

F.G. Une grande partie de votre activité professionnelle a été consacrée aux recherches sur le bois, pourriez-vous nous la décrire brièvement ?

B.T. Oui. J'ai commencé en 1973 au C.T.F.T. où, paradoxalement, j'ai été embauché pour des travaux d'inventaire de la forêt française. Le C.T.F.T. menait en effet, à cette époque-là, une vaste opération d'inventaire forestier en France, pour le compte de l'Association Forêt-Cellulose. J'ai ensuite été associé à des réflexions menées par le C.T.F.T., à partir de ses données d'inventaires sur l'écologie forestière et sur la diversité des forêts tropicales. Ces premiers travaux sur la forêt prise dans sa globalité m'ont été très utiles, par la suite, pour comprendre dans quel ensemble très divers devaient être placées les recherches que nous menions sur les bois.

J'ai ensuite eu la chance, toujours au C.T.F.T., de travailler avec A. CHARDIN sur les contraintes de croissance à partir de 1975, première occasion pour moi d'une approche des sciences du bois et des problèmes mécaniques. Puis, à l'occasion de recherches (1976) sur les fissurations lors du déroulage en fonction des essences et des réglages de machine, j'ai eu à appréhender les problèmes tels que pouvaient les poser les industriels du bois.

Ces recherches ont ensuite été développées à l'université de Montpellier où j'ai pu, à partir de 1978, poursuivre l'étude du processus de coupe et de ses conséquences non seulement sur la fissuration mais aussi sur d'autres phénomènes comme les variations d'épaisseur. Pour cela, il était nécessaire d'aborder des connaissances de base, notamment sur le comportement mécanique des multicouches cellulaires et sur le comportement thermique des polymères constitutifs de la paroi des fibres.

ENTRETIEN AVEC B. THIBAUT SUR LES SCIENCES DU BOIS



BERNARD THIBAUT
Directeur des recherches au
C.N.R.S. Laboratoire de mécanique et Génie Civil de
l'Université de Montpellier II
(URA 1214 du C.N.R.S.).

« LES QUESTIONS NE DOIVENT PAS VENIR SEULEMENT DES PROFESSIONNELS MAIS AUSSI DES FORESTIERS. »

Ainsi, les recherches sur le bois sont stimulées par des questions que nous posent les industriels utilisateurs ou les forestiers producteurs, et peuvent, après un détour par l'étude de phénomènes de base, aboutir à des réponses qui dépassent le cadre de la question posée concernant non seulement les utilisateurs, mais aussi les producteurs, une part importante des propriétés des bois étant liée aux conditions de croissance de l'arbre.

Quelles sont les grandes questions posées actuellement par l'industrie du bois ?

La préoccupation permanente des industriels est d'augmenter le rendement matière et de valoriser au mieux les produits secondaires et de petit diamètre. Pour cela, il est nécessaire d'améliorer les conditions d'usage, la détection des défauts et les techniques de découpe, mais aussi de mettre au point de nouvelles techniques de reconstitution, en fabriquant des produits composites qui posent eux-mêmes de nouveaux problèmes, notamment de durabilité.

**L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES INDUSTRIELLES
POSE DE NOUVELLES
QUESTIONS SCIENTIFIQUES**

De façon plus analytique, on peut citer :

- la stabilisation dimensionnelle du bois et des produits en bois tels que les contre-plaqués et les bois massifs reconstitués,
- la durabilité dans la masse mais aussi en surface,
- la mise au point de matériaux composites. On assiste à une régression des contre-plaqués et des panneaux de particules traditionnels et à une évolution vers des pro-

duits d'un coût moindre ou ayant de meilleures propriétés mécaniques (panneaux MDF de fibres de moyenne densité, panneaux OSB de particules orientées, ou de particules longues, ou panneaux composites). Les progrès des techniques de collage ont favorisé l'évolution vers la fabrication de matériaux plus élaborés et plus proches du produit fini prêt à être mis en œuvre.

Comment cette évolution et ces questions se traduisent-elles en termes de recherche ?

Pour progresser dans la conception de matériaux ou de produits composites, des connaissances nouvelles sont nécessaires notamment sur les propriétés physiques et mécaniques des bois et sur leur variation en fonction de l'humidité. La durabilité du produit est en effet liée à l'évolution de ces propriétés dans des conditions d'humidité variable.

ANALYSER LA STRUCTURE DU BOIS

La compréhension des propriétés physiques et mécaniques passe par une meilleure connaissance des structures, qui conditionnent ces propriétés. Le bois est d'une extraordinaire complexité qui fait aussi son intérêt : il a une structure poreuse de type nid d'abeille, dont les parois sont des multicouches de composites à fibres, incluses dans une matrice elle-même complexe, composée de deux grandes familles de polymères : les polysaccharides (hémicelluloses) et les polyphénols (lignines). Les recherches portent sur la disposition des cellules, sur l'architecture des parois et des macromolécules, c'est-à-dire sur leur nature et leur distribution dans l'espace et donc sur les liaisons et les fonctions libres existantes. Ces connaissances ouvrent la voie à de nouvelles techniques de mise en œuvre, par exemple la fa-

brication de composites assemblés sans colle, par pontage moléculaire (techniques de « greffage » ou de « soudure » à l'aide d'un catalyseur), ou l'utilisation de modifications chimiques en surface ou dans la masse pour augmenter considérablement la stabilité dimensionnelle du bois.

Par ailleurs, l'étude de la cohésion mécanique du bois vert, c'est-à-dire de la résistance mécanique transversale, montre que la séparation se fait au niveau de la lamelle mitoyenne entre les fibres. La résistance de cette lamelle apparaît sous la dépendance du génotype et de la nutrition. Les recherches se poursuivent pour mieux comprendre le déterminisme de cette résistance, notamment sur le châtaignier (problème de la roulure) et le peuplier (fentes à l'abattage).

DURABILITÉ : DES ACQUIS À RECONSIDÉRER

La durabilité des surfaces est assurée actuellement par l'application de lasures. Pour aller plus loin, et notamment pour conserver l'aspect naturel du bois, il est nécessaire de comprendre les mécanismes d'altération des surfaces (oxydation, effet du rayonnement ultra-violet, etc.). La protection par greffage de molécules sur les polymères de surface, technique déjà expérimentée sur d'autres matériaux, est une des solutions à envisager. La durabilité de l'aspect n'a pas d'effet sur la durée de l'ouvrage lui-même, mais c'est un élément important du confort de l'utilisateur et elle contribue à la compétitivité du bois par rapport à d'autres matériaux.

La durabilité dans la masse, c'est-à-dire la protection contre les altérations biologiques (insectes, champignons, etc.) était résolue de façon satisfaisante d'un strict point de vue de la durabilité, mais à l'aide de

produits qui posent des problèmes d'ordre environnemental. Il est maintenant nécessaire d'étudier de nouvelles molécules dans des solvants aqueux, ce qui pose des problèmes de fixation.

Cela conduit à un renouveau d'intérêt pour la durabilité naturelle des bois :

- compréhension des mécanismes de cette durabilité, études physico-chimiques ;
- relance de l'étude d'espèces, notamment tropicales, présentant une bonne durabilité naturelle mais qui étaient négligées jusqu'à présent pour diverses raisons, l'une d'elles étant que ces essences n'atteignaient pas de gros diamètres.

Quels sont les besoins de recherche concernant plus spécialement les bois tropicaux ?

Ils sont différents selon qu'il s'agit des bois issus de forêt naturelle ou de plantation.

BOIS TROPICAUX : MIEUX CONNAÎTRE ET VALORISER LEUR DIVERSITÉ

Les forêts naturelles contiennent une grande diversité d'espèces, dont les bois sont insuffisamment connus et pourraient être mieux utilisés. Il est donc d'abord nécessaire de compléter nos bases de données sur leurs propriétés et d'ajouter aux caractères étudiés traditionnellement des caractères complémentaires demandés par les concepteurs de matériaux, comme les paramètres de fluage, la propagation des fissures, la mesure objective de la couleur par spectrocrométrie...

Par ailleurs, l'utilisation des espèces en mélange pose des problèmes spécifiques : quels mélanges sont acceptables pour fabriquer un pro-

duit donné, selon quels critères trier les espèces ? La densité est un critère facile d'accès, mais insuffisant. Le retrait est plus discriminant pour certains emplois.

L'homogénéisation des lots, par exemple en réduisant globalement les variations dimensionnelles liées au retrait, est l'objet de recherches actives, notamment au Japon ; elle est appelée à un fort développement. Il s'agit de dépasser la connaissance empirique pour comprendre les phénomènes, les modéliser et aboutir à des produits composites multispécifiques fiables.

PLANTATIONS TROPICALES : LES BOIS D'ŒUVRE À CROISSANCE RAPIDE

On peut s'interroger sur l'opportunité de faire des recherches sur l'utilisation comme bois d'œuvre d'espèces à croissance rapide plantées pour la production de pâte à papier. En fait, l'expérience montre que les plantations faites pour la pâte sont aussi utilisées pour la production de bois d'œuvre en raison de la forte demande et des progrès techniques qui permettent une bonne valorisation à partir de 25 cm de diamètre. Ce fut le cas avec le Pin maritime des Landes, planté pour la production de résine et la fabrication de pâte à papier et de plus en plus utilisé comme bois d'œuvre, ou à Madagascar avec les Pins de la Fanalanga plantés pour une usine de pâte jamais construite et utilisés comme bois d'œuvre. Les eucalyptus sont aussi utilisés comme bois d'œuvre dans l'Ouest-Cameroun et en Australie. C'est là que furent menées les premières recherches sur les contraintes de croissance et mises au point des méthodes de sciage qui, en éliminant d'abord la périphérie (débit des dosses en retournant la grume), libèrent les contraintes à l'intérieur et permettent

une bonne valorisation de la partie centrale du fût.

Il est clair que l'utilisation de l'eucalyptus comme bois d'œuvre se développera dans l'avenir et que l'on doit anticiper ce développement industriel par des recherches sur la valorisation des clones actuels mais aussi sur la sélection de clones plus aptes à des usages multiples.

Combinaison de l'utilisation du produit des plantations comme bois de trituration et comme bois d'œuvre conduit à une meilleure économie de la filière. Le bois d'œuvre contribue, en effet, à une meilleure rentabilité des investissements, et l'utilisation pour la production de pâte ou d'énergie permet de valoriser l'ensemble de la production.

Réciproquement, il est de bonne économie que les produits de plantations faites pour la production de bois d'œuvre (teck, framiré, gmelina, etc.) contribuent aussi à approvisionner d'autres filières.

La création de plantations et leur conduite jusqu'à maturité demande un investissement important qui est consenti dans une perspective de production. Pour valoriser au mieux les bois produits, il est nécessaire de bien connaître les relations entre pratiques sylvicoles et qualité finale des arbres et du bois récoltés, notamment pour deux caractéristiques particulièrement développées dans les bois de plantation : le bois juvénile et le bois de réaction.

- Le bois juvénile est plus abondant dans des arbres ayant eu une croissance initiale rapide et qui sont récoltés jeunes. Les caractéristiques mécaniques de ces bois sont différentes de celles du bois adulte, mais c'est surtout leur gradient dans le bois juvénile qui pose un problème. Il est important de mieux connaître les propriétés du bois juvénile et l'effet des conditions de croissance (branchaison, élagage) sur sa nature et sur son extension.

- L'apparition de bois de réaction et de contraintes de croissance élevées est plus développée dans des arbres plantés à un grand écartement et qui sont, davantage qu'en forêt naturelle, exposés au vent ou à d'autres variations de leur environnement immédiat.

L'EFFET DES RACINES SUR LA QUALITÉ DU BOIS

En outre, les sélections sont faites selon des critères qui privilégient la partie aérienne en négligeant le système racinaire. Cela peut conduire à des situations dans lesquelles, avec un système racinaire insuffisant, l'arbre exposé au vent est davantage conduit à produire du bois de réaction. Une meilleure compréhension du système d'ancrage des arbres est nécessaire. L'hypothèse de l'arbre encastré avec une base fixe n'est pas suffisante. Il faut admettre une possibilité de petits déplacements de la base qui améliore l'absorption d'énergie et la résistance au vent. Les recherches se développent actuellement autour de modèles considérant une continuité mécanique entre la partie aérienne et le système racinaire.

Les racines fonctionnent aussi comme une armature du sol, avec une double fonction de résistance à la traction et de mise en précontrainte de compression, ce qui modifie radicalement le comportement mécanique de cette lentille de sol associée au système racinaire.

Des recherches ont été entreprises au laboratoire de botanique tropicale de Montpellier sur l'architecture des systèmes racinaires, et en Ecosse sur l'interaction vent-arbre, qui conduisent à analyser ce qui se passe au niveau des systèmes racinaires.

VERS UN GROUPE DE RECHERCHE SUR LA BIOMÉCANIQUE DES PLANTES

Comment s'organise l'ensemble de ces recherches ?

La flexuosité des troncs, les fentes d'abattage, la déformation des débits sont liés aux contraintes de croissance. Les déformations au séchage et la diminution des propriétés mécaniques sont plutôt liées à la présence de bois de réaction dont le processus de fabrication est encore mal connu. Nous ignorons notamment presque tout des systèmes de régulation (capteurs de contrainte ou de déséquilibre mécanique, circulation des informations jusqu'aux portions de cambium concernées ...) permettant à un arbre de maintenir ou modifier sa forme.

L'ensemble de ces phénomènes est lié non seulement au patrimoine génétique mais aussi aux conditions de croissance qui peuvent être profondément modifiées par l'homme. Une vision d'ensemble de ces processus est l'objet de ce que nous appelons la biomécanique de l'arbre. Un réseau de recherche de biomécanique des plantes, qui englobe la biomécanique de l'arbre pour les ligneux, est en cours de mise en place au niveau européen. Parmi les retombées de telles recherches fondamentales et interdisciplinaires, on peut citer l'amélioration du diagnostic face à un arbre pour aider à la sélection d'arbres d'avenir, à la décision d'interventions sylvicoles (élagage, taille de forme, éclaircies...) ou au tri par destination lors de la récolte.

LES SCIENCES DU BOIS TRAIT D'UNION ENTRE INDUSTRIELS ET SYLVICULTEURS

Finalement, c'est un aller-retour entre les producteurs, les utilisateurs

et les chercheurs qui permet d'avancer.

Ainsi, les problèmes de fissurations des grumes amènent à mettre en évidence l'existence dans les arbres de précontraintes importantes qui dépendent fortement de la conduite des peuplements. Par ailleurs, la fissilité du bois qui favorise ces défauts semble être sous forte dépendance du génotype et de la richesse du sol en ions divers. Il importe donc que le forestier se préoccupe de l'interaction sol-génotype sur cette fissilité lors des décisions de plantation.

Inversement, l'étuvage des grumes favorise le développement de ces fissurations à cause d'un phénomène appelé recouvrance hygrométrique qui permet la libération de déformations jusque-là bloquées dans l'arbre. Cette recouvrance dépend de la température d'étuvage. L'industriel devra optimiser la température d'étuvage non seulement en fonction des problèmes de déroulage mais aussi en fonction de la fissilité du bois et de l'état de prédéformation initial de l'arbre.

La connaissance *a priori* des risques lui permet aussi de constituer des lots homogènes traités de façon différente et optimale.

Les sciences et technologies du bois apparaissent bien comme un maillon indispensable dans l'ensemble du processus de gestion rationnelle et durable des forêts. Elles s'adressent bien entendu aux industriels et artisans pour la transformation des produits mais aussi, et de plus en plus, aux forestiers en raison de la dépendance étroite qui existe entre les propriétés du bois et les conditions de croissance des arbres. □

Propos recueillis par F. GRISON

LA BIOMÉCANIQUE DES PLANTES

Elle vise à poser et résoudre des problèmes liés au développement et au fonctionnement des organes de soutien des plantes, compte tenu des sollicitations mécaniques qu'elles supportent (poids, vents ...), et particulièrement des modifications internes des tissus (variations de pression dans les systèmes cellulaires turgescents, lignification). Un problème de biologie ou de mécanique appliqué aux végétaux devient spécifiquement « biomécanique » dès lors que l'on met l'accent sur une interaction forte entre le biologique et le mécanique, au travers notamment de concepts de contrôle, de régulation ou d'adaptation.

Les objectifs de la Biomécanique des plantes sont :

- une meilleure compréhension de la fonction de soutien et de la morphogénèse des organes de soutien chez les plantes,
- une contribution à l'analyse des relations entre fonctionnement des plantes cultivées et qualité de la production (par exemple, contribution à l'étude des relations entre croissance des arbres et qualité du bois, entre arboriculture et aptitude au conditionnement des fruits, entre sélection et qualité des fourrages ...),
- une analyse de la croissance, du développement, de la structure et particulièrement de la tenue mécanique des plantes modifiées par l'homme ou son environnement (diagnostics de fragilité des arbres urbains, port et structure des plantes transgéniques ...),
- le développement, grâce à l'étude des végétaux, de procédés et de types de constructions originiaux, inspirés des phénomènes biologiques (biologie ou biomimétique).

Les problèmes abordés sont susceptibles de s'appliquer aux organes aériens et souterrains de toutes les plantes, herbacées ou arborescentes, mono- ou di-cotylédones, lignifiées ou non, fossiles ou actuelles, pérennes ou annuelles, cultivées ou sauvages... Chaque étude est focalisée sur une ou plusieurs plantes, choisies en fonction de leur spécificité biomécanique et de leur intérêt socio-économique.

L'étude de la biomécanique nécessite une approche conjointe de plusieurs disciplines dont certaines dépendent des sciences pour l'ingénieur (mécanique des solides et des fluides), d'autres des sciences de la vie (biologie végétale au sens large). Des domaines comme l'analyse des structures aux différentes échelles, la modélisation des schémas de régulation sont abordés aussi bien en ingénierie qu'en biologie.

En France, un premier réseau consacré initialement à la biomécanique de l'arbre regroupe des équipes de différents organismes (Universités, CNRS, INRA, CIRAD) et se développe en direction des problèmes posés par les plantes annuelles comme les graminées. Des relations importantes ont été créées lors des séminaires annuels du réseau (5 jusqu'ici) avec des réseaux équivalents en Grande-Bretagne et en Allemagne notamment, centrés sur des problématiques assez différentes (stockage des fruits et légumes, évolution des plantes et port dressé, rampant ou lianescent, résistance à la verse ou à la casse sous l'action du vent). Le prochain Colloque Interdisciplinaire de Biomécanique des Plantes sera l'occasion de progresser dans la mise en place d'un réseau au niveau européen (voir Bref infos, p. 58).

WOOD SCIENCES : « QUESTIONS MUST BE RAISED BY FORESTERS AS WELL AS TIMBER PROCESSORS AND WOODWORKERS »

Bernard THIBAUT* initially worked on data relating to inventories of French and tropical forests, which familiarized him with the diversity of forests, tree species, and conditions of tree growth. He subsequently conducted research on checking during peeling and on veneer thickness variations, leading to more fundamental studies of the mechanical behaviour of wood as a cellular multilayer material.

The questions raised by those engaged in the timber and woodworking industries, — how to increase the yield and quality of materials, derived from secondary products for example — lead to technical improvements and also to the conception of new products which themselves create problems for scientists. Furthermore, certain gains are in question for environmental reasons.

For example, the durability of woods must henceforward be assured by new products, and greater interest is being taken in species which have a satisfactory natural durability, even those of small diameter which have been neglected up to the present.

Techniques of grafting by molecular assemblage open up new prospects for the creation of composite products ; chemical modifications, superficial or in the mass, improve dimensional stability ; molecular grafting on surface polymers enhances surface durability.

All these techniques raise new questions and require a thorough knowledge of woods and their most intimate constituent elements, particularly in the case of natural tropical forest woods, of which our knowledge is still inadequate. The bases of existing data have to be completed from new species that have not so far been studied ; and by the investigation of new parameters such as creep, the propagation of cracks, or the objective measurement of colour by spectrophotometry. The use of mixed species also calls for additional knowledge of criteria of compatibility and possibilities of homogenization of consignments.

Timber from plantations, even when its initial purpose is for burning or pulping, is increasingly used for woodworking ; this makes plantations more profitable and meets a growing demand.

Such wood possesses two characteristics to a greater degree than natural forest timber : a high proportion of juvenile wood in fast-growing trees that are felled when young, and the presence of reaction wood in trees planted wide a part and exposed to wind or to variations in their immediate environment.

These characteristics are linked with conditions of growth, the determining factors of which remain to be investigated : the effect of pruning and branching, the effect of roots, etc.

The role of roots in maintaining the tree and in the production of reaction wood is a subject of research, notably on a model based on a mechanical continuum incorporating the roots, trunk and branches, and allowing for the possibility of slight displacements at the base. The roots are seen as a combined system of anchorage and soil frame, helping to establish cohesion between the tree and the soil.

This research interdisciplinary work is organized, in France and at the European level, in a plant biomechanics research group, which has already held five seminars. A symposium is to be held at the Montpellier Botanical Institute from 5th to 9th September 1994. The group includes research workers of diverse origins who tackle the various aspects of the subject, from the molecule to the complete tree, in order to advance the knowledge required to meet the questions raised by those engaged in silviculture and the timber processing and woodworking industries.

For it is evident that the wood sciences form a link between those who process wood and enhance its market value and those who produce it, in a global challenge to promote sustainable rationable forest management.

* Bernard THIBAUT is Director of Research at the C.N.R.S., in the Mechanical Engineering Laboratory of Montpellier 2.