

MAI/JUIN 1981
No 343
67e année

L'INGÉNIEUR

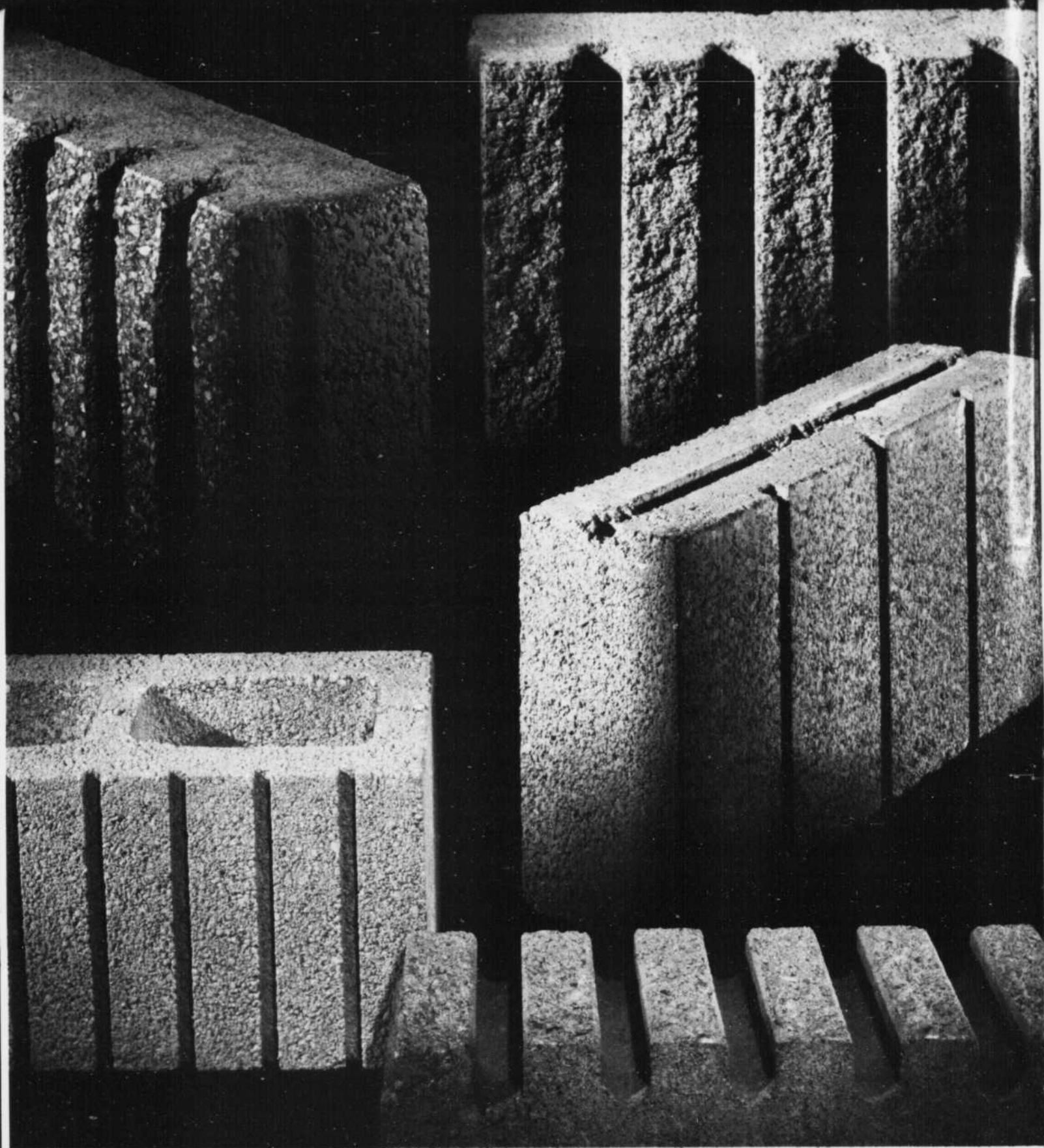
ANATOMIE ET STRUCTURE DU BOIS
PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES
SÉCHAGE



LE BOIS

	Canada Post Postage paid	Postes Canada Post paid
Bulk third class		En nombre troisième classe
Retour garanti		F-353 Montréal

C.P. 6079, Succ. A,
Montréal, Québec H3C 3A7



Nos blocs à la carte...

Les blocs de béton, vous permettent maintenant de laisser libre cours à votre imagination créatrice. Les blocs architecturaux MIRON sont en effet disponibles dans des couleurs, des textures et des reliefs d'une variété presque infinie. Vous pouvez même créer des motifs originaux et les faire exécuter sur demande. Dans une seule opération, vous mettez en place une structure

MIRON

solide, économique et d'une beauté durable. Et les blocs architecturaux se prêtent tout autant à des constructions de type industriel qu'à des applications commerciales ou résidentielles. Si l'esthétique compte autant pour vous que l'économie, renseignez-vous, sur les avantages des blocs architecturaux MIRON avant d'entreprendre tout projet de construction.

**ADMINISTRATION
ET RÉDACTION**

a/s École Polytechnique
Case postale 6079 - Succursale • A •
Montréal, Québec, H3C 3A7
Tél. : (514) 344-4764

COMITÉ ADMINISTRATIF

Jean-Claude THERRIEN, ing.
président
André BAZERGÜI, ing.
Gérald BÉLANGER, ing.
André BROSSARD, ing.
Paul HEBERT, ing.
Jean L. LEDUC, ing.
Gérald N. MARTIN, ing.
Yvon PARENTEAU, ing.

SECRÉTAIRE ADMINISTRATIVE

Yolande GINGRAS

COMITÉ CONSULTATIF DE RÉDACTION

Gérald BÉLANGER, ing.
directeur
Denis ANGERS, ing.
Bernard BÉLAND, ing.
Michel BILODEAU, ing.
Réal BOUCHER, ing.
Médéric DESROCHERS, ing.
Yvon M. DUBOIS, ing.
Marcel FRENETTE, ing.
Claude GUERNIER, ing.
Norman McNEIL, ing.
Marc TRUDEAU, ing.
Charles VILLEMAIRE, ing.

RÉDACTEUR

Charles ALLAIN

PUBLICITÉ

JEAN SÉGUIN & ASSOCIÉS INC.
Courtiers en publicité

601, Côte Vertu, St-Laurent, Québec H4L 1X8
Téléphone : (514) 748-6561

ÉDITEURS

Association des Diplômés de Polytechnique

En collaboration avec l'École Polytechnique de Montréal, la Faculté des Sciences et de Génie de l'Université Laval et la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Sherbrooke. Publication bimestrielle - Imprimeur : Les Presses Elite.

ABONNEMENTS

Canada 10 \$ par année
Etranger 15 \$ CAN par année
A l'unité 2 \$

DROITS D'AUTEURS : Les auteurs des articles publiés dans L'INGÉNIEUR conservent l'entière responsabilité des théories ou des opinions émises par eux. Reproduction permise, avec mention de source : on voudra bien cependant faire tenir à la Rédaction un exemplaire de la publication dans laquelle paraîtront ces articles. - Engineering Index, Biol., Chem., Sci., Abstracts, Periodex et Radar signalent les articles publiés dans L'INGÉNIEUR - ISSN - 0020-1138 - Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec.

Tirage certifié : membre de la
Canadian Circulation Audit Bureau



L'INGÉNIEUR

LE BOIS, MATÉRIAU NATUREL AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

M. Jean Poliquin, ing. f., professeur titulaire à la Faculté de Foresterie et de Géodésie de l'Université Laval, est le coordonnateur de ce numéro.

4 AVANT-PROPOS

Jean Poliquin, ing. f.

7 ANATOMIE ET STRUCTURE DU BOIS

Jean Poliquin, ing. f.

La structure anatomique du bois est considérée tant sous l'aspect macroscopique que microscopique. On décrit les divers éléments cellulaires qui constituent le xylème des bois de résineux et de feuillus tout en attirant une attention particulière sur les caractères qui influencent les caractéristiques physico-mécaniques ainsi que le comportement du bois au séchage.

15 PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES DU BOIS

Michel Beaudoin, ing. f.

L'objectif général de cet article est de définir et d'expliquer les principales propriétés physico-mécaniques du bois de façon à familiariser le lecteur avec ce matériau. La densité, la teneur en humidité, la rétractibilité ainsi que les principales caractéristiques thermiques et électriques font l'objet de la première partie. Dans un deuxième temps, les propriétés mécaniques les plus importantes sont analysées en fonction des principaux facteurs qui les influencent.

27 LE SÉCHAGE DU BOIS

Yves Fortin, ing. f.

Le séchage du bois est une opération qui consiste à réduire la teneur en eau du bois à un niveau correspondant à la teneur en humidité d'équilibre propre à son utilisation. Ce traitement confère au bois une meilleure stabilité dimensionnelle à l'usage, et améliore de plus la plupart de ses propriétés telles que sa résistance mécanique, sa résistance aux pourritures, et ses aptitudes générales à la transformation. La structure particulière du réseau capillaire du bois de même que les phénomènes d'hygroscopicité et de rétractibilité font du séchage un processus complexe. Néanmoins, la technologie moderne permet de sécher le bois dans des conditions suffisamment bien contrôlées pour assurer la production économique et efficace d'un produit de haute qualité.

RUBRIQUES

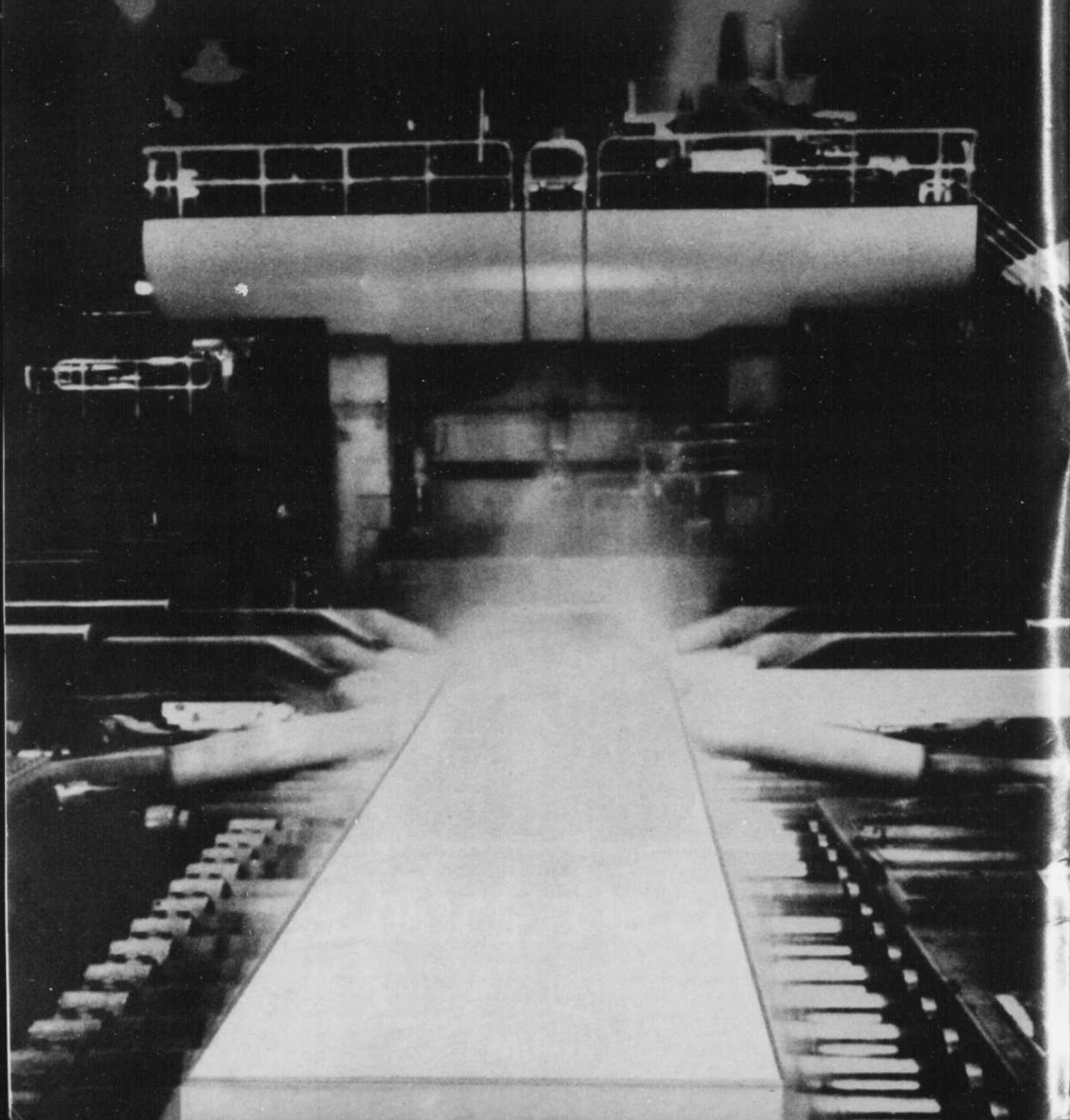
- 6 ABSTRACTS
- 36 CHRONIQUE : L'INGÉNIEUR ET...
- 39 OFFRES D'EMPLOI
- 43 ÉVÉNEMENTS À VENIR
- 44 RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS

PAGE COUVERTURE

Photo : Gracieuseté de la Compagnie Internationale de Papier du Canada.

**Voici une autre innovation
d'Algoma dans le domaine de l'acier:**

**La plaque d'acier normalisée
sortant directement du laminage.**



Et du contrôle total des procédés résulte le contrôle total de la qualité.

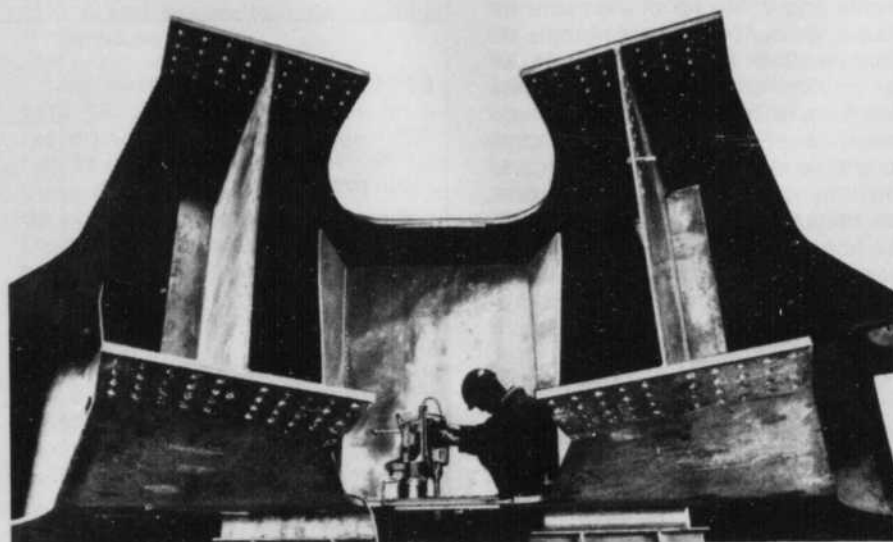
Depuis de nombreuses années, Algoma est l'un des principaux fournisseurs de plaque d'acier au Canada. Avec la construction de la nouvelle installation de traitement thermique dans le complexe du laminoir à plaque de 166", Algoma devient le fournisseur le plus complet.

Les aciéristes d'Algoma ont un contrôle informatisé total du produit final normalisé... parce qu'ils ont le contrôle de toutes les grandes étapes de l'élaboration de l'acier, du laminage et de la transformation. Et du contrôle total des procédés résulte un contrôle total de la qualité.

Dimensions offertes

Largeur	Épaisseur	Longueur
Max. 3 900 mm (153")	Max. 100 mm (4")	Max. 24 400 mm (960")
Min. 800 mm (32")	Min. 5 mm (3/16")	
Surface de section transversale maximale: 186 000 mm ² (288 po ²)		

Veuillez vous renseigner si vous avez besoin de plaques de dimensions et de spécifications différentes.



Le procédé de normalisation

La plaque d'acier jusqu'à 3 900 mm (153") de large est chauffée dans le nouveau four à sole en continu, y est maintenue pendant une période prédéterminée, puis sort sur un convoyeur à rouleaux vers un refroidisseur où elle est refroidie à l'air. Tout le procédé est informatisé.

Algoma peut produire des plaques d'acier normalisées satisfaisant à la plupart des normes courantes et des spécifications des entreprises, y compris les normes de l'ACNOR, les normes ASTM, ASME, BS, DIN et LLOYD'S.

La qualité Algoma: contrôlée étape après étape.

Algoma a à cœur de produire des nuances d'acier à haute résistance et rendement élevé. À chaque étape, de la matière première à l'élaboration du fer, de l'élaboration de l'acier au laminage de la plaque... et maintenant à la normalisation, toutes les opérations sont effectuées selon les méthodes rigoureuses de contrôle de la qualité d'Algoma, en n'oubliant jamais l'utilisation à laquelle vous destinez la plaque. Parce que l'acier, c'est notre affaire.

Écrivez ou téléphonez au bureau de vente d'Algoma le plus près pour obtenir un exemplaire de la nouvelle brochure très intéressante intitulée: "Fabrication de plaques par traitement thermique et données de conception".

ALGOMA STEEL

Aciers Algoma Limitée
Sault Ste. Marie, Ontario

Bureaux de vente de district: Moncton, Montréal,
Toronto, Hamilton, Windsor, Winnipeg, Calgary,
Vancouver.

« On ne saura utiliser le bois avec discernement qu'à condition de le comprendre. »

Frank Lloyd Wright

AVANT-PROPOS

Le progrès de l'humanité depuis les époques les plus primitives jusqu'à la technologie hautement développée de l'époque actuelle a été étroitement influencée par sa dépendance à l'égard du matériau-bois. La relative facilité de son façonnage et sa disponibilité quasi universelle ont fait du bois un matériau essentiel à la survie de l'humanité. Le bois a été utilisé pour l'érection d'abris, comme combustible, dans la confection d'outils et d'armes depuis des temps immémoriaux. Au fur et à mesure du développement de la technologie de l'homme, les emplois du bois se sont multipliés ; c'est ainsi qu'il a été utilisé dans la construction de bateaux, de véhicules, de ponts ainsi qu'à titre de combustibles pour le smelting des minerais et le travail des métaux. Puisque l'homme a utilisé le bois depuis des temps immémoriaux, il va de soi que ses usages et emplois sont très souvent appuyés sur des conceptions empiriques accumulées aux cours des âges. Toutefois, cette approche non scientifique a conduit, d'une part, à une confiance exagérée dans les possibilités du bois et, d'autre part, à une exagération de ses faiblesses. Paradoxalement, la cause première de cet état de fait réside précisément dans la souplesse d'emploi du bois et de sa disponibilité universelle. D'un côté, la transformation du bois et un grand nombre de ses emplois sont si simples qu'ils sont accessibles à des technologies les plus simples pour les peuples de cultures très différentes. D'un autre côté, le bois est un matériau d'une complexité plus grande que tout autre matériau disponible à l'ingénieur et son utilisation dans le cadre d'une situation technologique hautement compétitive fait appel à une compréhension scientifique et technique qui n'est pas le fait de la plupart de ses consommateurs.

Prenant ces remarques en considération, les auteurs du présent numéro ont choisi comme thèse qui

constituera en quelque sorte la trame commune aux trois articles, les relations entre l'eau et le bois et leur incidence sur l'emploi industriel des bois massifs. C'est ainsi que dans un premier temps, on expliquera, de façon évidemment sommaire, la structure du bois, sa variété, sa complexité et sa variabilité, tout en soulignant les aspects de structure

qui interviennent dans les relations eau-bois. Au deuxième article, on donnera un aperçu des propriétés physico-mécaniques du bois, tout au moins les plus importantes en mettant l'emphase sur celles liées à l'eau comme le gonflement-retrait, l'abaissement des propriétés mécaniques, etc. Il découle des considérations des deux premiers articles

Volume marchand par essence forestière au Canada
(1.000.000 mètres cubes)

RÉSINEUX	Économiquement accessible	Économiquement inaccessible
Pin blanc	192	
Pin rouge + ponderosa	43	
Pin gris + lodgepole	2477	288
Mélèze	48	3
Épinette	5183	942
Pruche	1876	31
Douglas	531	118
Sapin	2952	5
Thuya plicata + occidentalis	1068	
Cèdre	173	
Autres résineux	4	
Total	14,547	1,679*
FEUILLUS		
Peuplier	1366	82
Tremble	663	124
Peuplier trichocarpa	32	14
Bouleau jaune	340	
Bouleau blanc	1028	61
Hêtre	68	
Érable	514	
Frêne	24	
Autres feuillus	122	6
Total	4,157	287

* Le total (1679 millions m³) n'est pas égal à la somme des volumes par essence (1387 millions m³) car pour la province de Terre-Neuve, 218 millions m³ n'ont pas été répartis par essence pour les résineux inaccessibles (Rousseau-Lafond, D., C.R.F.L. Ste-Foy)

que l'emploi sage et prudent du bois à l'échelle industrielle entraîne inéluctablement la nécessité d'amener le bois à des teneurs en humidité contrôlées et convenables à l'emploi projeté.

Toutefois, avant de passer au cœur du sujet, il apparaît nécessaire de situer le bois dans le cadre de ses origines. À prime abord, on peut considérer comme une lapalissade le fait de dire que le bois vient des arbres. Toutefois, une réflexion plus soutenue nous enseigne que c'est là précisément que se trouve la cause première de la diversité, la complexité et la variabilité du bois. En effet, le bois, étant partie intégrante de l'arbre vivant, est donc d'origine biologique; par voie de conséquence, sa formation est soumise aux lois de la vie et reflète la grande diversité de la nature en général.

Il convient de voir les critères qui font qu'un bois donné est marchand. Dans différentes parties du monde, la richesse de la flore arborescente varie entre des limites très larges pour atteindre un sommet dans les bassins de l'Amazonie et dans la péninsule de Malaisie. Un estimé conservateur situe le nombre d'espèces de plantes arborescentes en Amazonie aux environs de 5 000 et on a reconnu un bon 2 500 espèces arborescentes dans la région malaise. Plus près de nous, la publication intitulée « Arbres indigènes du Canada » (Hosie 1969) décrit 117 espèces arborescentes dont 31 appartiennent aux arbres conifères (Bois de résineux) et 86 aux arbres feuillus (Bois de feuillus); à peine plus d'une vingtaine fournissent des bois marchands. Cette divergence est due à divers facteurs.

Par exemple, plusieurs espèces n'atteignent pas une taille marchande en terme de grumes de sciage; toutefois, ils peuvent tout de même conserver une importance commerciale reconnue pour d'autres usages que le sciage. La qualité du bois est évidemment de toute première importance; certains arbres peuvent atteindre une taille suffisante mais ne sont pas considérés marchands parce que leur bois n'a pas suffisamment de valeur dans une conjoncture économique donnée.

Sur un plan plus strictement forestier, il ne fait aucun doute que l'accessibilité constitue un facteur de toute première importance. Au Canada, certains peuplements ne sont pas considérés comme marchands tout simplement parce qu'ils ne sont pas accessibles (montagnes) ou trop éloignés des points de transformation. Dans ce cas, il ne s'agit pas

forcément des espèces elles-mêmes. En forêt tropicale, cependant, c'est souvent le cas, surtout si on considère qu'une espèce peut être distribuée de façon très éparse, donc un facteur de concentration peut entrer en considération. Finalement, l'état de développement de la technologie de transformation peut faire qu'à un moment donné une espèce devienne marchande parce que, désormais, il est devenu possible de la transformer en un produit utile et vendable.

Finalement, pour compléter ce préambule, il convient de donner quelques remarques à propos des forêts canadiennes et québécoises et des grands groupes de produits forestiers qu'on en tire.

Le capital forestier canadien en croissance, évalué à environ 19 milliards de mètre cubes, représente environ 7% de toutes les forêts du monde. Sur une superficie boisée de 922 millions d'hectares plus de 37% sont couverts de forêts. Sur le plan mondial, le Canada occupe le 3^e rang après l'U.R.S.S. et le Brésil en ce qui a trait aux réserves forestières et il est reconnu comme le 3^e plus grand exportateur de produits forestiers au monde.

Les forêts canadiennes regroupent 140 essences indigènes arborescentes et arbustives (Hosie 1969). Les 31 conifères indigènes dominent puisqu'ils constituent environ 80% du volume total du bois marchand. L'encadré présente, pour les principales essences, la contribution relative de chacune d'elles (%) au volume total.

Les produits forestiers manufacturés à partir des forêts canadiennes jouent un rôle important dans le développement de ce pays et cela depuis l'arrivée des premiers colons. Ayant d'abord servi à la construction

des cabanes et maisons des premiers arrivants, ils ont permis l'exportation du chêne et du pin pour la construction des navires britanniques pour, finalement, devenir le secteur de pointe que constitue aujourd'hui l'industrie des produits forestiers.

En 1977, la valeur des expéditions de l'industrie du papier et produits connexes ainsi que les industries de la transformation du bois se situent respectivement au 3^e et au 6^e rang des industries manufacturières canadiennes. La même année, la récolte et la transformation du bois d'œuvre ont généré environ 284 000 emplois créant ainsi une masse salariale de 4.48 milliards de dollars. Le total de la valeur ajoutée par toutes les industries forestières a été de 8.23 milliards de dollars et la valeur des expéditions atteignaient 18 milliards de dollars, soit 17% de celle de toutes les industries manufacturières. (BOIS DU CANADA, sous presse).

L'industrie forestière du Canada représente l'activité économique la plus importante au regard de la valeur en dollars des produits finals et les gains en devises étrangères. Bien qu'en toute probabilité, le total des exportations augmentera, la position relative de cette industrie régressera légèrement en raison de l'augmentation de l'exportation de produits de grande valeur. L'industrie des produits de la forêt n'en demeure pas moins celle qui importe le plus de devises étrangères.

Voilà, quelques considérations qui auront su, nous l'espérons, situer le bois dans la perspective juste d'un matériau poreux, hygroscopique d'origine biologique et dont l'utilisation industrielle, très importante chez nous, repose sur une connaissance scientifique poussée.



Jean Poliquin

M. Jean Poliquin est professeur titulaire à la Faculté de Foresterie et de Géodésie de l'Université Laval depuis 1977. Diplômé de l'Université de Montréal en 1952, il obtint son B. Sc. A. à l'Université Laval en 1960, puis une maîtrise en sciences forestières en 1962 à cette même institution; il compléta par la suite des études avancées (D. Sc. Techn.) à l'École Polytechnique Fédérale de Zurich en 1966. Ses activités de recherche sont principalement axées sur la microtechnologie et la structure du bois ainsi que de ses produits dérivés. M. Poliquin fut professeur d'enseignement forestier au Zaïre pendant deux ans (1974-75) et a participé depuis 1967 à plusieurs congrès internationaux; membre de maintes associations scientifiques et de l'Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec, il est aussi l'auteur de nombreuses publications.

ABSTRACTS

WOOD ANATOMY & STRUCTURE

by Jean Poliquin, F.E.

The wood anatomy is considered both anacrosopically and microscopically. The xylary cellular elements of both soft and hardwoods are described highlighting particularly the characteristics influencing the physico-mecanical behaviour of wood, thus setting the bach-ground for drying.

PHYSICAL & MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD

by Michel Beaudoin, F.E.

The main objective of this paper is to review the psysical and mechanical properties of wood. The specific gravity, moisture content, retractibility as well as the thermal and electrical characteristics of wood are first defined and explained. Then, the mechanical properties and their main affecting factors are discussed.

THE DRYING OF WOOD

by Yves Fortin, F.E.

The drying of wood is a process that consists of reducing the moisture content of wood close to the equilibrium moisture content it will attain in service. This treatment results in a better dimensional stability, and also improves many other properties such as strength, resistance to decay and amenability to processing. The particular structure of wood capillary system as well as the hygroscopicity and shrinkage-swelling phenomena make wood drying a complex process. Nevertheless, modern technology enables wood drying to be done in such controlled conditions as to ensure the economical and efficient production of a high quality product.



M. Maurice Marciel directeur régional de l'Association Canadienne du Ciment Portland est heureux de vous présenter notre spécialiste en transport M. L. Carol Duchesne ingénieur civil.

M. Duchesne possède une vaste expérience dans le domaine du génie civil et plus particulièrement dans la mécanique des sols et le béton.

L'Association Canadienne du Ciment Portland a pour objectif d'améliorer et de promouvoir l'utilisation du ciment Portland par : l'éducation, le service technique, la recherche et les travaux appropriés d'ingénierie.

Contrôles industriels disponibles en inventaire



EAGLE SIGNAL

Minuteries.
Compteurs.
Programmeurs.
Contrôles
industriels

LUCIFER

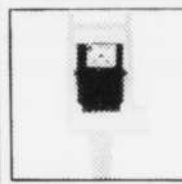
Electrovalves



MERCOID
Contrôles de
pression, de
Température et de
Niveau



REX
Interrupteurs
horaire pour
conservation de
l'énergie

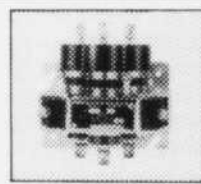


ENDRESS HAUSER

Contrôles de
niveau pour
Liquides, Solides
et Poudres

DURAKOOL

Contacteurs au
mercure très
résistants



WALLACE &
TIERNAN
Produits pour
contrôle de débits



WARRICK
Contrôles de
niveau et de
pompes

Téléphonez
ou écrivez
pour de plus
amples infor-
mations.



EQUIPEMENTS DE
Contrôle Davis

LIMITÉE

165 RUE RICHER, VILLE ST-PIERRE, LACHINE, QUÉBEC H8R 1R4
MONTREAL 514/481-7765

et dans d'autres grandes villes au Canada

Composer sans frais de dedans les indicatifs régionaux 514, 819 et 418
1-800-361-5294

ANATOMIE ET STRUCTURE DU BOIS

Jean Poliquin, ing f.*

Résumé

La structure anatomique du bois est considérée tant sous l'aspect macroscopique que microscopique. On décrit les divers éléments cellulaires qui constituent le xylème des bois de résineux et de feuillus tout en attirant une attention particulière sur les caractères qui influencent les caractéristiques physico-mécaniques ainsi que le comportement du bois au séchage.

Introduction

Le présent article se propose de porter à la connaissance du lecteur quelques notions fondamentales de la structure intime du bois tout en mettant en exergue l'incidence de cette dernière sur les relations eau-bois, relations qui sous-tendent les particularités du comportement physico-mécanique du bois.

Aspects macroscopiques du bois

Il est convenu d'appeler caractéristiques macroscopiques du bois toute caractéristique visible à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe permettant un grossissement de 10 à 15 fois. L'apparence macroscopique du bois diffère en fonction du plan selon lequel le bois est coupé et examiné ; ce plan est toujours défini par rapport à l'axe de l'arbre (fig. 1).

Caractéristiques de la coupe transversale

La coupe transversale d'un tronc d'arbre est normalement circulaire. On peut y distinguer trois parties : la moelle, le bois et l'écorce. Entre le bois et l'écorce on peut distinguer à l'aide d'un microscope un autre tissu. Ce tissu est appelé cambium : il s'agit d'une assise méristématique qui engendre le bois et l'écorce interne ou ploème (fig. 1).

Le bois se caractérise par la présence plus ou moins évidente de couches concentriques appelés « cernes annuels ». Cette structure est le résultat immédiat du mécanisme de croissance de l'arbre qui se réalise par la production alternée de couches de structure bien différente. Dans les régions à climat tempéré, il s'ajoute généralement une telle couche de bois à chaque saison de croissance. L'appellation « cerne annuel » comporte un certain danger puisqu'il est possible dans certains cas anormaux qu'il se produise plus d'un cerne au cours de la même année ou encore que plusieurs cernes

n'apparaissent pas sur toute la circonférence du tronc ; on parle alors de faux cernes, de cernes manquants ou de cernes incomplets.

Chez la plupart des espèces les cernes annuels peuvent être facilement distingués les uns des autres à cause des différences de structure entre le bois initial et le bois final (fig. 1). Le bois initial est formé durant la première partie de la saison de croissance. Ces tissus sont différents par leur densité, leur couleur et d'autres caractéristiques structurales qui sont effectivement le reflet de leur structure cellulaire (microscopique). Chez les bois de résineux, le bois initial et le bois final diffèrent en densité et en couleur ; le bois final est plus foncé et possède une densité plus grande que celle du bois initial. Chez les bois de feuillus, la présence de pores est une caractéristique fondamentale de structure qui est très commode pour la séparation de deux types de bois. Ces pores sont visibles comme des petites ouvertures arrondies à l'intérieur d'un cerne annuel. Ces pores peuvent être parfois visibles à l'œil nu et ils sont de toute façon toujours visibles à l'aide d'une loupe (fig. 2).

En se basant sur le mode de distribution des pores à l'intérieur d'un cerne annuel, on peut classer les bois de feuillus selon deux grands groupes : 1° les « bois à zone poreuse » tels que le chêne et le châtaignier chez lesquels les pores du bois initial sont très évidemment plus gros que ceux du bois final et disposés en forme d'anneaux ; 2° les « bois à pores diffus » tels que l'érable et le peuplier, chez lesquels les pores sont dispersés uniformément dans l'ensemble du cerne. En général, on peut dire que les cernes annuels sont plus facilement visibles chez les bois à zone poreuse que chez les bois à pores diffus. Il existe également un troisième type de bois qu'on est convenu d'appeler bois à pores semi-diffus chez lesquels on peut observer une transition graduelle du diamètre des pores depuis les gros pores du bois initial jusqu'aux petits pores du bois final. Ce genre de bois est toutefois assez rare ; un exemple bien connu est le noyer noir.

Le nombre de cernes annuels comptés sur une coupe transversale prélevée à proximité du sol peut être utilisé dans le but de déterminer l'âge de l'arbre. Il faut toutefois réajuster le nombre observé afin de compenser pour le temps que la plantule aura pris pour atteindre la hauteur à laquelle on aura prélevé le disque ; ceci dépend évidemment de la vitesse de croissance en longueur de l'espèce considérée et évidemment de l'arbre lui-même. Cette détermination ne sera juste que si l'on tient compte de la présence du faux cernes ou de cernes incomplets.

Les cernes annuels peuvent être étroits ou larges. On observe des différences à l'intérieur d'un arbre, entre les arbres

* M. Jean Poliquin est le coordinateur du présent numéro.

et entre les espèces. Certaines espèces sont à croissance rapide (facteur génétique) tandis que d'autres croissent beaucoup plus lentement lorsqu'elles sont soumises aux mêmes conditions de milieu. Chez les vieux arbres, les cernes plus extérieurs ont tendance à devenir plus étroits. De façon très générale, on peut dire que la largeur et le mode de variations d'un cerne à l'autre est en grande partie influencée par les conditions de croissance; un facteur extrêmement important est l'espace disponible tant au-dessus du sol qu'en dessous du sol.

Chez plusieurs espèces, la coupe transversale d'un tronc ne présente pas une couleur uniforme mais, au contraire, on peut y distinguer une partie intérieure plus foncée que celle à la périphérie du tronc (fig. 2.3); ces parties centrales sont appelées « duramen » tandis que la couronne extérieure est appelée « aubier ». On peut observer un duramen chez les pins, le douglas, le séquoia, la pruche, le cyprès, le chêne, le noyer, le châtaignier, l'orme et plusieurs autres espèces. Il faut toutefois mentionner qu'il existe plusieurs espèces qui ne présentent jamais normalement de parties colorées au centre du tronc; chez plusieurs de celles-ci, il est quand même possible d'observer des différences de teneur en humidité, spécialement tout de suite après l'abattage de l'arbre, qui permettent de déceler une partie centrale différente: on l'appelle « bois parfait ».

Une autre caractéristique macroscopique importante chez certains bois de résineux est la présence de canaux résinifères. On peut les observer de façon normale chez les bois de pin, mélèze, épinette et douglas. De façon générale, ils sont plus nombreux et relativement plus gros chez les espèces de pins. Les canaux résinifères apparaissent à l'œil nu ou à la loupe comme de petits points foncés ou blanchâtres. Chez les bois de feuillus, il est possible d'observer des structures analogues qu'on est convenu d'appeler « canaux à gomme »; toutefois on peut dire qu'ils se trouvent très rarement chez les espèces des zones tempérées.

Finalement, disons que tous les bois contiennent des rayons qui, en coupe transversale, apparaissent comme des lignes s'étendant grosso modo depuis la moelle jusqu'à l'écorce (fig. 3). Chez quelques bois de feuillus tels que le chêne, le hêtre et le platane, les rayons sont larges et très évidents. Chez d'autres (chez tous les bois de résineux), ils sont plus ou moins petits et difficiles à distinguer, parfois même à l'aide d'une loupe. Un examen minutieux nous apprend que tous les rayons ne commencent pas à la moelle. Ils peuvent commencer à l'intérieur de n'importe quel cerne annuel; mais une fois qu'ils ont été formés ils continuent en général jusqu'à l'écorce dans laquelle ils pénètrent.

L'écorce entoure le cylindre central ligneux. L'apparence macroscopique de ce tissu varie en fonction de l'espèce et de l'arbre. Chez des arbres très vieux tels que le séquoia et le douglas, l'écorce peut atteindre et même dépasser un pied d'épaisseur. Les cernes annuels à l'intérieur de l'écorce ne peuvent pas être décelés macroscopiquement comme c'est le cas pour les cernes annuels du bois. Toutefois, il est possible de déceler chez les vieux arbres deux parties ou deux couches différentes: l'écorce interne de couleur relativement pâle et l'écorce externe foncée, sèche et ayant l'apparence du liège. Finalement, notons que l'apparence extérieure de l'écorce externe telle qu'on peut l'observer sur les arbres sur pied ou sur les grumes est habituellement caractéristique de l'espèce et, de par ce fait, peut servir de caractère diagnostique pour le dendrologue, avec toutefois quelques réserves.

Caractéristiques des surfaces radiale et tangentielle

Les coupes radiale et tangentielle engendrent des surfaces qui sont différentes l'un de l'autre et toutes deux différentes de la coupe transversale (fig. 1). La surface radiale est en-

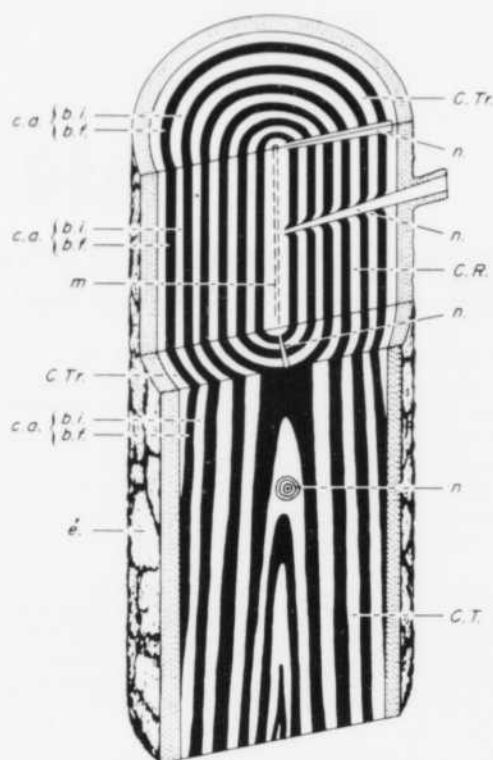


Figure 1 — Illustration schématique d'une bille coupée selon les trois plans principaux du bois.
C.Tr.: coupe transversale; C.R.: coupe radiale;
C.T.: coupe tangentielle
b.i.: bois initial; b.f.: bois final; c.a.: cerne annuel; é.: écorce; m.: moelle; n.: nœud.
(D'après Jane 1956)

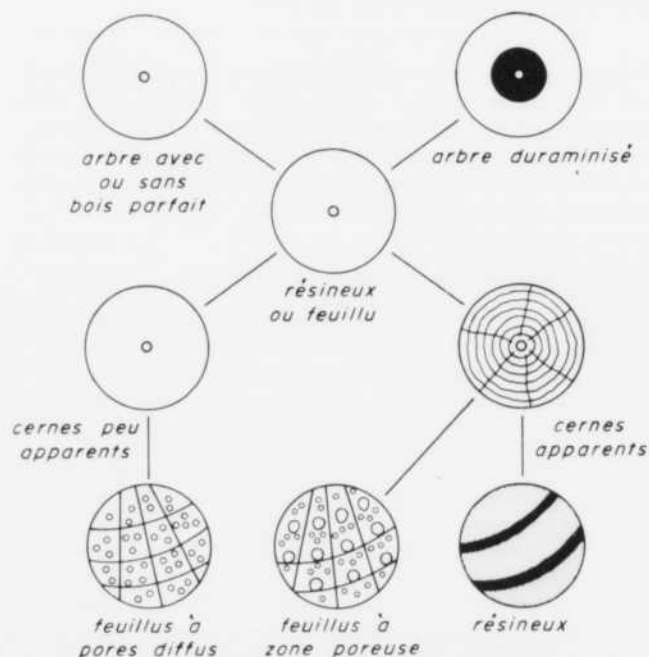


Figure 2 — Divers types de plans ligneux (coupe transversale).
(D'après Wagenführ 1966)

gendrée par le sectionnement du tronc en passant par la moelle.

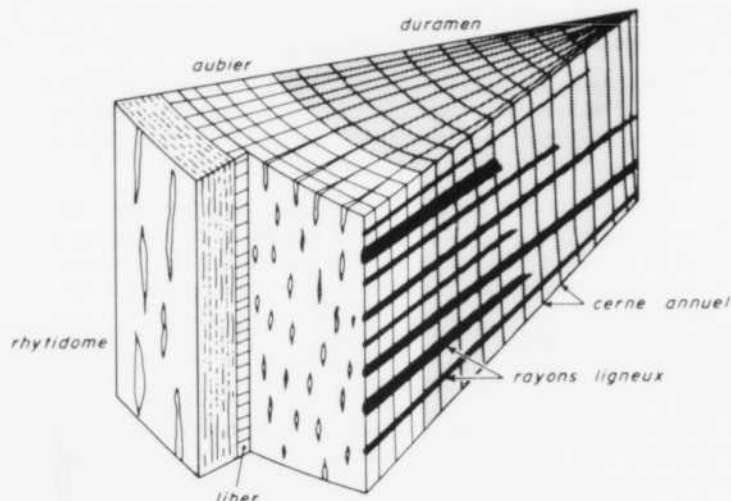


Figure 3 — Autres aspects macroscopiques du bois.
(D'après Wagenführ 1966)

Les canaux résinifères (et les canaux à gomme lorsqu'ils sont présents) et les pores les plus gros des bois feuillus apparaissent comme de fines lignes longitudinales de différentes couleurs. Les rayons s'étendent transversalement. Chez les bois possédant des rayons larges, ces derniers apparaissent comme des taches assez grosses et facilement visibles ; chez le chêne, ces rayons engendrent des marbrures qui le rendent si facilement reconnaissable ; on parle ici de la maillure.

Lorsqu'on coupe du bois tangentiellement aux cernes annuels, il apparaît une image tout à fait distinctive. La surface tangentielle a une apparence ondulée plus ou moins prononcée en fonction du contraste qui peut exister entre le bois initial et le bois final (fig. 1). La moelle n'y apparaît pas mais toutes les autres caractéristiques macroscopiques peuvent y apparaître en fonction de la position relative du plan de coupe par rapport à la moelle. Les rayons coupés transversalement apparaissent allongés dans le sens longitudinal et possèdent une forme de fuseau de longueur et largeur variables ; en conséquence, ils peuvent être visibles à l'œil nu ou être difficilement visibles même à l'aide d'une loupe (fig. 3).

Les caractéristiques macroscopiques du bois tel que décrites précédemment supposent une croissance normale de l'arbre. La présence de diverses anomalies peuvent grandement modifier l'apparence du bois particulièrement sur le plan radial et tangentiel.

Aspects microscopiques du bois

Formes et apparence des cellules ligneuses

Le bois ou plus précisément le « xylème » est composé d'une multitude d'unités très petites. Il n'a été possible de les observer qu'à la suite de l'invention du microscope. On a calculé qu'un pied cube de bois d'épinette contient environ de dix à quatorze milliards de cellules.

Ces cellules de nature diverse sont réunies les unes aux autres de multiples façons caractéristiques des espèces ou groupes d'espèces. À l'aide de moyens chimiques il est possible de dissoudre la substance qui réunit ces cellules les unes aux autres. Ce procédé chimique de séparation des cellules est appelé « macération ». L'examen microscopique d'un bois macéré nous révèle les caractéristiques suivantes de la morphologie des cellules de bois : les cellules des espèces résineuses diffèrent des cellules des espèces feuillues. Les bois

de résineux sont principalement composés de cellules tubulaires longues, étroites et possédant des extrémités fermées, effilées ou obtuses. Ces cellules appelées « trachéides », possèdent des membranes ligneuses épaisses ou minces et sont garnies d'ornements appelés « punctuations » et qui seront décrites plus bas avec détail en raison de l'influence qu'elles ont sur l'écoulement des fluides dans le bois. Dans la masse des trachéides, on peut observer des cellules rectangulaires en forme de briques appelées cellules de « parenchyme ». Ces dernières possèdent également des punctuations. Chez certaines espèces de bois de résineux, on peut observer des cellules peu nombreuses appelées « trachéides de rayons » ; à faible grossissement, elles peuvent apparaître semblables aux cellules de parenchyme axial mais elle ont une forme irrégulière et possèdent des punctuations analogues à celles des grandes trachéides.

Les cellules des bois de feuillus sont beaucoup plus variables en dimension et en forme. La majeure partie de celles-ci sont toutefois longues, étroites et possèdent des extrémités effilées et fermées ; elles présentent une forme généralement analogue à celles des bois de résineux tout en étant beaucoup plus petites. Ces cellules appelées « fibres » peuvent posséder des membranes minces ou épaisses selon les espèces de bois. On peut également observer dans les macérations des cellules de parenchyme. On y observe également un nombre relativement petit de cellules ouvertes aux deux extrémités. Ces cellules sont appelées « éléments de vaisseau » et sont généralement plus courtes que les fibres ; elles sont également très variables tant qu'aux dimensions et à la forme. Quelques-unes sont longues et étroites ; d'autres sont courtes et larges et même certaines peuvent être plus larges que longues. Quelques espèces de feuillus possèdent des trachéides ; toutefois, du point de vue morphologique, ces dernières sont différentes des trachéides de bois de résineux comme il nous sera possible de le voir plus tard. Toutes les cellules sont garnies de punctuations ; toutefois, il est à noter que ces dernières sont les plus fréquentes, les plus abondantes sur les éléments de vaisseau et les trachéides.

Tissus ligneux proprement dits

On vient de décrire brièvement l'aspect des cellules isolées. Dans les paragraphes qui suivent nous étudierons brièvement de quelle façon ces cellules sont groupées pour former le solide « bois ». L'observation au microscope du tissu ligneux montre que les coupes microscopiques sont différentes selon qu'elles sont prélevées dans le plan transversal, radial ou tangentiel. (fig. 4,5). Il est possible d'observer la forme tubulaire des cellules dans chacun de ces plans. À l'exception des cellules de parenchyme et des trachéides de rayons orientées dans une direction parallèle à celle qui chemine depuis la moelle vers l'écorce, toutes les autres cellules sont disposées selon l'axe longitudinal de l'arbre qui est parallèle ainsi à la direction de la moelle. De ce fait, il ressort que l'on peut observer plus facilement le diamètre des cellules axiales, l'épaisseur de leur membrane et la dimension et la forme de leur lumière sur des coupes transversales.

Les cellules ligneuses à maturité sont mortes, c'est-à-dire qu'elles sont dépourvues de protoplasme et de noyaux et ceci même dans l'arbre vivant. Il s'en suit que la lumière de ces cellules est dépourvue de contenu solide. Le protoplasme et les noyaux sont présents seulement au cours des premiers stades de la vie très courte d'une cellule ligneuse et ils disparaissent au cours de la maturation de ces cellules. On doit toutefois noter quelques exceptions qui sont celles des jeunes cellules en cours de croissance situées dans le cambium entre le bois et l'écorce et on doit également mentionner les cellules de parenchyme situées dans l'aubier.

Pour les fins du présent chapitre, on peut dire que la cellule ligneuse à maturité est composée de deux couches, c'est-à-dire d'une couche extérieure mince appelée paroi primaire

et d'une couche intérieure plus épaisse appelée paroi secondaire. Les substances qui cimentent ces cellules ensemble à la façon du mortier dans un mur de briques forment une couche intercellulaire appelée « lamelle moyenne véritable ». Il est impossible sur les préparations microscopiques ordinaires de distinguer la lamelle moyenne véritable de la paroi primaire. Ainsi, ces deux couches apparaissent comme ne formant qu'une entité, d'où le vocable « lamelle moyenne composée ».

Structure des ponctuations aréolées

Nous avons vu précédemment que les membranes des cellules ligneuses sont garnies de ponctuations qui sont à proprement parler des moyens de communications entre deux cellules adjacentes. Un examen attentif de ces ponctuations nous révèle qu'elles sont effectivement des interruptions dans la continuité de la paroi secondaire (fig. 6). Les ponctuations constituent un passage privilégié pour les liquides. Leur forme et leur constitution sont très variables selon les espèces et les types de cellules. Le lecteur verra dans les deux autres articles de ce numéro l'importance du rôle des ponctuations dans l'écoulement des fluides dans le bois.

Description des différents types de cellules

Dans les paragraphes qui suivent nous décrivons les différents types de cellules qui composent le bois, soit les trachéides, les éléments de vaisseau, les fibres et les cellules de parenchyme.

1) Les trachéides

Les trachéides forment environ 90% et plus du volume des bois de résineux. Ce sont des cellules longues, étroites dont la longueur est de 75 à 200 fois (en moyenne 100 fois) plus grande que leur diamètre. Chez les bois de résineux, les lon-

gueurs moyennes des trachéides à maturité varie entre 3 et 5 mm. Le diamètre varie en moyenne entre 20 et 40 μm .

La forme des trachéides est différente dans le bois initial et dans le bois final (fig. 4,5). Les trachéides du bois initial sont relativement minces, ont une section transversale polygonale ou carrée et possèdent des lumières grandes.

D'une part, les trachéides de bois final possèdent des membranes épaisses, des lumières étroites et ont tendance à avoir une forme rectangulaire allongée en direction tangentielle. Le passage des trachéides à parois minces de bois initial aux trachéides à parois épaisses du bois final peut être abrupt ou graduel.

2) Les fibres

Techniquement parlant, les fibres ne se retrouvent que chez les bois des feuillus. Il est bon de remarquer ici que dans son acception industrielle le mot fibre comprend à la fois les fibres proprement dites et les trachéides. Toutefois, on doit garder à l'esprit que les fibres n'ont pas tout à fait les mêmes caractéristiques que les trachéides et que, si l'on veut parler avec correction, il est bon de faire la différence entre les deux. Les fibres sont effectivement des cellules longues, étroites, qui, de façon générale, offrent une assez grande ressemblance avec les trachéides du bois final des résineux. Leur longueur varie en fonction des espèces entre 1 et 2 mm. Leur diamètre varie entre 10 μm et 50 μm . Les fibres ont des extrémités fermées, effilées. Leurs parois peuvent être minces ou épaisses et leur lumière étroite ou large. Ces caractéristiques varient principalement en fonction des espèces mais il faut remarquer que des fibres formées vers la fin de la saison de végétation possèdent en général des parois épaisses et sont aplaties tangentiellement. Ces dernières caractéristiques sont parfois très commodes pour déterminer la limite des cernes annuels chez les espèces à pores diffus dont les cernes annuels sont très peu contrastés (fig. 5).

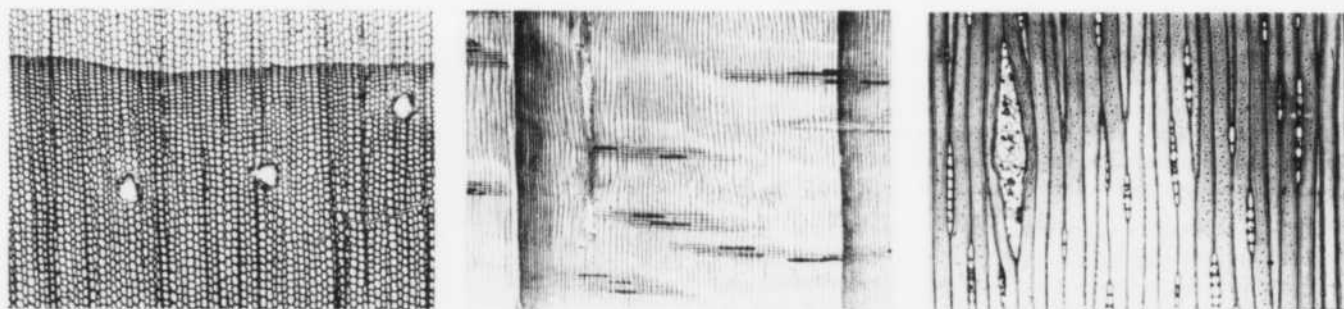


Figure 4 – Photomicrographies des trois plans ligneux du pin blanc.

A : coupe transversale

B : coupe radiale

C : coupe tangentielle.

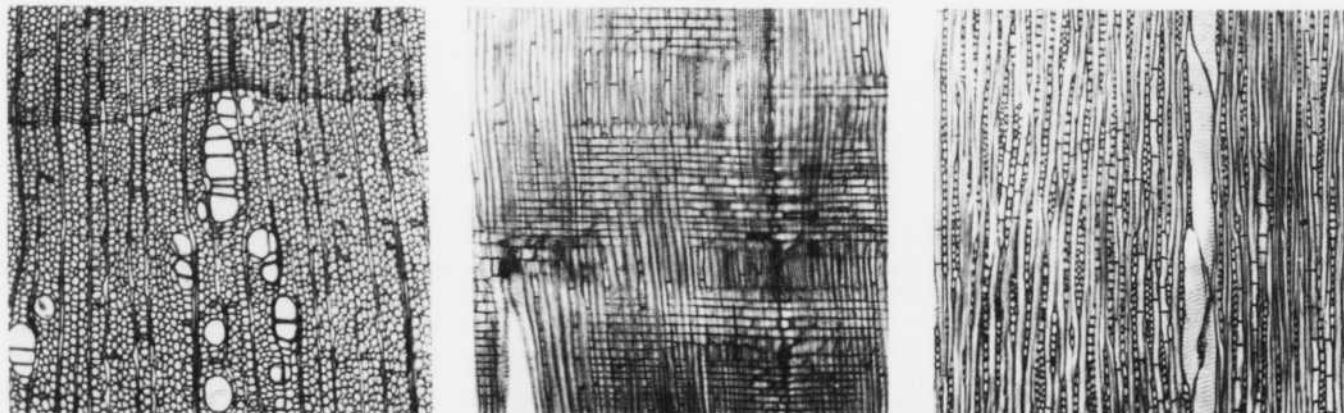


Figure 5 – Photomicrographies de trois plans ligneux du charme de Caroline (*Carpinus caroliniana* WALT).

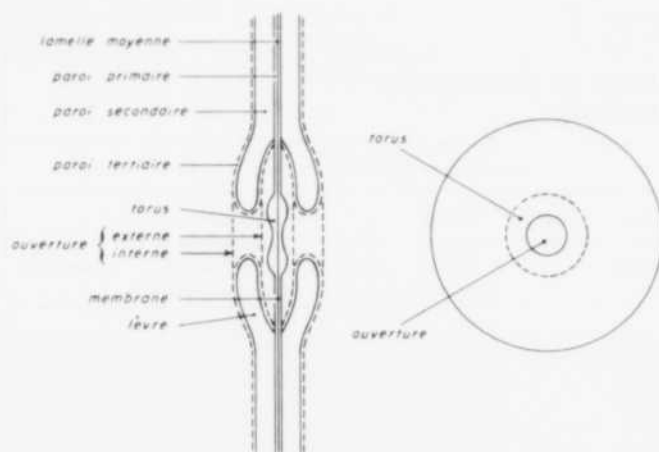


Figure 6 — Représentation schématique d'une paire de ponctuation aréolée.

Les fibres peuvent être classées selon deux types : les fibres-trachéides et les fibres simpliciponctuées. Cette distinction est faite en fonction de la nature des ponctuations. Les fibres-trachéides possèdent des ponctuations aréolées et les fibres simpliciponctuées, comme le nom l'indique, sont ornées de ponctuations simples. La principale fonction des fibres est de procurer un support mécanique à l'arbre. Elles ont donc un rôle de soutien, bien qu'elles puissent à l'occasion participer à la conduction de l'eau dans l'arbre. L'importance relative des fibres chez les différents bois de feuillus est très variable. Chez plusieurs espèces, elles constituent 50% et plus du volume total du bois.

3) Les éléments de vaisseau

Les éléments de vaisseau ne se retrouvent que chez les bois de feuillus. Dans ces bois, un nombre indéterminé de telles cellules sont réunies bout à bout pour former une structure en forme de tuyau de longueur variable appelé « vaisseau ». Les parois terminales des éléments de vaisseau sont en totalité ou partiellement hydrolysées au cours de la formation de ces cellules. Ainsi, la surface déterminée par les deux éléments de vaisseau placés bout à bout est appelée « cloison perforée ». La forme que peuvent prendre ces cloisons perforées et leur structure sont caractérisées et classifiées ; elles constituent un outil commode lors de l'identification des bois.

Les vaisseaux qui ne servent plus à la conduction de la sève, ceci se produisant principalement lorsque l'aubier est transformé en bois parfait, peuvent être occlus par des thylls. Les thylls sont une excroissance d'une cellule de parenchyme à travers une paire de ponctuations jusque dans la lumière d'un élément de vaisseau. Ces thylls seraient selon toute apparence les résultats d'un gradient de pression osmotique qui existerait entre les éléments de vaisseau et les cellules de parenchyme. Au cours du séchage des bois, les thylls peuvent jouer un rôle très important si l'on considère que ces derniers peuvent éventuellement boucher complètement les éléments de vaisseau et, de par ce fait, retarder ou inhiber complètement l'écoulement longitudinal des liquides ou des vapeurs.

4) Autres éléments

Les éléments décrits précédemment constituent la majeure partie du xylème. Qu'il suffise ici de mentionner que, selon les espèces, l'expert distingue en fonction de la forme et des fonctions un certain nombre d'autres éléments du xylème.

Composition chimique du bois et ultrastructure

On n'observe aucune différence importante entre les bois en ce qui a trait à leur composition chimique élémentaire. Les principaux éléments chimiques du bois sont : le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. On y décèle également des petites quantités d'azote. L'analyse chimique d'un certain nombre d'espèces comprenant des résineux et des feuillus démontre que la proportion des différents éléments exprimés en pourcentage du poids anhydre du bois s'établit comme suit : carbone environ 49 à 50% ; hydrogène environ 6% ; oxygène environ 44 à 45% ; l'azote 0.1% à 1%. En plus des éléments ci-haut mentionnés, de petites quantités d'éléments minéraux s'observent dans les cendres du bois : il s'agit principalement du calcium, potassium et magnésium. Habituellement la teneur en cendres est inférieure à 0.2% du poids anhydre du bois ; il s'agit ici des essences des zones tempérées. Certaines essences tropicales montrent des teneurs en cendres beaucoup plus élevées principalement en raison de quantités inhabituelles de silice.

Les principaux constituants organiques du bois sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine ; on observe également des petites quantités de pectines. La plupart des constituants organiques du bois ne sont pas des entités chimiques comme telles mais des groupes ou des familles de composés, ce qui les rend assez difficiles à identifier. Les mots cellulose, hémicellulose etc., sont des termes d'acception générale et ils comprennent un nombre assez important de composés chimiquement rapprochés.

Composition chimique du bois

Les proportions de cellulose, hémicellulose, lignine déterminées par des méthodes standards de préparation, s'établissent approximativement comme suit (en pourcentage de la masse anhydre du bois) : cellulose, 40 à 50% (approximativement la même chez les bois résineux et de feuillus) ; la lignine, 20 à 35% chez les bois de résineux et de 17 à 25% chez les feuillus ; les hémicelluloses, 20% chez les résineux et 15 à 35% chez les bois feuillus. La teneur en pectines est très faible (tableau I). La cellulose est un polymère composé de molécules de glucose, monosaccharide formés par photosynthèse à partir du bioxyde de carbone atmosphérique (CO_2).

Les molécules y sont reliées entre elles de façon à former de longues chaînes, dont l'unité de base est la cellulose (fig. 9). Les liens qui unissent deux molécules de glucose s'effectuent en éliminant une molécule d'eau et chaque molécule de glucose ajoutée à la chaîne est tournée 180° . La Formule empirique de la cellulose est la suivante : $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$; « n » est le degré de polymérisation ou le nombre de monomères de glucose par chaîne de cellulose. Ce nombre dans la cellulose naturelle se situe en moyenne entre 8,000 et 10,000.

Les hémicelluloses sont chimiquement apparentés à la cellulose en ce sens que toutes deux contiennent des hydrates de carbone. La séparation de la cellulose et des hémicelluloses est faite en fonction de leur solubilité individuelle dans les bases ; la cellulose n'est pas soluble dans une solution à 17.5% de soude (NaOH) tandis que les hémicelluloses le sont. Les hémicelluloses sont également des polymères en chaîne comme la cellulose mais à un degré beaucoup moindre ; la chaîne groupe environ 150 monomères. Au contraire de la cellulose, qui est exclusivement composée de glucose, les hémicelluloses contiennent une grande variété de monosaccharides. Chez les bois de résineux, ces monomères sont en majeure partie du mannose et quelques molécules de xylose ; d'autre part, chez les bois de feuillus, elles sont composées en grande partie de xylose et un peu de mannose.

Les substances pectiques sont également des hydrates de carbone ou des composés qui leur sont apparentés. On les

TABLEAU I

Nom	Cellulose	Lignine	Fractions des hémicelluloses				Cendres
			Arabino méthyl glucurono xylane	Acetyl méthyl "	Acetyl glacto gluco mamane	Arabino- galactone xyloglucane pectine, etc.	
Sapin baumier	42.2	30.0	7.0		16.8	3.7	0.3
Mélèze laricin	42.2	27.0	8.6		19.2	2.7	0.3
Pin blanc	41.0	29.0	10.0		15.8	3.8	0.4
Douglas taxifollé	42.8	26.4	9.1		18.0	3.3	0.4
Thuya de l'Est	42.7	33.3	6.5		11.5	5.6	0.4
Pruche du Canada	39.6	33.7	4.7		16.6	5.0	0.4
Érable à sucre	40.2	23.1		28.3		3.5	0.3
Bouleau jaune	43.5	23.8		24.8	4.6	4.9	0.6
Hêtre à grandes feuilles	39.5	23.5		29.0	2.7	4.7	0.6
Peuplier faux-tremble	42.6	20.0		28.1	5.3	2.7	0.4

(D'après PANSIN et de ZEEUW, 1980)

retrouve principalement dans la zone cambiale située entre les bois et l'écorce. Toutefois, on peut à l'occasion les déceler dans la lamelle moyenne et la paroi primaire rappelant ainsi leur origine cambiale.

La lignine est le composant de la membrane cellulaire ligneuse qui différencie le bois de tous les autres matériaux cellulotiques produit par la nature. La lignification constitue le dernier stade du développement de la membrane cellulaire ligneuse. La lignification complète coïncide dans le temps avec la dégénérescence du protoplasme et ainsi avec la mort de la cellule.

La lignine n'est pas un hydrate de carbone ; on peut dire que, de façon générale, elle est de nature aromatique. En dépit de longues et laborieuses recherches depuis maintenant près de 100 ans, il n'est pas encore possible de donner une définition chimique qui soit complète ; de plus, l'isolation même de la lignine pose encore des problèmes très sérieux. La composition chimique de la lignine diffère chez les bois de feuillus et de résineux et également varie fortement en fonction des différentes espèces de bois feuillus.

De plus, le bois peut contenir diverses inclusions appelées dans leur ensemble « substances extractibles ». Ces extractibles sont principalement des composés organiques de nature très diverse, tels gommes, graisses, cires, résines, sucres, huiles, amidons, alcaloïdes et tanins. La teneur en extractibles varie depuis de moins de 1% (peuplier) jusqu'à plus de 10% (mélèze) sur la base de la masse anhydre du bois. Toutefois, ils sont très variables non seulement entre les espèces mais tout autant sinon plus à l'intérieur de l'arbre lui-même, principalement entre l'aubier et le duramen.

Ultrastructure de la membrane ligneuse

Comme nous venons de le voir, la cellulose est le constituant principal du bois. Les paragraphes suivants tenteront de montrer de quelle façon cette cellulose est physiquement constituée.

Ce polymère est constitué de segments de diverses longueurs comportant des séries répétitives de « cellobiose » (figure 7). Les dimensions de cette unité sont en longueur de 10,3 Å et en section transversale de 8,3 Å sur 7,9 Å. Si l'on reconnaît que le degré de polymérisation est de 10,000, on en déduit donc que la longueur moyenne de la chaîne est de 50,000 Å.

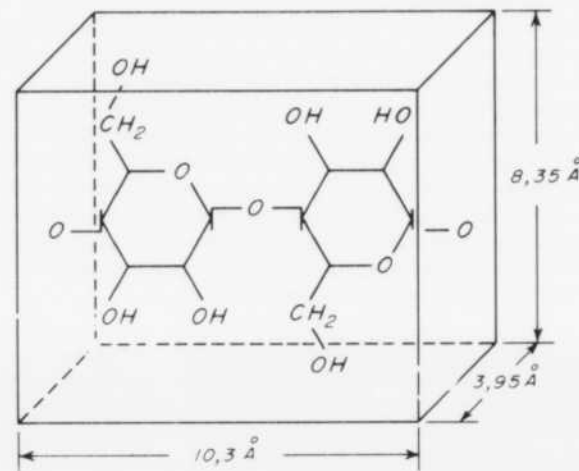


Figure 7 - Représentation schématique de la cellulose.

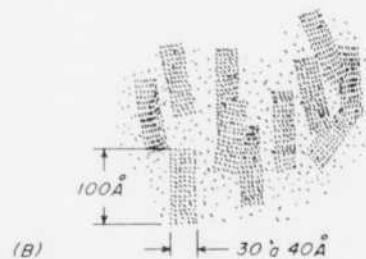
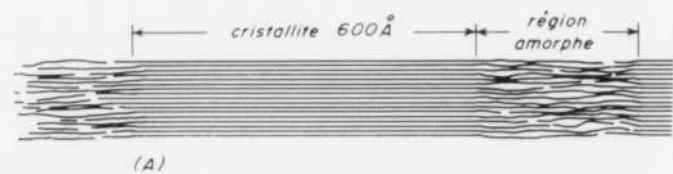


Figure 8 - Schéma d'une microfibrille : A - vue latérale ; B - vue en coupe transversale. (D'après Siau 1971)

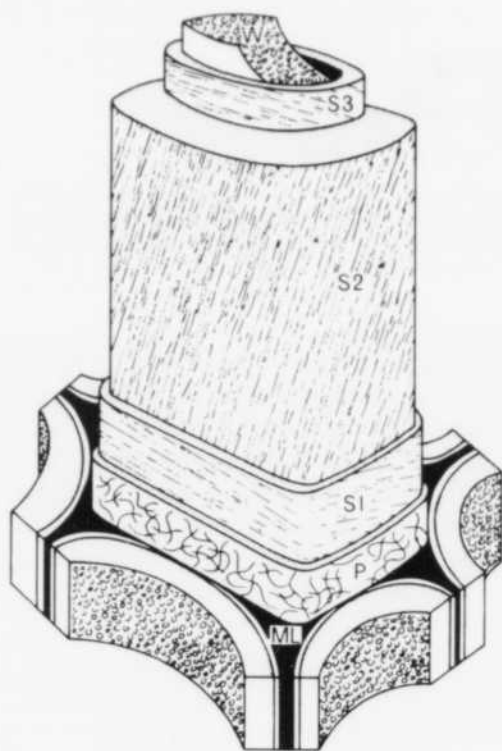


Figure 9 — Représentation schématique de la structure de la membrane ligneuse d'une trachéide typique de conifère.
(D'après Côté 1967)

Les molécules d'eau peuvent être adsorbées sur les groupes hydroxyles libres par des ponts hydrogènes tendant ainsi à éloigner les chaînes les unes des autres. Puisque l'adsorption se produit sur les côtés de la chaîne, elle n'a aucune influence sur la longueur des chaînes.

Dans un deuxième ordre de grandeur, ces chaînes sont regroupées pour former la « fibrille élémentaire », dont le diamètre est d'environ 35 Å et contenant approximativement 40 chaînes parallèles de cellulose. Des faisceaux de fibrilles élémentaires forment des « microfibrilles » auxquelles on reconnaît un diamètre de 10 à 300 Å. Des études aux rayons-X ont permis de montrer que ces microfibrilles ne sont pas homogènes mais qu'au contraire on y reconnaît des zones cristallines et des zones amorphes (fig. 8).

Dans un troisième ordre de grandeur, les microfibrilles sont regroupées en lamelles qui constituent les couches et les parois de la membrane ligneuse. La figure 9 montre la structure de la membrane d'une trachéide typique.

La lamelle moyenne est située entre les trachéides et est composée principalement de lignine et d'un peu de matières pectiques. On estime son épaisseur dans le bois final à 1 µm, s'élargissant jusqu'à 3 µm dans les coins. La couche cellulosique la plus extérieure est la paroi primaire. Les microfibrilles de cette paroi sont orientées de façon assez aléatoire. Son épaisseur est estimée à environ 0.1 µm à l'état saturé d'eau, et contient environ de 5 à 10% de cellulose.

La paroi secondaire est composée de 3 couches conventionnellement appelées S₁, S₂ et S₃. La couche la plus externe (S₁) montre des microfibrilles orientées approximativement à angle droit avec l'axe de la trachéide. Son épaisseur dans le bois final est estimée à 1 µm. La couche médiane (S₂) est la plus épaisse et contient environ 50 pourcent de cellulose. Son épaisseur varie de 1 µm à 10 µm selon que la trachéide est dans le bois initial ou dans le bois final. Cette couche contient une portion très importante de la cellulose

totale du bois ; on comprendra dès lors l'importance du rôle qu'elle joue dans le gonflement et le retrait du bois. En effet, si on considère que l'angle moyen des microfibrilles est d'environ 20° par rapport à l'axe de la trachéide, on voit que le gonflement ou l'éloignement des microfibrilles les unes des autres engendrera un changement de dimensions principalement dans le sens transversal (radial et tangentiel). Le gonflement longitudinal serait, d'une part, causé par le gonflement des couches S₁ et S₃ et, d'autre part, par la composante longitudinale de l'angle de 20°. La couche S₃, dont l'épaisseur est d'environ 1 µm, voit ses microfibrilles orientées normalement à l'axe comme celles de la S₁. Cette organisation prévient le gonflement excessif des fibres. Finalement, chez certaines espèces on observe une couche W (verru = wart en anglais) qui, en fait, forme un revêtement constitué, pense-t-on, des restes cytoplasmiques de la cellule vivante qu'a été la fibre. Cette couche W joue un rôle important en raison de l'influence qu'elle exerce sur la diffusion des liquides à travers la membrane ligneuse.

Conclusion

Ces considérations sur la structure intime de la paroi ligneuse complète donc le tour d'horizon qui nous aura amené à considérer, d'une part, l'organisation cellulaire du bois, et sa diversité et, d'autre part, les caractéristiques structurales principales qui jouent un rôle dans la sorbtion et la désorption de la vapeur d'eau et l'écoulement des liquides, ainsi que leur influence sur le comportement physico-mécanique du bois. □

RÉFÉRENCES

- ANONYME (sous presse). *Les bois du Canada*. Service canadien des forêts.
- ANONYME. 1979. *La forêt au Québec*. Revue forestière française, XXI — no spécial.
- COTE, W.A., jr. 1967. *Wood Ultrastructure*. University of Washington Press.
- HOWARD, E.F., et F.G. MANWILLER. 1969. *Anatomical Characteristics of Southern Pine Stemwood*. Wood Science 2 (2) : 77-86.
- JANE, F.W. 1970. *Structural of Wood*. Adam & Charles Black. 2nd ed. (rev.).
- PANSHIN, A.J., et C. de ZEEUW. 1980. *Textbook of Wood Technology*. McGraw-Hill Book Co. 4th ed.
- SIAU, J.F. *Flow in Wood*. Ed. Syracuse University Press.
- WAGENFÜHR, R. 1966. *Anatomie des Holzes*. Fachbuchverlag, Leipzig.

BOUTHILLETTE PARIZEAU & ASSOCIES

INGÉNIEURS-CONSEILS
Mécanique - Électricité

9825 rue VERVILLE

Montreal H3L 3E1

Telephone (514) 387-3747

Entrepreneurs, êtes-vous accrédités?

Dans un contexte d'économie d'énergie, le marché de la nouvelle construction a subi des changements profonds, tant du point de vue de la conception que des méthodes.

L'isolation thermique, par exemple, joue un rôle de premier plan dans la construction d'une maison chauffée à l'électricité et le futur acheteur doit y prêter une attention particulière. Voilà où la Ligue de l'Électricité du Québec intervient. Elle dirige les consommateurs vers des professionnels accrédités, c'est-à-dire compétents et consciencieux, qui appliquent les recommandations du Programme d'efficacité énergétique \mathcal{E} .

Constructeurs, électriciens, spécialistes de l'isolation, et membres des différents corps de métiers oeuvrant dans le domaine du bâtiment, demandez au plus tôt votre accréditation auprès de la Ligue de l'Électricité du Québec. Il n'en coûte rien pour être accrédité; il suffit d'être membre et de s'engager à suivre les recommandations contenues dans le Programme d'efficacité énergétique \mathcal{E} , après avoir reçu la formation pertinente.

Soyez de ceux qui profiteront des avantages que procure la Ligue de l'Électricité du Québec aux entrepreneurs accrédités.

Ligue
de l'Électricité
du Québec



*Écrivez aujourd'hui
pour obtenir plus amples
renseignements et une formule
de demande d'accréditation.*

Postez ce coupon
dûment rempli à:

Programme d'accréditation
Ligue de l'Électricité du Québec
Boîte postale 36
Place d'Armes
Montréal (Québec)
H2Y 3E9

Veillez me faire parvenir la formule de **demande d'accréditation**

Nom de
l'entreprise

Spécialité

Nom

Adresse

Téléphone

Code
postal

PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES DU BOIS

Michel Beaudoin, ing. f.*

Résumé

L'objectif général de cet article est de définir et d'expliquer les principales propriétés physico-mécaniques du bois de façon à familiariser le lecteur avec ce matériau. La densité, la teneur en humidité, la rétractibilité ainsi que les principales caractéristiques thermiques et électriques font l'objet de la première partie. Dans un deuxième temps, les propriétés mécaniques les plus importantes sont analysées en fonction des principaux facteurs qui les influencent.

Introduction

Trois caractéristiques fondamentales distinguent le bois des autres matériaux industriels couramment utilisés. La première est sa haute variabilité : en effet, même si certains traits communs caractérisent les espèces, il n'existe pas deux pièces de bois parfaitement identiques. Deuxièmement, le bois est une substance hygroscopique : ayant la capacité d'ajuster sa teneur en humidité aux conditions hygrométriques ambiantes, ses dimensions, sa densité et son comportement sous contraintes en sont substantiellement affectés. En troisième lieu, le bois est hétérogène ou anisotrope, i.e. ses propriétés diffèrent suivant l'orientation considérée. Évidemment ces caractéristiques n'ont jamais empêché le bois d'être universellement utilisé, mais dans les conditions compétitives de la technologie moderne, il devient de plus en plus important de bien connaître ce matériau et son comportement. C'est pourquoi l'objectif général de cet exposé est de définir et d'expliquer sommairement les principales propriétés physico-mécaniques du bois de façon à familiariser le lecteur avec ce produit et ses utilisations possibles. La teneur en humidité, la densité, la rétractibilité, de même que les caractéristiques thermiques et électriques sont d'abord présentées et brièvement commentées. Ensuite les différentes propriétés mécaniques sont analysées en fonction des principaux facteurs qui les influencent.

* M. Michel Beaudoin est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval en 1974. Deux ans plus tard, il complète une maîtrise en utilisation du bois à la même institution. En 1980, il obtient un Ph.D. en technologie du bois à North Carolina State University à Raleigh, N.C. (mineure : génie industriel). Il est présentement attaché de recherche à l'Université Laval.

Teneur en humidité

La teneur en humidité d'une pièce de bois est définie comme étant la quantité d'eau (vapeur ou liquide) contenue dans celle-ci, à un moment bien précis. Cette quantité est généralement exprimée en pourcentage de la masse anhydre de la pièce ou de l'échantillon.

$$\text{Teneur en humidité (\%)} = \frac{\text{Masse de l'eau}}{\text{masse anhydre du bois}} \times 100$$

En laboratoire, la façon standard d'évaluer la teneur en humidité d'un échantillon de bois est de le peser à l'état humide, de le faire sécher dans une étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à constance de poids et de le peser à nouveau dans cet état anhydre. La différence de masse avant et après séchage permet ainsi d'évaluer la teneur en humidité de la façon suivante :

$$H (\%) = \frac{M_h - M_o}{M_o} \times 100 \quad \text{où } H : \text{ teneur en humidité}$$

M_h : masse à l'état humide
 M_o : masse à l'état anhydre

Cette méthode, couramment utilisée, est relativement précise pour les essences ne contenant que très peu ou pas d'extractibles (tannins, résines, etc.). Pour les essences contenant des quantités appréciables d'extractibles, étant donné que ces derniers sont susceptibles de se volatiliser lors du séchage, cette méthode évalue, en plus de la teneur en humidité, la teneur en extractibles volatiles, faussant substantiellement les résultats.

La méthode par distillation dans un solvant non miscible à l'eau a été instituée précisément en vue d'éliminer le biais causé par l'évaporation des tannins, résines, et autres. Théoriquement, cette technique est plus précise que la méthode standard, mais à cause de la difficulté de mesurer avec précision l'eau condensée, et de la complexité globale de l'opération, elle est peu utilisée et difficilement recommandable. Il existe bien sûr d'autres façons encore plus complexes d'estimer la teneur en humidité du bois, mais comme celles déjà mentionnées, leur principal inconvénient est un temps de réponse trop long. Au niveau industriel, il est souvent nécessaire de connaître la teneur en humidité sur le champ si l'on veut contrôler efficacement certaines opérations de transfor-

mation, tel le séchage du bois. C'est à ce niveau que les méthodes utilisant les propriétés électriques du bois prennent leur importance. Comme il sera mentionné ultérieurement, certaines caractéristiques électriques, telles la constante diélectrique, la résistance électrique et le courant haute-fréquence, sont directement reliées, à l'intérieur de certaines limites, à la teneur en humidité du bois. C'est donc dire que si l'une de ces caractéristiques est connue pour un échantillon donné, il est possible d'estimer immédiatement sa teneur en humidité. Le principal inconvénient de ces méthodes est, cependant, la restriction concernant la gamme des teneurs en humidité mesurable. En effet, ces instruments ne sont, pour ainsi dire, valables qu'en bas de 30% (H), ce qui limite significativement leurs applications.

Un dernier point à mentionner concernant la teneur en humidité du bois est le point de saturation des fibres (PSF). Comme l'explique le terme, la teneur en humidité à laquelle les membranes cellulaires sont toutes saturées d'eau, mais où les cavités cellulaires sont vides, est définie comme étant le point de saturation des fibres. Généralement situé aux environs de 30% (H), ce niveau d'humidité est critique en ce qui a trait à l'influence de la teneur en humidité sur les autres propriétés physiques et mécaniques du bois.

Retrait et gonflement

Le retrait et gonflement du bois, connu sous le nom de rétractibilité, est la propriété que possède le bois de changer de dimensions et par conséquent de volume lorsque sa teneur en humidité varie. L'addition d'eau dans la membrane cellulaire a pour effet d'élargir cette dernière en proportion de la quantité de liquide ajoutée. Le phénomène se poursuit jusqu'au point de saturation des fibres au-delà duquel aucun changement volumétrique subséquent ne se produit. Inversement lors du séchage ou désorption, l'évacuation de l'eau des cavités cellulaires uniquement ne produit aucun retrait. Ce dernier débute seulement lorsque l'eau liée à l'intérieur des membranes commence à s'évaporer. Un tel retrait de la matière ligneuse est conventionnellement exprimé en pourcentage de la dimension maximale, c'est-à-dire à l'état vert avant aucun retrait.

$$\text{Retrait (\%)} = \frac{\text{Changement à partir de l'état vert}}{\text{Dimension à l'état vert}} \times 100$$

Le gonflement, pour sa part, est habituellement exprimé en pourcentage de la dimension minimale, c'est-à-dire à l'état anhydre.

$$\text{Gonflement (\%)} = \frac{\text{Changement à partir de l'état anhydre}}{\text{Dimension à l'état anhydre}} \times 100$$

Le retrait ne peut donc pas être la réciproque du gonflement ou vice-versa, étant donné qu'ils ne sont pas estimés à partir de la même base. De plus, le premier retrait, à partir de l'état vert original, engendre une réduction irréversible des dimensions de sorte que les variations subséquentes n'atteignent pas l'état dimensionnel initial.

Ces variations ou changements de dimensions sont aussi fonction de l'orientation du bois, cf. figure 1. En effet, de la saturation à l'état anhydre, le retrait transversal total (radial plus tangentiel) varie entre 10 et 15% en fonction des essences, alors que le retrait longitudinal est presque nul, de 0.1 à 0.3% seulement. De plus, en ce qui a trait à l'orientation transversale, on constate que le bois, pour une même variation d'humidité, réagit deux fois plus en direction tangentielle qu'en direction radiale. Les tableaux I à III présentent,

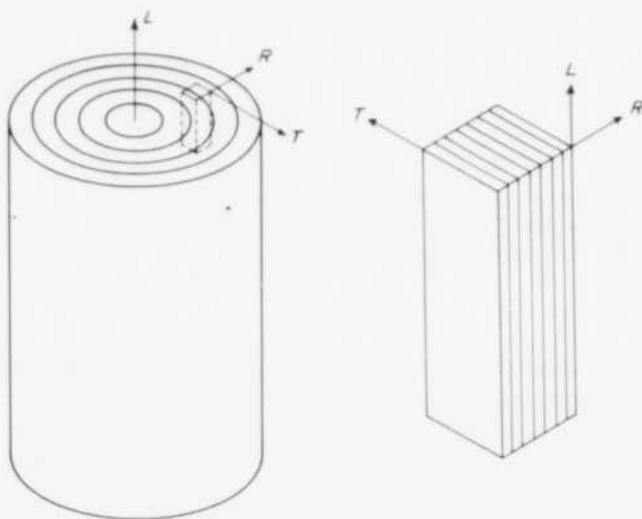


Figure 1 — Orientation de base dans une pièce de bois
R : radiale ; T : tangentielle ; L : longitudinale.

pour les principaux bois du Québec, le gonflement volumétrique moyen ainsi que celui en direction radiale et tangentielle. Comme c'est souvent le cas, les données suivant l'axe longitudinal sont omises.

L'anisotropie entre l'axe longitudinal et l'axe transversal est généralement expliquée par le fait que la majorité des cellules dans le bois sont orientées longitudinalement, rendant l'expansion transversale relativement facile et l'extension longitudinale pratiquement impossible. En ce qui a trait à l'anisotropie transversale, radiale versus tangentielle, les opinions sont beaucoup plus variées et discutables. Les théories les plus fréquemment mentionnées à ce sujet sont l'interaction entre le bois initial et le bois final, l'influence des rayons, et l'orientation des fibrilles à l'intérieur des cellules. Aucune de ces hypothèses ne semble être l'unique cause de l'anisotropie mais plutôt une combinaison de ces dernières apparaît comme l'explication la plus probable.

Un dernier aspect critique de la rétractibilité du bois est sa densité. En effet, les changements de dimensions sont non seulement fonction de la quantité d'eau absorbée ou désorbée mais aussi de la quantité de matière ligneuse présente par unité de volume. De façon générale, plus la densité du matériel est élevée, plus les variations de dimensions sont accentuées pour un même changement d'humidité. Les tableaux I à III montrent bien cette tendance.

Densité

Par définition, la densité d'une substance homogène est déterminée par le rapport masse/unité de volume. Dans le cas d'un matériel hétérogène et hygroscopique comme le bois, la densité est fonction non seulement de la dimension des cellules qui le composent ainsi que de l'épaisseur de leurs parois, mais aussi de la teneur en humidité du matériel. Cette dernière influence à la fois la masse et le volume. C'est donc dire que, pour obtenir des estimations de densité qui soient comparables et reproductibles, la teneur en humidité du matériel au moment des mesures devra être contrôlée et standardisée. Ainsi, selon les utilisateurs et utilisations, trois sortes de densité sont généralement retenues :

$$\text{— Densité basale } (D_b) = \frac{\text{Masse anhydre } (M_0)}{\text{Volume saturé } (V_s)}$$

$$\text{— Densité anhydre } (D_0) = \frac{\text{Masse anhydre } (M_0)}{\text{Volume anhydre } (V_0)}$$

$$\text{— Densité humide } (D_h) = \frac{\text{Masse anhydre } (M_0)}{\text{Volume humide } (V_h)}$$

La densité basale est la plus couramment mentionnée et utilisée. Son principal avantage vient du fait que la masse anhydre et le volume à saturation sont des conditions constantes et facilement reproductibles pour un matériel comme le bois. La densité anhydre, pour sa part, est surtout utilisée dans des travaux de recherches : l'état anhydre est plus facile à obtenir et à conserver en laboratoire. Finalement, la densité à une teneur en humidité (H) est employée surtout dans des travaux d'ingénierie. Elle est souvent évaluée à 12% (H), ce qui correspond à la teneur en humidité d'utilisation la plus courante. À noter que ces trois formules d'évaluation de la densité utilisent uniquement la masse anhydre au numérateur. En Europe, toutefois, la masse est parfois mesurée à la même teneur en humidité (H) que le volume.

Les valeurs obtenues par ces trois équations sont souvent qualifiées de densités apparentes parce que le volume mesuré inclut non seulement la matière ligneuse contenue dans le bois mais aussi les cavités, l'eau, les extractibles, etc. Les estimations sont donc de beaucoup inférieures à la densité réelle de la matière ligneuse proprement dit, qui se situe aux environs de 1,5g/cm³, indépendamment des essences. La densité apparente est aussi beaucoup plus irrégulière. Elle varie non seulement d'une espèce à l'autre mais aussi à l'intérieur d'un même arbre. La structure interne du bois, la position suivant l'axe vertical de l'arbre, la distance à partir du centre de la tige, ainsi que la proportion de bois initial et final sont les principaux facteurs qui affectent la densité d'une pièce de bois. C'est pourquoi l'estimation de la densité d'une essence donnée, pour être valable, doit être basée sur

un grand nombre de mesures. Les tableaux I à III donnent les densités moyennes pour les principaux bois du Québec. Un coefficient de variation d'environ 10% est généralement associé à la variabilité de ces espèces.

En ce qui a trait aux méthodes de mesure, la masse de l'échantillon est évidemment mesurée sur une balance dont la nature dépend de la précision désirée. Le volume, pour sa part, peut être évalué de différentes manières. La méthode la plus simple consiste à mesurer « manuellement » l'échantillon et calculer son volume. Ce procédé est applicable aux échantillons de forme régulière seulement. Pour ceux de forme irrégulière, les méthodes par immersion dans l'eau ou dans le mercure semblent plus appropriées, même si elles comportent certains inconvénients. Le principal inconvénient du procédé par immersion dans l'eau concerne les échantillons relativement secs ; lors de l'immersion, ceux-ci absorbent une certaine quantité d'eau, faussant d'autant l'estimation du volume. Quant au volumètre à mercure, son principal désavantage est qu'il est restreint à des échantillons de petites dimensions. Il existe aussi d'autres moyens d'évaluer directement la densité du bois, soit par radiation aux rayons-X, bêta ou gamma. Ces méthodes sont très rapides, relativement précises et surtout non destructives. Une connaissance exacte de la teneur en humidité au point de mesure est toutefois nécessaire.

Propriétés thermiques

Les propriétés thermiques du bois les plus courantes sont l'expansion, la capacité et la conductivité. L'expansion thermique, comme le mot le dit, est le changement dimensionnel du bois causé par une variation de température. Ce changement, exprimé par le coefficient d'expansion thermique, exhibe, comme la plupart des autres propriétés du bois, de l'anisotropie. En effet, ce coefficient en direction longitudinale, entre - 50 et + 50°C, est en moyenne de 3,39 × 10⁻⁶ /°C et indépendant de la densité, alors qu'en direction

TABLEAU I
Propriétés physico-mécaniques des principaux
bois du Québec : Conifères

espèce	largeur naturelle des cernes	densité			gonflement total			flexion longitudinale					compression longitudinale			compression transversale localisée ASTM		cisaillement longitudinal		résistance double ASTM		résistance Janka	
		anhydre D ₀	à 12% H D ₁₂	humide D _h	tang. lat. %	radial %	en volume %	module d'élasticité E	limite élastique longitudinale %	contrainte de rupture			module d'élasticité E	limite élastique longitudinale %	contrainte maximale %	limite élastique longitudinale %	compression de rupture %	compression de rupture %	de face	en bout	de face	en bout	
										à la limite élastique %	à la rupture %	totale %											
douglas <i>Pseudotsuga menziesii</i>	1,7	0,51	0,54	0,45	8,0	5,0	13,5	135,0 (110,9)	534 (298)	885 (519)	0,12 (0,05)	0,72 (0,39)	1,52 (1,30)	135,7 (117,0)	341 (194)	501 (249)	60,0 (31,7)	95,2 (63,5)	30,8 (20,0)	299 (213)	401 (262)		
épinette blanche <i>Picea glauca</i>	1,7	0,39	0,42	0,36	7,4	3,3	12,7	99,2 (79,2)	366 (192)	626 (351)	0,08 (0,03)	0,50 (0,11)	0,84 (1,09)	113,7 (90,2)	256 (127)	369 (176)	34,4 (16,9)	67,8 (46,2)	188 (124)	247 (142)			
épinette noire <i>Picea mariana</i>	1,3	0,44	0,48	0,41	8,1	4,0	12,5	104,0 (90,9)	446 (213)	783 (404)	0,11 (0,03)	0,63 (0,38)	1,16 (1,76)	122,6 (101,3)	302 (127)	415 (198)	42,5 (20,7)	86,4 (54,8)	243 (168)	320 (184)			
épinette rouge <i>Picea rubens</i>	1,5	0,42	0,45	0,38	8,6	4,2	13,3	110,2 (90,9)	465 (267)	714 (405)	0,12 (0,03)	0,63 (0,55)	1,14 (1,27)	124,7 (102,0)	234 (134)	385 (194)	37,7 (18,8)	92,0 (55,6)	27,0 (24,1)	228 (161)	312 (199)		
mélèze laricin <i>Larix laricina</i>	1,2	0,54	0,57	0,48	6,6	2,9	12,6	93,7 (85,4)	548 (218)	759 (470)	0,19 (0,03)	0,53 (0,48)	1,16 (2,45)	105,4 (98,9)	278 (196)	448 (216)	61,4 (28,5)	90,0 (61,3)	34,7 (24,6)	322 (198)	376 (216)		
pin blanc <i>Pinus strobus</i>	1,7	0,38	0,41	0,36	6,7	2,6	8,9	93,7 (81,3)	415 (207)	650 (354)	0,10 (0,03)	0,61 (0,37)	0,84 (0,80)	87,1 (86,8)	253 (134)	362 (178)	33,9 (16,4)	61,0 (43,7)	26,2 (22,0)	185 (126)	214 (136)		
pin gris <i>Pinus banksiana</i>	1,8	0,45	0,50	0,42	6,3	4,2	10,6	102,0 (88,6)	488 (238)	778 (437)	0,14 (0,04)	0,68 (0,49)	1,06 (1,69)	105,4 (82,0)	238 (130)	405 (208)	57,0 (23,1)	82,3 (56,6)	36,5 (24,4)	256 (175)	320 (183)		
pin rouge <i>Pinus resinosa</i>	1,5	0,42	0,45	0,39	6,7	3,8	10,6	94,4 (73,7)	406 (199)	696 (347)	0,10 (0,03)	0,67 (0,41)	1,11 (1,74)	93,7 (78,5)	235 (110)	378 (163)	49,5 (19,4)	75,0 (49,0)	212 (124)	294 (149)			
pruche du Canada <i>Tsuga canadensis</i>	0,9	0,45	0,48	0,40	7,2	3,6	12,6	97,1 (87,5)	412 (271)	670 (467)	0,10 (0,05)	0,58 (0,48)	0,93 (1,45)	113,7 (97,1)	305 (167)	410 (236)	42,8 (27,8)	87,4 (63,0)	20,6 (23,6)	238 (200)	367 (241)		
sapin baumier <i>Abies balsamea</i>	2,8	0,37	0,39	0,34	8,1	2,8	12,0	96,4 (77,8)	304 (193)	583 (364)	0,06 (0,03)	0,61 (0,50)	0,98 (0,91)	97,1 (85,4)	229 (116)	343 (148)	31,4 (16,7)	62,4 (46,8)	20,8 (20,2)	182 (127)	316 (146)		
thuya occidental <i>Thuja occidentalis</i>	0,8	0,31	0,34	0,30	3,7	1,7	6,8	43,7 (35,5)	249 (139)	422 (266)	0,08 (0,03)	0,72 (0,39)	1,05 (0,90)	49,2 (37,6)	157 (85)	248 (130)	26,8 (13,5)	69,2 (45,5)	24,3 (22,6)	136 (120)	238 (162)		

* d'après le Ministère des Forêts (Ottawa), vol. 1104 (1965)

† pour les bois de compression

Conversion de compression: 1 kN = 0,225 lb

1 kN/cm² = 14,33 lb/in² = 1,433 psi

TABLEAU II
Propriétés physico-mécaniques des principaux bois du Québec : Feuillus (1)

Moisures : 128,8 mm (50,6") moyenne à 12% d'humidité relative (%) moyenne à l'état vert

espèce	largeur moyenne des cernes	densité			contenu total			flexion longitudinale						compression longitudinale			compression transversale localisée ASTM		cisaillement longitudinal		résistance double ASTM		dureté Janka	
		à 12% d'humidité relative (%)			teneur en résine (%)	teneur en tanin (%)	résidu insoluble (%)	énergie absorbée de déformation						module d'élasticité	limite proportionnelle	contrainte maximale	limite proportionnelle	contrainte de rupture	contrainte de rupture	résistance de rupture	résistance de rupture	résistance 1,0 cm ²	en bois	
		ρ ₀	ρ ₁₂	ρ _g				module d'élasticité	limite proportionnelle	contrainte de rupture	à la limite proportionnelle	à la rupture	totale											
bouleau à papier <i>Betula papyrifera</i>	2.0	0.59	0.64	0.51	7.8	5.5	16.0	128.8	512	947	0.12	1.43	2.69	134.3	256	446	68.7	112.6	71.6	432	435			
bouleau jaune <i>Betula alleghaniensis</i>	1.4	0.65	0.68	0.56	7.6	6.2	17.8	140.5	552	1062	0.12	1.43	3.13	152.2	291	521	72.3	146.8	75.1	592	727			
cerisier cordiforme <i>Garya cordiformis</i>	2.3	0.76	0.76	0.63	11.4	7.0	21.7	185.3	729	1458	0.17	2.14	5.17	161.2	238	581	135.9	189.2	107.5	950	1029			
cerisier ovale <i>Garya ovata</i>	1.7	0.79	0.81	0.65	9.2	5.2	20.8	135.7	657	1187	0.17	1.47	5.33	159.8	303	594	130.9	187.7	92.6	957	1036			
cerisier tardif <i>Prunus serotina</i>	3.2	0.62	0.62	0.51	7.6	4.2	14.5	118.5	572	870	0.16	0.73	1.33	122.6	296	504	75.8	113.8	60.7	462	691			
chêne à gros fruits <i>Quercus macrocarpa</i>	0.9	0.69	0.73	0.60	5.7	4.4	15.9	67.9	401	823	0.13	1.49	3.22	96.4	202	423	97.8	131.4	70.9	581	725			
chêne blanc <i>Quercus alba</i>	1.3	0.78	0.76	0.65	6.4	4.9	19.9	155.0	378	1208	0.05	1.15	3.77	157.8	243	601	97.8	154.6	86.4	712	844			
chêne rouge <i>Quercus rubra</i>	2.5	0.66	0.69	0.58	7.2	3.7	13.6	119.2	592	986	0.17	1.17	2.59	136.4	267	498	88.9	143.6	65.2	617	733			
érable argenté <i>Acer saccharinum</i>	2.8	0.51	0.54	0.46	6.8	3.3	14.7	112.3	353	819	0.06	0.69	1.09	126.8	236	415	45.6	111.8	61.7	378	565			
érable à sucre <i>Acer saccharum</i>	1.3	0.70	0.74	0.60	9.6	4.8	18.6	140.5	648	1150	0.17	1.41	2.81	154.3	332	564	97.1	167.0	92.0	728	877			
érable négondo <i>Acer negundo</i>	2.3	0.50	0.51	0.42	8.0	4.1	17.4	119.9	382	839	0.06	0.87	2.38	139.2	231	408	58.3	121.1	49.2	421	490			
érable rouge <i>Acer rubrum</i>	2.0	0.59	0.61	0.52	6.4	3.7	14.2	110.9	550	975	0.15	1.30	1.70	133.0	239	468	71.3	105	62.6	437	622			
faux tremble <i>Populus tremuloides</i>	2.1	0.42	0.46	0.37	7.1	3.7	13.4	112.3	362	675	0.07	0.71	1.45	126.8	226	363	35.2	67.6	41.8	214	281			
frêne blanc <i>Fraxinus americana</i>	2.5	0.65	0.69	0.57	7.5	4.4	15.1	128.1	549	1079	0.13	1.58	3.42	135.0	245	497	99.9	147.9	74.1	705	856			

Extrait du Ministère des Forêts (Québec), pub. 1104 (1965).

Facteurs de conversion : 1 daN = 0.25 lb
1 daN/cm² = 14.33 lb/in² = 14.33 psi

TABLEAU III
Propriétés physico-mécaniques des principaux bois du Québec : Feuillus (2)

Moisures : 135,0 mm (52,9") moyenne à 12% d'humidité relative (%) moyenne à l'état vert

espèce	largeur moyenne des cernes	densité			contenu total			flexion longitudinale						compression longitudinale			compression transversale localisée ASTM		cisaillement longitudinal		résistance double ASTM		dureté Janka	
		à 12% d'humidité relative (%)			teneur en résine (%)	teneur en tanin (%)	résidu insoluble (%)	énergie absorbée de déformation						module d'élasticité	limite proportionnelle	contrainte maximale	limite proportionnelle	contrainte de rupture	contrainte de rupture	résistance de rupture	résistance de rupture	résistance 1,0 cm ²	en bois	
		ρ ₀	ρ ₁₂	ρ _g				module d'élasticité	limite proportionnelle	contrainte de rupture	à la limite proportionnelle	à la rupture	totale											
frêne noir <i>Fraxinus nigra</i>	1.4	0.54	0.55	0.47	8.9	4.5	16.0	135.0	382	839	0.06	0.87	2.38	139.2	231	408	58.3	121.1	49.2	421	490			
frêne rouge <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	1.2	0.56	0.57	0.49	5.7	4.0	12.9	69.6	249	556	0.06	0.79	—	116.4	143	325	73.0	97.1	64.3	429	620			
hêtre d'Amérique <i>Fagus grandifolia</i>	2.0	0.70	0.75	0.59	11.2	5.5	20.9	139.8	619	1160	0.15	1.58	2.85	146.0	303	552	83.4	145.0	88.6	648	796			
noyer cendré <i>Juglans cinerea</i>	2.8	0.40	0.43	0.37	5.2	2.9	10.6	102.0	265	593	0.04	0.52	0.90	104.0	173	355	30.9	73.2	37.2	261	384			
noyer noir <i>Juglans nigra</i>	4.2	0.63	0.67	0.55	8.5	5.0	16.0	130.9	608	1029	0.16	1.19	2.37	129.5	299	536	88.9	147.3	76.1	590	732			
orme d'Amérique <i>Ulmus americana</i>	1.6	0.62	0.63	0.52	8.5	4.6	17.9	104.0	404	862	0.09	1.52	3.84	111.6	212	413	68.9	117.1	62.8	498	596			
orme liège <i>Ulmus thomasi</i>	1.1	0.73	0.74	0.62	10.1	5.5	17.4	124.7	553	1151	0.14	2.02	4.00	131.6	302	515	88.7	148.0	73.1	695	746			
orme rouge <i>Ulmus rubra</i>	2.1	0.64	0.67	0.55	10.9	4.6	18.3	117.8	333	896	0.06	1.30	4.40	138.5	200	455	59.1	121.9	66.6	612	680			
ostoyer de Virginie <i>Ostrya virginiana</i>	1.7	0.79	0.82	0.66	8.7	5.0	22.2	157.8	684	1347	0.17	1.92	5.38	150.9	319	588	105.5	158.2	75.6	891	1013			
peuplier à grandes dents <i>Populus grandidentata</i>	3.2	0.43	0.45	0.39	7.3	3.3	13.3	86.8	315	654	0.07	0.61	1.10	113.7	165	327	32.6	75.6	40.0	184	252			
peuplier baumier <i>Populus balsamifera</i>	2.0	0.42	0.46	0.37	6.8	4.1	13.1	115.0	295	697	0.06	0.74	1.27	127.4	203	347	29.2	61.0	31.1	184	273			
peuplier deltoïde <i>Populus deltoides</i>	8.5	0.39	0.43	0.35	8.5	3.2	13.4	77.8	231	516	0.04	1.16	2.45	81.3	146	265	32.5	79.7	47.9	188	283			
tilleul d'Amérique <i>Tilia americana</i>	2.5	0.42	0.47	0.36	10.3	7.2	22.5	94.4	291	608	0.05	0.73	1.11	135.0	176	335	29.0	80.7	48.1	214	255			

Extrait du Ministère des Forêts (Québec), pub. 1104 (1965).

Facteurs de conversion : 1 daN = 0.25 lb
1 daN/cm² = 14.33 lb/in² = 14.33 psi

transversale, il est environ 10 fois plus grand et en relation directe avec la densité du bois. Comparativement aux métaux, l'expansion longitudinale du bois est relativement faible alors que, transversalement, elle leur est supérieure (e.g. acier : $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, aluminium : $24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Mais, étant donné que la gamme des températures d'utilisation du bois est plutôt étroite et que sa rétractibilité lors de changements d'humidité est non seulement beaucoup plus large mais de sens contraire, l'expansion thermique est souvent masquée et à toutes fins pratiques négligée.

La capacité thermique ou la quantité de chaleur nécessaire pour créer un changement de température unitaire à l'intérieur d'une substance donnée est exprimée par le coefficient de capacité thermique, tandis que la chaleur spécifique est le rapport de ce coefficient sur celui de l'eau à 15°C . Ce dernier est, par définition, égal à l'unité ($1 \text{ cal/g} \times ^\circ\text{C}$). Le coefficient de capacité thermique et la chaleur spécifique sont donc numériquement égaux. Concernant le bois, sa chaleur spécifique à l'état anhydre et à la température 0, peut être estimée de la façon suivante :

$$C_o = 0,226 + 0,00116 \theta \quad \text{où } C_o : \text{chaleur spécifique anhydre} \quad \theta : \text{température en } ^\circ\text{C}$$

Étant donné que le bois est rarement à l'état anhydre, il est également important de connaître sa chaleur spécifique à l'état humide. Cette dernière est en fait la chaleur spécifique du bois anhydre plus la chaleur spécifique de l'eau contenue dans ce dernier :

$$C_h = (C_o + H) / (1 + H)$$

où C_h : chaleur spécifique humide

H : teneur en humidité

Il ne faut cependant pas confondre la chaleur spécifique du bois et sa chaleur de combustion qui est simplement la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion de ce dernier. À l'état anhydre, le bois dégage environ 4500 Kcal/Kg, peu importe la sorte de bois. À l'état humide, toutefois, cette quantité est sensiblement réduite. Une proportion appréciable de l'énergie calorifique disponible est utilisée pour évacuer et évaporer l'eau contenue dans le bois. Cette proportion est fonction de la teneur en humidité, et la relation entre la chaleur de combustion et la teneur en humidité, d'après KOLLMANN et COTE (1968), est la suivante :

$$\text{Chaleur de combustion} = (4500 - 600 H) / (1 + H)$$

Enfin, la dernière propriété thermique mentionnée est la conductivité thermique du bois. Exprimée par le coefficient de conductivité thermique (K), elle représente la quantité d'énergie thermique (Q) qui passe à travers une substance d'épaisseur (e) et de surface (A) pendant un temps (t) sous l'effet d'un gradient de température constant ($\theta_2 - \theta_1$). Ce coefficient est directement proportionnel à la densité du bois. Quant à la teneur en humidité, il s'avère que le bois est environ 30% plus conducteur de chaleur au-dessus de 40% (H) qu'en dessous. C'est ainsi que les deux équations suivantes déterminant le coefficient de conductivité thermique (K) en direction transversale furent expérimentalement établies :

$$K = D_h (1,39 + 0,028 \times H (\%)) + 0,165$$

$$K = D_b (1,39 + 0,038 \times H (\%)) + 0,165$$

$$0 \leq H \leq 40$$

$$40 \leq H \leq \text{Max}$$

Ces équations donnent la quantité de chaleur en $\frac{\text{BTU} \times \text{po}}{\text{pi}^2 \times \text{hr} \times ^\circ\text{F}}$; pour convertir en $\frac{\text{Kcal}}{\text{m} \times \text{hr} \times ^\circ\text{C}}$, il suffit de

multiplier par 0,12404. En ce qui concerne l'orientation du bois, la conductivité thermique est de 2,25 à 2,75 fois plus grande en direction longitudinale qu'en direction transversale. Quant à la température, sa légère influence est souvent négligée. À titre d'exemple, un morceau de bois à 12% (H) et d'une densité de $0,5 \text{ g/cm}^3$ a un coefficient de conductivité thermique d'environ 1 ($\text{BTU} \times \text{po}/\text{pi}^2 \times \text{hr} \times ^\circ\text{F}$). Considérant que pour l'acier, K est d'environ 300 et que pour le « styrofoam », il est de 0,25 environ, le bois est considéré comme un assez bon isolant. Dans les questions d'isolation, cependant, l'inverse du coefficient de conductivité thermique, soit le coefficient d'isolation thermique ($R = 1/K$), est le paramètre le plus couramment utilisé.

Propriétés électriques

La conductivité électrique ou son inverse, la résistance électrique, de même que la constante diélectrique sont, pour le bois, deux caractéristiques électriques importantes. La teneur en humidité, la température et l'orientation du bois ont une influence significative sur sa conductivité électrique alors que la densité et l'essence considérée ont un effet plutôt mitigé. En bas du point de saturation des fibres, la conductivité électrique varie de façon logarithmique avec la teneur en humidité, ayant son minimum à l'état anhydre. Les hygromètres à résistance électrique sont d'ailleurs basés sur cette relation. De plus, la conductivité électrique est environ deux fois plus élevée en direction longitudinale qu'en direction transversale, mais à cause du genre de relation, son influence sur la teneur en humidité n'est pas des plus significatives. La température, pour sa part, a une influence marquée sur la résistance du bois à l'électricité. Il a été observé que le logarithme de la résistivité du bois anhydre varie de façon presque linéaire avec l'inverse de la température absolue. En conséquence, la conductivité électrique du bois augmente suffisamment avec la température pour que des corrections soient nécessaires lors de mesures hygrométriques par résistance.

La constante diélectrique du bois, qui est le rapport entre la charge créée dans un condensateur en bois et celle créée dans le vide sous l'influence d'un voltage donné, est aussi une caractéristique électrique importante en ce qui concerne le bois. Elle varie directement avec la densité du matériel ligneux et avec sa teneur en humidité. Il est donc possible d'évaluer la teneur en humidité du bois à partir de sa constante diélectrique en autant que sa densité au point de mesure soit connue.

Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du bois ne se définissent qu'en fonction de forces extérieures appliquées sur le matériau. L'amplitude de ces forces, exprimée par unité de surface, détermine la contrainte absorbée par la pièce. Comme les autres matériaux, le bois peut être soumis à des efforts de traction, flexion, compression, cisaillement etc. Lorsque la contrainte appliquée est faible et que sa durée est courte, la déformation produite est proportionnelle à la force appliquée et complètement récupérable. On est alors dans la zone d'élasticité du bois. Une représentation théorique du diagramme « contrainte-déformation » est illustrée à la figure 2. Au-delà de la zone élastique, toute augmentation additionnelle de la charge se traduit par une certaine déformation permanente du bois, jusqu'au point où il n'y a plus de retour possible : la contrainte de rupture maximale est alors atteinte. Les tableaux I à III présentent les valeurs moyennes des principales caractéristiques mécaniques pour les bois du Québec.

Influence de la densité

La densité du bois est un excellent indicateur de sa résistance mécanique. En effet, sauf quelques exceptions, plus la densité du bois est élevée, plus il est résistant. La figure 3 illustre bien cette relation. Toutefois, si l'on veut comparer une espèce par rapport à une autre ou par rapport à un autre matériau que le bois, il est préférable d'utiliser la résistance spécifique : i.e. le rapport contrainte/densité. Le tableau IV donne la résistance spécifique de quelques bois et matériaux couramment utilisés. Il est intéressant de constater que le bois, lorsque la densité entre en ligne de compte, présente une résistance spécifique plus élevée que les métaux. Donc, dans les utilisations où l'inertie et la stabilité priment sur le cisaillement, comme en charpente (longue poutre, colonne, etc), le bois est souvent préférable et devrait être pris en considération. À ce niveau, les résineux sont même supérieurs aux feuillus (tableau IV). Par contre, étant composé de cellules tubulaires minces et dispersées, dans les emplois où une bonne résistance au cisaillement est critique, le bois n'est pas compétitif.

Influence de la teneur en humidité

Sous le point de saturation des fibres, la teneur en humidité du bois influence négativement la plupart des propriétés mécaniques. Considérant que, dans cette gamme, l'humidité ajoutée fait gonfler le bois et diminuer sa densité, il est facilement concevable que les propriétés mécaniques soient diminuées. Cette diminution peut facilement être estimée lorsque la valeur de la contrainte est connue à deux niveaux d'humidité comme c'est le cas [12% (H) et état vert] dans les tableaux I à III. La formule, tirée du « Wood Handbook » est la suivante :

$$\text{Contrainte à la teneur en humidité (H)} = n_{12} \left(\frac{n_{12}}{n_{\text{vert}}} \right) - \left(\frac{H - 12}{H_p - 12} \right)$$

H_p , situé aux environs de 25%, est la teneur en humidité où les propriétés mécaniques commence à diminuer. La figure 4, illustre aussi cette influence de la teneur en humidité sur les principales propriétés mécaniques du bois. À noter que

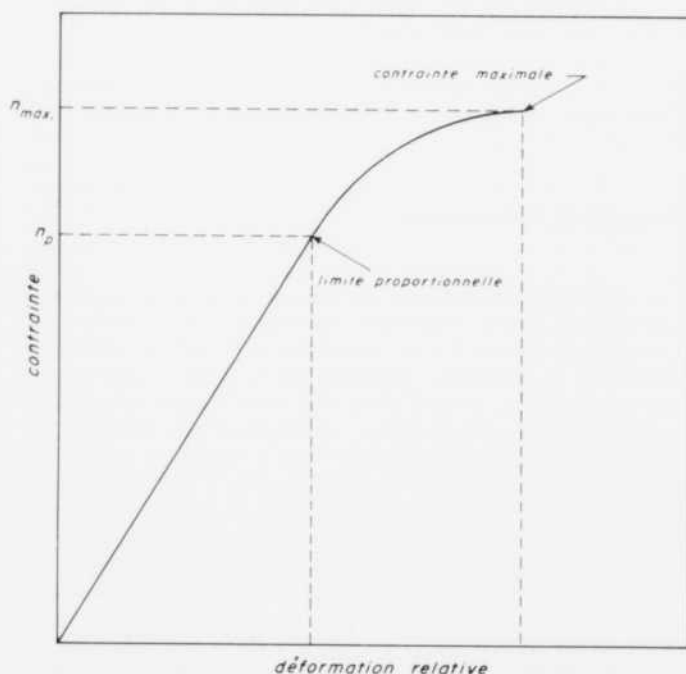


Figure 2 — Représentation théorique du diagramme « contrainte-déformation ».

TABLEAU IV

Résistance spécifique de quelques bois et matériaux			
MATÉRIAU	DENSITÉ BASALE (g/cm ³)	COMPRESSION AXIALE DENSITÉ BASALE daN/cm ² g/cm ³	CISAILLEMENT DENSITÉ BASALE daN/cm ² g/cm ³
Sapin douglas	0,45	1113	212
Pin rouge	0,39	969	192
Épinette blanche	0,35	1054	194
Érable à sucre	0,60	940	278
Chêne rouge	0,58	858	248
Bouleau jaune	0,56	930	262
Acier	7,85	866	662
Fonte	7,15	769	308
Fer	7,7	392	326
Aluminium	2,7	688	518
Béton	2,4	57	—

la résistance aux chocs fait exception à la règle. En effet cette dernière, sous l'action combinée de la flexion et de la plasticité du bois augmente avec une augmentation de la teneur en humidité.

Anisotropie du bois

Lorsque les propriétés d'un matériau diffèrent suivant l'axe considérée, il est dit anisotrope. Le bois, de par la nature des cellules tubulaires qui le constituent et leur disposition suivant l'axe de la tige, démontre définitivement de l'anisotropie. De plus, la forme des cellules et l'orientation des fibrilles à l'intérieur des membranes cellulaires contribuent

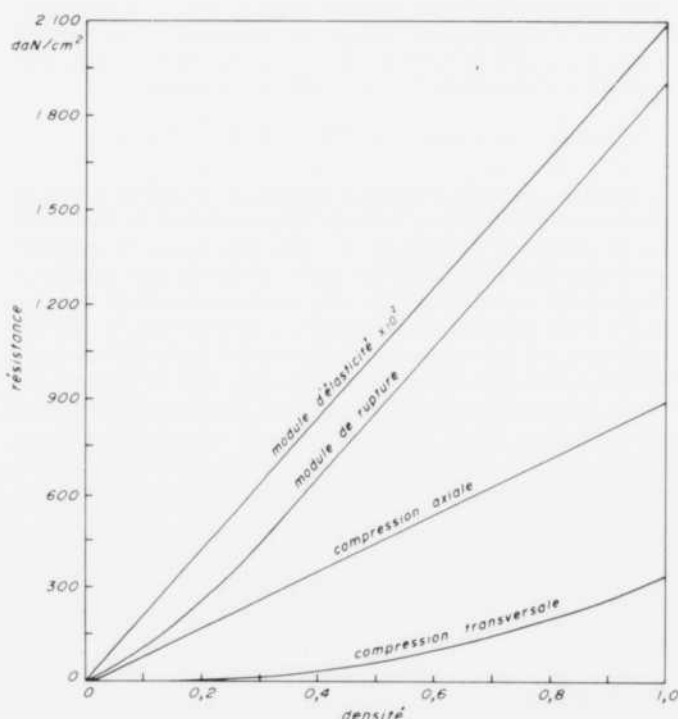


Figure 3 — Effets de la densité sur la résistance.
(Tiré du CCB : fiche technique SP-1, 1980)

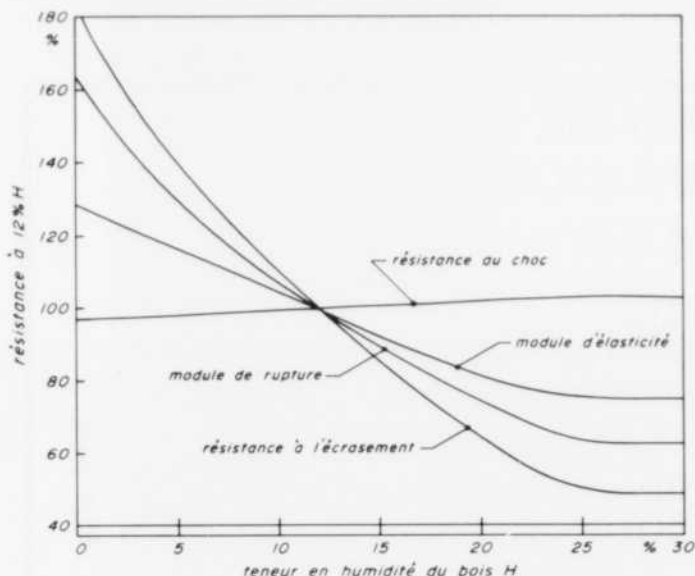


Figure 4 — Effets de la teneur en humidité sur la résistance.
(Tiré du CCB : fiche technique SP-1, 1980)

aussi à cette non-uniformité. En conséquence, les contraintes et leur module d'élasticité diffèrent considérablement suivant l'orientation considérée. Par exemple, suivant les essences, le bois est de 4 à 12 fois plus fort en compression longitudinale que transversale. L'influence de l'anisotropie du bois se présente aussi dans tous les cas où l'échantillon n'est pas parfaitement scié suivant les orientations du bois. La résistance en traction est la plus sensible à une mauvaise orientation des fibres. En effet, lorsque la pente entre le grain du bois et l'orientation de l'échantillon est supérieure à 1:25, la résistance en traction commence à diminuer, alors qu'en flexion et en compression, elle peut aller jusqu'à 1:20 et 1:15 respectivement sans affecter sensiblement la résistance. En plus de réduire la résistance d'une pièce, une mauvaise orientation de ses fibres amène souvent d'autres défauts (fentes, gauchissement, etc.) qui influencent aussi les propriétés mécaniques.

Influence du temps et de la température

Lorsque le temps d'application d'une force sur une pièce de bois est court, la déformation engendrée est complètement récupérable ou élastique, mais si le temps en charge se prolonge, la plasticité du bois intervient et une partie de la déformation est irrécupérable ou permanente. Il s'ensuit, évidemment, que les résistances maximales sont réduites. Le module de rupture diminue en proportion directe avec le logarithme du temps d'application de la charge. C'est donc dire que si une pièce de bois est chargée en permanence, des corrections quant à sa résistance maximale doivent être apportées.

La température du bois au moment de l'essai a aussi une influence sur sa résistance et son élasticité. Cette influence, qui varie d'ailleurs suivant le type de contrainte, est surtout évidente aux températures extrêmes. Le bois gelé à très basse température est plutôt cassant, alors qu'à très haute température, sa plasticité augmente sensiblement. Le cintrage du bois est d'ailleurs basé sur ce principe : haute température et humidité. Contrairement à d'autres matériaux, le bois ne devient toutefois pas liquide ; lorsque la température augmente trop, le point de combustion ou carbonisation est atteint et le bois se transforme en chaleur, gaz, cendre, etc. Malgré sa combustibilité, le bois utilisé en charpente (plafond, plancher, etc.) a quand même un avantage en cas de feu ; à cause de sa conductivité thermique très lente, dans les mêmes


conditions de température, il conserve plus longtemps que la plupart des métaux sa résistance mécanique. Il va sans dire que toute détérioration des principaux constituants du bois (cellulose, hémicellulose et lignine), que ce soit sous l'influence du temps, de la température, de l'humidité, de l'acidité ou des organismes biologiques, se traduit nécessairement par une réduction de ses propriétés mécaniques.

Influence de la dimension des pièces

La plupart des propriétés mécaniques énumérées jusqu'à maintenant furent évaluées à partir d'échantillons de petites dimensions sans défaut apparent. Étant donné que les pièces de grandes dimensions possèdent presque toujours des défauts ayant un effet néfaste sur leur résistance mécanique, il est facilement concevable que les valeurs moyennes fournies doivent être négativement ajustées. Il existe, à cette fin, des facteurs de correction et/ou facteurs de sécurité qui permettent d'évaluer, à partir des données primaires, les contraintes permises (cf. Timber Design Manual) pour les éléments de plus grande dimension.

Il existe aussi, depuis quelques années, des appareils pouvant estimer certaines propriétés mécaniques d'une pièce de bois sans la détruire. Basé sur la corrélation qui existe entre les contraintes (compression, traction et flexion) et leur module d'élasticité, cet appareil (stress grading machine) mesure en continue la déformation d'une pièce chargée en flexion, calcule son module d'élasticité et estime sa résistance. Sans résoudre tous les problèmes reliés aux dimensions des pièces, ce système semble prometteur, surtout en ce qui a trait à la classification réelle (non visuelle) et automatique des bois.

Conclusion

Il ressort de ces quelques réflexions sur le bois que, malgré les inconvénients qu'on lui attribue à tort ou à raison, celui-ci est un excellent matériau. Par rapport à son poids, il est plus résistant que la plupart des métaux, lorsque la résistance au cisaillement n'est pas un facteur critique. Il est aussi un assez bon isolant tant du point de vue thermique qu'électrique. Justement à cause de cette résistance thermique, lors d'un feu, le bois peut conserver sa charge relativement longtemps. Finalement, le bois étant un matériau « renouvelable », il est très probable qu'il demeurera toujours un compétiteur acharné des autres matériaux. 

RÉFÉRENCES

- CONSEIL CANADIEN DU BOIS : Fiche Technique SP-1, 1980. Bois de construction canadien, structure et propriétés, Ottawa, Canada.
- DESCH, H.E. 1973. *Timber: Its Structure and Properties*. St-Martin's Press, New-York, N.Y.
- KOLLMANN, F. and W.A. COTE. 1968. *Principles of Wood Science and Technology*. Tome 1, Springer-Verlag, New-York, N.Y.
- PANSHIN, A.J. and C. De ZEEUW. 1970. *Textbook of Wood Technology*, Volume 1, McGraw-Hill, New-York, N.Y.
- SPENCER, A.G. and J.A. LUY. 1975. *Wood and Wood Products*. C.E. Merrill Company, Columbus, Ohio.
- TIMBER DESIGN MANUAL. Laminated Timber Institute of Canada, Delta, British Columbia.
- VILLIERE, A. 1953. *Séchage du bois*. 5^e Édition, Dunod, Paris
- WOOD HANDBOOK : *Wood as an Engineering Material*. 1974. USDA For. Serv., Agriculture Handbook ND. 72, For. Prod. Lab., Madison WIS.

«UN NOUVEAU-NÉ CHEZ HEWLETT PACKARD LA HP-41CV»

HP-41CV

- * Une version améliorée de la HP-41C vous permettant:
- L'utilisation maximale de ses 319 registres adressables déjà incorporés ou plus de 2000 étapes de programmation.
- L'utilisation maximale de ses périphériques (lecteur de cartes, imprimante, lecteur optique).
- L'utilisation de modules préprogrammés plus les caractéristiques existantes de la HP-41C, soit:
- * Plus de 130 fonctions.
- * Affichage alphanumérique.
- * 10 tests conditionnels, 56 indicateurs internes (Flags).
- * Contrôle des boucles, adressage indirect, touches personnalisées, mémoire continue.

- * 12 caractères visibles, décalages pour visualiser 24 caractères, fonctionnement mémoire permanente.

Modules mémoires

- * Modules de spécialité préprogrammés disponibles.

Lecteur optique

- * Lecture de codes-barres imprimés, traduction des données et des programmes dans le calculateur.

- * Livres de solutions avec codes-barres disponibles (en anglais seulement).

Lecteur de carte

- * Conserve des programmes complets et des données sur cartes magnétiques.
- * Cartes magnétiques des HP-67 et 97 compatibles.

L'Imprimante

- * Caractères numériques et

alphabétiques (majuscules et minuscules).

- * Tracés et graphiques ainsi que dessins à caractères spéciaux.
- * Intensité d'impression réglable, extrêmement silencieuse.



«LES PRIX: HP 41CV: \$471.75, LECTEUR DE CARTE: \$287.50, IMPRIMANTE: \$536.50, MODULES MÉMOIRE: \$42.50, LECTEUR OPTIQUE: \$171.95. (Une réduction est accordée aux membres).»



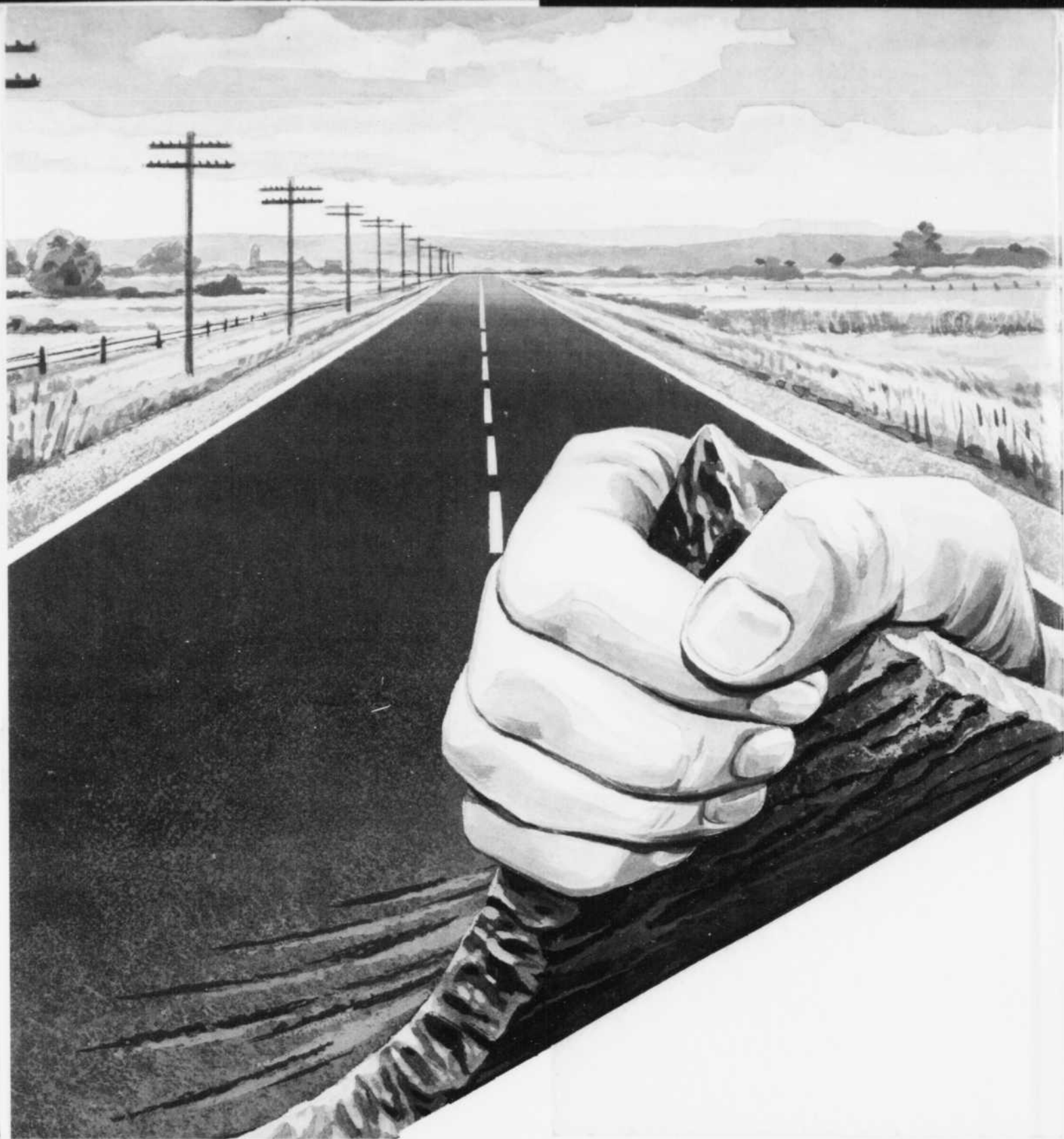
**Des dépliants détaillés sont à votre disposition.
Pourquoi payer plus cher ailleurs? Venez nous voir.**

* Commandes postales acceptées avec chèque (voir premier dépliant la taxe de vente provinciale (17%) et les frais d'expédition de \$4.00 (\$5.00 pour les modèles de plus de \$200).
** Les prix sont sujets à changement sans préavis.

COOPERATIVE ETUDIANTE DE POLYTECHNIQUE

LOCAL C-106 Ecole Polytechnique
Campus de l'Université de Montréal
C.P. 6079, Succ. «A» Montréal H3C 3A7
Tél.: (514) 344-4841

CHEMIN DE POLYTECHNIQUE
DECELLES
COTE DES NEIGES
QUEEN MARY



**Texel, le meilleur
sous-vêtement souterrain**

QUAND VOS DESSUS EXIGENT DE BONS DESSOUS.

Depuis 1975, Texel a été utilisé dans plus de 3 000 projets de construction. On l'a particulièrement utilisé en tant que:

- Couche anticontaminante et drainante dans la construction de routes, rues et voies d'accès.
- Filtre sous la carapace de protection, protégeant les berges contre le batillage ou les courants.
- Répartiteur de charge là où le sol se montrait de mauvaise qualité.

Vous avez besoin de conseils en ce qui concerne un projet pouvant requérir des géotextiles? Nos spécialistes connaissent les exigences de vos travaux; ils sauront répondre judicieusement à vos questions.



Texel

inc.

Texel Inc.
485, des Érables
St-Elzéar, Beauce-Nord
Québec G0S 2J0

Tél.: (418) 387-5910 ou
1-800-463-8866



1971/1981

LE PIONNIER DE
L'INVESTISSEMENT SÛR
PAR EXCELLENCE

Discretion et bénéfices constants sont
synonymes de diamants d'investissement.
L'érosion monétaire n'a dessus aucune prise.
C'est la plus-value des temps modernes. De
Beers l'a dit: "Le diamant est éternel".
L'investissement exceptionnel.



**Diamants d'investissement
et Manufacturiers (Canada) Itée**

B.P. 250
BUREAU CÔTE ST-LUC
MONTRÉAL, QUÉ.
H4V 2Y4
(514) 481-6342

*Veillez m'envoyer sans aucun engagement de ma part la documentation
concernant le diamant d'investissement.*

NOM _____

ADRESSE _____

CODE POSTAL _____ TÉL. _____



TECHNISOL INC.

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE
ET CONTRÔLE DES SOLS
BÉTON - ASPHALTE - ACIER

325, DE L'ESPINAY, QUÉBEC, P.Q. G1L 2J2 / 847-1402
244 DE LA CATHÉDRALE, RIMOUSKI G5L 5J4 / 723-1144



**LUPIEN, ROSENBERG, JOURNEAUX
& ASSOCIÉS INC.**

études de sols et matériaux

- Investigations sur le terrain : sondages et essais
- Mécanique des sols et des roches : pieux, caissons, radiers, semelles, parois moulées, tunnels
- Design d'ouvrages en terre : digues, barrages, remblais
- Photogéologie : recherche de matériaux d'emprunt, études de traces, choix de sites d'aménagement
- Investigations de déficiences
- Instrumentation
- Environnement physique : études d'impact
- Contrôle des matériaux et procédures de construction
- Essais en laboratoire

960, 24e Avenue, Lachine, Québec, H8S 3W7 Tél. : (514) 637-3746



mon-ter-val Inc.

société d'expertises

- Géotechnique
- Géologie
- Mécanique des Roches
- Contrôle des matériaux
- Hydrogéologie

1470 rue mazurette, montréal, qué. H4N 1H2
442 ave Centrale, Val d'Or, Qué. J9P 1P5

Tél. (514) 382-5110
Tél. (819) 824-6894



**COMPAGNIE NATIONALE
DE FORAGE ET SONDRAGE INC.**

1130 OUEST, RUE SHERBROOKE
MONTRÉAL H3A 2R5
TÉL. : (514) 288-1177

Études géotechniques, géologiques, sismiques
Sondages et forages
Contrôle qualitatif : sols, béton, asphalte, métaux
Laboratoires : eaux, sols, matériaux
Assurance qualité, métallurgie, corrosion

Fondée en 1937

FRANC PARLER

La comptabilité sur le terrain et les projets de construction

par
C.E. "Chuck"
MORASH



Directeur de
la comptabilité d'un projet

Un projet de construction de plusieurs millions de dollars se compare à une entreprise autonome en ce sens qu'il est soumis à des méthodes et à des contrôles financiers.

Les projets d'importance exigent beaucoup d'argent, un grand nombre de personnes et des quantités considérables de matériel et de machines. C'est pourquoi le contrôle et la comptabilité jouent un rôle de tout premier plan et constituent deux fonctions essentielles.

Le directeur de la comptabilité d'un projet de Bechtel est le principal représentant comptable et financier sur le terrain. Il est chargé d'une part, de gérer toutes les activités commerciales des projets d'importance et, d'autre part, de diriger et de guider le personnel comptable qui relève de lui. Suivant les besoins organisationnels de chaque projet, ses responsabilités peuvent comprendre la gestion des approvisionnements, du personnel, du traitement des données et des services administratifs généraux. Il joue en outre le rôle de chien de garde pour tout ce qui est des reçus et des dépenses liés aux différentes phases financières du projet.

C'est pourquoi il est important que le directeur de la comptabilité de projet comprenne parfaitement les politiques et les méthodes de la compagnie. De même, il est essentiel qu'il ait une bonne connaissance des états financiers, de l'impôt sur le revenu des sociétés et des particuliers, des taxes de vente et des autres lois provinciales et fédérales régissant le projet, la société et ses employés.

La comptabilité de projet porte principalement sur la feuille de paye, les comptes à payer, la vérification et le paiement des factures des entrepreneurs, la gestion de la caisse, la facturation des clients de même que l'enregistrement et la préparation des rapports internes sur les coûts.

La comptabilité de projet permet aux professionnels de la construction qui ne sont pas ingénieurs de participer directement à l'un des aspects les plus dynamiques des grands projets de construction. À ceux qui ont un diplôme en comptabilité ou une formation équivalente, qui ont envie de travailler fort et qui n'ont pas peur de se déplacer, la comptabilité de projet sur le terrain offre des possibilités de carrière intéressantes.



BECHTEL CANADA

Les bâtisseurs de l'industrie

Montreal Toronto Edmonton Calgary Vancouver



Merci à l'École Polytechnique de Montréal d'être venue chez nous.

Une équipe de finissants de l'École Polytechnique de Montréal a fait l'hiver dernier une analyse de notre technique d'usinage, de notre outillage et de nos possibilités en prévision d'un programme d'expansion et de renouvellement de notre équipement. Le rapport qui nous a été présenté en avril nous a inspiré beaucoup de respect par son approche réaliste des données des problèmes et de l'application de solutions. Nous croyons que la qualité de l'étude et la valeur des conclusions méritent que nous reconnaissons publiquement le talent de l'équipe aussi bien que le souci de Polytechnique de s'impliquer concrètement dans la vie industrielle.*

Le président,

Jay L. Anderson

**Finissants du département de Génie industriel, dans le cadre du cours PRISME dirigé par MM. Fred Bassal et Laurent Villeneuve, professeurs.*



Le Bois Rond Laurentien

Case postale 219, Val-Morin, Québec, Canada J0T 2R0

Maisons en bois rond de pin blanc usiné à Bouvétriple® selon une ancienne technique scandinave éprouvée sous des climats rigoureux et tempérés.

Exportation

Génie.

Système de chauffage électrique pour l'Indonésie . . . ingénierie industrielle pour un complexe manufacturier en Algérie . . . expansion d'une usine de traitement des minerais au Pérou . . . En 1980, plus de 1000 entreprises canadiennes se sont prévalues des services de la SEE pour appuyer des ventes à l'exportation de \$5.1 milliards. Une grande partie de ces ventes provient du secteur canadien des ingénieurs-conseils.

Qu'il s'agisse d'une vente de mille dollars ou d'un projet de plusieurs millions, notre société fournit une vaste gamme de services d'assurances et de garanties aux exportateurs canadiens, de même que des crédits aux acheteurs étrangers afin de faciliter et d'accroître le commerce d'exportation.

Pouvons-nous vous aider? N'hésitez pas à nous contacter.

Après tout l'exportation est à l'avantage des ingénieurs-conseils.

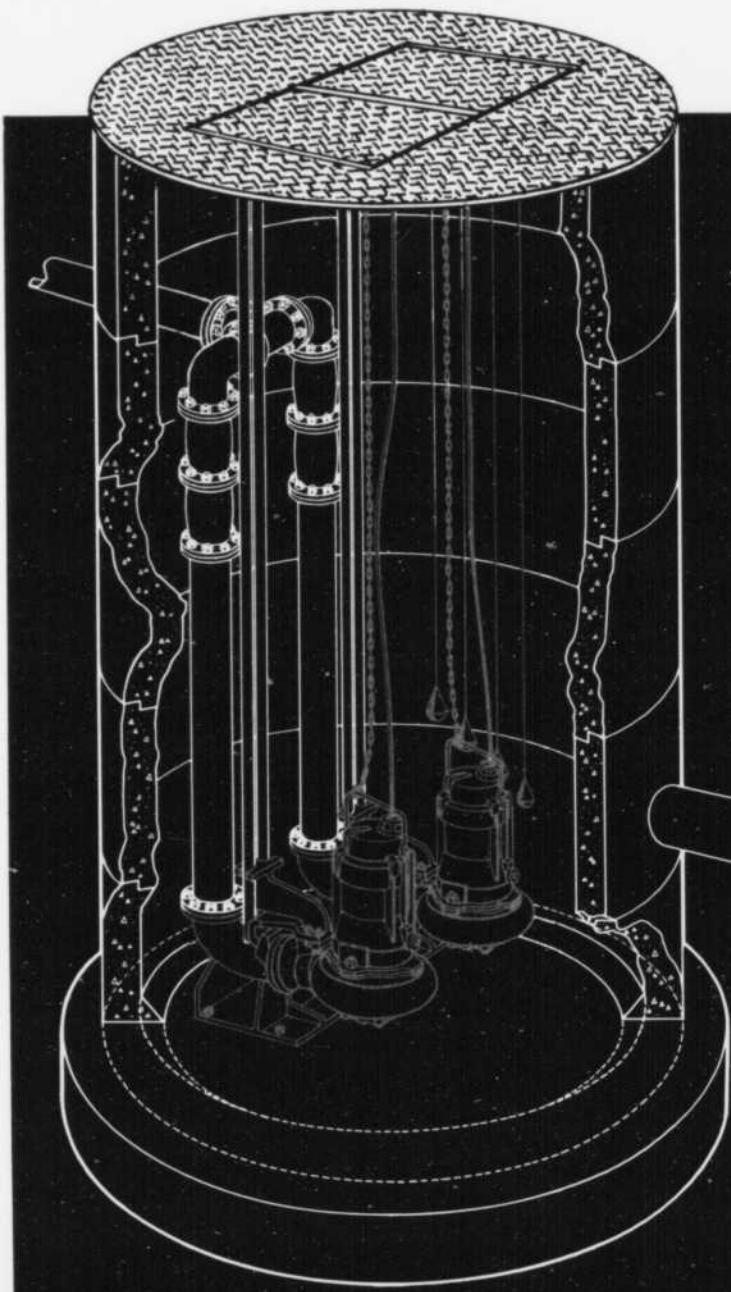


Société pour l'expansion des exportations

C.P. 655, Ottawa, Canada K1P 5T9 Tél: (613) 237-2570 Télex: 053-4136
Succursales à Toronto, Montréal, Vancouver et Halifax.

*Envoyez-nous votre
carte de visite
et nous
vous renseignerons
sur la SEE.*

quelle simplicité!



Le système Flygt pour les stations de pompage d'égouts

Qu'il s'agisse d'un puisard en béton préfabriqué ou coulé, situé sous une route, sous un édifice ou sous le gazon en bordure d'une route, les pompes submersibles électriques Flygt pour égouts fonctionnent jour et nuit, silencieusement et en toute sûreté. La pompe Flygt est submersible et ne possède ni longs arbres, ni presse-étoupe, ni paliers intermédiaires. Les pompes se glissent le long des barres-guides jusqu'à ce qu'elles se branchent automatiquement aux connexions de décharge. Pour effectuer l'entretien périodique, il suffit de les remonter le long des barres-guides — sans avoir à pénétrer dans le puisard.

On utilise des pompes d'égouts Flygt dans des stations de pompage partout au Canada. Ces pompes peuvent avoir un débit de 7500 gal am./mn et une puissance de deux à 180 cv. Le représentant Flygt de votre région possède tous les renseignements concernant les pompes d'égouts submersibles Flygt et les systèmes souterrains Flygt. Rendez-lui visite dès aujourd'hui!

Flygt Canada
300, avenue Labrosse, Pointe-Claire,
Québec H9R 4V5

Succursales: Coquitlam, Calgary, Edmonton,
Winnipeg, Hamilton, Toronto, Sudbury,
Ottawa, Québec, Sept-Îles, Moncton,
St. John's
Aux E.-U.: Flygt Corporation, Norwalk, Conn.

Vente, entretien et location partout au Canada

FLYGT

LE SÉCHAGE DU BOIS

Yves Fortin, Ph. D., ing. f.*

Résumé

Le séchage du bois est une opération qui consiste à réduire la teneur en eau du bois à un niveau correspondant à la teneur en humidité d'équilibre propre à son utilisation. Ce traitement confère au bois une meilleure stabilité dimensionnelle à l'usage, et améliore de plus la plupart de ses propriétés telles que sa résistance mécanique, sa résistance aux pourritures, et ses aptitudes générales à la transformation. La structure particulière du réseau capillaire du bois de même que les phénomènes d'hygroscopicité et de rétractibilité font du séchage un processus complexe. Néanmoins, la technologie moderne permet de sécher le bois dans des conditions suffisamment bien contrôlées pour assurer la production économique et efficace d'un produit de haute qualité.

Introduction

La production totale de bois de sciage (résineux et feuillus) au Québec en 1980 fut de 6.6 millions de m³ [1], ce qui correspond à environ 17% de la production canadienne. Près de 50% de ce volume fut séché artificiellement à des teneurs en humidité moyennes variant entre 5 et 19% (en pourcentage de la masse anhydre) dans le but de rencontrer certaines normes de classification ou de répondre aux exigences particulières des acheteurs. Le reste fut vendu vert ou partiellement sec dépendant de la durée de stockage à l'extérieur.

En raison de la demande croissante de produits de haute qualité dans le secteur de la construction et les secteurs connexes, le séchage est appelé à plus ou moins brève échéance à devenir une étape essentielle de la production du bois d'œuvre. En effet, lorsqu'effectué dans des conditions contrôlées de température et d'humidité immédiatement après le débitage des billes, le séchage assure normalement la production économique et efficace d'un produit de haute qualité dont le comportement à l'usage en est de beaucoup amélioré.

L'exposé qui suit donne un aperçu des principes de base du séchage du bois massif et des diverses méthodes et techniques de séchage employées. Le but premier de ce tour

* *M. Yves Fortin a obtenu les diplômes d'ingénieur forestier et de maîtrise ès sciences (Sciences du bois) de l'Université Laval en 1969 et 1972, et un Ph. D. (Sciences du bois) de l'Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, en 1980. De novembre 1977 à septembre 1979, il fut chercheur-boursier au Département d'exploitation et utilisation des bois de l'Université Laval où il participa à des recherches sur les relations bois-eau. Depuis septembre 1979, il est professeur substitut au département du même nom.*

d'horizon est de sensibiliser le lecteur à l'importance et à la complexité de cette opération. Tout utilisateur averti sera en mesure de mieux apprécier ce merveilleux matériau qui selon toute vraisemblance est appelé à influencer de plus en plus nos habitudes de vie dans le futur [2].

Définition et avantages du séchage du bois

Le séchage du bois est une opération qui consiste à réduire la teneur en eau du bois à un niveau correspondant à la teneur en humidité d'équilibre propre à son utilisation. En général, ce niveau se situe entre 12 et 19% pour le bois destiné à des usages extérieurs, et entre 5 et 10% pour le bois choisi pour des usages intérieurs. Ce traitement confère au bois une meilleure stabilité dimensionnelle, évitant ainsi l'apparition de défauts tels que le gauchissement et le fendillement après la mise en service. De plus, le séchage améliore la plupart des propriétés mécaniques du bois de même que sa résistance aux pourritures, facilite l'usinage, le collage, la finition et les traitements de préservation, et enfin diminue les coûts du transport routier et ferroviaire.

Relations bois-eau-atmosphère

En général, le séchage du bois se fait dans un milieu contrôlé d'air chaud et humide. Il est donc très important de connaître les relations qui existent entre les divers composants du système bois-eau-atmosphère.

Le bois est un matériau hygroscopique, c'est-à-dire qu'il possède la propriété d'absorber de la vapeur d'eau de l'atmosphère et de maintenir un équilibre d'humidité avec celui-ci. À l'équilibre, la pression de vapeur de l'eau dans le bois est égale à la pression de vapeur de l'air environnant. Lorsque la pression de vapeur de l'eau à la surface du bois devient supérieure à celle de l'air ambiant, le bois libère de son humidité jusqu'à égalisation des deux pressions de vapeur. L'équilibre hygroscopique atteint dépend à la fois de la pression de vapeur et de la température de l'air.

Une caractéristique de l'air qui est plus appropriée que sa pression de vapeur pour exprimer sa capacité évaporatrice ou sa capacité d'absorption d'humidité est le degré hygrométrique, aussi appelé humidité relative. Le degré hygrométrique, ψ , peut se définir comme le rapport exprimé en pourcent entre la pression de vapeur réelle de l'air humide, p , et

la pression de vapeur de l'air saturé à la température ambiante, p_s , soit :

$$\psi (\%) = \frac{P}{P_s} \cdot 100 \quad (1)$$

En cours de séchage, le degré hygrométrique est généralement déterminé au moyen d'un psychromètre à thermomètres sec et humide, dont l'un d'eux mesure la température sèche de l'air (T_s), et l'autre détecte la température humide de l'air (T_h). La différence entre T_s et T_h est appelée « baisse du thermomètre humide », laquelle est directement reliée au degré hygrométrique de l'air. Elle est d'autant plus grande que le degré hygrométrique est faible. Lorsqu'elle est nulle, ψ est égal à 100%.

Même si le choix de l'index ψ diminue l'influence de la température sur l'équilibre hygroscopique du bois, il ne l'élimine pas complètement. C'est pourquoi les programmes de séchage s'expriment à la fois en termes de T_s et ψ , ou sous forme de T_s et de la baisse du thermomètre humide. Un exemple typique de la relation existant entre la teneur en humidité du bois et le degré hygrométrique de l'air est présenté à la figure 1. La forme sigmoïde des courbes de sorption et l'hystérèse entre la désorption et l'adsorption sont les deux principales caractéristiques de la relation $H(\psi)$, qui varie relativement peu d'un bois à l'autre, excepté pour les essences à forte teneur en extractibles.

La connaissance de la relation $H(\psi)$ est fort utile au contrôle des paramètres externes du séchage, mais renseigne peu sur les conditions internes du bois, en particulier sur le statut énergétique de l'eau. Celui-ci peut être évalué à l'aide d'une propriété thermodynamique fondamentale appelée « potentiel hydrique », concept qui a puisé son origine dans la littérature des sols [4]. Le potentiel hydrique du bois, ϕ , désigne la différence entre l'énergie libre spécifique de Gibbs de l'eau du bois, \bar{G} , et celle de l'eau à l'état libre et pur à la même température, \bar{G}_0 , soit :

$$\phi (\text{J/kg}) = \bar{G} - \bar{G}_0 \quad (2)$$

Une particularité importante des courbes énergétiques de l'eau dans le bois, dont un exemple typique est montré à la figure 2, est la présence d'une forte hystérèse entre les courbes limites de désorption et d'absorption aux teneurs en humidité élevées. En outre, on peut remarquer que le qualificatif « d'eau libre » généralement attribué à l'eau dans le bois au-dessus du point de saturation des fibres (PSF) n'est pas très juste en ce qui a trait au mode de désorption. En effet, l'eau à la désorption atteint un niveau énergétique considérable (en valeur absolue) bien avant que la teneur en humidité du bois s'abaisse en-dessous de 30%. De par sa définition, le potentiel hydrique peut servir comme mesure de la quantité d'énergie qui doit être déployée pour extraire (de façon réversible, à pression et température constantes) un kilogramme d'eau du bois à l'état liquide. Au cours du séchage, l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau à la surface du bois (chaleur latente de vaporisation) s'ajoute à cette quantité d'énergie minimale.

Mouvement de l'humidité dans le bois au cours du séchage

Les mécanismes de mouvement de l'humidité dans le bois au cours du séchage sont très complexes. Essentiellement, le déplacement de l'humidité au séchage se fait dans le plan transversal du bois, en raison du mode de débitage, depuis les zones internes vers la surface de la planche. L'humidité peut effectuer ce trajet par un mouvement de masse, sous forme liquide ou de vapeur, en empruntant le réseau capillaire du bois composé en grande partie par les cavités cellulaires inter-connectées par des ponctuations à passages très

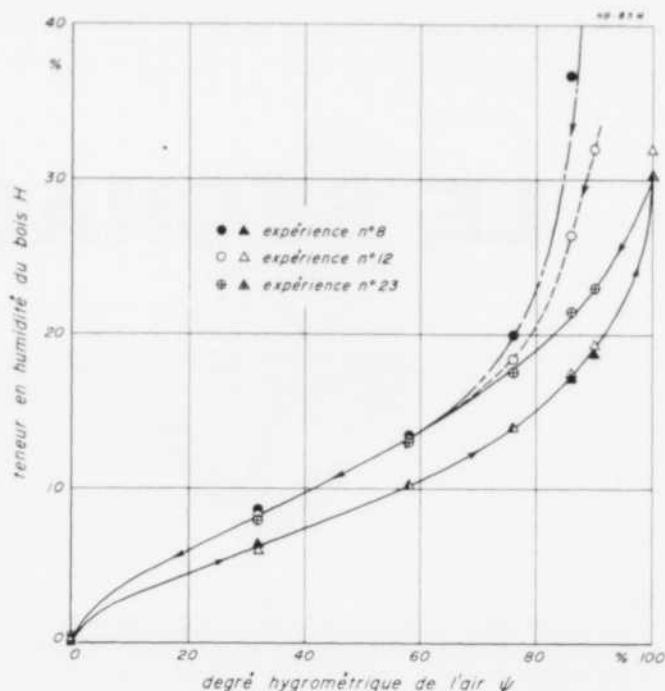


Figure 1 — Isothermes de sorption du bois d'érable à sucre à la température de 21°C. Les triangles représentent les mesures à l'adsorption, les cercles celles à la désorption. (D'après Goulet 1968)

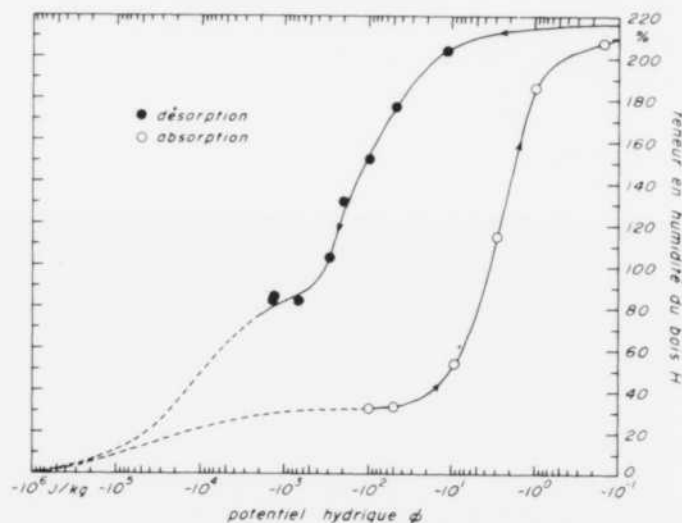


Figure 2 — Relation entre le potentiel hydrique du bois de pruche de l'Ouest et sa teneur en humidité pour les courbes limites de drainage et d'imbibition. (Adapté de Fortin 1979)

étroits. Ce mode de transport interviendrait principalement au-dessus du PSF. En dessous du PSF, l'humidité se déplacerait plutôt par un mouvement moléculaire en diffusant sous forme liquide à travers les parois cellulaires, ou en diffusant sous forme de vapeur à travers les cavités cellulaires et les ouvertures des membranes de ponctuations. Il va sans dire que le transport d'humidité par diffusion est beaucoup plus lent que le mouvement de masse. Il s'ensuit donc une diminution très marquée du taux de séchage lorsque la teneur en humidité à la surface du bois s'abaisse en-dessous du PSF. Notons enfin que l'aspiration des membranes des ponctuations et l'incrustation de celles-ci par des extractibles sont deux phénomènes qui restreignent considérablement le mouvement de l'humidité chez certaines essences ou dans certaines parties du bois (bois de cœur).

Le traitement mathématique du mouvement de l'humidité dans le bois au cours du séchage a fait l'objet de nombreuses recherches bien que, pour la plupart d'entre elles, seule la gamme de teneurs en humidité en-dessous du PSF ait été considérée. Récemment, les efforts ont été multipliés en vue de pourvoir au manque de connaissances sur le sujet [4, 5, 6, 7], mais malgré cela le problème est encore loin d'être résolu.

Facteurs physiques du séchage

Le séchage du bois implique généralement la conjugaison de deux processus : 1) le mouvement de l'humidité dans le bois ; et 2) l'évaporation de l'eau du bois dans l'air ambiant. Afin de réaliser ces processus sous des conditions contrôlées, on a besoin de chaleur, d'humidité, et d'une circulation d'air.

L'apport de chaleur en cours de séchage est essentiel au réchauffage du bois à l'évaporation de l'eau à la surface du bois. Au-dessus du PSF, la température du bois se maintient normalement au voisinage de la température du thermomètre humide. Alors que la teneur en humidité s'abaisse au-dessous du PSF, la température du bois s'approche progressivement de celle du thermomètre sec. Les échanges de chaleur se font alors de plus en plus lents et, ceci affectant la vitesse de séchage, la température sèche doit être augmentée afin de maintenir une allure de séchage acceptable [8].

Le contrôle de l'humidité de l'air est également d'une importance capitale. D'une part, le gradient de degré hygrométrique entre l'air ambiant et le film d'air à la surface du bois détermine en grande partie la vitesse d'évaporation de l'eau. D'autre part, l'équilibre hygroscopique du bois est largement fonction du degré hygrométrique de l'air ambiant (cf. figure 1). Le contrôle de ψ permet donc d'obtenir avec plus de précision la teneur en humidité d'équilibre cherchée.

Enfin, une circulation d'air dans le séchoir est indispensable pour fournir l'apport nécessaire de chaleur au bois et en même temps évacuer l'humidité évaporée du bois. Elle sert de plus à assurer l'homogénéité de séchage à travers la pile de bois. Les vitesses pratiques de l'air au cours du séchage varient entre 1 et 3 m/s suivant le mode et la phase de séchage. L'effet de la vitesse de l'air sur le taux de séchage diminue au fur et à mesure que l'humidité du bois décroît.

Traitements des sciages avant séchage

Un traitement fréquent du bois avant séchage est l'étuvage ou traitement à la vapeur. Celui-ci est généralement fait en condition saturée d'humidité ($\psi = 100\%$), à des températures variant entre 60 et 100°C, et à la pression atmosphérique. Sa durée varie entre 2 et 4 h. L'étuvage est souvent une étape initiale essentielle de l'opération de séchage, servant alors au réchauffage du bois, ou est encore utilisé dans le but d'accélérer la vitesse de séchage [9], de réduire la dégradation, et de stériliser le bois.

Un autre prétraitement est le rabotage superficiel du bois vert. Il contribue surtout à diminuer les gerces de surface et les défauts de gauchissement. Il est restreint cependant aux bois de haute qualité en raison des frais supplémentaires de manutention et d'entretien.

Un traitement fortement recommandé pour réduire les pertes causées par les fentes en bouts est le badigeonnage des bouts avec des enduits protecteurs imperméables tels que les composés bitumeux, les cires et émulsions de cire, les peintures, les vernis et les résines. En pratique, cependant, seul le bois de valeur est soumis au badigeonnage systématique des bouts. Les sciages de résineux ayant une épaisseur inférieure à 50 mm sont rarement l'objet de ce traitement.

Un traitement simple par temps chaud qui aide à protéger le bois vert contre les gerces et l'infection par les colorations fongiques ou chimiques est l'immersion des billes sous l'eau (pounding) ou l'arrosage des grumes et des sciages par jets d'eau intermittents ou continus. L'emploi de préservatifs chimiques est cependant préférable en ce qui a trait aux sciages. Ainsi, un traitement simple par trempage ou pulvérisation à l'aide de fongicides et de solutions anticolorations suffit habituellement à protéger le bois avant et pendant le séchage. Dans certains cas, un insecticide peut aussi être requis pour protéger le bois contre les insectes de bois vert.

Enfin, on pourrait citer une foule d'autres prétraitements tels que, par exemple, la compression transversale dynamique [10], le badigeonnage ou l'imprégnation de produits chimiques hygroscopiques ou hydrofuges [11], etc., qui ont été proposés pour soit accélérer le séchage ou soit améliorer la qualité du produit séché. Jusqu'ici, ces prétraitements n'ont connu que très peu d'applications pratiques.

Méthodes de séchage et équipement

Les diverses méthodes de séchage peuvent se diviser en deux catégories : 1) les procédés économiques courants de séchage à l'air et en séchoir ; et 2) les techniques de séchage spéciales.

Séchage à l'air libre

Dans ce mode de séchage, le bois est généralement empilé à plat à l'air libre dans de grandes cours ouvertes, avec des baguettes (≈ 25 mm d'épaisseur) disposées entre chaque lit de planches afin de permettre la libre circulation de l'air entre elles. Idéalement, les piles de planches sont érigées sur des fondations élevées de béton ou de bois traité et sont recouvertes d'un toit incliné qui les protège contre les intempéries et l'action directe du soleil. En tant que processus de séchage complet, ce mode de séchage est surtout utilisé pour le bois tendre de construction. En effet, la teneur en humidité minimale atteinte de cette façon est d'environ 15%. En tant que processus partiel, le séchage à l'air libre sert à préparer le bois en vue d'un traitement de préservation, à enlever du poids aux fins de transport routier ou ferroviaire, et enfin à faciliter le séchage ultérieur en séchoir (feuillus réfractaires). La durée du séchage à l'air libre varie grandement avec les régions et les saisons de l'année. Un mois peut suffire pour sécher du bois vert de 25 mm d'épaisseur en-dessous de 20% H alors que, dans des conditions moins propices, une durée de six mois peut être requise [11, 12].

Séchage à l'air forcé

Cette méthode de séchage est similaire à la méthode précédente, à l'exception que l'air est forcé à travers les piles de bois à l'aide de grands ventilateurs à lames multiples placés dans des hangars de séchage ou abrités séparément. Des humidistats peuvent être installés pour arrêter les ventilateurs quand le degré hygrométrique de l'air devient trop élevé (80-90%) ou trop bas (30-40%). Ce procédé a pour effet de diminuer la durée de séchage de 25 à 40% par rapport au séchage à l'air libre en ce qui a trait au bois de faible épaisseur et de teneur en humidité initiale élevée [13].

Séchage en séchoir à basse température

Au moins trois procédés de séchage en séchoir peuvent être regroupés sous ce titre, soient le préséchage en séchoir, le séchage par déshumidification, et le séchage solaire.

Le préséchage artificiel se fait à l'intérieur de grands hangars de 200 à 700 m³ de capacité chauffés à des températures variant entre 21 et 50°C et généralement munis d'un système de ventilation composé de bouches d'aération et de ventilateurs. Les préséchoirs sont, cependant, rarement équipés

d'un système d'humidification efficace, d'où l'impossibilité de régulariser complètement les conditions de séchage. Ils sont particulièrement avantageux pour le préséchage (20-25% H) des feuillus réfractaires au séchage à moyenne ou haute température, et pour le préséchage de pièces de bois de grandes dimensions. Les durées de séchage sont de 2 à 4 fois plus courtes que le séchage à l'air libre et la saison effective de séchage est allongée sensiblement (≈ 8 mois au Canada).

En ce qui a trait au séchage par déshumidification, c'est un procédé récemment introduit sur le continent nord-américain et qui fonctionne sur le principe de la pompe à chaleur. Le séchage se fait à partir du même air qui est continuellement recyclé à travers un déshumidificateur qui enlève son humidité et le réchauffe avant de le repousser dans le séchoir. Les diverses étapes de ce cycle sont illustrées à la figure 3. Au début du séchage, on utilise un appareil de chauffage électrique auxiliaire pour amener la charge du séchoir à la température voulue. Par la suite, le système de déshumidification, par le biais de la chaleur latente de condensation et de la chaleur libérée par le compresseur, fournit les calories nécessaires à la poursuite du séchage. La température maximale de fonctionnement du déshumidificateur est d'environ 50°C. En général, la chambre de séchage n'est pas équipée d'un système d'humidification. Ceci rend évidemment plus difficile le contrôle des conditions de séchage et ne permet pas un conditionnement du bois en fin de séchage.

Ce procédé est particulièrement intéressant pour le séchage des feuillus de haute valeur, le préséchage, et enfin les installations de séchage de faible capacité. Lorsque utilisé comme moyen de préséchage, la consommation en énergie peut être de 45 à 60% plus faible que dans le cas du séchage conventionnel à moyenne température. La différence est cependant beaucoup moins importante si on effectue un séchage complet [15]. Une autre récente addition dans l'outillage de séchage du bois est le séchoir solaire. Ce type de séchoir utilise les radiations solaires afin de chauffer l'air au-dessus des températures rencontrées dans le séchage à l'air libre. Dans les zones tempérées, la température moyenne dans le séchoir pendant les mois d'été peut facilement excéder la température moyenne ambiante de quelques 15°C, avec des différences maximales pouvant atteindre 30°C [16]. Le séchoir solaire consiste en une charpente de bois ou de métal, au toit incliné et formé par un matériau clair ou translucide tel que du verre, de la fibre de verre, ou du film de plastique. Un capteur solaire pouvant consister de plaques de métal plat ou ondulé peintes en noir est installé à environ 30 cm plus bas que le toit et parallèlement à ce dernier. L'équipement du séchoir solaire comprend également un système de ventilation, des appareils de contrôle, et dans certains cas, un réservoir à chaleur ainsi qu'un système de chauffage auxiliaire. Compte tenu que le séchage solaire est de 1.5 à 2 fois plus rapide que le séchage à l'air libre [11, 16] et qu'il consomme très peu d'énergie, il constitue une alternative très intéressante pour les opérateurs de préséchoirs ou de petites installations de séchage.

Séchage traditionnel à température moyenne

Ce procédé consiste en un séchage en séchoir entièrement contrôlé à des températures variant entre 50 et 95°C. Les systèmes de chauffage à la vapeur constituent la source de chaleur la plus usuelle, bien qu'on y rencontre également des systèmes de chauffage à feu direct (brûleurs directs à gaz, à l'huile, aux résidus de bois), à l'eau chaude, ainsi que des systèmes de chauffage électrique. L'humidité dans le séchoir au cours de l'opération est contrôlée par des vannes d'aspersion de vapeur ou d'eau ainsi que des événements qui sont normalement pratiqués dans le toit. Le système d'humidifi-

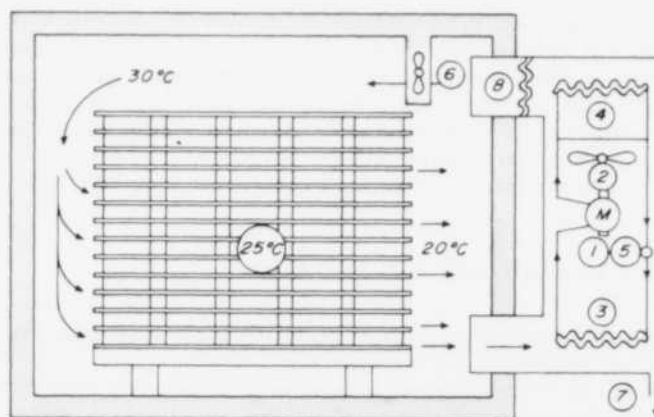


Figure 3 — Schéma de principe du séchage par déshumidification : 1) Compresseur de fluide frigorigène ; 2) Ventilateur de circulation d'air à l'intérieur de l'appareil de déshumidification ; 3) Évaporateur (élément froid de l'appareil) : refroidissement de l'air chaud et humide et condensation de l'eau qu'il contient ; 4) Condenseur (élément chaud de l'appareil) : chauffage de l'air froid et sec ; 5) Détendeur de fluide frigorigène ; 6) Ventilateur de reprise et de circulation d'air dans le séchoir ; 7) Écoulement de l'eau extraite des bois ; 8) Résistance électrique de chauffage utilisée si nécessaire. (D'après Sales 1979)

TABLEAU I

Teneur en humidité du bois %	Température			Équilibre hygroscopique (%)
	Sèche	Humide	Baisse du thermomètre humide	
	(°C)	(°C)	(°C)	
> 40	71.0	66.0	5.0	12.8
40 à 30	76.5	65.5	11.0	7.8
< 30	82.0	54.5	27.5	3.0
Conditionnement	82.0	77.0	5.0	12.6

1 Vitesse de l'air de 1.78 m/s en tout temps

cation et le système de chauffage sont réglés automatiquement au moyen d'enregistreurs-régulateurs fonctionnant à l'air ou à l'électricité. Ces appareils de contrôle sont eux-mêmes ajustés de façon à maintenir les températures sèche et humide choisies. Les affichages de T_s et T_h peuvent se faire manuellement ou automatiquement. Un exemple typique de programme de séchage généralement utilisé dans l'Est du Canada (affichages manuels) est donné au tableau I.

Quant aux ventilateurs, ils ont généralement deux ou trois vitesses de réglage ce qui permet d'obtenir des vitesses de l'air variant de 1.5 à 3.0 m/s. La circulation d'air est périodiquement inversée pour assurer une meilleure homogénéité de séchage à travers les piles de bois. Deux principaux types de séchoirs traditionnels à température moyenne sont pré-

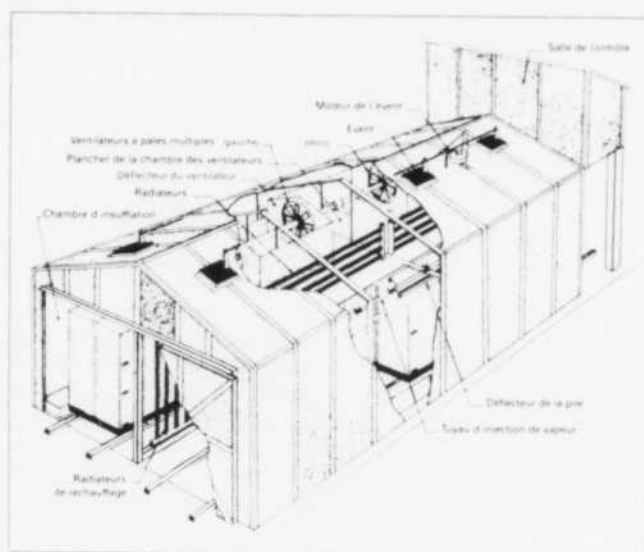


Figure 4 — Séchoir à compartiments muni de ventilateurs à arrangement longitudinal.
(D'après Cech et Pfaff 1978)

seulement en usage au Canada, soit les séchoirs à compartiments et les séchoirs-tunnels. Le séchoir à compartiments est rempli en une seule opération et les piles de bois demeurent stables en place jusqu'à la fin du séchage. Ce type de séchoir dont un modèle est montré à la figure 4 est très apprécié pour sa souplesse d'opération et est de loin le plus utilisé au Canada. Quant au séchoir-tunnel, il se caractérise par un processus continu au cours duquel les piles de bois se déplacent progressivement d'une extrémité à l'autre du séchoir, subissant à chaque mouvement vers l'avant des conditions de séchage de plus en plus rigoureuses.

Les durées de séchage enregistrées dans les séchoirs traditionnels à température moyenne sont de 3 à 6 jours pour les résineux et de 10 à 30 jours pour les feuillus [17]. En plus de réduire considérablement le temps de séchage, les séchoirs traditionnels permettent, grâce à l'humidification contrôlée, d'inclure en fin de séchage une période d'équilibrage qui di-

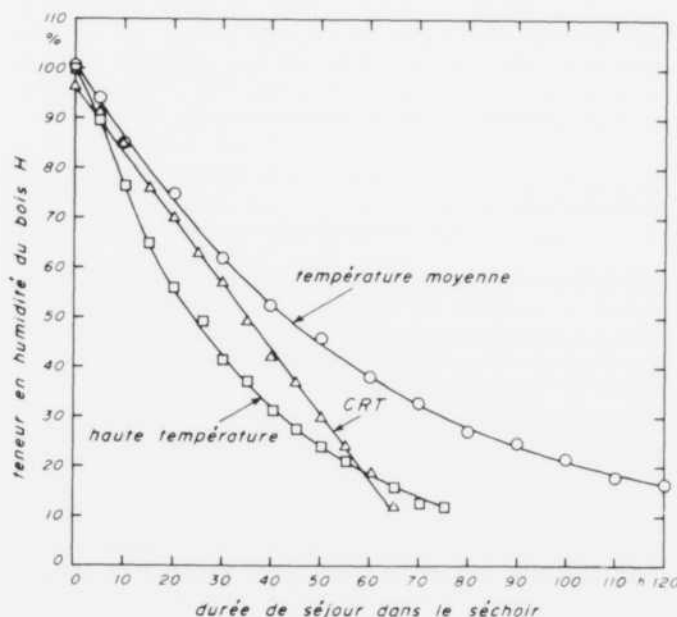


Figure 5 — Courbes de séchage pour des madriers de 38 mm x 184 mm en pruche de l'Ouest séchés par trois procédés différents.
(Adapté de Arganbright 1979)

minue la variation de la teneur en humidité finale, ainsi qu'une période de conditionnement qui sert à réduire les contraintes résiduelles. Ils permettent enfin d'obtenir facilement des teneurs en humidité finales aussi basses que 5 à 6%.

Séchage à haute température

Ce procédé, qui est largement utilisé avec les bois tendres de construction, implique un séchage à la pression atmosphérique à des températures au-dessus du point d'ébullition de l'eau, généralement entre 110 et 120°C mais pouvant parfois atteindre 150°C. L'apport de chaleur est assurée par un système de chauffage à la vapeur à haute pression ou à feu direct. Des ventilateurs à hélice à forte puissance permettent d'atteindre des vitesses de l'air variant de 2.5 à 6 m/s. Un système d'humidification n'est pas toujours présent. Dans tous les cas, cependant, les conditions de séchage demeurent très rigoureuses et ce procédé ne permet pas de sécher ensemble des essences différentes à moins d'obtenir des humidités finales très variables. Des périodes d'équilibrage et de conditionnement s'avèrent indispensables avec cette méthode de séchage. Les durées de séchage pour les résineux sont en moyenne 4 fois plus courtes que celles requises pour le procédé à température moyenne [8].

Procédé CRT

Un procédé qui fut développé par Weyerhaeuser Co. [18] et qui est devenu fort populaire sur la côte ouest est le procédé CRT (Continuously Rising Temperature Process). Cette méthode consiste essentiellement à régler les températures sèche et humide de façon à obtenir un taux de séchage constant du début à la fin de l'opération. Le séchage débute à basse température, T_s et T_h étant d'environ 40 et 35°C respectivement. Dans un programme de séchage typique, les températures T_s et T_h sont accrues continuellement à des taux respectifs d'environ 2°C/h et 1.5°C/h, jusqu'à ce que T_s atteigne quelque 110°C; après quoi on diminue T_h au taux approximatif de 0.6°C/h jusqu'à la fin du séchage [19]. Les temps de séchage sont légèrement plus courts que ceux du séchage à haute température, et les pertes par dégradation sont apparemment moindres [18]. Des courbes de séchage obtenues par le procédé CRT et les méthodes de séchage à moyenne et haute température sont comparées entre elles à la figure 5.

Techniques spéciales de séchage

On peut regrouper dans cette catégorie toutes les techniques de séchage qui potentiellement ne peuvent être utilisées qu'à des fins spéciales ou qui n'ont pas encore connu d'applications industrielles en raison de contraintes technologiques ou économiques. Parmi ces techniques, il convient de citer le séchage par jets d'air rapides (5-50 m/s) à très haute température (110-210°C), lequel pourrait écourter les durées de séchage jusqu'à 25 fois [20]. Le séchage par chauffage diélectrique à fréquence radio (1-30 MHz), qu'on appelle aussi le séchage à haute fréquence, est connu depuis plusieurs années mais son application demeure très limitée. Sa consommation élevée en énergie électrique en serait la raison majeure. Le séchage par micro-ondes (915-2450 MHz) permettrait par contre d'accroître l'efficacité de la conversion de l'énergie électrique et pourrait éventuellement devenir intéressant, surtout pour les bois à teneur en humidité initiale faible [21].

Le séchage par solvants organiques et le séchage dans des produits organiques huileux sont deux autres techniques spéciales de séchage. Dans le dernier cas, on peut citer à titre d'exemple le procédé Boulton qui consiste à sécher le bois à l'intérieur d'un autoclave partiellement rempli de créosote chauffée à une température supérieure au point d'ébullition de l'eau; l'eau contenue dans le bois se vaporise et par action d'un vide partiel est évacuée et condensée en dehors du

cylindre. Ce procédé sert principalement à présécher les poteaux et les dormants de chemin de fer en vue de leur imprégnation ultérieure à la créosote. Enfin, une dernière méthode qui semblerait avoir un certain potentiel est le séchage sous vide. Dans les deux variantes les plus courantes, on applique soit un vide continu en se servant alors de plaques chauffantes pour transmettre la chaleur au bois, ou soit des cycles successifs de séchage sous vide et de réchauffage à la pression atmosphérique. Le système par cycle semble très intéressant pour le séchage des bois réfractaires ou de forte épaisseur. Dans de tels cas, ce procédé serait de 2 à 4 fois plus rapide que le procédé conventionnel à température moyenne. La faible capacité des séchoirs du type à cylindre et les coûts d'investissement élevés ne permettraient cependant pas de réaliser des coûts de séchage qui soient compétitifs avec ceux des procédés courants, excepté peut être pour des volumes de production moyens [22].

Défauts de séchage : leur prévention

Les défauts de séchage sont dus à quatre causes principales qui sont la variabilité et l'anisotropie de retrait, les forces de tension superficielle, les colorations fongiques et chimiques, et l'exsudation de résine.

Deux types de défauts très courants sont les fentes en bout et les gerces de surface. Celles-ci consistent en des fissurations longitudinales entre les cellules du bois qui sont causées par des efforts de tension dus à un retrait important des bouts et des surfaces durant les premiers stades du séchage. Ces défauts affectent surtout les bois de forte épaisseur (fort gradient d'humidité) et les feuillus à gros rayons (chêne, hêtre) ; les enduits de bout, le rabotage superficiel, et des techniques d'empilage appropriées aident à les prévenir. Le fendillement interne, qui se manifeste par des fissurations entre les fibres et les rayons du bois, est un autre défaut causé par des efforts de tension. Dans ce cas, cependant, les efforts de tension se développent à l'intérieur du bois et en fin de séchage. Des conditions modérées de séchage au début de l'opération peuvent s'avérer nécessaires pour les essences sujettes à cette anomalie. Un état de contraintes résiduelles peut facilement exister dans le bois en fin de séchage ; ceci constitue un défaut qu'on appelle encroûtement. La partie interne du bois est alors sous tension et la partie externe sous compression. Des déformations très sévères peuvent apparaître si le bois est refendu ou usiné après séchage. Une période de conditionnement du bois en fin de séchage est une mesure préventive efficace contre ce défaut.

Même en l'absence de gradients d'humidité, le bois en séchant a tendance à se déformer à cause de la variabilité du retrait longitudinal à travers le rayon de l'arbre, et des différences de retrait entre les directions longitudinale, radiale et tangentielle. Le terme gauchissement désigne généralement l'ensemble des déformations qui originent de ces causes. Ces déformations se manifestent dans le plan longitudinal de la planche (voilure, cambrure, torsion) ou dans son plan transversal (tirant à cœur, déformation en losange). Les différents types de gauchissement sont illustrés à la figure 6. Des techniques de débitage et d'empilage appropriées peuvent éliminer en grande partie ces défauts.

Les essences qui sont très humides à l'état vert (peuplier faux-tremble, saule) et qui ont un bois de cœur relativement imperméable sont sujettes à un type de défaut connu sous le nom de collapse. Celui-ci se traduit par une apparence plus ou moins ondulée de la surface du bois et résulte d'un retrait excessif causé par l'affaissement des parois cellulaires du bois. L'effet plastifiant des températures élevées et les forces de tension superficielle créées par les interfaces air-eau sont deux hypothèses couramment avancées pour expliquer ce phénomène. Si le collapse n'est pas trop grave, un

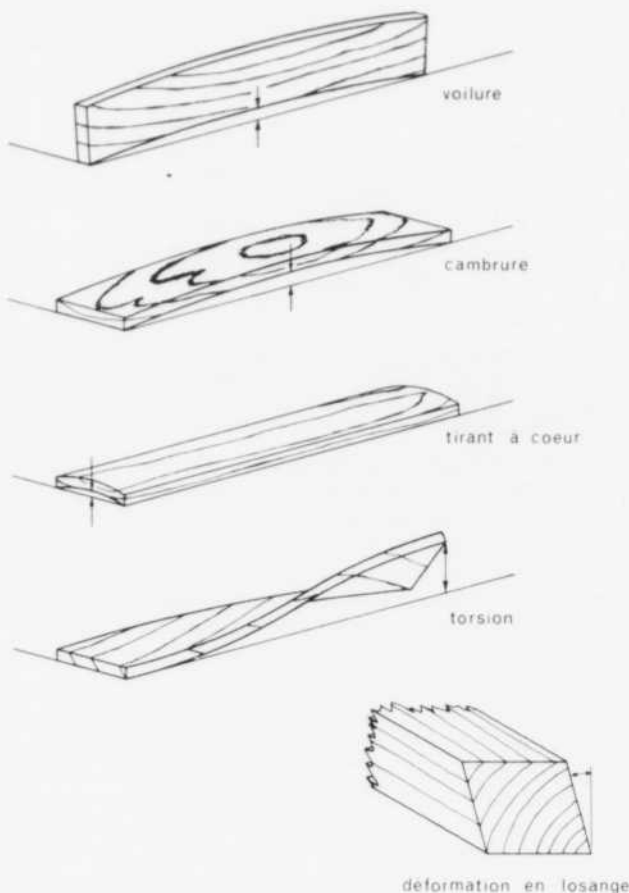


Figure 6 — Différents types de gauchissement.


traitement à la vapeur peut redonner au bois sa forme originale. Par contre, un préséchage à basse température peut aider à le prévenir ou à le diminuer.

En ce qui a trait aux colorations chimiques et fongiques, les meilleurs moyens de les prévenir sont des techniques de stockage appropriées, des traitements de préservation, et une conversion rapide des billes en bois sec. Enfin, l'exsudation de résine qui peut surgir au cours du séchage des résineux (pin rouge, pin gris) ne crée un véritable problème que si le bois est destiné à des produits ouvrés. Des programmes de séchage spéciaux doivent alors être utilisés [8].

Conclusion

Nous venons de passer en revue les principaux aspects théoriques et pratiques du processus complexe de séchage du bois. La structure particulière du bois et ses propriétés d'hygroscopicité et de rétractibilité en font un matériau difficile à traiter de nature et seulement une connaissance approfondie de ces diverses caractéristiques peut assurer des résultats positifs au séchage. Le grand nombre de procédés disponibles n'est pas, par contre, pour rendre aisé le choix de l'utilisateur convaincu de la nécessité d'investir dans une installation de séchage. Il est bien certain que pas un des procédés précédemment décrits pourrait donner un rendement maximal dans tous les cas. Le choix de la méthode de séchage optimale dépend de plusieurs facteurs dont le type d'essence à sécher, l'épaisseur des débits, le degré de séchage, les sources d'énergie disponibles, la qualité du produit séché en relation avec son utilisation ultérieure, et le volume de production à assurer. L'utilisateur éventuel devra donc chercher à fixer son choix sur l'installation qui, répondant technique-

ment le mieux à son problème, permettra d'obtenir le prix de revient de m³ séché le plus bas possible.

Enfin, que nous réserve la prochaine décennie dans ce secteur de la technologie du bois ? Il est probable qu'on assistera à des développements considérables dans l'automatisation des procédés de séchage et l'utilisation des formes d'énergie non-conventionnelles (résidus de bois, énergie solaire). Tout porte à croire qu'on assistera également à l'industrialisation de nouveaux procédés de séchage ultra-rapides. D'autre part, le comportement du bois au séchage (modèles physiques et statistiques du mouvement de l'eau dans le bois, effet de la température, effet des traitements, etc.) continuera à faire l'objet d'une attention spéciale de la part des scientifiques dans l'optique d'une rationalisation plus poussée du processus de séchage. Somme toute, le domaine du séchage du bois connaîtra une activité très fébrile au cours de la prochaine décennie. Espérons qu'ainsi le bois n'en sera que mieux et davantage utilisé. 

RÉFÉRENCES

- ASSOCIATION DES MANUFACTURIERS DE BOIS DE SCIAGE DU QUÉBEC. Communication personnelle.
- SMITH, C.P. 1976. *Wood In the Nation's Future 2076*. In : « Wood in american life 1776-2076 », by W.G. Youngquist and H.O. Fleischer. Forest Products Research Society, Madison, Wisconsin
- GOULET, M. 1968. *Phénomènes de second ordre de la sorption d'humidité dans le bois au terme d'un conditionnement de trois mois à température normale. Seconde partie : Essais du bois d'érable à sucre en compression radiale*. Notes de recherches n° 3, Département d'exploitation et utilisation des bois, Université Laval, Québec
- FORTIN, Y. 1979. *Moisture Content-Matrix Potential Relationship and Water Flow Properties Of Wood at High Moisture Contents*. Ph.D. thesis, Faculty of Forestry, U.B.C., Vancouver
- BRAMHALL, G. 1979. *Sorption Diffusion In Wood*. Wood Science 12 (1) : 3-13
- KAWAI, S., K. NAKATO, and T. SADOH. 1978. *Moisture Movement In Wood Below the Fiber Saturation Point*. J. Jap. Wood Res. Soc. 24(5) : 273-280
- SIAU, J.F. 1980. *Nonisothermal Moisture Movement In Wood*. Wood Science 13(1) : 11-13
- CECH, M.Y., et F. PFAFF. 1978. Manuel de l'opérateur de séchoir à bois pour l'Est du Canada. Rapport OPX192F, Laboratoire des produits forestiers de l'Est, Ottawa.
- SIMPSON, W.T. 1975. *Effect Of Steaming On the Drying Rate Of Several Species Of Wood*. Wood Science 7(3) : 247-255
- CECH, M. Y., and D.R. HUFFMAN. 1970. *Dynamic Transverse Compression Treatment Of Spruce To Improve Intake Preservatives*. Forest Products Journal 20(3) : 47-52
- McMILLEN, J.M., and E.M. WENGERT. 1978. *Drying Eastern Hardwood Lumber*. Agric. Handb. n° 528, Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture, Madison, Wisconsin
- RIETZ, R.C., and R.H. PAGE. 1971. *Air Drying Of Lumber*. Agric. Hand. n° 402, Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture, Madison, Wisconsin
- CECH, M.Y., et D.R. HUFFMAN. 1972. *Séchage par air forcé du bois d'épinette et de sapin baumier au Nouveau-Brunswick*. Publ. n° 1284F, Ministère de l'Environnement, Service Canadien des Forêts, Ottawa
- SALES, C. 1979. *Le séchage des bois tropicaux. Partie II. Le séchage artificiel*. Bois et Forêts des Tropiques 185:37-55
- PFAFF, F. 1978. *Drying Lumber By the Dehumidification Technique*. Furniture Production & Design Meubles, Oct., pp. 10-11
- TROXELL, H.E. 1977. *An Application Of Solar Energy For Drying Lumber*. Proceedings of a workshop on « Practical application of solar energy to wood processing ». Forest Products Research Society, Madison, Wisconsin
- RASMUSSEN, E.F. 1961. *Dry Kiln Operator's Manual*. Agric. Handb. n° 188, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Madison, Wisconsin
- ARGANBRIGHT, D.B. 1979. *State of the Art-Developments In Drying Technology*. Forest Products Journal 29(12):14-20
- BRAMHALL, G., and R.W. WELLWOOD. 1976. *Kiln Drying Of Western Canadian Lumber*. Information Report VP-X-159, Western Forest Products Laboratory, Canadian Forestry Service, Vancouver
- ROSEN, H.N. 1977. *Prototype Jet Impingement Wood Dryer*. Forest Products Journal 27(11):34-37
- BARNES, D., L. ADMIRAL, R.L. PIKE, and N.P. MATHUR. 1976. *Continuous System For the Drying Of Lumber With Microwave Energy*. Forest Products Journal 26(5):31-42
- ALEON, D. 1979. *Procédé de séchage du bois par le vide*. Courrier de l'Industriel du Bois et de l'Ameublement, Janv., pp. 1-16.



Lavalin

Partout au Canada et dans le monde Siège social: Montréal

INGENIERIE APPROVISIONNEMENT CONSTRUCTION

GERANCE DE PROJETS ET DE CONSTRUCTION

PLANIFICATION ETUDES RELEVÉS ESSAIS



Le Groupe-conseil S.M. inc.

Les Consultants Industriels S.M. inc.
Division génie industriel

Les Consultants S.M. inc.
Division surveillance et conception

Labo S.M. inc.
Division laboratoires

345, rue Boucherville
Sherbrooke, Québec
J1L 1X8
Téléphone: 819/566-8855
Sans frais: 1-800/567-6135

2545, avenue Delonmier
Longueuil, Québec
J4K 3P7
Téléphone: 514/651-0981

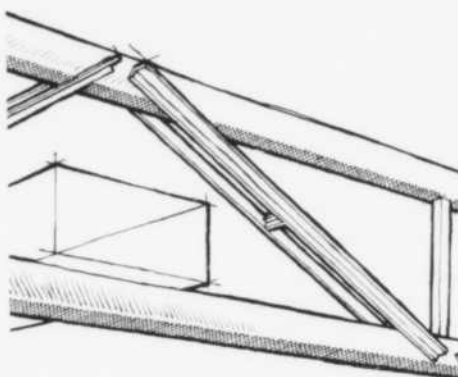
Les profils creux de co pour de bien

Souplesse, performance, économie et disponibilité: quatre caractéristiques remarquables et autant de bonnes raisons d'opter pour les profils creux de construction (HSS) de catégorie H de la Stelco pour les projets de tous genres. La forme même des HSS, creuse et symétrique, permet, par rapport à d'autres types de profilés, d'obtenir une importante réduction du poids des poteaux et des fermes. L'utilisation des HSS laisse amplement d'espace à l'équipement mécanique. Les frais de peinture sont réduits et, parce qu'ils ne présentent pas d'arêtes vives, la peinture tient bien. On peut facilement se procurer les HSS. Tout au long de la phase de planification, la Stelco sera à vos côtés pour s'assurer que les matériaux requis se trouvent à l'endroit indiqué au moment voulu. Rien d'étonnant que de plus en plus d'ingénieurs recourent aux HSS pour réaliser économiquement de brillants projets de construction, dont nous vous présentons ci-après quatre exemples pris à travers le pays.

Souplesse:

Edmonton Centre West, Tower One, Edmonton, Alberta

Cette tour comprend plus de 600 fermes composites de 9 à 11 m de longueur et de 700 à 900 mm de hauteur. Les membrures inférieures et supérieures des fermes sont des HSS de catégorie H rassemblés par des cornières et des diagonales en HSS. "L'un des plus importants facteurs à considérer dans le coût d'érection d'une tour est certes la hauteur d'un étage à l'autre", nous confie M. John Evison, ingénieur-concepteur. "Tout en permettant un espace important entre les planchers, le coût des fermes en HSS se compare avantageusement, à cet égard, à celui des poutres. Les HSS offrent, en plus, l'incontestable avantage de la souplesse de conception". Les fermes ont été disposées à 3 m de distance, de centre à centre, allouant un écartement de 3 m entre les noeuds de poutres afin de faciliter l'installation des canalisations électriques et mécaniques. Parlant au nom du fabricant, M. Gunther Benkendorf, ingénieur, ajoute: "Toutes les faces des membrures en HSS étant plates, il est possible de souder les diagonales directement aux membrures, éliminant ainsi le coût élevé du découpage et les pertes de temps".



Propriétaire: Oxford Development Group
Ingénieurs en structure: Read Jones Christoffersen Limited et Skidmore, Owings and Merrill
Fabricant de l'acier de construction: C.W. Carry Limited

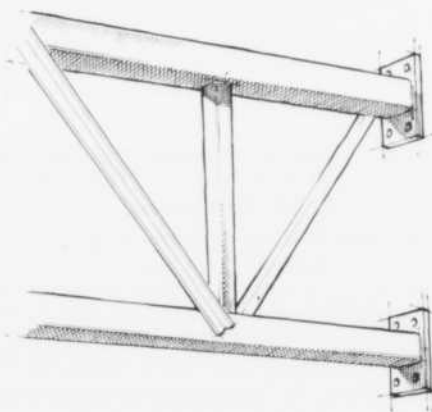
Disponibilité:

Hôpital Queen Elizabeth, Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard

M. Peter Sheffield, ingénieur, a étudié, à l'aide du système "STAFOD" (modèle optimisé pour construction avec fermes et charpentes en acier), récemment mis au point sur ordinateur, 58 modèles de charpente possibles pour la construction de cet hôpital à deux étages. Après évaluation du coût de chacun des modèles, son choix s'est arrêté sur des fermes à membrures en HSS. "Ce sont les HSS qui assureraient la plus grande économie car, à pouvoir porter équivalent, leur poids est inférieur à celui d'autres types de profilés. Par ailleurs, leur forme élancée, leur facilité d'assemblage et leur résistance au flambement par compression ont beaucoup compté dans le choix des HSS de catégorie H. La forme élancée des HSS permet l'installation de murs finis à parois plus minces sans l'encombrement qui caractérise les grosses colonnes. L'emploi des HSS dans cette réalisation s'est traduit par une diminution des frais de finition, puisqu'il n'a pas été nécessaire de couper le placoplâtre pour contourner les poteaux et que le peinturage s'en est trouvé simplifié d'autant. Pour bien des facteurs, notamment les charges dues à la neige, 53 types

de fermes ont été employés, l'emplacement de chacune étant commandé par son pouvoir porteur. "Il me semble que nous nous sommes servis de HSS de toutes les dimensions", a fait remarquer M. Sheffield, qui a collaboré étroitement avec la Stelco pour assurer la livraison des HSS nécessaires au projet.

Propriétaire: Le conseil d'administration de l'hôpital Queen Elizabeth
Ingénieurs en structure: Peter Sheffield and Associates Ltd.
Fabrication et érection de la charpente: York Steel, division de York Russel Inc.

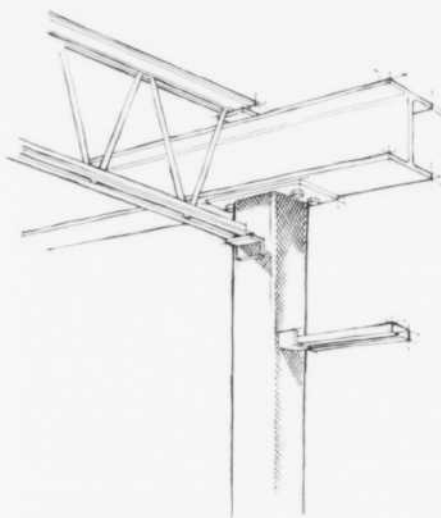


Économie:

Le centre commercial Tillsonburg, Tillsonburg, Ontario

L'unicité des centres commerciaux réside dans le fait que le plan des étages et la disposition des magasins changent régulièrement. Ainsi, le nombre de murs permanents doit demeurer au minimum; par le fait même, l'emploi de murs de cisaillement et de contreventements est réduit. C'est donc à la charpente que revient le rôle d'assurer la stabilité de l'ossature. Grâce au pouvoir porteur, sur deux axes des HSS, les concepteurs du centre commercial Tillsonburg ont pu réaliser un espacement maximal des poteaux en n'employant qu'une quantité réduite de contreventements. Les dépenses en matériaux et les frais d'installation ont pu ainsi être réduits considérablement. Selon M.

Construction de la Stelco: bonnes raisons



Roy Brown, directeur général, Unimade Industries, "les dimensions constantes des éléments en HSS, indépendamment de leur poids, permettent une plus grande facilité d'assemblage, d'ajustement, de fabrication et de livraison".

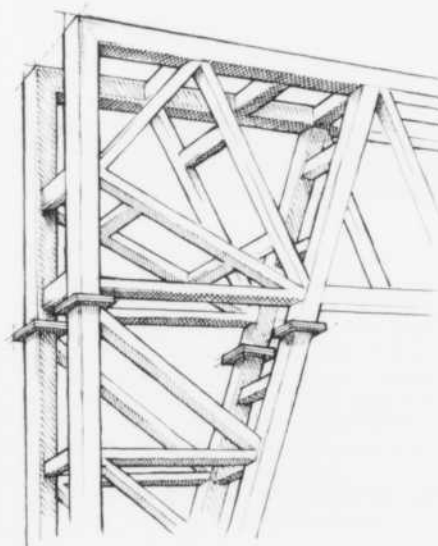
Propriétaire: Sifton Properties Ltd.
Ingénieurs en structure: Alex Tobias Associates Ltd.
Fabricant de l'acier de construction: Unimade Industries Limited

Performance:

Entrepôt des réservoirs de la Texasgulf Copper Refinery, Timmins, Ontario

Ce bâtiment devait offrir de vastes espaces exempts de poteaux afin de faciliter les opérations de traitement et l'entretien. Le bâtiment loge des réservoirs électrolytiques contenant une solution d'acide sulfurique à 20 p. cent. Ce sont des HSS de catégorie H qui constituent des fermes en arc à deux articulations supportant le toit et satisfaisant aux exigences de portée libre. Dans un article sur la conception et la réalisation de ce bâtiment, publié en août 1979 dans la revue "The Structural Engineer", les ingénieurs Victor Dunham et Rao Chalasani émettent les commentaires suivants: "Pour l'obtention d'un assemblage la fois économique et d'efficacité maximum, trois types de noeuds ont été retenus lors de la conception: le noeud à excentricité positive, le noeud à recouvre-

ment et le noeud réalisé avec des plaques raidisseuses. Non seulement les HSS assurent un assemblage plus rigide des fermes, mais ils possèdent également une plus grande résistance à la torsion. Ils présentent une surface à peindre réduite d'environ 33 p. cent et aucun recoin ni arête vive ne nuit à l'application de la peinture." Le choix des profils creux de catégorie H a entraîné l'utilisation d'un total de 1 815 t d'acier. Si on avait opté pour un autre type d'éléments de construction, la quantité d'acier utilisé aurait bien pu atteindre les 2 564 t. Selon M. Dunham, l'économie réalisée, une fois l'érection achevée, a été de l'ordre de 16 p. cent.



Propriétaire et direction du projet: Texasgulf Canada Ltd.
Fabricant de l'acier de construction: Dominion Bridge Company, Limited

Destinataire: Stelco Inc.
Dept. "A"
Tour Stelco
100, King Street West
Hamilton (Ontario)
L8N 9Z9

Veuillez me faire parvenir les brochures suivantes sur les HSS:

- Profils creux de construction: dimensions et propriétés des profils
- Manuel de calcul des poteaux en profils creux remplis de béton
- Protection contre le feu des profils creux de construction (HSS)

Nom _____

Fonction _____

Société _____

Adresse _____

Ville _____

Province _____

Code postal _____

8001/BA-F

stelco

Stelco Inc.
Société canadienne ayant usines et bureaux par tout le Canada et des représentants sur les principaux marchés du monde.

À compter de ce mois-ci, L'INGÉNIEUR comptera une nouvelle chronique intitulée L'ingénieur et... Cette chronique se propose de faire place à divers sujets ou commentaires qui touchent à la vie professionnelle ou sociale de l'ingénieur. L'INGÉNIEUR, sans prendre partie, veut ainsi permettre à ses lecteurs, ingénieurs ou non, d'exposer certains faits ou de présenter des opinions qui peuvent intéresser le monde de l'ingénierie.

Il y a des femmes qui ont défié la mentalité de leur époque en s'affirmant dans un domaine d'activité exclusivement réservé aux hommes. Parmi celles-là se retrouvent les premières diplômées en génie. Ces femmes ont eu à affronter un milieu alors hostile à une présence féminine (en tant qu'ingénieur); pour un même niveau de responsabilité, elles touchent souvent des salaires inférieurs à ceux de leurs confrères. Gabrielle Bodis, première diplômée de Polytechnique en 1959, fait face à son arrivée sur le marché du travail à des réticences qui entraînent de nombreuses limitations de son champ d'activités. À cette époque, les chantiers lui sont inaccessibles!

Vint ensuite la révolution du système scolaire du début des années 60 qui a permis aux femmes d'accéder plus facilement aux études universitaires, privilège jusqu'alors réservé principalement aux garçons. C'est à cette époque que commence une inscription plus importante des filles dans toutes les facultés, surtout celles orientées vers les sciences humaines. Parallèlement, quelques femmes se dirigent vers le génie. Une fois amorcé, ce mouvement est allé en s'accroissant. C'est ainsi que de 1965 à 1980, l'effectif féminin de l'O.I.Q. est passé de 0.2% (19 membres) à 1.5% (336 membres).

Cette croissance ne s'est pas effectuée sans heurts et celles qui ont été pionnières savent combien il a été difficile de vaincre les préjugés, tout d'abord ceux reliés à l'image stéréotypée qu'on attribuait à la polytechnicienne: parce qu'elle comprenait quelque chose aux sciences, parce qu'elle faisait preuve de détermination et de motivation, parce que sa première préoccupation n'était pas de suivre la mode, la polytechnicienne était considérée dans le milieu étudiant comme « un garçon manqué ». Une fois le diplôme en main, il a fallu affronter un employeur réticent à embaucher une femme ingénieur. Au début des années 70, même après 10 ans de présence sur le marché du travail, la femme ingénieur est encore mal perçue par la majorité des employeurs car elle remet en question un rôle traditionnellement attribué aux hommes.

À cette époque, la recherche d'un emploi s'avère difficile. La femme ingénieur

LA FEMME INGÉNIEUR

Pour inaugurer cette chronique, Mme Marie Bernard-Conolly, ing., associée professionnelle de recherche à l'École Polytechnique, nous livre quelques commentaires sur l'évolution de la si-

tuation de la femme ingénieur au Québec, à l'occasion de la récente parution du rapport de l'Ordre des Ingénieurs du Québec sur la question.

Il y a des femmes qui ont défié la mentalité de leur époque en s'affirmant dans un domaine d'activité exclusivement réservé aux hommes. Parmi celles-là se retrouvent les premières diplômées en génie. Ces femmes ont eu à affronter un milieu alors hostile à une présence féminine (en tant qu'ingénieur); pour un même niveau de responsabilité, elles touchent souvent des salaires inférieurs à ceux de leurs confrères. Gabrielle Bodis, première diplômée de Polytechnique en 1959, fait face à son arrivée sur le marché du travail à des réticences qui entraînent de nombreuses limitations de son champ d'activités. À cette époque, les chantiers lui sont inaccessibles!

Vint ensuite la révolution du système scolaire du début des années 60 qui a permis aux femmes d'accéder plus facilement aux études universitaires, privilège jusqu'alors réservé principalement aux garçons. C'est à cette époque que commence une inscription plus importante des filles dans toutes les facultés, surtout celles orientées vers les sciences humaines. Parallèlement, quelques femmes se dirigent vers le génie. Une fois amorcé, ce mouvement est allé en s'accroissant. C'est ainsi que de 1965 à 1980, l'effectif féminin de l'O.I.Q. est passé de 0.2% (19 membres) à 1.5% (336 membres).

Cette croissance ne s'est pas effectuée sans heurts et celles qui ont été pionnières savent combien il a été difficile de vaincre les préjugés, tout d'abord ceux reliés à l'image stéréotypée qu'on attribuait à la polytechnicienne: parce qu'elle comprenait quelque chose aux sciences, parce qu'elle faisait preuve de détermination et de motivation, parce que sa première préoccupation n'était pas de suivre la mode, la polytechnicienne était considérée dans le milieu étudiant comme « un garçon manqué ». Une fois le diplôme en main, il a fallu affronter un employeur réticent à embaucher une femme ingénieur. Au début des années 70, même après 10 ans de présence sur le marché du travail, la femme ingénieur est encore mal perçue par la majorité des employeurs car elle remet en question un rôle traditionnellement attribué aux hommes.

À cette époque, la recherche d'un emploi s'avère difficile. La femme ingénieur

doit non seulement faire valoir ses qualités professionnelles, mais elle se bute constamment à des attitudes négatives des employeurs qui doutent de sa stabilité, de sa disponibilité pour effectuer des déplacements ou du temps supplémentaire et de sa capacité à travailler sur un chantier. La priorité est alors accordée aux candidats masculins. Nombreuses sont celles pour qui les entrevues avec les employeurs se sont résumées à: « Je regrette, ce n'est pas la politique de notre compagnie d'embaucher des femmes ingénieurs dans nos usines ». « Avez-vous l'intention de travailler une fois votre cours d'ingénieur terminé? » « Pourquoi avoir choisi le génie mécanique? » La chimie, c'est plus acceptable pour une fille ». Et celle-ci plus délicate à poser « Vos jours féminins... ça vous incommodent beaucoup? » Une fois embauchées, certaines ont à vivre des relations personnelles difficiles avec des confrères qui supportent mal qu'une femme remplisse les mêmes fonctions qu'eux.

À la fin de la décennie 1970, la situation s'est améliorée de façon perceptible, mais elle n'est pas complètement normalisée. Même si la preuve est faite que la femme ingénieur vient sur le marché du travail pour y rester (voir l'ensemble des résultats publiés dans [1]) il demeure encore un certain scepticisme vis-à-vis sa stabilité, scepticisme qui ne se manifeste pas vis-à-vis les candidats masculins malgré que les jeunes ingénieurs en général changent souvent d'emploi.

Bien que certaines entreprises se dotent de programme d'action positive (exemple: Ministère de la Fonction Publique du Québec) afin d'assurer les mêmes possibilités aux hommes qu'aux femmes dans la sélection, l'avancement et le perfectionnement, la majorité des femmes ingénieurs pensent encore qu'il lui est plus difficile de se faire accepter comme professionnelle et que les employeurs préfèrent offrir à un homme plutôt qu'à une femme la possibilité d'accéder à des fonctions supérieures. Cependant, l'âge médian de l'ingénieur québécoise étant de 28 ans, il est difficile d'établir, d'après la situation actuelle, quel degré de confiance on lui accordera pour remplir les postes supérieurs.

Certains faits révélés par le récent sondage de l'O.I.Q. sur le rôle de la femme ingénieur au Québec [1], montrent comment, malgré une politique de petits pas, le milieu évolue et commence à tenir compte de la réalité des femmes ingénieurs. Ainsi, 3% seulement des femmes ingénieurs de plus de 30 ans œuvrent au chantier, comparativement à 15% chez celles ayant moins de 30 ans. De plus, celles de moins de 30 ans ressentent moins majoritairement que leurs confrères de 30 ans qu'il est difficile de se faire accepter comme professionnelle (69% vs 77%) ou d'obtenir une promotion (74% vs 83%). En ce qui concerne les promotions, il se peut que les plus de 30 ans soient plus réalistes, étant donné leur plus longue expérience professionnelle. Il est à noter que les pourcentages n'ont pas une rigueur absolue, étant donné le faible nombre de femmes ingénieurs. Cependant, ils permettent d'exprimer une tendance.

La situation ira certes en s'améliorant davantage car les femmes qui font actuellement leurs preuves permettront d'entraîner d'autres femmes qui pourront, peu à peu, modifier une mentalité qui attribue trop souvent à la nature féminine ou masculine des comportements quotidiens qui sont le résultat de choses apprises. Le chemin qu'ont tracé Micheline Bouchard, Denise Therrien-Bolulo et Danielle Waszczuk-Zaikoff, pour ne nommer que celles-là, aidera à démystifier la femme ingénieur et encouragera les jeunes filles à poursuivre la même voie, dans un domaine qui semblait inaccessible il y a 20 ans.

Cependant, même en 1981, la femme ingénieur doit demeurer consciente qu'elle porte, en plus d'une responsabilité individuelle, une grande responsabilité collective. Chacune se doit de réussir non seulement pour elle-même, mais également pour toutes celles qui suivront. Son comportement et son rendement peuvent influencer fortement la décision d'un employeur à poursuivre ou non l'embauche de femmes ingénieurs. Une mauvaise expérience ramène rapidement à la surface des préjugés qui ne sont pas enfouis très loin. C'est sans doute pour cette raison que 4 femmes ingénieurs sur 5 affirment devoir travailler mieux que leurs confrères pour réussir.

D'ailleurs, les commentaires recueillis lors du sondage de l'O.I.Q., illustrent, mieux que les statistiques froides, le vécu de certaines d'entre elles : « Il y a une différence entre la politique d'une compagnie et les individus qui la composent ; souvent sur le plan individuel, certains ont de la difficulté à reconnaître les capacités et talents d'une femme ». « Si j'avais été un homme, j'aurais fait du chantier pour les constructions importantes ». Ceci démontre que plusieurs comportements sexistes reliés à la profession persistent et qu'ils sont à éliminer.

L'O.I.Q. peut jouer un rôle important pour diminuer l'ampleur des problèmes auxquels ont à faire les femmes ingénieurs. Une des actions importantes, en plus de sensibiliser les employeurs, est de rejoindre les jeunes au niveau secondaire. Si l'information atteint les filles assez tôt dans les écoles, elles seront en mesure de mieux s'orienter et seront incitées à explorer davantage leurs possibilités et à se préparer à occuper une place intéressante sur le marché du travail. Et du même coup, tous les jeunes seront amenés à une réflexion critique sur le rôle des hommes et des femmes dans la collectivité aux plans tant social qu'économique.

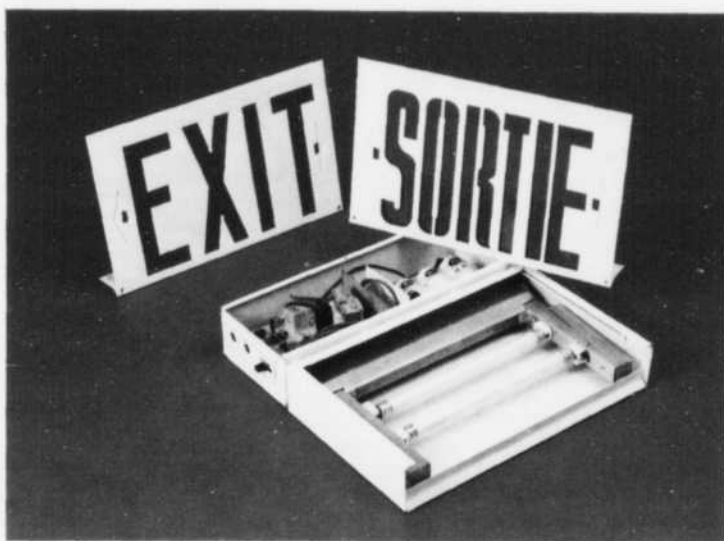
Le changement se fera d'autant plus rapidement si les parents prennent conscience de leur responsabilité à ce sujet. Ils sont des agents importants de changements sociaux par leur comportement et leurs interventions auprès de leurs enfants. Ainsi, une étude faite en 1980, auprès de 163 étudiantes en génie, par l'Ontario Institute for Studies in Education, démontre que ce sont surtout les mères qui laissent croire à leur fille qu'elles n'ont pas leur place dans les études scientifiques. Si les mères s'opposent, au début, c'est qu'elles croient que ces études sont trop difficiles pour leur fille et qu'elles peuvent éventuellement nuire à leur mariage. La majorité des étudiantes soulignent que leur père les avaient encouragées à poursuivre ce genre d'études.

Il est permis de penser que par leur travail quotidien et opiniâtre, les femmes ingénieurs réussiront à gagner la confiance du milieu dans lequel elles œuvrent. Il ne s'agit pas de vouloir devenir un homme, de voir, de penser comme un homme. Ce n'est ni possible, ni souhaitable. Il ne s'agit pour elles que d'occuper une place à laquelle elles ont droit. Douceur, sensibilité et féminité n'excluent pas rationalité et détermination. La présence des femmes dans le monde rigoureux de la technique ne peut que rendre celui-ci plus humain et favoriser, dans la société, des rapports plus égaux entre hommes et femmes.

Marie Bernard-Conolly



Fluorescent!



EMERGI-LITE de nouveau pionnier.

Un appareil d'avant-garde.

Une enseigne "Sortie" à tubes fluorescents.

Une économie:

- de consommation d'énergie - deux tubes de 6 watts chacun*
- de travail et de matériel - deux tubes de longue durée.

*Opère à 120, 277 ou 347 volts en C.A. et à 6, 12, 24 ou 32 volts en C.C.

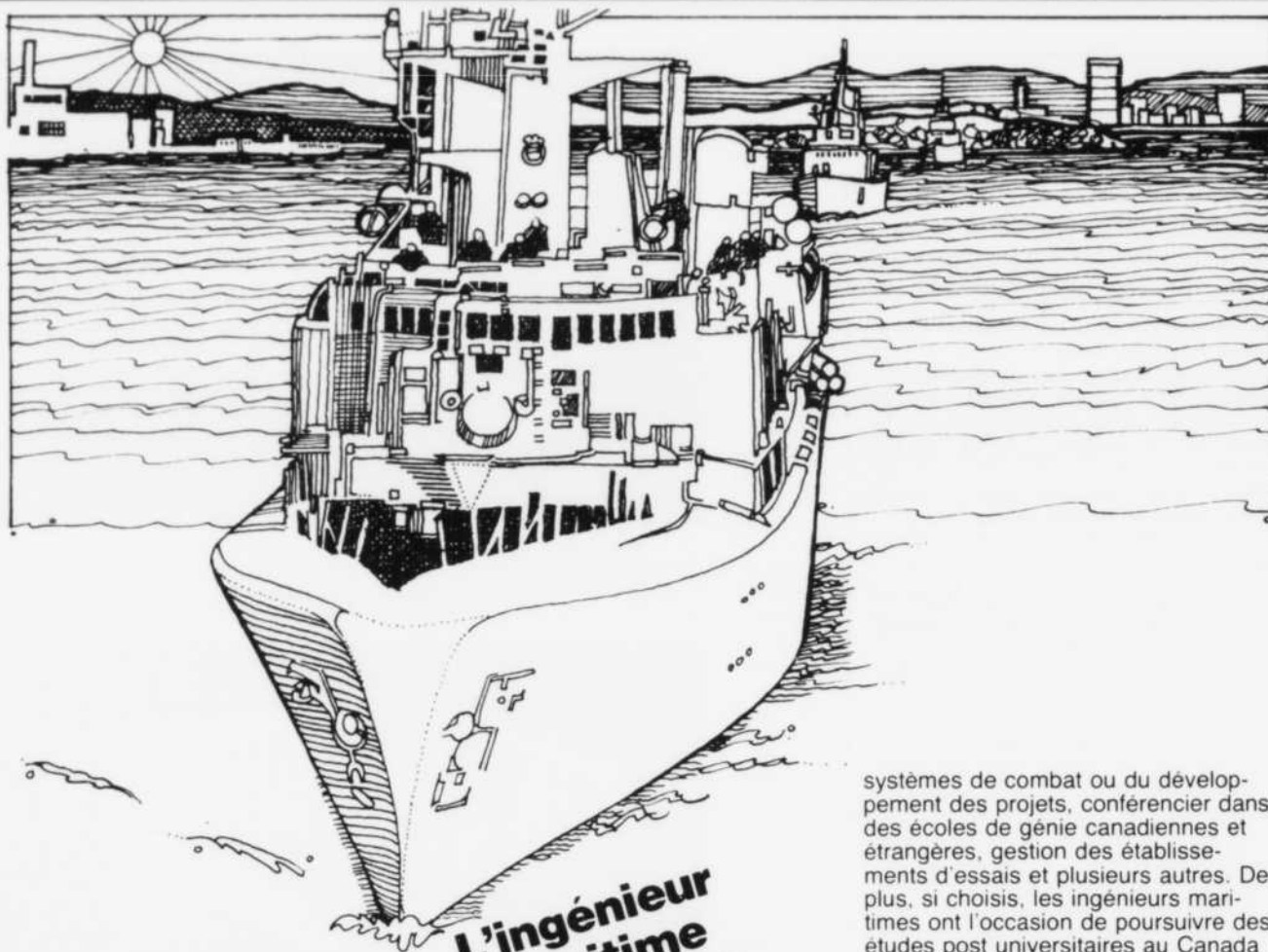
EMERGI-LITE

2800 De Miniac, St. Laurent, Québec H4S 1K9 (514) 332-5640

BUREAUX

St. John's, Nfld. Robinson Carruthers Ltd.
Dartmouth, N.S. Robinson Carruthers Ltd.
Saint John, N.B. Robinson Carruthers Ltd.
Quebec City P.E.G. Inc.
Ottawa J.P. Sales
Mississauga, Ont. Emergi-Lite Ontario
Hamilton, Ont. Medgar Sales Ltd.

North Bay, Ont. Quality Sales Agency
Winnipeg, Man. Mid-Can Technical Agencies
Saskatoon, Sask. Isted Technical Sales
Regina, Sask. Isted Technical Sales
Calgary, Alta. Jimal Agencies Ltd.
Edmonton, Alta. Jimal Agencies Ltd.
Vancouver, B.C. Graymar Services Ltd.



Vous pouvez vous forger une carrière intéressante dans la marine canadienne. Les Forces canadiennes sont présentement à la recherche de diplômés en génie, en science et en technologie du génie.

Les ingénieurs maritimes travaillent au Canada et outre-mer, sur terre et sur mer. Ils relèvent les défis technologiques du présent et de l'avenir. Eventail d'emplois tels que: officier de génie à bord d'un navire officier des

L'ingénieur maritime des Forces canadiennes vogue sur les mers du monde.

systèmes de combat ou du développement des projets, conférencier dans des écoles de génie canadiennes et étrangères, gestion des établissements d'essais et plusieurs autres. De plus, si choisis, les ingénieurs maritimes ont l'occasion de poursuivre des études post universitaires au Canada ou à l'étranger.

Le génie maritime est une carrière intéressante et captivante qui relève les défis du génie moderne et vous offre l'occasion de voyager, tout en servant votre pays.

Pour plus de renseignements, visitez le centre de recrutement le plus proche de chez vous, ou téléphonez à frais virés. Vous nous trouverez dans les pages jaunes, sous la rubrique Recrutement ou postez ce coupon.

IMBATTABLE...

la vie dans les Forces



**LES FORCES
ARMEES
CANADIENNES**

**AU: Directeur du Recrutement et de la Sélection,
Quartier général de la Défense nationale,
Ottawa, Ontario K1A 0K2**

Une carrière dans les Forces armées canadiennes m'intéresse, j'aimerais recevoir plus de renseignements à ce sujet.

Nom _____

Adresse _____

Téléphone _____

Université _____

Faculté _____

Spécialité _____

PT-JN0681

Offres d'emploi

Événements à venir

Tout ingénieur qui acceptera un des postes offerts dans cette liste est prié d'en avvertir le directeur général de l'Association des Diplômés de Polytechnique, Mme Yolande Gingras, téléphone : (514) 344-4764

Offres d'emploi

SHARRY, OUMET, GÉLINAS & ASSOCIÉS est à la recherche d'un

INGÉNIEUR EN MÉCANIQUE

pour effectuer la gérance de projets. Le candidat devra être diplômé en génie mécanique et avoir acquis de 5 à 10 ans d'expérience, préférentiellement comme ingénieur-conseil en mécanique du bâtiment.

Les personnes intéressées sont priées de soumettre leur candidature en s'adressant à : *Sharry, Oumet, Gélinas et A, a/s M. Michel Bellerose, 3400 ouest rue Jean-Talon, Montréal, Québec H3R 2E8. Tél : (514) 342-4042.*

La SOCIÉTÉ DE DÉVELOPPEMENT DE LA BAIE JAMES désire recruter un

RESPONSABLE DE LA DIVISION/ENTRETIEN ROUTIER

qui sera chargé de planifier, organiser et diriger les programmes d'entretien routier, de la préparation des documents d'appels d'offres jusqu'à l'administration des contrats accordés par la Société sur le territoire.

Le candidat devra être diplômé en génie civil et posséder au moins 5 années d'expérience en entretien routier. Lieu de travail : LG-2. Les personnes intéressées doivent faire parvenir leur curriculum vitae à : *SDBJ, Ressources humaines, 800 est de Maisonneuve, 11e étage, Montréal, Québec H2L 4M6.*

Une importante société qui fabrique et distribue à l'échelle du Canada des produits de base reliés aux travaux de génie civil, est à la recherche d'un

CONSEILLER TECHNICO-COMMERCIAL

afin de promouvoir la vente des différents produits de base reliés à l'industrie du béton et de la construction. Relevant directement du



GÉNIE — PRODUCTION

DIRECTEUR DES OPÉRATIONS

\$50,000 +

Le directeur des opérations sera responsable de toutes les activités reliées à la fabrication et développement de la division de produits chimiques industriels. Le candidat recherché doit posséder un minimum de 10 années d'expérience dans tous les aspects de manufacture de produits métallurgiques, chimiques ou pétrochimiques, il devra posséder une bonne connaissance des fours électriques. Il sera membre de l'ordre des ingénieurs, bilingue.

INGÉNIEUR EN CHEF

\$38,000 — \$40,000

Notre client, une des plus importantes sociétés manufacturières de produits de pâtes et papier, recherche un ingénieur pour diriger leur département des projets. Le candidat sera responsable d'une équipe d'ingénieurs, techniciens et dessinateurs. Le titulaire idéal aura un minimum de 5 ans d'expérience dans la direction du personnel.

INGÉNIEUR — MÉTALLURGIE

\$37,000 \$40,000

Notre client, reconnu dans son domaine, recherche un ingénieur pour être responsable du département de maintenance. Le candidat idéal possèdera un minimum de 8 années d'expérience dans le domaine manufacturier de produits métallurgiques ou chimiques.

DIRECTEUR D'USINE

\$33,000 — \$38,000 + auto

Notre client, au premier rang mondial en son domaine, recherche présentement les services d'un individu dynamique pour diriger ses opérations. Le directeur d'usine est responsable de 100 employés d'atelier et 7 contremaitres.

Le candidat possèdera une expérience de 8 années et plus dans la maintenance ou fabrication de pompes, soupapes, réducteur de vitesse ou équipements de manutention.

DIRECTEURS DU GÉNIE D'USINE

(Cantons de L'Est)

\$30,000 — \$40,000

Le directeur du génie dirige une équipe de personnes responsables de l'installation, de l'entretien et de la réparation de la machinerie. Le candidat sera un ingénieur en possédant une expérience pratique en génie d'usine.

INGÉNIEUR MÉCANIQUE/CIVIL

\$30,000 — \$35,000

(Lac St-Jean)

Chargé des projets, le candidat sera responsable des aspects techniques et administratifs des dossiers. Le titulaire recherché possède une expérience en aménagement de terrain, environnement ou en génie municipal.

INGÉNIEUR DE PROCÉDÉ

\$29,000 — \$38,000

Ingénieur chimique ou ingénieur de procédé possédant un minimum de trois ans d'expérience dans le développement de procédé pour l'industrie de pâtes et papiers ou chimique.

INGÉNIEUR D'USINE

\$24,000 — \$38,000

Ingénieur mécanique, sera responsable du développement de l'évaluation et de l'implantation de tout projet. Qualifications : 1 année et plus d'expérience de projet, membre de l'ordre des ingénieurs.

INGÉNIEUR ÉLECTRICITÉ

\$27,000 — \$33,000

Notre client recherche un ingénieur en génie électrique pour diriger tout projet à l'intérieur de leurs 4 usines. Le candidat idéal doit posséder une expérience dans tout les aspects de gérance de projets, être bilingue et membre de l'ordre des ingénieurs.

DESSINATEUR MÉCANIQUE

\$24,000 — \$30,000

Candidat sera responsable de la conception et développement d'équipements électro-mécaniques. Exigences : posséder 4 ans et plus d'expérience en dessin et conception.

Pour une entrevue confidentielle, communiquez avec Yvan Michon

ST-AMOUR et ASSOCIÉS LTÉE

Spécialistes en recrutement de personnel

666 ouest, rue Sherbrooke, Montréal, Québec - 288-7400

288-7400

Offres d'emploi (suite)

vice-président de la compagnie, le conseiller assure l'assistance technique requise par la clientèle et conseille les ingénieurs et gérants de projets quant au choix des produits à utiliser.

Le candidat devra être diplômé en génie civil et avoir acquis une ou plusieurs années d'expérience dans la vente industrielle ou technique. Le salaire est d'environ 25 000 \$ plus une automobile.

Les personnes désireuses de poser leur candidature sont priées de faire parvenir leur curriculum vitae, ou de communiquer en prenant bien soin de mentionner le numéro de dossier **AB-207**, à :

M. Jacques Denis et Associés, a/s M. Luc Palardy, M.B.A., conseiller en ressources humaines, 1110 ouest rue Sherbrooke, bureau 604, Montréal, Québec H3A 1G8. Tél: (514) 282-9008.

NOMINATION À CANATOM



Dr. Réal J.V. L'Archevêque

Au nom du conseil d'administration de Canatom Inc., M. Frank M. Foulkes, Président du Conseil, a le plaisir d'annoncer la nomination de M. Réal J.V. L'Archevêque au poste de Président, à compter du 1er mai 1981.

Après des études en génie électrique à l'École Polytechnique de Montréal en 1960, M. L'Archevêque se vit décerner une bourse Athlone du gouvernement britannique pour la poursuite de ses études au Collège Impérial de Londres où il obtint un Ph. D. en 1964. Il a ensuite entrepris une brillante carrière aux laboratoires de l'Énergie atomique du Canada à Chalk River où il a dirigé la recherche en électronique, instrumentation et systèmes pendant plusieurs années.

À l'emploi de Canatom depuis 1977, M. L'Archevêque était, avant la présente nomination, Vice-président et directeur, Planification et développement.

Canatom Inc., la plus grande société canadienne privée de consultants, offre des services d'ingénierie et de gestion dans le domaine nucléaire. Elle oeuvre actuellement au Québec, au Nouveau-Brunswick et en Ontario ainsi qu'en Argentine, Corée et Roumanie.

INSPEC-SOL INC.

Études de fondation
Contrôle de compaction
Géologie de l'ingénieur

Essais sur les matériaux
Laboratoire de sols
Contrôle de vibrations



MONTREAL, QUÉ
5762 Ave Royalmount
Tél: 514-731-7316

KINGSTON, ONT
745 Burnett St
Tel: 613-389-9812

*Un outil
indispensable*

**RÉPERTOIRE DES PRODUITS
FABRIQUÉS AU QUÉBEC
1981**



CRIO

**8140 MANUFACTURIERS
4400 PRODUITS
QUÉBÉCOIS**

BON DE COMMANDE

Quantité	Description	Prix unitaire	Total
	Répertoire des produits fabriqués au Québec 1981	30 \$*	

Nom: _____

Entreprise: _____

Adresse: _____

Code postal: _____

S.V.P. payable à l'avance par
chèque ou mandat au nom du
Centre de recherche industrielle
du Québec
* Pour une commande de 10
exemplaires ou plus, prix unitaire: 20 \$

Poster à
Centre de recherche industrielle du Québec
Banque d'information industrielle
333 Franquet
Case postale 9038
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

ÉNERGIE À LOUER

SOURCES MOBILES
D'ÉNERGIE PRIMAIRE ET DE
SECOURS HEWITT



Pour vous éviter d'avoir à investir des sommes importantes dans l'achat de groupes électrogènes mobiles, Hewitt vous propose son plan de location. Mines, industries, aéroports, municipalités profitent déjà de ce plan qui met à votre disposition des groupes produisant de 12kw à 930kw.

Qui plus est, vous profitez également de la qualité exceptionnelle du service d'entretien et de réparation

Hewitt

 CATERPILLAR

Caterpillar, Cat et  sont des marques déposées de Caterpillar Tractor Co.

HEWITT EQUIPEMENT LIMITÉE
Montréal, Québec, Chicoutimi, Sept Îles,
Val d'Or, Hull, Baie James

La Compagnie Minière Québec Cartier exploite une mine à ciel ouvert et un concentrateur d'une capacité annuelle de 18 millions de tonnes à Mont Wright. Un chemin de fer de plus de 400km et des installations portuaires à Port-Cartier. De plus, elle gère les installations minières de Sidbec-Normines Inc. à Lac Fire et à Gagnon.

SURINTENDANT — CONCASSEUR MONT-WRIGHT, QUÉBEC

Nous sommes à la recherche d'un surintendant de concasseur dont les responsabilités seront de coordonner et surveiller un (1) contremaître général, six (6) contremaîtres et environ cinquante (50) travailleurs reliés aux activités de la production, la réparation, la planification et l'installation de l'équipement de production. Il relève du surintendant divisionnaire du concentrateur.

Le plan a une capacité totale de 45,000,000 de tonnes de minerai de fer brut annuellement.

Le candidat devra posséder une expérience relative à ce genre de travail et de préférence posséder un diplôme universitaire.

En plus d'un revenu attrayant, ce poste est accompagné d'une gamme de bénéfices sociaux intéressants.

Les candidats intéressés peuvent faire parvenir leur curriculum vitæ au :

CHEF DE LA SECTION DE L'EMPLOI
LA COMPAGNIE MINIÈRE QUÉBEC CARTIER
PORT-CARTIER, QUÉBEC
G5B 2H3

Numéro de téléphone : (418) 768-2269



LA COMPAGNIE MINIÈRE QUÉBEC CARTIER

Où l'avenir c'est aujourd'hui!



TEXEL... le meilleur sous-vêtement souterrain

TEXEL est un géotextile aiguilleté fabriqué de polyester à 100%. On l'utilise pour la construction de routes et voies d'accès, de chemins de fer, de travaux hydrauliques et pour la fondation d'édifices.

Le géotextile TEXEL assume plusieurs fonctions. D'abord, c'est un filtre; sa texture lui permet de retenir les fines particules et de laisser passer l'eau par la normale à son plan.

TEXEL, c'est aussi un drain parce qu'il favorise la collecte des eaux. Sa structure lui confère une perméabilité dans le sens normal et radial toujours supérieur au sol environnant.

TEXEL agit adéquatement comme couche séparatrice. Il empêche deux couches de se contaminer.

TEXEL agit comme armature car il améliore la capacité portante d'un sol. Son pourcentage d'élongation élevé et sa résistance à la traction le protègent contre la rupture lors de contraintes importantes.

Pour tout renseignement, composez sans frais 1-800-463-8866.

Texel

485, des Érables, St-Elzéar, Beauce-Nord
P.Q., Canada G0S 2J0 418-387-5910



Autres utilisations: stationnements, berges, jardins, lignes de transmission, piscines, digues et toitures inversées.

Événements à venir

CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES PERFORMANCES DES SYSTÈMES DE TRANSMISSION DE DONNÉES ET LEURS APPLI- CATIONS

La date : du 14 au 16 septembre 1981

L'endroit : Paris, France

Le but de cette conférence est de permettre aux spécialistes du domaine de présenter l'état de leurs recherches et réalisations et d'échanger leurs points de vue sur les difficultés rencontrées, les perspectives de développement des systèmes de transmission de données et leur implication sur les systèmes de traitement de l'information.

Pour plus de renseignements, communiquez avec :

INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique)
Service des relations extérieures
Domaine de Voluceau — B.P. 105
78150 Le Chesnay, France
Tél : 954 90 20, poste 600

SECOND INTERNATIONAL SYM- POSIUM ON WAVE AND TIDAL ENERGY

La date : du 23 au 25 septembre 1981.

L'endroit : Cambridge, Angleterre.

Pour plus de détails, communiquez avec :
Symposium Organiser, 2nd Wave & Tidal
Energy, BHRA Fluid Engineering, Chanfield,
Bedford MK43 0AJ. Tél : (0234) 750422.

ap.

33e TOURNOI DE GOLF ANNUEL

Club de golf Lachute

le vendredi 7 août 1981



Le programme et la formule d'inscription parviendront bientôt aux membres en règle de l'Association des Diplômés de Polytechnique

Richard Proteau, Poly'72
Responsable

REPRÉSENTANT (Homme ou Femme)

Du Pont Canada Inc. est à la recherche d'un représentant expérimenté pour son groupe des explosifs des Opérations du Québec.

Le candidat choisi sera chargé de la vente d'explosifs et du service technique dans un territoire relevant du bureau de Montréal. Le candidat devra être prêt à se déplacer au besoin étant donné que son territoire s'étendra à la rive nord et au nord du Québec.

Le candidat devrait de préférence être bilingue et être diplômé en génie minier, civil ou géologique et pouvoir travailler de façon autonome.

Du Pont offre une gamme complète d'avantages sociaux. Voiture fournie par la compagnie.

Envoyez une demande d'emploi décrivant brièvement la formation, l'expérience et les exigences salariales à l'adresse suivante. Discrétion assurée.

Directeur du recrutement
Du Pont Canada Inc.
C.P. 2000, Succursale de Streetsville
Mississauga, Ontario
L5M 2H3

DU PONT CANADA



GÉOPHYSIQUE G.P.R. INTERNATIONAL INC.

EXPÉRIENCE MONDIALE EN GÉOPHYSIQUE

- Reconnaissance et évaluation des sites
- Géologie de l'ingénieur et mécanique du roc
- Planification des sautages et contrôle de vibrations
- Étude pour des ouvrages anti-tremblement de terre
- Environnement et hydrogéologie
- Levés géophysiques marins
- Géophysique aéroportée
- Exploration minière et pétrolière

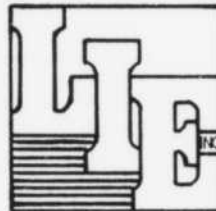
894 RUE FRONT, LONGUEUIL, P.Q., CANADA J4K 1Z7 (514) 679-2400 — TELEX 055 60495
VANCOUVER — CALGARY — MONTREAL — VAL D'OR — ST-JEAN, T.N.

Répertoire des annonceurs

2,3	Aciers Algoma Ltée	38	Gouvernement du Canada – Défense nationale
IV	ASEA Industries Ltée	33	Le Groupe Conseil S.M. Inc.
6	Association canadienne de ciment Portland	44	Le Groupe Dessau
		41	Hewitt Equipement Ltée
24	Bechtel Canada	40	Inspec-Sol Inc.
24	Bois Rond Laurentien	III	Jenkins Canada Inc.
13	Bouthillette, Parizeau et Associés		
40	Canatom	44	Laboratoire d'Inspection et d'Essais Inc.
40	Centre de Recherche Industrielle du Québec	33	Lavalin
23	Compagnie Nationale de Forage et Sondage Inc.	44	Les Laboratoires Bétonsol
22	Coopérative étudiante de Polytechnique	14	Ligue de l'Electricité du Québec
41	Compagnie minière Québec Cartier	23	Lupien, Rosenberg, Journeaux et Associés
23	Diamants d'investissement et Manufacturiers (Canada) Ltée	II	Miron Ltée
43	Du Pont Canada Inc.	23	Mon-ter-val Inc.
		44	La Rapière, restaurant
37	Energi-Lite		
6	Equipements de contrôle Davis	39	Saint-Amour et Associés Ltée
		25	Société pour l'Expansion des Exportations
26	Flygt Canada	34,35	Stelco Inc.
43	Géophysique G.P.R. International Inc.	23	Technisol Inc.
		42	Texel Inc.

LABORATOIRE D'INSPECTION & D'ESSAIS INC.

Géotechnique / Contrôle Qualitatif
SONDAGES - ÉTUDES / SOLS - BÉTON - ASPHALTE - ACIER



6775, rue Bombardier
C.P. 310, Succ. St-Michel
Montréal H1P 2W2
Tél.: (514) 326-0130

3380, boul. Hamel
C.P. 9220, Succ. Ste-Foy
Ste-Foy G1V 4B1
Tél.: (418) 872-3381



Les Laboratoires **BETONSOL**

1955 Monterey, Laval 334-1177
150 Adrien Robert, Hull, 778-3143

La Rapière

RESTAURANT FRANÇAIS
spécialités pyrénéennes

le confit d'oie, le cassoulet,
le jambon de Bayonne.

Table d'hôte lundi au vendredi:
(midi à 23h30) Fermé le dimanche:

Réservations: 844-8920
1490 rue Stanley,
(métro Peel, sortie Stanley)

DESSAU

Le Groupe Dessau: des entreprises mettant en commun les connaissances et l'expérience d'un nombre important d'ingénieurs, mathématiciens, économistes, urbanistes, agronomes, analystes, oeuvrant ici et à l'étranger. Le Groupe Dessau, c'est une association multidisciplinaire au service de la communauté.

Desjardins, Sauriol & Associés Ltée
Les Laboratoires Ville Marie Inc.
Les Consultants Dessau Inc.
Dessau et Associés
Dessau International Ltée/Ltd
Dessau Engineering Consultants Ltd.
Dessau Construction Ltée
Soleco Consultants Inc.
Qualitech Consultants Ltée

Les Laboratoires Industriels du Nord Inc.
Jacques Chagnon et Associés Inc.
Dessau Environnement Ltée

SIEGE SOCIAL
1200 ouest, boul. St-Martin
Laval, Québec H7S 2E4
tél: (514) 384-5660
télex: 05-268873
Câble: DESSAU LAV

Cette valve si précieuse, vous l'aurez sur demande, n'importe quand.

Le distributeur Jenkins de votre localité mettra à votre service les valves Jenkins dont vous aurez besoin.

Chacun des distributeurs de ce réseau national possède un stock de valves monté d'après sa longue expérience, ses observations personnelles et les demandes de sa propre région.

Il y va de la bonne marche de vos affaires de faire appel aux facilités d'achats et d'entreposage Jenkins. Chaque valve, chaque pièce d'équipement connexe que vous achetez d'un de ces distributeurs, libère votre comptant et vous permet d'économiser les coûts et la main-d'oeuvre de l'entreposage. Et si l'on considère les taux d'intérêt actuels, cette économie est vraiment appréciable. Alors, profitez pleinement de ce service que vous offre votre distributeur Jenkins. Vous n'avez qu'à en faire la demande, n'importe quand. Jenkins Canada Inc., Lachine, Qué.

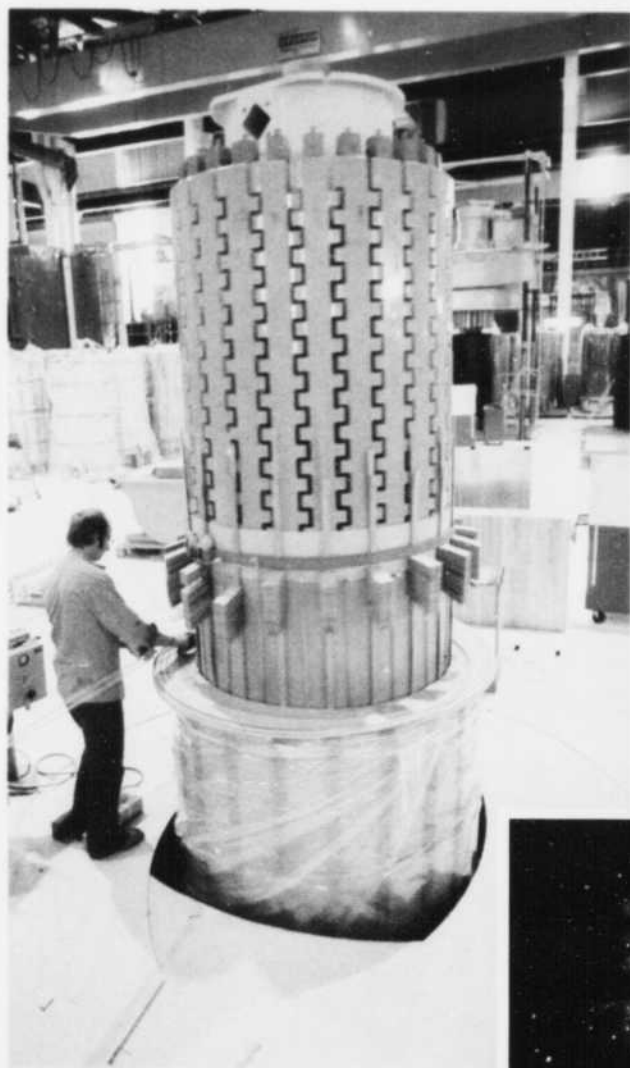


JENKINS

Le spécialiste en robinets

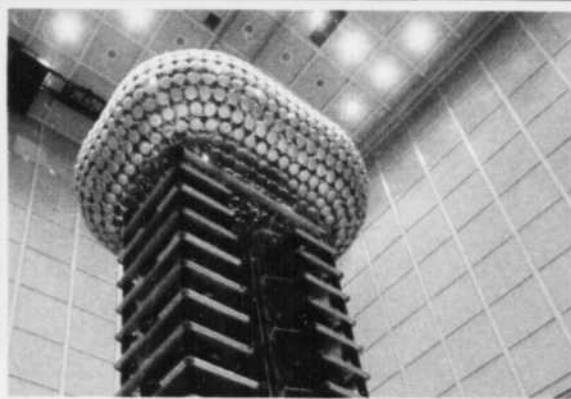


l'électricité au service de l'homme



Notre objectif premier est de répondre à un besoin pour des transformateurs de puissance et inductances shunt à la fine pointe de la technologie, de dimensions réduites et d'une fiabilité remarquable.

Nous sommes les premiers en Amérique du nord à produire des transformateurs de puissance, triphasés à 735 K V.



ASEA

ASEA Industries Ltée — 1600 Montée Ste-Julie, Varennes, Québec, Canada J0L 2P0
ASEA Limitée — 10300 ouest, Henri Bourassa, St-Laurent, Québec, Canada H4S 1N6
Bureaux de vente: Toronto, Winnipeg, Calgary, Vancouver