

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



Impact de la vitesse de croissance sur les propriétés technologiques du bois de douglas

Caroline Pollet¹ | Jean-Marc Henin² | Jacques Hébert¹ | Benoît Jourez²

¹ Gestion des Ressources forestières (GxABT, ULiège)

² Laboratoire de Technologie du Bois (DEMNA, SPW)

Largement planté depuis un demi-siècle, le douglas est une espèce relativement récente dans les forêts wallonnes. Parce que le sylviculteur doit veiller à produire aujourd'hui une ressource qui offrira demain les meilleures potentialités de valorisation, la présente étude vise à évaluer dans quelle mesure la vitesse de croissance influence les propriétés mécaniques et la durabilité naturelle observées sur des éprouvettes sans défauts.

RÉSUMÉ

Le bois de douglas est reconnu pour ses propriétés mécaniques et sa durabilité naturelle. Son potentiel de production élevé invite par ailleurs les gestionnaires forestiers à dynamiser sa sylviculture, qui évolue progressivement. Il importe donc de savoir jusqu'à quel point la vitesse de

croissance de cette essence peut être augmentée sans porter préjudice à la qualité du bois produit. C'est l'objectif d'une étude réalisée par le Laboratoire de Technologie du Bois du DEMNA et par l'ULiège GxABT, dont une partie des résultats sont relatés dans le présent article.



Originaire d'Amérique du Nord, le douglas a été introduit en Belgique durant la seconde moitié du 19^e siècle. Il couvre actuellement environ 23 000 hectares en Wallonie, soit un peu moins de 10 % de la forêt résineuse wallonne¹. La réputation du bois de douglas est essentiellement basée sur l'excellente qualité du bois issu des forêts primaires du Nord-Ouest de l'Amérique, caractérisées par des cernes de croissance fins et réguliers. Cependant, les propriétés du bois provenant de forêts secondaires telles que les nôtres, à croissance plus dynamique, pourraient être différentes. Des révolutions plus courtes (parfois inférieures à 50 ans) apportent sur le marché des grumes de plus petites dimensions, ayant des proportions plus élevées de bois juvénile^{12, 19}.

Les propriétés du bois sont influencées par de nombreux facteurs, tels que par exemple la provenance génétique, les conditions stationnelles, la localisation du bois dans l'arbre, ou encore les pratiques de gestion forestière. Ainsi, la densité de plantation et les modalités d'éclaircie influencent la largeur des cernes, ainsi que la proportion de bois juvénile et d'aubier ; tous ces facteurs sont également liés entre eux¹⁵. En Belgique, l'accroissement annuel moyen en circonférence du douglas peut varier de 2 à 5 cm par an, ce qui correspond à une largeur moyenne des cernes (LMC) de 3 à près de 8 mm.

Plusieurs auteurs ont montré une influence de la largeur moyenne des cernes sur certaines propriétés physiques et mécaniques du bois de douglas^{10, 15, 16, 12, 13, 18, 19}. Ces recherches se limitent toutefois généralement à l'étude de la masse volumique, du module d'élasticité ou de la résistance à la flexion. En outre, les peuplements étudiés ne sont généralement pas matures et les arbres ne sont donc pas représentatifs du produit final utilisé dans les

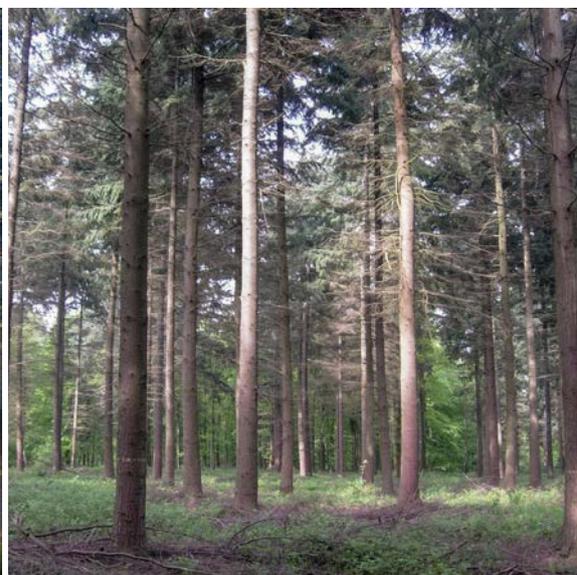
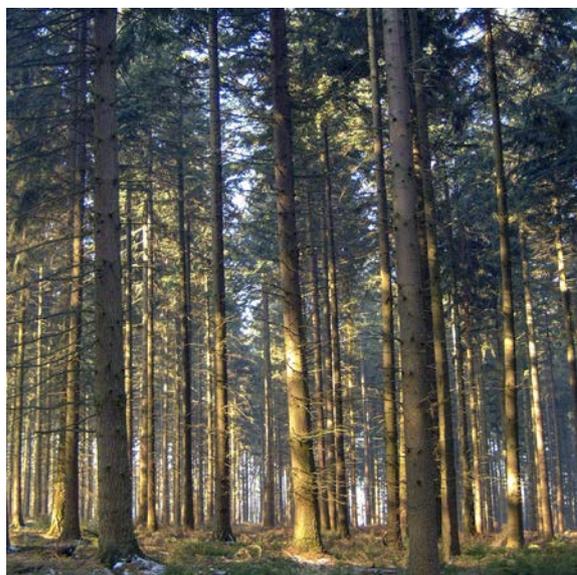
applications structurelles. Par ailleurs, peu d'études ont été consacrées à l'impact de la vitesse de croissance sur la durabilité naturelle du bois de douglas. De surcroît, ces études aboutissent parfois à des résultats discordants.

Enfin, peu d'études relatives au douglas croissant hors de son aire d'origine ont été réalisées sur des éprouvettes standardisées, exemptes de défaut. Ces tests permettent pourtant une caractérisation objective et fine des propriétés d'une essence et, partant, une comparaison avec d'autres espèces utilisées aux mêmes fins. Dans cette étude, le douglas a été comparé au mélèze d'Europe et à l'épicéa commun. Il convient toutefois de garder à l'esprit que les niveaux des propriétés mesurées ne peuvent pas décrire les poutres en vraie grandeur, dont les propriétés sont également influencées par les nœuds, la pente de fil, les poches de résine, etc.

Compte tenu de la variété des utilisations potentielles du douglas (structure, parement, placage, menuiserie intérieure et extérieure...), il est important de s'assurer que des pratiques sylvicoles dynamiques ne compromettent pas certaines voies de valorisation. Dans ce contexte, l'étude présentée ici a pour but d'appréhender l'effet de la vitesse de croissance (exprimée par la largeur moyenne des cernes mesurée sur les éprouvettes, LMC) sur les propriétés physico-mécaniques et de durabilité naturelle du bois de douglas.

Matériel récolté

Les échantillons ont été prélevés dans onze douglaises équiennes réparties à travers toute la zone de production du douglas en Wallonie. L'âge des peuplements au moment de l'abattage des arbres était compris entre 41 et 69 ans, tandis que la circonfé-



Deux peuplements de vitesses de croissance contrastées sélectionnés pour l'étude : Spa (à gauche) et Philippeville (à droite).

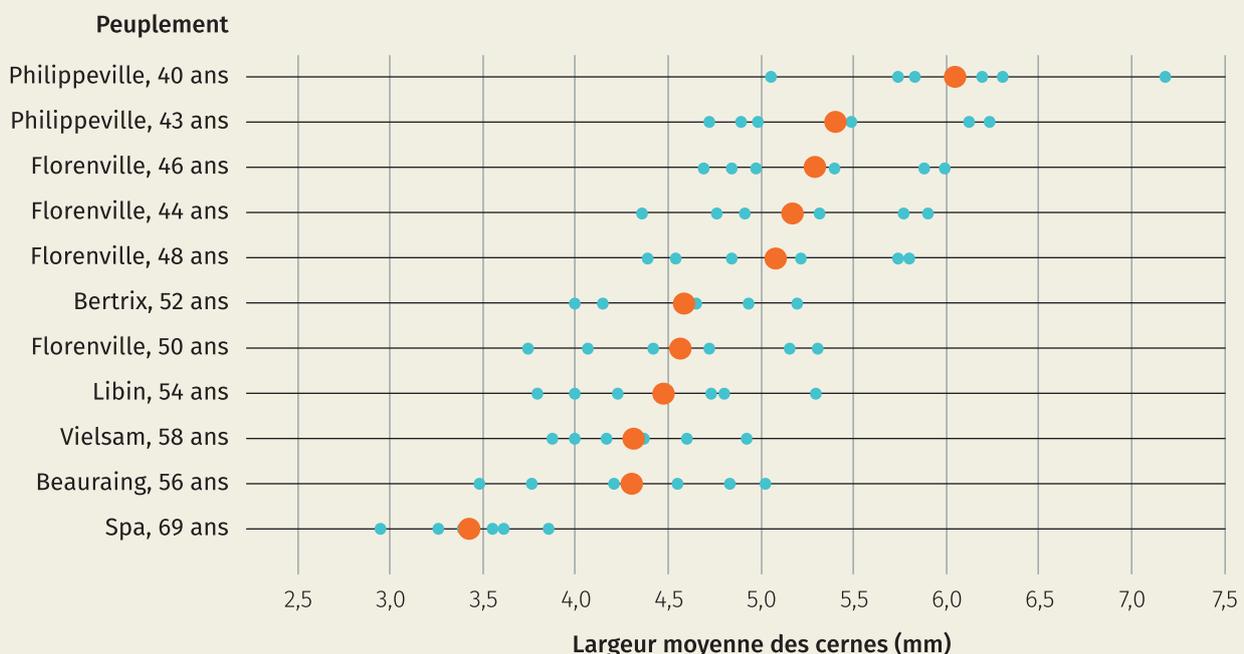
rence moyenne des arbres du peuplement avoisinait 150 cm. Cette circonférence correspond aux dimensions des grumes de douglas généralement rencontrées sur les parcs à grumes des scieries.

Dans chaque peuplement, un arbre a été sélectionné au sein de chacune des six catégories de circonférence de 10 cm entre 120 et 180 cm à 1,5 m, soit six arbres par peuplement. Globalement, les catégories inférieures concernent des arbres dominés et les catégories supérieures des arbres dominants. Les arbres ont été choisis au hasard parmi les sujets bien conformés supposés appartenir au peuplement final. La méthodologie d'échantillonnage a été conçue de telle sorte que les peuplements et les arbres couvrent un large éventail de vitesses de croissance, représentatives de pratiques de gestion sylvicole contrastées (figure 1). L'arbre le plus petit issu du peuplement le plus vieux présente la croissance radiale la plus lente de l'échantillon (LMC_{arbre} inférieure à 3 mm/an), tandis que l'arbre le plus gros prélevé dans le peuplement le plus jeune présente la croissance la plus rapide de l'échantillon (supérieure à 7 mm/an).

Les échantillons utilisés pour tester les propriétés physiques et mécaniques ont été façonnés afin d'être conformes aux prescriptions des normes internationales. Pour chaque essai technologique, environ 1250 éprouvettes ont fait l'objet de mesures.

En ce qui concerne la durabilité naturelle, qui traduit ici la résistance naturelle du duramen face aux attaques d'agents fongiques, deux tests ont été effectués sur un peu plus de 800 éprouvettes au total. Un test préliminaire a permis d'une part de déterminer le champignon le plus virulent et d'autre part d'évaluer la différence de durabilité naturelle entre le bois juvénile et le bois mature. Pour ce faire, les éprouvettes ont été prélevées sur les trois plus gros arbres dans chaque peuplement, à proximité de la moelle (latte « A », dans le bois juvénile) et à proximité de l'aubier (latte « B », dans le bois mature). Le test principal a ensuite été réalisé sur tous les arbres avec le champignon le plus agressif déterminé dans le cadre du test préliminaire ; ce champignon a été inoculé sur les éprouvettes provenant des lattes « C » et « D », toutes deux situées dans le bois mature. Suivant les prescriptions de la norme européenne⁴, la durabilité naturelle est déterminée sur base de la perte de masse des éprouvettes causée par les champignons lignivores auxquels ces dernières sont exposées durant 16 semaines. En fonction de la valeur médiane de la perte de masse, cinq classes de durabilité naturelle sont ainsi définies (encart 1). Les champignons testés sont *Poria placenta* CTB 863A et *Coniophora puteana* BAM Ebw.15, champignons de pourriture brune qui dégradent la cellulose des parois cellulaires, engendrant une pourriture cubique résultant des fissures transversales et longitudinales qui apparaissent sur le bois des essences résineuses et feuillues.

Figure 1. Valeurs individuelles de la largeur moyenne des cernes (LMC_{arbre}) des 66 arbres (points bleus) et valeurs moyennes par peuplement (points oranges).



1. 66 plateaux centraux destinés aux essais technologiques.

2-3. Stockage des lattes qui sont ensuite façonnées en éprouvettes destinées aux essais mécaniques et stockées dans une enceinte climatisée jusqu'à stabilisation de leur taux d'humidité à 12 %.

4. Machine d'essai de marque Instron dotée du « système 4 points », permettant la détermination du module d'élasticité et de la résistance en flexion.

5. Position des lattes dans lesquelles sont prélevées les éprouvettes pour les essais de durabilité naturelle. Essai préliminaire : lattes « A » (10 ans, dans le bois juvénile) et « B » (dans le bois mature, proche de l'aubier). Essai principal : lattes « C » (dans le bois mature, proche de l'aubier) et « D » (20 ans, dans le bois mature).

6. Éprouvettes de douglas en contact avec le champignon *Poria placenta* dans une boîte de Kolle.



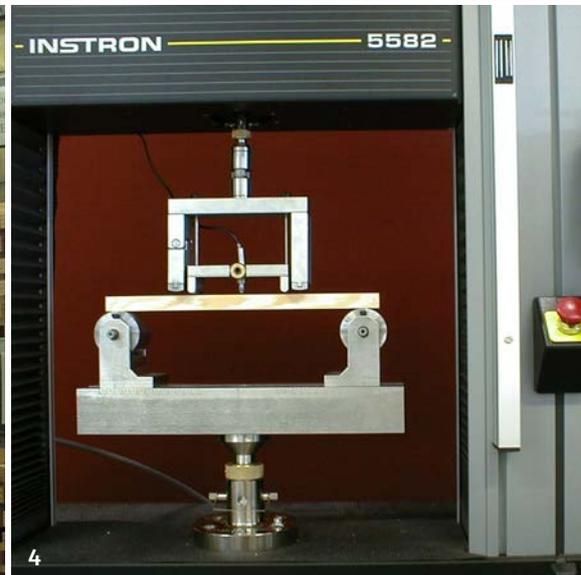
1



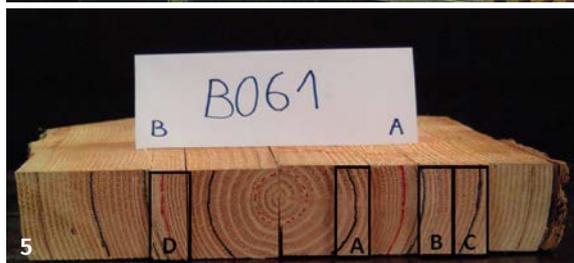
2



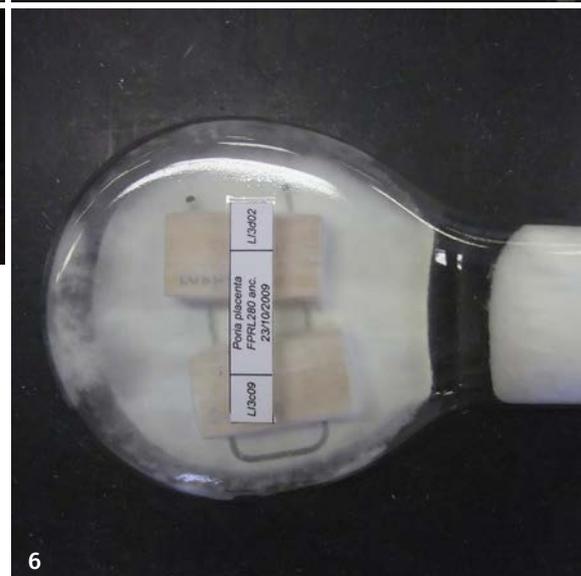
3



4



5



6

Encart 1. Durabilité naturelle/classe d'emploi

La norme européenne CEN/TS 15083-1⁴ définit cinq classes de durabilité naturelle basées sur les pertes de masse observées sur des échantillons de bois après une exposition de 16 semaines à des champignons lignivores spécifiques. La perte de masse maximale autorisée pour accéder aux classes de durabilité 1, 2, 3 et 4 est respectivement de 5, 10, 15 et 30 % (correspondant à un bois très durable, durable, modérément durable et légèrement durable) ; au-delà de ce seuil, l'espèce est classée comme non durable. L'aubier est toujours considéré comme non durable, quelle que soit l'essence considérée. Les tests de durabilité ne portent dès lors que sur le duramen du bois.

Les classes d'emploi correspondent aux risques de dégradations biologiques auxquels le bois sera soumis une fois mis en œuvre. La norme EN 335 définit cinq classes d'emploi en fonction des conditions d'humidité dans lesquelles le bois est utilisé :

- Classe d'emploi 1 : à l'intérieur au sec, humidité du bois en service toujours inférieure à 20 % (parquet, menuiserie intérieure...).
- Classe d'emploi 2 : à l'intérieur ou sous abris, sans exposition aux intempéries. L'humidité du bois est

occasionnellement supérieure à 20 % (charpente, toiture...).

- Classe d'emploi 3 : bois qui n'est pas en contact avec le sol mais qui, exposé aux intempéries, subit des ré-humidifications courtes (classe 3.1) ou prolongées (classe 3.2) au-delà de 20 % (bardages, menuiseries extérieures, platelages...).
- Classe d'emploi 4 : bois à l'extérieur, en contact permanent avec le sol ou de l'eau douce. L'humidité du bois en service est (presque) en permanence supérieure à 20 % (poteaux, clôtures...).
- Classe d'emploi 5 : bois en contact permanent avec de l'eau de mer ou saumâtre, son humidité est toujours supérieure à 20 % (pontons, structures maritimes...).

Le tableau ci-dessous, dérivé de la norme EN 460⁸, établit une correspondance entre les classes d'emploi et de durabilité naturelle. Il permet de quantifier les risques d'attaques biologiques et le besoin d'appliquer un traitement de préservation à une essence donnée utilisée dans des conditions déterminées.

Classes d'emploi	Classes de durabilité				
	1 Très durable	2 Durable	3 Moyennement durable	4 Peu durable	5 Non durable
1	ok	ok	ok	ok	ok
2	ok	ok	ok	[+]	[+]
3	ok	ok	[ok]	[ok] à [+]	[ok] à [+]
4	ok	[ok]	[+]	+	+
5	ok	[+]	[+]	+	+

ok La durabilité naturelle est suffisante pour l'emploi

[ok] La durabilité naturelle est normalement suffisante ; un traitement de préservation peut parfois être recommandé

[+] Un traitement de préservation est normalement recommandé, mais il est possible de l'éviter dans certains cas

+ Un traitement de préservation est nécessaire

Résultats des essais de détermination des propriétés physiques et mécaniques

Les valeurs moyennes obtenues pour les neuf propriétés étudiées sont présentées dans la figure 2 ; ces valeurs sont comparées aux valeurs mentionnées dans la littérature pour le douglas et pour les deux es-

sences mentionnées précédemment présentant des débouchés similaires.

Conformément aux observations réalisées dans le cadre de plusieurs études européennes, la masse volumique du bois de douglas avoisine en moyenne 500 kg/m³, intermédiaire entre celles de l'épicéa et du mélèze. Le retrait volumique total, qui représente la

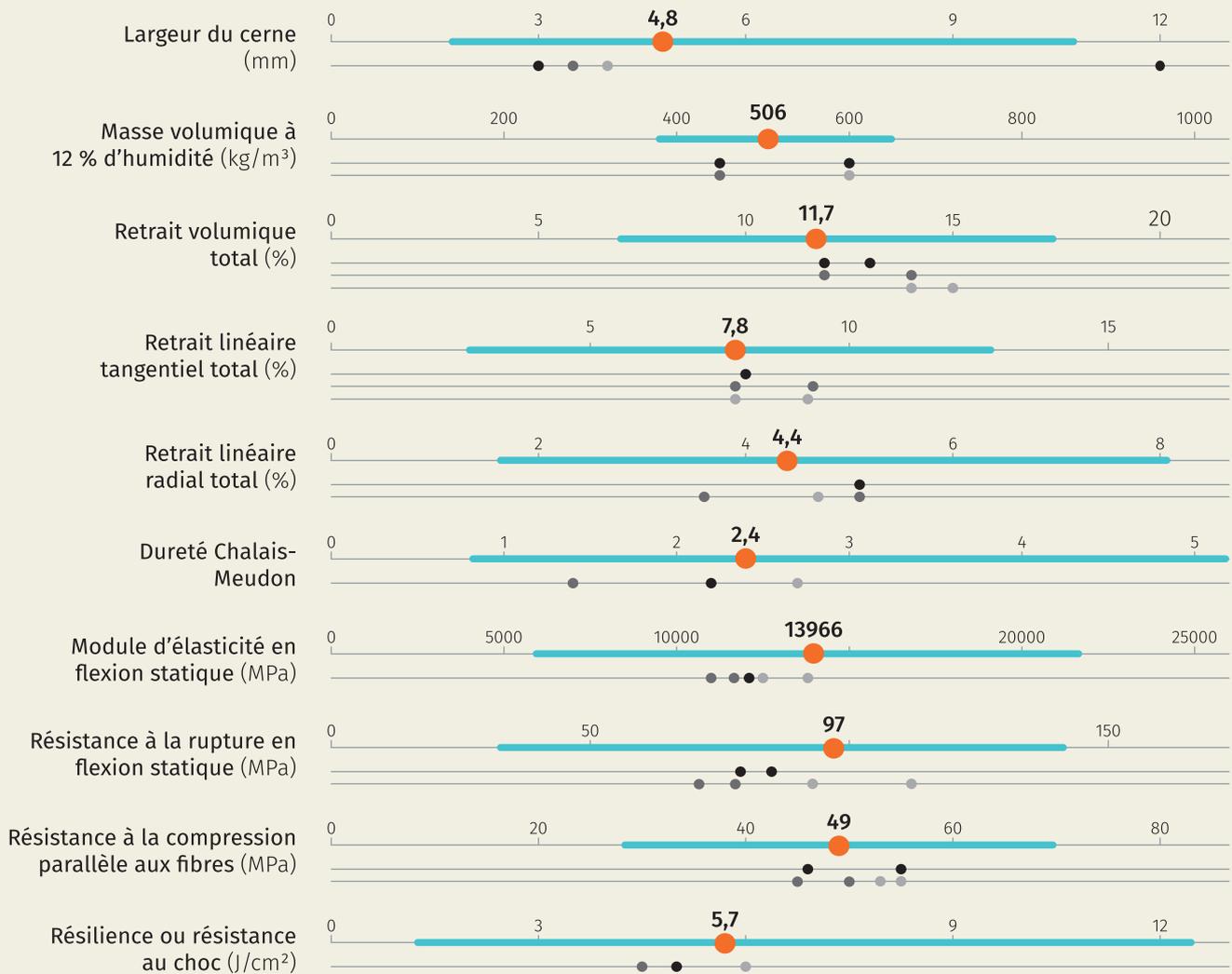


Figure 2. Propriétés physiques et mécaniques du bois de douglas produit en Wallonie, évaluées sur des éprouvettes standardisées sans défauts (nombre d'éprouvettes testées pour chaque propriété : environ 1250).

Étude DEMNA-ULiège

- Moyenne
- Min.-max.

Littérature

- Douglas
- Épicéa
- Mélèze

diminution de volume d'un cube de bois lorsque son humidité passe d'environ 30 % (ce qui correspond au point de saturation des fibres) à 0 % (état anhydre), est comparable à ceux mentionnés dans la littérature pour le douglas, et légèrement inférieur à ceux reportés pour l'épicéa et le mélèze. Les propriétés mécaniques observées sur le douglas wallon sont en général supérieures à celles de l'épicéa et similaires à celles du mélèze. Rappelons que ces valeurs sont obtenues sur des petites éprouvettes sans défauts : elles ne sont pas directement comparables aux propriétés mécaniques mesurées sur des sciages aux dimensions d'emploi qui seront en moyenne plus faibles,

en raison des singularités telles que les nœuds, les fentes, les poches de résine, ou les déformations par exemple.

Le bois juvénile, qui présente des caractéristiques et propriétés sensiblement différentes du bois adulte (encart 2), est important à considérer en termes de qualité du bois. Ainsi, si le terme d'exploitabilité est défini sur la base du diamètre à 1,5 m* et si la croissance radiale est favorisée dans le jeune âge par une sylviculture dynamique, la proportion de bois juvénile sera inévitablement augmentée, induisant une diminution de la qualité globale de la ressource qu'il conviendra de quantifier. La figure 3 montre que, selon les propriétés considérées, les valeurs observées pour le bois juvénile sont de 10 à 30 % moindres que

* Ce qui est en partie favorisé par la demande des scieries préférant les bois de dimensions moyennes (entre 1 et 2 m³).

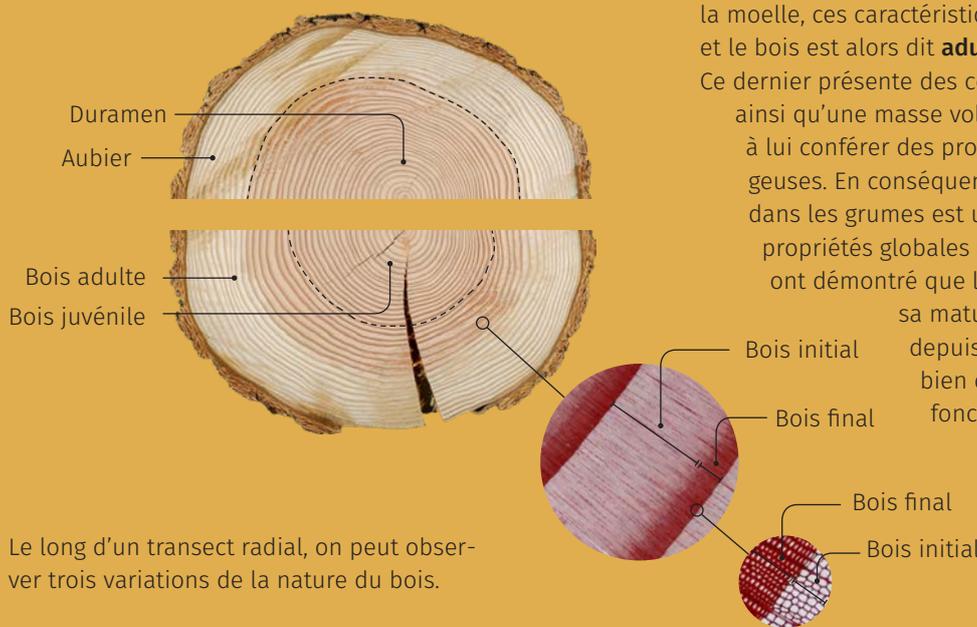
celles du bois mature. Ces résultats plaident clairement en faveur d'une sylviculture qui minimise la proportion du bois juvénile.

Effets de la masse volumique et de la vitesse de croissance

La masse volumique du bois est une caractéristique fondamentale en technologie du bois car elle conditionne de nombreuses propriétés. Les figures 4 et 5 représentent la variation du module d'élasticité et de la résistance en flexion selon la masse volumique, en distinguant le bois juvénile (en vert) et le bois mature (en bleu). Les valeurs de ces propriétés augmentent avec la masse volumique, ce qui est en accord avec la

littérature. Pour fixer les idées, on retiendra qu'une augmentation de 1 % de la masse volumique induit, indépendamment de la nature juvénile ou adulte du bois, une augmentation de 1,4 % du module d'élasticité et de la résistance en flexion. Plusieurs auteurs mentionnent par ailleurs la forte influence de la génétique sur la masse volumique, elle-même étroitement liée à la texture, qui correspond au pourcentage de bois d'été dans les cernes (encart 2). En outre, il apparaît que pour une masse volumique donnée, le module d'élasticité est environ 10 % plus faible dans le bois juvénile que dans le bois mature ; en ce qui concerne la résistance en flexion, cette différence est de 5 % environ.

Encart 2. Les diverses natures du bois



Le long d'un transect radial, on peut observer trois variations de la nature du bois.

1. Juste sous l'écorce, l'**aubier**, généralement constitué de 10 à 20 cernes, assure la conduction de la sève brute. Ce tissu accumule des substances de réserves (amidon) en fin de période végétative, ce qui le rend vulnérable aux attaques biologiques. Au fil des années, un cerne donné se retrouve de plus en plus éloigné du tissu générateur périphérique (cambium) ; avec le temps, des processus de transformations chimiques se mettent en place au sein des cernes les plus anciens et conduisent à la formation du duramen ou bois de cœur, chargé en tanins et résines qui renforcent sa résistance contre les agents biologiques.

2. Quel que soit le niveau de hauteur, les premiers cernes comptés à partir de la moelle constituent le **bois juvénile**. Ce dernier arbore des caractéristiques anatomiques particulières : fibres relativement courtes, parois cellulaires constituées de microfibrilles de cellulose inclinées par rapport à l'axe des fibres... À mesure que l'on s'éloigne de

la moelle, ces caractéristiques changent progressivement et le bois est alors dit **adulte** (qu'il soit duraminisé ou pas). Ce dernier présente des cernes de croissance moins larges, ainsi qu'une masse volumique plus élevée qui contribue à lui conférer des propriétés mécaniques plus avantageuses. En conséquence, la proportion de bois juvénile dans les grumes est un élément déterminant quant aux propriétés globales de la ressource. Plusieurs auteurs ont démontré que le bois acquiert généralement sa maturité entre 10 et 20 ans comptés depuis la moelle (et non la plantation), bien que cet âge varie notamment en fonction de la provenance génétique et des individus. Dans notre étude, nous avons considéré que la transition entre le bois juvénile et mature s'opérait au quinzième cerne compté depuis la moelle.

3. Enfin, au cours de chaque cycle annuel, les alternances saisonnières entraînent dans un premier temps la production de **bois initial** ou **bois de printemps**, caractérisé par des cellules de large section transversale et des parois minces facilitant le transport de la sève. Dans un second temps, l'assise génératrice produit du **bois final** ou **bois d'été**, caractérisé par des cellules de plus faible section dotées de parois épaisses, et par conséquent plus denses, moins souples et plus résistantes mécaniquement. Cette différence entre le bois initial et le bois final se marque chez les résineux par la couleur plus sombre du second dans chaque cerne. Chez le douglas, les variations de masse volumique du bois au sein d'un cerne de croissance sont extrêmement élevées, passant d'environ 250 kg/m³ dans le bois de printemps à 900 voire plus de 1000 kg/m³ dans le bois d'été. Cette hétérogénéité de la densité a d'importantes conséquences sur le sciage et l'usinage du douglas.

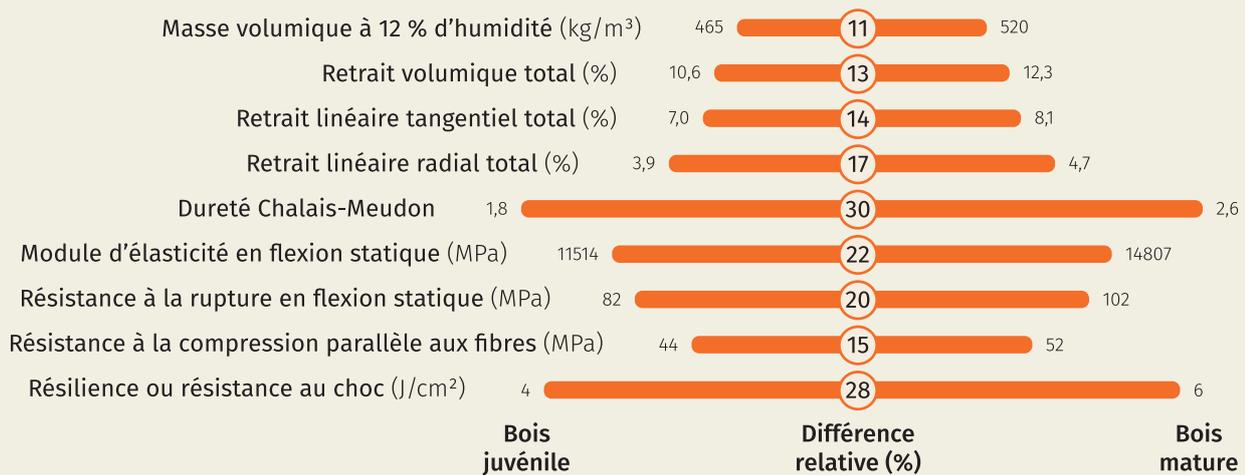
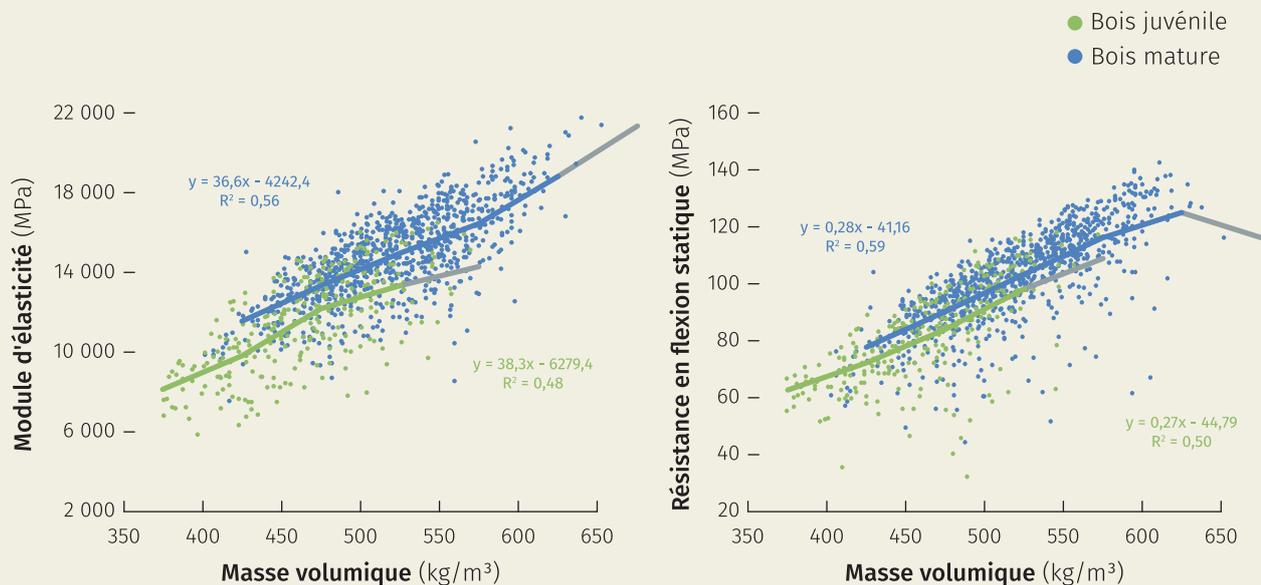


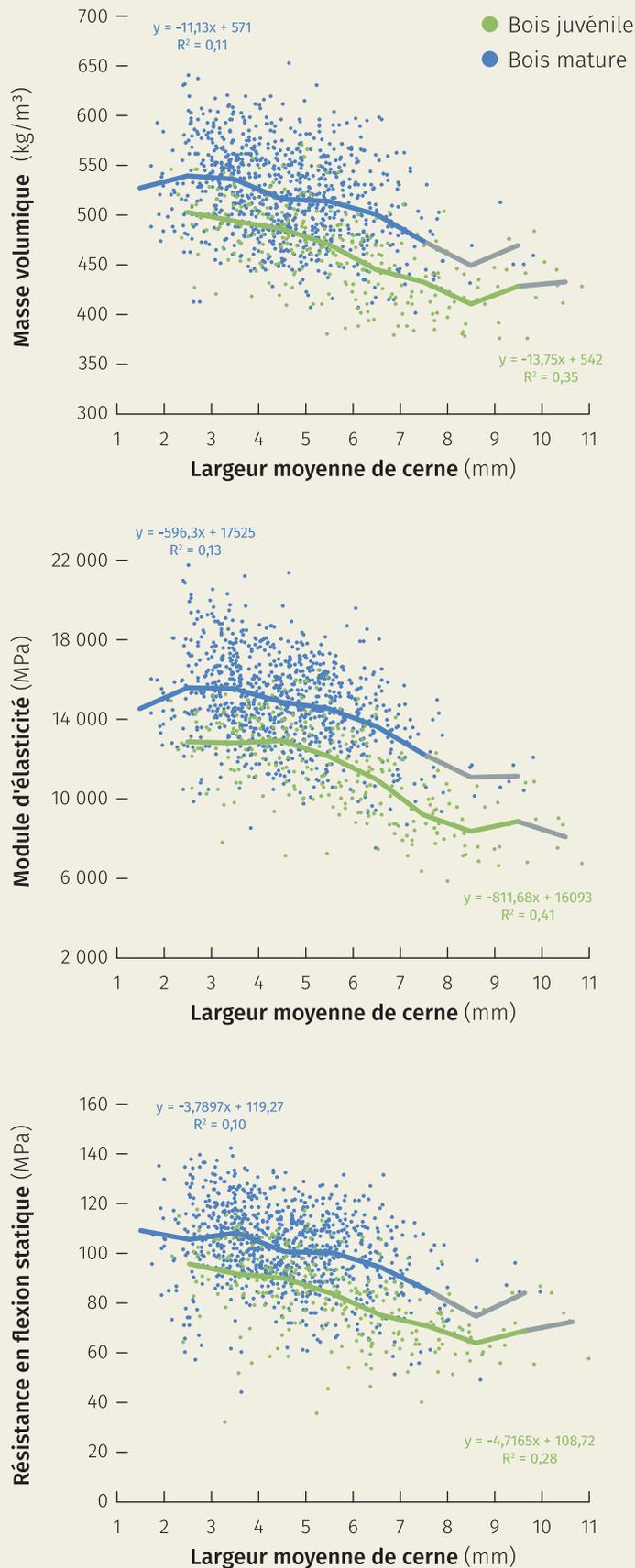
Figure 3. Valeurs moyennes des propriétés physiques et mécaniques de bois de douglas récolté en Wallonie évaluées sur éprouvettes standardisées, en distinguant le bois mature et le bois juvénile (respectivement environ 885 et 275 échantillons).



Figures 4 et 5. Influence de la masse volumique sur le module d'élasticité et la résistance en flexion, pour le bois juvénile (points verts) et le bois mature (points bleus). Les valeurs moyennes par classe de masse volumique sont représentées par les lignes (les valeurs des classes présentant moins de dix observations apparaissent en gris).

La figure 6 illustre l'évolution de la masse volumique avec l'augmentation de la largeur de cerne des éprouvettes, en distinguant les bois mature et juvénile. La corrélation entre ces deux propriétés apparaît relativement faible, surtout dans le bois mature. Ceci indique que des facteurs autres que la vitesse de croissance (le site, la provenance génétique, les caractéristiques anatomiques...) conditionnent la masse volumique du bois de douglas, et par conséquent les autres propriétés qui sont toutes plus ou moins fortement liées à cette dernière. Quelles qu'en soient les raisons, la faible diminution de la masse volumique avec l'augmentation de la vitesse de croissance induit

donc un risque limité de déprécier significativement la qualité intrinsèque du bois mature sans défaut. Ainsi, la masse volumique moyenne du bois mature demeure supérieure à 500 kg/m³ jusqu'à la classe de largeur de cernes 6-7 mm. Dans le bois juvénile, cette valeur moyenne de la masse volumique n'est par contre atteinte que lorsque la croissance radiale est inférieure à 3 mm. Les figures 7 et 8 montrent une diminution du module d'élasticité et de la résistance en flexion avec l'augmentation de la largeur moyenne de cerne, ce qui est d'ailleurs la tendance observée pour toutes les autres propriétés. En outre, comme observé pour la masse volumique, le module d'élas-



Figures 6, 7 et 8. Influence de la largeur moyenne des cernes sur la masse volumique, le module d'élasticité et la résistance en flexion, dans le bois juvénile (points verts) et le bois mature (points bleus). Les valeurs moyennes par classe de largeur moyenne de cerne sont représentées par les lignes (les valeurs des classes présentant moins de dix observations apparaissent en gris).

ticité et la résistance en flexion montrent une plus forte corrélation avec la largeur des cernes dans le bois juvénile que dans le bois mature.

Quoi qu'il en soit, indépendamment des propriétés mesurées sur éprouvettes sans défauts, le sylviculteur devra également tenir compte de l'incidence des vitesses de croissance élevées sur certains défauts tels que la nodosité. Cet impact pourra néanmoins être atténué en procédant à un élagage artificiel ou à l'aboutage de sciages purgés des défauts.

On notera également que les relations établies entre les différentes caractéristiques se retrouvent à l'identique dans tous les peuplements étudiés. Par contre, des différences importantes sont observées entre les arbres d'un même peuplement, ce qui atteste de l'importance du patrimoine génétique individuel.

La figure 9 exprime par classe d'âge de 10 ans la diminution des valeurs de la masse volumique, du module d'élasticité et de la résistance en flexion entre deux sylvicultures contrastées caractérisées par des vitesses de croissance 25 % inférieure (représentative d'une sylviculture conservatrice) et 25 % supérieure (représentative d'une sylviculture dynamique) à la vitesse de croissance moyenne observée au sein de chaque classe d'âge.

Il apparaît que, parmi les trois propriétés présentées ici, c'est le module d'élasticité qui est le plus sensible à l'augmentation de la vitesse de croissance, démontrant dans les conditions définies précédemment une diminution de plus de 15 % avant 10 ans. Au-delà de 20 ans, une augmentation importante de la vitesse de croissance n'induit toutefois plus qu'une diminution limitée, inférieure à 10 %, du module d'élasticité et de la résistance en flexion (la diminution de propriété n'est même plus que de l'ordre de 5 % après 50 ans). Que l'on considère le bois juvénile ou le bois mature, la faible sensibilité de la masse volumique aux variations de vitesse de croissance apparaît clairement. Ce constat n'est guère surprenant, plusieurs auteurs^{14, 20} ayant démontré l'influence prépondérante du patrimoine génétique sur la masse volumique du bois.

Si ces observations sont confirmées par les analyses réalisées sur les sciages aux dimensions d'emploi, un itinéraire sylvicole en deux phases semble le plus adéquat pour le douglas, se caractérisant par :

- une croissance ralentie autant que possible jusqu'à 20 ans, afin de minimiser la proportion de bois juvénile dans la grume,
- une gestion plus dynamique au-delà de 20 ans, en limitant idéalement la croissance à 5-6 mm/an (en sachant qu'au-delà de 6 mm de largeur moyenne

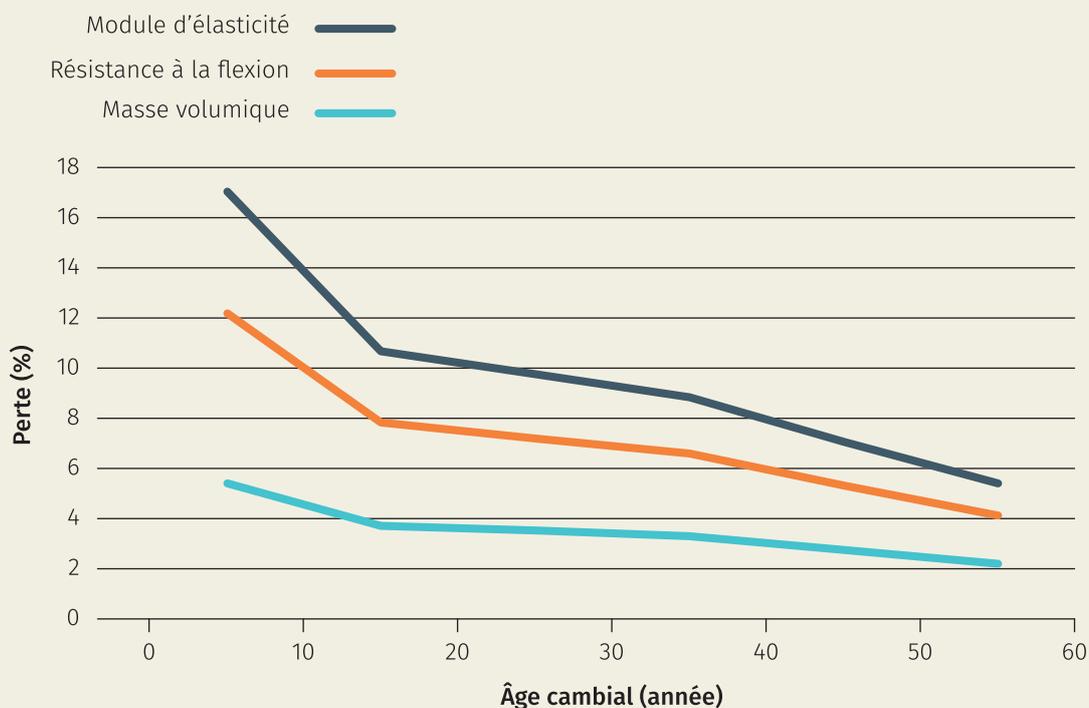


Figure 9. Profil radial de diminution des propriétés physico-mécaniques lorsque l'on compare une vitesse de croissance élevée (25 % supérieure à la moyenne observée dans cette classe d'âge) à une vitesse de croissance faible (25 % inférieure à la moyenne observée dans cette classe d'âge).

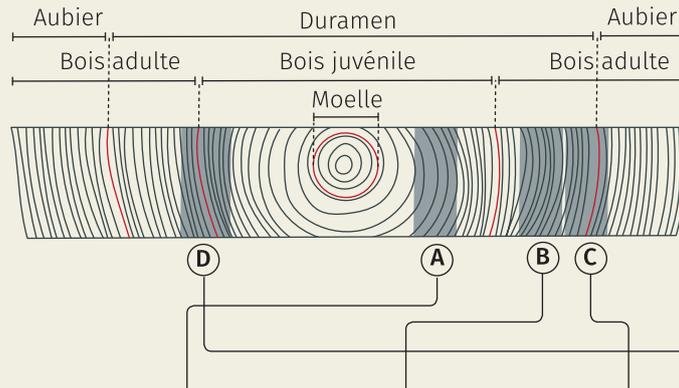
des cernes le classement visuel des sciages de structure ne permet plus – même si cette exigence n'est pas immuable – l'accès à la meilleure classe de résistance mécanique).

Résultats des tests de durabilité naturelle

La dégradation biologique du bois mis en œuvre est un procédé complexe qui dépend de nombreux facteurs tels que la nature des agents biologiques auxquels il est exposé, les conditions d'hygrométrie du milieu et la durée d'exposition à ces conditions. Par ailleurs, la durabilité naturelle du bois peut notamment varier en fonction de la virulence du champignon utilisé ou de la provenance génétique. Des différences entre arbres et bien entendu au sein de ceux-ci existent également. Enfin, rappelons que l'aubier n'est jamais durable et qu'en l'absence de traitement de préservation, seule la classe d'emploi 1 (c'est-à-dire jamais de réhumidification au-delà de 20 %) est envisageable ; c'est pour cette raison que les tests de durabilité ne concernent que le duramen.

Les valeurs médianes des pertes de masse causées par les deux champignons sont présentées dans le tableau 1. Le champignon *Poria placenta* ayant engendré la perte de masse médiane la plus importante lors du test préliminaire, c'est lui qui a été utilisé pour le test principal. Pour ce champignon, les valeurs de

perte de masse observées dans le bois juvénile (position A) sont similaires à celles observées dans le bois mature (position B) et positionne le bois de douglas en classe 4, soit un bois peu durable. Le classement obtenu lors du test principal est identique, soit un peu moins favorable que le classement figurant dans la norme européenne⁶, qui indique la classe 3-4 pour cette essence. Nos résultats sont cependant en parfait accord avec d'autres tests en laboratoire réalisés sur du douglas européen³. Il convient néanmoins de noter que la vitesse de réhumidification du bois lorsque l'hygrométrie ambiante augmente doit également être prise en compte lors de l'examen des risques de développement de champignons et de pourritures⁹. Par rapport à la plupart des bois résineux des genres *Picea sp.*, *Pinus sp.* ou *Larix sp.*, le douglas se caractérise par sa lenteur de reprise d'humidité⁵. Cette inertie constitue un avantage dans les situations en classe d'emploi 2 et 3.1 où les conditions d'hygrométrie sont susceptibles de varier fréquemment mais durant un laps de temps trop court pour permettre une réhumidification profonde du bois. C'est une des raisons avancées par certains auteurs¹¹ pour expliquer la meilleure résistance aux attaques biologiques de plusieurs ouvrages extérieurs en douglas, parfois mis en œuvre depuis des décennies, que celle qui serait attendue sur la base des valeurs observées dans le cadre de tests normalisés. En classe d'emploi 3.2, la situation moins favorable induit une réduction de la longévité des ouvrages. L'expérience montre qu'en



		Position radiale			
		A	B	C	D
		10 ans	proche de l'aubier	proche de l'aubier	20 ans
<i>Poria placenta</i>	Nombre d'éprouvettes	60	60	190	188
	Perte de masse médiane (%)	20,9	20,1	18,5	20,3
	Classe de durabilité	4	4	4	4
<i>Coniophora puteana</i>	Nombre d'éprouvettes	60	60	-	-
	Perte de masse médiane (%)	15,4	12,4	-	-
	Classe de durabilité	4	3	-	-

Tableau 1. Pertes de masse médianes (%) causées par *Poria placenta* et *Coniophora puteana* sur les éprouvettes provenant des positions A et B des plateaux de douglas (test préliminaire), et par *Poria placenta* dans le cas des positions C et D (test principal), ainsi que la classe de durabilité naturelle associée.

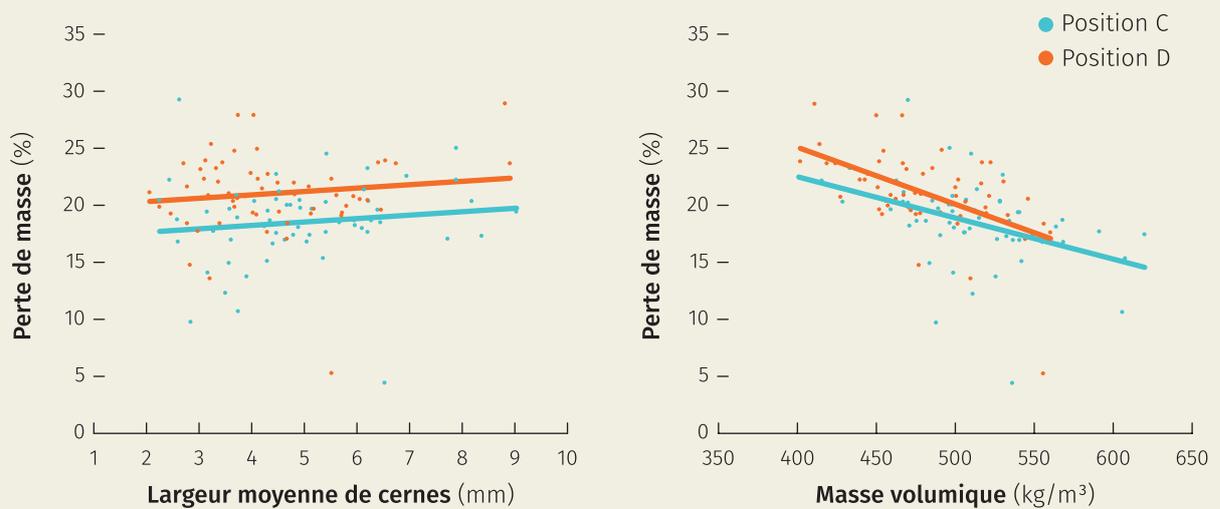


Figure 10. Pertes de masse (%) observées sur les 60 arbres dans les positions C et D, en fonction de la largeur moyenne de cerne (à gauche) et de la masse volumique (à droite).

classe d'emploi 4 ou assimilée*, la durabilité naturelle du douglas d'une part et sa non-imprégnabilité d'autre part ne permettent pas, dans les conditions climatiques rencontrées en Belgique, d'envisager raisonnablement des longévités supérieures à 10 ans.

Effets de la masse volumique et de la vitesse de croissance

Il ressort des essais que la perte de masse est indépendante de la largeur moyenne de cerne des éprouvettes (figure 10). Un constat identique a été réalisé sur des douglas originaires du Sud de l'Allemagne³. Par contre, l'analyse statistique a mis en évidence un impact très hautement significatif de la masse volumique du bois sur sa durabilité naturelle. La figure 10 illustre aussi, pour les deux positions radiales considérées, la diminution de la perte de masse moyenne – et donc l'augmentation de la durabilité – à mesure que la masse volumique croît. Pour la gamme de masses volumiques testées, les pertes de masse estimées correspondent cependant à une classe 4.

L'analyse statistique a également mis en évidence des différences significatives entre les sites et entre les arbres. Cependant, aucune analyse n'ayant été réalisée au niveau du sol et du climat d'une part, et en l'absence d'information quant à la provenance génétique des peuplements d'autre part, il n'est pas possible d'interpréter l'apparente incidence du site. Plusieurs études mentionnent cependant que la principale source de variation de la durabilité naturelle est d'ordre génétique. Ce sont donc probablement des différences d'ordre génétique entre les peuplements (effet provenance) et entre les arbres (effet individuel) qui expliqueraient les résultats observés.

Conclusion

Les valeurs des propriétés physico-mécaniques du bois de douglas obtenues dans cette étude apparaissent généralement supérieures à celles du bois d'épicéa et similaires à celles du mélèze ; la durabilité naturelle du douglas est par contre un peu moins favorable (classe 4) que celle mentionnée dans la norme européenne (classe 3-4). Ces résultats ne doivent cependant pas remettre en question les utilisations conventionnelles du douglas à des fins structurelles

* Par « assimilée », il faut entendre une partie d'ouvrage en classe d'emploi 3 susceptible de présenter des pièges à eau, d'entretien difficile ou impossible compte tenu de l'accessibilité, ou concernant une pièce dont la rupture pourrait avoir des conséquences particulièrement graves pour les personnes ou pour la stabilité de l'édifice (norme EN 335-2, 2006).

notamment, pour autant que la mise en œuvre soit adéquate et que l'aubier soit purgé ou traité si le contexte l'exige.

Cette étude a aussi montré une faible influence de la vitesse de croissance sur les propriétés physico-mécaniques ; cette influence dépend en outre de la nature du bois. Les propriétés observées dans le bois juvénile sont en effet plus sensibles à l'augmentation de la largeur moyenne des cernes. Par ailleurs, la vitesse de croissance ne semble pas avoir d'impact sur la durabilité naturelle du bois de douglas, que l'on considère le bois juvénile ou le bois adulte. Néanmoins, les observations sur les éprouvettes sans défauts devraient amener les gestionnaires forestiers à être prudents quant aux pratiques sylvicoles qui induisent une croissance juvénile soutenue telles que des faibles densités de plantation, des éclaircies trop fortes dans le jeune âge ou précoces. À l'opposé, dans le bois mature, une vitesse de croissance élevée (largeur moyenne des cernes de 6 mm, voire jusqu'à 8 mm) ne semble pas poser de problème pour les propriétés étudiées ici.

On favorisera donc les scénarios sylvicoles limitant la croissance du peuplement dans son jeune âge (avant 20 ans) et offrant par la suite l'opportunité au douglas d'exprimer au mieux son potentiel de croissance tout en produisant un bois présentant des hautes performances susceptibles de rencontrer les exigences posées par les utilisateurs du bois. Bien entendu, en intégrant les effets de la gestion sylvicole sur les défauts du bois (et plus particulièrement les nœuds), les mesures et observations réalisées sur les sciages aux dimensions d'emploi, qui feront prochainement l'objet d'une publication, permettront de préciser davantage les rythmes de croissance qu'il convient d'adopter en vue de garantir la production d'une ressource offrant les meilleures perspectives de valorisation. ■

Bibliographie

- ¹ Alderweireld M., Burnay F., Pitchugin M., Lecomte H. (2015). *Inventaire Forestier Wallon. Résultats 1994-2012*. SPW, DGO3, DNF, Direction des Ressources forestières, Jambes, 236 p.
- ² Baret J.D., Kellogg R.M. (1991). Bending strength and stiffness of second-growth douglas-fir dimension lumber. *Forest Production Journal* 41(10) : 35-43.
- ³ Blohm J.H., Melcher E., Lenz M.-T., Koch G., Schmitt U. (2014). Natural durability of douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) heartwood grown in Southern Germany. *Wood Material Science & Engineering* 9(3) : 186-191.
- ⁴ CEN/TS 15083-1 (2005). *Durability of wood and wood-based products. Determination of the natural durability of*

POINTS-CLEFS

- ▶ La vitesse de croissance a un impact faible sur les propriétés physico-mécaniques du bois mature.
- ▶ Dans le bois juvénile, les propriétés mécaniques sont plus sensibles à l'augmentation de la largeur des cernes : il est préférable de freiner la croissance des peuplements dans leur jeune âge.
- ▶ Dans la gamme considérée ici, la vitesse de croissance ne semble pas avoir d'impact sur la durabilité naturelle du duramen du douglas.
- ▶ Les tests réalisés sur éprouvettes sans défaut ne sont pas directement comparables aux tests sur sciages en vraie grandeur ; ces derniers devront compléter les résultats présentés ici.

solid wood against wood-destroying fungi, test methods. Part 1 : Basidiomycetes. European Committee For Standardization, Brussels, 20 p.

- ⁵ **Dirol D., Deglise X.** (2001). *Durabilité des bois.* Hermès Science Publications, Paris, 416 p.
- ⁶ **EN 350-2** (1994). *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois. Durabilité naturelle du bois massif. Partie 2 : Guide de la durabilité naturelle du bois et de l'imprégnabilité d'essences de bois choisies pour leur importance en Europe.* Institut belge de Normalisation (IBN), Bruxelles, 40 p.
- ⁷ **EN 335-1** (2006). *Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois. Définition des classes d'emploi. Partie 1 : Généralités.* Institut belge de Normalisation (IBN), Bruxelles, 10 p.
- ⁸ **EN 460** (1994). *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois. Durabilité naturelle du bois massif. Guide d'exigences de durabilité du bois pour son utilisation selon les classes de risque.* Institut belge de Normalisation (IBN), Bruxelles, 9 p.
- ⁹ **France-Douglas** (2012). *Le douglas, un choix naturel pour la construction, Gamme produits.* France-Douglas, Limoges, 25 p. 
- ¹⁰ **Geldreich P.** (1981). *Étude comparée des performances de croissance et de la qualité du bois du douglas et du mélèze dans diverses stations d'Alsace.* Mémoire de 3^{ème} année de l'École nationale des ingénieurs des travaux des Eaux et Forêts, Institut pour le Développement forestier, Paris, 273 p.
- ¹¹ **Kutnik M., Lepetit S., Le Nevé S.** (2011). *Performances of douglas fir in real outdoor use conditions.* 42^e meeting annuel de l'International Research Group on Wood Protection (IRG/WP), 8-12 mai 2011, Queenstown, New-Zealand.
- ¹² **Lauseberg M.J.F., Cown D.J., McConchie D.L., Skipwith J.H.** (1995). Variation in some wood properties of *Pseudotsuga menziesii* provenances grown in New-Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 25(2) : 133-146.
- ¹³ **Leban J.-M., Mothe F.** (1996). La qualité du bois de douglas. *Forêt-entreprise* 108 : 22-25.
- ¹⁴ **Megraw R.A.** (1986). *Douglas-fir wood properties.* In *douglas-fir: stand management for the future.* Edited by Oliver

C.D.O., Hanley D.P., Johnson J.A. Institute of Forest Resources, University of Washington, Seattle, Wash., p. 81-96.

- ¹⁵ **Melin N., Riou-Nivert P.** (1985). La qualité du douglas dépend-elle de la sylviculture ? *Forêt-entreprise* 32 : 18-24.
- ¹⁶ **Nepveu G., Blachon J.-L.** (1989). Largeur de cerne et aptitude à l'usage en structure de quelques conifères : douglas, pin sylvestre, pin maritime, épicéa de Sitka, épicéa commun, sapin pectiné. *Revue Forestière Française* 41(6) : 497-506.
- ¹⁷ **Spear M., Walker J.** (2006). *Dimensional instability in timber.* In: *Primary wood processing: principles and practice.* 2nd ed. Edited by J.C.F. Walker, Springer, Dordrecht, the Netherlands, p. 95-120.
- ¹⁸ **Todaro L., Macchioni N.,** (2011). Wood properties of young douglas-fir in Southern Italy : results over a 12-year post-thinning period. *European Journal of Forest Research* 130 : 251-261.
- ¹⁹ **Vikram V., Cherry M.L., Briggs D., Cress D.W., Evans R., Howe G.T.** (2011). Stiffness of douglas-fir lumber: effects of wood properties and genetics. *Canadian Journal of Forest Research* 41 : 1160-1173.
- ²⁰ **Vonnet G., Perrin J.R., Ferrand J.-C.** (1985). Réflexions sur la Densité du Bois. 4^e partie : densité et hétérogénéité du bois de douglas. *Holzforschung* 39 : 273-279.

Les auteurs tiennent à remercier Mesdames A. Bauvin, S. Sliwinski, C. Verheyen et Messieurs F. Raskin et A. Vandersteen (SPW), ainsi que Messieurs L. Hadiy et P. Thibaut (ULiège, GxABT) pour leur assistance technique. Que tous les gestionnaires et propriétaires forestiers qui ont permis la réalisation de cette étude soient également remerciés.

Les résultats synthétisés ici ont été publiés dans deux articles scientifiques parus dans le *Canadian Journal of Forest Research* :

- **Pollet C., Henin J.-M., Hébert J., Jourez B.** (2013). Effect of growth rate on the natural durability of douglas-fir in Western Europe. *CJFR* 43 : 891-896.
- **Pollet C., Henin J.-M., Hébert J., Jourez B.** (2017). Effect of growth rate on the physical and mechanical properties of douglas-fir in Western Europe. *CJFR* 47 : 1056-1065.

Crédits photos. Laboratoire de Technologie du Bois (DEMNA, SPW).

Caroline Pollet¹

Jean-Marc Henin²

Jacques Hébert¹

Benoit Jourez²

caroline.pollet@guest.uliege.be

¹ Gestion des Ressources forestières (GxABT, ULiège)
Passage des Déportés 2 | B-5030 Gembloux

² Laboratoire de Technologie du Bois (DEMNA, SPW)
Avenue Maréchal Juin 23 | B-5030 Gembloux