

Contraintes de croissance longitudinales et roulures dans les arbres de taillis de châtaignier

par Patrick FONTI

Le châtaignier, essence méditerranéenne, est un arbre dont le bois présente fréquemment des fractures qui en diminuent la valeur. Ces "roulures" sont-elles liées aux contraintes que subit l'arbre lors de sa croissance ? Cet article apporte une expérience et des données nouvelles dans une question qui reste complexe, et est utile dans ce sens à l'avancée de notre compréhension sur le sujet.

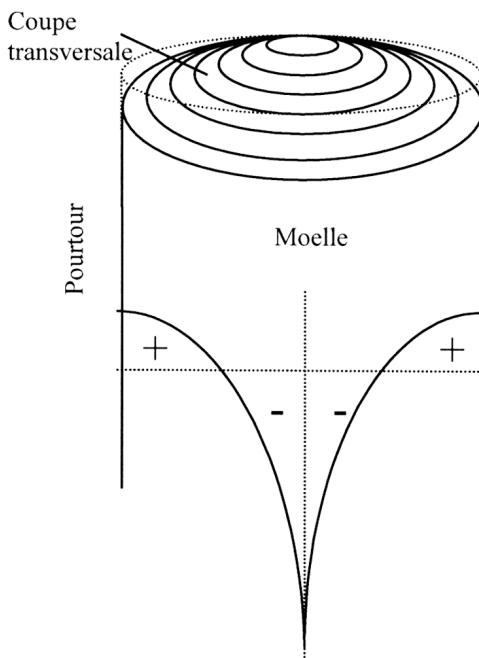
Introduction

Le bois de tous les arbres sur pied emmagasine une énergie mécanique qui peut se manifester sur certaines essences par des déformations instantanées importantes à la transformation (ARCHER 1986, KÜBLER 1987) : les troncs éclatent, les faces fraîchement tronçonnées des grumes se fendent, les planches de dosses se courbent, les débits sur maille se tordent, ...

En effet, le bois des arbres sur pied est soumis à des contraintes internes durant toute la vie de l'individu. Ces efforts, appelés contraintes de croissance, sont engendrés soit par le propre poids de l'arbre supporté par la tige (contraintes de support), soit par les contraintes de maturation. Ces dernières se produisent lorsque les cellules du bois bloquées dans la masse ligneuse ne peuvent plus changer de dimension à la suite de leur maturation (KÜBLER, 1987). Il en résulte des efforts internes, qualifiés de précontraintes, qui se traduisent dans la direction axiale du tronc par une tension du bois en périphérie et une compression du bois à l'intérieur du tronc. C'est donc au moment de l'abattage ou du sciage, lorsque les contraintes de croissance sont libérées, que le bois peut se fendre ou se tordre et perdre ainsi de sa valeur (C. Fig. 1) (ARCHER, 1986).

Le châtaignier commun (*Castanea sativa* Mill.) est fréquemment atteint de roulures, une fente parallèle au cerne qui évolue sur le plan longitudinal et tangentiel du bois. S'il est vrai que la structure du bois de châtaignier est portée à ce genre de fracture, il est évident aussi que le défaut doit être engendré par des contraintes. Le moment où les roulures apparaissent, leur position et les caractéristiques anatomiques

Fig. 1 :
 Schéma (exagéré) des déformations engendrées sur une grume à la suite d'une coupe transversale. En haut : la libération des contraintes longitudinales de croissance entraîne un changement des dimensions de la grume. Le cœur s'élargit tandis que le pourtour se contracte. En bas : répartition des contraintes longitudinales de croissance dans le tronc. Les zones de tension sont marquées par un + ; celles de compression par un -.



qu'elles présentent (FONTI et al, 2002 ; FONTI et MACCHIONI, in press) nous font supposer que la libération des contraintes de croissance jouent un rôle moteur dans le mécanisme conduisant à la roulure.

L'objectif de cette étude est de vérifier s'il existe une relation entre les contraintes de croissance et la formation de roulures dans le bois de châtaignier. Étant donné que ces contraintes ne peuvent être mesurées directement dans le bois, nous avons utilisé comme indicateur les déformations résiduelles longitudinales (DRL) présentes à la surface de l'arbre. Les DRL ont ensuite été mises en relation avec la présence et la répartition de roulures observées sur la coupe transversale des disques de bois prélevés à proximité des relevés DRL.

Tab. I (ci-dessous) :

Variation moyenne et standard du diamètre et des largeurs des cernes des arbres choisis.

Les données sont groupées par parcelles.

Entre [...] est notée la déviation standard des colonnes considérées.

Matériel et méthodes

Arbres et disques sélectionnés

La présente étude est principalement fondée sur l'analyse du rapport entre l'importance des déformations résiduelles longitudinales (DRL) dans des arbres sur pied, et la présence de roulures constatées dans la section transversale d'un disque de bois prélevé à proximité des DRL. Les arbres ont été sélectionnés parmi les individus de l'étage dominant dans trois taillis de châtaigniers situées au Sud des Alpes suisses, dans le canton du Tessin. Ce sont cinq arbres d'un peuplement soumis à des éclaircies intensives et régulières (Gorduno, peuplement de 29 ans), 21 arbres d'un peuplement soumis à des interventions sylvicoles occasionnelles et partielles (Brione, 26-45 ans) et 24 arbres d'un peuplement exempt de toute intervention et abandonné (Bedigliora, 62 ans).

Les DRL ont d'abord été mesurées dans tous les arbres sur pied sélectionnés pour cette étude. Puis, après les avoir abattus, nous avons prélevé un disque de 5 cm d'épaisseur à proximité de la zone des relevés DRL (à une hauteur de 1,3 m). Ces disques ont été utilisés pour établir la chronologie des cernes et caractériser les roulures présentes.

Mesure des DRL

La méthode utilisée pour mesurer les déformations résiduelles longitudinales (DRL) à la surface du bois d'arbres sur pied, repose sur l'examen des changements de dimensions qui s'opèrent dans le sens des fibres sous l'effet d'une diminution des contraintes à la suite du percement d'un trou à la surface du tronc (Cf. Fig. 2) comme décrit par ARCHER 1986 et FOURNIER et al. (1994).

Les mesures ont été relevées à hauteur de poitrine sur huit points équidistants marqués autour du tronc écorcé des arbres de l'échantillonnage. Le capteur utilisé pour mesurer les DRL a été positionné sur deux pointes distantes de 45 mm et plantées aux deux extrémités du point de mesure, puis la distance les séparant a été remise à zéro. Ensuite, une cavité de 20 mm de diamètre a été forée entre les deux pointes à l'aide d'un vilebrequin. Le trou a été considéré comme étant assez profond lorsque la valeur indiquée par le capteur était stable (entre 15 et 25 mm de profondeur). Finalement, les

Parcelles	Nombre d'arbres choisis	Diamètre à hauteur de poitrine (cm)	Largeur des cernes moyennes (cm)	Largeur des cernes moyennes des 10 derniers cernes (cm)
Bedigliora	24	29.65 [2.31]	2.282 [0.351]	1.418 [0.530]
Brione	19	29.60 [2.41]	3.436 [0.871]	2.983 [1.461]
Gorduno	5	28.40 [1.52]	5.288 [0.924]	3.814 [1.956]
Total	48	29.50 [2.28]	3.052 [1.148]	2.287 [1.453]

déformations longitudinales indiquées par le capteur ont été enregistrées sitôt après avoir retiré le vilebrequin.

Examen du disque

Afin de lisser la surface de la section transversale du disque, le bois a été poli avec un papier de verre de grains 150. La série chronologique des cernes a été établie pour chaque disque (sur deux rayons) en utilisant une table de positionnement numérique appropriée à l'analyse des cernes (Lintab) et connectée à un logiciel de gestion de données dendrochronologiques (Tsap).

La présence de roulures a été relevée en tenant compte de toutes les fentes tangentialles visibles sur la section transversale du disque et d'une longueur supérieure à 1 cm. Le relevé a d'abord été réalisé sur des disques verts. Il a été ensuite répété sur les mêmes disques, après les avoir séchés à l'air et à l'abri pendant près d'un an. La longueur du défaut, son emplacement sur le disque et l'année du cerne fracturé ont été notés pour chaque roulure. Ensuite, un indice des roulures (angle circulaire total couvert par les roulures) a été calculé pour le disque de bois entier. Cet indice correspond à la somme des angles des sections circulaires couvertes par chaque roulure observée sur le disque.



Photo 1 :

La roulure est une fente parallèle au cerne qui évolue sur le plan longitudinal - tangentiel du bois.

Photo P. Krebs

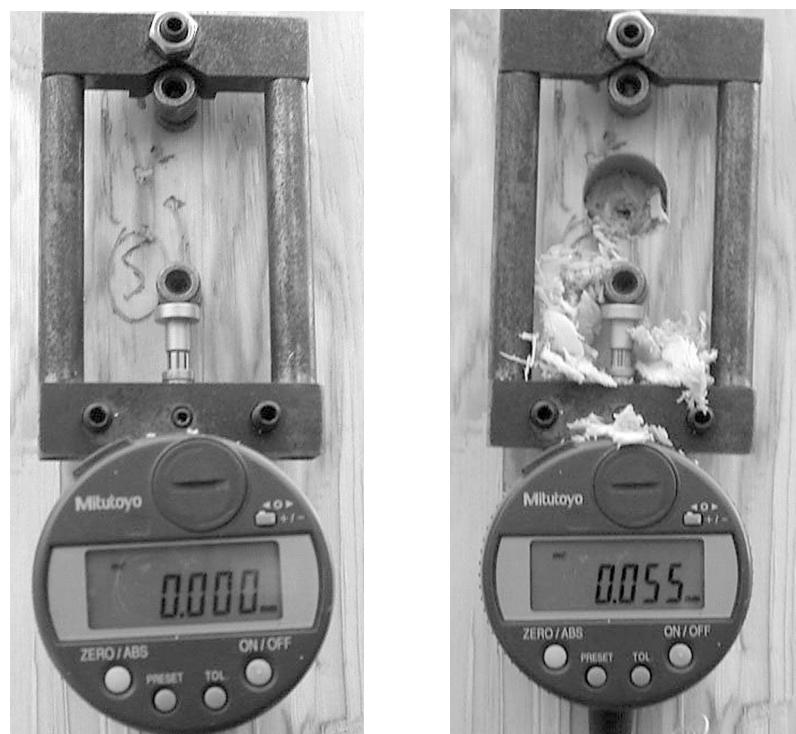


Fig. 2 (ci-dessus) :

Vue du capteur avant et immédiatement après le perçage du trou. L'apparition de cette cavité a pour conséquence d'atténuer une partie des contraintes. La technique utilisée pour l'estimation des DRL repose sur la méthode dite du "trou unique". Cet essai mécanique s'appuie sur le principe suivant : à géométrie de capteur fixée, plus la contrainte est grande, plus les pointes s'écartent lors du perçage. Comme le montre l'affichage, la distance entre les deux pointes a augmenté de 55 µm à la suite du percement.

Résultats et discussion

DRL par peuplement

Le tableau II montre les variations moyennes et standard des valeurs DRL obtenues dans trois peuplements. Les valeurs moyennes, qui oscillent entre un minimum de 37.5 µm et un maximum de 49.0 µm, ne sont pas plus élevées que celles mesurées sur d'autres espèces connues pour avoir des valeurs de contraintes élevées, comme le hêtre, l'eucalyptus ou le peuplier (Fournier et al., 1994 ; Projet FAIR 2001). Comparées à d'autres relevés établis dans des taillis de

Tab. II (ci-contre) :
Variations moyennes, maximales, minimales et standard des DRL dans le bois de châtaignier.
Les données sont groupées par peuplement et exprimées en µm.

Peuplement	Moy	Max	Min	Variation standard
Gorduno	47.6	71.3	25.5	12.8
Bedigliora	37.5	71.0	12.3	9.8
Brione	49.0	91.1	24.6	27.4

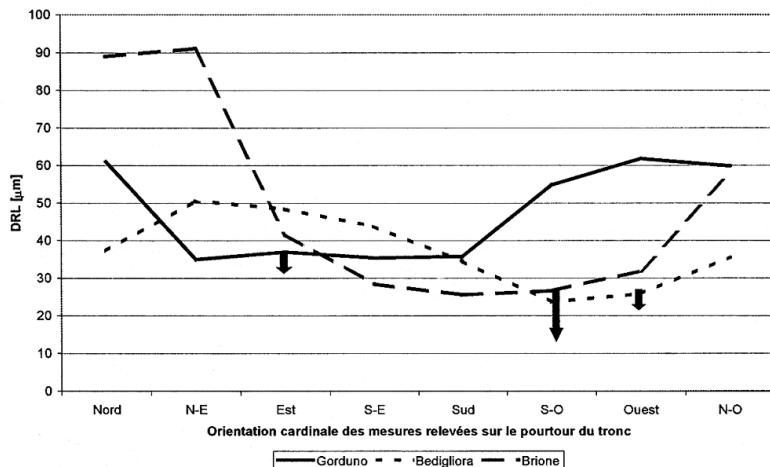
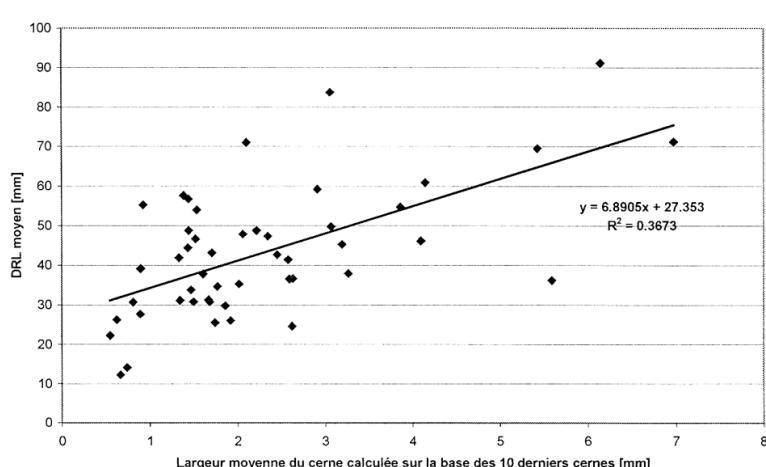


Fig. 3 (ci-dessus) :
Répartition de la surface moyenne des DRL dans les différents peuplements. Les flèches indiquent l'exposition principale et le degré de déclivité (proportionnel à la longueur des flèches) de la pente du terrain.

châtaignier, ces valeurs sont plus basses que celles obtenues par Thibaut et al. (1995) qui arrive à une moyenne de 76 µm dans le peuplement de Poitou-Charente (France) et de 66 µm dans celui de Torre Canavese (Piémont, Italie).

La répartition autour du tronc des déformations longitudinales dans les arbres des différents peuplements est présentée à la figure 3. Les courbes suivent toujours une ligne sinusoïdale, avec une pointe plus ou moins nette. Cela pourrait signifier que le degré de déclivité et l'exposition principale de la pente du terrain auraient un effet sur l'inclinaison du tronc et l'excentricité du houppier. En fait, nous constatons que la valeur DRL est plus basse dans la partie de l'arbre orientée vers le bas de la pente du terrain.

Fig. 4 (ci-dessous) :
Relation entre la DRL moyenne de chaque arbre et la largeur moyenne des dix derniers cernes.



Variation du DRL entre les arbres et dans l'arbre

Comme le montre le tableau II, la DRL moyenne des arbres appartenant au même peuplement varie largement. Dans le peuplement de Bedigliora, par exemple, le rapport entre la DRL moyenne la plus élevée (71.0 µm) et la plus basse (12.3 µm) est de 5.7. Les variations constatées à l'intérieur de l'arbre sont aussi frappantes : certains individus présentent des sections de tronc avec une déformation longitudinale 5 fois plus grande que les "valeurs standard". Ces observations sont similaires à celles énoncées dans de précédentes études (THIBAUT, 1994 ; ELZIÈRE, 1995 ; THIBAUT et al., 1995). Ce phénomène pourrait être lié à la répartition hétérogène du bois de réaction qui est soumis à des contraintes de maturation particulièrement fortes en comparaison du bois « normal » (FOURNIER et al., 1994).

Relation entre les DRL et la largeur des cernes

L'analyse de la relation entre les déformations résiduelles longitudinales et la croissance radiale du dernier cerne a montré que les arbres ayant des cernes plus larges atteignent des valeurs de déformation supérieures à celles des arbres aux cernes plus étroits (Cf. Fig. 4), conformément aux résultats de THIBAUT (1994). Néanmoins la même tendance n'a pas été constatée à l'intérieur de ces mêmes arbres : en fait, la section du tronc caractérisée par des cernes étroits n'affiche pas de valeur de déformation longitudinale en surface nettement plus basse que celle présentant des cernes larges.

Relation entre les DRL et la présence de roulures

Comme le montre la figure 5, aucune relation n'apparaît entre un haut niveau de déformation dans la partie externe du tronc et les roulures observées sur les disques de bois vert et de bois sec. En effet, la longueur et la fréquence des roulures n'ont pas un rapport notable avec la valeur maximale des déformations lors du relâchement de la pression (Cf. Fig. 6). En fait, les roulures peuvent être fréquentes et réparties de manière homogène tout autour du disque dans des arbres présentant de faibles valeurs DRL (6b) tout comme elles peuvent être inexis-

tantes dans des arbres où ces valeurs sont élevées (6a). Nous avons aussi constaté que dans les arbres où la répartition des DRL est hétérogène, la roulure peut se localiser aussi bien dans des sections de tronc aux valeurs DRL élevées (6c) que dans celles où elles sont faibles (6d).

Considérations d'ordre général

Les mesures des déformations résiduelles longitudinales (DRL) en surface ont montré qu'il existe de fortes variations aussi bien à l'intérieur d'un même arbre qu'entre les arbres d'un même peuplement. Cela est tout à fait normal, car les paramètres de qualité des arbres et du bois dépendent principalement de nombreuses variables internes et externes. Néanmoins, la comparaison générale entre les peuplements indique une tendance vers un abaissement des valeurs DRL qui va de pair avec l'exposition de la pente du terrain. Il est probable que ce phénomène est lié à l'effet que le bois de tension exerce sur les contraintes (KÜBLER, 1987). Le traitement sylvicole ne semble pas avoir influencé les valeurs moyennes DRL dans le peuplement. Une légère augmentation des valeurs DRL a toutefois été constatée dans des zones où les cernes étaient plus larges.

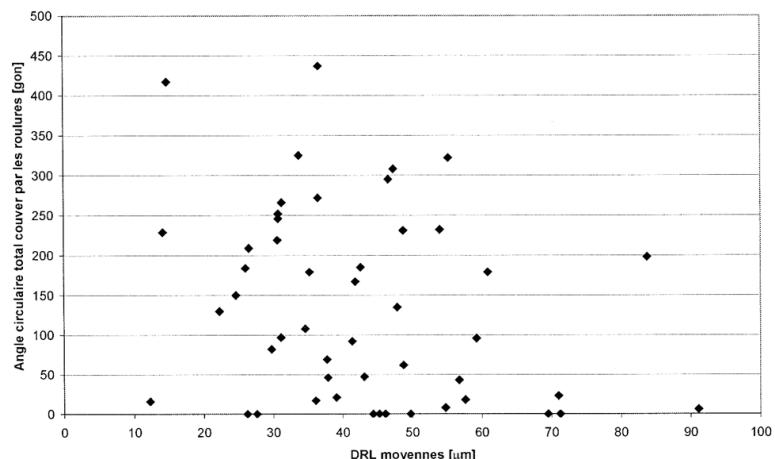
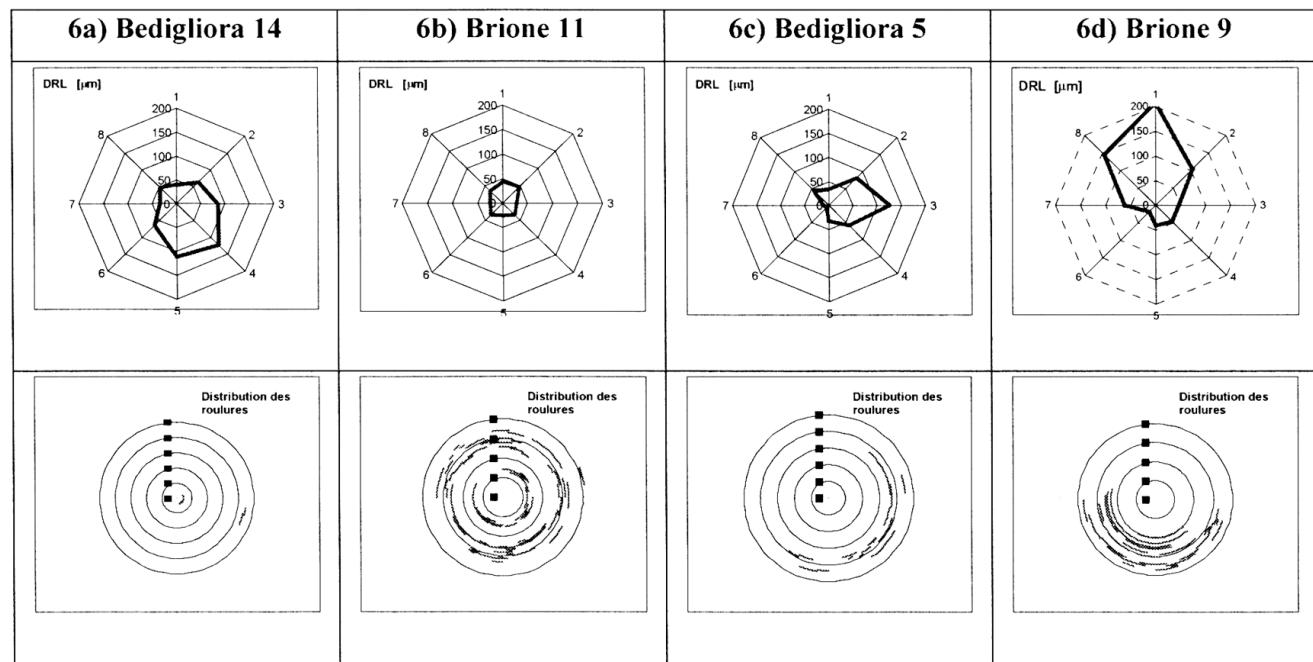


Fig. 5 (ci-dessus) :
Relation entre les DRL moyennes et l'indice des roulures.

Fig. 6 (ci-dessous) :
Exemple de différents schémas reflétant la présence de roulures et la répartition des DRL sur la partie externe du tronc.
6a) roulures peu fréquentes et valeur DRL élevée ;
6b) roulures fréquentes et valeur DRL faible ;
6c) roulures fréquentes dans le secteur du disque présentant une valeur DRL élevée ;
6d) roulures fréquentes dans le secteur du disque présentant une valeur DRL faible.



Patrick FONTI
WSL, Institut fédéral
de recherches
sur la forêt, la neige
et le paysage,
Sottostazione Sud
delle Alpi,
Via Belsoggiorno 22,
case postale 57,
CH-6504 Bellinzona,
Suisse

Néanmoins, l'étude ne révèle aucune relation évidente entre la présence de roulures et la longueur des DRL mesurées en surface. Les arbres ou sections de tronc soumis à de fortes contraintes ne présentaient pas un plus grand nombre de roulures. Toutefois, nombreuses sont les limites méthodologiques qui peuvent avoir masqué l'existence de cette relation et cela indépendamment de la capacité cohésive radiale de l'arbre. D'une part, la méthode consistant à percer un seul trou aux arbres sur pied ne permet de caractériser qu'indirectement les contraintes de croissance et uniquement dans la partie externe du tronc. Étant donné que les DRL n'ont été mesurées que dans une cavité de 20 mm de profondeur, il n'est pas possible d'élucider dans quelle mesure les contraintes s'exerçant à l'intérieur du tronc influencent la formation de roulures qui apparaissent généralement dans cette partie de l'arbre (MACCHIONI et PIVIDORI, 1996 ; FONTI et al., 1998). D'autre part, si l'on veut calculer la valeur effective de la contrainte, il faut multiplier le facteur de déformation par le coefficient d'élasticité. Mais comme celui-ci peut être différent selon l'endroit où il est mesuré, il est possible qu'il couvre en partie la relation entre les DRL et les contraintes. Et enfin, il faut aussi ajouter qu'il existe un

champ de contraintes de croissance transverses (radiales et tangentielles) qui ne sont pas mesurées par la méthode du DRL et qui doivent jouer un rôle dans le développement des fissures. Le travail de JULLIEN (1995) a montré qu'il n'y a pas de liaison directe entre les DRL et les précontraintes transverses.

En conséquence, les observations faites au cours de cette étude ne permettent pas de confirmer ni de rejeter l'hypothèse selon laquelle la présence de roulures serait liée à des contraintes de croissance de forte intensité.

P.F.

Remerciements

Je remercie particulièrement Franco Fibbioli pour l'aide qu'il m'a apportée dans la réalisation de ce travail et Robert Widmann pour ses précieux conseils. Ma reconnaissance s'adresse aussi à Jürgen Sell et Marco Conedera pour leurs commentaires et suggestions concernant le manuscrit. Je remercie aussi Monique Dousse pour la traduction du texte en français.

Bibliographie

- Archer, R. (1986). *Growth stresses and strain in trees*, Springer Verlag Berlin
- Elzière, S. (1995). "Influence de l'éclaircie sur des brins de taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) Analyse de tige, contraintes de croissance et fissilité du bois," Mémoire, Ecole nationale d'ingénieur des travaux agricoles de Bordeaux, Bordeaux, 57.
- FAIR-Project (2001). "Stresses in beech : occurrence and relevance of growth stresses in beech (*Fagus silvatica* L.) in central Europe". Final report, FAIR-Project CT98-3606, 323.
- Fonti, P., Giudici, F., Kucera, L. J., Ott, E., and Pöhler, E. (1998) "Studio sulla cipollatura in un ceduo castanile." Atti del convegno nazionale sul castagno, Cison di Valmarino (Treviso), 293-302.
- Fonti, P., and Macchioni, N. (in press). "Ring shake in chestnut : anatomical description, extent and frequency of failures." Annals of forest science.
- Fonti, P., Macchioni, N., and Thibaut, B. (2002). "Ring shake in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) : state of the art." Annals of Forest Science, 59, 129-140.
- Fournier, M., Chanson, B., Thibaut, B., and Guitard, D. (1994). "Mesures de déformation résiduelle de croissance à la surface des arbres en relation avec leur morphologie. Observations sur différentes espèces." Annals of Forest Science, 51, 249-266.
- Jullien, D. (1995). "Analyse expérimentale et numérique des contraintes résiduelles dans un matériau élastique orthotrope élaboré par couches successives. Cas d'un disque de bois vert." Thèse, Université de Montpellier II, Montpellier, 214.
- Kübler, H. (1987). "Growth stresses in trees and related wood properties." Forest Products Abstracts, 10(3), 61-119.
- Macchioni, N., and Pividori, M. (1996). "Ring shake and structural characteristics of a chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice stand in northern Piedmont (northwest Italy)." Annals of Forest Sciences, 53, 31-50.
- Thibaut, B. (1994). "New silvicultural methods and innovative technologies for the valorisation of Chestnut wood as a prime resource for industry." Contract MA2B-CT91-0027, Forest Program Chestnut - Task C - Operative Unit 9, 21.
- Thibaut, B., Fournier, M., and Jullien, D. (1995). "Contraintes de croissance, recouvrance différée à l'étuvage et fissuration des grumes : cas du châtaignier." Forêt Méditerranéenne, 16(1), 85-91.

Résumé

Les fractures du bois résultent d'un déséquilibre entre la résistance du matériau et les contraintes qui s'y exercent. Le châtaignier est un arbre dont le bois présente souvent des roulures, une fente concentrique parallèle au cerne annuel. Le moment où ces roulures apparaissent, et la position du tronc dans lequel elles se trouvent, nous font supposer que les contraintes de croissance, combinées à une faiblesse structurale dans le sens radial, engendrent la formation de roulures. Toutefois aucune relation évidente n'a été établie jusqu'à ce jour entre l'existence de fortes contraintes et la présence de nombreuses roulures dans le bois de châtaignier. Pour étudier les contraintes de croissance, nous avons observé les déformations longitudinales qui se produisent autour du tronc lorsque la contrainte est libérée. Nous avons utilisé à cet effet une méthode dite du "trou unique", consistant à percer un seul trou à l'intérieur de l'arbre. Pour examiner les roulures, nous avons relevé la longueur et la position des fentes sur des sections de tronc prélevées à proximité des points où les contraintes avaient été mesurées (à hauteur de poitrine). Les résultats ne montrent pas de relation évidente entre l'importance des déformations résiduelles longitudinales (DRL) dues aux contraintes, et l'intensité des roulures. Toutefois, étant donné que la méthode appliquée ne permet qu'une estimation approximative des contraintes, il n'est pas possible de confirmer ni de rejeter l'hypothèse selon laquelle la roulure serait liée à de fortes contraintes de croissance.

Contraintes de croissance / *Castanea sativa* / roulure / méthode du trou unique

Summary

Mechanical failures in wood are the result of an imbalance between wood strength and stresses. European chestnut is a wood species very often affected by ring shake, a concentric failure parallel to the annual growth ring. The timing and the stem position in which ring shakes occur let us suppose that, combined with a radial structural weakness, growth stresses result in ring shake development. However, to this date no evidence of a relationship between high stress level and elevated ring shake incidence in chestnut wood has been supported. To investigate growth stresses, longitudinal displacements induced by stress release were estimated at the periphery of the stem using the single hole drilling method. To examine ring shake, the length and position of splits occurring on cut sections near stress measurements (breast height) were surveyed. Results do not show any clear relationship between the level of strain-induced displacement (SID) and ring shake intensity. However, due to some limitations of the applied method in estimating stress levels, it is not possible to assess or reject whether ring shake incidence is related to elevated growth stress.

Growth stresses / *Castanea sativa* / ring shake / single hole drilling method

Riassunto

Fratture del legno di tipo meccanico sono il risultato di un disequilibrio tra coesione e tensioni. Il castagno è una specie legnosa molto spesso affetta da cipollatura, una frattura concentrica che si sviluppa lungo l'anello di accrescimento annuale. Il momento dell'insorgenza e la posizione nella quale la cipollatura si manifesta fa supporre che, associata a una debole coesione radiale, le tensioni di crescita siano il "motore" della cipollatura. Ciononostante, nessuna relazione tra un elevato livello di tensioni e un'alta intensità di cipollatura è stata attualmente evidenziata. Allo scopo di studiare le tensioni di crescita, si è misurato sulla superficie dei fusti la deformazione residua longitudinale (DRL) susseguente alla liberazione delle tensioni utilizzando il metodo denominato "del singolo buco". La cipollatura è stata caratterizzata sulla superficie trasversale di rotelle prelevate in prossimità dei rilievi DRL (altezza a petto d'uomo) tenendo conto della lunghezza e della posizione. I risultati ottenuti non mostrano nessuna chiara relazione tra il livello delle deformazioni longitudinali (DRL) e l'incidenza della cipollatura. A causa di alcune limitazioni dovute al metodo adottato per la stima dei livelli di tensione non è stato possibile ne accettare ne rifiutare l'ipotesi di una relazione tra cipollatura e livelli di tensioni elevati.

Tensioni di crescita / *Castanea sativa* / cipollatura / metodo del singolo buco