



HAL
open science

Tares internes de bois sur pied : détection par ultrasons

J.-L. Sandoz, P. Lorin

► **To cite this version:**

J.-L. Sandoz, P. Lorin. Tares internes de bois sur pied : détection par ultrasons. *Revue forestière française*, 1996, 48 (3), pp.231-240. 10.4267/2042/26740 . hal-03444432

HAL Id: hal-03444432

<https://hal.science/hal-03444432v1>

Submitted on 23 Nov 2021

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

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

technique et forêt

TARES INTERNES DE BOIS SUR PIED : DÉTECTION PAR ULTRASONS *

J.-L. SANDOZ - P. LORIN

La commercialisation et la valorisation des produits forestiers sont basées sur des estimations de volume et de qualité, par les forestiers d'une part, et les acheteurs d'autre part, au moins pour toutes les coupes négociées sur pied. Ces estimations sont rendues complexes ou incertaines, étant donné toutes les possibilités de variation de la qualité interne des arbres. En effet, les propriétés des troncs ligneux sont fortement variables d'un arbre à l'autre, et ceci également à l'intérieur d'une même placette. En termes de densités, par exemple, elles peuvent évoluer du simple au double. En termes de résistance, entre autres pour les bois de construction, les propriétés mécaniques peuvent être décuplées entre des bois à caractéristiques très élevées, et des bois à résistance spécialement faible. Par ailleurs, au-delà de la qualité même des tissus, l'arbre peut développer des tares biologiques qui vont affecter sa valeur marchande, très souvent dans le sens négatif, et très souvent dans des proportions très considérables, divisant par deux, trois ou quatre les prix de commercialisation des grumes. Ces tares sont en général en liaison avec l'évolution du système racinaire de l'arbre, et elles apparaissent, dans la très grande majorité des cas, dans les billes de pied, celles-là mêmes qui ont la plus grande valeur marchande. Par ailleurs, dans le cas de l'arbre en milieu urbain, des tares internes considérables font surgir des problèmes de sécurité du public, et nécessitent donc des diagnostics préventifs.

C'est pour détecter ces tares, sur l'arbre vivant, de façon rapide et non destructive, que les ultrasons trouvent aujourd'hui une nouvelle application industrielle. Les ultrasons ont connu un fort développement dans le bois ces dernières années, notamment comme méthode de triage ou de classement des bois de structure, avec l'appareil Sylvatest® d'une part, et son automatisé dans la machine Sylvamatic d'autre part. Une description sommaire de ces nouvelles technologies est donnée ci-après.

* Travaux menés en collaboration avec l'Antenne romande (AR-FNP) à Lausanne de l'Institut fédéral de Recherches sur la Forêt, la Neige et le Paysage de Birmensdorf.

ULTRASONS ET CLASSEMENT DES BOIS RÉSINEUX

L'appareil Sylvatest[®], intégrant la technologie ultrasonore et un logiciel d'exploitation fondé sur des recherches en laboratoire et des essais d'étalonnage, permet un triage ou un classement mécanique des bois de construction. Le principe est assez simple : un émetteur à ultrason, couplé à la pièce de bois, envoie une onde ultrasonore à basse fréquence dans la fibre de bois, sur l'axe longitudinal. Après propagation, à l'autre bout de la pièce, un récepteur à ultrason capte le signal qui est analysé par le logiciel de l'appareil pour donner une classe de qualité ou des caractéristiques mécaniques de l'élément mesuré. Une correction, pour tenir compte de l'hygrométrie et de la température du bois, est intégrée dans le calculateur. Toute cette technologie est présentée sur la photo 1 (p. 234), avec l'appareil Sylvatest[®], commercialisé depuis 1991. Cette nouvelle technologie d'application des ultrasons dans le domaine du bois intègre déjà les nouvelles classes de qualité européennes et permet une valorisation supérieure des bois. En effet, on s'affranchit d'un déclassement par observation des défauts (nœuds, larges cernes, etc.) en classant par une réelle mesure de la qualité des tissus ligneux. Les deux critères essentiels pour la rigidité des bois (propriétés élastiques) étant la densité et, davantage encore, la longueur des microfibrilles, bien connue des papetiers.

Ces deux critères ne sont pas directement visuels, et c'est ce qui fait l'intérêt du Sylvatest[®], fonctionnant en méthode complètement non destructive pour le bois, et de façon simple et rapide. De plus, la nodosité, critère important pour la résistance, sera intégrée dans la mesure, par l'intermédiaire de l'augmentation du chemin parcouru par l'onde, lors des contournements des nœuds. En fait, dans la plupart des cas, ce type de classement est revalorisant par rapport au classement visuel. La technologie ultrason trouve son application dans le classement des sciages, dans le classement des billons sur parc à grumes, ou dans le contrôle final en fabrication (bois lamellé-collé, fermettes industrielles,...). Elle trouve également des applications exceptionnelles, en dehors de la filière traditionnelle de la première transformation, dans tous les milieux de l'ingénierie du bois, tels que poteaux de lignes, construction aéronautique, lutherie, montants d'échelle, ou encore en expertise de structures existantes.

TRIAGE PAR ULTRASONS AUTOMATISÉ

En 1995, l'automatisation complète de Sylvatest[®], capable de classer les produits de sciage directement dans la chaîne de production, avec mesure automatique de la longueur, de l'hygrométrie, et du temps de propagation des ultrasons, a été mise au point avec la machine Sylvamatic. Après mesure, cette machine fait également un marquage de couleur en tête des produits, et gère des boxes de qualité pour la classification des produits.

Cette nouvelle génération de technologie industrielle utilisant les ultrasons a déjà trouvé sa place en Suisse dans l'industrie de fabrication des bois lamellés-collés, pour produire des poutres à haut module d'élasticité (bois de construction à hautes performances). Elle s'impose également dans les scieries, pour la qualification des différents produits destinés à la construction.

Les recherches actuelles en automatisation portent sur le développement d'une station de triage de billons, au niveau du parc à grumes. Le triage à ce niveau permettrait d'orienter la transformation des bois ronds à partir de critères qualitatifs. À long terme, elle réaliserait une valorisation non plus seulement par cubage du bois rond, mais également par une pondération en fonction des qualités internes des billes.

Cette évaluation qualitative est rentable et intéressante pour toute l'économie du bois de résineux. Pour la France, par exemple, elle deviendrait aussi très intéressante au niveau macro-économique, pour se positionner à l'exportation et récupérer une partie des marchés internes, dévorés par l'efficacité du marketing et la qualité des réseaux de distribution des pays exportateurs, et spécialement ceux du Nord de l'Europe.

ULTRASONS ET ARBRES SUR PIED

Dans le cas du triage ou du classement des bois, les ultrasons sont appliqués sur l'axe longitudinal du bois. La vitesse de propagation des ondes ultrasonores sur cet axe est influencée par la qualité de la fibre, traduisant un module élastique, et créant un fil conducteur de l'onde, un peu comme un alignement de billes de billard. On obtient des vitesses très élevées sur les meilleurs bois, et des vitesses très faibles sur les bois à caractéristiques élastiques inférieures. La grande dispersion des vitesses obtenues permet de réaliser le classement mécanique.

L'application de l'ultrason à l'axe radial de l'arbre sur pied n'est pas du tout comparable au mode de propagation obtenu en axe longitudinal. Sur l'axe radial, l'onde ne reste pas sur la meilleure fibre. Elle doit au contraire traverser l'ensemble des séquences de croissance, bois de printemps et bois d'été, cerne plus fin et cerne plus large. La propagation intègre donc la qualité de toutes les fibres, et elle n'est plus très sensible aux écarts de qualité mécaniques. Elle ne convient donc pas pour faire un classement. Par contre, sur des bois sains et sans défauts, cette vitesse de propagation est à peu près constante, pour une essence donnée. Cette caractéristique est très importante, puisque, sur la base d'une vitesse de référence à l'état sain connue, toute dégradation interne entraînant une chute de vitesse, un bois atteint d'une pathologie quelconque aura une vitesse de propagation inférieure à un bois sain, et ceci proportionnellement à l'importance de la dégradation.

ÉCHANTILLONNAGE ACTUEL SUR 850 ARBRES

À partir de ces considérations fondamentales sur la propagation des ultrasons sur l'axe radial des arbres sur pied, des campagnes de mesures et d'étalonnage ont été menées en Suisse et en France, sur les essences forestières industrielles, et sur les principales essences de foresterie urbaine. La banque de données actuelle contient les informations relatives aux échantillons du tableau I (ci-dessous).

Tableau I **Nombre et diamètre des échantillons des différentes essences analysées pour l'étalonnage des vitesses de référence**

Essence	Nombre d'arbres	Diamètre (mm)
Sapin-Épicéa	320	200 - 1400
Douglas	30	400 - 800
Hêtre	100	300 - 1200
Chêne	100	350 - 1200
Mélèze	20	400 - 1000
Peuplier	30	400 - 800
Arbres en milieu urbain :		
Platane, Marronnier, Tilleul, Cèdre	250	300 - 1500
Total	850	

Sur chacun de ces arbres, différentes mesures aux ultrasons ont été effectuées sur l'axe radial au niveau du sol, comme le montre la photo 2 (p. 235). Pour coupler les sondes sur l'arbre, il est nécessaire de franchir l'épaisseur d'écorce, puis de traverser la joue cambiale pour pouvoir émettre les ondes dans les premières cellules de l'aubier, et obtenir ainsi les meilleures conditions vibratoires, c'est-à-dire le maximum d'énergie transmis au travers du diamètre. Un préperçage de l'arbre d'un diamètre de 5 mm, sur 15 à 20 mm de profondeur, est parfaitement indiqué pour améliorer le couplage de la sonde. Il peut être fait au perçet ou avec une petite perceuse portable. Cette blessure superficielle sera immédiatement traitée avec un cicatrisant.

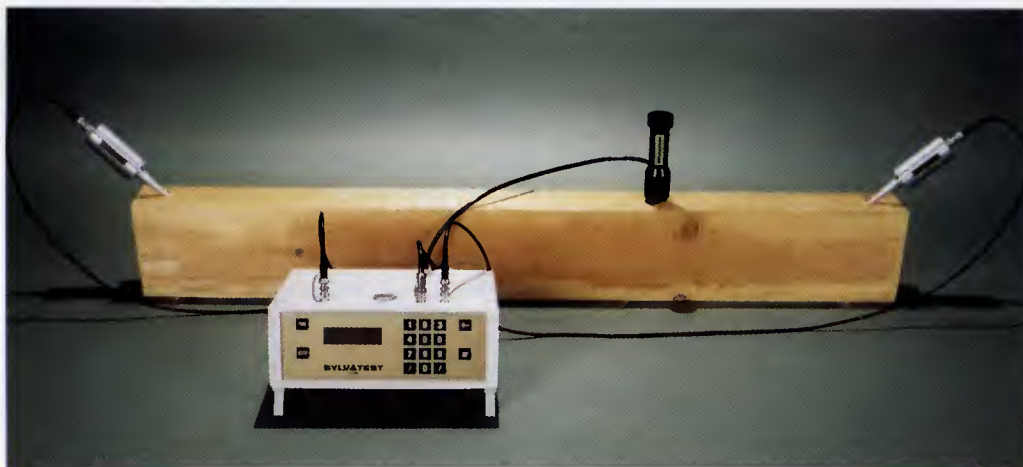


Photo EPFL-IBOIS

▲ Photo 1 Principe général de la méthode aux ultrasons intégrée dans l'appareil Sylvatest® et appliquée, en mode longitudinal, au classement des bois de structures. On reconnaît les deux émetteurs-récepteurs piézo-électriques traitant les ultrasons, et un troisième capteur, mesurant l'hygrométrie et la température du bois.

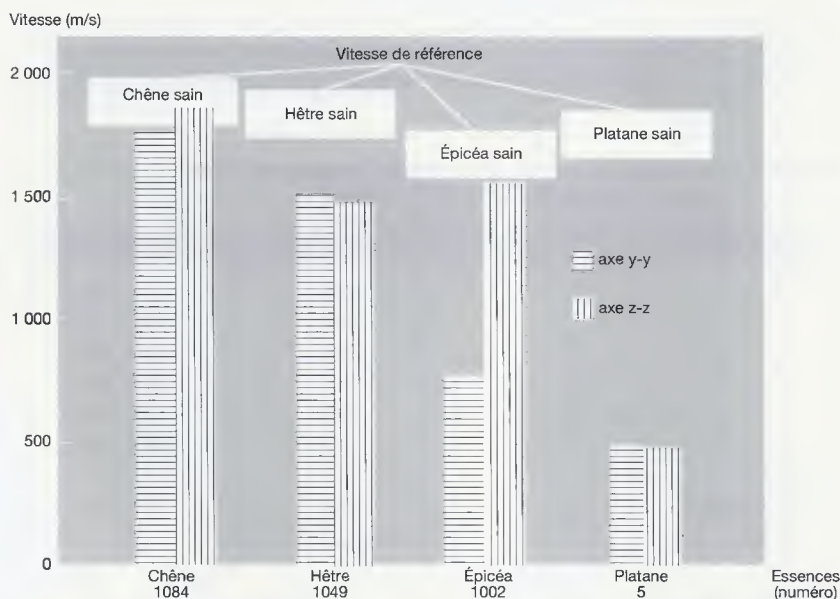


Figure 1 EXEMPLES DE RÉSULTATS, CARACTÉRISÉS PAR LES VITESSES ULTRASONIQUES RADIALES OBTENUES SUR DIFFÉRENTS ESSENCES FORESTIÈRES ET POUR DIFFÉRENTS ÉTATS DE QUALITÉ INTERNE

Photo 3 Visualisation des résultats de la figure 1 par observation des souches, directement après l'abattage des bois : ►

- 3a) Chêne n° 1084, sain ;
- 3b) Hêtre n° 1049, avec une tare interne de 30 % ;
- 3c) Épicéa n° 1002, avec une tare de 40 % excentrée sur un axe
- 3d) Platane n° 5 avec cavité importante sur plus de 80 % du diamètre



▲ Photo 2 Application de la méthode aux ultrasons à la détection de tares internes sur arbres sur pied. Dans cette application, Sylvatest® est utilisé sur l'axe radial, toujours avec les deux sondes émettrice et réceptrice, couplées sur le fût, avec une pénétration d'environ un centimètre à travers l'écorce.



Photos EPFL-IBOIS

Pour calculer la vitesse de propagation, il faut connaître la longueur de propagation, qui doit être mesurée au pied à coulisse forestier. Cette valeur correspond au diamètre sous écorce de l'arbre. C'est une caractéristique que le forestier doit de toute façon acquérir pour le cubage. Le test est fait sur deux axes perpendiculaires : dans la pente d'une part, et parallèle aux lignes de niveau d'autre part. Cette double approche permet de détecter les pathologies excentrées, dues par exemple aux chutes de pierres en forêt de montagne. Après avoir mesuré le temps de propagation, l'opérateur calcule la vitesse de propagation obtenue sur l'axe mesuré, et la compare aux vitesses de références connues par les étalonnages. Il en déduit un pourcentage interne de dégradation donné en proportion du diamètre mesuré, et calculé par la relation suivante :

$$\frac{\text{Vitesse de référence} - \text{Vitesse mesurée}}{\text{Vitesse de référence}} \cdot 100 = \text{Taux de tare (\%)}$$

DÉTECTION DE TARES GROSSIÈRES

Sur quelque essence que ce soit, la détection de tares grossières par ultrasons ne pose aucun problème. Tout ce qui est cavité, pourriture avancée, ou pourriture molle, est détecté par la mesure des caractéristiques ultrasonores. La précision de la méthode est très élevée. Un arbre possédant une cavité, par exemple, sera détecté dans tous les cas de figure comme non sain. Dans ce domaine, le test est donc infaillible. En moyenne, la quantification de la tare interne, déduite de l'équation précédente, est donnée avec une précision de $\pm 10\%$, exprimée en pourcentage du diamètre de l'arbre. Quelques exemples sont donnés sur la figure 1 (p. 234) et la photo 3 (p. 235). Sur la figure 1, on observe le niveau de la vitesse de référence pour différentes essences forestières. Cette vitesse est exprimée dans une bande de confiance, pour s'affranchir de la variabilité physique, des influences saisonnières et des variations de diamètre. En dessous, quatre arbres caractéristiques sont positionnés. On remarque pour chaque arbre la vitesse mesurée sur deux axes. L'écart de cette vitesse par rapport à la bande de référence, correspondant à l'état sain de l'espèce, donne l'indication de l'état interne. La souche de ces bois est visible sur la photo 3. On remarque la grande correspondance entre les valeurs mesurées par ultrasons et les tares réelles observées après abattage.

La détection de tares grossières par ultrason sur les essences forestières est donc très bien maîtrisée. La détection est d'autant plus infaillible que la tare est importante. Ainsi, la détection de la pourriture rouge de l'Épicéa (*Fomes annosus* ou *Heterobasidion annosum*), tout comme celle de la pourriture blanche du Chêne (*Phellinus robustus*) sont donc des applications principales de cette nouvelle méthode de diagnostic. Sur ces applications, les travaux de recherche se poursuivent pour tenir compte de certains effets perturbateurs, comme celui par exemple du bois de réaction, très sensible au test par ultrasons.

DÉTECTION DE TARES FINES

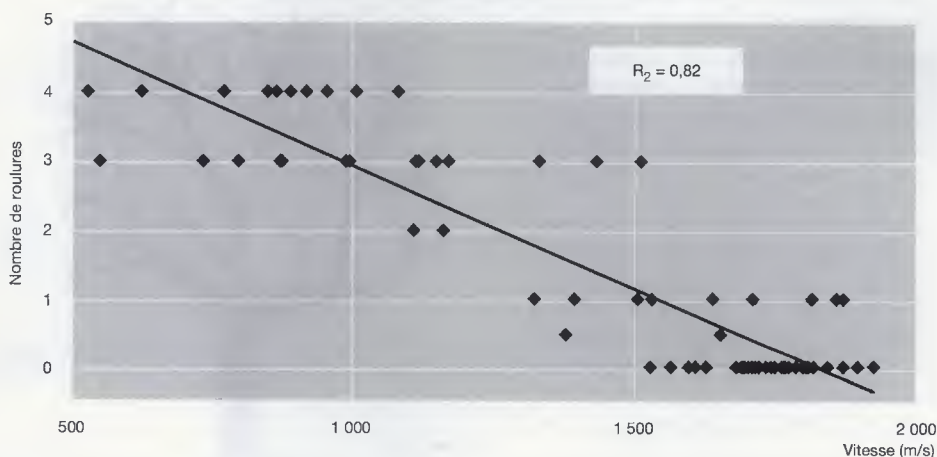
Ce que nous appelons tares fines correspond à la famille des dégradations qui affectent la valeur marchande du bois, mais ne détruisent pas la fibre. Un des exemples les plus typiques est le cœur rouge du Hêtre, ou les colorations anormales de bois de cœur, d'une façon générale. Un exemple de mesure de cœur rouge est donné en photo 4 (p. 238). On remarque que le test est le même que précédemment. La sensibilité de la propagation des ultrasons aux atteintes de cœur rouge est bien sûr inférieure à celle relative aux pathologies grossières. Sur plus de 100 hêtres, dont 30 % étaient plus ou moins rouges, nous avons pu observer que les vitesses de référence étaient affectées par la présence du cœur rouge. Théoriquement, la vitesse de propagation des ondes ultrasons est donc différente sur un hêtre sain ou sur un hêtre rouge. Mais le problème est dans l'étalonnage. Le Hêtre

est une essence commune, bien adaptée en plaine ou en montagne. Sa vitesse de référence est connue, comme pour les autres essences, dans une fourchette estimée à 200 m/s. Pour augmenter la sensibilité de détection du cœur rouge, il faudrait affiner cette définition de vitesse de référence. La précision de détection du cœur rouge est moins bonne que pour les tares grossières, et se situe dans une fourchette de $\pm 20\%$. Des recherches importantes se poursuivent pour améliorer cette sensibilité.

Dans l'autre domaine des pathologies fines, comme celui des roulures, des études récentes menées sur le Châtaignier du Tessin (région Sud de la Suisse) montrent que la propagation ultrasonore est affectée par la présence de roulures sur l'arbre vivant. Un échantillon de 40 arbres d'une même parcelle, d'un diamètre de 16 à 32 cm, a été mesuré. La parcelle choisie était de pente moyenne, entre 15 et 20%. La vitesse ultrasonore moyenne obtenue sur les deux axes, comparée au nombre de roulures visibles directement après l'abattage, est donnée sur la figure 2 ci-dessous. Même s'il est difficile d'affirmer que toutes les roulures observées sur l'arbre abattu étaient déjà présentes dans l'arbre vivant, on remarque tout de même avec ce résultat que des bois fortement roulés sont aussi très bien détectés par le test aux ultrasons.

Figure 2

**RELATION ENTRE LA VITESSE DE PROPAGATION ULTRASONORE RADIALE
ET LE NOMBRE DE ROULURES OBSERVÉES,
SUR UN ÉCHANTILLON DE 40 CHÂTAIGNIERS DE PETITS DIAMÈTRES**



FORESTERIE URBAINE

Dans le cas de l'évaluation des arbres en milieu urbain, le test aux ultrasons est très intéressant. En effet, le but des expertises des arbres de villes est d'estimer la sécurité de l'arbre. Cette sécurité est proportionnelle à la qualité des fibres. Elle est diminuée quand une pathologie interne gagne les extrémités du diamètre, pour affaiblir l'inertie résiduelle (mécanique tubulaire). Les risques deviennent importants pour des tares ou des dégradations de tissus supérieures à 60% du diamètre. Il s'agira donc, dans tous les cas, de détection grossière, là où le test aux ultrasons devient complètement infaillible. De plus, ce test est considéré comme complètement non destructif par rapport à d'autres méthodes, telles que la densitométrie ou le carottage.

En foresterie urbaine, le problème de l'utilisation des ultrasons est l'étalonnage des différentes essences. Si les essences forestières marchandes des forêts de l'Ouest européen sont limitées à une petite dizaine, il n'en va pas de même dans les parcs citadins, où on cultive plutôt la pluralité des



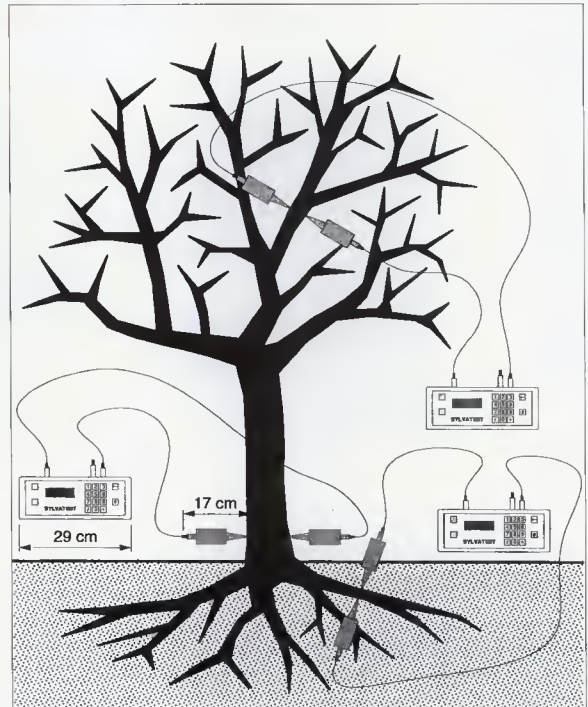
Photo 4
Application en mesures radiales
de Sylvatest® pour l'évaluation
du cœur rouge du Hêtre

Photo EPFL-IBOIS

Figure 3
**ILLUSTRATION SCHEMATIQUE
DE L'APPLICATION DU TEST
ULTRASONORE SUR UN ARBRE,
EN MILIEU URBAIN.**
Un diagnostic de sécurité
peut être réalisé au niveau
du collet, des racines ou
des plus grosses branches

essences, sans parler des jardins botaniques, représentant des centaines d'essences. Nos campagnes d'étalonnage en milieu urbain ont déjà permis l'enrichissement d'une base de données importante.

Le tableau II (p. 239) donne les connaissances actuelles sur les espèces les mieux identifiées, avec une vitesse de référence stabilisée. La banque de données évolue de jour en jour, grâce notamment aux sociétaires du club Sylvatest® spécialisés en foresterie urbaine, et qui mettent à disposition leurs expériences. Le test aux ultrasons pourra être utilisé aussi bien au niveau du collet de l'arbre qu'au niveau des racines ou des plus grosses charpentières. La figure 3 (ci-contre) résume les différents sites d'application, dans le cas d'un arbre de parc.



EFFETS SAISONNIERS

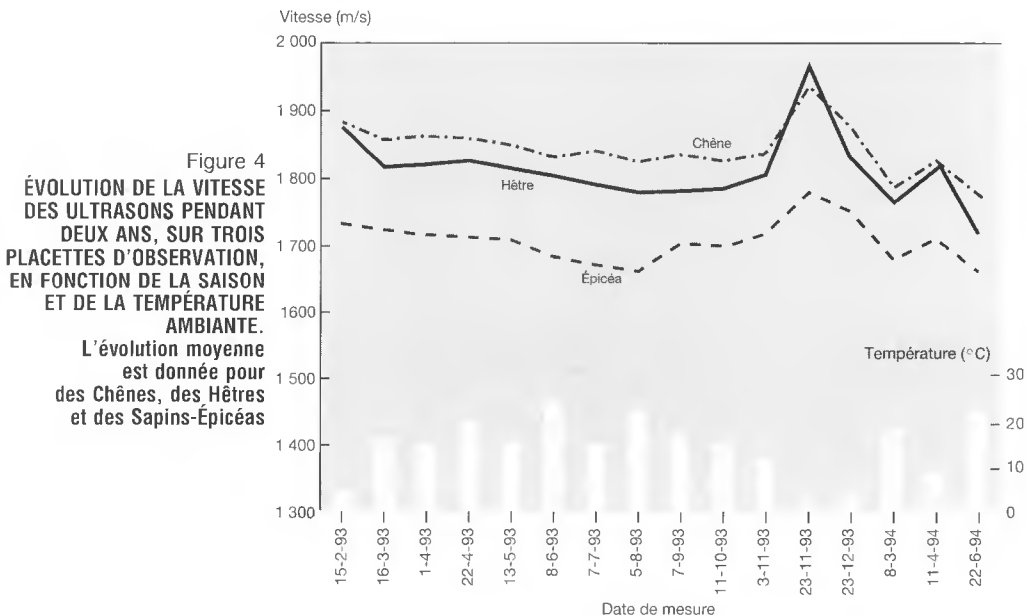
Étant donné que la propagation des ultrasons est une fonction du mode vibratoire des cellules, et de leur élasticité, cette propagation est influencée par l'état physique des cellules. La propagation est spécialement affectée par l'évolution de l'hygrométrie entre la période biologique active (printemps-été) et la période d'arrêt (automne-hiver), caractérisée par une quantité plus ou moins importante de sève (eau) dans les tissus. De plus, au-delà de l'effet hygrométrique, un effet température a été observé comme étant très sensible. Son influence allant dans le même sens que l'effet hygromé-

Tableau II Vifesses de référence pour un ensemble d'essences forestières et décoratives

Essence	Vitesse (m/s)	Essence	Vitesse (m/s)
Sapin-Épicéa	1 600	Érable	1 900
Pin sylvestre	1 500	Marronnier	1 800
Mélèze	1 500	Peuplier	1 600
Douglas	1 700	Tilleul	1 400
Hêtre	1 700	Platane	1 800
Chêne	1 800	Cèdre	1 800
Charmille	1 800	Noyer	1 800
Frêne	1 700	Séquoia	1 900

trique, on arrive à un effet saisonnier global de 5 %. Pour parvenir à ce résultat, nous avons suivi, tous les 40 jours, trois placettes d'observation permanente pendant deux ans. Les résultats sont indiqués sur la figure 4 (ci-dessous). L'effet température étant combiné à la teneur en eau de l'arbre, sa modélisation complète est assez difficile. Pour plus de stabilité dans les mesures, on essaiera de réaliser la métrologie des arbres sur pied à des températures comprises entre 10 et 20 degrés.

Les données du tableau II (ci-dessus) correspondent à l'étalonnage pour la période non active (hiver). Les vitesses de référence de la période estivale seront réduites en moyenne de 5 %. Des recherches se poursuivent également pour affiner ces effets, et étudier d'éventuelles différences d'une essence à l'autre, ou d'une région à l'autre.



CONCLUSIONS

La valorisation forestière et le développement de nouveaux débouchés industriels pour le bois, par exemple dans le secteur de la construction, passent par une meilleure gestion qualitative de la production forestière et des produits sciés. La technologie des ultrasons, après avoir été développée et intégrée dans l'appareil Sylvatest® et dans la machine automatique Sylvomatic, pour donner de nouvelles solutions de classement des sciages de résineux, et pour générer des nouveaux matériaux à hautes performances mécaniques, est appliquée aujourd'hui à l'arbre sur pied.

Par l'intermédiaire d'une mesure de l'axe diamétral, à différents niveaux entre le collet et la hauteur d'homme, les tares internes des bois sur pied peuvent être mesurées. Les dégâts importants comme les *Fomes annosus* des Sapins-Épicéas ou les tares de Chêne (*Phellinus robustus*) sont détectés infailliblement. La précision de l'évaluation quantitative est de plus ou moins 10 %. Dans le cas de détections fines, comme les colorations, l'évaluation est plus difficile, et la quantification est donnée à plus ou moins 20 %. Dans le cas de la roulure du Châtaignier, les bois fortement roulés ont été aussi très bien détectés par le test aux ultrasons.

Les applications quotidiennes intéressent les gestionnaires forestiers et les acheteurs de bois. Elles intéressent également les arboriculteurs, responsables de la sécurité des arbres en ville, dans les parcs et jardins. La méthode aux ultrasons s'utilise très simplement, par comparaison d'une vitesse ultrason mesurée par rapport à une vitesse de référence étalonnée, donnée par les modes d'emploi. Les références évoluent d'une essence à l'autre en fonction de l'organisation et des caractéristiques des cellules ligneuses. Ces vitesses de référence évoluent dans une fourchette de 5 % durant l'année, en étant plus rapide en période inactive, où les bois sont plus froids et contiennent moins d'eau, et plus lente en période de production biologique, pour les raisons inverses.

Les recherches se poursuivent sur l'amélioration de la sensibilité de cette nouvelle méthode de diagnostic, appliquée à l'évaluation non destructive de l'arbre vivant. Mais les résultats actuels sont déjà fort appréciés sur le terrain, et cette nouvelle technologie ouvre un horizon prometteur, pour l'évaluation objective rapide et non destructive de l'état de santé des arbres.

J.-L. SANDOZ Professeur	P. LORIN Ingénieur
ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE	
IBOIS - Construction en Bois	
GC (Ecublens)	
CH-1015 LAUSANNE (SUISSE)	

La chaire de construction en bois (IBOIS) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) est spécialisée dans l'ingénierie du bois, avec des activités de formation, recherche, développements et transferts de technologie. Dirigée par le Professeur Julius Natterer, ingénieur allemand de notoriété internationale, cet organisme universitaire s'est tourné depuis quelques années vers les problèmes de qualité et de valorisation du bois, depuis le niveau forestier (notamment avec des travaux de recherche sur les ultrasons, ayant abouti à la mise au point des technologies Sylvatest® et Sylvamic), jusqu'à l'innovation de structures en bois.

Cette recherche a été menée en collaboration avec l'Antenne romande à Lausanne de l'Institut fédéral de recherches sur la Forêt, la Neige et le Paysage et notamment M. Jean Combe, ingénieur forestier EPF-Zurich.

Cet article présente les performances et les possibilités de la détection de tares cachées dans l'arbre sur pied avec la méthode ultrasonore intégrée à Sylvatest®. L'efficacité de cette méthode est indéniable sur les tares grossières, telles que les pourritures de pied du Chêne ou de l'Épicéa. Les résultats sont moins précis sur la détection de la coloration, comme par exemple dans le cas du cœur rouge du Hêtre.