

Étude comparative des caractéristiques physiques et mécaniques du bois des mélèzes d'Europe (*Larix decidua* Mill.), du Japon (*Larix kaempferi* (Lambert) Carr.) et de leur hybride (*Larix x eurolepis* Henry)

Stéphane Charron ⁽¹⁾, Benoit Jourez ⁽²⁾, Michèle Marchal ⁽²⁾, Jacques Hébert ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Unité de Gestion et Économie forestières. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : charron.s@fsagx.ac.be

⁽²⁾ Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois. Ministère de la Région wallonne. Avenue Maréchal Juin, 23. B-5030 Gembloux (Belgique).

Reçu le 20 août 2002, accepté le 17 mars 2003.

L'objectif de la présente recherche est de comparer les caractéristiques physiques et mécaniques de deux espèces de mélèze et de leur hybride (*Larix decidua* Mill., *Larix kaempferi* (Lambert) Carr. et *Larix x eurolepis* Henry). Pour chaque espèce, des éprouvettes normalisées ont été extraites de cinq arbres et soumises aux essais de qualification définis par les normes NBN 225, NF B 51-16 et DIN 52189. Le mélèze du Japon et le mélèze hybride présentent des caractéristiques physiques et mécaniques très semblables, quoique toujours inférieures à celles observées pour le mélèze d'Europe. Ce résultat s'explique en partie par la densité moyenne plus élevée du bois de ce dernier. Le bois juvénile présente, pour les trois espèces, des propriétés physiques et mécaniques plus défavorables. Le bois de mélèze produit en Région wallonne présente de grandes potentialités technologiques. Il est donc intéressant d'étendre sa culture et de le valoriser, tout en prévoyant des procédures de classement adéquates. Le mélèze apparaît ainsi comme une essence polyvalente, apte à de nombreux usages tant intérieurs qu'extérieurs.

Mots-clés. *Larix*, bois juvénile, bois adulte, caractéristiques physiques, caractéristiques mécaniques, technologie, Belgique.

Comparison study of physical and mechanical characteristics of European (*Larix decidua* Mill.), Japanese (*Larix kaempferi* (Lambert) Carr.) and hybrid (*Larix x eurolepis* Henry) larch woods. This present research aims to compare physical and mechanical characteristics between two larch species and their hybrid (*Larix decidua* Mill., *Larix kaempferi* (Lambert) Carr. et *Larix x eurolepis* Henry). From each species, normalised samples have been sawn from five trees, and submitted to normalised tests according to the norms NBN 225, NF B 51-016 and DIN 52189. The Japanese (*Larix kaempferi* (Lambert) Carr.) and hybrid (*Larix x eurolepis* Henry) larches present similar physical and mechanical properties, always lower than those observed for the European one. This is partly explained by a higher mean wood density for this species. Whatever the species, juvenile wood presents lower physical and mechanical properties than mature wood. The larch wood produced in the Walloon Region presents a large technological potential that it is interesting to promote, without forgetting to adapt the classification procedures. Consequently, larch appears to be a versatile species, which can be used for numerous purposes, inside as well as outside.

Keywords. *Larix*, juvenile wood, mature wood, physical characteristics, mechanical characteristics, technology, Belgium.

1. INTRODUCTION

Le mélèze est une essence résineuse "exotique" apparue pour la première fois en Belgique vers la fin du 18^e siècle. En Région wallonne, deux espèces et leur hybride sont présents : le mélèze d'Europe (*Larix decidua* Mill.), le mélèze du Japon (*Larix kaempferi* (Lambert) Carr.) et le mélèze hybride (*Larix x eurolepis* Henry).

Ces essences forestières, relativement méconnues en Belgique, couvrent en Région wallonne une superficie de 8300ha (peuplements purs), soit 4 % de la superficie occupée par l'ensemble des peuplements résineux. Cette faible représentation permet d'expliquer l'absence d'une filière wallonne propre au mélèze. Pour la catégorie de plus de 90 cm de circonférence, le volume bois fort tige des mélèzes s'élève à 1.024.200 m³, soit 3,4 % du volume bois fort tige résineux (Lecomte et

al., sous presse). Cependant, cette situation semble évoluer compte tenu du regain d'intérêt qu'a suscité le mélèze au cours des dernières années, dans une optique de diversification des essences résineuses.

Eu égard à l'augmentation de son utilisation consécutive aux efforts consentis en faveur de la construction en bois en Région wallonne, le mélèze apparaît comme une essence alternative, digne d'intérêt. En effet, le duramen de mélèze se distingue de celui des autres conifères européens par une plus grande dureté et par une masse volumique la plus élevée des conifères (Guggenbühl, 1983 ; Jourez *et al.*, 1999). Les recherches effectuées par Collardet et Besset (1992) ainsi que par Thibaut (1994) sur le mélèze récolté dans son aire naturelle ont mis en évidence sa supériorité technologique face aux autres résineux européens et au mélèze cultivé en plaine en dehors de son aire d'origine. Ces performances, qui ont valu au mélèze d'Europe le surnom de chêne des montagnes, le classent comme bois mi-lourd et mi-dur (Collardet, Besset, 1992 ; Jourez *et al.*, 1999). Sa durabilité naturelle le prédispose, plus que tout autre résineux européen, à un usage extérieur (Guggenbühl, 1983 ; Jourez *et al.*, 1999). Caractérisé par ses qualités technologiques supérieures, quoique variables en fonction de la localisation géographique (latitude et altitude) et des conditions de croissance, le mélèze présente néanmoins une nervosité élevée. Cet inconvénient trouve son origine, entre autres, dans la forme souvent "sabrée" de la base du tronc qui conduit à une excentricité du cœur et à la formation de bois de compression responsable de tensions internes (Polge, Illy, 1967 ; Keller, 1994). Cette nervosité est un argument souvent avancé par l'industrie de transformation qui se désintéresse du mélèze, malgré sa facilité de sciage et d'usinage.

De nombreux auteurs (Goblet d'Alviella, 1946 ; Guinier, 1953 ; Thibaut, 1994) reconnaissent au mélèze un développement juvénile très rapide, ce qui peut paraître intéressant du point de vue de la production. Cependant, en regard de la littérature (Polge, 1964 ; Zobel, Sprague, 1998), il apparaît que ce bois juvénile ne possède pas, contrairement au bois adulte, toutes les qualités requises pour la plupart des secteurs d'utilisation. Ceci s'explique, entre autres, par la présence de cernes plus larges, d'une masse volumique moindre, d'une texture plus faible et de trachéides plus courtes dans le bois juvénile.

Il convient de mentionner que ces informations, issues de la littérature, sont essentiellement relatives au mélèze d'Europe croissant dans son aire d'origine. Cette étude a pour premier objectif de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des mélèzes cultivés en Wallonie dans des conditions de croissance plus favorables. De plus, au vu des nombreuses recherches effectuées, notamment en génétique, sur le mélèze hybride, il est opportun de déterminer les

caractéristiques technologiques de celui-ci et de les comparer à celles de ses parents européen et japonais. Notre second objectif est de comparer les caractéristiques technologiques des bois juvénile et adulte, compte tenu de la confusion fréquente entre l'impact de la largeur des cernes et celui du bois juvénile.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel expérimental

Le matériel expérimental est issu de plantations équiennes pures ou quasi-pures (le mélèze y occupe au moins 80 % de la surface terrière totale), dans lesquelles le mélèze se trouve en station. Le choix s'est porté sur des arbres dominants, non fourchus, à cime bien équilibrée, entourés par des compétiteurs de la même espèce, au sein d'un groupe homogène de mélèzes formant un effet de massif et possédant une circonférence comprise entre 90 et 150 cm à 1,3 m du sol (**Tableau 1**). Cette gamme de circonférences présente l'avantage de satisfaire aux exigences des divers secteurs de la première transformation et d'être la plus représentée dans les parcs à grumes des scieries.

Tableau 1. Principales caractéristiques dendrométriques des quinze arbres sélectionnés — *Main dendrometrical characteristics of the fifteen trees sampled.*

Arbre	Âge (ans)	Circ. à 1,3 m (cm)	Situation géographique	Alt. (m)
1	61	134	Vallées inférieures et moyennes du bassin mosan	130
13	54	99	Condroz et Condroz oriental	235
14	54	117	Condroz et Condroz oriental	235
35	51	132	Vallées inférieures et moyennes du bassin mosan	170
38	51	128	Vallées inférieures et moyennes du bassin mosan	170
12	57	130	Marlagne et Ardenne condruzienne	255
30	55	139	Ardenne occidentale	380
42	55	145	Ardenne occidentale	380
47	42	114	Ardenne occidentale	415
73	47	106	Ardenne occidentale	320
75	55	136	Ardenne centro-orientale	400
76	52	144	Ardenne centro-orientale	400
79	48	129	Ardenne centro-orientale	440
91	28	90	Marlagne et Ardenne condruzienne	205
105	28	90	Marlagne et Ardenne condruzienne	205

Circ. = circonférence ; Alt. = altitude.

En raison de la faible représentativité du mélèze hybride en Région wallonne, il n'a pas été possible de prélever plus de cinq arbres répondant aux critères de sélection. Pour rendre la comparaison valable et ne pas induire de variations supplémentaires, les quinze arbres considérés, à raison de cinq par espèce de mélèze¹, proviennent de régions voisines et de même altitude (**Tableau 1**).

2.2. Mode de prélèvement des éprouvettes

Le matériel expérimental est constitué de 15 billons de 1,2 m de longueur prélevés à la base des arbres échantillonnés. Trois plateaux de 85 mm d'épaisseur en ont été découpés : le premier, centré sur la moelle, a été orienté suivant le plus petit rayon et les deux autres lui sont perpendiculaires au niveau de la moelle. Après un séchage naturel sous abri, les plateaux ont été débités tangentiellement aux cernes, en lamelles de 25 mm d'épaisseur ; ce mode de découpe répond aux exigences de la norme belge NBN-ISO 3129 (Anonyme, 1993). Au total, 136 lamelles ont été sélectionnées, à savoir 45 pour le mélèze d'Europe, 50 pour le mélèze du Japon et 41 pour le mélèze hybride.

Après un conditionnement en ambiance contrôlée à 20 ± 2 °C et à 65 ± 5 % d'humidité relative dans une chambre climatisée, de façon à amener le taux d'humidité à 12 %, les lamelles ont été découpées dans le sens radial en trois barreaux de $25 \times 25 \times 1200$ mm. Ces barreaux ont ensuite été mis à épaisseur définitive de 20×20 mm. Dans chaque lamelle, deux éprouvettes ont été sélectionnées selon les critères de la norme belge NBN 225 (Anonyme, 1956), c'est-à-dire : fil droit, absence d'aubier, de nœud et de défaut quelconque. La première éprouvette, de 340 mm de longueur, est destinée aux essais physiques et de résilience et la seconde, de 360 mm, utilisée pour la détermination du module d'élasticité en flexion statique, répond aux exigences de la norme française NF B 51-003 (Anonyme, 1987).

Les 272 éprouvettes ont été maintenues à un taux d'humidité de 12 % pendant toute la durée des essais.

2.3. Détermination des bois juvénile et adulte

En l'absence d'une définition précise de la limite entre les bois juvénile et adulte, il a été convenu de considérer arbitrairement deux classes d'âge compté depuis la moelle, de 7 à 17 ans et de 20 à 39 ans, correspondant respectivement au bois juvénile et au bois adulte. Zobel et Sprague (1998) ont montré que la détermination de la limite du bois juvénile varie en

fonction de la caractéristique étudiée. Le choix des classes permet aussi d'obtenir un nombre d'éprouvettes identique dans les deux populations. L'interprétation des données relatives à ces deux types de bois doit s'effectuer avec prudence car il est possible de trouver au sein de la première classe un faible pourcentage de bois dont les caractéristiques sont proches de celles du bois adulte.

2.4. Méthodes d'essai

Les essais de qualification ont été réalisés sur des éprouvettes normalisées sans défauts, conformément à la norme NBN 225 (Anonyme, 1956). Pour la détermination du module d'élasticité en flexion statique et de la résilience, il a été convenu de suivre respectivement les normes NF B 51-016 (Anonyme, 1987) et DIN 52189 (Anonyme, 1981) car elles sont plus récentes et d'application en Belgique.

Âge cambial. L'âge cambial d'un cerne est l'âge du cambium au moment de la formation de ce cerne pour la hauteur considérée. Il est déterminé par la position du cerne compté depuis la moelle. L'âge cambial associé à une éprouvette est la moyenne de l'âge cambial des cernes observés aux deux extrémités de l'éprouvette. Ce paramètre sert au classement des éprouvettes dans une des deux catégories (bois juvénile/bois adulte).

Largeur des cernes. La largeur des cernes d'une éprouvette est définie comme le quotient de deux fois la largeur de l'éprouvette par le nombre total de cernes comptés sur les deux faces transversales ; elle est exprimée en millimètres (mm).

Masse volumique à 12 % d'humidité. La masse volumique est déterminée par le rapport entre la masse pesée avec une précision de 0,005 g et le volume de l'échantillon, mesuré au volumétre à mercure de Breuil (précision de 0,01 cm³). Elle est exprimée en kilogrammes par mètre cube (kg m⁻³).

Infradensité. L'infradensité, exprimée en kg m⁻³, est définie par le rapport entre la masse anhydre et le volume saturé de l'échantillon. Ce paramètre est important à considérer car il représente, pour chaque échantillon, le rapport de deux valeurs constantes contrairement à la masse volumique, qui peut varier en fonction du taux d'humidité.

Retrait. Le retrait représente la diminution des dimensions du bois suite à la réduction de son humidité sous le point de saturation des fibres. C'est un paramètre important à considérer car il détermine partiellement la stabilité dimensionnelle des ouvrages en service.

¹ Pour le reste de l'étude, le terme espèce sera utilisé pour les trois mélèzes étudiés, même s'il est d'usage de parler de deux espèces et de leur hybride.

Retrait volumique total. Le retrait volumique total (%) est la différence entre le volume de l'éprouvette saturée en eau et son volume anhydre, rapportée au volume anhydre, conformément à la norme belge NBN 225.

Il faut attirer l'attention du lecteur sur le fait que la norme française utilise le volume saturé comme dénominateur, ce qui a pour conséquence d'induire des valeurs de retraits plus favorables.

Retrait linéaire total. Les retraits linéaires, différents suivant la direction considérée, sont responsables de l'anisotropie du bois. Cette dernière induit des variations de forme des pièces débitées.

Le retrait linéaire total (%), dans une direction considérée, est la variation de la longueur entre l'état saturé et l'état anhydre, rapportée à cette longueur à l'état anhydre, conformément à la norme belge NBN 225.

L'anisotropie du retrait est exprimée par le rapport du retrait tangentiel au retrait radial. Elle donne une indication de l'importance des déformations qui peuvent apparaître lors du séchage en dessous du point de saturation des fibres.

Module d'élasticité en flexion statique. La méthode, décrite par la norme française NF B 51-016, permet de déterminer le module d'élasticité dans la zone de flexion pure en déformation élastique, sous une charge progressive croissante appliquée aux tiers points. Le module d'élasticité est exprimé en mégapascals (MPa).

Ce test et le suivant sont réalisés selon le "système 4 points" à l'aide d'une machine d'essais de marque Instron 5582 qui présente une précision de l'ordre de 2 microns pour la mesure de la flèche et du pour cent pour la détermination de la charge.

Contrainte de rupture en flexion statique. La contrainte de rupture en flexion statique (MPa) représente la charge maximale que le bois peut momentanément supporter avant la rupture.

Dureté de flanc Chalais-Meudon. La dureté exprime la résistance qu'offre un bois à la pénétration d'un corps dur. La dureté (nombre sans unité) est égale à l'inverse de la flèche de pénétration de la génératrice d'un cylindre d'acier imprimé sous une charge de 1000 N par centimètre de largeur d'éprouvette.

Résilience. Le coefficient de résilience mesure la résistance du bois à la flexion par choc ($J\ cm^{-2}$). Il est proportionnel au travail total de rupture.

Compression axiale. La contrainte de rupture en compression axiale (MPa) exprime la résistance du bois à l'écrasement dans le sens axial.

Cisaillement longitudinal. La contrainte de rupture en cisaillement longitudinal radial (MPa) définit la résistance du bois au glissement des fibres les unes sur les autres dans le plan longitudinal.

Traction perpendiculaire aux fibres. La contrainte de rupture en traction (MPa) définit l'adhérence interne du bois. L'essai est pratiqué dans le plan tangentiel.

Fendage. La résistance au fendage (Nmm^{-1}) caractérise le degré de fissilité du bois. L'essai est réalisé dans le plan tangentiel.

2.5. Méthode d'analyse statistique

L'analyse statistique des données relatives à ces essais a été réalisée au moyen du logiciel Minitab (version 12.3) en recourant au modèle linéaire généralisé. Le plan d'échantillonnage adopté correspond à un modèle mixte d'analyse de la variance, partiellement hiérarchisé à trois critères de classification (AV3) : espèce (3), arbre (15), maturité du bois (juvénile-adulte) (Dagnelie, 1975). Le facteur aléatoire "arbre" est subordonné au facteur fixe "espèce" et ce dernier facteur est croisé avec le facteur fixe "maturité du bois".

Suite à la sélection d'éprouvettes sans défaut, les bois juvénile et adulte ne sont pas représentés au sein de chaque arbre. Pour cette raison, l'interaction entre les facteurs "arbre" et "maturité du bois" n'a pas été prise en considération et a pu être négligée car elle présente peu d'intérêt en regard des objectifs, orientés vers la comparaison des espèces.

Des analyses complémentaires de la covariance ont porté sur diverses propriétés mécaniques afin de comparer les trois mélèzes en neutralisant les effets liés à la masse volumique ou à la largeur des cernes. Comme la relation entre les propriétés étudiées et la largeur des cernes possède une allure curvilinéaire, il a été nécessaire d'effectuer dans ce cas une transformation de variable pour satisfaire une condition d'application du modèle d'analyse de la covariance, à savoir une relation linéaire entre la variable analysée et la covariable. La transformation "logarithme" appliquée à la largeur des cernes répond à cette exigence.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Préambule

Avant de réaliser l'analyse proprement dite, il convient de constater la présence, au sein de l'échantillon de mélèze hybride, de deux individus âgés de seulement 28 ans pour une circonférence de 90 cm à 1,30 m. Ceci

s'explique par la méthode d'échantillonnage basée spécifiquement sur le critère "circonférence" et est justifié par la pratique industrielle. Sur les parcs à grumes, les bois sont uniquement répertoriés par classe de circonférence, sans distinction liée à l'âge ou à la largeur des cernes.

Chaque caractéristique est analysée en comparant, d'une part, les trois espèces entre elles, et, d'autre part, les bois juvénile et adulte des trois espèces confondues. Lorsqu'il est fait mention de pourcentages, le mélèze d'Europe et le bois adulte sont pris comme référence. À chaque fois, les conséquences pratiques découlant de ces analyses sont décrites.

Les statistiques descriptives des caractéristiques physiques et mécaniques et les résultats de l'analyse à trois critères de classification (AV3) sont présentés dans les **tableaux 2 à 6**.

3.2. Largeur des cernes

La largeur moyenne des cernes permet de caractériser la croissance des trois espèces sur base d'individus appartenant à la catégorie marchande 90 – 150 cm. Les largeurs moyennes des cernes du mélèze du Japon et de l'hybride sont significativement différentes (**Tableau 4**) et supérieures de 37 % à celle du mélèze d'Europe (**Tableau 2**). Ce résultat est très voisin de celui observé par Deret et Keller (1979), dans la seule

autre étude consacrée à une comparaison entre les trois mélèzes, en France. Ces auteurs disposaient d'un échantillonnage caractérisé par une différence hautement significative entre le mélèze d'Europe (4,5 mm) et le groupe du mélèze du Japon (5,4 mm) et de l'hybride (5,5 mm), sans distinction entre le bois juvénile et le bois adulte.

Le bois juvénile se caractérise par des cernes présentant une largeur moyenne supérieure à celle du bois adulte (51 % ; **tableaux 3 et 4**). Dans le bois juvénile, la supériorité des largeurs des cernes du mélèze du Japon et de l'hybride peut s'expliquer par les observations de Nanson et Sacré (1978) et Deret et Keller (1979) qui constatent une croissance, dans leur jeune âge, plus rapide pour ces deux mélèzes comparée à celle du mélèze d'Europe.

Comme pour l'ensemble des paramètres envisagés, l'analyse n'a mis en évidence aucune interaction statistiquement significative entre les facteurs "espèce" et "maturité du bois" (**Tableau 4**).

3.3. Masse volumique à 12 % d'humidité

Ce paramètre, simple à déterminer, est fréquemment considéré comme le critère le plus important lors de l'appréciation des propriétés technologiques d'une essence (Nepveu, 1994).

Tableau 2. Valeur moyenne et écart-type des caractéristiques physiques et mécaniques des mélèzes d'Europe (n = 45), du Japon (n = 50) et de leur hybride (n = 41), sans distinction des bois juvénile et adulte — *Average value and standard deviation of physical and mechanical characteristics of European (n = 45), Japanese (n = 50) and hybrid (n = 41) larches, without distinction of juvenile and mature woods.*

Caractéristiques	Mélèze d'Europe		Mélèze du Japon		Mélèze hybride	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Largeur des cernes (mm)	4,1	0,1	5,6	0,3	5,8	0,2
Masse volumique (kg m ⁻³)	642	78	526	80	526	59
Infradensité (kg m ⁻³)	497	0,6	417	0,6	416	0,5
Retrait volumique total (%)	15,16	2,88	11,84	1,98	13,37	2,29
Retrait axial total (%)	0,09	0,72	0,40	0,71	0,19	0,57
Retrait radial total (%)	4,67	1,32	3,10	1,01	3,39	0,96
Retrait tangentiel total (%)	7,46	1,61	5,61	1,37	6,27	1,58
Anisotropie du retrait	1,65	0,32	1,95	0,57	1,98	0,60
Module d'élasticité en flexion statique (MPa)	12000	3600	8600	2800	8400	2900
Contrainte de rupture en flexion statique (MPa)	112,0	22,4	81,5	27,0	82,0	18,0
Dureté de flanc Chalais-Meudon	4,13	1,50	2,82	1,18	2,54	0,97
Coefficient de résilience (J cm ⁻²)	6,40	1,98	4,14	1,30	5,01	1,82
Contrainte de rupture en compression axiale (MPa)	55	9	40	11	40	8
Contrainte de rupture en cisaillement longitudinal (MPa)	4,26	3,71	3,39	3,44	2,40	2,51
Contrainte de rupture en traction perpendiculaire à l'axe dans le plan tangentiel (MPa)	2,11	0,44	1,79	0,33	1,77	0,45
Résistance au fendage dans le plan tangentiel (Nmm ⁻¹)	11,66	2,23	11,63	1,90	11,47	1,96

Tableau 3. Valeur moyenne (Moy.) et écart-type (ET) des caractéristiques physiques et mécaniques du bois juvénile ($n = 68$) et du bois adulte ($n = 68$), des trois espèces confondues — *Average value (Moy.) and standard deviation (ET) of physical and mechanical characteristics of juvenile wood ($n = 68$) and mature wood ($n = 68$), without distinction of three species.*

Caractéristiques	Bois juvénile		Bois adulte	
	Moy.	ET	Moy.	ET
Largeur des cernes (mm)	6,2	0,2	4,1	0,2
Masse volumique (kg m^{-3})	527	77	601	94
Infradensité (kg m^{-3})	416	0,6	470	0,6
Retrait volumique total (%)	13,07	2,69	13,84	2,92
Retrait axial total (%)	0,22	0,59	0,24	0,78
Retrait radial total (%)	3,46	1,11	3,98	1,47
Retrait tangentiel total (%)	6,00	1,76	6,87	1,59
Anisotropie du retrait	1,86	0,56	1,86	0,51
Module d'élasticité en flexion statique (MPa)	8600	3100	10800	3700
Contrainte de rupture en flexion statique (MPa)	82,5	20,9	101,0	30,0
Dureté de flanc Chalais-Meudon	2,75	1,17	3,57	1,67
Coefficient de résilience (J cm^{-2})	4,77	1,66	5,60	2,16
Contrainte de rupture en compression axiale (MPa)	40	10	50	11
Contrainte de rupture en cisaillement longitudinal (MPa)	1,29	0,98	5,41	3,65
Contrainte de rupture en traction perpendiculaire à l'axe dans le plan tangentiel (MPa)	1,87	0,50	1,91	0,37
Résistance au fendage dans le plan tangentiel (N mm^{-1})	11,97	1,92	11,87	2,24

Le mélèze d'Europe possède le bois le plus dense. Les mélèzes du Japon et hybride présentent une masse volumique moyenne inférieure de 18 % à celle du mélèze d'Europe (**Tableaux 2 et 4**).

Le bois juvénile des trois espèces confondues, présente une masse volumique moyenne inférieure de 12 % à celle du bois adulte (**Tableaux 3 et 4**). Il est vraisemblable que cette valeur inférieure soit la conséquence des caractéristiques anatomiques du bois juvénile : trachéides plus courtes à large lumen, etc. (Zobel, Sprague, 1998). La distinction de masse volumique mise en évidence entre les bois juvénile et adulte est susceptible de se répercuter sur les propriétés du bois.

L'insertion du logarithme de la largeur des cernes comme covariable dans le modèle d'analyse utilisé laisse apparaître des effets "espèce" ($p = 0,001$) et "maturité du bois" ($p = 0,000$) très hautement significatifs pour la masse volumique.

Ce résultat montre que la largeur des cernes ne permet pas d'expliquer les différences de masse

volumique des bois des trois mélèzes, ainsi que des bois juvénile et adulte. Ou encore, qu'à largeur des cernes identique, les trois espèces de mélèze présentent des valeurs différentes de masse volumique.

Les valeurs moyennes de masse volumique répertorient le bois des mélèzes du Japon et hybride (496 à 559 kg m^{-3} ; **tableaux 2 à 6**) comme mi-lourd et celui du mélèze d'Europe (596 à 691 kg m^{-3}) comme lourd, aussi bien pour le bois juvénile que pour le bois adulte (Fraipont², communication personnelle).

3.4. Infradensité

Des commentaires similaires à ceux qui concernent la masse volumique peuvent s'appliquer ici. Le mélèze du Japon et l'hybride présentent une infradensité moyenne inférieure de 16 % à celle du mélèze d'Europe (**Tableaux 2 et 4**).

Le bois juvénile des trois espèces confondues, montre une infradensité moyenne significativement inférieure de 11 % à celle du bois adulte (**Tableaux 3 et 4**).

3.5. Retrait volumique total

Le mélèze du Japon et l'hybride présentent une meilleure stabilité dimensionnelle, avec un retrait volumique total inférieur de respectivement 22 % et 12 % à celui du mélèze d'Europe (**Tableaux 2 et 4**). Un classement similaire a été obtenu lors de l'étude de Deret et Keller (1979).

Le bois adulte paraît significativement moins stable, avec un retrait volumique total supérieur de 6 % par rapport au bois juvénile (**Tableaux 3 et 4**).

Les différences hautement significatives observées entre les trois espèces de mélèze ne sont pas suffisantes pour classer leur bois de manière distincte. Avec des valeurs comprises entre 11,7 et 15,2 % (**Tableaux 2 à 6**), les trois mélèzes peuvent être répertoriés comme possédant un retrait moyen (Anonyme, 1942 ; Froment, 1952). Le retrait volumique total légèrement supérieur du bois adulte du mélèze d'Europe (15,4 %) le fait admettre dans la catégorie des bois à fort retrait. Sur le plan pratique, ce classement traduit la possibilité de conserver ces trois mélèzes en bois ronds et de les utiliser comme bois de mine, poteaux, bois d'échafaudages, etc.

3.6. Retrait axial total

Les valeurs du retrait axial, généralement négligeables, ne diffèrent pas significativement entre les trois espèces de mélèze (**Tableaux 2 et 4**). Cependant, l'examen attentif du **tableau 2** révèle des écart-types importants pour les trois espèces. Il est possible que

² Lucien Fraipont, ex Maître de conférence à la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.

Tableau 4. Valeur de *p* associée au test F de l'analyse de la variance à trois critères de classification: espèce, arbre (espèce), maturité du bois pour les différents paramètres étudiés (nombre d'éprouvettes = 136) — *P value associated with F-test from three-way analysis of variance: species, tree (species), wood maturity, for the different studied parameters (number of samples = 136).*

Caractéristiques	Espèce	Arbre (Espèce)	Maturité du bois	Espèce × Maturité du bois
Largeur des cernes (mm)	0,026	0,000	0,000	0,832
Masse volumique (kg m ⁻³)	0,001	0,000	0,000	0,199
Infradensité (kg m ⁻³)	0,004	0,000	0,000	0,119
Retrait volumique total (%)	0,009	0,000	0,041	0,289
Retrait axial total (%)	0,375	0,000	0,877	0,505
Retrait radial total (%)	0,000	0,000	0,009	0,547
Retrait tangentiel total (%)	0,008	0,000	0,000	0,653
Anisotropie du retrait	0,025	0,000	0,962	0,656
Module d'élasticité en flexion statique (MPa)	0,014	0,000	0,000	0,517
Contrainte de rupture en flexion statique (MPa)	0,005	0,000	0,000	0,424
Dureté de flanc Chalais-Meudon	0,001	0,000	0,000	0,971
Coefficient de résilience (J cm ⁻²)	0,002	0,000	0,003	0,052
Contrainte de rupture en compression axiale (MPa)	0,007	0,000	0,000	0,499
Contrainte de rupture en cisaillement longitudinal (MPa)	0,053	0,000	0,000	0,051
Contrainte de rupture en traction perpendiculaire à l'axe dans le plan tangentiel (MPa)	0,040	0,000	0,556	0,826
Résistance au fendage dans le plan tangentiel (N mm ⁻¹)	0,281	0,000	0,783	0,086

cette forte hétérogénéité masque une différence réelle de retrait entre ces espèces.

Les faibles valeurs moyennes du retrait axial total peuvent s'expliquer par la présence de valeurs négatives. Ces dernières se traduisent par un allongement dans la direction axiale, engendré par des retraits radiaux et tangentiels très importants.

Aucune différence significative n'a été décelée entre les bois juvénile et adulte des trois espèces confondues (**Tableaux 3 et 4**). L'absence de différence significative entre ces deux types de bois a déjà été constatée par Deret et Keller (1979) mais avec des valeurs de retrait plus faibles (< 0,1 %).

3.7. Retrait radial total

Le mélèze d'Europe présente un retrait radial total supérieur de plus de 27 % à celui des mélèzes du Japon et hybride (**Tableaux 2 et 4**).

Le bois juvénile est caractérisé par un retrait radial moins important que celui du bois adulte (-13 % ; **tableaux 3 et 4**). Une hypothèse peut être émise pour expliquer le plus faible retrait du bois juvénile : l'angle plus ouvert des microfibrilles des parois cellulaires dans ce type de bois (Zobel, van Buijtenen, 1989 ; Zobel, Sprague, 1998).

3.8. Retrait tangentiel total

Les mélèzes du Japon et hybride affichent un retrait tangentiel inférieur de respectivement 25 et 16 % à celui du mélèze d'Europe (**Tableaux 2 et 4**).

Pour les trois espèces confondues, le bois juvénile se rétracte moins que le bois adulte (-13 % ; **tableaux 3 et 4**), résultat concordant avec l'étude de Polge (1964).

3.9. Anisotropie du retrait

Les coefficients de corrélation montrent que l'anisotropie dépend davantage du retrait radial ($r = -0,665$; $p = 0,000$) que du retrait tangentiel ($r = 0,061$; $p = 0,477$). Cette constatation, déjà observée par Mazet et Nepveu (1991), permet d'expliquer le comportement plus isotrope du mélèze d'Europe au cours du séchage, en raison de son retrait radial plus élevé. La différence d'anisotropie apparaît significative entre les trois mélèzes (**Tableaux 2 et 4**).

L'anisotropie du retrait ne présente pas de différence significative entre les bois juvénile et adulte des trois espèces confondues (**Tableaux 3 et 4**). Des pièces contenant à la fois ces deux types de bois se déformeront donc uniformément.

3.10. Module d'élasticité en flexion statique

Le mélèze d'Europe présente la plus grande rigidité, avec un module d'élasticité en flexion statique significativement supérieur de respectivement 28 et 30 % à ceux des mélèzes du Japon et hybride (**Tableaux 2 et 4**). Ces résultats ne sont pas en concordance avec ceux de Deret et Keller (1979), ces derniers ayant constaté un module d'élasticité en flexion statique supérieur

pour le mélèze hybride (9330 MPa) comparé au groupe du mélèze d'Europe (7320 MPa) et du Japon (7000 MPa). Il est à noter que leur matériel expérimental était composé d'arbres de première éclaircie dont le diamètre était compris entre 9 et 15 cm, soit uniquement du bois juvénile. La prise en compte du bois juvénile dans la présente étude ne permet pas d'éliminer la différence de classement entre les trois mélèzes. Marchal et Jacques (1999), analysant des clones de mélèze hybride âgés de 14 ans, avaient constaté une valeur de 8600 MPa.

Il ressort de l'analyse une supériorité très hautement significative du bois adulte sur le bois juvénile des trois mélèzes confondus (-20 % pour le bois juvénile ; **tableaux 3 et 4**). Ce défaut de rigidité du bois juvénile pourrait très certainement se répercuter sur le plan pratique, compte tenu de l'importance de ce paramètre lors d'un classement mécanique.

L'insertion de la masse volumique comme covariable dans le modèle d'analyse utilisé met en évidence l'absence d'effets "espèce" ($p = 0,629$) et "maturité du bois" ($p = 0,355$) sur le module d'élasticité en flexion statique. Cela montre qu'à masse volumique égale, les trois mélèzes, ainsi que les bois juvénile et adulte, présentent une rigidité équivalente.

Selon les critères de Fraipont (communication personnelle), les valeurs du module d'élasticité (**Tableaux 2 à 6**) répertorient le bois du mélèze d'Europe (10800 à 13300 MPa) comme moyennement rigide et les bois des mélèzes du Japon et hybride (7100 à 9700 MPa) comme peu rigides aussi bien pour le bois juvénile que pour le bois adulte. Sur le plan pratique, ce résultat se traduit par une meilleure aptitude du mélèze d'Europe pour les usages structurels : charpente, plancher, toiture, etc.

3.11. Contrainte de rupture en flexion statique

Le mélèze d'Europe se distingue par une contrainte de rupture supérieure à celle du mélèze du Japon et de l'hybride (27 % ; **tableaux 2 et 4**).

Pour les trois espèces, le bois juvénile est caractérisé par une contrainte de rupture en flexion statique inférieure à celle du bois adulte (18 % ; **tableaux 3 et 4**).

Comme pour le module d'élasticité, l'insertion de la masse volumique comme covariable montre l'absence de différences significatives entre les trois espèces ($p = 0,057$) et les deux types de bois ($p = 0,094$).

Le bois juvénile des mélèzes du Japon et hybride, avec des valeurs de 71,5 et 75,5 MPa (**Tableau 5**), présente une contrainte de rupture qualifiée d'inférieure au sein des résineux, tandis que leur bois adulte peut être considéré comme moyennement à supérieurement résistant (88 – 91 MPa ; **tableau 6**). Le bois du mélèze d'Europe entre dans la catégorie supérieure (Fraipont, communication personnelle) avec 100 MPa pour le bois juvénile et 124 MPa pour le bois adulte.

3.12. Dureté de flanc Chalais-Meudon

La dureté reflète la résistance à l'écrasement et à l'usure et est, de ce fait, un indicateur de l'aptitude des bois à être usinés. Les bois durs, bien que requérant plus d'énergie au débit et au façonnage que les bois tendres (Leclercq, 1979), sont très demandés pour la menuiserie, la réalisation de parquets, etc.

Le mélèze du Japon et l'hybride présentent une dureté inférieure de respectivement 32 et 38 % à celle du mélèze d'Europe (**Tableaux 2 et 4**).

La dureté diffère de manière très hautement significative entre les bois juvénile et adulte des trois espèces confondues, avec une valeur de 23 % inférieure pour le bois juvénile (**Tableaux 3 et 4**). Cette faible dureté du bois juvénile pourrait être la conséquence, entre autres, des cernes larges et de la masse volumique plus faible (Polge, 1964 ; Zobel, Sprague, 1998). La masse volumique d'un bois étant inversement proportionnelle à sa porosité, il est normal qu'un bois dense soit plus résistant à la pénétration d'un corps dur. Ceci n'est vérifié que si le bois ne présente pas de défauts susceptibles d'altérer ses propriétés technologiques.

Cette corrélation positive entre la dureté et la masse volumique est confortée par les résultats d'une AV3 avec la masse volumique comme covariable. En effet, il en ressort qu'à masse volumique égale, les trois mélèzes, ainsi que les bois juvénile et adulte, présentent une dureté équivalente sur le plan statistique ($p = 0,113$ pour le facteur "espèce" et $p = 0,099$ pour le facteur "maturité du bois").

Dans l'ensemble, les valeurs moyennes de dureté relatives aux bois des trois mélèzes (de 2,5 à 4,1 ; **tableaux 2 à 6**) confirment leur classement comme mi-durs, aussi bien pour le bois juvénile que pour le bois adulte, avec cependant une distinction pour le bois adulte du mélèze d'Europe dont la valeur de 5,04 (**Tableau 6**) le fait admettre dans la catégorie des bois durs (Fraipont, communication personnelle).

3.13. Résilience

Le mélèze du Japon et l'hybride présentent un coefficient de résilience inférieur de respectivement 35 et 22 % à celui du mélèze d'Europe (**Tableaux 2 et 4**).

Le coefficient de résilience du bois juvénile est approximativement inférieur de 15 % à celui du bois adulte, les trois mélèzes étant confondus (**Tableaux 3 et 4**).

Au niveau de l'utilisation pratique, les valeurs moyennes de résilience, comprises entre 4,1 et 7,0 J cm⁻² (**Tableaux 2 à 6**), répertorient le bois de mélèze de fragile à résilient (Steiger, 1974). Le mélèze ne devrait donc pas être utilisé pour les emplois mobiles, tels que la caisserie (emballage lourd) ou les articles de sport.

Tableau 5. Valeur moyenne et écart-type des caractéristiques physiques et mécaniques du bois juvénile des mélèzes d'Europe ($n = 22$), du Japon ($n = 22$) et de leur hybride ($n = 24$) — *Average value and standard deviation of physical and mechanical characteristics of juvenile wood of European ($n = 22$), Japanese ($n = 22$) and hybrid ($n = 24$) larches.*

Caractéristiques	Mélèze d'Europe		Mélèze du Japon		Mélèze hybride	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Largeur des cernes (mm)	5,2	0,1	6,5	0,3	7,0	1,2
Masse volumique (kg m^{-3})	596	59	496	73	497	48
Infradensité (kg m^{-3})	460	0,4	391	0,5	396	0,4
Retrait volumique total (%)	14,95	2,61	11,71	2,01	12,54	2,02
Retrait axial total (%)	0,02	0,54	0,48	0,61	0,16	0,57
Retrait radial total (%)	4,28	0,91	2,96	1,02	3,14	0,81
Retrait tangentiel total (%)	7,16	1,55	5,05	1,25	5,80	1,64
Anisotropie du retrait	1,70	0,36	1,90	0,68	1,97	0,58
Module d'élasticité en flexion statique (MPa)	10800	2600	7900	3100	7100	2100
Contrainte de rupture en flexion statique (MPa)	100,0	16,1	71,5	16,7	75,5	17,5
Dureté de flanc Chalais-Meudon	3,22	1,16	2,58	1,24	2,46	0,89
Coefficient de résilience (J cm^{-2})	5,79	1,93	4,20	1,16	4,31	1,22
Contrainte de rupture en compression axiale (MPa)	50	6	40	10	35	6
Contrainte de rupture en cisaillement longitudinal (MPa)	1,50	0,95	1,25	0,83	1,11	1,11
Contrainte de rupture en traction perpendiculaire à l'axe dans le plan tangentiel (MPa)	2,10	0,48	1,79	0,39	1,72	0,53
Résistance au fendage dans le plan tangentiel (N mm^{-1})	12,68	14,82	11,09	11,93	12,14	13,73

Tableau 6. Valeur moyenne et écart-type des caractéristiques physiques et mécaniques du bois adulte des mélèzes d'Europe ($n = 23$), du Japon ($n = 28$) et de leur hybride ($n = 17$) — *Average value and standard deviation of physical and mechanical characteristics of mature wood of European ($n = 23$), Japanese ($n = 28$) and hybrid ($n = 17$) larches.*

Caractéristiques	Mélèze d'Europe		Mélèze du Japon		Mélèze hybride	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Largeur des cernes (mm)	3,0	0,1	4,7	0,3	4,7	0,1
Masse volumique (kg m^{-3})	691	64	559	79	554	49
Infradensité (kg m^{-3})	533	0,4	443	0,5	436	0,4
Retrait volumique total (%)	15,37	3,16	11,97	1,97	14,19	1,82
Retrait axial total (%)	0,17	0,86	0,32	0,79	0,22	0,56
Retrait radial total (%)	5,06	1,55	3,24	1,00	3,63	1,03
Retrait tangentiel total (%)	7,76	1,66	6,17	1,32	6,73	1,02
Anisotropie du retrait	1,60	0,28	2,00	0,49	1,98	0,64
Module d'élasticité en flexion statique (MPa)	13300	3900	9300	2600	9700	2500
Contrainte de rupture en flexion statique (MPa)	124,0	21,4	91,0	31,5	88,0	13,4
Dureté de flanc Chalais-Meudon	5,04	1,26	3,07	1,14	2,61	1,10
Coefficient de résilience (J cm^{-2})	7,01	1,88	4,08	1,42	5,70	1,87
Contrainte de rupture en compression axiale (MPa)	60	9	45	11	40	6
Contrainte de rupture en cisaillement longitudinal (MPa)	7,01	3,39	5,53	3,86	3,68	2,95
Contrainte de rupture en traction perpendiculaire à l'axe dans le plan tangentiel (MPa)	2,12	0,42	1,79	0,26	1,83	0,28
Résistance au fendage dans le plan tangentiel (N mm^{-1})	12,64	14,04	12,14	13,65	10,81	12,93

3.14. Contrainte de rupture en compression axiale

L'analyse statistique a décelé une différence hautement significative entre les trois espèces pour la contrainte de rupture en compression axiale (**Tableau 4**). Le mélèze du Japon et l'hybride présentent une contrainte de rupture en compression axiale inférieur de 27 % à celle du mélèze d'Europe (**Tableau 2**).

Une différence très hautement significative est observée entre les bois adulte et juvénile, avec une valeur inférieure de 20 % pour le second (**Tableaux 3 et 4**).

Suivant le classement établi par Fraipont (communication personnelle), avec des valeurs de 35 à 45 MPa, la contrainte de rupture en compression axiale des bois du mélèze du Japon et de l'hybride peut être qualifiée de moyenne, quel que soit le type de bois. Le bois du mélèze d'Europe se répertorie dans la catégorie supérieure (50 à 60 MPa ; **tableaux 2 à 6**). D'un point de vue pratique, les trois espèces de mélèze s'avèrent aptes à la réalisation de charpentes nécessitant une résistance élevée à la compression (piliers, échafaudages, montants, etc.).

3.15. Contrainte de rupture en cisaillement longitudinal

Le facteur "espèce" n'affecte pas significativement la contrainte de rupture en cisaillement (**Tableaux 2 et 4**).

La résistance au cisaillement du bois juvénile est environ quatre fois plus faible que celle du bois adulte (**Tableaux 3 et 4**). Leclercq³ (communication personnelle) a montré que la résistance au cisaillement est fortement influencée par l'épaisseur des parois du tissu fibreux. Par conséquent, comme les trachéides du bois juvénile sont caractérisées par des parois plus minces (Zobel, van Buijtenen, 1989), l'interprétation de Leclercq est ainsi confirmée par les résultats observés.

Compte tenu de sa contrainte de rupture en cisaillement longitudinal dont les valeurs s'échelonnent de 1,11 à 7,01 MPa (**Tableaux 2 à 6**), le bois de mélèze est qualifié de moyennement résistant (Fraipont, communication personnelle) quel que soit le type de bois, juvénile ou adulte.

3.16. Contrainte de rupture en traction perpendiculaire aux fibres

Le mélèze d'Europe présente une contrainte de rupture en traction supérieure de plus de 15 % à celle du mélèze du Japon et de l'hybride (**Tableaux 2 et 4**).

Les contraintes de rupture en traction des bois juvénile et adulte sont équivalentes sur le plan statistique (**Tableaux 3 et 4**).

Selon les critères de Fraipont (communication personnelle), la contrainte de rupture en traction du mélèze est plus élevée que celle des résineux en général et s'apparente à celle des feuillus tendres avec des valeurs de 1,7 et 1,8 MPa pour les mélèzes du Japon et hybride, aussi bien pour le bois juvénile que pour le bois adulte (**Tableaux 2 à 6**). En ce qui concerne le mélèze d'Europe, il présente une adhérence élevée pour une essence résineuse, située à la limite entre celle des feuillus tendres et des bois durs, avec une valeur de 2,1 MPa pour son bois. En regard de ce critère, le mélèze convient pour la plupart des usages courants dans les domaines de la construction et de la menuiserie.

3.17. Résistance au fendage

Les facteurs "espèce" (**Tableaux 2 et 4**) et "maturité du bois" (**Tableaux 3 et 4**) n'influencent pas significativement la résistance au fendage.

L'étude de Leclercq (1979) sur le hêtre a montré que les fibres longues et droites engendrent un bois plus fissile. Pour autant qu'une analogie puisse être établie entre les feuillus et les résineux, les trachéides courtes et inclinées du bois juvénile (Polge, 1964 ; Nepveu, 1994) devraient induire une plus grande résistance au fendage.

Au vu des valeurs de la résistance au fendage, (**Tableaux 2 à 6**) comprises entre 10,8 et 12,7 MPa pour les deux types de bois et les trois espèces, le mélèze s'avère fissile (Fraipont, communication personnelle) comme la plupart des résineux. Il nécessite certaines précautions lors du clouage et du vissage.

3.18. Effet arbre

Pour l'ensemble des propriétés envisagées, le modèle d'analyse a détecté un effet "arbre" très hautement significatif. Cette importante variabilité inter-arbres a déjà été constatée par Nepveu (1994), ce dernier ayant montré que cette variabilité était la conséquence de plusieurs effets (individuel, génétique, stationnel, etc.). Il importe donc de tenir compte de ce phénomène et de ne pas considérer les valeurs moyennes calculées dans cette étude comme définitives.

3.19. Comparaison du mélèze avec l'épicéa et le douglas

La comparaison des valeurs moyennes obtenues dans le cadre de cette recherche avec celles fournies par la littérature pour l'épicéa (Collectif, 1984 ; Laurent,

³ André Leclercq, Inspecteur général. Centre de Recherche de la Nature des Forêts et du Bois. Avenue Maréchal Juin, 23. B-5030 Gembloux. Belgique.

1987 ; Nepveu, 1994 ; Benoit, 1997 ; Dulbecco, Luro, 1998) et le douglas (Collectif, 1984 ; Maréchal, 1991 ; Nepveu, 1994 ; Benoit, 1997 ; Dulbecco, Luro, 1998) montre que le mélèze présente des caractéristiques technologiques supérieures à celles de l'épicéa et équivalentes à celles du douglas. En outre, pour trois de ces caractéristiques : le module d'élasticité, la contrainte de rupture en flexion statique et la contrainte de rupture en compression axiale, le mélèze d'Europe présente des valeurs moyennes supérieures à celles du douglas.

Les valeurs des retraits obtenues pour le mélèze ne s'écartent pas fortement des valeurs relatives à l'épicéa et au douglas, avec un classement qui diffère selon le retrait considéré, rendant ainsi mal aisée la comparaison de leur stabilité dimensionnelle.

4. CONCLUSIONS

Cette étude a mis en évidence la supériorité des propriétés technologiques du mélèze d'Europe et la quasi-équivalence des bois des mélèzes du Japon et hybride. Cependant, le mélèze d'Europe fait preuve d'une moindre stabilité dimensionnelle, avec des retraits volumique, radial et tangentiel totaux plus élevés, quoique l'anisotropie du retrait soit plus faible. La vente des trois mélèzes sous le même vocable "mélèze" a pour effet de pénaliser le mélèze d'Europe et d'accroître la variabilité de la qualité des mélèzes produits en Région wallonne. Il y aurait lieu de distinguer les trois mélèzes, sous peine d'observer une grande variabilité de la qualité des lots de mélèze mis en vente en fonction de la proportion de mélèzes d'Europe, du Japon et hybride.

Le bois juvénile présente globalement des caractéristiques physiques et mécaniques plus faibles, ce qui peut être expliqué, en partie, par une masse volumique plus faible et une largeur des cernes plus élevée. Au niveau des retraits, si les deux types de bois ne se différencient pas en terme de retrait volumique total, il est à noter que le bois juvénile présente une meilleure stabilité dimensionnelle que le bois adulte dans le sens radial et tangentiel. Finalement, ces deux types de bois présentent une anisotropie du retrait équivalente.

Les résultats de cette étude, qui confirment la supériorité des propriétés technologiques du bois adulte, conduisent à prôner la limitation de la proportion de bois juvénile dans les grumes. De ce qui précède, il apparaît que le bois de mélèze d'Europe fait preuve d'un haut niveau technologique comparé aux autres résineux européens, il est donc justifié d'intensifier son implantation en Région wallonne. Le mélèze permettrait ainsi de diversifier les peuplements résineux et de fournir un bois d'œuvre aux multiples usages pour autant que la nervosité de son bois puisse

être contrôlée, notamment par un séchage l'amenant à un taux d'humidité d'équilibre aussi proche que possible de l'humidité de service.

Remerciements

Nous tenons à remercier M. le Professeur J. Rondeux de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique). Toute notre gratitude va également à Mmes J. Dehanne, S. Sliwinsky et M. R. Buchet pour leur aide précieuse tout au long de la réalisation des essais, ainsi qu'à M. M. Herman pour ses commentaires sur le manuscrit.

Bibliographie

- Anonyme (1942). *Norme française NF B 51-002. Bois – Caractéristiques physiques et mécaniques des bois*. Paris : Association française de normalisation, 17 p.
- Anonyme (1956). *Norme belge NBN 225. Bois - Méthodes d'essai de qualification du bois*. Bruxelles : Institut belge de normalisation, 28 p.
- Anonyme (1981). *Norme allemande DIN 52189. Prüfung von Holz, Schlagbiegeversuch*. Berlin : Besti mmund der Bruchschlagarbeit, 4 p
- Anonyme (1987). *Norme française NF B 51-016. Bois - Flexion statique. Détermination du module d'élasticité en flexion statique de petites éprouvettes sans défaut*. Paris : Association française de normalisation, 6 p.
- Anonyme (1993). *Norme belge NBN-ISO 3129. Bois - Méthodes d'échantillonnage et conditions générales pour les essais physiques et mécaniques*. Bruxelles : Institut belge de normalisation, 4 p.
- Benoit Y. (1997). *Le guide des essences de bois. 61 essences, les choisir, les reconnaître, les utiliser*. Paris : Eyrolles Centre technique du Bois et de l'Ameublement, 125 p.
- Collardet J., Besset J. (1992). *Les bois commerciaux et leurs utilisations. Tome I : Les résineux (conifères)*. Dourdan, France : H. Vial et CTBA, 277 p.
- Collectif (1984). *Pense précis bois*. Association des Anciens Elèves de l'École supérieure du Bois. Paris : H. Vial, 564 p.
- Dagnelie P. (1975). *Théorie et méthodes statistiques, Applications agronomiques. Vol. 2 Les méthodes de l'interférence statistique 2^e éd.*, Gembloux, Belgique : Presses agronomiques de Gembloux, 463 p.
- Deret E., Keller R. (1979). Étude comparée du bois de mélèze d'Europe (*L. decidua* Mill.), de mélèze du Japon (*L. leptolepis* Gord.) et de leur hybride (*L. eurolepis* Henry), Document n° 3. INRA et CNRF, France, 22 p.
- Dulbecco P., Luro D. (1998). *L'essentiel sur le bois*. Paris : CTBA, 184 p.
- Froment G. (1952). *Les bois de construction*. Paris : Eyrolles, 245 p.

- Goblet d'Alviella (1946). L'introduction des essences exotiques en Belgique. *Bull. Soc. R. For. Belgique*, **53**, p. 342–347.
- Guggenbühl P. (1983). *Nos Bois*. Denges Lausanne, Suisse : Delta et Spes, 321 p.
- Guinier Ph. (1953). Le mélèze. *Rev. Bois Appl.* **VIII**, p. 7–10.
- Jourez B., Pauwels D., Jacques D., Quin JP. (1999). Le mélèze. *Courr. Bois* **39**, (125), p. 16–23.
- Keller R. (1994). La constitution du bois. In *Le bois, matériau d'ingénierie*. Nancy, France : Arborol, p. 44–49.
- Laurent C. (1987). Qualité du bois et sylviculture de l'épicéa (*Picea abies* (L.) Karst.) en Ardenne. *Bull. Soc. Roy. For.* **6**, p. 255–264.
- Leclercq A. (1979). *Influence du milieu et du traitement sur la qualité du bois de hêtre*. Thèse doct. sci. agron., Fac. univ. Sci. agron., Gembloux, Belgique, 304 p.
- Lecomte H., Florkin P., Morimont JP., Thirion M. (sous presse). *La forêt wallonne, état de la ressource à la fin du 20^e siècle*. Jambes, Belgique : Division de la Nature et des Forêts, DGRNE, MRW.
- Marchal M., Jacques D. (1999). Évaluation de deux méthodes acoustiques de détermination du module d'élasticité de bois de mélèze hybride jeune (*Larix x eurolepis* Henry) – Comparaison avec une méthode normalisée en flexion statique. *Ann. Sci. For.* **56**, p. 333–343.
- Maréchal F. (1991). *Contribution à l'étude des qualités technologiques du bois de Douglas (Pseudotsuga menziesii Franco) et comparaison des essais réalisés sur éprouvettes sans défaut et sur pièces en semi-grandeur*. Travail de fin d'études, Fac. univ. Sci. agron., Gembloux, Belgique, 77 p.
- Mazet JP., Nepveu G. (1991). Relations entre les caractéristiques de retrait et densité du bois chez le pin sylvestre, le sapin pectiné et l'épicéa commun. *Ann. Sci. For.* **48**, p. 87–100.
- Nanson A., Sacré E. (1978). À propos de l'hétérosis de *Larix x eurolepis*, en particulier pour les propriétés du bois. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **13** (4), p. 323–336
- Nepveu G. (1994). Variabilité. In *Le bois, matériau d'ingénierie*. Nancy, France : Arborol, p. 128–182.
- Polge H. (1964). Le bois juvénile des conifères, *Rev. For. Fr.* **86**, p. 473–505.
- Polge H., Illy G. (1967). Observations sur l'anisotropie du Pin maritime des Landes. *Ann. Sci. For.* **24**, p. 205–231.
- Steiger A. (1974). Holzarten Information in Übersichten (XI). *Holztechnologie* **15**, 121 p.
- Thibaut A. (1994). *Construction des tables de production relatives au mélèze en Belgique*. Travail de fin d'études, Fac. univ. Sci. agron., Gembloux, Belgique, 102 p.
- Zobel BJ., van Buijtenen JP. (1989). *Wood variation. Its causes and control*. Berlin, Allemagne: Springer-Verlag, 363 p.
- Zobel BJ., Sprague JR. (1998). *Juvenile wood in forest trees*. Berlin, Allemagne: Springer-Verlag, 300 p.

(31 réf.)