

PREMIER COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA BIOMÉCANIQUE DES VÉGÉTAUX

Montpellier 5-9 septembre 1994

LA BIOMÉCANIQUE AU CARREFOUR DE PLUSIEURS DISCIPLINES

Un arbre est soumis à l'action de forces externes dues par exemple à la gravité ou au vent, mais aussi internes, liées à sa constitution. La croissance de l'arbre met en jeu une série de phénomènes et de forces de natures très variées depuis la multiplication et l'allongement des cellules jusqu'à la lignification de leurs parois secondaires. Pour comprendre le processus de formation des plantes, le biologiste utilise donc aussi les lois de la mécanique: la biomécanique désigne ce carrefour où se rencontrent biologistes et mécaniciens. Inversement, le mécanicien trouve dans le monde vivant la mise en œuvre de systèmes d'une grande diversité dont la connaissance peut inspirer la mise au point de procédés ou de matériaux nouveaux: c'est l'objet de la « biomimétique ».

Le premier colloque international de biomécanique des végétaux s'est tenu dans les locaux de l'Institut de Botanique de Montpellier. Organisé sous l'égide du C.N.R.S., il a réuni 180 participants venus d'horizons très variés. La moitié des participants venaient de 22 pays, principalement de Grande-Bretagne, d'Allemagne et des Etats-Unis, mais aussi du Japon, de Hong Kong, de Belgique, de Suisse, d'Israël, de Pologne, de Nouvelle-Zélande, etc. Du côté français, on pouvait noter, outre une importante participation de l'université de Montpellier II, la présence de chercheurs de l'INRA, du CIRAD, du C.N.R.S., de l'ENREF, etc.

Mais la diversité des participants tenait surtout à la gamme très étendue de leurs spécialités en mécanique et en biologie. L'objectif du colloque était de voir comment le croisement de disciplines aussi diverses pouvait faire progresser les connaissances

en biomécanique, et si un réseau européen de biomécanique des végétaux pouvait devenir le cadre des collaborations à établir.

Treize contributions sollicitées par les organisateurs ont été publiées dans un numéro spécial de la revue *Biomimetics**. Plus de 90 contributions volontaires ont été présentées, dont 60 posters. Leurs résumés font l'objet d'un recueil publié aux Editions Elsevier**.

Nous donnons ici un bref aperçu des principaux sujets discutés pendant le colloque,

* *Biomimetics*, vol. 2, n° 2, juin 1994 et vol. 2 n° 3, septembre 1994, pp. 77-281.

** Colloque interdisciplinaire du Comité national de la recherche scientifique, Montpellier (France) du 5 au 9 septembre 1994, *Biomécanique des végétaux*, résumés, 200 p., 1994, Editions scientifiques Elsevier.



Photo P. THEIL

Wapa de Guyane, *Eperua grandiflora*, qui a éclaté après abattage.
This Wapa, *Eperua grandiflora*, from French Guiana has split up after felling.

dont nous avons plutôt retenu ce qui pouvait concerner les arbres.

Il peut arriver, et c'est fréquent chez certaines espèces, qu'un arbre éclate à l'abattage. Cet éclatement correspond à l'action de forces qui étaient présentes dans l'arbre avant abattage, sous la forme de contraintes internes. Quelle est l'origine de ces contraintes ? Pourquoi varient-elles selon les individus ? De l'analyse du bois, on passe bientôt à celle des parois et de leurs constituants, entre autres les lignines. Mais la biologie de la croissance doit aussi être comprise, et ce n'est plus la paroi secondaire mais la paroi primaire, avec ses couches croisées de microfibrilles de cellulose, qui retient l'attention. Et nous voici dans le monde, non plus des tissus ligneux, mais des cellules turgescentes, auquel s'appliquent de tout autres lois de la mécanique.

Ce raccourci très bref montre l'étendue que se donne d'emblée la biomécanique des végétaux : tissus ligneux ou turgescents, éventuellement en état de croissance, observés à diverses échelles de temps et d'espace. Ajoutons à cela la diver-

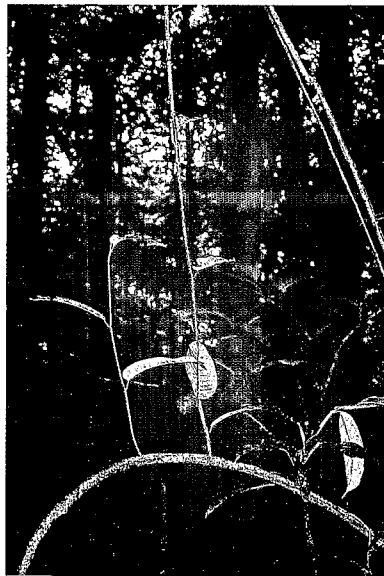


Photo G. CABALLÉ

Rejets autoportants issus d'une tige grimpante de la liane *Coccoloba* (Polygonaceae), sur la piste de St-Elie en Guyane Française, mars 1989.
Self-supporting shoot from a climbing stem of the liana Cocoloba (Polygonaceae) on the St-Elie track in French Guiana, March 1989.

sité des situations selon qu'il s'agit de végétaux autoportants ou non, ou à comportement mixte, et qu'ils

subissent des contraintes temporaires ou permanentes comme les arbres fruitiers ou les arbres exposés au vent. La biomécanique des végétaux couvre un domaine très vaste dans lequel, ce colloque l'a montré, les recherches sont très actives.

Que peut-on en retenir ? Les connaissances évoluent vite (cf. les publications citées p. 82) et peu de résultats immédiatement applicables sont à attendre de ce genre de colloque, qui concerne avant tout les chercheurs. Nous essayons cependant de donner ici des indications sur quelques domaines en cours d'exploration : la turgescence et la lignification, les tiges creuses et les lianes, l'enracinement et la réponse à divers types de sollicitations (les noms entre parenthèses renvoient aux auteurs des communications).

TURGESCENTE ET LIGNIFICATION

La paroi cellulaire résiste à la traction mais pas à la compression, et c'est la pression interne de la cellule qui donne sa rigidité au tissu turgescent, comme une baudruche dans un sac de toile. La paroi est en traction, même lorsque le tissu dont fait partie la cellule est sous compression (JERONIMIDIS) : c'est une sorte de précontrainte. L'étude des couches croisées de microfibrilles (PRAT) qui donnent à la paroi sa souplesse et sa résistance se poursuit, de même que celle des phénomènes de croissance des parois avec l'allongement des cellules (PRAT, PRITCHARD, MCCANN).

La turgescence des tissus en croissance donne aussi aux tissus souterrains, notamment aux racines, la possibilité, par la forte pression existant dans ces tissus, de conquérir l'espace qui leur est nécessaire (MCGARRY).

La turgescence, qui correspond à un état de la cellule, doit aussi être étudiée dans le temps. Les flux hydriques liés à la croissance (SILK), et ceux liés aux changements d'état des cellules ou aux mouvements des feuilles ou des tiges, intéressent aussi les biomécaniciens (IRVING). Les mécanismes de passage de l'eau à travers les membranes sont encore mal connus (ORTEGA).

Le « choix » par la plante de la lignification est interprété en termes d'économies d'énergie (VINCENT). La lignification est un investissement, qui permet ensuite le maintien d'un port érigé dans des conditions moins coûteuses que le maintien de la turgescence. La lignification se produit donc chez des végétaux ayant une durée de vie qui justifie un tel investissement.

La lignification est aussi un champ de recherches actives : quelles sont les conditions de la circulation des monomères et de leur polymérisation ? Où se trouvent précisément les lignines dans les cellules et dans leurs parois, et quelles propriétés particulières, notamment de rigidité, en découlent (MONTIES) ? La présence de contraintes de maturation en périphérie dans le bois d'eucalyptus se traduit au niveau des cellules dans la répartition et la composition de la lignine (BAILLERES).

La forme des feuilles est l'expression d'une optimisation entre l'économie de matière, et donc d'énergie, et une tenue suffisante pour assurer une bonne exposition au rayonnement. La forme ondulée courbe de la feuille de charme est un bon exemple de ces structures très légères auxquelles s'intéressent les chercheurs en « bionique » qui analysent les structures vivantes pour s'en inspirer dans la création de nouveaux produits industriels (KRESLING).

TIGES CREUSES, LIANES

L'importance des tissus périphériques dans la résistance à la flexion est bien connue. L'industrie fabrique des tubes creux, comparables aux bambous (WEGST). Mais la supériorité des bambous vient de la présence des nœuds, qui renforcent leur rigidité transversale et leur résistance à la flexion. De plus, la composition des tiges de bambou varie, non seulement entre l'intérieur et la périphérie mais aussi entre la base et le sommet : la proportion de fibres et la densité sont plus élevées au sommet et à la périphérie (GNANAHARAN).

Les tiges des palmiers ne sont pas creuses, mais leur partie interne est moins résistante que leur périphérie. De même, la présence de moelle dans certaines tiges a aussi une influence sur leurs propriétés mécaniques. Des tests ont montré que la présence de mousse à l'intérieur de tubes améliorerait leur résistance au flambement (GIBSON).

Les propriétés mécaniques, et même la structure des tiges, peuvent changer dans un même individu selon que la partie considérée est autoportante ou accrochée à un support (SPECK). Ainsi, la tige des palmiers-rotins n'a-t-elle pas les mêmes propriétés mécaniques dans les premiers mètres et dans le reste de la tige. A la base la tige est rigide, bien ancrée dans le sol. Puis, en grim pant, elle devient de plus en plus légère (BHAT). De même, les lianes présentent des structures anatomiques différentes dans les parties « en recherche de support » et dans les parties accrochées (CABALLÉ). Ces transformations concernent le stade initial mais aussi, plus tard, les répétitions (SPECK). Des tiges poussant en peuplement monospécifique très dense ne sont pas non plus auto-

portantes : elles sont soutenues par l'ensemble du peuplement (SPECK).

ANCRAGE RACINAIRE

On reconnaît classiquement aux racines une triple fonction d'ancrage, de stockage et d'alimentation du végétal. C'est probablement la fonction d'ancrage qui a été la moins étudiée (ENNOS). Elle est réalisée, selon les cas, par un pivot assez épais pour être rigide ou par un « plateau racinaire ». Nous ajouterons ici que chez certaines espèces (okoumé), ce plateau est renforcé par les anastomoses racinaires et que, dans les forêts denses tropicales, il arrive que des lianes relient les arbres entre eux par les houppiers et contribuent ainsi à la solidité de l'ensemble du peuplement. Le plateau racinaire, ramifié, associé au sol un peu comme une armature dans un béton, peut aussi avoir une certaine souplesse : la base de l'arbre n'est pas absolument fixe. Mais les termes et les concepts ne sont pas exactement transposables entre les matériaux inertes et le monde vivant (NACHTIGALL).

La présence d'un tuteur a des conséquences sur le développement de l'arbre, qui produit moins de racines (ENNOS) : cela montre l'existence de mécanismes de régulation qui adaptent la croissance des racines aux besoins d'ancrage. En outre, un arbre tenu par un tuteur a une meilleure croissance en hauteur mais une moindre croissance en diamètre (CRABBÉ), et sa tige est plus flexible que celle d'un arbre sans tuteur. Des précautions sont nécessaires au moment d'enlever les tuteurs.

De même, on constate que le système racinaire est plus développé dans des sols de moindre cohésion (ENNOS). La verse des céréales (et aussi les chablis) se produit le plus

souvent après une pluie lorsque le sol, mouillé, a perdu de sa cohésion (CROOK).

RÉPONSE DE L'ARBRE À DIVERSES SOLLICITATIONS

La réponse de l'arbre n'est pas la même selon la durée et l'intensité des sollicitations, dont l'effet est, ou non, réversible. En associant les paramètres « temps » et « croissance » aux paramètres mécaniques classiques, il est possible de parvenir à une bonne explication des formes (FOURNIER). Mais le paramètre « croissance » peut singulièrement compliquer le modèle, le développement d'une plante n'étant pas seulement quantitatif mais aussi qualitatif (EDELIN). Des recherches décrivent comment les arbres optimisent leur forme en fonction des contraintes qu'ils subissent (MATTHECK). La crois-

sance en hauteur et en diamètre peut être modélisée, en tenant compte des contraintes qui s'exercent sur l'arbre (FOURCAUD).

Le poids, bien sûr, est une force qui sollicite en permanence la structure des végétaux. Il varie non seulement en fonction de la croissance, mais aussi selon la saison : pluie ou neige, feuillaison, fructification. Le poids des fruits peut créer des contraintes temporaires importantes (CRABBÉ).

Le vent exerce aussi une force sur les arbres. Il est l'objet de plusieurs recherches. Une analyse très fine des flux (GARDINER) permet de connaître les zones les plus vulnérables d'un peuplement. L'effet cumulé d'un vent faible est aussi analysé (BOUILLET). Dans certains cas, il est difficile de distinguer l'effet du vent et celui de la gravité (TELEWSKI).

Le fil vissé de certaines tiges peut être interprété comme une adapta-

tion au vent : les plans croisés ont la rigidité d'un contreplaqué (JAFFE). Mais la rigidité n'est pas nécessairement la meilleure réponse au vent. Une flexibilité, qui permet de réduire la prise au vent, peut être moins coûteuse à mettre en place, en termes de matière sèche et d'énergie (JAFFE).

Rendez-vous est pris pour de nouveaux échanges de résultats, en un deuxième colloque de biomécanique des plantes, probablement à Reading (Angleterre), en 1997.

En outre, un réseau européen de biomécanique des végétaux est en préparation. □

▷ François GRISON

▷ Renseignements : B. THIBAUT
L.M.G.C./Bois
Université Montpellier II
Place E. Bataillon
34095 MONTPELLIER CEDEX 5
(France)



PENSEZ A VOS ABONNEMENTS POUR 1995

	France TTC en Francs Français	Etranger*
1994	250	320
1995	280	350
1994 + 1995	480	580
1995 + 1996	540	660
1994 + 1995 + 1996	760	920
Le Numéro	70	90

* Pour les ressortissants européens qui n'ont pas de numéro de TVA : + 2,10 %.

Service Abonnement : Liliane BLANDIN, Jacqueline GIRARD
Tél. : (1) 43 94 43 79 - Fax : (1) 43 94 43 81