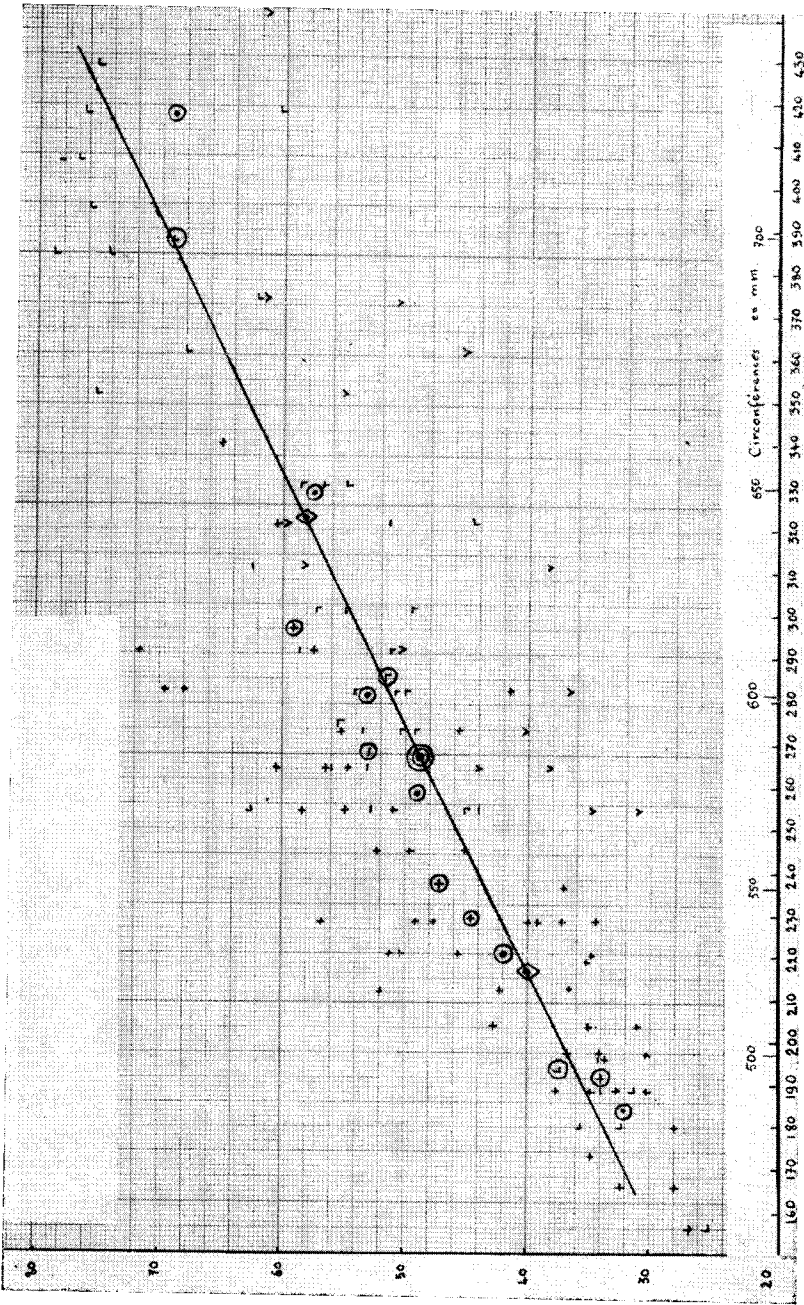


Fig. 71.

Douglas provenances diverses. Essais en flambement sur 2,50 m. Laboratoire de Sarrebrück.
 Polrman-en-Reguigny. V Saint-Just d'Avray. Γ Kientzheim.
 Les Barres. L Ribeaupvillé. — Guebwiller.

La rupture en flambement est lente, le défilage est progressif.

En flexion, la plupart des pièces se défilent progressivement. Toutefois, certaines anomalies de rupture ont été enregistrées. Certaines pièces, sous la charge, subissent un cisaillement dans la partie tendue, le long de la zone de bois de printemps d'un accroissement annuel et ceci occasionne une brusque perte de charge. La rupture se produit « en marches d'escaliers » avec craquements forts. Tout se passe comme si les couches de bois d'été, de valeur mécanique excellente, étaient mal soudées entre elles par un bois de printemps inconsistant.

Mais ceci ne constitue qu'un cas particulier. La plupart des pièces essayées ont fait preuve d'un « nerf » suffisant. Les diagrammes de la figure 70 en font foi.

3^a Série

ESSAIS PARTIELS

HOHWALD (Bas-Rhin) - n° 284

SAINT-JUST-D'AVRAY (Rhône) - n° 245

Nous n'avons pas fait figurer ces essais avec la série précédente, les essais de flambement du lot 284 ayant été ratés par suite d'une défaillance de la machine et le lot de Saint-Just, trop peu abondant, n'ayant pu faire l'objet d'essais en flexion.

Ces deux lots devront faire l'objet de nouvelles séries d'essais.

1° *Le Hohwald* comporte de magnifiques peuplements de douglas. Le lot essayé venait de la forêt syndicale de Barr et Six - Parcelle 21 - Altitude 680-690 m - Pente douce exposée au sud - Sol meuble, profond et frais, sur granit. Jeune futaie au contact de la station de Thuya géant qui sera présentée plus loin - Age 70 ans.

En flexion statique sur 2 m au laboratoire de Nancy, les résultats suivants ont été enregistrés :

Charge maxima moyenne	8,93 t
Circonférence correspondante	67,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	24,9 kg

Ce lot confirme les résultats des lots de Ribeauvillé et Kientzheim.

2° La forêt communale de *Saint-Just-d'Avray* renferme des peuplements de douglas absolument splendides. Elle est située dans les monts du Beaujolais, à 700 m d'altitude, sur sol granitique comme la station précédente.

La placette exposée à l'Est - Nord-Est, sur une pente de 25 %

environ, est un peuplement pur de douglas, de 35 ans, bien venant, mais très nouveaux.

Les résultats suivants ont été enregistrés :

Largeur des cernes	3,9 mm
Densité	0,542
Charge maxima moyenne	46,7 t
Circonférence correspondante	63,2 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	147 kg

Les bois étaient moins beaux, plus nouveaux et plus flexueux que les lots précédents. Ce résultat doit donc être considéré comme provisoire et à réétudier.

4^e Série

ESSAIS EN FLEXION SUR 1 m ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m

AU LABORATOIRE DE NANCY

DONON (Bas-Rhin) - Lots n° 20/21

LES BARRES (Loiret) - Lot n° 83

Le tableau 32 donne les renseignements relatifs aux provenances et les résultats obtenus.

Les résultats sont très bons, comme pour les séries précédentes.

Le grand nombre d'échantillons de chacun des lots nous a permis de faire des études sur l'influence du stockage et du degré d'humidité. Ces questions seront présentées dans la 3^e partie.

En résumé, le douglas donne d'excellents résultats mécaniques. Ses signes avertisseurs et son « nerf » sont corrects. Sa conservation est bonne. Son utilisation comme bois de mine semble indiquée.

11^o RÉSINEUX DIVERS

Trois séries d'essais, malheureusement insuffisants, ont porté sur les essences suivantes :

Sapin de Nordmann - Lot n° 74/75/76 - Amance (M.-et-M.)

Epicéa de Sitka - Lot n° 192 - Floranges (Morbihan).

Thuja géant - Lot n° 285 - Hohwald (Bas-Rhin).

Le sapin de Nordmann (Abies nordmanniana Spach.) fait partie du groupe des sapins circumméditerranéens. Son aire s'étend sur les montagnes du sud-est de la Mer Noire et du Caucase, entre

TABLEAU 32

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cernes	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	
								R E S U L T A T S
L O T S	Flambement sur 1,60 m				Flexion sur 1 m			
	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)
DONON 20/21	800 m	Sous le col du Donon - Nord-Ouest Pente 25 %	Grès vosgien avec blocs de rochers	Plantation dense avec sapins et épicéas en mélange			Belles pièces mais avec assez gros noeuds	
LES BARRES 83	150 m	Plateau	Argile à silex sableuse	Peuplement équienne et dense			Belles pièces avec petits noeuds	
DONON _h 20/21	22,0	27,8		1,49	28,7		22,7	
LES BARRES 83	15,5	32,6	171	1,20	24,2		25,7	

1 000 et 2 000 mètres. On l'utilise de façon croissante en France pour les enrésinements de taillis à basse altitude ou en climats secs. Il réussit aussi bien sur sols calcaires que sur sols siliceux. Les lots 74/75 et 76 proviennent de placettes d'expériences en forêt d'Amance (Meurthe-et-Moselle) sur sol argileux.

L'épicéa de Sitka (*Picea sitchensis* Carr.) occupe une aire limitée le long de la région côtière de l'ouest de l'Amérique du Nord, de l'Alaska à la Californie. Il peut rendre de grands services en reboisement, en France, le long des côtes atlantiques. Le lot 192 provient de la forêt domaniale de Floranges. Série de futaie - Parcelle 53 - Altitude 130 m, terrain plat - Sol meuble sur granit - Peuplement créé en 1924 - Placette d'expérience de la 1^{re} Section de la Station de Recherches Forestières de Nancy.

Le Thuya géant (*Thuya gigantea* Nutt. = *Thuya plicata* D. Don) occupe une aire assez étendue, en Colombie britannique et dans le nord-ouest des Etats-Unis. On le plante en France en terrains argileux même compacts où sa croissance est rapide. Le lot n° 285 provient de la forêt domaniale de Barr et Six, région du Hohwald - Parcelle 21 - Altitude 680 m - Pente légère, versant sud - Sol meuble sur granit - Jeune futaie de 72 ans.

Ces trois lots ont donné les résultats suivants :

LOTS	FLAMBEMENT sur 2,50 m				
	Largeur des cernes (mm)	Densité	C.M.M. (t)	Circonf. corresp. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)
Epicéa de Sitka Floranges 192	4,2	0,542	22,8	48,1	124
Thuya géant Hohwald 285	2,1	0,484	48,9	66,1	141
LOTS	FLAMBEMENT sur 1,60 m				
	Largeur des cernes (mm)	Densité	C.M.M. (t)	Circonf. corresp. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)
Sapin de Nordman Amance 74/75/76	8,4	0,505	8,4	30,2	116

LOTS	FLEXION sur 2 m		
	C.M.M. (t)	Circonf. corresp. (cm)	C.M.M./ cm ² (kg)
Epicéa de Sitka Floranges 192	3,09	51,1	14,9
Thuya géant Hohwald 285	4,58	55,2	18,9
FLEXION sur 1 m			
Sapin de Nordmann Amance 74/75/76	0,850	24,1	18,3

On notera la très bonne résistance du thuya géant en flexion et la résistance satisfaisante du Nordmann.

Les trois essences sont assez faibles en flambement. Toutefois, le thuya géant présente eu égard à sa résistance (141 kg) une très faible densité qui lui donne une excellente cote statique.

Le Sapin de Nordmann et l'épicéa de Sitka se rompent en flexion et en flambement de la même manière que le sapin pectiné et l'épicéa commun.

Le thuya géant est un bois souple. En flexion, sa rupture se produit sous 7 à 9 cm de flèche et elle n'est pas brutale. En flambement, les pièces craquent fortement et fréquemment avant d'atteindre la charge maxima et la rupture est assez lente, fibreuse.

Ces qualités et la légèreté de ce bois méritent d'être prises en considération.

B. - Essences feuillues

Les essences feuillues suivantes ont été expérimentées :

- Chêne rouvre (*Quercus sessiliflora* Salisb.)
- et Chêne pédonculé (*Quercus pedunculata* Ehrh.)
- Chêne rouge d'Amérique (*Quercus borealis* Michx.)
- Châtaignier (*Castanea vesca* Gaertn.)
- Charme (*Carpinus betulus* L.)
- Hêtre (*Fagus sylvatica* L.)
- Tremble (*Populus tremula* L.)
- Bouleau verruqueux (*Betula verrucosa* Ehrh.)
- Aune glutineux (*Alnus glutinosa* Gaertn.)
- Aune blanc (*Alnus incana* Moench.)
- Aune à feuilles en cœur (*Alnus cordata* Desf.)
- Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia* L.)
- Frêne (*Fraxinus excelsior* L.)
- Erables :
 - sycomore (*Acer pseudoplatanus* L.)
 - plane (*Acer platanoides* L.)
 - champêtre (*Acer campestre* L.)
- Merisier (*Prunus avium* L.)
- Alisiers :
 - terminal (*Sorbus torminalis* Crantz.)
 - blanc (*Sorbus aria* Crantz.)
- Tilleul à petites feuilles (*Tilia cordata* Mill.)
- Ailante (*Ailanthus glandulosa* Desf.)
- Cornouiller mâle (*Cornus mas* L.)
- Noisetier (*Coryllus avellana* L.)
- etc...

1° CHÊNE ROUVRE ET CHÊNE PÉDONCULÉ

a) Généralités

Nous n'avons pas distingué systématiquement, dans nos essais, le chêne rouvre et le chêne pédonculé. Il n'est d'ailleurs pratiquement pas possible de les reconnaître l'un de l'autre quand ils se présentent sous forme de bois de mine.

Cependant, nous avons pu faire des études comparatives, des lots ayant été identifiés quand les arbres étaient encore sur pied. Nous avons pu constater alors que la provenance et le traitement avaient beaucoup plus d'influence sur les propriétés mécaniques du bois que la nature de l'essence.

Ces deux chênes occupent en France une aire extrêmement vaste, couvrant presque tout le pays, sauf la région méditerranéenne et les hautes montagnes. Le chêne pédonculé s'étend plus loin vers le sud-ouest que le rouvre.

Ces deux essences se rencontrent dans des stations très variées quant au climat et au sol et elles sont traitées de façons extrêmement diverses : taillis simple, taillis-sous-futaie, futaie.

Aussi les produits qu'elles donnent sont-ils très variés eux aussi : depuis le bois de feu et l'écorce à tan jusqu'aux billes à placages, en passant par toute une foule d'utilisations : piquets de parc, bois de mine, bois de charonnage, merrains, traverses, sciages pour wagonnage, charpente, carrosserie, menuiserie, ébénisterie, etc...

C'est donc une de nos essences forestières les plus importantes. La qualité de son bois étant conditionnée par la pratique d'éclaircies régulières et bien dosées, il importe que celles-ci soient effectuées en temps voulu. Pour cela, il faut qu'elles donnent des produits vendables. L'un des produits que les éclaircies peuvent donner en abondance est justement le bois de mine ; c'est pourquoi nous avons consacré à ces essences de nombreux essais.

b) **Identification des bois de mine de chêne**

Le chêne est facile à identifier, les bois de mine feuillus étant, en général, seulement rainés.

L'écorce est crevassée, épaisse, de couleur brun verdâtre ou gris brun quand les bois sont gros ; les très petits bois ont une écorce lisse, gris argenté (écorce miroir). Quand on gratte l'écorce, on aperçoit, sous le liège, le liber, rouge-brun ou brun pourpre, suivant siccité.

Le bois de cœur, brun clair, est distinct de l'aubier, blanc jaunâtre. Les accroissements annuels sont bien visibles, grâce aux zones poreuses de bois de printemps. A l'œil, on aperçoit de nombreux et gros rayons ligneux.

A la loupe, on distingue, sur une section transversale rafraîchie au couteau, dans l'épaisseur des zones de bois d'été, des files radiales et flexueuses de petits vaisseaux.

c) **Provenances étudiées**

Vingt-trois provenances ont été expérimentées (près de 1 500 pièces).

Leurs origines sont très diverses :

- Bretagne (Lanvaux 193).
- Normandie (Perche 242, Ecouves 239, Bellême 240 et 241).
- Basse Vallée de la Loire (Chandelaïs 186, Monnaie-Pontmé-nard 187, Bercé 151).
- Poitou (Vouillé 213, Châtelleraut 211, Moulière 212).
- Nivernais (Bertranges 110).
- Vallée de la Saône (Poullans 146, Seillon 221).
- Lorraine et Champagne (Contrôlerie 256, Goviller 262, Rosières-aux-Salines 276, Amance 22-23 et 80-81, Haye 104).
- Alsace (Colmar 52-53, Hardt 46-47 et 223).

Ce panorama n'est cependant pas complet. Il faudrait aussi procéder à l'expérimentation de lots venant du Nord de la France, des Ardennes, du Bourbonnais et du Sud-Ouest de la France (en particulier pédonculé de l'Adour).

Les essais ont été effectués comme suit :

1^{re} Série. — Pièces essayées en flambement sur 2,50 m, à *Sarrebrück*, et en flexion, sur 2 m à *Sarrebrück* et à *Nancy*.

2^e Série. — Pièces essayées en flambement sur 2,50 m et en flexion sur 2 m à *Blanzey*.

3^e Série. — Pièces essayées en flambement sur 1,60 m et en flexion sur 1 m à *Nancy*.

d) Résultats généraux

1^{re} Série. — Les résultats généraux suivants ont été enregistrés :

Flexion sur 2 m (Nancy)

Charge maxima moyenne	5,42 t
Circonférence correspondante	55,1 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	22,4 kg

Flexion sur 2 m (Sarrebück)

Charge maxima moyenne	5,64 t
Circonférence correspondante	56,2 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	22,4 kg

Flambement sur 2,50 m (Sarrebück)

Charge maxima moyenne	40,8 t
Circonférence correspondante	55,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	169 kg

La largeur moyenne des cernes était de 1,5 mm et la densité

moyenne (à 15 % d'humidité) de 0,791 (0,607 à 0,867). Le degré d'humidité, au moment des essais, était compris entre 22 et 25 %.

Il s'agissait donc, en gros, pour cette 1^{re} Série, de lots à accroissements fins (0,9 à 2,4), pour la plupart issus d'éclaircies de futaie, les brins de taillis n'atteignant pas ces dimensions qui sont celles des bois de voie de 2,50 m de longueur.

On remarque que le *chêne* a une densité de 40 à 45 % supérieure à celle du *pin sylvestre*.

Sa résistance moyenne en flexion, par cm², est 20 à 25 % plus élevée, mais sa résistance au flambement est légèrement plus faible (6 %).



FIG. 72.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
30 mars 1956.

Chêne rouvre - Seillon-Bourg (Ain)

Le *chêne* témoigne d'une remarquable souplesse. En flexion, la rupture ne se produit que sous 7 à 12 cm de flèche (pour une portée de 2 mètres) et le *défibrage dure très longtemps*, comme le montrent les diagrammes de la figure 72.

Les *chênes* émettent, en flexion et en flambement, bien avant la rupture, des *craquements audibles*, moins forts que ceux des *pins sylvestres* mais qui constituent cependant des signes avertisseurs incontestables.

Enfin, le *chêne* conserve longtemps ses propriétés mécaniques. Des fractions de lots étaient mécaniquement intactes après 3 ans de stockage.

Les seuls reproches qu'on puisse lui adresser sont :

son séchage relativement lent (surtout les provenances de l'est, stockées dans le nord et dans l'est), sa forte densité, qui rend plus difficile la manipulation et la pose des étais.

Les résultats des 2^e et 3^e Séries d'essais sont donnés dans le paragraphe suivant.

e) Résultats détaillés

1^{re} Série

ESSAIS EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m ET EN FLEXION SUR 2 m
A SARREBRUCK ET A NANCY

17 provenances ont été essayées, que nous présentons dans l'ordre des résistances au flambement croissantes.

VOUILLE-SAINT-HILAIRE (Vienne) - Lot n° 213

CHANDELAIS (Maine-et-Loire) - Lot n° 186

MONNAIE-PONTMENARD (Maine-et-Loire) - Lot n° 187

Les renseignements relatifs à ces provenances et les résultats obtenus figurent sur le tableau 33.

Ces trois provenances sont inférieures à la moyenne en flambement. Elles le doivent à leur faible densité et, dans une certaine mesure à leur flexuosité. Deux d'entre elles sont également inférieures à la moyenne en flexion.

Les signes avertisseurs sont plus faibles que la moyenne: craquements plus faibles avant rupture, flèche plus petite en flexion au moment où la charge maxima est atteinte, rupture plus rapide, en flexion comme en flambement.

Notons que ces trois provenances se situent sur la bordure occidentale de l'aire du chêne rouvre. Or, les chênes de Vouillé et Chandelais sont des rouvres. Ceux de Monnaie (plus denses) sont des pédonculés. La faiblesse en flexion du lot de chêne pédonculé de Monnaie est à rapprocher de la finesse de ses cernes (1,2 mm).

PERCHE-RANDONNAI (Orne) - Lot n° 242

HARDT (Haut-Rhin) - Lot n° 223

LANVAUX (Morbihan) - Lot n° 193

Les renseignements relatifs à ces trois provenances et les résultats obtenus sont portés sur le tableau 34.

Ces trois lots de chêne rouvre donnent des résultats inférieurs à la moyenne *en flambement*, bien que la forêt du Perche et celle

de Lanvaux soient dans des conditions climatiques qui conviennent au chêne. Ceci est probablement dû à la flexuosité et à la conicité des pièces. On ne peut cependant l'affirmer, car il n'y avait pas assez de pièces droites pour faire la comparaison.

Les pièces de la forêt de la Hardt présentaient une forte conicité, également préjudiciable en flambement.

Les résultats sont meilleurs, dans l'ensemble, en flexion et correspondent mieux à la forte densité de ces bois.

ECOUVES (Orne) - Lot n° 239

CHATELLERAULT (Vienne) - Lot n° 211

LA CONTROLERIE (Meuse) - Lot n° 256

MOULIERE (Vienne) - Lot n° 212

Ces trois lots sont très voisins de la moyenne ou légèrement supérieurs.

Les renseignements relatifs aux stations et les résultats obtenus sont portés sur le tableau 35.

Les résultats en flambement sont bons, bien que les pièces ne soient pas rigoureusement droites.

En flexion, le lot 239, qui a des accroissements fins et une densité faible (il s'agit de chêne rouvre) est inférieur à la moyenne ainsi que le lot 212, également à faible densité.

Par contre, le lot 211 (qui est du chêne pédonculé) et dont la densité est cependant un peu plus faible que la moyenne des pédonculés, se comporte bien en flexion. Le lot 256 (chêne pédonculé lui aussi), cependant très dense, ne donne que des résultats moyens. Il y aurait là un point à étudier.

Le problème de la relation entre provenances, caractéristiques physiques et qualités mécaniques, n'est pas facile à résoudre avec le chêne, car beaucoup d'inconnues existent. En s'éloignant des régions côtières du sud-ouest la qualité semble s'améliorer, à condition que les stations ne soient pas trop arides.

BELLEME (Orne) - Lot n° 240

BELLEME (Orne) - Lot n° 241

ROSIERES-AUX-SALINES (M.-et-M.) - Lot n° 276

POURLANS (Saône-et-Loire) - Lot n° 146

Ces quatre lots sont nettement supérieurs à la moyenne. Les renseignements relatifs aux stations et les résultats obtenus sont portés sur le tableau 36.

Le lot Rosières 276 est voisin de la moyenne en flambement et sensiblement supérieur en flexion. La grande flexuosité des pièces est responsable de la résistance faible en flambement.

TABLEAU 35

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne en fbt	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S								
								Flambement sur 2,50 m		Flexion sur 2 m						
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)				
CHATELLERAULT 211	80 m	Sol plat	Sol siliceux	Forêt domaniale de Châ- tellerault - 1ère série Parcelle A1 - Futaie as- sez claire 80/90 ans bien venante	1,2	0,751	Belles pièces quoique flexueuses	37,2	54,2	39	159	6,10	55,5	5,4	24,9	22,4
ECOUVES 239	220/250 m	Sud	Schistes ordovi- ciens	Forêt d'Ecouvès - 2e sé- rie - Parcelles G6 et H6 Taillis vieilli de 60 ans	1,4	0,607	- de -	36,0	53,2	38	160	4,92	56,2	5,8	19,6	22,4
LA CONTROLE- RIE 256	250 m	Sud-Ouest	Caize	Forêt de la Contrôlerie Parcelle 41	2,2	0,867	- de -	47,0	60,1	49	163	5,74	56,3	5,6	22,8	22,4
MOULIERE 212	120 m	Platsau	Argilo-siliceux, avec cailloux, rou- lés, profond et fertile	Forêt domaniale de Mou- lière - Série Sud - Par- celle 65 - Jeune futaie bien venante	1,2	0,723	- de -	42,0	55,9	42	169 contre 169 moy. générale	4,38	53,9	5,0	18,9	22,4

Les deux lots de Bellême 240 et 241 sont supérieurs à la moyenne en flambement, mais inférieurs en flexion. Leurs accroissements sont fins et leur bois tendre, ce qui explique cette légère faiblesse en flexion.

Le lot de Pourlans, à *bois dense et dur*, est nettement supérieur à la moyenne, en flexion comme en flambement.

Remarquons la grande différence de densité existant entre ces bois (0,803 à 0,843) et les premiers lots (0,714 à 0,802).

Il est incontestable que des stations comme Bellême ou Pourlans conviennent particulièrement bien au chêne.

BERCÉ (Sarthe) - Lot n° 151

SEILLON (Ain) - Lot n° 221

Ces deux lots se classent en tête de la série pour la résistance au flambement. Le tableau 37 donne les indications relatives aux stations et les résultats obtenus.

Le chêne de la forêt de Bercé est mondialement réputé comme bois de tranchage, mais il est étonnant de voir ce lot, à *accroissements fins et à densité inférieure à la moyenne*, présenter des résistances record, en flambement comme en flexion. Il y a là un point à élucider. La bonne rectitude des bois ne suffit pas à expliquer leur bon comportement. *Des études de microstructure seraient à faire.*

Les bonnes résistances du lot de Seillon, à cernes larges et à densité forte, sont normales et ce lot offre de bonnes qualités mécaniques comme la plupart des lots de l'est de la France, de la Lorraine à la Bourgogne.

GOVILLER (M.-et-M.) - Lot n° 262

Les essais en flambement ayant été ratés par suite d'une déficience de la machine, nous ne pouvons donner, pour cette excellente provenance, que des résultats en flexion.

Les caractéristiques de la station sont les suivantes :

Forêt domaniale de Goviller, parcelle 1.

Altitude 305 m, terrain plat.

Sol argileux, frais sur calcaire ocreux.

Haut perchis, bien venant et dense.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

TABLEAU 37

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne en fbt.	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S								
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m					
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)				
BERCE 151	160 m	Sol plat	Argile à silice, sol très profond	Forêt domaniale de Bercé 2e série - parcelle D4 Haut perchis 65 ans, élance, dense (1 800 à 2 000 tiges à l'hectare) chêne 7/10, hêtre 3/10	0,9	0,776	Belles pièces	55,4	59,8	48	195	8,08	61,0	7,5	27,3	22,4
SEILLON 221	245/275 m	Sol faiblement vallonné	Limon argileux, d'origine glaciaire Sol en assez bon état; lierre, chèvrefeuille, houx, un peu de fougère argle	Forêt domaniale de Seillon. Parcelles C et F. Haut perchis, chêne rouvre et pédonculé en mélange, 50 à 70 ans, avec charme en sous-étage	2,0	0,864	Belles pièces quoique flexueuses	51,0	55,2	40	210 contre 169 moyenne générale.	5,18	53,1	4,8	22,9	22,4

Flexion statique sur 2 m - Laboratoire de Nancy

Largeur des cernes	1,5 mm
Densité	0,813
Charge maxima moyenne	7,3 tonnes
Circonférence correspondante	56,8 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>28,4 kg</i>

Ce lot se classe donc en tête de la série pour la résistance en flexion, avant Bercé, Rosières, Châtellerault, Pourllans, Hardt, Chandelais, Lanvaux et Seillon.

2^e Série

ESSAIS EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m ET EN FLEXION SUR 2 m
AU LABORATOIRE DE BLANZY
BERTRANGES (Nièvre) - Lot n° 110

Les caractéristiques de cette station sont les suivantes:
Forêt domaniale de Bertranges - 4^e Série - Parcelle E4.
Plateau en pente douce à exposition sud-ouest.
Sol argilo-siliceux, sur assise calcaire.
Perchis sur souches: chêne 8/10, charme 1/10, hêtre 1/10.
Les résultats enregistrés ont été les suivants:

Flexion statique sur 2 m

Charge maxima moyenne	5,35 t
Circonférence correspondante	52,5 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>24,4 kg</i>

Flambement sur 2,50 m

Charge maxima moyenne	34,8 t
Circonférence correspondante	53,9 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>150 kg</i>

Ce lot peut être comparé aux lots de pin noir de Crépand, de pin sylvestre d'Ampilly, et de pin Laricio de Corde de Lamotte-Beuvron, essayés au même laboratoire, et qui donnèrent les résultats suivants:

Lots	Flexion kg/cm ²	Flambement kg/cm ²
Crépand (pin noir)	21,7	131
Ampilly (pin sylvestre)	19,1	129
Lamotte-Beuvron (pin Laricio de Corse)	26,1	182

On notera le bon comportement mécanique du chêne, en plus des signes avertisseurs à vue importants qu'il fournit et de son défibrage très lent.

Ces résultats sont à comparer aussi à ceux du charme provenant de la même forêt.

3^e Série

PIECES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m ET EN FLEXION SUR 1 m A NANCY ET SARRREBRUCK

AMANCE (M.-et-M.) - Lots n° 22 et 23

HARDT (Haut-Rhin) - Lots n° 46 et 47

COLMAR (Haut-Rhin) - Lots n° 52 et 53

HAYE (M.-et-M.) - Lot n° 104

Le tableau 38 donne les renseignements relatifs à ces 5 provenances et les résultats obtenus.

Ces résultats sont déjà anciens et proviennent des premières expériences, qui n'étaient pas faites avec toutes les investigations nécessaires.

Nous retiendrons seulement les ordres de grandeur qui s'en dégagent :

— *charge maxima moyenne par cm², en flexion*, sur 1 m de portée, pour de très petites pièces (24 cm de tour) : 20,5 kg (essais sur machine Amsler).

— *charge maxima moyenne par cm², en flexion*, sur 1 m de portée, avec des bois plus gros (40 à 47 cm de tour) : 23 kg (essais sur machine Trayvou).

— *charge maxima moyenne par cm², en flambement*, sur 1,60 m de longueur, avec de très petits bois (27 à 41 cm de tour) à Nancy (machine Trayvou) : 110 kg.

— *charge maxima moyenne par cm², en flambement*, sur 1,60 m de longueur avec des bois plus gros (54 cm de tour), à Sarrebrück : 152 kg.

Ces résultats sont assez voisins de ceux que donnent les pins sylvestres et pins noirs plantés en plaine.

Il semble que les chênes provenant de sols argileux, comme Amance, soient plus souples que ceux des sols calcaires, comme ceux de la forêt de Haye. Il n'y a pas d'écart significatif entre Colmar et Hardt.

Ces essais seront repris avec des pièces plus nombreuses et en mesurant la largeur des cernes, la densité, l'humidité, etc... L'échantillonnage est en cours de constitution.

TABLEAU 38

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne	Densité à 15 %	Observations sur les pièces.	
								R E S U L T A T S
Flambement sur 2,50 m								
L O T S	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)		C.N.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	Flexion sur 2 m	
			C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)			C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)
AMANCE 22/23	7,20	30,6			0,880	24,0	15,1 à 31,8 (suiv. siccité et grosseur) moy. 18,8	20,5 AMSLER
			(suiv. siccité) 81 à 105 97 NANCY-TRAYVOU					
HARDT 46/47	34,9	53,7		152 SARREBRUCK	4,060	46,8	23,3	23,2 TRAYVOU
COLMAR 52/53	16,2	41,0		121 NANCY-TRAYVOU	2,070	33,4	23,1	20,5 AMSLER
					2,900	39,9	22,9	23,2 TRAYVOU
HAYE 104	5,50	26,8		96,4 moy. génér. 110 Nancy-Trayvou	1,100	24,3	19,3 à 24,2 (suiv. siccité) 22,9	20,5 AMSLER

En conclusion :

- 1) Le chêne donne des résultats mécaniques satisfaisants :
 en flexion, sur 2 m de portée: 22,4 kg,
 en flambement, sur 2,50 m de long: 169 kg.

Ces résultats sont voisins de ceux que donne le pin, en flambement, et bien supérieurs en flexion.

- 2) Le chêne donne des signes avertisseurs à vue extrêmement nets en flexion (flèche de 7 à 12 cm au moment de la rupture).

En moyenne, quand la flèche commence à être apparente (6 cm) la charge n'est que la moitié ou les deux tiers de la charge maxima.

- 3) Malheureusement, les signes avertisseurs à l'ouïe (craquements), bien que réels, audibles et apparaissant avant la rupture, sont plus discrets que ceux des pins.

- 4) La rupture des chênes, en flexion comme en flambement, est lente, très progressive. C'est un des bois qui possède le plus de « nerf ».

5) La provenance exerce une influence sur ces propriétés. Les sols argileux producteurs d'accroissements relativement larges (2 à 3 mm), les climats qui ne sont pas trop chauds (de la Normandie à la Lorraine et à la Bourgogne) sont favorables à l'obtention de bonnes qualités mécaniques ; celles-ci s'affaiblissent sur les bordures sud-ouest et sud-est de l'aire du chêne ; elles se renforcent, au contraire, sous les climats froids et dans les sols argileux de l'est de la France.

6) La forme des bois de mine de chêne est plus médiocre, en général, que celle des résineux (flèches, courbures en S, conicité). Ceci nuit aux qualités mécaniques, surtout en flambement. Certaines stations, à arbres bien droits, peuvent, de ce fait, malgré des cernes fins et une densité faible, donner d'excellents résultats mécaniques.

Ce qui précède ne suffit pas à expliquer tous les résultats enregistrés. Les bons résultats donnés par des chênes, cependant tendres, de forêts comme Bercé, Bellême, mériteraient une étude corrélatrice de structure du bois.

8) Enfin, le chêne, peu altérable, conserve ses qualités mécaniques longtemps. Sujet, comme tous les bois, à des variations de degré d'humidité en relation avec l'état hygrométrique de l'air, il retrouve, aux saisons sèches, d'une année à l'autre, les qualités dont il avait fait preuve la première fois. Cette question sera reprise dans la III^e partie.

CHÊNE DE JUIN

Nous avons également expérimenté un lot de chêne pédonculé, dit « chêne de Juin », à cause de sa foliaison tardive. Ce lot provenait de la forêt d'Amance, même station que le sapin de Nordmann présenté plus haut.

Les résultats sont les suivants :

Flexion statique sur 1 m (machine Trayvou - Nancy).

Charge maxima moyenne	2,140 t
Circonférence correspondante	36,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	20,2 kg

Flambement sur 1,60 m (machine Trayvou - Nancy)

Charge maxima moyenne	17,1 t
Circonférence correspondante	41,6 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	124 kg

Toutefois les pièces essayées ayant un degré d'humidité supérieur à celui des lots de chêne rouvre et pédonculé, il y a lieu d'appliquer aux chiffres ci-dessus les coefficients de tenue à l'humidité calculés au moyen de certains lots de chêne (voir III^e partie).

Les chiffres pour ce lot de chêne de Juin deviennent alors :

flexion sur 1 m: charge maxima moyenne par cm²: 22,6 kg.

flambement sur 1,60 m: 144 kg.

Ces chiffres sont comparables à ceux donnés par les lots de chêne de Colmar et de la Hardt.

Toutefois le nombre d'essais effectués avec le même chêne de Juin est insuffisant. Il y aurait lieu de faire, avec cette essence, une étude systématique de la texture, de la densité et des qualités mécaniques corrélatives. A priori, le bois semble plus dur et plus dense que celui du chêne pédonculé ayant crû dans la même station.

2^o CHÊNE ROUGE D'AMÉRIQUE

a) Généralités

Le chêne rouge d'Amérique est *Quercus borealis* Michx = *Quercus rubra* Duroi.

On cultive aussi, en France, sous le nom de « chêne d'Amérique » *Quercus palustris* Duroi qui, sous forme de bois de mine, ne peut guère s'en distinguer.

Le chêne rouge d'Amérique occupe une aire étendue dans l'est des Etats-Unis (et le sud-est du Canada). C'est un élément important de la forêt feuillue de ces régions.

On l'a beaucoup planté en France, dans les régions les plus diverses: de l'Alsace aux Pyrénées. Il s'accommode, en effet, de sols très pauvres, même acides ou avec horizon de gley. Il est assez facile à réussir en pépinière. Il se sème et se plante facilement en forêt et pousse très vite. Il fructifie abondamment et se régénère facilement par semis naturels.

C'est un chêne dur dont le bois est violemment critiqué par certains utilisateurs qui essaient en vain de le débiter et de le mettre en œuvre comme si c'était un chêne tendre. Il est apprécié et intelligemment utilisé par d'autres. Nous avons même vu d'excellentes pièces de bois courbées faites avec cette essence.

Les étais de mine de chêne rouge d'Amérique peuvent se distinguer des étais de chêne commun à leur écorce, brun noir en surface (liège), rose violacé en dessous (liber), restant longtemps lisse, à peine crevassée sur les gros bois de mine. Le bois de cœur est brun-rougeâtre, riche en bois d'été et en rayons ligneux bien droits.

Les essais mécaniques effectués avec le chêne rouge d'Amérique ont porté sur 8 provenances: Alsace, Lorraine, Sologne et Pays basque. D'autres stations seraient à ajouter à cette liste.

Les essais furent les suivants:

1^{re} Série. — Pièces essayées en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m, à Sarrebrück et à Nancy: 6 provenances.

2^e Série. — Pièces essayées en flambement sur 1,60 m et en flexion sur 1 m dans les mêmes laboratoires: deux provenances.

Les résultats généraux ont été les suivants:

1^{re} Série

Flambement sur 2,50 m (Sarrebrück)

Charge maxima moyenne	53,6 t
Circonférence correspondante	62,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	172 kg

Flexion sur 2 m (Nancy - Trayvou)

Charge maxima moyenne	8.820 t
Circonférence correspondante	63,4 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	28,6 kg

Ces résultats sont particulièrement bons si l'on note que le degré d'humidité de ces pièces était supérieur de 4 % environ à celui des chênes communs. Il faut observer cependant que la circonférence moyenne est particulièrement élevée. Il semble que la charge maxi-

ma moyenne par cm^2 augmente un peu avec le diamètre des pièces. Cette restriction faite, les résultats d'ensemble des chênes rouges demeurent excellents.

2^e Série

En flexion, sur 1 m de portée, les chênes rouges de la Hardt donnent une résistance moyenne de 33,4 kg par cm^2 (pour une circonférence de 38,5 cm).

En flambement sur 1,60 m, les pièces de la même provenance développent 200 kg par cm^2 (essais de Sarrebrück), pour une circonférence de 49 cm.

Le chêne commun, de la même provenance, donnait pour les mêmes essais, les résultats suivants :

flexion 23,3 kg par cm^2 pour une circonférence de 46,8),

flambement 152 kg par cm^2 (pour une circonférence de 53,7).

Les résultats donnés par le chêne rouge d'Amérique sont donc très nettement supérieurs à ceux que donne le chêne commun, à degré d'humidité égal.

Les mêmes observations que pour le chêne commun sont à faire en ce qui concerne les signes avertisseurs et l'allure de la rupture du chêne rouge en flexion et en flambement. Voir figure 73 (graphiques de rupture en flexion).

b) Résultats détaillés

1^{re} Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m

A SARREBRUCK ET EN FLEXION SUR 2 m A NANCY

PRECHACQ JOSBAIG (Basses-Pyrénées) - Lot n° 267

LA PETITE PIERRE (Bas-Rhin) - Lot n° 286

OREGUE Pays de Mixe (Basses-Pyrénées) - Lot n° 261

AINHOA (Basses-Pyrénées) - Lot n° 246

HARDT (Haut-Rhin) - Lot n° 271

LAMOTTE-BEUVRON (Loir-et-Cher) - Lot n° 274

Les renseignements relatifs à la station et les résultats obtenus sont portés sur les tableaux 39 et 40.

En flambement, cinq lots sur six donnent des résultats excellents. Le sixième lot doit son infériorité à la forme médiocre des pièces et aux gros nœuds.

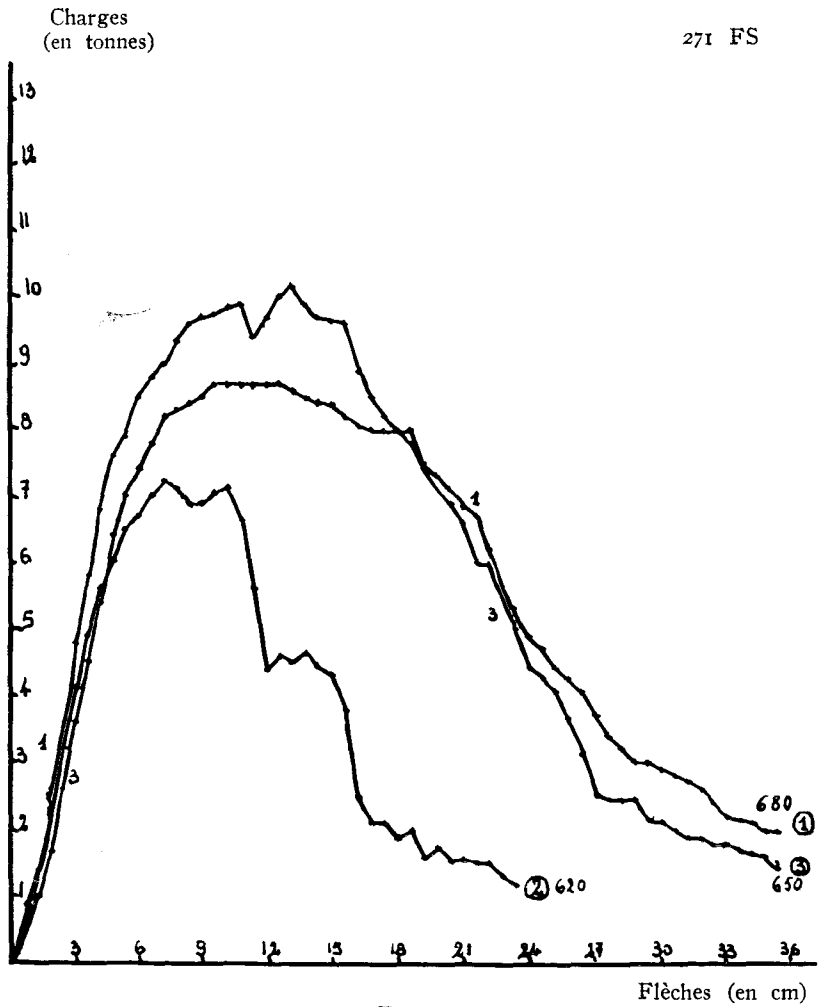


FIG. 73.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Mars 1956.

Chêne rouge - Hardt-Nord (Haut-Rhin).

TABLEAU 39

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne en fbt.	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)	
PRECHACQ 267	200 m	Pente légère vers le Nord-Est	Alluvions anciennes terrasse sup. gave d'Oloron - 100 km de côte basque	Plantation faite à la place d'un peuplement de chênes.	2,9	0,804	Très belles pièces, billes de pied						
LA PETITE PIERRE (Sud) 286	360 m	Pente légère vers le Nord	Grès bigarré - Sol profond et frais	Haut perchis régulier et dense. 5e série - Parcelle 152	3,1	0,763	-d ² -						
OREQUE 261	diverse (peu élevée)	Pente très légère exposée à l'Est	divers, mais en général, argileux et riche	Forêt syndicale du Pays de Mixe. Quart en réserve	4,2	0,871	-d ² -						
L D T S													
PRECHACQ 267	60,4	61,5	200	8,95	62,4						29,1	28,6	
PETITE PIERRE 286	58,3	62,9	186	8,73	63,1						28,9	28,6	
OREQUE 261	54,0	61,0	183 moyenne générale 172.		Pas, d'essais	en	flexion						

TABLEAU 40

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cermes en fbt.	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S							
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m				
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t.)	C.M.M./cm ² (kg)
AINHOA 246	115 m	Pente légère exposée au Sud-Est	argileux	Percis réguliers. Parcelles A et D de la forêt communale d'Ainhoa	4,6	0,602	Billes de pied avec légère flèche								
HARDT 271	230 m	Sol plat	alluvions anciennes du Rhin	Parcelle 235. Hardt Nord. Jardins de chênes plantés çà et là à la place du taillis	2,6	0,753	- d ^e -								
LAMOTTE- BEUVRON 274	125 m	Sol plat	Sables et argiles de Sologne	non décrit	2,0	0,828	Pièces très flexueuses et avec gros noeuds								
L O T S															
AINHOA 246	51,9	61,0													
HARDT 276	56,1	63,8						8,81	64,6						28,6
LAMOTTE- BEUVRON 274	45,1	63,7						Pas d'essais en flexion							

En flexion, les résultats sont également excellents. Malheureusement, la trop forte dimension des pièces ou leur trop faible nombre ne nous ont pas permis de faire des essais en flexion avec les six lots.

Les signes avertisseurs à vue et en flexion sont excellents : rupture sous 7 à 13 cm de flèche. Quand la flèche commence à être visible, la charge est aux 3/4 de la charge maxima. En flambement, les pièces accusent également une flèche visible avant la rupture.

La rupture est presque toujours lente. Toutefois, il arrive que des pièces, en flambement, se fendent par un plan diamétral, ce qui amène une brusque perte de charge, le défibrage se poursuivant ensuite lentement.

Le reproche à adresser à ces bois est la discrétion des craquements avant rupture et la densité élevée (dépassant 1 chez les pièces dont le degré d'humidité est de 30 %).

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m

ET EN FLEXION SUR 1 m

HARDT (Haut-Rhin) - Lots n° 48 et 49

AMANCE (M.-et-M.) - Lots n° 77 et 78

Ces deux provenances ont déjà été décrites. Les résultats obtenus sont les suivants :

Lots	Flambement sur 1,60 m		
	C.M.M. (tonnes)	Circonf. corresp. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)
Hardt	38,8	49	200
Amance	21,6	41	157

Lots	Flexion sur 1 m		
	C.M.M. (tonnes)	Circonf. corresp. (cm)	C.M.M./cm ² (kg)
Hardt	3,8	38,5	33,4
Amance	2,59	34,9	29,3

La supériorité du chêne rouge sur le chêne commun, en forêt de la Hardt a été mise en relief plus haut.

Nous ne retiendrons, pour Amance, que le résultat en flexion (les essais en flambement n'ayant porté que sur un trop petit nombre de pièces). Le chêne commun à Amance n'a donné que 18,8 kg par cm² contre 29,3 au chêne rouge, et la croissance du chêne rouge est beaucoup plus rapide. Ces chiffres sont concluants.

Voir graphiques des figures 74 et 75.

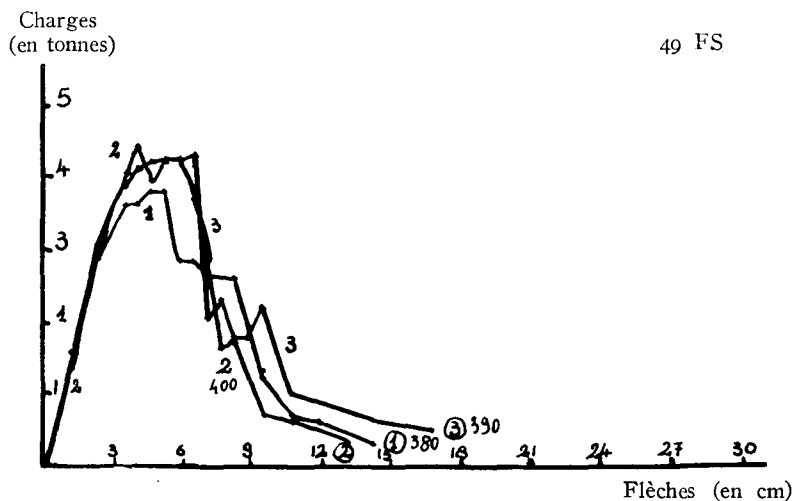


FIG. 74.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou)
Portée: 100 cm - Essais de janvier à avril 1954.
Chêne rouge - Hardt (Bas-Rhin).

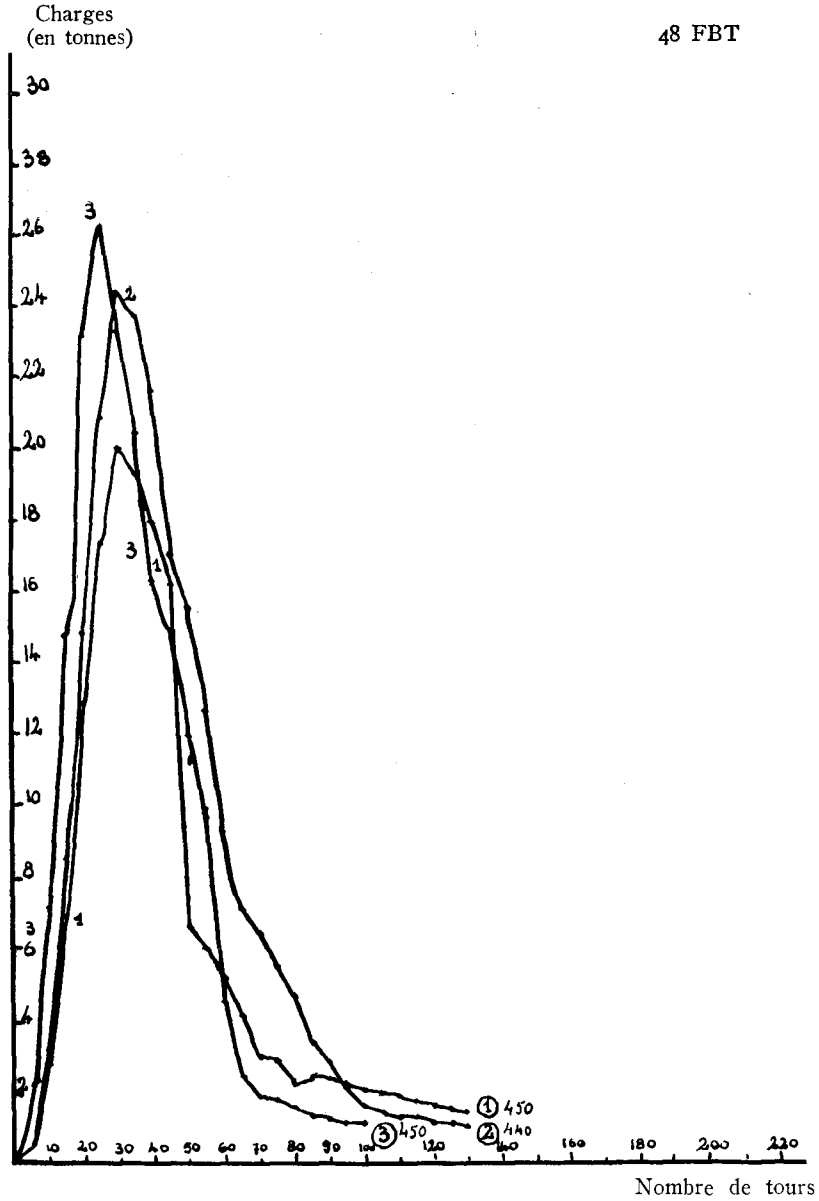


FIG. 75.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou)
 Longueur: 1,60 m - Essais de novembre 1952.
Chêne rouge - Hardt (Bas-Rhin).

3° CHATAIGNIER

a) Généralités et identification

Le châtaignier a vraisemblablement été introduit en France il y a très longtemps. Il occupe maintenant de très vastes surfaces, jusque dans la région parisienne et en Alsace. Dans le sud-est, et entre Loire et Garonne dans l'Ouest, il constitue de très beaux taillis. Le châtaignier, arbre de verger n'intervient pas dans cette étude.

Les bois de mine de châtaignier se reconnaissent à leur écorce, lisse ou très peu crevassée d'un gris plus ou moins foncé, parfois violacée en surface, brun fauve en dessous, filamenteuse, s'arrachant en lanières longitudinales.

Le bois de cœur est jaune-brun et l'aubier blanchâtre. Les accroissements annuels sont bien visibles (zone poreuse) mais, en section transversale, les rayons ligneux sont invisibles à l'œil nu. Dans le bois d'été, les vaisseaux forment comme chez le chêne des lignes *radiales*, sinueuses.

b) Provenances étudiées

18 provenances ont été étudiées (800 pièces):

Dordogne et Poitou	: 2 lots
Pyrénées-Orientales	: 1 lot
Bretagne	: 1 lot
Alsace	: 14 lots

Cette liste est très incomplète. Des lots provenant de la région parisienne, du val de Loire, de la bordure nord du Massif central, de la vallée du Rhône et du Midi méditerranéen, devraient être constitués et expérimentés dans l'avenir.

La plupart des lots ont été essayés en flambement sur 2,50 m et en flexion sur 2 m, dans les laboratoires de Nancy et Sarrebrück.

Un lot, celui des Pyrénées-Orientales, a été essayé à Carmaux. Il pourra être comparé au pin sylvestre de la même provenance.

Un lot (celui de Dordogne) a été essayé en flambement sur 1,60 m et en flexion sur 1 m, à Nancy.

c) **Résultats généraux***1^{re} Série*

LOTS ESSAYÉS EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m
ET EN FLEXION SUR 2 m A SARREBRUCK ET NANCY

Cette série comporte 16 lots.

Les résultats généraux sont les suivants :

Flambement sur 2,50 m (Sarrebück)

Charge maxima moyenne	26,8 t
Circonférence correspondante	48,4 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	144 kg

Flexion sur 2 m (Nancy-Troyvou)

Charge maxima moyenne	3,54 t
Circonférence correspondante	47,7 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	19,6 kg

Flexion sur 2 m (Sarrebück)

Charge maxima moyenne	5,02 t
Circonférence correspondante	54,2 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	21,5 kg

La résistance moyenne en flambement est inférieure à celle du chêne (144 kg par cm² contre 169), ainsi que la résistance en flexion (19,6 contre 22,4 et 21,5 contre 22,4).

La rupture est un peu plus rapide que celle du chêne, mais elle est quand même très progressive.

L'avertissement à vue est bon : flèches de 6 à 12 cm au moment de la rupture, en flexion, flèches visibles, avant rupture, en flexion et en flambement.

Par contre, les signes avertisseurs à l'ouïe (craquements avant rupture) sont nuls ou très discrets.

La conservation du bois et de ses propriétés mécaniques est excellente.

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m
 ET EN FLEXION SUR 1 m
 A NANCY — LOT DE BREUILH (Dordogne)

Ce lot a donné les résultats suivants :

Flexion (sur 1 mètre)

Charge maxima moyenne	0,572 t
Circonférence correspondante	18,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	20,1 kg

Flambement (sur 1,60 m)

Charge maxima moyenne	5,96 t
Circonférence correspondante	25,2 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	118 kg

Les chênes communs, de même grosseur, essayés dans les mêmes conditions avaient donné :

en flexion : 20,5 kg (24 cm de tour),

en flambement : 110 kg (27 à 41 cm de tour).

Les résultats sont donc assez voisins, *peut-être même meilleurs avec le châtaignier pour les petits bois*. En effet, ces pièces proviennent de rejets et ne comportent pas de nœuds comme celles de chêne. Les queues de châtaignier seraient donc plutôt meilleures que celles de chêne.

3^e Série

LOT ESSAYÉ A CARMAUX

Ce lot a donné les résultats suivants :

Flexion (sur 1 mètre)

Charge maxima moyenne	10,350 t
Circonférence correspondante	51,7 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	48,7 kg

Flambement (sur 1,60 m)

Charge maxima moyenne	31,8 t
Circonférence correspondante	50,4 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	157 kg

Notons que les pins sylvestres de la Matte des Angles avaient donné: en flexion 35,1 kg et en flambement 134 kg.

Les résultats du châtaignier sont donc satisfaisants. La lenteur des ruptures en flexion et en flambement a été consignée par les expérimentateurs de Carmaux, mais les craquements de rupture sont qualifiés de petits.

d) Résultats détaillés

1^{re} Série

Les tableaux 41 à 43 donnent les renseignements relatifs aux seize provenances du châtaignier expérimentées et les résultats obtenus.

La largeur des cernes s'échelonne de 1,8 à 3,9 mm (moyenne 2,8) et la densité à 15 % de 0,602 à 0,824 (moyenne 0,697).

Les deux provenances de l'ouest (L'Hermitain 202 et Camors 194) sont excellentes. Certaines provenances d'Alsace sont supérieures à la moyenne. Il semble que les sols de grès soient plus favorables pour le châtaignier que les sols de granits, ainsi que les expositions chaudes et les pentes raides.

Mais surtout les taillis *simples*, vigoureux, qui donnent des pièces *droites*, sans couronnes de nœuds, à écorce lisse, donnent des bois dont les résistances mécaniques sont bien supérieures à ceux des bois issus de taillis-sous-futaie, où les cépées s'étalent sous le couvert des réserves et dont les brins sont flexueux et noueux.

Les bois à cernes larges sont généralement les plus denses et les plus résistants, sauf s'ils présentent les défauts indiqués ci-dessus.

Les signes avertisseurs à vue (flèche) sont plus nets et la rupture plus lente, chez les pièces issues de taillis simple que chez les autres

2^e Série

BREUILH (Dordogne) - Lot n° 93

Le lot provient d'une forêt privée, située à 18 km au sud de Périgueux en terrain plat. Taillis simple. Lot constitué de pièces particulièrement bien choisies et façonnées.

La charge maxima moyenne par cm², en flexion, est 20,1 kg et en flambement 118 kg. Il s'agit de *petits bois*, dont la résistance par cm² est inférieure à celle des gros bois, les hétérogénéités y jouant un plus grand rôle que dans les gros bois.

Les graphiques des figures 76 et 77 donnent une idée de l'allure de la rupture.

Les observations suivantes peuvent être faites :

TABLEAU 41

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cernes fut. (mm)	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S				
								Flambement sur 2,50 m		Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
L'HERMITAIN (Deux-Sèvres) 202	110/190	Sol plat	Argille à silex	Forêt domaniale de l'Hermitain, 2e série - parcelles 7 à 10 Taillis-sous-futaie	3,9	0,691	Belles pièces					
CAMORS (Worbihan) 194	140 m	Pente Ouest 20/30 %	Granit	Forêt de Camors - parc. C2 - coupon 15 - percis obtenu par régénération naturelle	3,1	0,824	Belles pièces mais un peu flexueuses					
HORWALD (Bas- Rhin) 249	500 m	Sud-Ouest Pente 30 %	Grès	Forêt domaniale du Hohwald - 2e série - parc. 46 - Taillis	2,9	0,737	Assez belles pièces					
LA VANCELLE (Bas-Rhin) 248	450/550 m	Sud et Sud-Est pente 40/50 %	Grès vosgien	Forêt domaniale de la Vancelle - 2e série - parcelle 146 b - taillis	2,4	0,700	-d ² -					
HUNAWIER 278 (Haut-Rhin)	380 m	Sud et sud-est	Grès vosgien	Forêt communale - Parcelle IV - Taillis	3,9	0,692	-d ² -					
L O T S												
L'HERMITAIN 202	37,4	51,5	C.M.M. (tonnes) 177	C.M.M. (tonnes) 5,45	Circ. corr. (cm) 57,4	C.M.M.G. corr. (t) 20,8	C.M.M./cm ² (kg) 20,8	C.M.M.G. corr. (kg) 20,8				SBK
CAMORS 194	37,4	51,9	174	4,72	52,0							SBK
HORWALD 249	47,1	59,5	167	5,24	54,2							N
LA VANCELLE 248	31,8	50,3	158	3,86	49,8							N
HUNAWIER 278	29,5	49,0	154	5,10	55,2							N

TABLEAU 43

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cerne en f.b.v. (mm)	Densité à 15 %	Observations sur les pièces		
LAPOUTROIE (H.R.) 281	450	Est pente rapide	Granit	Forêt communale - parcelle 31 - Taillis	3,8	0,721	Pièces présentant des flexuosités et des noeuds		
COLMAR (H.R.) 273	400/500 m	Nord-Ouest pente 33 %	Granit sol sec	Forêt communale - 7e série - parcelle 9 - Taillis	1,8	0,673	- de -		
TROIS EPIS (H.R.) 272			Renseignements	non recueillis	1,6	0,703			
BERNSTEIN (B.R.) 250	400	Nord-Est pente raide	Granit	Forêt domaniale de Bernstein - Parcelle 1 - Cédées de taillis dans peuplement pin sylvestre et sapin.	2,0	0,641	Pièces médiocres - noeuds et flèches		
SOULTZMATT (H.R.) 247	450	Nord-Est pente faible	Grès vosgien	Forêt communale - parcelle 17 - Taillis âgé	1,8	0,602	- de -		
R E S U L T A T S									
L O T S	Flambement sur 2,50 m				Flexion sur 2 m				
	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	C.M.M.G. corr. (t)	C.M.M./cm ² (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
LAPOUTROIE 281	26,2	50,4		129	3,24	43,8		21,2	N
COLMAR 273	22,1	46,3		129	2,75	46,7		15,8	N
TROIS EPIS 272	27,2	55,7		110	4,44	56,5		17,5	N
BERNSTEIN 250	16,0	43,2		108	2,94	44,5		18,7	N
SOULTZMATT 247	17,0	44,5		108	3,47	45,1		21,3	N

Charges en kg)

93 FS - 2/50 2/x

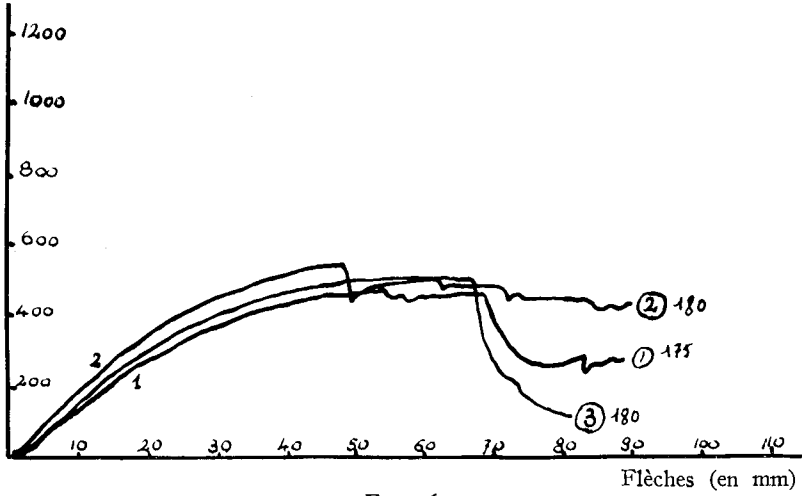


FIG. 76.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 100 cm - Essais de février 1950. - Démultiplication: 2/X.
Châtaignier - Breuilh (Dordogne) 93.

Charges (en tonnes)

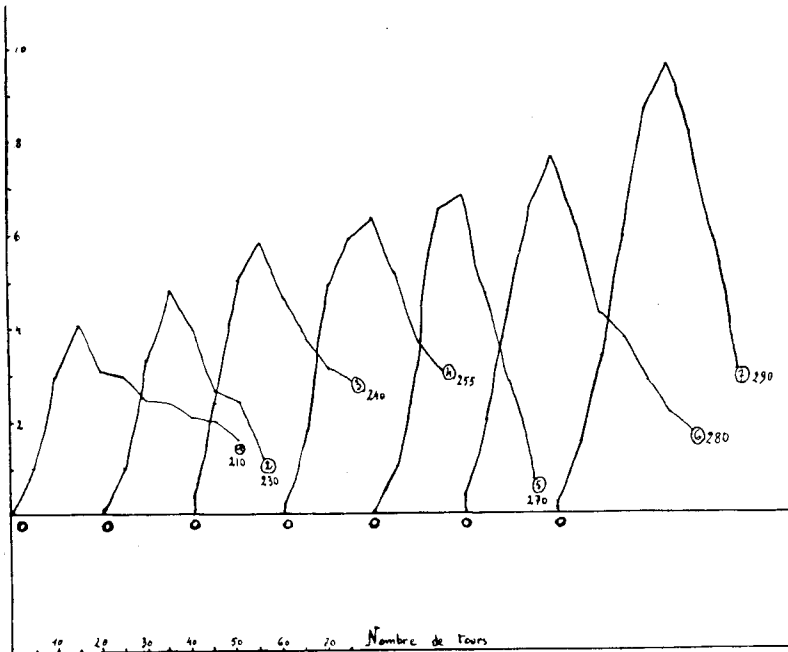


FIG. 77.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou)
Longueur: 1,60 m. — Pièces de circonférences croissantes.
Châtaignier - Breuilh (Dordogne) 93.

Flexion:

grande souplesse des pièces - charge de rupture comprise entre 3 et 8 cm, pour une portée de 1 m - charge à la flèche d'alerte comprise entre les 2/3 et les 3/4 de la charge maxima - défibrage variable, plus rapide avec ces petites pièces qu'avec les grosses.

Flambement:

les pièces préviennent par une flèche visible avant de se rompre et la rupture n'est pas brutale.

3^e Série

LA MONTAGNOLE par REYNES (Pyrénées-Orientales)

Lot n° 121

Les résultats ont été exposés plus haut. Il s'agit d'un lot provenant d'un taillis simple, à 700 m d'altitude, dans la région de Céret.

En conclusion, le châtaignier présente de bonnes qualités mécaniques. Il sèche plus vite que le chêne et sa densité est plus faible. Il avertit bien « à vue », en flexion et en flambement. Sa rupture n'est pas brutale. Il se conserve bien et garde longtemps ses qualités mécaniques. Toutefois, les avertissements à l'ouïe sont nuls ou très faibles.

En choisissant les bois de mine dans les coupes de taillis *simple*, parmi les perches droites et sans nœuds on peut obtenir d'excellents bois de soutènement.

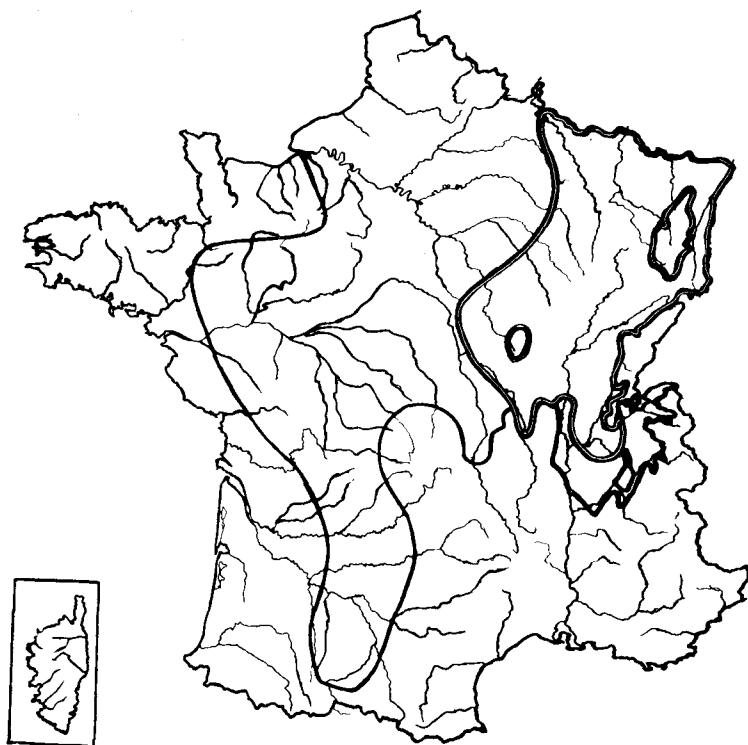
La fissilité de cette essence est cependant un point qui mérite attention. Il y aurait lieu par la suite d'étudier l'influence défavorable que pourraient avoir, à cet égard, certaines techniques d'emploi dans la mine, comme l'entaillage à mi-bois ou à gorge de loup.

4° LE CHARME**a) Renseignements généraux et identification**


Le charme (*Carpinus betulus* L.) est abondant dans les plaines et collines de l'est de la France. Il manque en montagne et dans la région méditerranéenne et se raréfie à mesure qu'on va vers l'ouest et surtout le sud-ouest.


Voir carte n° 6, relative à l'aire de cette espèce.

Il constitue l'essence dominante de nombreux taillis et se trouve mélangé au hêtre et au chêne dans beaucoup de fourrés, gaulis et perchis de futaie.



CARTE n° 6.
Extension du charme en France

 abondant

 subordonné

Il peut donner une bonne pâte à papier mais son écorçage blanc-blanc, à la main ou à l'écorceuse mécanique, est assez difficile. Il s'écorce bien en sève et peut-être pourra-t-il trouver, dans l'avenir, grâce à cette pratique, un débouché normal vers la papeterie.

Il était utile cependant d'étudier ses propriétés mécaniques et ses aptitudes à l'utilisation comme bois de soutènement.

Les bois de mine de charme se reconnaissent :

- à leur forme cannelée (la section est rarement circulaire),
- à leur écorce lisse, gris plus ou moins foncé en surface, parsemée de taches dues aux lichens, brun tabac en dessous quand on la gratte légèrement.
- au bois blanc, sans zone poreuse de bois de printemps, à *accroissements annuels sinueux*, présentant des rayons ligneux nacrés, flexueux et interrompus par places.
- aux fentes de séchage ayant la forme flexueuse des rayons ligneux.

Les perches de taillis sont petites et sont souvent flexueuses et côniques. Les brins provenant d'éclaircies de futaie peuvent être droits et cylindriques et donner des étais de 1^{re} classe.

b) Provenances étudiées

7 provenances ont fait l'objet d'essais :

4 de Meurthe-et-Moselle (forêt d'Amance, de Haye — 2 lots — et de Goviller),

1 de la Nièvre (forêt des Bertranges),

2 d'Alsace (forêt de la Hardt).

3 lots ont été essayés en flexion sur 1 m et en flambement sur 1,60 m au laboratoire de Nancy.

1 lot a été essayé au laboratoire de Blanzly.

3 lots ont été essayés en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m, à Nancy et à Sarrebrück.

Evidemment, le panorama des provenances est loin d'être complet.

Une expérience supplémentaire a été réalisée avec le charme. Des lots ont été abattus tous les 15 jours (ou tous les mois) pendant près de 3 ans pour étudier *l'influence de la date d'abattage* sur la conservation et sur les qualités mécaniques du bois (voir 3^e partie).

c) **Résultats obtenus***1^{re} Série*

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m
A SARREBRUCK ET EN FLEXION SUR 2 m A NANCY
OU SARREBRUCK

HARDT (Haut-Rhin) - Lot n° 224

La provenance est la même que celle du lot de chêne commun n° 223.

En flambement sur 2,50 m (Sarrebück), les résultats suivants ont été enregistrés :

Charge maxima moyenne	52,8 t
Circonférence correspondante	59,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	187 kg

Le degré d'humidité était de 24 %, la largeur moyenne des cernes de 1,9 mm, la densité à 15 % de 0,841, les pièces n'étaient pas exagérément flexueuses. *Elles étaient saines*, sans échauffure.

Ce résultat est supérieur à celui du chêne commun de la même provenance (175 kg).

L'avertissement à vue, en flexion comme en flambement, est net, la rupture n'est pas rapide, le plus souvent elle est même lente.

En flexion, par contre, les résultats sont moins bons. Avec des bois sains, la résistance par cm² est de l'ordre de 16 kg, inférieure à celle du chêne de même grosseur et siccité. Mais, ce qui est grave, les bois abattus après le 15 février, s'échauffent totalement après un an de stockage et leur résistance tombe à 10 kg par cm². En outre, leur cassure se fait sans aucun signe avertisseur, ni à vue (la flèche de rupture n'est plus que de 3,5 cm) ni à l'ouïe. Enfin, la cassure devient absolument brutale, les pièces se rompent en deux morceaux avec une cassure conchoïdale, perpendiculaire à l'axe de la pièce.

GOVILLER (Meurthe-et-Moselle) - Lot n° 263

HAYE (Meurthe-et-Moselle) - Lot n° 296

Ces deux provenances ont déjà été décrites plus haut. Ces deux séries n'ont fait l'objet que d'essais en flexion.

Les résultats furent les suivants :

Goviller. — Abattage hors sève avant février. - Aspect des pièces, début d'altération - 2 ans de stockage - Humidité 28 % - Densité à 15 % : 0,776.

Charge maxima moyenne	4,22 t
Circonférence correspondante	54,6 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	17,8 kg

Haye. — Abattage hors sève avant février - Aspect des pièces : peu altérées - 18 mois à 2 ans de stockage - Humidité 25 % - Densité à 15 % : 0,804.

Charge maxima moyenne	6,14 t
Circonférence correspondante	58,4 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	22,6 kg

Mêmes observations que ci-dessus en ce qui concerne l'influence de l'échauffure sur l'allure de la rupture.

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m

ET EN FLEXION SUR 1 m

AU LABORATOIRE DE NANCY

HAYE (Meurthe-et-Moselle) - Lots n° 12 et 13

AMANCE (Meurthe-et-Moselle) - Lots n° 24 et 25

HARDT (Bas-Rhin) - Lots n° 44 et 45

Les renseignements sur les provenances ont déjà été donnés plus haut.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

1) *Flambement sur 1,60 m.*

Ensemble des lots 12/13 et 24/25.

Charge maxima moyenne	8,05 t
Circonférence correspondante	28,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	121 kg

A noter toutefois que la résistance par cm² décroît progressivement avec la durée du stockage. La résistance augmente d'abord pendant l'été qui suit l'abattage. Elle passe alors de 100 ou 120 kg à 140 ou 160 kg. Puis elle décroît *légèrement* pendant l'hiver et le printemps suivant, parce que les bois reprennent de l'humidité.

Si les bois ont été abattus *hors sève*, avant février, et restent sains,

la résistance augmente à nouveau pendant le deuxième été suivant l'abattage.

Si les bois ont été abattus *en sève*, après février, ils s'échauffent pendant l'été et leur résistance tombe à 80 kg.

De toute façon, qu'ils soient abattus en sève ou hors sève, le 3^e été suivant l'abattage, tous les bois s'échauffent et la résistance tend vers zéro.

2) *Flexion statique sur 1 m - Laboratoire de Nancy (Amsler)*:

Les résultats suivants ont été enregistrés:

Charge maxima moyenne	0,990 t
Circonférence correspondante	23,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	21,8 kg

Cette résistance est bonne, si on tient compte de la faible dimension des bois. Elle est du même ordre que celle des chênes.

Toutefois, elle ne représente qu'une *moyenne*.

La résistance des lots frais de coupe est de l'ordre de 20 à 22 kg par cm². Celle des bois *secs* et *sains*, est de 26 à 32 kg. Celle des bois échauffés tombe à 13/16 kg puis tend vers zéro.

L'allure de la rupture évolue aussi au cours du stockage comme le montrent les figures 78 à 80.

Cette question est reprise dans la III^e partie.

Les charmes provenant de la forêt de la Hardt ont donné les résultats suivants qu'on peut comparer à ceux des chênes de même provenance.

Abattage: Hiver 50-51.

Flambement sur 1,60 m (Sarrebriick) - bois sains.

Charme. — Date de l'essai : 5/51.

Charge maxima moyenne	26,6 t
Circonférence correspondante	44,1 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	176 kg

Chêne. — Date de l'essai: 6/51.

Charge maxima moyenne	34,9 t
Circonférence correspondante	53,7 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	152 kg

Flexion sur 1 m (Nancy) - bois échauffés.

Charme. — Date de l'essai: 5/53.

Charge maxima moyenne	1,640 t
Circonférence correspondante	43,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	11 kg

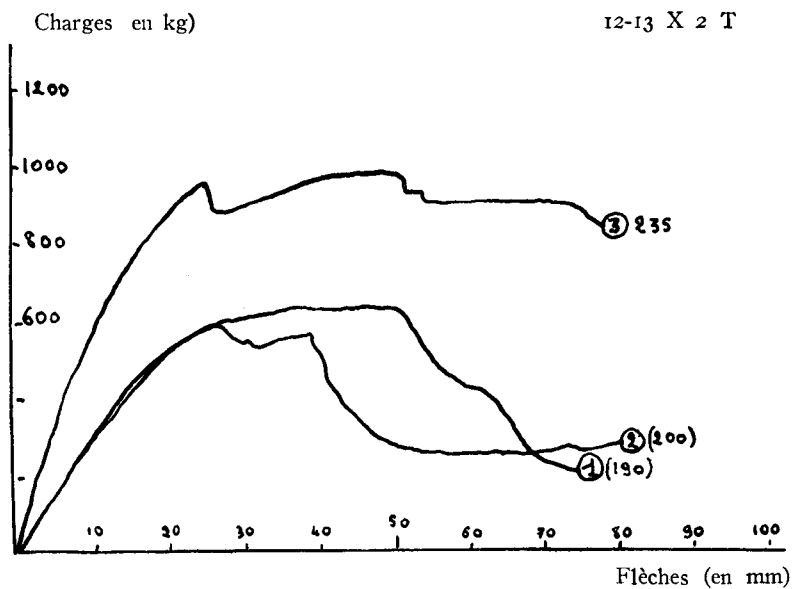


FIG. 78.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
 Portée: 100 cm - Essais du 26 décembre 1951 - Démultiplication: 2 T.
 Charme - (Forêt de Haye) n° 12-13.

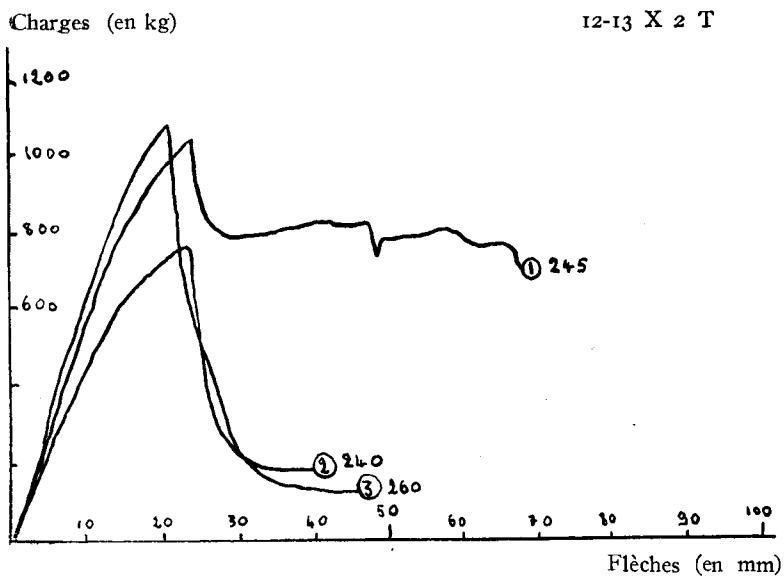


FIG. 79.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
 Portée: 100 cm - Essais du 7 mars 1952 - Démultiplication: 2 T.
 Charme - (Forêt de Haye) n° 12-13.

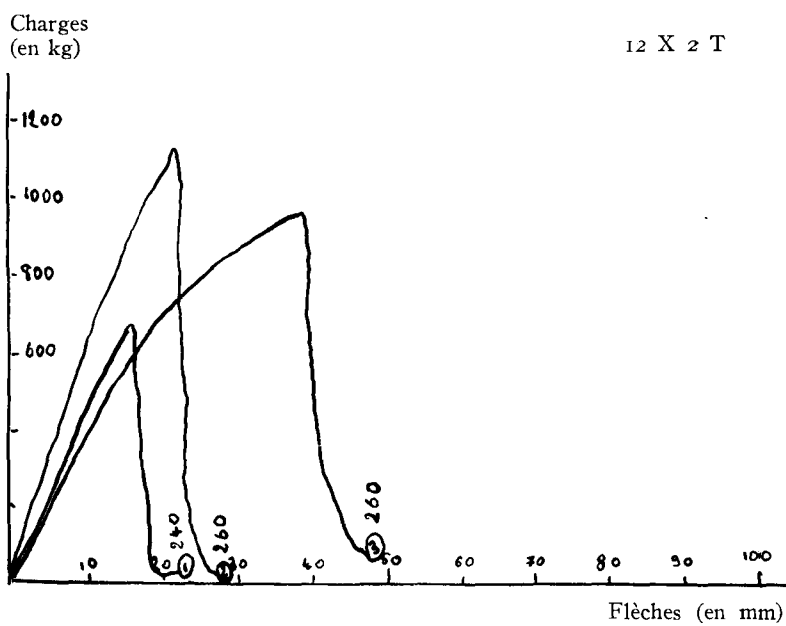


FIG. 80.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 100 cm - Essais du 18 nov. 1952 - Démultiplication: 2 T
Charme (Forêt de Haye) n° 12.

Chêne. — Date de l'essai: 10/52.

Charge maxima moyenne	3,860 t
Circonférence correspondante	46,8 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	22,2 kg

Les bois frais et sains se sont bien comportés en *flambement* (avec une charge par cm² plus forte que celle des chênes) mais les bois échauffés après plus de deux ans de stock ont une résistance en flexion très médiocre.

3^e Série

PIÈCES ESSAYÉES AU LABORATOIRE DE BLANZY

BERTRANGES (Nièvre) - Lot n° 111

Il s'agit d'un lot provenant de la parcelle F 1. 4^e série. Pente d'un vallon exposée au nord-ouest. Sol argilo-siliceux frais, sur assise calcaire avec 7/10 de charme, 1/10 chêne et 2/10 divers dans le taillis.

Les bois, abattus hors sève, ont été soigneusement façonnés et ils sont restés sains pendant toute la saison des essais qui s'est étendue de juin à novembre 1951. Il s'agissait donc d'essais sur bois frais.

Les résultats ont été les suivants :

en flexion, sur 2 m :

Charge maxima moyenne	6,79 t
Circonférence correspondante	51,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	31,6 kg

en flambement, sur 2,50 m :

Charge maxima moyenne	51,6 t
Circonférence correspondante	57 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	199 kg

La dispersion des résultats est faible. Les signes avertisseurs à vue sont très bons et le défibrage est lent. Les qualités mécaniques augmentent, au fur et à mesure que le bois sèche (voir III^e partie).

Le chêne rouvre de la même forêt et de la même grosseur, abattu au même moment et essayé en même temps, au laboratoire de Blanzay avait donné :

en flexion: 24,4 kg par cm²,

en flambement: 150 kg par cm².

Mais les qualités du chêne augmentent puis se maintiennent si le stockage se prolonge, tandis que celles du charme disparaissent totalement.

5° LE HÊTRE

a) Généralités et identification

Le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) existe en abondance dans presque toute la France, sauf dans la basse vallée de la Loire, le bassin d'Aquitaine et le midi méditerranéen.

C'est une essence d'ombre à caractère envahissant. Sur les sols calcaires, les grumes donnent des bois à placages appréciés qui justifient sa culture. Les produits intermédiaires, donnés par les éclaircies, peuvent trouver un débouché dans l'industrie de la papeterie. Il n'est pas accepté comme bois de mine.

A cause de l'importance du hêtre en France et pour le comparer aux autres essences, nous avons expérimenté quelques lots de hêtre pour vérifier le bien-fondé des reproches qu'on lui adresse en tant que bois de soutènement.

Le hêtre se distingue du charme :

— à son *fût*, généralement cylindrique, parfois méplat mais rarement côté quand les tiges sont petites,

— à son *écorce*, gris argenté à gris foncé en dessous (teinte causée par les lichens qui s'y développent), brun rouille en dessous quand on la gratte légèrement,

— à son *bois*, jaune rougeâtre, à accroissements annuels circulaires et marqués par un léger cerne de bois d'été, à rayons ligneux rectilignes et bien visibles à l'œil.

b) Résultats obtenus

3 lots seulement ont été expérimentés :

deux de la forêt de Haye (M.-et-M.),

un de la forêt des Elieux (M.-et-M.) dans les Basses-Vosges.

Des essais beaucoup plus nombreux ont été faits, *sur éprouvettes*, en appliquant les méthodes d'essais normalisées, pour étudier les relations entre provenance, largeur des cernes, densité, dureté et propriétés mécaniques. Ces essais ne sont pas relatés ici et feront l'objet d'une autre publication.

1^{re} Série

Une 1^{re} série d'essais, faite avec des petits bois de 22 à 35 cm de tour, en flexion sur 1 m et en flambement sur 1,60 m, au laboratoire de Nancy, a donné les résultats exposés ci-après :

Flexion:

Charge maxima moyenne	0,995 t
Circonférence correspondante	25,7 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	18,9 kg

Mais il faut noter que ce chiffre de 18,9 kg représente la *moyenne* des résultats donnés :

1° par un lot frais et sain, avec 1,120 t et 21,3 kg/cm².

2° par un lot *partiellement échauffé*, avec 0,830 t et 15,8 kg/cm².

En outre, les résultats sont peu dispersés dans le lot sain et très dispersés dans le lot échauffé.

Les signes avertisseurs avant rupture sont nuls, même chez les bois frais et sains. La rupture se produit en général avant que la flèche soit visible (sous 2 cm pour une portée de 1 m). Il n'y a pas de craquements préliminaires à la rupture.

Enfin, et surtout, presque toutes les pièces cassent brutalement, leur résistance tombant à zéro.

Voir graphiques des figures 81 et 82.

Ces défauts, qui existaient déjà chez les bois sains s'exagèrent chez les bois échauffés.

Flambement

Les résultats sont les suivants :

Charge maxima moyenne	11,2 t
Circonférence correspondante	31,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	138 kg

Les pièces étaient sèches (13 % d'humidité) mais déjà partiellement échauffées. Rupture brutale sans signes avertisseurs. Au moment de la rupture les pièces cassent en deux et sont projetées de la machine.

2° Série

ESSAIS EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m (à SARREBRUCK)

ET EN FLEXION SUR 2 m à NANCY (Trayvou)

ELIEUX (Meurthe-et-Moselle) - Lot n° 259

Le lot provient de la forêt des Elieux (Meurthe-et-Moselle) à l'altitude de 500 m environ, d'un versant exposé au nord-ouest, en pente douce, sol de grès vosgien profond et bien arrosé.

Le bois est coloré, lourd, dur et nerveux.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Flexion sur 2 m :

Charge maxima moyenne	7,72 t
Circonférence correspondante	70 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	19,8 kg
Largeur des cernes	2,1 mm
Densité à 15 %	0,733

bois encore à peu près sains.

Charges (en kg)

14 FS 2/X

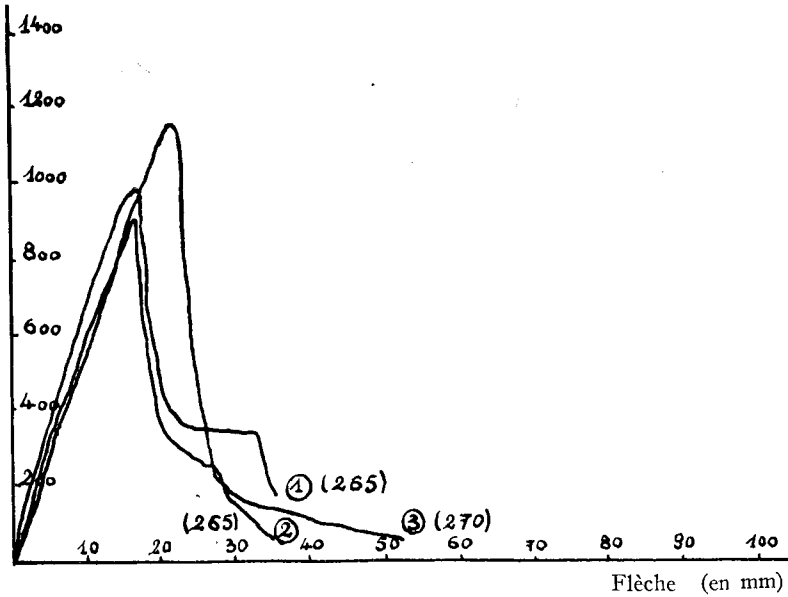


FIG. 81.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 100 cm - Essais du 17 nov. 1952 - Démultiplication: 2 T
Hêtre - Forêt de Haye (Meurthe-et-Moselle).

Charges (en tonnes)

15 FBT 9/52

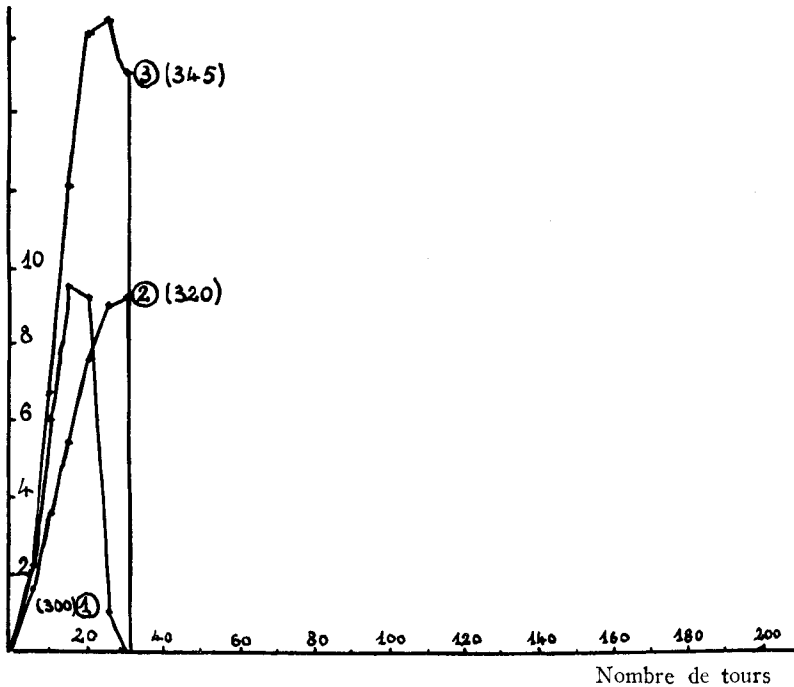


FIG. 82.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou)
Longueur: 1,60 m - Essais de septembre 1952.
Hêtre - Forêt de Haye (Meurthe-et-Moselle).

Flambement sur 2,50 m:

Charge maxima moyenne	55,6 t
Circonférence correspondante	70,6 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	140 kg
Largeur des cernes	2,5 mm
Densité à 15 %	0,774

bois encore à peu près sains.

HAYE (Meurthe-et-Moselle) - Lots n° 291 et 292

La provenance a déjà été décrite précédemment.

Les résultats *en flexion statique*, sur 2 m, ont été les suivants:

Charge maxima moyenne	5,15 t
Circonférence correspondante	62,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	16,6 kg

Il s'agissait là aussi de pièces partiellement échauffées bien qu'abattues hors sève, rainées, empilées sur coupe pour favoriser leur séchage et empilées ensuite correctement sur parc. Mais, après 12 mois de stock, *surtout avec les grosses pièces*, le hêtre s'échauffe, ses propriétés mécaniques diminuent sérieusement et sa rupture devient extrêmement brutale.

Cette courte enquête sur le hêtre confirme bien les observations faites par les mineurs au sujet des bois de soutènement de hêtre.

Il importe absolument que les fournisseurs de bois de mine prohibent cette essence de leurs fournitures. J'ai pu voir, sur certaines coupes, des bûcherons qui mélangeaient frauduleusement des pièces de hêtre à des lots de bois de mine de charme. De telles pratiques sont sévèrement condamnables car le charme a, la première année, de bonnes propriétés mécaniques, il présente des signes avertisseurs et son défibrage est lent, tandis que le hêtre, *même sain et frais*, porte des charges élevées sans donner de signes avertisseurs et casse brutalement.

6° LE FRÊNE

a) Généralités

Le frêne (*Fraxinus excelsior* L.) existe dans les vallées et les forêts argileuses à sol frais de presque toute la France, sauf le midi méditerranéen. Toutefois, sous climat pluvieux, on le trouve sur n'importe quel sol et, grâce à ses graines ailées, il envahit certaines parcelles de futaie et s'installe en abondance, même sur des sols qui ne lui conviennent pas.

Il est donc utile de comparer les qualités mécaniques de frênes provenant de sols variés.

D'autres espèces de frênes existent en France, par exemple *Fraxinus oxyphylla* Bieb. dans la région méditerranéenne. On a également planté *Fraxinus americana* L., mais nous n'avons pas encore pu expérimenter ces deux espèces.

Les bois de mine de frêne se reconnaissent :

— à l'écorce, longtemps lisse, puis finement crevassée, d'abord gris-verdâtre puis jaunâtre ou jaune brun en surface et brun saumon clair en dessous,

— au bois, blanc nacré, jaune ou jaune rosé, à zones poreuses bien marquées, sans rayons ligneux apparents à l'œil en section transversale.

A la loupe, dans une section transversale bien tranchée, on peut apercevoir les vaisseaux du bois d'été groupés en plages irrégulières (ni radiales comme chez le chêne et le châtaignier, ni concentriques aux accroissements annuels comme chez l'orme) et aussi de très fins rayons ligneux nacrés contournant ces plages de vaisseaux.

b) Résultats obtenus

5 lots seulement ont été expérimentés :

— quatre de Meurthe-et-Moselle : Haye (2 lots) Amance et Goviller,

— un du Bas-Rhin : Colmar.

Il y aura lieu d'étudier, par la suite, de nouvelles provenances du nord, de l'ouest et du nord-ouest de la France, ainsi que des lots provenant des vallées de montagnes.

Deux lots ont été essayés en flexion sur 2 m au laboratoire de Nancy (Machine Trayvou).

Les trois autres lots ont été expérimentés en flexion sur 1 m et en flambement sur 1.60 m, sur les machines Amsler et Trayvou, du laboratoire de Nancy.

Les résultats sont les suivants :

1^{re} Série

FLEXION SUR 2 m

HAYE - Lot n° 294

GOVILLER - Lot n° 264

Ces deux provenances ont déjà été décrites.

Haye :

Charge maxima moyenne	7,10 t
Circonférence correspondante	55 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	29,5 kg
Largeur des cernes	2,1 mm
Densité à 15 %	0,726

Goviller :

Charge maxima moyenne	5,54 t
Circonférence correspondante	55,5 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	22,6 kg
Largeur des cernes	1,2 mm
Densité à 15 %	0,687

Compte tenu de la différence de siccité entre les deux lots (5 %), le lot à accroissements de 2 mm témoigne d'une résistance plus forte (15 % environ) que celle du lot à cernes fins (1,2 mm).

Le frêne à accroissements plus larges est aussi un peu plus dense que l'autre. Il faudrait étendre cette comparaison à des lots ayant des cernes de 3 et 4 mm.

En outre *les bois sont très souples*. La rupture *commence* sous 9 à 12 cm de flèche (pour une portée de 2 m) et *le défibrage est lent*. Quand la flèche est visible (6 cm), la charge n'est que les 3/4 de la charge maxima. Sur les sols argileux, les bois sont plus souples que sur sols calcaires. Plus les cernes sont larges, plus les bois sont souples. Des craquements audibles se produisent avant rupture.

En flambement, la rupture est plus rapide qu'en flexion sans être brutale. Les signes avertisseurs à l'ouïe sont faibles.

2^e Série

HAYE - Lots n^{os} 10 et 11

AMANCE - Lots n^{os} 30 et 31

COLMAR - Lots n^{os} 54 et 55

Ces provenances ont déjà été décrites.

Les résultats obtenus sont consignés ci-après :

a) *Flexion sur 1 m (Machine Amsler)*.

Haye :

Charge maxima moyenne	1,210 t
Circonférence correspondante	24,4 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	25,5 kg

Amance :

Charge maxima moyenne	1,360 t
Circonférence correspondante	24,5 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	28,5 kg

Colmar :

Charge maxima moyenne	3,590 t
Circonférence correspondante	42,6 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>24,8 kg</i>

Amance, grâce à son sol argileux, est une excellente provenance. Les deux lots de frêne (Haye et Amance) se montrent nettement supérieurs aux chênes des mêmes provenances (façonnés en même temps et essayés en même temps).

Chêne de Haye : 22,9 kg (pour 24,3 cm de tour)

Chêne d'Amance : 18,8 kg (pour 24,0 cm de tour)

Le lot de Colmar avait un degré d'humidité assez élevé au moment des essais (25 %). Les pièces de Haye et Amance essayées au même degré d'humidité donnaient des résistances de 23 à 26 kg par cm². La provenance de Colmar est donc aussi bonne que les autres.

La résistance mécanique augmente avec la siccité. On relève une différence de 20 % entre les essais faits en été sur bois secs et ceux faits sur bois verts ou faits en hiver sur pièces ayant repris de l'humidité. Les essais faits de juillet à septembre avec bois bien secs donnent des résistances de 37 et 38 kg par cm², contre 22 ou 23 pendant l'hiver.

La siccité augmente aussi un peu la raideur et la rapidité de la rupture. Ceci est mis en relief par les figures 83 et 84.

b) *Flambement sur 1,60 (Machine Trayvou).*

Haye :

Charge maxima moyenne	13,9 t
Circonférence correspondante	31,3 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>178 kg</i>

Amance :

Charge maxima moyenne	9,9 t
Circonférence correspondante	31,1 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>129 kg</i>

Ce lot, ne comprenant que 7 pièces, n'est cité que pour mémoire.

Un lot a été essayé en flambement sur 1,60 m à Sarrebrück (lot provenant de Colmar). Il a donné les résultats suivants :

Charge maxima moyenne	39,2 t
Circonférence correspondante	53,4 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>173 kg</i>

Charges (en kg)

10 FS x 2

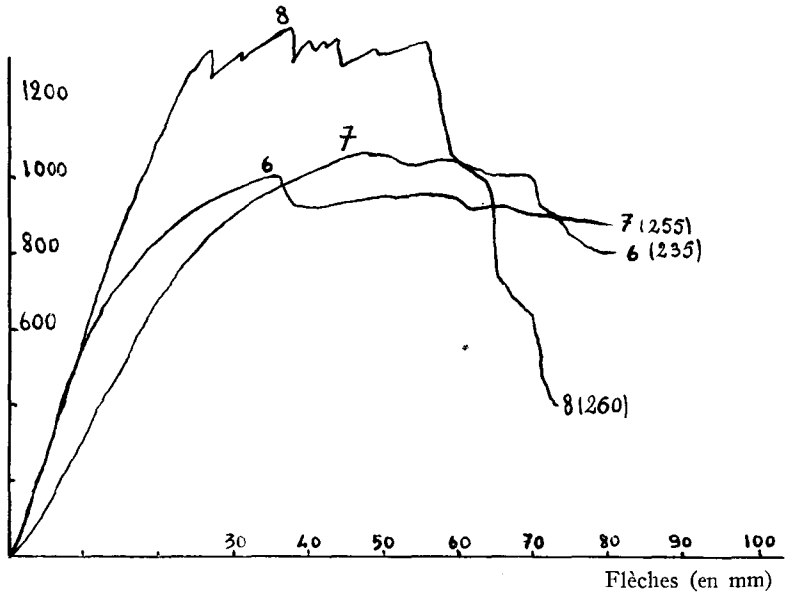


FIG. 83.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
 Portée: 100 cm - Essais du 26 février 1952 - Démultiplication: 2 T
 Frêne - Forêt de Haye - n° 10.

Charges (en kg)

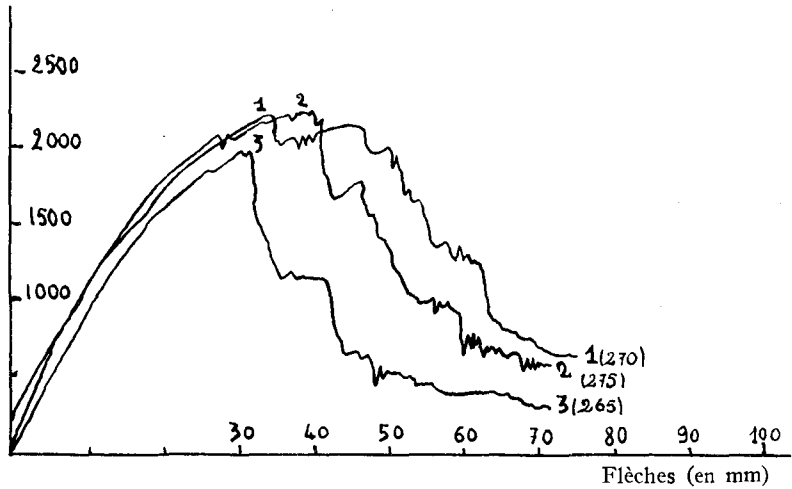


FIG. 84.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
 Portée: 100 cm - Essais du 1 sept. 1952 - Démultiplication: 5 T.
 Frêne - Forêt de Haye - n° 10.

Les résultats sont donc comparables à ceux des frênes de la forêt de Haye. Le chêne de cette provenance n'avait développé que 121 kg par cm² et le chêne de la Hardt 152 kg.

En résumé, le frêne peut donner de très beaux bois de mine, rectilignes et cylindriques, sans nœuds s'il s'agit de billes de pied. Ces pièces offrent des résistances élevées (plus élevées que celles du chêne).

Les signes avertisseurs à vue sont excellents. La rupture n'est pas brutale (elle est lente chez les bois frais) mais elle est plus rapide que celle du chêne (surtout en flambement). Les signes avertisseurs à l'ouïe sont discrets en flexion et nuls en flambement.

7° L'AILANTE

L'ailante (*Ailanthus glandulosa* Desf.) est originaire de Chine et Corée. Il a été introduit en France à la fin du XVIII^e siècle.

Il s'est répandu dans certaines régions de France, où il envahit les talus et les boqueteaux, en particulier dans le sud-est du Massif Central et la basse vallée du Rhône.

Son bois d'œuvre est fissile et cassant. Il était intéressant de tester sa valeur comme bois de mine.

Les premiers essais, faits sur bois sains, avaient donné de bons résultats mécaniques.

Flexion sur 1 m (Machine d'Amsler).

Charge maxima moyenne	1,807 t
Circonférence correspondante	30,7 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	24,1 kg

Flexion sur 1 m (Machine Trayvou).

Charge maxima moyenne	3,433 t
Circonférence correspondante	36,6 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	29 kg
La densité à 15 % =	0,646.

Mais la rupture est presque toujours brutale et elle se produit sans signes avertisseurs entre 1,5 et 5 cm de flèche

Les graphiques de la figure 85 montrent bien l'allure de la rupture.

Mais, ce qui est beaucoup plus grave, c'est l'altérabilité de l'ailante. Nous disposons d'un lot important d'ailante et nous avons pu garder un certain nombre de pièces pour prolonger leur stockage et les laisser s'altérer.

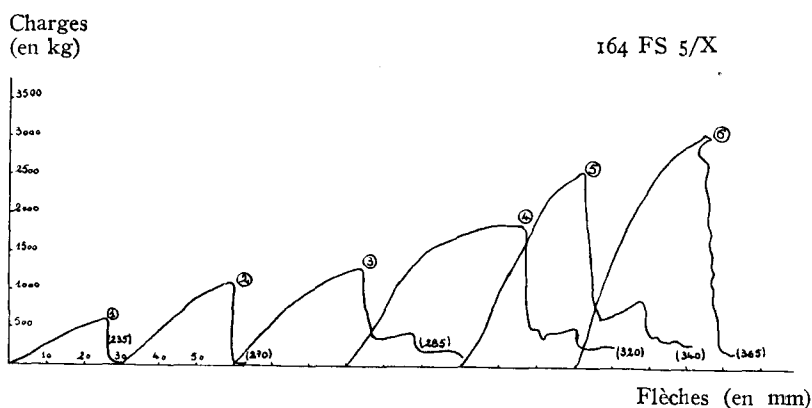


FIG. 85.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 100 cm - Essais - Démultiplication: 5 T.
Ailante (Midi) n° 164. Pièces de circonférences croissantes.

Leur résistance en flexion est tombée à 10 kg par cm² avec une rupture absolument catastrophique.

La forme des pièces reçues était trop médiocre (flexuosité en S) pour que des essais soient faits en flambement.

En résumé, l'ailante, frais et sain, présente de bonnes résistances mécaniques en flexion, mais sa cassure est brutale sans signes avertisseurs (bois raide).

Malheureusement son altérabilité est grande: après 1 an de stock les bois s'échauffent et perdent toute valeur mécanique

Il importe donc de savoir le reconnaître du frêne.

Son écorce, peu crevassée, a une couleur assez semblable à celle du frêne. Le bois est également assez voisin: zone poreuse, couleur claire *mais les rayons ligneux de l'ailante, nombreux et fins, sont bien visibles à l'œil nu.*

8° LE ROBINIER

a) Généralités

Le robinier faux acacia (*Robinia pseudoacacia* L.) est originaire du sud et de sud-est des États-Unis (vallée du Mississipi), où il occupe une aire importante.

Il a été introduit en France au xvii^e siècle et s'est répandu dans de nombreux talus et bosquets. On l'a planté en forêt. Il prospère très bien dans les sols riches et frais des vallées avec plan d'eau peu profond (vallée de la Saône et de ses affluents - vallée de la Ga-

ronne). On l'a parfois planté sur des terrains qui ne lui conviennent pas du tout, l'agriculteur désirant avoir à sa disposition des petits boisements de cette essence qui lui est très utile.

Nous avons expérimenté un lot venant de la vallée de la Saône et un venant de boisements situés en Meurthe-et-Moselle. Il serait intéressant d'étudier d'autres provenances.

Le robinier est facile à reconnaître, même à l'état de bois de mine :

— *écorce* épaisse, crevassée, brun verdâtre en surface, brun saumoné clair en dessous.

— *bois de cœur* jaune ou jaune brun, aubier peu épais blanchâtre, accroissements annuels bien visibles grâce à la zone de bois de printemps plus claire, rayons ligneux fins mais visibles à l'œil nu.

A la loupe, on remarque que les vaisseaux du bois d'été forment des plages alignées concentriquement aux accroissements annuels (comme chez l'orme mais pas aussi régulièrement).

b) Résultats obtenus

1) LOT DE SACQUENAY (Côte-d'Or) - n° 266

Provenance: forêt communale de Sacquenay - Parcelle hors aménagement - altitude 260 m - sol plat - sol argilo-calcaire abandonné par la culture depuis 50 ans (sur assise de calcaire rauracien) et reboisé en robiniers. Les pièces proviennent de la troisième coupe de taillis faite depuis le boisement.

Résultats:

a) Flexion sur 2 m:

Charge maxima moyenne	7,42 t
Circonférence correspondante	55,7 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	32,5 kg
Largeur des cernes	5,5 mm
Densité à 15 %	0,738

b) Flambement du 2,50 m:

Charge maxima moyenne	31,7 t
Circonférence correspondante	58,5 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	116 kg
Largeur des cernes	4,9 mm
Densité	0,744

Les résultats en flexion sont sensationnels. De plus ce bois, extrêmement souple, prévient remarquablement à vue avant rupture. La rupture a lieu sous 10 à 22 cm de flèche. L'avertissement à vue

est donné entre les $\frac{2}{3}$ et les $\frac{3}{4}$ de la charge maxima. En outre, le défibrage est lent, comme le montrent d'ailleurs les graphiques de la figure 86.

En flambement, les résultats sont assez faibles à cause de la très grande souplesse de ce bois et de la flexuosité fréquente des

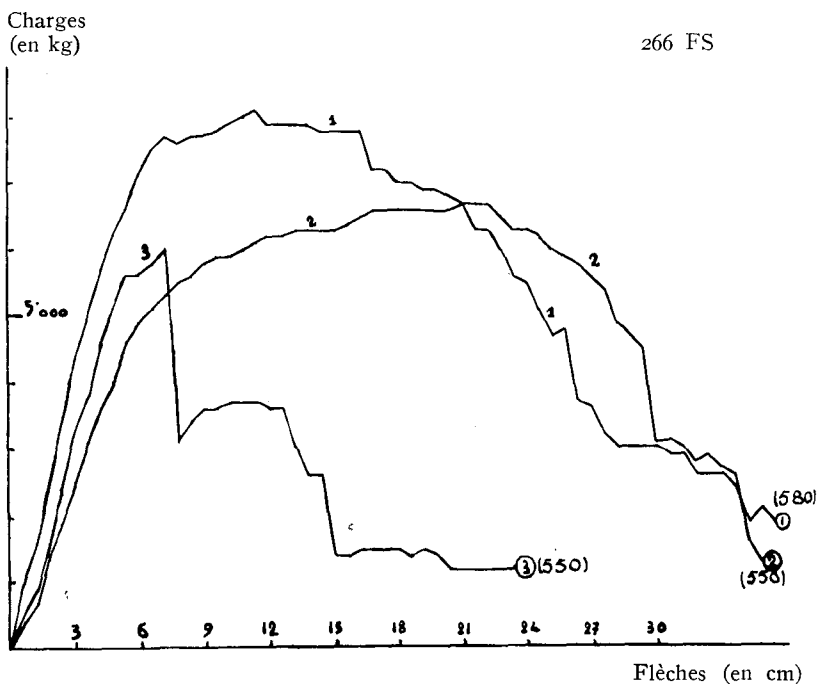


FIG. 86.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Essais de janvier 1956.

Robinier - Sacquenay.

pièces. Une flèche parfaitement visible apparaît longtemps avant la rupture, ce qui constitue un net avertissement à vue.

Des craquements se produisent pendant la mise en charge en flexion.

A noter la très grande rapidité de croissance de ce bois. *Obtenir en seize ans une pièce de 18 cm de diamètre, capable de porter en flexion, sur 2, m plus de trente kg par cm², constitue un record.*

2) LOTS DE TANTONVILLE (Meurthe-et-Moselle) - n^{os} 4 et 5

Ce lot provient également de reboisements sur terres argilo-calcaires abandonnés par la culture.

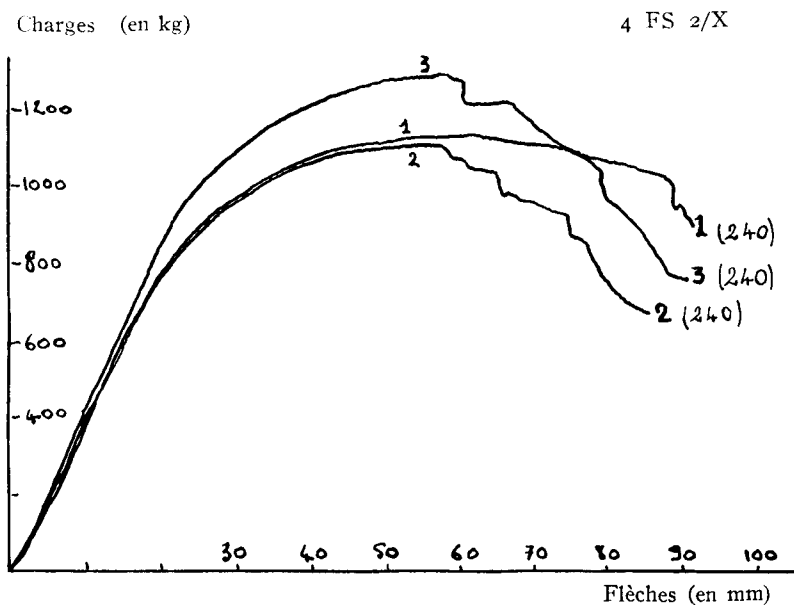


FIG. 87.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 100 cm - Essais d'avril 1950 - Démultiplication: 2 T.
Robinier - Tantonville - n° 4.

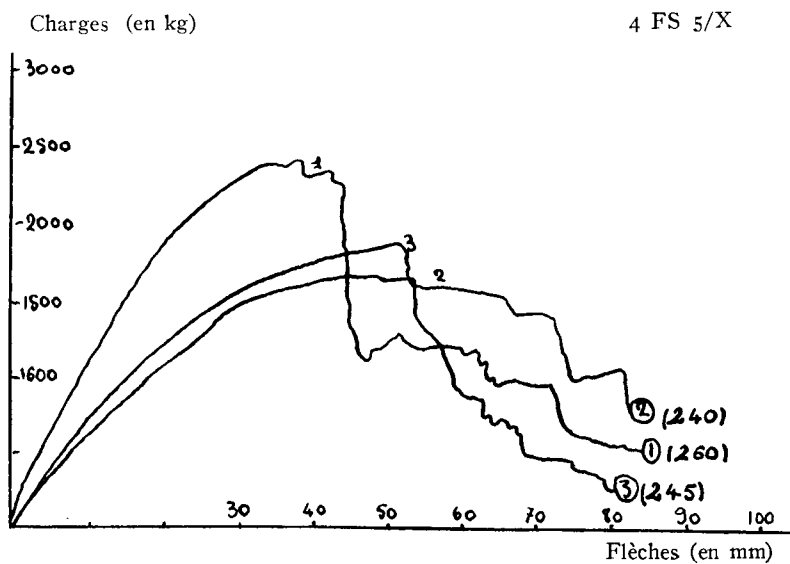


FIG. 88.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 100 cm - Essais d'octobre 1952 - Démultiplication: 5 T.
Robinier - Tantonville - n° 4.

Il a fait l'objet d'essais en flexion sur 1 m et en flambement sur 1,60 m.

a) *Flexion sur 1 m :*

Ce lot, très important, a fait l'objet d'essais échelonnés, d'abord sur bois frais, puis après 12 et 24 mois de stock, sur bois secs.

La circonférence moyenne est faible (22 à 25 cm), aussi les résultats sont-ils relativement moins élevés que dans le lot précédent, compte tenu des portées.

On enregistre, entre 26 et 40 kg par cm² suivant siccité (26 kg avec les bois frais et 40 kg après 2 ans de séchage, pièces essayées en automne, bois secs).

L'allure de la rupture est donnée par les graphiques des figures 87 et 88.

b) *Flambement sur 1,60 m :*

Les pièces sont également assez faibles (28 à 32 cm de tour). La résistance par cm² s'échelonne entre 80 kg par cm² pour les bois frais et 127 kg pour les bois secs.

La rupture n'est pas rapide. Les pièces avertissent à vue par leur flèche, bien avant la rupture.

En résumé, le robinier présente les avantages suivants :

1) excellente résistance *en flexion*, malgré des accroissements larges,

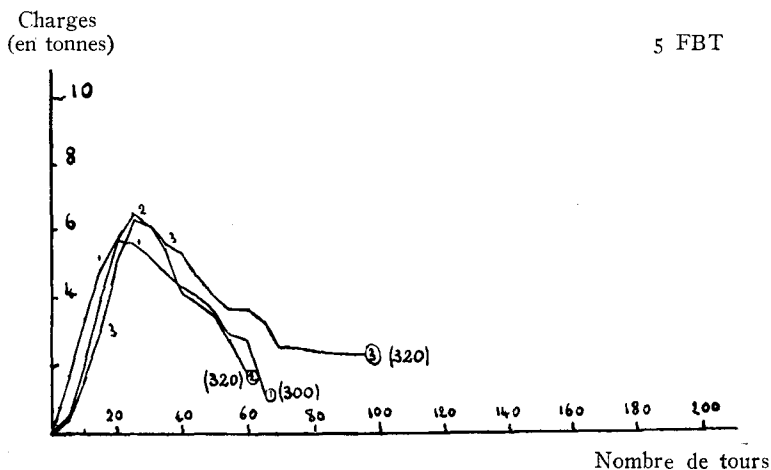


FIG. 89.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou)
Longueur : 1,60 m - Essais de mai 1951.
Robinier - Tantonville n° 6.

2) signes avertisseurs à vue particulièrement nets, en flexion comme en flambement.

3) rupture lente.

4) très bonne conservation.

Il présente les inconvénients suivants :

1) faible résistance *en flambement*,

2) pas ou peu de craquements au cours du flambement.

9° LE TREMBLE

a) Généralités

Le tremble (*Populus tremula* L.) existe un peu partout en France. C'est un occupateur de places vides en sols frais. En plaine, il donne généralement des bois médiocres, flexueux, noueux, à faibles propriétés mécaniques. Mais, dans les vallées alpines (et dans quelques stations de plaine), il est capable de donner des bois droits à branches fines et à petits nœuds. Les généticiens s'efforcent de sélectionner et de multiplier ces types.

Le tremble de 10 à 25 ou 30 cm de diamètre peut trouver preneur dans l'industrie de la papeterie. Il est utilisé sous forme de petites perches en agriculture comme tuteur pour arbres fruitiers, montants d'échelles, etc... Il était intéressant cependant, à cause de l'importance de cette essence, de juger de ses qualités mécaniques.

Le tremble se reconnaît, à l'état de perche :

— à *son écorce*, d'abord lisse et verdâtre puis se criblant de lentilles losangiques et devenant gris cendreuse en surface (mais restant verte en dessous).

— à *son liber*, brun noirâtre quand le bois est sec,

— à *son bois* blanc, homogène, sans zone poreuse ni rayons distincts, tendre et léger,

— aux gros bourrelets existant à l'aisselle des branches.

b) Résultats obtenus

Dix provenances ont été expérimentées :

— Amance et Haye, en plaine, en Meurthe-et-Moselle,

— Les Elieux, en montagne, en Meurthe-et-Moselle,

— La Contrôlerie, dans la Meuse,

— Sarre-Union, dans le Bas-Rhin,

— Losne et Saint-Sauveur, dans la vallée de la Saône,

— Nieppe, Saint-Amand et Mormal dans le Nord.

Seraient à essayer ultérieurement des provenances de l'Ouest et du Sud-Ouest de la France *et des Alpes*.

Les deux premiers lots sont des petites pièces, essayées en flexion sur 0,80 m ou 1 m de portée et en flambement sur 1,60 m, à Nancy.

Les huit autres lots sont des grosses pièces, essayées en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m à Nancy et à Sarrebrück.

Les résultats sont donnés ci-après :

1^{re} Série

ESSAIS SUR PETITES PIÈCES

Les deux provenances Haye (lot n° 101) et Amance (lots n°s 26 et 27) sont déjà décrites.

1) *Résultats des essais en flexion sur 1 m* (Amance n° 26).

Les essais échelonnés de mars 1951 à octobre 1952 ont donné des charges maxima moyennes comprises entre 0,606 et 1,285 tonnes pour des circonférences de 23 à 29 cm.

La charge par cm^2 est de :

- 15 à 16 kg par cm^2 avec des bois frais de coupe,
- 18 à 20 kg par cm^2 avec des bois secs et sains,
- 12 à 13 kg avec des bois « passés » ayant repris de l'humidité.

La cassure est assez rapide (voir figures 90 et 91). Avec les bois frais, elle a lieu sous environ 3 cm de flèche (c'est-à-dire sans avertissement à vue). Avec les bois secs, elle se produit entre 2 et 3 cm.

Le tremble s'échauffe au cours de la deuxième année de stockage. Abattu en sève, il s'échauffe dès la première année. Les bois échauffés ont une résistance inférieure de 30 % à celle des bois secs et sains.

Les trembles provenant de sol calcaire comme celui de la forêt de Haye sont encore plus raides et plus cassants que ceux de sols argileux.

2) *Résultats des essais en flambement sur 1,60 m :*

Charge maxima moyenne	9,24 t
Circonférence correspondante	32,1 cm
Charge maxima moyenne par cm^2	112 kg

Cassure presque toujours brutale (voir figure 92).

2^e Série

ESSAIS SUR GROSSES PIÈCES

La forme des pièces, qui est extrêmement médiocre chez les bois de plaine, est beaucoup plus importante pour la résistance au flam-

Charges (en kg)

26 FS 2/X

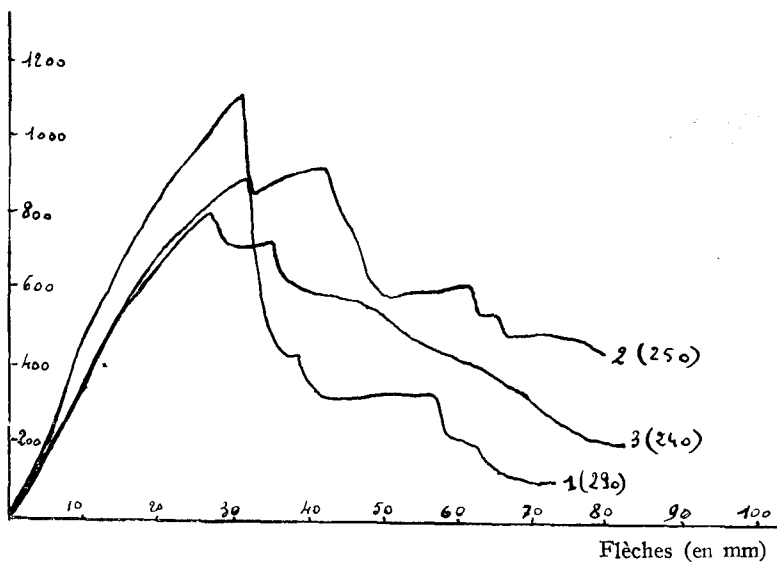


FIG. 90.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
 Portée: 1 m - Essais du 12 mars 1951 - Démultiplication: 2/X.
 Tremble - Amance (Meurthe-et-Moselle).

Charges (en kg)

26 FS 5/X

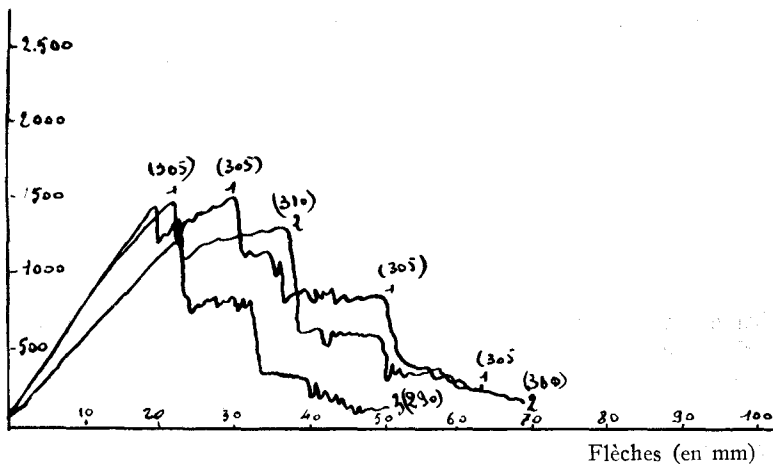


FIG. 91.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
 Portée: 1 m - Essais du 14 août 1952.
 Tremble - Amance (Meurthe-et-Moselle).

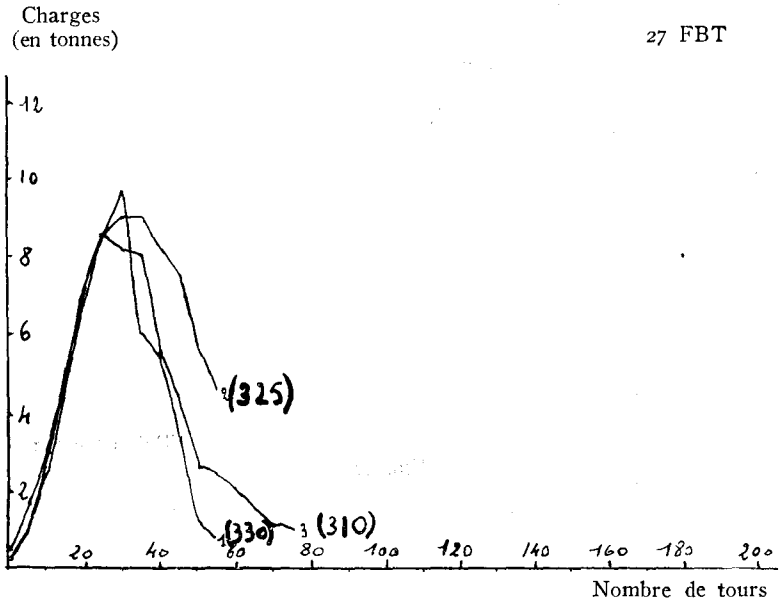


FIG. 92.

Essais en flambement - Laboratoire de Nancy (Trayvou)
Longueur: 1,60 m Essais du 14 août 1952.
Tremble - Amance (Meurthe-et-Moselle).

bement que la structure du bois. Elle est très préjudiciable aux résultats des 3 lots du Nord et de celui des Elieux.

Les bonnes provenances de la Meuse, de Moselle et de Côte-d'Or, à cause de leur forme assez belle, se classent en tête.

Flambement.

La charge maxima moyenne par cm^2 va de 88 à 123 kg. La largeur des cernes est de l'ordre de 4 mm (2,7 à 4,6) et la densité à 15 % est d'environ 0,584.

LA CONTROLERIE (Meuse) - Lot n° 254
SAINT-SAUVEUR (Côte-d'Or) - Lot n° 288
SARRE-UNION (Bas-Rhin) - Lot n° 287
LOSNE (Côte-d'Or) - Lot n° 265
SAINT-AMAND (Nord) - Lot n° 269
NIEPPE (Nord) - Lot n° 268
LES ELIEUX (M.-et-M.) - Lot n° 258
MORMAL (Nord) - Lot n° 270

Les tableaux 44 et 45 donnent les caractéristiques de ces huit provenances et les résultats obtenus.

Le tremble est capable de donner des pièces de qualités moyennes quand il provient de peuplement de *bonnes races*, formés de perches droites et à petits nœuds (Contrôlerie et Losne), ou quand le marqueur sélectionne rigoureusement les parties de perches les plus droites (Saint-Sauveur et Sarre-Union).

Toutefois ces qualités *très moyennes* (110 à 120 kg en flambement, 14 à 16 kg en flexion) se conservent peu, le tremble étant très altérable.

Les bois très flexueux ou passés tombent en dessous de 100 kg par cm² en flambement.

En outre, si les bois sains avertissent quelque peu par leur flèche avant rupture, en flexion et en flambement, les bois échauffés deviennent « raides » et cassent sans prévenir.

10° LES AUNES

a) Généralités

Les recherches ont porté sur les espèces suivantes :

- Aune glutineux (*Alnus glutinosa* Gaertn.).
- Aune blanc (*Alnus incana* Moench.)
- Aunes à feuilles en cœur (*Alnus cordata* Desf.).

L'aune glutineux existe un peu partout en France au bord des ruisseaux et dans les sols humides. Il donne des cépées vigoureuses et une forte production.

L'aune blanc est une espèce montagnarde capable de reboiser des terrains très médiocres, instables ou infertiles. C'est un excellent occupateur de places vides.

L'aune à feuilles en cœur, endémique en Corse, est plus sensible au froid mais s'accommode de sols divers, même calcaires.

Les essais suivants ont été réalisés :

TABLEAU 44

L O T S	Altitude	Exposition	Sol	Peuplement	Largeur des cernes en fbt. (mm)	Densité à 15 %	Observations sur les pièces	R E S U L T A T S					
								Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m		
								C.M.M. (tonnes)	C.M.M./cm ² (kg)	Circ. corr. (cm)	C.M.M. corr. (t.)	C.M.M./cm ² corr. (kg)	C.M.M.G./cm ² corr. (kg)
CONTROLEURIE 254		Sol plat - fond de vallon	Caize fond de vallon en- richi en argile	Taillis-sous-futaie. Ré- serv. par bouquets, chêne pédonculé, fiêne, etc. Cé- pées et taillis par tache aune, tremble, charme	3,6	0,626	Belles pièces, droites sans gros noeuds						
SAINTE SAUVEUR 268	210 m	Sol plat	Limon des plateaux sol argilo-siliceux un peu lessivé	Taillis-sous-futaie à la révolution de 25 ans. Fo- rêt communale - coupe 23	4,6	0,538	- 48 -						
SARRE UNION 287	340 m	Pente légère exposée au Nord-Ouest	Sol argilo-siliceux profond, imperméa- ble	Perchis par bouquets dans régénération de fu- taie. Forêt domaniale - parcelle 18	2,7	0,591	Assez belles pièces mais début d'échauffure						
LOSNE 265	190 m	Sol plat	Alluvions anciennes de la Bresse - Ar- gile - Sol brun	Taillis-sous-futaie à la révolution de 25 ans - Forêt communale coupes 18 et 17	3,9	0,600	Assez belles pièces bien que flexueuses						
L O T S													
CONTROLEURIE 254	30,6	55,8	123	3,72	57,5			14,3					
SAINTE SAUVEUR 268	39,4	63,5	122	3,95	59,2			14,3					
SARRE UNION 287	41,0	67,5	113	4,80	63,2			15,1					
LOSNE 265	32,2	61,1	108	5,10	60,5			17,5					

Aune glutineux: 2 lots en flexion sur 1 m et en flambement sur 1,60 m.

2 lots en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m.

Aune blanc: 1 lot en flexion sur 1 m et en flambement sur 1,60 m.

Aune à feuilles en cœur: 1 lot en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m.

b) Résultats

AUNE GLUTINEUX - 1^{re} Série

1) Flexion statique sur 1 m.

Un des lots provenait de la forêt domaniale de Saint-Quirin (Moselle), bord de ruisseau sur grès vosgien et l'autre de la forêt communale de Colmar, sur alluvions inondables.

Abreschwiller :

Charge maxima moyenne	1,94 t
Circonférence correspondante	35,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	18,9 kg

Colmar :

Charge maxima moyenne	3,66 t
Circonférence correspondante	52,8 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	16,5 kg

Il est difficile de retenir le résultat de Colmar, le lot ne comprenant que six pièces.

Le lot d'Abreschwiller était plus nombreux et sa moyenne est valable. La résistance moyenne est bonne, mais, malheureusement, la rupture est brutale, même avec des bois sains. Il y a avertissement à vue (la rupture se fait sous 2,4 à 5,4 cm sur 1 m de portée et la flèche est visible à partir de 3 cm), mais il n'y a pas de craquement avant rupture.

En outre, l'aune glutineux est altérable, ce qui compromet gravement ses propriétés mécaniques.

2) Flambement sur 1,60 m:

Lot d'Abreschwiller (essais de Sarrebrück):

Charge maxima moyenne	23,4 t
Circonférence correspondante	48,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	126 kg

Lot de Colmar (essais de Nancy):

Charge maxima moyenne	17,6 t
Circonférence correspondante	42,7 cm
Charge maxima moyenne par cm^2 ..	121 kg

L'aune est donc légèrement supérieur au tremble mais il est aussi médiocre que lui quant aux signes avertisseurs, à la brutalité de la rupture et à la conservation.

AUNE GLUTINEUX - 2^e Série

Il s'agit de deux lots provenant de l'Illwald (près Sélestat) - altitude 170 m γ pente nulle - alluvions de l'III - Sol limoneux, riche en matières organiques - Plantation de 1870 - L'un des lots vient d'une ancienne prairie reboisée et périodiquement inondée et l'autre du bord d'un ruisseau

1) *Flexion sur 2 m:*

Charge maxima moyenne	5,27 t
Circonférence correspondante	66,2 cm
Charge maxima moyenne par cm^2 ..	15,1 kg

Rupture toujours brutale, sous 1,8 à 7,2 cm, c'est-à-dire sans avertissement à vue ou avec avertissement très proche de la rupture. Pas de craquements avant rupture.

2) *Flambement sur 2,50 m:*

Charge maxima moyenne	53,4 t
Circonférence correspondante	68,8 cm
Charge maxima moyenne par cm^2 ..	142 kg

Ces résultats sont supérieurs à ceux des trembles et assez comparables à ceux que donnent les chênes des moins bonnes provenances. Mais il y a lieu de noter les défauts graves que sont l'absence de signes avertisseurs et la brutalité de la rupture, défauts aggravés par l'altérabilité.

AUNE BLANC - Maxéville-Nancy

Ce lot provient d'un reboisement effectué sur le crassier des carrières Solvay de Maxéville constitué par des déchets argilo-calcaires.

Sur ce terrain stérile, l'aune blanc réussit bien et fixe le sol qu'il enrichit d'ailleurs en azote.

Toutefois, les résultats mécaniques donnés par cette essence sont très médiocres.

Flexion sur 1 m (essais de Nancy - Amsler):

Charge maxima moyenne	0,398 t
Circonférence correspondante	23 cm
Charge maxima moyenne par cm^2 ..	9,5 kg

Ce chiffre est une moyenne. Avec les bois frais et sains, on enregistrerait 8,0 kg — avec les bois secs et sains 12 kg et avec les bois échauffés 6 kg.

La rupture, d'abord lente, était devenue très rapide puis brutale (voir figure 93).

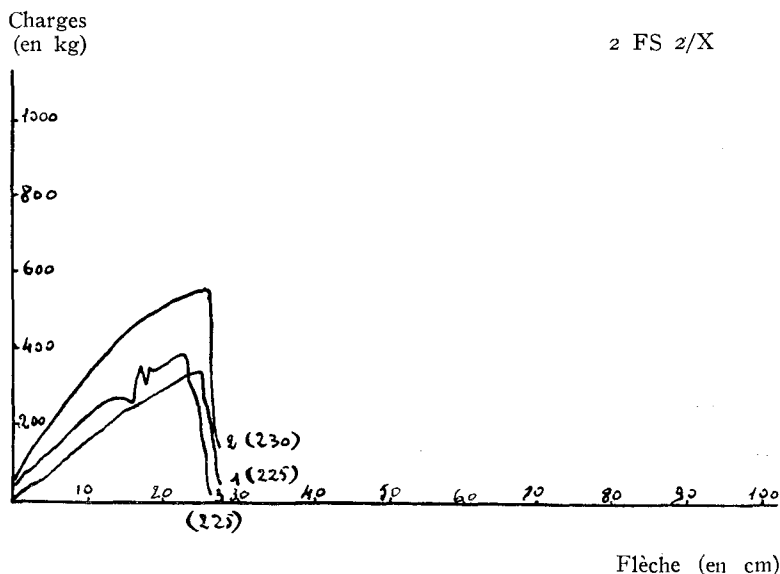


FIG. 93.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
 Portée: 1 m - Essais du 20 nov. 1952 - Démultiplication: 2 m.
Aune blanc - Terril Solvay - Maxéville.

Flambement sur 1,60 m (essais de Nancy - Trayvou):

Charge maxima moyenne	2,848 t
Circonférence correspondante	23 cm
Charge maxima moyenne par cm^2 ..	58 kg

Ce chiffre n'est qu'une moyenne. Au début, les bois frais et sains portaient 92 kg par cm^2 . A la fin, très échauffés, ils ne portaient plus que 35 kg.

AUNE A FEUILLES EN CŒUR - La Perthe (Aube)

Ce lot provient de la forêt de Perthe (Aube). Altitude 100 m - Terrain à peu près plat - Craie senonienne de Champagne - Forêt artificielle constituée d'essences diverses: pin sylvestre, pin noir, pin laricio de Corse, épicéa, chênes, bouleau, etc... Age 35 à 50 ans.

Flexion sur 2 m:

Charge maxima moyenne	3,56 t
Circonférence correspondante	58,5 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>13,3 kg</i>

Flambement sur 2,50 m:

Charge maxima moyenne	45,4 t
Circonférence correspondante	59,8 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm² ..</i>	<i>159 kg</i>

Les résultats sont donc assez voisins de ceux de l'aune glutineux. Mais le mauvais comportement à la rupture subsiste chez cette espèce, ainsi que l'altérabilité.

11° LE BOULEAU VERRUQUEUX**a) Généralités**

Le bouleau verruqueux (*Betula verrucosa* Ehrh.) est très répandu en France sur les sols siliceux, dans les forêts clairiérées, partout où il y a une place vide à occuper et de la lumière. Sa croissance est rapide. Il résiste bien aux gelées hivernales et printanières et aux parasites. Sous son ombre légère et dans l'humus qu'il a créé, il est possible d'introduire, par la suite, d'autres espèces plus rémunératrices. C'est donc une essence de reboisement intéressante.

Le bouleau peut être utilisé en papeterie et il ne semble pas nécessaire de lui trouver d'autres débouchés.

Ses caractères distinctifs sont bien connus. Son écorce est d'un blanc crayeux, elle forme des bandes annulaires, elle est presque toujours mince et lisse mais peut être épaisse et crevassée au pied des grosses perches. Le bois est jaune clair, sans cœur distinct. Les accroissements annuels sont peu marqués, les rayons ligneux sont imperceptibles même à la loupe. Le bois contient des taches médullaires brun foncé, surtout vers le pied.

A côté du bouleau verruqueux existe, dans les sols très humides et les tourbières, le bouleau pubescent (*Betula pubescens* Ehrh.) sur lequel nous n'avons pas fait d'essais mécaniques.

5 lots de bouleau verruqueux ont été expérimentés :

— deux provenant des Basses Vosges (Rambervillers et Elieux), il s'agissait de petites pièces essayées en flexion sur 1 m et en flambement sur 1,60 m, au laboratoire de Nancy.,

— trois provenant de la Meuse (La Contrôlerie) et de la Meurthe-et-Moselle (Les Elieux et Rosières-aux-Salines), il s'agissait de grosses pièces essayées en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m à Nancy et à Sarrebrück.

Peut-être, par la suite, si le temps et les crédits nous le permettent, y aurait-il lieu de procéder à quelques essais sur des lots venant de la région parisienne et du bassin de la Loire.

b) Résultats obtenus

La forme du bouleau est très variable. Dans certains boisements on ne rencontre que des arbres tordus, coniques et noueux, dans lesquels il est difficile de trouver un lot de bois de même caractère. Ailleurs, le peuplement se compose d'arbres droits, cylindriques et à branches fines. La station joue certainement un rôle, mais il y a certainement là aussi une question de race.

1^{re} Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 1 m

ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m AU LABORATOIRE NE NANCY

Ces pièces constituent deux lots: Rambervillers 34/35 et Elieux 92.

Il s'agit de deux stations des Basses Vosges - Altitude 400-500 m - Exposition ensoleillée - Sol de grès vosgien - Clairières envahies par le bouleau, au milieu de la forêt résineuse (pin sylvestre).

Les résultats ont été les suivants:

Flambement sur 1,60 m:

Rambervillers:

Charge maxima moyenne	6,50 t
Circonférence correspondante	26,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	118 kg

Elieux:

Charge maxima moyenne	3,78 t
Circonférence correspondante	29,4 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	55 kg

Flexion sur 1 m:

Rambervillers :

Charge maxima moyenne	0,840 t
Circonférence correspondante	22,2 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	24 kg

Elieux :

Charge maxima moyenne	0,570 t
Circonférence correspondante	24,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	11,6 kg

Ces chiffres sont des moyennes entre lots frais et sains, secs et sains et lots altérés.

1) *Flexion.*

Le lot de Rambervillers, abattu en octobre 1949, a fait l'objet d'essais en février 1950 sur bois frais (17,7 kg) en novembre 1950 sur bois secs et sains (26,8 kg) en mars 1951 (26,1) puis en juillet 1951 sur des bois commençant à s'échauffer (22,6) et en décembre 1951 sur des bois légèrement échauffés et ayant repris de l'humidité (19,6). Dans l'ensemble, les résultats restent bons, à cause de l'abattage hors sève. La physionomie de leur rupture est donnée par les graphiques des figures 94 à 96.

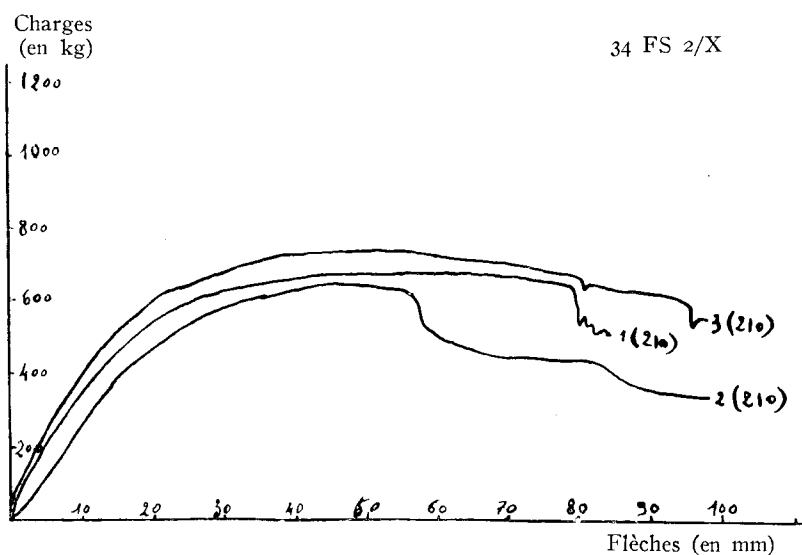


FIG. 94.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 1 m - Essais du 10 février 1950 - Démultiplication: 2/X.
Bouleaux - Rambervillers

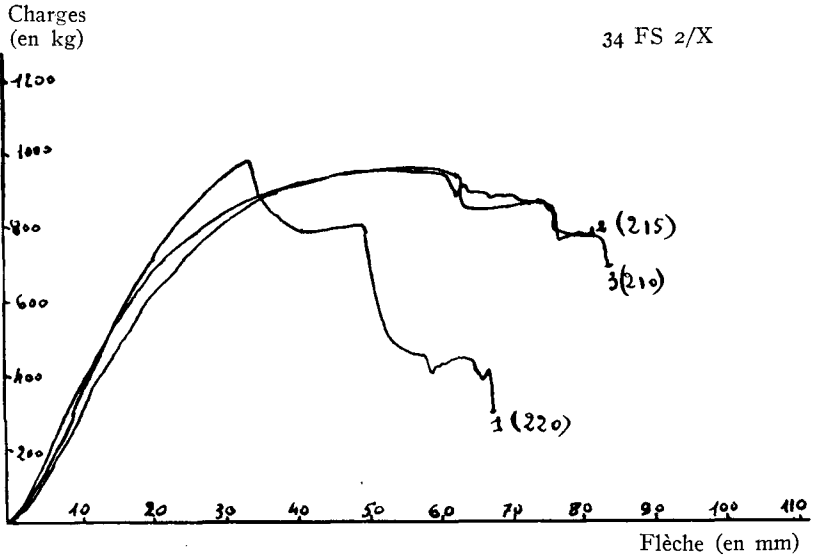


FIG. 95.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 1 m - Essais du 13 mars 1951 - Démultiplication: 2/X.
Bouleaux - Rambervillers

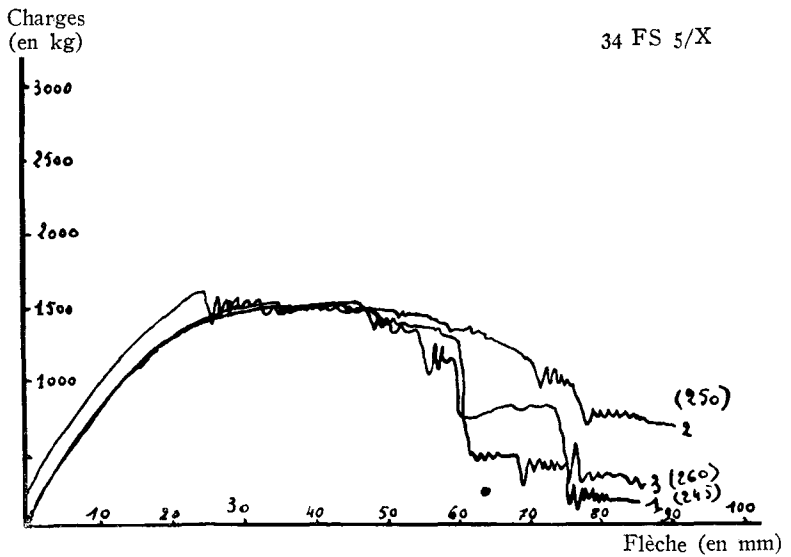


FIG. 96.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Amsler)
Portée: 1 m - Essais du 13 août 1952 - Démultiplication: 5/X.
Bouleaux - Rambervillers

Le lot des Elieux, au contraire, a été abattu *en sève* en 1949. Les pièces sont beaucoup moins belles que celles de Rambervillers. Déjà en février 1950, la résistance est faible (15,7 kg) mais la rupture reste progressive. En septembre 1950, les bois sont fortement échauffés (10,7 kg) et leur rupture est brutale.

2. *Flambement.*

Les pièces de Rambervillers, début 1950, c'est-à-dire encore fraîches et saines, donnent une résistance de 96 à 100 kg par cm². En été, alors qu'elles sont sèches, la résistance monte à 148 kg. Les bois restent sains.

Au contraire, le lot des Elieux(de forme extrêmement médiocre) ne débute qu'à 59 kg, monte légèrement en été puis tombe à 47 kg, les pièces étant complètement échauffées.

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 2 m
ET EN FLAMBEMENT SUR 2,50 m
A NANCY ET A SARREBRUCK

Les 3 lots essayés proviennent de la Contrôlerie (Meuse); des Elieux (M.-et-M.) et de Rosières-aux-Salines (M.-et-M.), provenances déjà décrites.

Les résultats moyens pour les 3 lots sont les suivants:

1) *Flexion:*

Charge maxima moyenne	4,14 t
Circonférence correspondante	57,3 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	15,8 kg

2) *Flambement:*

Charge maxima moyenne	30,8 t
Circonférence correspondante	56,6 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	121 kg

Ces résultats sont passables — voisins de ceux de l'aune glutineux et des meilleurs trembles.

Les résultats par lot sont les suivants :

L O T S	R E S U L T A T S						Opérations sur les pièces
	Flambement sur 2,50 m			Flexion sur 2 m			
	C.M.N. (tonnes)	circ. corr. (cm)	CNM/cm ² (kg)	C.M.N. (tonnes)	Circ. corr. (cm)	CNM/cm ² (kg)	
CONTROLEURIE (Meuse) 255	31	55,4	127	3,36	55,2	13,9	Fort proportion de billes de pied. Forme passable. Pièces abattues hors sève en 2/1954 mais déjà partiellement échauffées en 2/56 lors des essais de flexion
ROSIERES-AUX-SALINES (M.-&M.) 275	31	55,4	127	3,84	53,7	16,7	Pièces légèrement flexueuses ont également 2 ans de stock. Plus saines que celles du lot précédent
ELIEUX (M.-&M.) 257	30,4	59,0	110	5,30	63,2	16,7	Pièces très flexueuses et noueuses. Encore saines au moment des essais.

En résumé, le bouleau donne des résultats convenables :

- 1) si sa forme est bonne (ce qui est parfois difficile à réaliser),
- 2) s'il a été abattu hors sève et est devenu complètement sec tout en demeurant sain (stockage de 12 mois au plus après l'abattage).

Les provenances des sols siliceux semblent les meilleures. Les bois de montagne, à accroissements plus fins, sont plus résistants (si toutefois les autres conditions sont remplies).

12° FEUILLUS DIVERS (Provenances françaises)

Un grand nombre de feuillus ont fait l'objet d'essais: les uns sur échantillonnages importants (50 à 200 pièces),

Erable champêtre,
Erable sycomore,
Erable plane,
Merisier,
Tilleul,

les autres, sur petits lots, à titre de curiosité,

Alisier blanc,
Alisier torminal,
Cornouiller mâle,
Noisetier,
Saule.

A. — ÉRABLES

Les érables existent un peu partout en France. Les grands érables (plane et sycomore) sont montagnards mais descendent (ou ont été introduits) dans beaucoup de forêts de plaine. L'érable champêtre est plutôt une essence de plaines et collines en sol calcaire ou argileux. Nous n'avons pas fait d'essais sur l'érable à feuille d'Obier ni sur l'érable de Montpellier.

Les érables se distinguent comme suit, à l'état de bois de mine :

ÉRABLES	Ecorce	Bois
CHAMPÊTRE	très vite finement crevassée, liégeuse, douce au toucher, ocre brun en surface, brun jaune clair en dessous.	accroissements annuels marqués par une fine ligne de bois d'été jaune brun, fins rayons ligneux visibles à l'œil.
SYCOMORE	restant longtemps lisse, gris brun à brun verdâtre en surface, rouille clair en dessous, puis devenant écailleuse.	bois blanc à accroissements annuels peu marqués, fins rayons ligneux nacrés visibles à l'œil.
PLANE	restant longtemps lisse, jaune rougeâtre à brun clair en surface, ocre en dessous, puis devenant crevassée.	

Le résultats obtenus sont mentionnés ci-après :

I. **Érable champêtre***1^{re} Série*

BOIS ESSAYÉS EN FLEXION SUR 1 m

ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m

Flexion sur 1 m :

Charge maxima moyenne	0,890 t
Circonférence correspondante	23 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	21,1 kg

Flambement sur 1,60 m:

Charge maxima moyenne	10,35 t
Circonférence correspondante	30,3 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i>	142 kg
Provenances 8/9 et 28/29 (moyennes).	

Donc résistance en flexion bonne et passable en flambement. La résistance des bois secs est 50 % plus forte que celle des bois verts ou réhumidifiés. La cassure est lente avec les bois frais de coupe et les pièces sont souples. Les bois secs deviennent raides (pas d'avertissements à vue) et cassent brutalement. Peu ou pas de craquements avant rupture.

Si les bois sont abattus en sève ils s'échauffent dès la première année et leurs propriétés mécaniques s'anéantissent. Si les bois sont abattus hors sève, ils ne s'échauffent qu'au cours de la deuxième année de stockage.

2^e Série

BOIS ESSAYÉS EN FLEXION SUR 2 m A NANCY

Charge maxima moyenne	7,32 t
Circonférence correspondante	58,9 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i>	26,5 kg
Largeur des cernes	2,4 mm
Densité	0,628

Il s'agissait de bois sains, abattus hors sève, essayés après 10 mois de stock. Leur degré d'humidité moyenne était 24 %. Cassure en marche d'escalier sous 7 à 10 cm de flèche (voir fig. 97).

2. Érable plane

Lot essayé en flexion sur 2 m de portée à Nancy.
Provenance: forêt de Haye.

Charge maxima moyenne	7,24 t
Circonférence correspondante	60,2 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i>	25,1 kg
Largeur des cernes	2,6 mm
Densité	0,626

Bois *extrêmement raides*. Cassure sous 5 à 6 cm de flèche.
Rupture absolument brutale (voir figure 98).

A. — ÉRABLES

Les érables existent un peu partout en France. Les grands érables (plane et sycomore) sont montagnards mais descendent (ou ont été introduits) dans beaucoup de forêts de plaine. L'érable champêtre est plutôt une essence de plaines et collines en sol calcaire ou argileux. Nous n'avons pas fait d'essais sur l'érable à feuille d'Obier ni sur l'érable de Montpellier.

Les érables se distinguent comme suit, à l'état de bois de mine :

ÉRABLES	Ecorce	Bois
CHAMPÊTRE	très vite finement crevassée, liégeuse, douce au toucher, ocre brun en surface, brun jaune clair en dessous.	accroissements annuels marqués par une fine ligne de bois d'été jaune brun, fins rayons ligneux visibles à l'œil.
SYCOMORE	restant longtemps lisse, gris brun à brun verdâtre en surface, rouille clair en dessous, puis devenant écailleuse.	bois blanc à accroissements annuels peu marqués, fins rayons ligneux nacrés visibles à l'œil.
PLANE	restant longtemps lisse, jaune rougeâtre à brun clair en surface, ocre en dessous, puis devenant crevassée.	

Le résultats obtenus sont mentionnés ci-après :

I. Érable champêtre

1^{re} Série

BOIS ESSAYÉS EN FLEXION SUR 1 m

ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m

Flexion sur 1 m :

Charge maxima moyenne	0,890 t
Circonférence correspondante	23 cm
Charge maxima moyenne par cm ²	21,1 kg

3. **Érable sycomore**

Provenance: Colmar.

Essais en flexion sur 1 m:

Charge maxima moyenne	2,32 t
Circonférence correspondante	37,1 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	21,2 kg

Essais en flambement sur 1,60 m:

Charge maxima moyenne	18,5 t
Circonférence correspondante	44 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	120 kg

Comme précédemment, cassure absolument brutale, sans avertissement ni à vue, ni à l'ouïe.

Il semble bien que les érables doivent être rejetés pour l'utilisation en soutènement.

B. — **MERISIER***1^{re} Série*

LOT ESSAYÉ EN FLEXION SUR 1 m

ET EN FLAMBEMENT SUR 1,60 m

Flexion sur 1 m:

Charge maxima moyenne	1,100 t
Circonférence correspondante	25,7 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	20,9 kg

Flambement sur 1,60 m

Charge maxima moyenne	14,2 t
Circonférence correspondante	33,8 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	156 kg

Ces résultats sont bons, étant donnée la faible dimension des pièces. Quand les bois séchent, leur résistance par cm², en flexion, passe de 20 à 26 kg. Au bout d'un très long stockage, les bois abattus hors sève arrivent quand même à s'échauffer et leur résistance décroît (18 kg avec des bois réhumidifiés et un peu altérés).

Les graphiques de rupture en flexion ont une forme très spéciale qui pourrait presque servir de caractère d'identification. On observe plusieurs craquements successifs avec légère perte de charge puis reprise jusqu'à un nouveau maximum. Les bois avertissent

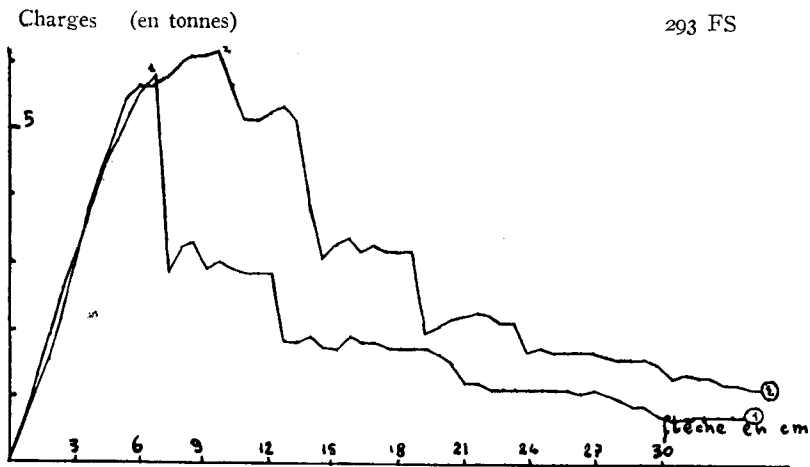


FIG. 97.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
N° 293.

Erable champêtre (Haye).

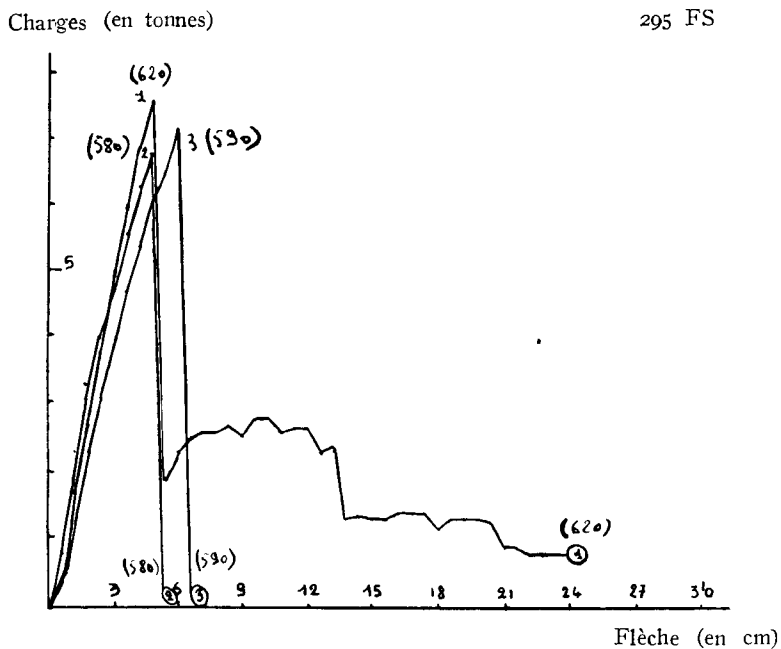


FIG. 98.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.
Essais : 4 et 5 octobre 1955.

Erable plane - Haye (M.-et-M.) - n° 295.

à vue (rupture sous flèche de 3 à 6 cm). Voir graphique de la figure 99.

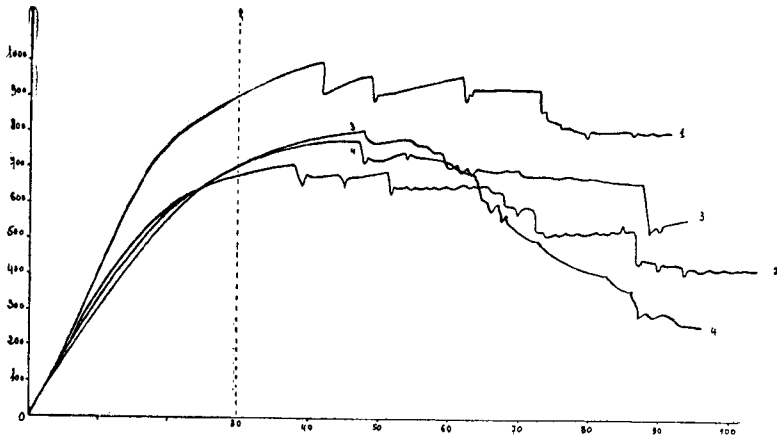


FIG. 99.

La rupture en flambement est également précédée par une flèche visible et s'accompagnant de nombreux craquements. Elle est rapide mais brutale. On constate parfois, au cours des essais, des décollements le long d'un plan diamétral avec brusque perte de charge.

2^e Série

PIÈCES ESSAYÉES EN FLEXION SUR 2 m
(Machine Trayvou)

Charge maxima moyenne	7,12 t
Circonférence correspondante	62,9 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	22,6 kg

La rupture se produit sous 6 à 9 cm de flèche. Elle est précédée de craquements très nets. Elle n'est pas très rapide.

C. — TILLEUL

Deux espèces existent (*Tilia cordata* Mill. et *Tilia platyphyllos* Scop.). Nos essais n'ont porté que sur la première espèce qui est assez répandue dans les forêts de plaine et plateaux sur sols calcaires ou argileux. Le tilleul donne des rejets vigoureux. Le bois des taillis de tilleul est utilisable en papeterie.

Un lot, provenant de la forêt de la Hardt, a été essayé en flexion sur 2 m et en flambement sur 2,50 m. Il a donné les résultats suivants :

Flexion:

Charge maxima moyenne	6,10 t
Circonférence correspondante	61,5 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	20,3 kg

Flambement:

Charge maxima moyenne	42,2 t
Circonférence correspondante	64,2 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	129 kg

Signes avertisseurs à vue très nets. Craquements discrets. Rupture rapide.

Le bois de tilleul de ce lot ne présente donc qu'un intérêt très médiocre comme bois de soutènement.

Le tableau 45 donne une récapitulation des résultats obtenus par les diverses essences feuillues

D. — AUTRES ESSENCES

En ce qui concerne les autres essences, nous n'avons pas procédé à d'autres essais que ceux qui ont été relatés en 1951 et que nous pouvons résumer comme suit :

1. ALISIER BLANC ET ALISIER TORNINAL

Essais en flexion sous 80 cm de portée.

Alisier blanc

Circonférence correspondante	20,8 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	18,8 kg
Allure de la rupture : brutale.	

Alisier torminal

Circonférence correspondante	25,2 cm
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	43,1 kg
Allure de la rupture : rapide.	

2. CORNOUILLER MALE ET NOISETIER

Essais en flexion sous 80 cm de portée.

Cornouiller

Circonférence correspondante	19,5 cm
Charge maxima moyenne	0,800 t
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	26,4 kg

Allure de la rupture: extrêmement lente, à partir de 8 cm de flèche.

Noisetier

Circonférence correspondante	24 cm
Charge maxima moyenne	1,100 t
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	21 kg

Allure de la rupture: souplesse extraordinaire, la rupture commence à partir de 9 ou 10 cm et elle est très lente.

3. ORME CHAMPÊTRE ET SAULE MARSAULT

Essais en flexion sous 80 cm de portée.

Orme

Circonférence correspondante	25 cm
Charge maxima moyenne	1,600 t
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	32,2 kg

Allure de la rupture: bois souple, rupture à partir de 7 cm de flèche et très lente.

Saule

Circonférence correspondante	24,5 cm
Charge maxima moyenne	0,970 t
<i>Charge maxima moyenne par cm²</i> ..	20,2 kg

Allure de la rupture: bois souple, rupture à partir de 8 cm de flèche, mais brutale.

Il s'agit là plutôt de curiosités. Ces bois ne présentent évidemment pas un gros intérêt comme bois de mine. Ils sont peu abondants en forêt (tout au moins sous la dimension de bois de mine).

Notons:

— le mauvais comportement des alisiers,

— l'excellent comportement de petits bois comme le cornouiller et le noisetier qui peuvent faire des queues très résistantes, on comprend leur utilisation en manchisterie ou pour faire des barreaux d'échelle),

— les qualités remarquables de l'orme qui, malheureusement, disparaît sous l'action d'une maladie grave (graphiose).

13° LE PALÉTUVIER

Un lot très important de palétuvier nous a été envoyé par l'Inspection de Dubreka en Basse-Guinée.

64 pièces ont été essayées en flexion sur 2 m et 36 en flambement sur 2,50 m.

Les résultats suivants ont été enregistrés :

Flexion:

Charge maxima moyenne	9,96 t
Circonférence correspondante	50,8 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	48,5 kg

Flambement:

Charge maxima moyenne	49,8 t
Circonférence correspondante	45,7 cm
Charge maxima moyenne par cm ² ..	300 kg

Voir graphique de rupture figure 100.

La densité à 15 % était de 1,050

Les résistances mécaniques sont donc extrêmement élevées. Elles constituent un véritable record. Les bois craquent avant rupture et surtout *pendant* la rupture. Celle-ci se produit en flexion sous 5 à 8 cm de flèche. Elle n'est pas brutale en flexion, mais elle est rapide en flambement donnant parfois une cassure éclatée.

Le poids de ce bois est un handicap pour l'emploi en soutènement, mais sa résistance mécanique est remarquable et sa conservation *après débit* est très bonne. A noter que quelques pièces étaient tarées sur pied.

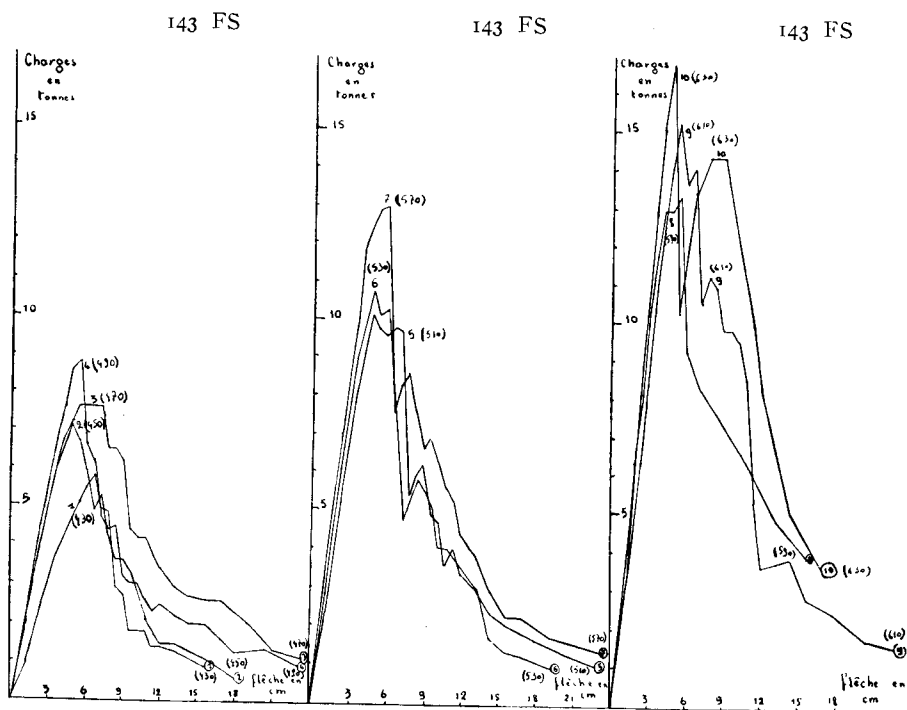


FIG. 100.

Essais en flexion statique - Laboratoire de Nancy (Trayvou) - portée: 200 cm.

Essais de décembre 1953 à juillet 1954.

Palétuvier - Guinée Française - n° 143.

TABLEAU 46

Essences	Provenances	Flexion sur 2 m			Flambement sur 2,50 m		
		CMN. cm2 (kg)	CC. (cm)	Observations	CMN. cm2 (kg)	CC. (cm)	Observations
Chêne commun	diverses	22,4	55/56	Bon état de conservation, signes avertisseurs à vue, défilage lent	169	55	Bon état de conservation. Craquements audibles avant rupture. Défilage lent
Chêne rouge	diverses	27,6	63	- 4 ^e -	172	62	- 4 ^e -
Châtaignier	diverses	19,8	49	Bon état de conservation. Avertissements à vue très nets. Défilage assez lent	144	48	Bon état de conservation. Flèche visible avant rupture. Défilage lent
Charme	FET. Hardt FLX. Goviller et Haye	20,2	56	Bois encore sains. Avertissements à vue nets. Cassure lente avec bois frais, rapide avec bois secs, brutale avec bois échauffés	187	59	Bois secs et sains. Avertissement à vue. Cassure lente avec bois frais, rapide avec bois secs, brutale avec bois échauffés
Hêtre	FET. Elieux Haye FLX. Elieux	18,2	66	Bois seulement partiellement échauffés. Rupture brutale sans signes avertisseurs	140	71	Bois partiellement échauffés. Pas de signes avertisseurs. Cassure brutale
Frêne	Haye	29,5	55	Bois sains. Grande souplesse. Défilage peu rapide			
Robinier	diverses	32,5	56	Bois sains. Signes avertisseurs à vue et à l'ouïe nets. Défilage lent	116	58	Bois sains. Avertissements à vue et à l'ouïe nets. Défilage assez lent
Tremble	diverses	13,2 à 17,5	57 à 66	Bois partiellement altérés. Signes avertisseurs à vue faibles, à l'ouïe nuls. Cassure rapide	80 à 123	56 à 67	Bois partiellement altérés. Signes avertisseurs à vue faibles, à l'ouïe nuls, cassure rapide.
Aune glutineux	Illwald	15,1	66	Bois peu altérés. Pas de signes avertisseurs. Cassure brutale	142	69	Bois peu altérés. Pas de signes avertisseurs. Cassure brutale
Bouleau	diverses	15,8	57	Bois peu altérés. Peu de signes avertisseurs sauf flèche. Cassure rapide	121	57	Bois peu altérés. Pas de signes avertisseurs. Cassure rapide
Erable champêtre	Haye	26,5	59	Bois encore sains. Cassure très rapide.			
Merisier	Haye	22,6	63	Bois sains. Signes avertisseurs existants. Cassure non rapide			
Tilleul	Hardt	20,3	61	Bois sains. Signes avertisseurs à vue nets. Craquements discrets. Rupture rapide	129	64	Bois sains. Avertissements à vue nets. Craquements discrets. Rupture rapide
Palétuvier	Guinée	48,5	51	Bois sains mais de forme médiocre. Craquements. Rupture non brutale	300	46	Bois sains mais de forme médiocre. Craquements. Rupture non brutale

TROISIEME PARTIE

CARACTÉRISTIQUES ET PARTICULARITÉS DES BOIS DE SOUTÈNEMENT autres que l'essence et la provenance, exerçant une influence sur les propriétés mécaniques

La résistance mécanique des bois de soutènement n'est pas seulement facteur de l'essence et de la provenance. Elle dépend aussi d'un certain nombre d'autres facteurs :

- Les caractéristiques dimensionnelles (diamètre, section, longueur ou portée),
- Les caractéristiques de forme (rectitude, cylindricité),
- Les anomalies (anomalies de structure ou de composition chimique).
- Le degré d'humidité,
- etc...

Certains lots, suffisamment importants, ont fait l'objet de recherches particulières au sujet des divers points ci-dessus. Mais ces recherches n'ont pas pu, faute de temps et de moyens, porter sur toutes les essences et toutes les provenances.

A. — INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES DIMENSIONNELLES

1° Généralités

Les bois de mine sont soumis, soit à des efforts axiaux, en compression parallèle aux fibres ou en flambement, soit à des efforts transversaux, en compression de flanc ou en flexion

a) Cas du flambement

La longueur des pièces soumises au flambement varie, en gros de 0,8 ou 1 m à 2 ou 2,5 m. Les pièces ayant de 12 à 20 cm de

diamètre, *l'élanement* (c'est-à-dire le rapport de la longueur à la plus petite dimension transversale — en l'occurrence le diamètre au fin bout) est généralement supérieur à 6.

La plupart de nos essais en flambement ont porté sur des pièces de 2,50 m de long et de 45 à 65 cm de tour (14 à 21 cm de diamètre), c'est-à-dire d'élanement compris entre 12 et 18.

Les essais de flambement, sur 1,60 m de longueur, ont porté sur des pièces de 8 à 15 cm de diamètre (élanement 10 à 20).

Les essais ont donc généralement été des essais *en flambement*, plus qu'en écrasement. La plupart des pièces ont fléchi et éclaté, au lieu de présenter la rupture classique de compression par foudroyage des fibres.

Le phénomène n'est donc pas simple et les lois et formules de la résistance des matériaux ne peuvent guère s'appliquer. Nous n'avons donc pas cru devoir faire des recherches relatives au module d'élasticité longitudinale (module d'Young).

La charge dépasse rapidement la charge minima susceptible de provoquer le flambement, et qui est donnée par la formule d'Euler:

$$F = \frac{\pi^2 E I}{l^2}$$

E étant le module d'élasticité longitudinal,

l la longueur de la pièce entre plateaux,

I le moment d'inertie de sa section transversale par rapport à un axe Ox, passant par le centre de la section et correspondant à la direction de la flexion possible,

$$\pi^2 = 9,8696$$

Les pièces n'étant pas encastées, dans le cas de nos essais, la fibre moyenne n'est pas assujettie à conserver, à ses extrémités, une direction fixe. Les pièces se sont donc cintrées, généralement en forme de C majuscule avant de flamber. Le cas de l'encastrement à une extrémité devrait être étudié en adaptant sur les machines un appareillage spécial et en adjoignant à la formule d'Euler un coefficient approprié au mode d'encastrement ($m = 2$).

Pour écrire que cette charge critique par unité de section est inférieure à la charge de sécurité admise par les pièces courtes, on peut faire appel à la formule de Rankine. Mais nous n'avons pas eu le temps d'orienter nos recherches dans ce sens.

Par ailleurs, la compression ne s'est pas toujours exercée dans un sens absolument axial, les sections n'étant pas rigoureusement perpendiculaires à l'axe des pièces et les machines d'essais ne possédant pas toutes (sauf la machine Trayvou de Nancy) des dispositifs permettant à la pièce de se placer exactement dans le sens

de l'effort. Il y a donc eu de légères *compressions obliques* génératrices d'effets de cisaillement qui viennent compliquer les phénomènes de rupture. Avec des bois fissiles, comme le châtaignier, le robinier et le chêne, ceci a amené certaines anomalies de rupture. Même observation avec des bois à couches annuelles mal soudées, comme le douglas.

b) Cas de la flexion

Les essais en flexion ont été ceux d'un corps à fibre moyenne et à section constante ou progressivement variable. Les « fibres » du corps étant ici en gros les alignements des fibres anatomiques du bois.

Les essais faits dans les divers laboratoires peuvent être assimilés au cas d'une pièce rectiligne reposant sur deux appuis et soumise en son centre à une force unique appliquée en un point. Ceci simplifie le problème dans un certain sens, mais cela aggrave l'effort tranchant. Cependant, les cas de pièces encastées aux deux extrémités (chapeaux et rallonges coincés entre les montants et le toit) ou placées en porte à faux (queue placée au-dessus de la rallonge, entre le toit et poussée progressivement vers le front de taille) mériteraient également d'être étudiés.

Comment appliquer les formules classiques de la théorie de la flexion au cas de nos expériences et calculer le moment fléchissant dans la section médiane de l'effort tranchant à ce niveau.

La formule classique est :

$$M = Rf \frac{i}{v}$$

M étant le moment fléchissant dans la section considérée,

Rf la contrainte maximum admissible,

$\frac{i}{v}$ le module de flexion.

L'anisotropie du bois rend difficile son application. Monnin a

proposé de remplacer $\frac{i}{v}$ par $\frac{1}{6} bh^n$, où b et h représentent les

dimensions de la section de la pièce, perpendiculairement au sens de l'effort et dans le sens de l'effort, et où l'exposant n est un « coefficient de forme » tenant compte de la qualité technologique du bois. Pour un bois de mine cylindrique, on aurait :

$$\frac{i}{v} = \frac{1}{6} d^2 d^{n-1}$$

La valeur des contraintes admissibles, et l'application aux bois, ont fait l'objet de recherches poussées au Laboratoire central d'essai des bois, de Paris et ont conduit à la rédaction de la norme NF B 52-001 à laquelle on pourra se reporter.

En matière de flexion statique, pour comparer les résistances offertes par des pièces sur portées différentes, ou pour comparer les résultats donnés par des pièces de diamètre différents, on calculera à chaque fois, à partir de la charge de rupture P le chiffre de fatigue tiré de la formule :

$$F_h = \frac{3 P L}{2 b h^3}$$

où

P est la charge de rupture,

L la portée,

$b = h =$ diamètre de la pièce (si elle est circulaire),

$n =$ un coefficient de « forme », dont nous reparlerons plus loin.

F_h pourra être ramené au degré d'humidité 15 en appliquant la formule :

$$F_{15} = F_h [1 + c' (H - 15)]$$

où H est le degré d'humidité,

et c' un coefficient de « tenue à l'humidité » qui, dans la gamme des degrés d'humidité enregistrée au cours des essais (15 à 30 %) et de l'ordre de 0,02 à 0,03 (voir plus loin).

F. CRESTIN donne, dans son cours de résistance des matériaux, les diagrammes de répartition des contraintes dans les pièces fléchies.

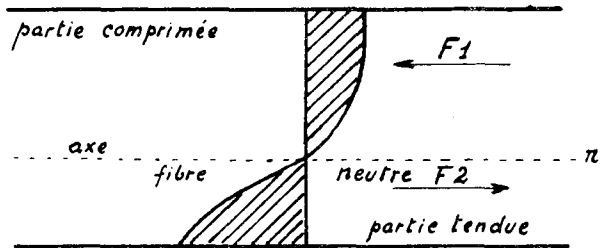


FIG. 101.

Diagramme de répartition des contraintes dans les pièces fléchies.
(d'après F. CRESTIN.)

Au début de la mise en charge, pendant la période élastique, le bois suit, en gros, la loi de Hooke et la répartition est linéaire. Puis la pièce fléchit, la courbe des répartitions (voir figure 101) comporte deux parties distinctes, non symétriques. En particulier, du côté comprimé (effort sous lequel le bois résiste moins bien qu'en tension), la valeur des contraintes est deux fois plus faible environ dans la fibre la plus comprimée que dans la fibre la plus tendue.

Les deux contraintes s'équilibrant, les surfaces des deux parties du diagramme sont équivalentes et la fibre neutre descend vers la partie tendue.

On voit très bien cela en sciant en deux par le plan de flexion les pièces rompues.

2° Résultats

a) Cas du flambement

Nos essais sur 1,60 m de longueur ont malheureusement porté sur des pièces de diamètre très différent de celui des pièces essayées sur 2,50 m. Il ne s'agissait pas exactement des mêmes catégories de bois de soutènement.

Pratiquement, pour la même provenance et au même degré de siccité, nous avons obtenu sur 2,50 m de longueur et avec des pièces de 50 à 60 cm de tour, la même résistance par cm^2 qu'avec des pièces de 26 à 30 cm de tour sur 1,60 m de longueur.

Nos échantillonnages n'étant pas assez importants pour que nous puissions y débiter des pièces de 1,60 m de longueur, de même grosseur que les pièces de 2,50 m, nous n'avons donc pas pu faire des recherches systématiques et complètes à ce sujet.

Il ne nous est donc pas possible d'indiquer l'influence exercée en flambement par la *longueur* des pièces. Il y a là une lacune à combler.

Par contre, nous avons fait quelques recherches sur l'influence de la *grosseur*. Le graphique de la figure 102 montre un type d'étude de corrélation faite avec le pin maritime. Malgré le grand nombre de pièces essayées, on ne peut pas prouver l'existence d'une corrélation entre la surface de la section et la résistance au flambement par cm^2 . Dans la gamme des circonférences étudiées (39 à 66), il y a proportionnalité entre la résistance d'une pièce et sa section. La charge de rupture par cm^2 peut être simplement calculée en divisant la charge de rupture moyenne totale par la section. Un coefficient de tenue à l'humidité peut être calculé (voir plus loin) pour ramener ce chiffre au degré d'humidité 15 et comparer les lots entre eux. Ce coefficient, en compression, est de l'ordre de 4 % (3 à 5 suivant essences) dans la gamme des degrés d'humidité correspondant à nos essais (15 à 30 %).

ETUDE DE CORRELATION
 Charge maxima par cm^2 en flambement et section.
P_m maritime - Laboratoire de Sarrebrück

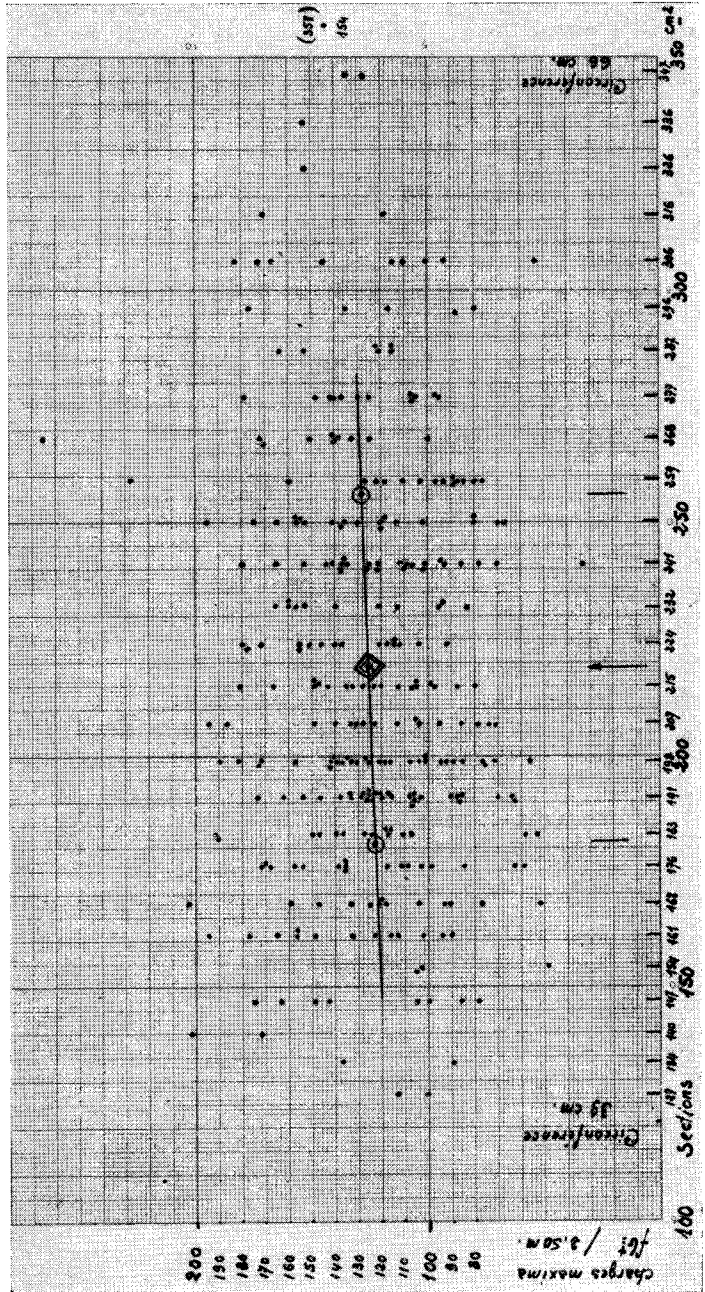


FIG. 102.

La figure 103 représente le diagramme de répartition des charges par cm^2 supportées par les pièces faisant l'objet de l'étude de corrélation de la figure 102.

Il ne semble pas que la règle de proportionnalité soit valable en dehors des limites indiquées ci-dessus. Avec les pièces de faibles dimensions, l'élançement devient très fort, les hétérogénéités fatales du bois (nœuds, fentes, etc...) jouent un rôle considérable et la résistance par cm^2 décroît fortement.

De même, avec les grosses pièces, l'élançement diminue et l'on tend vers la compression pure avec, vraisemblablement, une augmentation de la résistance par cm^2 .

Mais ce ne sont que des hypothèses, qu'il faudrait vérifier avec des échantillonnages comportant une gamme de diamètre plus étendue que celle des lots qui ont fait l'objet de nos essais.

b) Cas de la flexion

L'influence de la portée a pu être mise en valeur par certains essais effectués, sur la même machine, avec des bois de la même provenance, et à siccité égale, les uns sur 2 m et les autres sur 1 m de portée.

Il y a proportionnalité entre les résultats. Pour plusieurs lots de pin maritime par exemple, nous avons trouvé une proportionnalité de 52 % entre les bois essayés sur 2 m et ceux essayés sur 1 m.

Mêmes résultats pour d'autres essences: pin sylvestre, pin noir, pin à crochets, châtaignier (proportionnalité comprise entre 49 et 56).

Dans la formule destinée à calculer la fatigue de rupture en flexion, avec correctif Monnin, présentée plus haut, la portée n'intervient, on le sait, qu'avec l'exposant un.

On peut d'ailleurs l'écrire:

$$P = F_b \times \frac{1}{L} \times \frac{2}{3} b h^n$$

si on veut déterminer une résistance probable en fonction de F_b et de la portée choisie.

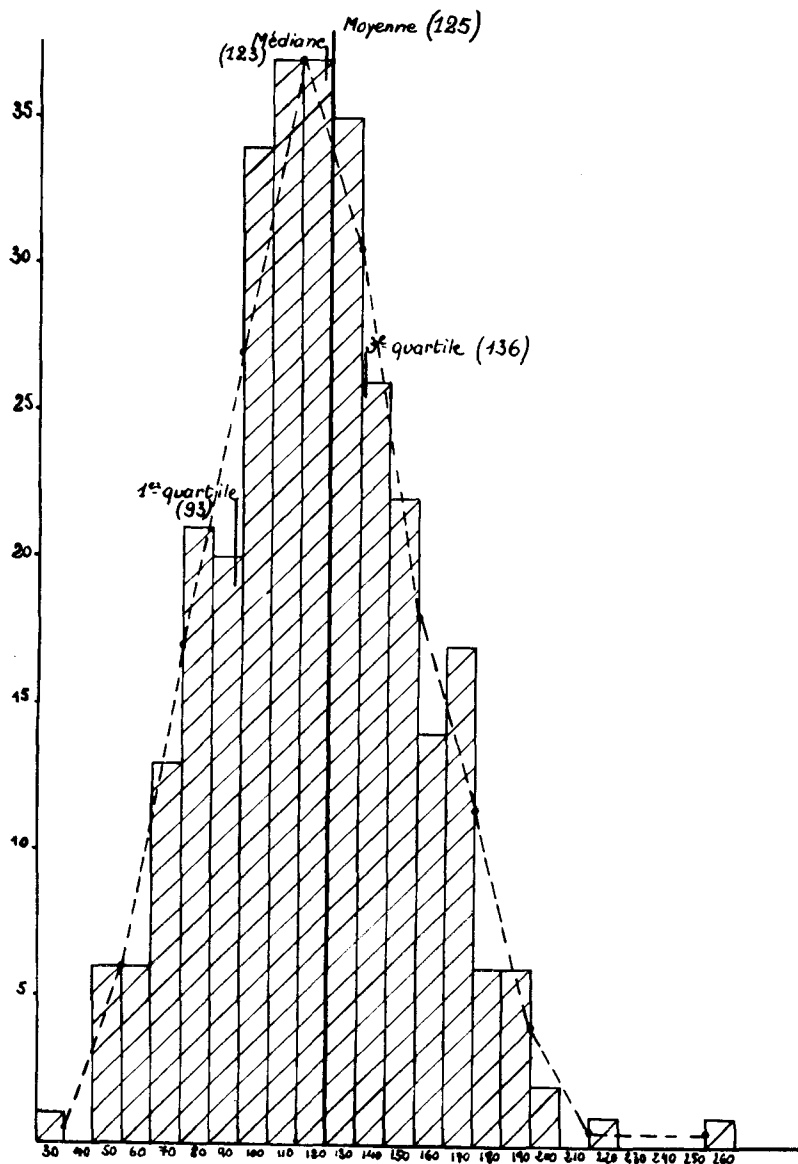
L'influence de la grosseur est beaucoup plus difficile à tirer au clair.

Le graphique 104 représente une étude de corrélation entre la charge par cm^2 , en flexion, sur 2 m de portée et la section des pièces essayées (pin maritime, essayés à Nancy).

Bien que la gamme des essais soit assez étendue (de 121 à 347 cm^2 de section — 39 à 66 cm de tour), on ne trouve qu'une corrélation assez faible de l'ordre de 10 %. Ceci n'est pas très concluant.

La même corrélation calculée sur l'ensemble des pièces de châtaignier essayées en flexion sur 2 m à Nancy donne également une

Nombre
de résultats



Charges par cm² en kg

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.

ETUDE DE CORRELATION
 Charge maxima par cm^2 en flexion sur 2 m et section.
Pin maritime - Laboratoire de Nancy (Trayvou).

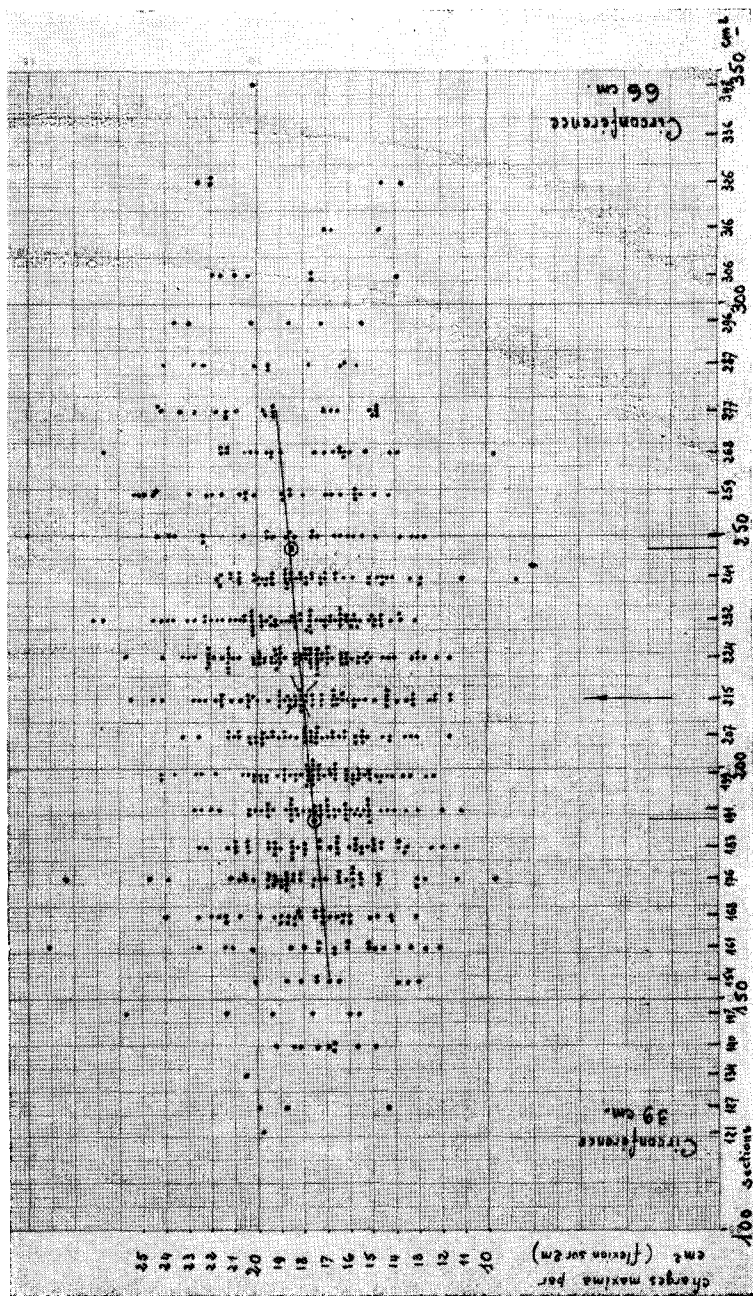


FIG. 104.

valeur de 10,6 %. Par contre, pour 133 pièces de chêne, essayées de la même manière, nous n'avons trouvé qu'une corrélation de 5,1 %.

La formule citée plus haut :

$$P = F_h \times \frac{1}{L} \times \frac{2 b h^n}{3}$$

devient, dans le cas d'une pièce cylindrique, de diamètre d et section s :

$$P = F_h \times \frac{1}{L} \times \frac{2 d^2 d^{n-1}}{3} = F_h \times \frac{1}{L} \times S \times \frac{8}{3\pi} \times d^{n-1}$$

Pour obtenir une relation de 100 % entre la résistance et la section, il faudrait, pour une section égale à la section moyenne du lot de pièces de pin maritime essayées ($d = 17$ cm), que l'exposant

$$n = \frac{6}{5}$$

Voici, dans les limites des diamètres expérimentés, les valeurs de $\frac{8}{3\pi} d^{n-1}$ pour différentes valeurs de n :

n	$\frac{8}{3\pi} d^{n-1}$ pour $d =$		
	13 cm	17 cm	22 cm
10/6	3,52	4,21	5,0
8/6	1,50	1,64	1,78
6/5	1,06	1,12	1,18

L'exposant $n = \frac{10}{6}$ est généralement appliqué aux bois sans défaut et $n = 8/6$ aux bois comportant des défauts importants.

Il serait utile de procéder à des essais systématiques sur des lots nombreux comportant des pièces de diamètre croissant pour calculer avec précision cet exposant n pour les principales essences.

Ceci permettrait de tirer au clair l'observation faite au sujet des petits bois.

En effet, la résistance par cm^2 , sur un m de flexion, de petites pièces de 25/34 cm de tour est à peu près la même que celle des grosses pièces de 45/64 *mais sur 2,50 m de portée*, quelles que soient les essences.

Malheureusement, nous n'avons pas eu d'échantillonnages assez nombreux ni de temps suffisant pour essayer, sur une portée unique, toute la gamme des grosseurs, de 25 à 64 cm de tour.

B. — INFLUENCE DE LA FORME

Beaucoup d'essais ont mis en relief l'influence des défauts de forme.

Ces défauts sont :

la flexuosité : à flèche simple ou en S,
la conicité (défaut particulièrement sensible en flambement),
le méplat (défaut particulièrement sensible en flexion).

1° Flèche simple

Les cahiers des charges excluent en général les pièces de flèches supérieures à 3 cm par mètre.

Nous avons repéré au passage des pièces qui présentaient une flèche plus élevée et nous les avons comparées avec des pièces de flèche admissible.

La résistance en flexion est légèrement diminuée, mais l'écart est faible. Les inconvénients de pièces flexueuses, dans ce domaine, sont l'augmentation des difficultés de mise en œuvre et la disparition du signe avertisseur à vue (qui est alors donné avant que le bois soit mis en charge).

En flambement l'influence est parfois élevée.

Nous avons observé, pour différents lots de sapin, 10 à 15 % de réduction de la résistance par rapport aux pièces normales et, pour des pins, 13 à 21 %. A noter que chez le pin la flexuosité va généralement de pair avec la conicité et les gros nœuds, défauts qui viennent encore accentuer cet écart.

Chez les feuillus, la flexuosité est généralement très fréquente sauf chez le châtaignier provenant de taillis vigoureux.

Les écarts entre bois anormalement flexueux et bois admissibles sont également de l'ordre de 15 %, toutes choses égales par ailleurs.

Les inconvénients de la flexuosité, déjà signalés quant à la mise en œuvre et aux signes avertisseurs à vue, existent aussi pour les pièces placées verticalement et soumises au flambement.

2° Flèche en S

Mêmes remarques que précédemment en ce qui concerne la flexion.

En flambement, une courbure en S, à partir de 3 % pour chacune des flèches, présente de sérieux inconvénients. La résistance est réduite de 13 à 29 %, suivant l'importance et la répartition des deux flèches.

A noter que, comme dans le cas précédent, la diminution de la résistance est d'autant plus grande :

- a) que la ou les flèches sont prononcées,
- b) que l'élanement des pièces est grand.

Par exemple, pour un lot de pin sylvestre dont les pièces présentaient un élanement de 12 à 16, la perte de charge pour les pièces en S allait de 13 à 25 %.

3° Conicité

La conicité maxima admise est, en général, de 1 cm par mètre sur le diamètre. Certaines pièces essayées présentaient une conicité de 2 ou 2,5 cm, sur le diamètre, par mètre de longueur. Nous les avons observées spécialement.

En flexion, ce défaut ne joue généralement pas. La pièce (soumise à un effort au milieu) continue à se rompre à ce niveau. Toutefois si l'effort s'exerçait au niveau du fin bout, la résistance serait diminuée.

En flambement, par contre, l'influence est considérable. Les pièces s'écrasent ou flambent très nettement du côté du fin bout.

Nous avons noté, pour divers lots de pin sylvestre, une réduction de la résistance de l'ordre de 15 à 20 %. La réduction atteint 20 % pour une conicité de 2,5 cm. Mêmes observations avec les épicéas de Sitka et des billes de pied de châtaignier.

4° Méplat

Nous n'avons pas eu l'occasion de chiffrer l'influence d'une section méplate dans le cas du flambement.

En flexion, les pièces méplates sont, dans la pratique, pour des raisons de commodité, généralement placées à plat, leur plus grande largeur horizontalement. Nous avons fait de même au laboratoire.

La réduction de la résistance est énorme. Pour un lot de pin sylvestre dont plusieurs pièces présentaient ce défaut, nous avons noté une réduction de 18 %. Mais le nombre de lots présentant ce défaut n'étant pas assez nombreux pour que cette observation soit étudiée mathématiquement. L'influence d'un méplat sur la résistance en flexion est, toutefois, facile à comprendre.

Ceci est également important pour les pièces qui sont refendues en deux par un plan axial avant d'être utilisées dans la mine et mériterait une étude systématique.

C. — INFLUENCE DES ANOMALIES

Les bois comportent, malheureusement, un grand nombre d'anomalies :

les unes, intéressant la *structure* du bois, sont appelées *défauts*, les autres, intéressant la *composition chimique*, sont appelées *altérations*.

Il y a des particularités et des anomalies *fatales*, qui tiennent à la structure et à la croissance des arbres :

- l'hétérogénéité à l'intérieur des accroissements annuels,
- les différences entre le cœur et l'aubier,
- la présence de nœuds,
- la présence de constituants exceptionnels du bois : tannins, résines, matières colorantes, etc...

D'autres anomalies sont *accidentelles*.

Certaines se produisent *pendant la vie de l'arbre* :

— anomalies de structure résultant d'une anomalie de l'assise cambiale, irrégularités d'orientation du fil du bois (fibre torse, contre-fil, fibre ondulée, cœur ondulé, etc...),

- fentes de cœur,
- gélivures,
- roulures,
- blessures et corps étrangers,
- cœur coloré, lunure,
- altérations et attaques d'insectes,
- etc...

D'autres se développent *pendant et après le façonnage* :

- fentes d'abattage,
- fentes de dessiccation,
- échauffures, pourritures et attaques parasitaires.

Nous n'avons pas eu l'occasion d'étudier toutes ces anomalies. Certaines d'ailleurs n'ont qu'une importance relative, à l'âge des arbres dont on tire les catégories de bois utilisées pour le soutènement.

Certaines au contraire sont graves, fréquentes, *évitables* et méritent de retenir l'attention.

1° La question des couronnes de nœuds

La présence de nœuds est un des principaux griefs qu'on adresse au bois. Les nœuds résultent de la trace, à l'intérieur du bois du fût, des branches qui, tout d'abord servent à la nourriture et à la croissance de l'arbre, puis s'étiolent sous le couvert de la cime, sèchent, meurent, pourrissent et tombent (parfois très longtemps après leur mort).

Cet inconvénient, grave pour le bois d'œuvre, peut être réduit par la sélection d'espèces à branches fines, l'observation de règles culturales favorisent l'élagage naturel (jeunes peuplements laissés denses, création d'un sous-étage) et surtout, par la pratique de l'élagage artificiel.

Mais la sélection de types à branches fines, en France n'en est qu'à ses débuts (débuts prometteurs il est vrai) et la pratique de l'élagage artificiel n'est qu'une exception. L'élagage naturel est favorisé au maximum dans les forêts soumises mais il est toujours *tardif* (à ce moment-là les bois sont plus gros que les bois de mine) et il est souvent mauvais (avant de tomber, les branches pourrissent et des tares parfois graves en résultent).

Quelle influence les couronnes de nœuds ont-elles sur la résistance mécanique des bois?

Chez les résineux, les nœuds se présentent généralement en verticilles successifs. Nous avons noté 3 à 8 verticilles sur les surbilles de 2,50 essayées. Certaines billes de pied ne présentaient pas de nœuds apparents (souvent parce qu'elles avaient été élaguées artificiellement). Chez les feuillus (sauf le peuplier), les nœuds sont répartis le long de la tige et non groupés en couronnes.

a) *Cas des résineux.*

Chez les résineux, l'épicéa et le sapin possèdent des verticilles assez nets, à l'état de bois de mine mais, quand il s'agit de provenance de montagne, les nœuds sont généralement petits. Certains lots, signalés dans la II^e Partie, doivent leurs bons résultats à cette circonstance.

Les pins de races de plaines ont des grosses branches, donc des gros nœuds, qui diminuent gravement leur résistance. Ceci a déjà été exposé.

Nous avons séparé, dans certains lots, des pièces qui présentaient de fortes couronnes de *gros nœuds*, alors que les autres étaient normales.

En flambement, sur 2,50 m, la résistance est réduite de 5 à 10 % chez le sapin, l'épicéa et le douglas (suivant grosseur des nœuds et élancement des pièces), de 10 à 15 % chez le pin sylvestre et le maritime, etc..

En flexion (surtout si l'effort se produit sur une couronne), la réduction est de 12 à 18 %.

Avec des nœuds petits (moins de 2 à 3 cm), en flambement, la diminution de résistance est nulle. Parfois même, en particulier chez les bois fissiles ou cisillables, les nœuds de faible diamètre augmentent légèrement la cohésion et la résistance.

La pratique de l'élagage artificiel *chez les arbres à grosses branches* et à élagage naturel difficile (résineux cultivés en dehors de leur aire) augmente la résistance des pièces.

En outre, le nerf est augmenté. Au lieu d'éclater, les pièces se défibrent progressivement. La sécurité est accrue.

b) *Cas des feuillus.*

Nous n'avons pas eu l'occasion de faire beaucoup d'observations sur les feuillus, les pièces ne présentant généralement pas de gros nœuds. Toutefois, nous avons noté chez certains lots de châtaigniers (voir II^e Partie) une diminution de la résistance moyenne due à la présence de nœuds, dans des lots qui avaient crû, peu vigoureusement, sous le couvert de réserves.

2° La fibre torse

Plusieurs lots de pin sylvestre présentaient des pièces à fibre torse caractérisée (angle de plus de 15° par rapport à l'axe).

Ces pièces présentant une résistance *considérablement plus faible* que les pièces de droit fil.

En flambement, nous avons noté 28 à 40 % de réduction suivant grosseur des pièces. En flexion, nous avons noté 20 à 30 %. Les pièces ayant ce défaut s'écrasent ou s'étirent comme des ressorts et, en outre, tournent sur elles-mêmes pendant la mise en charge, ce qui peut amener un déboîtement des assemblages.

Il y a là un point qui mérite attention et un défaut à proscrire sévèrement.

3° Les fentes

Les fentes sont généralement (à la grosseur des bois de mine), soit des fentes d'abattage (perche poussée par le bûcheron pour hâter la chute alors qu'elle est incomplètement coupée) ou de façonnage (bois tronçonnés en utilisant un porte à faux pour empêcher les lames de coincer), soit des fentes de séchage (pièces écorcées empilées en plein soleil).

Chez les bois fissiles (châtaignier, robinier, chêne) ou cisailables (douglas), ces fentes constituent des amorces d'éclatement par un plan axial ou tangentiel. (Voir II^e Partie). Il y a lieu d'attacher une certaine importance au cours des réceptions à l'élimination des pièces fendues, surtout pour l'emploi en flambement sous charges élevées.

4° Le degré d'humidité

Le degré d'humidité mesure les variations de la teneur en eau au cours du stockage.

Cette teneur en eau est très forte au moment de l'abattage (elle dépasse largement 100 % chez les bois tendres).

Elle diminue très rapidement pendant les six premiers mois de

stockage, surtout si cette période de stockage coïncide avec les mois d'été.

Puis, le degré d'humidité s'élève à nouveau pendant l'hiver qui suit et redescend à partir du printemps suivant, etc... Si le bois reste sain, le degré d'humidité tend, au cours du deuxième été, vers un état d'équilibre avec les conditions extérieures (13 à 15 %, suivant essences et grosseur des pièces) et à partir du deuxième hiver, vers un second état d'équilibre un peu plus élevé, correspondant aux conditions extérieures hivernales (18 à 24 %).

Mais il arrive aussi que les bois ne restent pas sains. Leur reprise d'eau en hiver est alors plus forte et leurs propriétés mécaniques s'anéantissent.

Nous avons observé, chez de nombreuses essences, l'influence des variations du degré d'humidité sur les propriétés mécaniques, *les bois restant sains* et nous avons essayé de chiffrer ces variations.

Par exemple, sur divers lots de pin sylvestre, nous avons noté, entre l'équilibre estival (13 %) et l'équilibre hivernal (24 %) une baisse de la résistance *en flambement* de 40 à 57 % soit 3,6 à 5,2 % en moins, par degré d'humidité.

Nous avons trouvé de même 2 à 3 % avec le douglas, 3 à 4 % avec le sapin et l'épicéa, 4 à 5 % avec le mélèze de basse altitude et les feuillus (chêne, charme, châtaignier), 5 à 6 % avec le pin noir, etc...

Mêmes remarques en flexion :

- sapin, épicéa, mélèze, douglas : 2 %
- charme, chêne, châtaignier : 2 à 3 %
- pin sylvestre et pin noir : 3 à 4 %.

On peut utiliser ces *coefficients de tenue à l'humidité* pour calculer la résistance probable, à un degré d'humidité donné, *de lots de bois restés sains*.

Il est très important de connaître le degré d'humidité des pièces au moment des essais pour pouvoir comparer sans erreur des essences ou des provenances diverses.

Dix pour cent de différence d'humidité entre deux lots ont plus d'importance qu'une différence d'essence ou de provenance. Voir figures 105, 106 et 107.

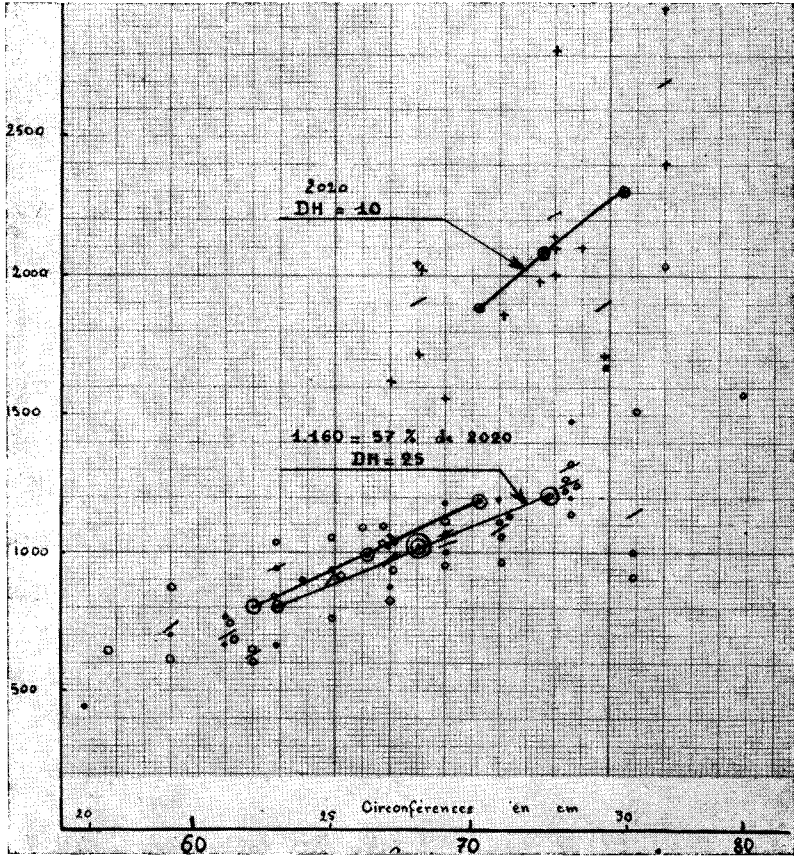
5° Les échauffures

Certaines essences s'échauffent sous l'action de divers champignons (en particulier des *stereum*) et perdent leurs qualités mécaniques.

C'est le cas du hêtre, du charme, des aunes, du bouleau, de l'ailante, du tremble, etc...

Les bois abattus au moment de la montée de sève s'échauffent

Charges (en kg)



Sections (en cm²)

FIG. 105.

Influence de l'humidité.

Pin sylvestre Champagne n° 36. — Bois abattu en été 1950.

Essais en flexion statique sur 1 m

Laboratoire de Nancy (Amsler).

- 4/52 DH 25
- + 8/52 DH 10
- o 11/52 DH 25

Charges (en kg)

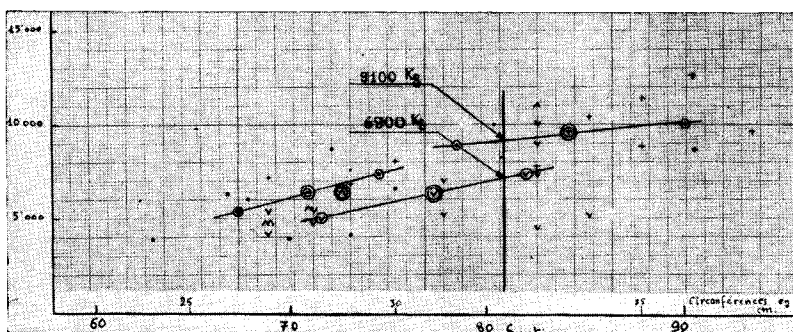
Sections (en cm²)

FIG. 106.

Chêne - Amance (22/23) - Abattage 6/49 et 2/50.
Essais en flambement sur 1,60 m.
Laboratoire de Nancy (Trayvou)

△ 5/50
· 5/51
+ 9/51 DH 10/16
v 11/52 DH 18/24.

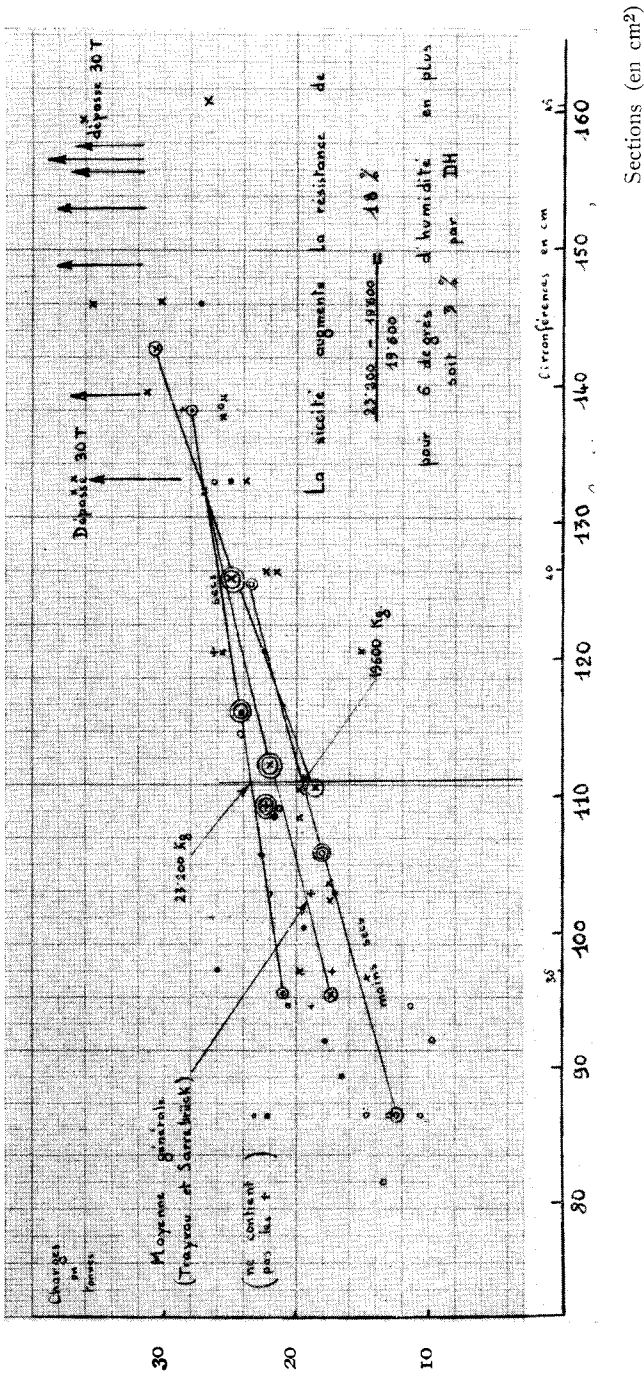


FIG. 107.

Influence de la siccité sur la résistance mécanique des bois.
(Douglas essayés en flambement sur 1,60 m)

- + bois secs après neuf mois de stock.
- ° bois ayant repris de l'humidité et essayés en hiver.
- × bois secs ayant 2 ans de stock.

dans l'été qui suit leur abattage. Les bois abattus en hiver peuvent parfois se conserver jusqu'au second été qui suit leur abattage, mais finissent quand même par s'échauffer.

Nous avons noté, par exemple, les variations suivantes de résistance par cm^2 pour un lot de charme abattu *en hiver* (décembre 1949 et janvier 1950).

	Charge maxima moyenne par cm^2 flambement sur 1,60 m	%
Trois mois après l'abattage (printemps 1950).	111 kg	100
Huit mois après l'abattage (été 1950)	165 kg	149
Vingt mois après l'abattage (été 1951)	170 kg	153
Deux ans après l'abattage (hiver 1951)	125 kg	112
Trois ans après l'abattage (hiver 1952)	89 kg	80

A noter que les bois, abattus dans de bonnes conditions, soigneusement séchés et stockés n'étaient que peu altérés.

Par contre un lot, abattu *en mars* 1950, a fait l'objet d'essais successifs, en particulier en août 1950 (bois encore sains) et en août 1952 (bois échauffés). La différence de résistance par cm^2 , en flexion sur 1 m, était de 19,1 kg (11,8 contre 30,9) soit 60 % en moins.

Nous avons abattu des lots de charme dans la même parcelle pendant 2 ans et demi, tous les mois (et même tous les 15 jours pendant la période de sève). La moitié des pièces a été essayée après un an de stock et le reste après deux ans.

Après un an de stock :

Tous les lots abattus entre août et janvier ont une résistance par cm^2 de l'ordre de 25 à 35 kg. Tous ceux abattus entre février et juillet ont une résistance de 15 à 25.

Après deux ans de stock, la résistance des lots abattus de fin février à fin juin tombe à 10 kg par cm^2 et même en dessous de 10.

Au bout de deux ans, des lots abattus en automne et au début de l'hiver ont bien meilleur aspect que des lots abattus en sève *l'année suivante*.

Entre les lots abattus début février et ceux qui sont abattus fin février, il y a, *au bout d'un an*, une différence de résistance par cm^2 de 9 kg (28 contre 19). Mars est le mois le plus mauvais (15 à 16 kg). Entre juillet et octobre, il y a une différence de 6 kg (21 contre 27).

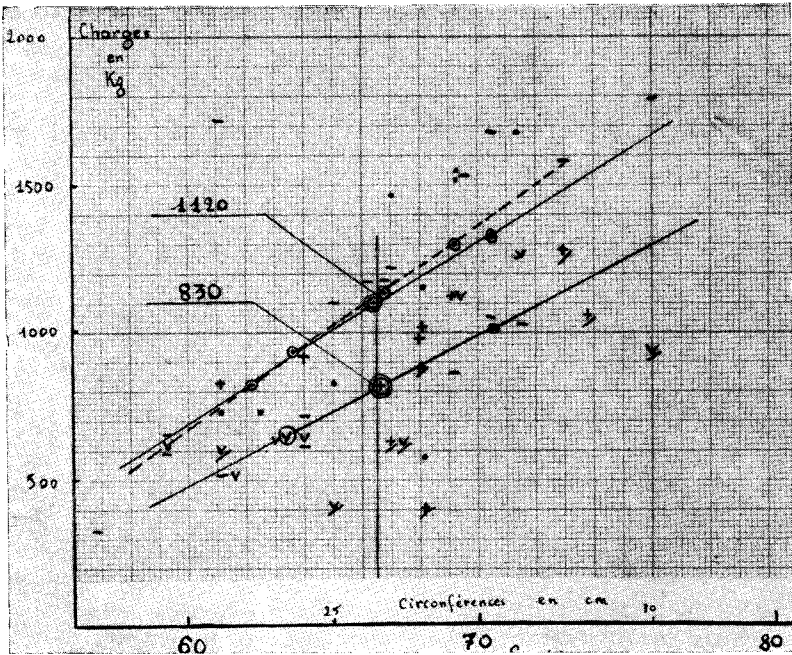
Même observation chez le bouleau. Entre un lot sain (mais qui était de qualité de forme médiocre) et un lot échauffé (de forme

identique), la différence de résistance par cm^2 , en flambement, est de 58 kg (109 contre 51). L'échauffement fait perdre aux pièces plus de 50 % de leur résistance.

Nous avons déjà attiré l'attention sur ce point dans la II^e Partie à propos des diverses essences échauffables.

Voir aussi, fig. 108.

Il y a là une grave sujétion qui entraîne la nécessité d'abattre les coupes en bonne saison et rapidement, et de façonner les bois pour hâter au maximum leur séchage et favoriser leur conservation. Ceci est également un des sujets d'études de la 4^e Section de la Station de Recherches Forestières de Nancy.



Sections (en cm^2)

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.

CONCLUSION

Les propriétés mécaniques des bois sont donc soumises à l'influence d'un grand nombre de facteurs de variations :

- l'essence,
- la station,
- le mode de traitement,
- les anomalies fatales ou accidentelles qui se développent dans l'arbre sur pied ou dans la pièce de bois après façonnage,
- le degré d'humidité au moment de la mise en charge.

Il n'est pas possible avec le bois de calculer *exactement* la charge totale que pourra supporter une pièce de section et de forme données.

On peut connaître seulement la *probabilité* pour que la charge par cm^2 soit supérieure à une valeur donnée ou comprise entre deux limites données.

Les courbes portées sur la figure 109 donnent, pour un cas particulier, le diagramme de distribution des charges par cm^2 en flambement sur 2,50 m de longueur.

Malgré les nombreux facteurs de variation exposés ci-dessus, ces diagrammes de distribution se rapprochent sensiblement des courbes de Gauss et présentent donc un intérêt pratique.

Le bois est donc un matériau difficile mais non impossible à connaître. On est même étonné, au cours d'essais comme ceux qui viennent d'être exposés dans cette étude, de constater que la dispersion entre les résultats n'est pas plus grande.

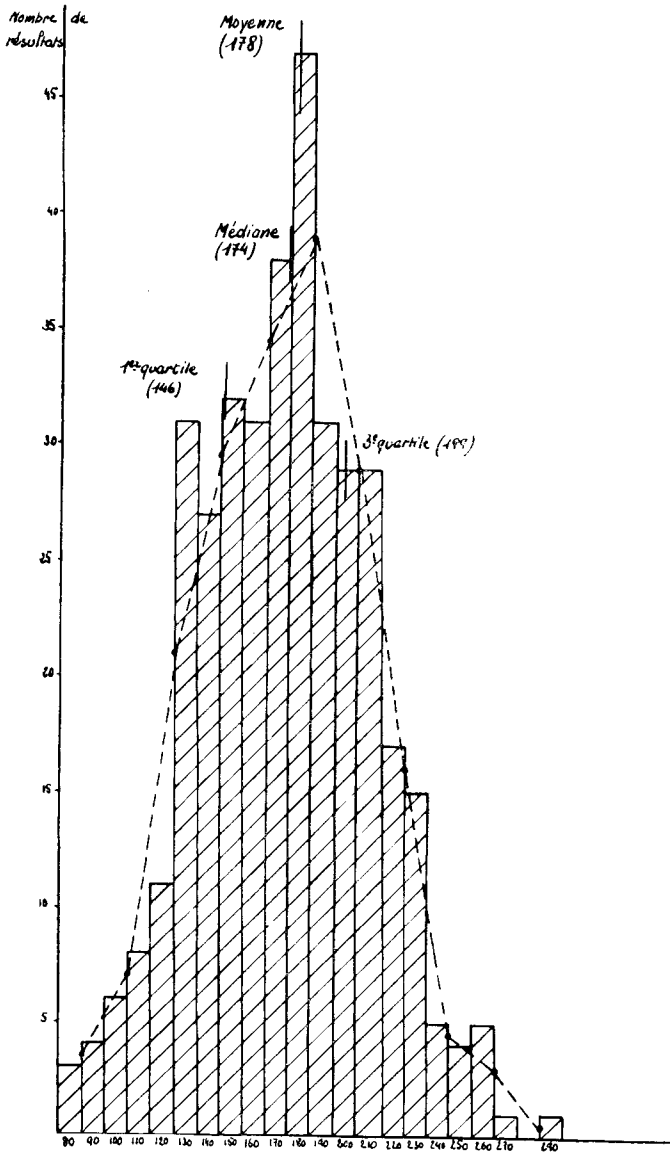
En plus de ces caractéristiques mécaniques qui, dans l'ensemble, sont très satisfaisantes, le bois présente diverses qualités :

- Développement de signes avertisseurs à vue et à l'ouïe, *avant* rupture, qualité particulièrement développée chez les feuillus (chênes, châtaigniers, etc...) en ce qui concerne l'avertissement à vue et chez les pins en ce qui concerne l'avertissement à l'ouïe.

- Rupture non brutale, parfois même fibre par fibre, chez de nombreuses essences, surtout en flambement, conférant une sécurité supplémentaire,

- Légèreté et facilité de mise en œuvre.

L'absence de signes avertisseurs et la brutalité de la rupture sont le fait de certaines essences (hêtre, érables, alisiers, etc...) qui doivent être absolument prohibées et, surtout, sont le fait des bois



Valeurs de la variable.

FIG. 109.

Pin sylvestre

Essais en flambement sur 2,50 m.

Laboratoire de Sarrebrück.

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

échauffés (c'est-à-dire ayant été abattus), façonnés et stockés dans de mauvaises conditions). Ceci peut conduire soit à éliminer les bois échauffables, soit à transformer les techniques de façonnage et de stockage.

Toutefois, le rôle de l'homme n'est pas seulement d'éliminer ce qui est défectueux mais d'améliorer ce qui est susceptible de l'être.

Or, *le bois est un matériau améliorable*. La culture de peuplement en vue de produire des bois de soutènement, qui est une culture à court terme, n'est pas utopique.

La culture et la production de bois de mine à hautes qualités mécaniques nécessite :

a) *le choix d'essences* possédant, au plus haut degré, les qualités mécaniques et de sécurité exposées ci-dessus.

b) *la sélection*, à l'intérieur de ces essences, *de races*, ajoutant aux qualités de l'essence, des qualités de forme (rectitude, cylindricité) ou de structure (branches fines donc bon élagage et petits nœuds, duraminisation précoce, accroissements réguliers, texture forte, etc...) qui viennent augmenter les qualités mécaniques des pièces.

c) *le choix de stations* bien adaptées à ces essences et à ces races : un arbre qui souffre donne un bois qui présente ou bien de mauvaises qualités mécaniques ou bien de mauvaises qualités de sécurité,

d) *l'application de règles de culture* assurant au peuplement une vie régulière, frugale et saine (éclaircies à intervalles fixes et d'importance modérée desserrant progressivement les peuplements, développement d'un sous-étage chez les essences de lumière, maintien du sol en bon état, élimination des causes possibles de contamination des arbres, etc...).

e) *la mise en œuvre de techniques d'amélioration des bois sur pied*, comme par exemple *l'élagage artificiel précoce*, qui enferme les couronnes de nœuds dans un frettage de bois homogène et résistant.

f) *l'observation de règles strictes au cours des opérations de récolte* (abattage *hors sève*, à la fin de l'automne et en hiver, avant mars, même, pour le charme et le bouleau - façonnage rapide, y compris le rainage et l'écorçage et empilage immédiat en grilles bien isolées du sol, pour hâter le séchage et faciliter la conservation — livraison rapide, dès le printemps, aux services utilisateurs.

g) *l'amélioration des conditions de stockage et de mise en œuvre* (stockage séparé des essences à conservation médiocre qui doivent être employées rapidement — imprégnation antiseptique des pièces qui doivent être stockées plus d'un an ou servir pendant plus d'un an, « au fond » — choix et repérage d'essences ayant des qualités maxima en flambement ou en flexion pour les affecter plus spécia-

lement à ces usages — un étauçon métallique n'est pas employé indifféremment en position verticale ou horizontale, pourquoi ne pas spécialiser aussi certains bois).

L'application de toutes ces techniques d'amélioration des bois de soutènement, depuis la sélection de races, jusqu'à l'amélioration des techniques de mise en œuvre dans la mine, en passant par l'étude des stations et le perfectionnement des opérations de récolte, nécessite une étroite collaboration entre chercheurs et une coordination des programmes de recherches.

La présente étude, malgré ses lacunes, en est un spécimen. Elle a mobilisé les concours d'un grand nombre de mes camarades forestiers (botanistes, généticiens, pédologues, sylviculteurs, économistes) et d'un grand nombre de techniciens des mines que je remercie très vivement. Il y a lieu d'observer en outre combien la connaissance des bois par les mineurs, connaissance résultant d'une longue expérience et d'observations précises, est techniquement très exacte et a été vérifiée et confirmée par les expériences de laboratoire.

Si les recherches qui viennent d'être exposées n'ont abouti qu'à des résultats fragmentaires et incomplets, c'est le manque de temps et de moyens qui en est responsable. Elles ont cependant permis de mettre au point une méthode et elles donnent des bases de départ et de comparaison mais, surtout, *elles posent des 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.

ZUSAMMENFASSUNG

Die gegenwärtige Abhandlung befasst sich mit dem Studium der mechanischen Widerstandskraft der Grubenhölzer mit Hinsicht auf die Faktoren der Forstproduktion

Ziele sind folgende:

- 1° Sie soll die statische Biege und Drückwiderstand der Grubenhölzer analysieren und ihre Widerstandskraft beider Belastungsfaktoren gegenüber berechnen.
- 2° Sie will die Variationen jener Widerstandskräfte in Bezug auf die Hauptfaktoren der Forstproduktion: Holzarten, Standörter und Behandlungsmethoden erforschen (sowie auch die Vorzeichen die man vor dem Bruch am Holz erkennt und den Prozess der Entfaserung nach dem Bruch).
- 3° Sie will die Korrelation zwischen jenen mechanischen Widerstandskräften, den Vorzeichen der Entfaserung einerseits, und gewisse Merkmale oder Sonderbreiten des Hölzer, sowie deren spezifisches Gewicht, Breite der Ringe, Feuchtigkeit, Masse und Unmasse der Gestaltung, Struktur oder chemische Bestandteile anderseits festlegen.

Trotz der mächtigen Fortschritte welche die Metallstützen seit einigen Jahren verzeichnen, behält das Holz eine wichtige Stellung in der Grube sobald die Arbeitsschwierigkeiten, die Förderungsarten oder andere Nöten dessen Beibehaltung rechtfertigen. Der Verbrauch an Grubenhölzern scheint einen Niederepunkt von 20 bis 25 dm³ pro Tonne geförderter Kohle zu erreichen, was bei der zunehmender Kohlenproduktion immerhin einen bedeutenden Holzverbrauch darstellt.

Vor allem aber und im Vergleich zu den Metallstützen und-Rahmen, werden sich wohl die Verbraucher an Grubenhölzern deren Qualität gegenüber immer anspruchsvoller erweisen, was auch logisch und wünschenswert ist. Das Grubenholz wird immer mehr eine Auslese sein. Es handelt sich somit vor Allem darum, dessen mechanischen Kennzeichen aufs beste zu besitzen, die Faktoren, von denen sie abhängen zu erörtern und Pflanzungsmethoden auszuarbeiten, die es erlauben werden, solche Qualitätshölzer unter den geringsten Bedingungen zu erzeugen.

Erörterungen über die verfolgte Methode. Die Hölzer versucht

Es wurden rund vierzig verschiedene Arten studiert; grösstenteils einheimische, aus Frankreich stammende, aber auch ausländische, die mehr oder weniger kürzerer Zeit bei uns eingeführt wurden. Dazu wurden zwei Partien Grubenhölzer aus Finland (Rotanne und Kiefer) und eine Partie Rhizophora aus französisch Guinea zum Vergleich probiert.

Unter jenen vierzig Arten sind 16 Nadel—und 24 Laubarten. Aus jeder diese beiden Gruppen wurde als *Vergleichstyp* je eine Art ausgesucht, in allen Einzelheiten studiert und den anderen gegenübergestellt, nämlich die *Kiefer* aus der Ersteren, die *Niehe* aus der Zweiten.

Da die meisten in Betracht gezogenen Arten bei uns bestehen und zwar unter den verschiedensten Bedingungen des Standes und der Behandlungsmethoden, war es nötig, bei jeder Art mehrere in Musterbedingen ausgesuchte Partien zu gestalten. Die Zahl der untersuchten Partien überschreitet demnach 350. Bei gewissen Hauptarten waren die Anzahl jener Partien besonders hoch (42 Partien *pinus sylvestris* — 30 *pinus maritima*, usw.).

Endlich, um gültige Durchschnittsmasse festzulegen und um bei jeder Partie gewisse Faktoren zu untersuchen wie Lagerdauer, Einfluss der Fehler, usw. Partien von einer grossen Anzahl Einzelstücken herzustellen. Jede dieser Musterpartien enthielt im Durchschnitt 25 bis 100 Einzelstücke. Alles in allem wurden mehr als 15 000 solcher Einzelstücke untersucht.

Die Untersuchungsmethoden

Die versuche wurden unter *axialem Druck* und unter *Biege* vorgenommen. Da der Schlankheitsgrad der Stücke im allgemeinen grösser ist als 10, waren die Kompressionsversuche in Wirklichkeit solche Druckversuche die eine laterale Deformation erzeugen (*Knickversuche*).

Die dem Biegeversuch unterworfenen Stücke lagen frei und waagrecht auf zwei Stützpunkten und die Lasten wurden ihnen mittels eines Messers mit abgerundeter Schneide an ihrem Schwerpunkt aufgelegt.

Versuchsmaschinen waren hydraulische oder mechanische Pressen mit Belastungsmessungen durch Waage, Dynamometer oder Manometer und den entsprechenden Verkürzungen oder Biegemessungen.

Die verwendeten Pressen erlaubten Kompressionsversuche an Hölzern bis zu 2,50 M. Länge unter Lasten von über hundert Tonnen.

Die einzelnen Biegediagramme ergeben :

- 1° Den Belastungsprozess vor dem Biegen ;
- 2° Eine allgemeine Idee über die Elastizitätsphase zu Beginn der Belastung ;
- 3° Die Grösse der vom Holz erreichten Belastung (Alarmbelastung) im Augenblick wo es beginnt, Alarmzeichen von sich zu geben, die man hören oder sehen kann.
- 4° Die Grösse der Maximalbelastung und ihrer entsprechenden Flexion.
- 5° Den allgemeinen Biegeprozess.
- 6° Den totalen Verlauf der bei dem Biegen vor sich gehenden Arbeit kann laut Darstellung n° 8 durch vertikale Parallelen in verschiedene Fraktionen zerlegt werden. Die sogenannte *wirkliche Sicherheitsphase* entspricht dem Verlauf der Biegearbeit bei horizontaler Belastung zwischen dem Erscheinen der sichtbaren Alarmzeichen und der Ankunft der Maximalbelastung und ihre Berücksichtigung ist von besonderer Wichtigkeit. Die sogenannte *Nervensicherheitsphase* die jenseits der vertikalen Parallele liegt und der Maximalbelastung entspricht, gestaltet ebenfalls eine interessante Berechnung.

Während der Versuche vermehrt man hauptsächlich die sichtbaren Alarmzeichen (Flexion) und die hörbaren (Krachen) vor dem Bruch.

Die Gestaltung des Bruchstückes, die Ermessung der Feuchtigkeitsgraden des Holzes beim Versuch, spezifisches Gewicht, Alter, sind ebenfalls wichtige Referenzen, die Stück um Stück verzeichnet wurden.

Dar - und Auslegung der Ergebnisse

Die Resultate stellen sich wie gesagt einzeln und graphisch dar oder durch Momentgrössen der Belastung und der ihr entsprechenden Deformation.

Diese Resultate erlaubten es folgende Ergebnisse festzulegen oder zu berechnen :

- 1° Verlauf der durchschnittlichen Bruchkurven einer gegebenen Partie unterbekannter Feuchtigkeit ;
- 2° Vergleichkurven bei einer bestimmten Partie nach wachsender Dicke und Trockenheit ;
- 3° Eine *durchschnittliche* Maximalbelastung für jede Partie oder Teilpartie und entsprechenden Kreis, und die *durchschnittliche* Maximalbelastung pro cm_2 ;
- 4° Bei horizontaler Belastung, eine durchschnittliche *Alarmbelastung* bei dem entsprechenden Kreis, und die *durchschnittliche* Maximabelastung pro cm_2 ;
- 5° Für Parteien von besonderer Bedeutung haben wir auch inmitten der globalen Gesamtergebnisse die *Verteilungsdiagramme*

me der Maximallasten pro cm_2 festgestellt, um die Positions und Dispersionsparameter zu erforschen.

Das Erforschen dieser Parameter erlaubt es in gewissen Fällen festzustellen in welchem Masse die beobachtete Verteilung mit einer normalen übereinstimmt und den *Prozentsatz jener Resultate zu berechnen die zu einer gewissen Grossenserie gehören*, und dies im Durchschnitt oder jenseits einer gewissen Grösse.

- 6° Die faktorielle Analyse innerhalb einer Resultatenserie erlaubt es ebenfalls, den Einfluss gewisser zufälliger Variationsfaktoren hervorzuheben, wie Form oder Strukturfehler, anormale Feuchtigkeit, Ersticken, usw.
- 7° Endlich wurden für die meisten Partien die *Korrelationskurven statistischer Dependenzien* erörtert.

Die zwischen Dicke und Maximalbelastung bestehende Korrelation wurde am eingehendsten erforscht; jedoch konnten wir auch einige Wechselverhältnisfälle zwischen spezifischem Gewicht, Feuchtigkeitsgrad, Konservationszustand, usw. einerseits, und Maximalbelastung pro cm_2 anderseits ergründen.

Erörterungen über die festgestellten Ergebnisse

Es ist unmöglich, in diesen kurzen Zusammenfassung unserer Forschungen sämtlich erzielte Resultate anzugeben.

Es werden nur die Durchschnittsresultate für die Hauptarten mit einigen Bemerkungen über den Einfluss der Herkunft bei den wichtigsten verzeichnet werden.

a) Nadelhölzer.

Unter ihnen wurden vier einheimische Arten von besonderer Bedeutung besonders in Betracht gezogen; es sind die: *Pinus silvestris* L. (Kiefer); *Picea excelsa* LINK (Fichte); *Abies pectinata* D.C. (Edeltanne) und *Pinus pinaster* SOL. (Strandkiefer).

Unter *Knickversuchen* sind die Resultate der Fichte und der Edeltanne identisch:

200 kg pro cm_2 (für Stücke die in der Mitte zwischen 45 und 70 cm. Kreisumfang haben und 2,5 m lang sind). Die Kiefer ergibt bedeutend weniger hohe Resultate: 175 kg und die Strandkiefer noch geringere: 129 kg (wegen ihres raschen Wachstums).

Unter *Biegeversuchen* auf zwei Meter Stablänge und immer für Stücke von 45 bis 70 cm. Umfang, sind die Durchschnittsresultate für vier Arten ungefähr gleich: 18 bis 18,6 kg pro cm_2 .

Die sicht und hörbaren Alarmzeichen vor dem Bruch sind jedoch bei der Kiefer und Strandkiefer bedeutend höher als bei der Edeltanne und der Fichte und ihr Bruch geht weniger rasch von statten.

Zu bemerken ist auch noch dass die Dispersion der Resultate bei verschiedenen Parteien für die Edeltanne (die bis jetzt ausser ihrer Standorte wenig gepflanz wird) geringer ist als für die Fichte (die oft in der Ebene wächst) für die Kiefer (wo es viele schlechte Standortsformen gibt) und die Strandkiefer (die manchmal sehr breite Jahrringen erweist).

Das wohlbekannte Wechselverhältnis zwischen feiner Jahrringen, starke Textur, hohem spezifischem Gewicht und mechanischer Widerstandskraft kann so durch die Versuche an Grubenhölzern bestätigt und berechnet werden.

So z.B. bei der Kiefer: geht die Ringbreite von 3 zu 1 mm über, so geht ihr spezifisches Gewicht bei 15 % Feuchtigkeit von 0,55 zu 0,70 über und die durchschnittliche Maximalbelastung pro cm_2 bei vertikaler Belastung von 125 zu 220 kg (siehe Tafel 8).

Für die Fichte schwanken die Widerstandskräfte je nach Herkunft zwischen 170 und 220 kg und für die Edeltanne zwischen 152 und 227. Für die Strandkiefer ist die Dispersion beträchtlich: 85 kg pro cm_2 bei ungünstigster, 185 kg bei günstigster Herkunft (Dom. de Bormes).

Alles, was dazu beiträgt, das Wachstum der Nadelhölzer zu hemmen, ohne dessen Regelmässigkeit zu verhindern oder dem physiologischen Zustand der Bäume zu schaden, trägt zur Vergrösserung ihrer mechanischen Widerstandskraft bei. Eine Auslesekultur von Kiefernrasse aus Gebirge mit feinen und regelmässigen Wachstum, deren Zucht bei dichter Bevölkerung auf kargem aber gut bewässertem, nicht zu sehr der Sonne ausgesetztem Boden, sind günstige Faktoren um Hölzer mit grosser mechanischer Widerstandskraft zu erhalten.

Mit diesen vier wohlbekanntem Nadelarten haben wir andere, weniger verwendete Arten verglichen die gleichfalls vortreffliche Resultate ergeben.

Unter vertikaler Belastung sind z.B. die entwickeltesten Belastungen:

— 194 kg pro cm_2 bei der europäischen Lärche (*Larix europea* D.C.).

— 193 kg pro cm_2 bei der Atlaszeder (*Cedrus atlantica* MAN.).

— 182 kg pro cm_2 bei der korsische Schwarzkiefer (*Pinus laricio* var. *corsicana* LOUD.).

— 181 kg pro cm_2 bei der Douglasie (*Pseudotsuga douglasii* CARR.).

Diese Arten stehen demnach mit den Referenzarten auf gleicher Höhe. Zu bemerken sei dass fein gewachsenen Lärchen aus dem Hochgebirge Rekordziffern ergeben haben.

Reihen sich dann ziemlich rasch gewachsene Hölzer zwischen Kiefer und Schwarzkiefer:

— japanische Lärche (*Larix japonica* CARR.) 166 kg.

— österreichische Schwarzkiefer (*Pinus laricio var. austriaca* ENDL.) 154 kg.

— Bergkiefer (*Pinus uncinata* RAMOND) 151 kg.

— kalabrische Schwarzkiefer (*Pinus laricio var. calabrica* ENDL.) 142 kg.

— Riesenthuya (*Thuja gigantea* NUT.) 151 kg.

Ein rasch gewachsener Nadelbaum wie die Sitka-Fichte (*Picea sitchensis* CARR.) steht weit hinten an mit 124 kg.

Selbe Gruppe bei horizontaler Belastung:

korsische Schwarzkiefer 26,1 kg; Douglasie 22,6; europäische Lärche: 20,9; japanische Lärche: 20,6; Schwarzkiefer: 20,4; Zeder: 20,3; Thuya: 18,9; können sich mit den vier Referenzhölzern vergleichen.

Bergkiefer: 17,5; kalabrische Schwarzkiefer (sehr rasch gewachsen): 17,9; Sitka-Fichte: 14,9; stehen zurück.

Zu verzeichnen ist, dass Arten wie europäische Lärche, Douglasie, Zeder, Laricio aus Korsika sehr präzise Alarmzeichen von sich geben und dass ihr Bruch nicht brutal ist. Sie sind dauerhaft und von vortrefflicher Form.

Solche Arten gestatten eine regelrechte Zucht für Grubenhölzer.

b) Laubarten.

Gewisse Laubbaume ergeben unter Knickversuchen der Nadelhölzern vergleichbare Resultate; jedoch sind die meisten Ziffern geringer.

Unter Biegenversuchen jedoch erweisen sich die meisten Laubbaume stärker als die Nadelhölzer.

Resultate unter Knickversuchen:

Hainbuche (trocken und gesund) — *Carpinus betulus* L. 187 kg.

Roteiche — *Quercus borealis* Michx. 172 kg.

Eiche — *Quercus pedunculata* Ehrh et *Quercus sessiliflora* Salisb. 169 kg.

Diese Resultate sind ungefähr jenen der Kiefer gleich:

Edelkastanie — *Castanea vesca* Gaertn. 144 kg.

Schwarzele (trocken und gesund) — *Alnus glutinosa* Gaertn. 142 kg.

ergeben der *pinus maritima* ähnliche Resultate.

Während Birke, Aspe, Linde und selbst Robinie mit zirka 120 kg ziemlich geringer sind.

Es fehlen hier die Ergebnisse der Esche da die Versuche auf 2,5 M misslangen. Auf 1,60 M. ergibt dieses Holz ähnliche oder stärkere Resultate als die Eiche.

Unter Biegeversuchen sind die Resultate besser als beim Nadelhölzer:

Robinie	32,5 kg
Esche	29,5
Roteiche	27,6
Wildkirsche	22,6
Eiche	22,4
Linde	20,3
Hainbuche	20,2
Edelkastanie	19,8

zurück sind:

Birke	15,8
Aspe	15,3
Erle	15,1

Als Seltenheit sei die guinesische Rhizophora vermerkt die unter vertikaler Belastung 300 kg pro cm² entwickelte und 48,5 kg unter horizontaler Belastung; Rekordziffern.

Die Laubbäume geben vor allem *sichtbare* Alarmzeichen vor dem Bruch (so gut bei horizontaler wie bei vertikaler Belastung) — Robinie, Esche, Eiche, krachen auch wenn auch nicht so stark wie die Kiefer.

Gewisse Laubbäume: Edelkastanie, Eiche, Robinie, Esche und gesunde Hainbuche entfasern langsam. Andere leider brechen brutal (Buche, Ahorn, Mehlbeere). Zuletzt und besonders wichtig ist dass gewisse Laubbäume von wenig fester Dauer sind (Buche, Hainbuche, Birke, Erle, Aspe, Götterbaum) und verlieren deshalb zugleich ihre mechanischen Qualitäten und ihre Sicherheitsmale.

Eine grosse Anzahl Laubbäume kann also vortreffliche Grubenhölzer liefern. Doch muss ihre Herstellung besonders gepflegt werden: Schlag ausser Saft, gerade Hölzer, Falzentrindung, Gatterschichtung um das Trocknen zu beschleunigen und die Dauerhaftigkeit zu begründigen.

c) *Merkzeichen ausser Art und Herkunft die auf die mechanische Widerstandsfähigkeit einwirken.*

Wir versuchten noch gewisse Kennzeichen zu berechnen wie:

Länge	Drewuchs
Dicke	Grobastigkeit
Krümmungen	Feuchtigkeit
Kegelform	Beschädigungen.
Halbfläche	

1) *Länge.*

Bei vertikaler wie horizontaler Belastung sind gewöhnlich Länge und Widerstand umgekehrt proportional was den Gesetzen der Widerstandskraft der Materialien entspricht.

Zu verzeichnen ist jedoch dass die axialen Versuche nur solche Waren die laterale Deformationen verursachten und keine reine Kompressionen, da der Schlankheitsgrad der Stücke immer 6 überschritt.

2) *Dicke*

Bei Knickversuchen konnte kein Wechselverhältnis zwischen Belastung pro cm² und Fläche festgelegt werden. Dieser Wechselverhältnis scheint beiden verschiedenen dicksten Hölzern (45-70 cm Umfang) nicht zu bestehen (was logisch ist solange man nicht zur reinen Kompression übergeht).

Doch haben wir feststellen können, dass die Belastung pro cm² bei kleineren Hölzern (18-34 cm Umfang) dieselbe ist wie bei den dicken, obschon sie unter vertikalem Druck auf 1,6 und nicht auf 2,5 M. versucht wurden. Es scheint somit interessant diese Korrelationsverhältnisse in Bezug auf dem Schlankheitsgrad aufs Neue zu unternehmen.

Bei Biegeversuchen liess sich ein obschon ziemlich schwacher Wechselverhältniss zwischen Widerstandskraft und Schnittfläche erörtern und zwar bei verschiedenen Hölzern von 40-70 cm. Umfang und 2 Meter Länge. Dieses Wechselverhältnis ist nicht sehr eng, da die Dicke oft weitere Schwächen der Hölzer mit sich bringt: dicke Knoten, weniger gutes Trockenem, Erhitzung die dazu entsteht, Herzspalten, usw.

Doch haben die in Betracht gezogenen Wechselverhältnisse es erlaubt, den Formkoeffizienten zu berechnen der der Exponent n der klassischen Formel der A.F. NOR. Normen ist;

$$F_H = \frac{3 PL}{2 b \times h^n}$$

F_H = Biegefestigkeit bei horizontaler Belastung.

P = Biegebelastung.

L = Länge.

b und h = horizontale und vertikale Dimensionen der Querschnitte.

n = Formkoeffizient.

Wir fanden für Grubenhölzer $n = \frac{6}{5}$ statt $\frac{8}{6}$ wie Marcel Monnin es für Dachhölzer berechnete.

Gleichzeitig konnten wir beobachten, dass die kleinen Hölzer (18-34 cm. Umfang) bei horizontaler Belastung auf eine Länge von 1 Meter eine Widerstandsfähigkeit pro cm² von gleichem Werte haben wie die dicken Hölzer auf 2 Meter. Die Zeit erlaubte es nicht die Einwirkungen der Dicke auf alle Hölzer von 18-70 cm. Umfang zu erörtern. Es wäre hier eine weitere Forschung zu unternehmen.

3) Krümmung und Kegelform.

Ohne die Sache in ihren Einzelheiten zu untersuchen, sei nur vermerkt dass eine Krümmung die grösser ist als 3 cm. pro Meter die Widerstandskraft bei vertikaler Belastung um 10 bis 20 % verringert. Bei einer S Krümmung kann diese Verringerung bis zu 30 % fallen.

So kann auch eine übertriebene Kegelform (2-2,5 cm. pro Meter im Durchmesser) bei vertikaler Belastung eine Verringerung der Widerstandsfähigkeit von 15-20 % hervorbringen.

Eine scharfe Halbfläche ($l \leq 2/3 L$) verringert sie ebenso um zierka 20 %.

4) Fehler und Beschädigungen.

Die sichtbaren Knoten von geringer Dimension scheinen keine Rolle zu spielen weder bei der einen noch bei der anderen Art der Belastung.

Haben jedoch solche Knoten mehr als 2 cm. Durchmesser, so ist die Widerstandsfähigkeit bei Biegeversuch verringert. Der Bruchspalt springt beim Knoten und ist brutaler. Die Verringerung der Maximalbelastung schwankt zwischen 12 und 18 %. Bei vertikaler Belastung spürt sich dieser Verlust an Widerstandskraft bei Knoten von 3 cm. Durchmesser ab und schwankt zwischen 10 und 15 %. Auch hier geschieht der Bruch bei den sichtbaren Knotenpunkten.

Ein frühzeitiges, künstliches Astung, das den Knotenzentren eine gute Vernarbung gestattet, würde somit die Widerstandskraft des Holzes um Vieles erhöhen.

5) Feuchtigkeit.

Sie übt einen grossen Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit aus. Die A. F. NOR. Normen liefern Formeln welche die Widerstandskraft eines Holzes bei einem Grade H auf ihrem normalem Grad D_{15} zuruckbringen. Zum Beispiel:

$$F_{15} = F_{15} (1 + c' (H - 15))$$

c' = Verhaltungskoeffizient der Feuchtigkeit gegenüber, den wir für eine gewisse Anzahl von Hölzern berechnen konnten.

So fanden wir bei vertikaler Belastung:

2-3 % bei Douglasie und Lärche aus Gebirge.

3-4 % bei Edeltanne, Fichte und Kiefer.

4-5 % bei Lärche aus Ebene und Laubhölzern (Eiche, Edelkastanie, Hainbuche).

5-6 % bei rasch gewachsenen Strand = und Schwarzkiefern.

Bei horizontaler Belastung:

2 % mit Douglasie, Edeltanne, Fichte, Lärche;

2-3 % mit Eiche, Edelkastanie, Hainbuche, Kiefern.

3-4 % mit Strand = und Schwarzkiefer.

Was von grosser Bedeutung ist, will man die Widerstandskraft eines Holzes nach dessen Feuchtigkeitsgrades ermesen. Dieser wechselt nicht nur nach dem Fällen um eine Grenztrockenheit zu erreichen, die im Gleichgewicht steht mit den hygrometrischen Bedingungen und der Temperatur des Lagerortes, sondern erleidet dann später eine sinusoidale Variation mit Befeuchtung während der kalten und feuchten Perioden.

6) *Vermorschungen.*

Sind die Nadelhölzer gleich bei ihrer Abhauung geschält worden (hauptsächlich Schwarzkiefern rasch schälen) so vermorschen sie sich kaum. Doch weisen Kiefernholz von ziemlicher Dicke oft blaue Stellen an, die an sich wenig gefährlich sind aber oft andere, gefährlichere Fäulnis verbergen. Es muss also vermieden werden in den Ebenen die Kiefern im Saft zu schlagen (die brandbeschädigte Hölzer weisen eine ähnliche Gefahr auf). Die Fäulnis zeigen sich durch einen Äthergeruch des Holzes an und eine gewisse Hysterisis beim sommerlichen Trocknen (Die Hölzer saugen während der Regenperioden mehr Wasser und verlieren weniger bei trockenem Wetter).

Viele Laubhölzer: Eiche, Edelkastanie, Robinie, usw. haben eine vortreffliche Dauerhaftigkeit.

Andere wieder (Mehlbeere, Erle, Birke, Hainbuche, Aspe) vermorschen manchmal katastrophal. Werden sie in ihrem Saft gefällt so geschieht es sofort. Ausser ihrem Saft können einige (Birke, Hainbuche) ein Jahr aushalten, alle ersticken im 2ten Jahre. Somit sind die Widerstandskräfte um die Hälfte und mehr verringert und der Bruch wird immer brutal und ohne vorhergehende Alarmzeichen von statten gehen.

Bearbeitung und Gebrauch von Birken und Buchen als Grubenhölzer müssen mit diesem ernstest Umstand rechnen.

7) *Schlussfolgerungen.*

Es ist nicht leicht eine Arbeit wie diese, die viele Zahlen und graphische Darstellungen enthält zusammenzufassen.

Das Holz bietet zahlreiche Variationsgründe die alle auf seine mechanischen Eigenschaften einwirken. Doch ist es möglich sie zu berechnen und die Widerstandskraft einzelner Arten bei bestimmten Dimensionen unter vertikaler und horizontaler Belastung vorauszu-
sehen.

Auch die Verringsgründe dieser Widerstandskraft (Feuchtigkeit) können berechnet werden.

All dies hebt die mechanischen Verbesserungen hervor, die man durch eine Verbesserung der Qualität der Grubenhölzer erziehen könnte :

— Verbesserung der Zucht (Auslese der Arten und Pflanzstätten, Wahl gutgestalteten Rasse, feinen Jahrringen, feine Aste, dicke und regelmässige Bestände, frühezeitig kunstliches Entästung).

— Verbesserung der Ernte (Fällen ausser Saft, Mechanisierung der Schläge um die Bearbeitung zu beschleunigen, Aufschichtung, Gebrauch von anteseptischen Mitteln, rasche Lieferung).

Diese Arbeit masst sich nicht an, die Frage erschöpft zu haben. Sie stellt eine grosse Anzahl von Problemen, um die zu beantworten sich künftige Forscher bewerben möchten.

(Traduction J. FLIEDEL.)

SUMMARY

The present thesis deals with the study of the mechanical properties of pit props relative to various factors of forestry production.

Its purposes are as follows:

1. to show how wood used as supporting members in a mine behaves in static bending and in sag, also to give some figures for the strength wood opposes to these stresses.
2. to find how these mechanical properties will vary (as well as warning signs given by wood before failure, and the aspect of the wood fiber where the supporting member has failed) relative to the main factors of forestry production: the species, the location of the tree and the type of management adopted.
3. to draw the relation that exists between mechanical strength, warning signs and the aspect of wood fibers at rupture on one hand and between certain aspects or properties of wood such as density, width of growth rings, moisture content, dimensions and differences in shape, structure or chemical composition on the other hand.

In spite of considerable progress achieved these last few years by metal props, wood retains an important place in the mine when difficult working conditions, the type of exploitation or kinds of stresses call for this material. Wooden props consumption seems to reach a limit between 20 to 25 dm³ per ton of coal produced. These figures, considering the increasing coal production will always result in a large use of wood.

But mainly when one makes a comparison with supporting members or metal frames it is likely that users will be more and more particular about the quality of wood props, which is quite fair and which one should wish. *Mine props will be chosen from better selected wood.* Therefore, it is important to have a good knowledge of wood mechanical properties to investigate the factors that influence these mechanical properties and to work out new forestry managements that will produce a better raw material in the best conditions.

PARTICULARS ON THE METHOD ADOPTED

Species selected for the research work

About forty different species have been investigated, mainly indigenous species from France but also foreign species which have been cultivated in our country for a various length of time. Furthermore, two bunches of mine props from Finland (spruce and Scotch Pine) and a bunch of mangrove from French Guinea have been tested for comparison.

Among the forty species studied there were 16 coniferous and 24 deciduous species. In each of the two categories one single species (Scotch pine for the softwoods and oak for the hardwoods) was chosen as a reference species which was studied in details and then compared with other species.

As most of the species tested here grow in many parts of the country under various conditions, depending of the station and of the type of management adopted it has been necessary to consider various test specimens for each species which were chosen according to special conditions so that the number of test specimens exceeds 350. For certain important species, the number of test bunches was particularly high (42 bunches of Scotch pine, 30 bunches of Maritime pine (*Pinus Pinaster*)).

Finally, in order to draw valuable means and to study within a bunch of specimens the interaction of certain variables such as storage, or the influence of defects, etc... it has been necessary to prepare bunches of specimens that include a great many pieces. Sampling amounted to an average of 25 to 100 pieces. In all, over 15 000 pieces have been experimented upon.

Testing Procedures

Tests have been performed in compression along the grain and in bending. The ratio between length and diameter generally exceeded 10, compression tests were actually sag tests. Specimens tested in bending laid freely on two supports and the load was applied at center by means of a rounded-edge knife.

The testing machine consisted in hydraulic or mechanical presses with a measuring device of the scale type, including a dynamometer of manometer and a measure of the corresponding deflection or crush. The load at rupture was either registered during the test on drum register or plotted afterward for each result obtained, each one corresponding to a point on the curve.

Presses used enabled us to perform tests on specimens as long as 2.50 meters under a pressure exceeding one hundred tons.

Individual diagrams give the following information :

1. the speed at which the load was applied before rupture,
2. a general aspect of the elastic portion which takes place at the beginning of the test,
3. the value of the load applied on the test specimen (warning load) at the precise time when it begins to give the warning signs (either by sight or hearing),
4. the maximum load and corresponding deflection,
5. the aspect of the rupture,
6. the work at failure which can be divided into various fractions as indicated on graph No. 8 by parallels to the « y » axes. The portion of the curve called of *actual safety* which corresponds to the breaking work in bending between the first warning sign (by sight) and the point where we come closer to maximum load is particularly important and must be taken into consideration. The portion called *nerve safety* which lay beyond a parallel to the « y » axes corresponding to maximum load is also important and must be translated into figures.

During the tests warning signs before failure, either by sight (deflection) or hearing (cracks) were carefully noted.

The aspect of the rupture, the moisture content at the time of the test, the density determination, the growth ring counting (age) are also among information which were written down for each test specimen.

Presentation and Judging of Results

Results were presented as said above, either as curves or as momentary loads with the corresponding deflections.

These figures enables us to draw or calculate the following results :

1. aspect of the average curve at rupture for a given bunch, at a given moisture content,
2. a comparison of curves within a given bunch, arranged according to the decreasing diameters or according to the decreasing moisture contents,
3. the average load for each bunch or part of a bunch of specimens and the girth corresponding to a maximum average load per square centimeter (cm²),
4. in bending, the average load corresponding to the first warning sign by sight (warning load) with the girth corresponding to the average warning load per square centimeter (cm²),
5. for important bunches we have drawn a distribution diagram for maximum load per cm² with the total result figures obtained in order to study the position variables and dispersion

variables (see Table 1, graph. 103 and 109). The study of these variables has enabled in many cases to see how the observed distribution comes close to a normal distribution and to figure *the percentage of results included within a scale of given values*, either near the average or above a given figure,

6. *the factor analysis* within an certain number of results also enabled us to show clearly the influence of certain occasional variation factors such as accidental variation in shape, or structure, abnormal humidity, stain or dote, etc...
7. Finally, for most of the bunches tested studies of static interdependence have been performed which result in correlative graphs.

The main correlativeness drawn was between diameter and maximum load, but we also studied some cases of correlativeness between density, moisture content, soundness in relation to maximum load per cm².

Commentaries on Results

It is not possible of course, in that quick presentation, to give all our results. We will limit ourselves to average results for the main species with some commentaries about the influence of the countries where the timber has grown.

a) *coniferous species*

Among coniferous species the major part has been given to four home grown species: Scots pine, spruce, fir and maritime pine.

The sag test give comparative results for spruce and fir, 200 kg per square centimeter for pieces measuring between 45 and 70 cm in girth at their middle and 2,50 m long. Scots pine gives inferior results 175 kg, and maritime pine (because of its wide growth rings) is definitely weaker, 129 kg.

In bending, over 2 meters span still for pieces of 40 to 70 cm in girth results obtained for the above four species are nearly identical ranging between 18 and 18,6 kg per cm².

But, on the other hand, warning signs by sight hearing, given before failure by Scots pine and maritime pine are much more important than those given by either fir or spruce and their rupture is not so fast.

It is important to notice that the scattering of results is less pronounced for species such as fir (which has not been cultivated extensively outside its natural area in France) than for spruce (frequently introduced on lower grounds), Scots pine (for which there are very poor examples) or maritime pine (which often show very wide growth rings).

The well-known relation between narrow rings, high percentage of summer wood, density and higher mechanical properties has been confirmed and put into figures during tests performed on mine props.

With Scots pine, for example, when the width of growth rings changes from 3 to 1 mm, density at 15 % rises from 0,55 to 0,70 and the average maximum load per cm² in the sag test rises from 125 to 225 kg (see table 8).

With spruce resistances measured according to origins vary between 170 and 220 kg and with fir between 152 and 227. With maritime pine, there is a wide range: 85 kg per cm² for the worst and 185 kg for the best (Forest of Dom de Bormes).

Everything that hampers the growth of coniferous trees without having any action upon the regularity of growth rings or the physiologic state of the tree improve the mechanical resistance of the wood. The selection of pines growing on mountains with narrow and even rings, the practise of dense forest, the growth of trees on poor soil (but properly watered) with not too warm a station, are favorable factors for a harvest of wood with high mechanical resistances.

To these well-known coniferous species we were able to compare other species that are not so frequently used but among which many give excellent results.

In sag, for example, the following loads have been registered:

European larch	194 kg per cm ²
Cedar (from North Africa)	193 kg
Corsican pine	182 kg
Douglas	181 kg

These species compare favorably with the species taken as standard. We shall notice that larch that comes from some altitude with narrow rings gave a top figure of 243 kg per cm².

Next to the above species are those with relatively rapid growth which can be placed between Scots pine and maritime pine:

Japanese larch	166 kg
Austrian pine	154 kg
<i>Pinus uncinata</i>	151 kg
Laricio from Calabria	142 kg
Thuya (western red cedar)	151 kg

A coniferous species with wide rings such as Sitka spruce is classified lower with only 124 kg.

The same classification is obtained in bending:

Corsican pine 26,1 kg; Douglas 22,6; European larch 20,9; Japanese larch 20,6; Austrian pine 20,4; Cedar 20,3; Thuya 18,9, are comparable to the four species studied in this report.

Pinus uncinata 17,5, *Laricio* from Calabria (with wide rings) 17,4 and Sitka spruce 14,9 give lower figures.

One must note that some species such as European larch, Douglas, Cedar, Corsican pine give very distinct warning signs before rupture (cracking in sag and deflection) and their rupture is not abrupt. The species are durable and as a whole have a perfect shape. Such species can actually be « cultivated » to give mine props.

b) *deciduous species*

In the sag test some hardwoods give results similar to those obtained with softwoods but the majority remains inferior to softwoods.

In bending though, many hardwoods show their superiority over softwoods. Here are the results in sag:

hornbeam (sound and dry)	187 kg
red oak	172 kg
common oak	169 kg

— These species give results fairly close to those obtained with Scots pine.

chestnut.	144 kg
alder (sound and dry)	142 kg

are comparable in that respect to maritime pine.

On the contrary,

birch, aspen, lime and even robinia with 120 kg about are inferior.

In bending, the results obtained with hardwoods are better:

robinia (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	32,5 kg
ash	29,5 kg
red oak	27,6 kg
wild cherry	22,6 kg
common oak	22,4 kg
lime	20,3 kg
hornbeam (sound)	20,2 kg
chestnut	19,8 kg

far behind come:

birch	15,8 kg
aspen	15,3 kg
alder	15,1 kg

As a matter of curiosity let us call mangrove from Guinea which resisted 300 kg per cm² in sag and 48,5 kg in bending, but of course, this is a record.

Hardwoods give more warning signs *by sight* before rupture (in bending as well as in sag). Robinia, ash, oak also give a cracking sound (less pronounced though than with pines).

Some hardwoods (chestnut, oak, robinia, ash, sound hornbeam) show a slow rupture of their fibers, others have an abrupt rupture (beech, even sound, maple, sorbus aria). Finally, and this is particularly important, some hardwood are not durable and easily attacked by fungi (beech, hornbeam, birch, alder, aspen, Ailanthus) and because of this, lose both: their mechanical properties and their warning signs or security advantage.

A good many hardwoods could give excellent mine props, but their preparation must be very carefully done: felling when the sap is no more in circulation, grading of the pieces which must be straight, grooving, storing in well ventilated piles to facilitate air drying and avoid decay.

c) *factors (other than species and station of growth) which have an influence upon mechanical properties.*

We have tried to evaluate the influence of some factors such as:

- length (or span)
- girth (or diameter)
- straightness
- shape of the piece (conicity)
- egg-like section
- crooked grain
- crown of knots
- moisture content
- stain
- etc...

1) *length or span*

In bending or sag, there is generally an inverse relation between span or length and the resistance, which corroborates the general rules of resistance of materials.

One must note, nevertheless, that axial compression test were actually sag test and not straight compression test along the grain. The relation between length and diameter was always over 6.

2) *diameter*

In sag we could not draw any direct relation between load per square centimeter and section. Among the biggest pieces tested (45 to 70 cm in girth) this relation does not seem to exist (which is logical as long as one does not change over from sag to compression along the grain).

Nonetheless, we could notice that the load per square centimeter supported by small pieces (from 18 to 34 cm in girth) was the same as the load supported by bigger pieces when the former were tested in sag on 1,60 m only instead of 2,50 m in length. It would then seem interesting to resume these surveys of relationship based on the ratio: length over diameter of tested specimens.

In bending, we found a relation though not very conspicuous, between the mechanical resistance and the diameter within the bunch of specimens tested over 2 m span (45 to 70 cm in girth). This relation is not paramount because the girth often brings other weakness factors such as large knots, greater moisture content, stain, heart checks, etc...

The relations studied have enabled us to figure out a shape factor which is the « n » of the well-known formula of « fatigue » given by the AFNOR standards.

$$F_H = \frac{3 PL}{2 b h^n}$$

in which

F_H is the value of fatigue in bending

P the load at failure

L the span

b and h the horizontal and vertical dimensions of the section

n the shape factor.

We found for mine props a shape factor slightly lower than the one given by Marcel Monnin for structural lumber $n = 6/5$ instead of $8/6$.

We have also noticed that smaller pieces (from 18 to 34 cm in girth) showed a resistance in bending per cm² over a one-meter span identical to the resistance in bending over a two-meter span shown by large pieces. During the time spent for this survey we could not study the influence of girth for one single span over a large range of girth (from 18 to 70 cm), but a complementary study could be made on that particular subject.

3) *straightness*

Without a detailed study we shall note that one single bend, inferior to 3 cm per meter of length will result in a 10 % to 20 % reduction in the resistance in sag.

In the case of a double bend in S , the reduction will reach 30 %.

An exaggerated conicity (2 to 2.5 cm per meter, over the diameter) will result in a 15 to 20 % reduction in the sag test.

If the tree shows too much of an egg shape ($1 \leq 2/3 L$) this will also reduce the resistance in bending by 20 %.

4) *defects*

Crown of conspicuous knots of small sizes does not seem to have any action either in bending or in sag. On the contrary, when knots are over 2 cm in diameter the resistance in bending is reduced, failure « jumps » toward the crown of knots and becomes abrupt. One notices a reduction in the maximum load ranging

from 12 to 18 %. In sag the reduction of resistance appears when knots are 3 cm in diameter or over. This reduction reaches 10 to 15 %. Props then crack at the knots whether they are conspicuous or slightly covered. Early artificial pruning which will result in a larger percentage of defectless timber will at the same time increase the resistance of props.

5) *moisture content*

Moisture content has a definite influence on the resistance of wood. Standards published by AFNOR give formulae to change the resistance of a given piece of wood (measured at H% MC) to an average MC (15 %).

For example, the stress at rupture in bending:

$$F_{15} = FH (1 + c' (H-15))$$

in which

c' is a factor called « humidity factor ».

We were able to figure out these factors in sag and in bending for some species. We found for example, in sag:

2 to 3 % for Douglas fir and mountain larch

3 to 4 % for fir, spruce and Scots pine

4 to 5 % for larch growing in plains and hardwoods (oak, chestnut, hornbeam)

5 to 6 % for Austrian black pine and maritime pine with wide rings.

In bending we found:

2 % for Douglas fir, white fir, spruce, larch

2 to 3 % for oak, chestnut, hornbeam, Scots pine

3 to 4 % for maritime pine and Austrian black pine.

This is very important to judge the resistance of a given piece of timber according to its moisture content. Moisture content varies not only after felling, to reach the equilibrium with the relative humidity and the temperature of the storage place but also shows a certain up and down variation with an increase in moisture during cold, wet seasons.

6) *decay*

Softwoods, when they are barked as soon as felled (which is particularly important in the case of Austrian Black pine) are less exposed to stain. Nevertheless, large pine logs often show stain signs which are not very dangerous in themselves but may hide some worse stain inside the tree. On low grounds one must avoid felling pines when sap is circulating (burnt trees show the same risks).

Decayed wood is easily recognized because it smells of ether and because of a certain hysteresis over summer drying (decayed

wood gains more water during wet seasons and loses less during dry seasons).

Many hardwoods (deciduous species) oak, chestnut, locust, etc... are durable, others such as Ailanthus, alder, birch, hornbeam, beech, aspen, etc... are likely to get decayed and sometimes in a very bad way. If felled when the sap is in motion they get stained at once. If, on the contrary, they are felled after the sap has stopped circulating inside the tree some of them (birch, hornbeam) can last one year but all get stained during the second year. In that case, the resistance is reduced by half if not more, and rupture is always abrupt (brash) without warning signs.

The preparation and use of birch and hornbeam as mine props must be carried out with that serious disadvantage in mind.

CONCLUSIONS

It is uneasy to sum up a study as this, which contains a great number of tables and graphs.

Wood shows many variables which influence its mechanical properties. It is possible though, to evaluate these variables and figure out the resistance of wood pieces of various species and sizes, either in sag or in bending.

The main factors which cause reduction in strength (moisture content, shape, defects) can also be translated into figures. This stresses the mechanical improvements that it would be possible to achieve by improving the quality of mine props.

— improvements in the growing of trees (a better choice of species with the corresponding station of growth) a race selection based on the shape of trees, the width of growth rings, thin limbs, cultivation in even and dense forests, early artificial pruning, etc...

— improvements in harvesting (felling when the sap is not circulating, use of machinery to hasten all the preparations of the props, careful stacking, use of preservatives, quick delivery).

This study does not pretend to cover the whole subject. It raises a great number of questions which other research men will do their best to answer.

(Traduction M. COULOMBEAU.)

**TABLE ALPHABÉTIQUE DES PROVENANCES
CLASSÉES PAR DÉPARTEMENTS OU PAR NATIONS**

Départements	Pages
Ain	217
Alpes Basses	103 - 181 - 182 - 192
Alpes Maritimes	79 - 88 - 132 - 137 - 163 - 187
Ardèche	257
Ardennes	98 - 174
Aube	273
Aude	193
Aveyron	103 - 180
Charente-Maritime	158
Corrèze	187 - 191 - 197
Corse	174
Côte-d'Or	101 - 177 - 259 - 267
Deux-Sèvres	235
Dordogne	235
Doubs	(essais en cours)
Drôme	257
Eure	91
Gard	85 - 172 - 183 - 257
Gironde	163
Indre-et-Loire	91 - 163
Jura	(essais en cours)
Landes	156 - 158 - 165
Loire	81 - 91
Loire Haute	83 - 84
Loiret	101 - 171 - 198 - 203
Loir-et-Cher	101 - 163 - 177 - 225
Lot-et-Garonne	156 - 164
Lozère	181
Maine-et-Loire	88 - 211
Marne	51 - 191
Meurthe-et-Moselle	87 - 91 - 117 - 136 - 203 - 214 - 217 - 220 - 229 - 243 - 244 - 249 - 250 - 253 - 260 - 264 - 267 - 271 - 274 - 277
Meuse	214 - 267 - 277
Morbihan	198 - 203 - 211 - 235
Moselle	91 - 115 - 140 - 174 - 185 - 189 - 270
Nièvre	219 - 248
Nord	267
Orne	61 - 84 - 86 - 91 - 117 - 140 - 158 - 211 - 214
Pyrénées Basses	225
Pyrénées Hautes	183 - 189

Départements	Pages
Rhin Bas	103 - 183 - 240 83 - 85 - 87 - 89 - 90 - 98 - 115 - 117 - 120 - 132 - 136 - 140 - 144 - 202 - 203 - 225 - 235 - 244 - 267 - 271
Rhin Haut	80 - 82 - 98 - 112 - 117 - 132 - 136 - 137 - 140 - 174 - 198 - 21 - 220 - 225 - 229 - 235 - 243 - 253 - 270
Rhône	202
Saône-et-Loire	122 - 214
Sarthe	163 - 217
Savoie Haute	(essais en cours)
Var	163
Vaucluse	193
Vienne	91 - 211 - 214
Vosges	80 - 86 - 90 - 91 - 98 - 112 - 114 - 117 - 120 136 - 137 - 144 - 274
Finlande	126
Guinée française	286

BIBLIOGRAPHIE

ALLEMAGNE

- Das Grubenholz* von Max LINCKE.
Das Herstellen von Kieferngruben= und Faserholzsorten von Institut für forstliche Arbeitswissenschaft (Ifa). Eberswalde, 1940.
Les Mines de la Sarre. Quelques aspects de l'activité de la Régie des Mines de la Sarre, édité par la Direction Générale des Mines de la Sarre, 1953.

BELGIQUE

- Etude comparative des diverses essences de bois employées pour le soutènement dans la mine*, édité par l'Office Central d'Approvisionnement des Charbonnages belges. Juin 1953.
Note exposant quelques considérations sur la valeur du calcul des moyennes déduites des résultats d'un groupe d'essai de même nature, Annexe 1, édité par l'Office Central d'Approvisionnement des Charbonnages belges. Juin 1953.
Note relative à la notion du nerf du bois de mine. Annexe 2, édité par l'Office Central d'Approvisionnement des Charbonnages belges. Juin 1953.
Note relative aux bois de mine obtenus par sciage. Annexe 5, édité par l'Office Central d'Approvisionnement des Charbonnages belges.
Conditions de sollicitation des bois de mine en vue de déterminer les méthodes d'essai, par M. E. PARLONGUE, Chef du Service des Bois de Mine à l'Office Central d'Approvisionnement des Charbonnages belges, n° 11, 1950.
Etude sur l'utilisation du bois pour le soutènement des terrains dans les charbonnages, édité par l'Office Central d'Approvisionnement des Charbonnages belges (O.C.A. Char.), 1949.
Monographie du Pin sylvestre, édité par l'Office Central d'Approvisionnement des Charbonnages belges, 1949.
Monographie de l'Épicéa, édité par l'O.C.A. Char., 1949.
Monographie du Pin maritime, édité par l'O.C.A. Char., 195.
Monographie du Charme, édité par l'O.C.A. Char., 1950.
Monographie du Mélèze, édité par l'O.C.A. Char., 1950.
Monographie du Chêne, édité par l'O.C.A. Char., 1950.
Monographie des Bouleaux, édité par l'O.C.A. Char., 1951.
Monographie des aunes, édité par l'O.C.A. Char., 1951.

FRANCE

- Les Bois de Mine*, par J. COULON, 1952, édité par les Presses Universitaires de France, 108, boulevard Saint-Germain, Paris 6L.

PAYS-BAS

- Hoe Verkopen Wij ons hout?* Vlugschrift Staatbosbeheer. Netherlands.
Mijnhoutonderzoek am eik. C.F. Lekkerkerker décembre 1952. Landbouwhogeschool afdeling Bosexploitatie en Boshuishoudkunde. Wageningen.

ROYAUME-UNI

- Mining timber* by S.E. WILSON, M. Sc., Ph. D., D.I.C., published by The Lumberbook Company, Clevedon, Somerset.
- The use of timber in mining*, by H. HENSHAW, published by The Development Association limited, 75 Cannon Street, London E.C. 4.
- The strength of pit-props*, by Prof. H. LOUIS, M. A. Transaction of Federated Institution of Mining Engineers.
- The strength of pit-props*, by FRED. L. BOOTH, published by Forestry Commission, 25, Saville Row, London, W.I.
- The strength of home-grown timber pit-props*, by F. H. ARMSTRONG, published by Forestry Commission, 25, Saville Row, London, W. I.
- An enquiry into the suitability of scottish-grown timber for aeroplane and pit-prop purposes*, by Prof. T. HUDSON BEARE, M. INST. C.E., D.L., published by Forestry Commission, 25, Saville Row, London, W.I.
- An enquiry into the suitability of scottish-grown timber for aeroplane and pit-prop purposes*, by Prof. T. HUDSON BEARE, M. Inst. C.E., D.L., published by Forestry Commission, 25, Saville Row, London, W.I.
- Mining timber and its preservation*, by B. C. HOLLINGSWORTH, published by the British Wood Preserving Association, 6, Southampton Place, London W.C. 1.

U.S.A.

- A laboratory method for testing wood mine pins in tension*, by W. H. REID and C.B. KOCH. Bulletin 373 T, novembre 1955. West Virginia University Agricultural Experiment Station. Morgantown.
- The consumption of wood in mining*, document ME/180/52, published by the Food and Agriculture Organization. Viale delle Terme di Caracalla, Rome.
-

Imprimerie Georges Thoms - Nancy.

Dépôt légal IV/1938 - N° 476