



DETERMINISMES DE LA FORMATION DU DURAMEN CHEZ LE DOUGLAS ENTRE SYLVICULTURE ET GÉNÉTIQUE DOUGLAS FIR HEARTWOOD DETERMINISM BETWEEN SILVICULTURE AND GENETICS

Le douglas (dont la France est le 1^{er} producteur en Europe) se démarque des autres résineux par son bon niveau de résistance mécanique mais aussi par la durabilité naturelle de son duramen. C'est un réel élément de différenciation (sur des marchés à forte valeur ajoutée, notamment face aux bois blancs, qui restent majoritairement utilisés, mais qui nécessitent un traitement pour devenir durable).

Cette caractéristique lui permet d'être utilisé en extérieur sans traitement (jusqu'à la classe 3.2 lorsque les conditions de mise en œuvre le permettent) en structure, terrasse, platelage et bardage. Ces usages à haute valeur ajoutée possèdent des tolérances variables de proportion d'aubier (de 0 à 10%) sur les sciages utilisés. En scierie, l'optimisation de la production passe par le choix du schéma de sciage et le tri des produits sciés. La quantité de duramen dans les billons apparaît alors comme un point clé de la chaîne de valeur parmi les autres critères de classement.

La variabilité de cette quantité de duramen reste importante au sein des approvisionnements, sans que les causes en soient connues. Cette étude propose d'explorer les déterminismes de formation du duramen, pour tenter d'identifier des moyens de contrôle de la quantité de duramen produite, à travers notamment le choix de la génétique, de la station ou de la sylviculture.

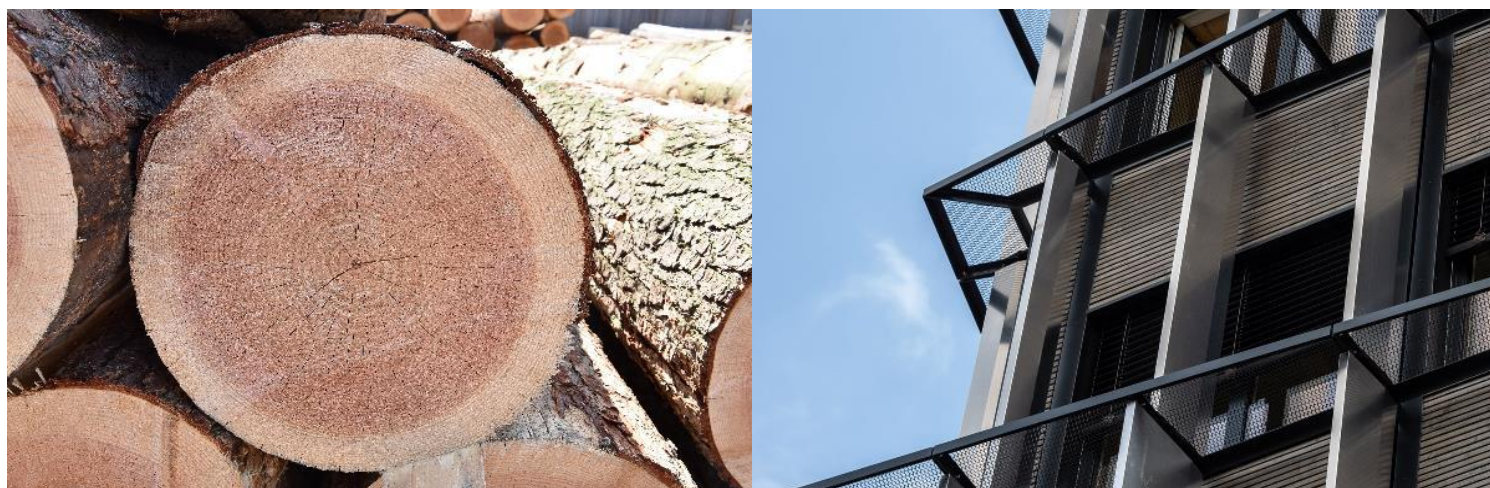


Figure 1 © France Douglas, à gauche : billon avec aubier (beige) et duramen (saumon) ; à droite : utilisation du douglas en bardage

Aubier, duramen deux bois dans un même arbre

D'un point de vue physiologique l'aubier (Figure 1) est la partie du bois qui conduit la sève brute (des racines vers le houppier). Au fil des années et de la formation de nouveaux cerne d'aubier vers l'extérieur du tronc, les cerne d'aubier proches du centre du tronc se transforment en duramen à travers divers processus qui, chez le douglas, tendent à rendre le bois plus durable dont notamment :

✓ l'élimination des cellules dédiées au stockage d'énergie

(sucres, lipides) qui a pour effet de limiter les sources d'énergies potentielles pour les insectes (hors termites) et les champignons,

- ✓ la production d'extractibles (dont les tanins, phénols, huiles, etc.) qui viennent s'apposer ou imprégner les parois cellulaires et sont notamment responsables de la couleur plus foncée du duramen,
- ✓ l'obstruction des vaisseaux et la baisse du taux d'humidité qui limite la reprise en eau du bois après mise en œuvre et empêche le bois d'atteindre des conditions d'humidité favorables au développement de champignons.

En revanche, il n'y a pas de différence des propriétés mécaniques entre aubier et duramen.

Attention : le duramen est aussi appelé bois de cœur (de la traduction anglaise « heartwood ») mais il ne faut pas le confondre avec les notions de bois juvénile et de bois mature, qui sont-elles-aussi, intriquées dans le tronc et qui impliquent cette fois des différences de propriétés mécaniques.

Pour en savoir plus sur ces notions et leurs implications en termes de classement des sciages :

<https://www.france-douglas.com/assets/components/francedouglas/images/mediatheque/plaquettes/recommandations-sylvicoles.pdf>

Matériel et méthode : un échantillonnage de 22 clones dans 5 régions

✓ Les sites

Les essais mobilisés pour cette étude se situent dans les principales régions de production de douglas, et ont été installés dans des situations favorables au douglas proche de la classe fertilité 1 (excepté Sorèze plus proche de la classe de fertilité 2), les caractéristiques dendrométriques des peuplements sont donc similaires entre les essais (Tableau 1). Les 8 dispositifs sont des tests clonaux (à parcelle unitaire mono-arbre ou pluri-arbres répétées dans plusieurs blocs) installés dans les années 1980/1990. Certains essais sont mitoyens et constitués de clones différents. Les conditions stationnelles et l'âge étant très proches, ils ont été regroupés dans la même entité géographique (régions) pour limiter le nombre de niveaux du facteur site.

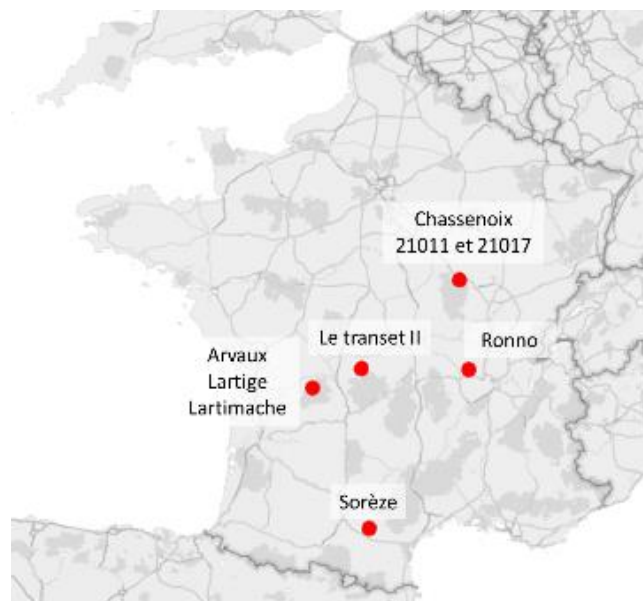


Figure 2 : localisation des essais

Tableau 1 : caractéristiques stationnelles et regroupement en régions :

essais	Régions	altitude (m)	pluviométrie totale (mm/an)	pluviométrie estivale mm/an	roche mère
Ronno	Beaujolais	770	912	184	granite
Soreze	Tarn	710	828	121	schiste
Lartimache	Périgord	415	1094	167	embrechie
Arvaux					
Lartige III					
Le Transet	Creuse	521	1205	198	granite
21017 Chassennoix	Morvan	475	999	177	granite
21011 Chassennoix					

Région	essais	surface (ha)	année de plantation	densité de plantation	nombre d'éclaircie	âge dernière mesure	densité (t/ha)	Dg (cm)	Hg (m)	Ho (m)	H/D	nombre de clone	nombre de clone étudié
Beaujolais	Ronno	0,5	1986	1250	2	32	388	35,5	26,1	27,9	68	35	14
Tarn	Soreze	0,5	1985	800	2	33	368	33,2	20,6	22,3	62	44	7
Périgord	Lartimache	0,7	1984	1100	1	34	420	36,4	27,7	29	76	75	10
	Arvaux	0,7	1984	1100	1	34	413	34,4	26,7	28,5	78	107	11
	Lartige III	0,7	1989	1100	2	29	314	33,3	26,2	27	79	24	6
Creuse	Le Transet	1,0	1987	1200	1	31	643	26,7	22,9	25,4	86	40	9
Morvan	21017 Chassennoix	1,4	1988	800	2	30	397	31,4	25	26,9	80	30	15
	21011 Chassennoix	1,3	1986	1100	2	32	402	31	25,3	26,6	82	70	12

NB : les essais Arvaux et Lartimache présentent des densités faibles avec seulement une éclaircie car ils ont été touchés par la tempête de 1999

Tableau 2 : caractéristiques dendrométriques des essais

✓ Les géotypes

Les essais mobilisés pour cette étude sont des tests clonaux dont la particularité est d'être constitués de plants issus de boutures. Les boutures, provenant d'un même arbre, partagent un patrimoine génétique identique : ce sont des clones. C'est un matériel d'étude idéal pour notre étude au sens où la variabilité observée au niveau phénotypique (= mesurée sur les essais) résulte de l'interaction entre le géotype et son environnement (global comme local). Dans ce cas précis, la part « génétique » de la variabilité est maîtrisée par l'utilisation de plusieurs individus du même clone et permet de quantifier la part environnementale de la variabilité. La comparaison de plusieurs clones permet de quantifier la part génétique de la variabilité.

Le choix des clones étudiés a été effectué selon les règles suivantes :

- ✓ le clone doit être présent sur au moins 3 sites,
- ✓ le clone doit être représenté par au moins 5 arbres sur 2 sites et 3 arbres sur le troisième site.

Ensuite, le choix des arbres d'un même clone sur chaque site a été réalisé en cherchant à maximiser la diversité des diamètres.

L'échantillonnage repose au final sur 22 clones représentant 7 provenances (= localisations) du Washington et 2 provenances de l'Oregon pour un total de 324 arbres étudiés.



Figure 3 : localisation des provenances étudiées

Les effectifs des arbres étudiés par clones et par régions sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 3 : effectifs par région des géotypes étudiés

clone	région	localisation	Régions étudiées				
			Morvan	Perigord	Beaujolais	Creuse	Tarn
1028	Washington	Yakima rimrock	4	9	5		
1039	Oregon	Josephine wolf creek	9	4	5		
1192	Washington	Thurston	5	5		5	
1358	Washington	Darrington	5	4	5		
1364	Washington	Darrington	5	5			3
1380	Washington	Darrington	5	4			3
1399	Washington	Darrington	10	5	3		
1407	Washington	Darrington	5	5			4
1417	Washington	Darrington	10	5			
1448	Washington	Darrington	6	4		5	
1563	Washington	Ashford	5	5	3		
80377	Oregon	Clackamas	4	4	4	2	
81207	Washington	Clallam	4		5	5	
81324	Oregon	Clackamas	2	4		4	5
81330	Oregon	Clackamas	4		5	3	
81331	Oregon	Clackamas	3	4	3	5	3
81411	Washington	Skagit	11	3	5		
81415	Washington	Skagit	3		3	5	
81431	Washington	Skagit	5	5	3		
81432	Washington	Skagit	5	4		5	
81526	Washington	Skamania	5	5			4
81538	Washington	Skamania	5	5			5
Total			120	89	49	39	27

Pour l'étude, la vigueur du clone n'a pas été un critère de sélection. Il s'avère que les clones sélectionnés présentent tout de même une certaine variabilité sur la vigueur allant de 54 cm à 90 cm de circonférence à 30 ans comme observé ci-contre sur les essais de Chassennoix où tous les clones sont représentés. Cette caractéristique de l'échantillonnage permettra de vérifier ou non l'existence d'un lien entre vigueur et duramen au niveau clonal.

✓ Protocole

• Mesures terrain

La campagne de terrain a été effectuée pendant l'hiver 2018/2019, les données récoltées sont les suivantes :

- ✓ Circonférence à 1,3 m (C130)
- ✓ Hauteur totale (Htot)
- ✓ Hauteur du premier verticille vert = 75% de branche vivante (Hvv)
- ✓ Note de rectitude (1 à 5)
- ✓ Note nombre de branche
- ✓ Note diamètre de branche
- ✓ Note angle de branche
- ✓ Présence de polycyclisme

En complément un sondage au résistographe (IML® resi PD 500) a été effectué pour apprécier la densité du bois et une carotte diamétrale a été prélevée à 1,3 m à l'aide d'une tarière de Pressler montée sur une chignole thermique.

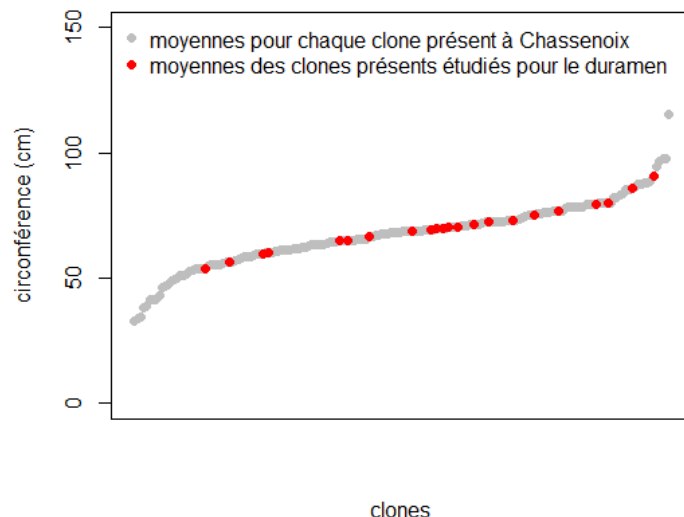


Figure 4 : classement des clones sur la circonférence à 30 ans à Chassennoix



Figure 5 : acquisition des mesures



Figure 6 : utilisation du résistographe



Figure 7 : prélèvement d'une carotte de bois à la tarière de Pressler



Figure 8 : carotte de bois, tarière de Pressler et extracteur

- Mesures sur les carottes
Les carottes ont été ensuite utilisées pour recueillir les informations suivantes :
 - ✓ Longueur de la carotte hors écorce (LT) = diamètre à 1,3 m (sous écorce),
 - ✓ Longueur du duramen (LD),
 - ✓ Longueur de l'aubier à droite et à gauche,
 - ✓ Nombre de cernes d'aubier à droite et à gauche.
- Description des variables utilisées
 - ✓ Longueur du houppier ($H_{houp} = H_{tot} - H_{vv}$)
 - ✓ Longueur relative du houppier ($HR_{houp} = \frac{H_{tot} - H_{vv}}{H_{tot}}$)
 - ✓ Rapport H/D
 - ✓ Nombre de cernes d'aubier moyen sur le rayon (NCA)
 - ✓ Longueur moyenne de l'aubier sur le rayon (LA)
 - ✓ Taux de duramen à 1,3m ($TxD = \frac{LD^2}{LT^2}$),
 - ✓ Largeur de cerne moyenne de l'aubier ($LCA_{moy} = \frac{LA}{NCA}$)
 - ✓ Largeur de cerne moyenne ($LC_{moy} = \frac{LT}{age-4}$)
 - ✓ Ratio de la largeur de cerne ($ratio_LC = \frac{LCA_{moy}}{LC_{moy}}$)

Ce ratio peut être interprété comme un indicateur de la dynamique de croissance de l'arbre sur les 10/15 dernières années (cernes d'aubier). En effet dans le cas d'une croissance régulière le ratio sera égal à 1 (les cernes d'aubier auront la même largeur que les cernes de duramen), si l'arbre commence à rentrer en compétition le ratio deviendra progressivement inférieur à 1 (la largeur des cernes d'aubier produits sera plus faible que la largeur des cernes de duramen), si un arbre en compétition est libéré (éclaircie, mortalité, chablis dans le voisinage proche, ...) le ratio sera supérieur à 1 (la largeur des cernes d'aubier produits sera plus grande que la largeur des cernes de duramen).

✓ Un effet génétique marqué sur le taux de duramen

Comme le diamètre explique quasiment 90% de la variabilité de la quantité de duramen, les autres variables sont mises en relation avec le taux de duramen pour se soustraire de l'effet principal.

Au niveau individuel (arbre), les 2 premières variables qui ressortent comme influentes sur le taux de duramen sont le ratio de largeur de cerne (Figure 11) et le clone, on peut donc conclure à un effet génétique sur le taux de duramen.

L'effet région est également significatif mais à un niveau assez faible ($r^2=0,05$).

En revanche le taux de duramen est assez faiblement corrélé aux autres variables mesurées. Malgré tout, même faiblement il est positivement corrélé à la rectitude de l'arbre et négativement corrélé à sa hauteur. Les variables relatives à la quantité d'aubier se révèlent logiquement plus fortement significatives et légèrement mieux corrélées au taux de duramen.

La nature linéaire des observations précédentes (Figure 9) se retrouve ici par l'absence de corrélation entre le diamètre (LT) et le taux de duramen (Figure 12).

Pour l'analyse au niveau clonal, du fait de la recherche d'une variabilité intra-clone maximale sur le diamètre dans l'échantillonnage, la seule valeur pertinente liée à la croissance est le diamètre mesuré de tous les individus d'un même clone avant éclaircie. En effet la mesure des autres variables liées à la croissance au sein de l'échantillon a une valeur au niveau individuel mais la moyenne ne saurait représenter la valeur du clone, car tous les arbres n'ont pas été prélevés.

Au niveau clonal, aucune variable étudiée n'est significativement corrélée au taux de duramen, y compris la croissance (Figure 10).

Résultats : effets génétiques et environnementaux

✓ La quantité de duramen est principalement corrélée au diamètre de l'arbre

Un premier modèle linéaire est appliqué au jeu de données complet pour étudier la corrélation entre quantité de duramen et diamètre de l'arbre sans prendre en compte les effets site et génétique (Figure 9)

Au niveau individuel la longueur de duramen à 1,3 m (LD) est significativement et fortement ($r^2=0,89$) corrélée au diamètre à 1,3 m (LT).

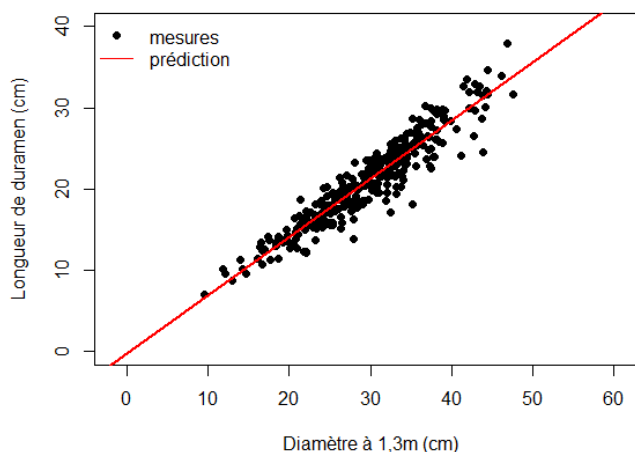


Figure 9 : relation au niveau individu entre croissance et longueur du duramen

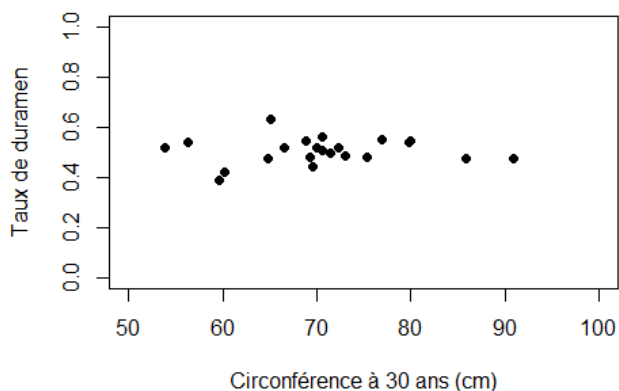


Figure 10 : Relation au niveau clonal entre croissance et taux de duramen

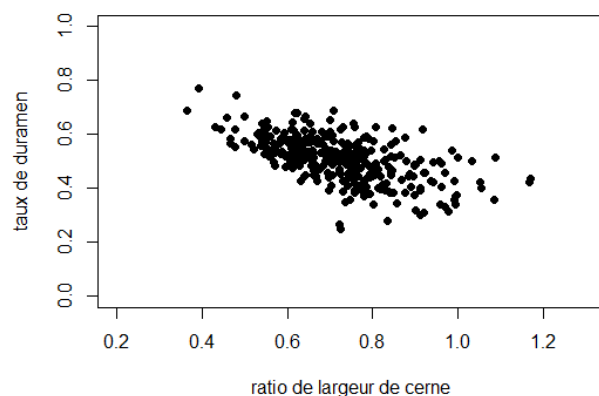


Figure 11 : relation entre le taux de duramen et le ratio de largeur de cerne

NB : les mesures réalisées au résistographe ressortent comme très significatives au niveau individuel mais avec un coefficient de corrélation assez faible. Au niveau clonal la corrélation apparaît un peu plus forte mais est principalement induite par 2 clones (résultats non présentés), ces résultats ont une vocation purement exploratoire.

Le modèle intégrant le ratio de largeur de cerne, le clone et la région se révèle significatif et explique au total 61% de la variabilité observée dans le taux de duramen et se décompose comme suit :

- 34% de la variabilité est expliquée par le ratio de largeur de cerne,
- 23% de la variabilité est expliquée par le clone,
- 7% de la variabilité est expliquée par la région.

NB : L'intégration de ces 3 variables dans le modèle illustré dans la Figure 9 fait passer le r^2 de 0,89 à 0,95

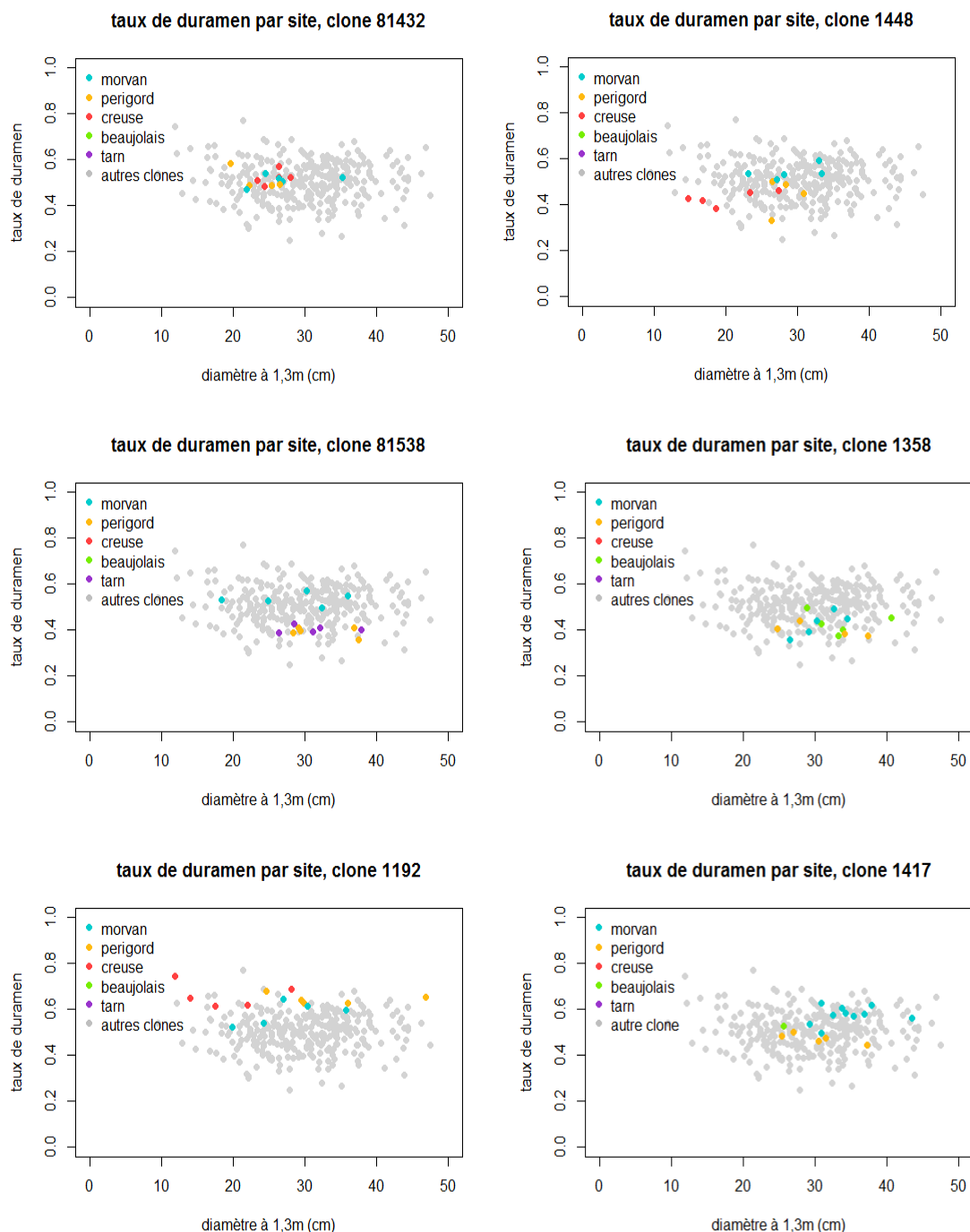


Figure 12 : Taux de duramen par site en fonction du diamètre des arbres pour 6 clones différents

Confrontation des résultats à d'autres jeux de données : effet âge et effet sylviculture

✓ Comparaison sur un site de clones identiques à âge et stade de croissance différents :

Sur l'essai de Lartige III des mesures de duramen sur rondelles ont été réalisées en 2005 (à 15 ans). En complément de l'échantillonnage de la présente étude, lorsque cela a été possible, les clones étudiés en 2005 ont été intégrés dans l'échantillonnage 2018.

Au total, ce sont donc 17 clones étudiés sur 6 individus en 2005 et de 2 à 6 individus en 2018.

Il est ainsi possible de confronter les résultats de la première partie à ce nouveau jeu de données, qui intègre une nouvelle variable : l'âge.

Le modèle intégrant l'âge en plus du clone et du ratio de largeur de cerne est significatif et explique 83% de la variabilité du taux de duramen observée dans ce jeu de données :

- ✓ 77% de la variabilité est expliquée par le ratio de largeur de cerne et l'âge, les deux variables étant dépendantes il n'est pas possible d'attribuer une valeur par facteur,
- ✓ 7% de la variabilité est expliquée par le clone.

Dans ce jeu de données le lien existant entre l'âge et le ratio de largeur de cerne est difficile à démêler puisqu'on a d'un côté un peuplement jeune avec des ratios de largeur de cerne élevés qui témoignent d'une forte croissance (peuplement en train de se fermer) et de l'autre côté un peuplement plus âgé, déjà fermé et donc des ratios de largeur de cerne plus faible.

L'effet du clone est en revanche plus faible, ce qui peut s'expliquer de différentes façons :

- ✓ - l'imprécision de mesure du duramen est relativement plus importante sur des arbres de 15 ans que sur des arbres de 30 ans et plus (la limite aubier duramen s'étale parfois sur plusieurs cerne, d'où un nombre de cerne d'aubier parfois différent des deux côtés de la carotte),
- ✓ - un faible nombre de clones étudiés et donc moins de variabilité clonale.

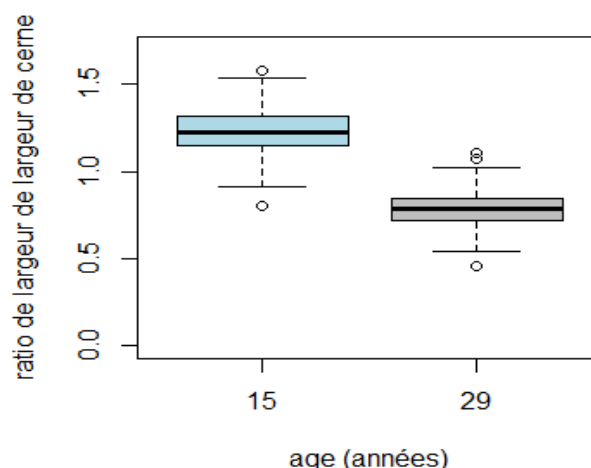


Figure 13 : dépendance entre ratio de largeur de cerne et âge

Sur la Figure 15 le décalage observé entre les deux nuages de points (15 ans en bleu ciel et 29 ans en gris) permet de visualiser l'effet de l'âge sur la longueur du duramen. Il est intéressant de remarquer que l'axe des abscisses est coupé pour des valeurs proches de 8 cm, ce qui permet de dire que le duramen commence à se former à 1,3 m dès lors que le diamètre atteint 8 cm.

La Figure 14 illustre l'effet du ratio de largeur de cerne sur le taux de duramen, la complémentarité des deux nuages de points (15 ans en bleu ciel et 29 ans en gris) confirme la pertinence de cette variable.

Ces résultats mettent en évidence un effet clonal certain, mais un effet de la sylviculture plus nuancé au sens où le taux de duramen n'est pas corrélé au diamètre de l'arbre et donc à son statut social (dominant, co-dominant, dominé). Cependant, le ratio de largeur de cerne semble être une variable importante et traduit certainement une dynamique de croissance de court à moyen terme de l'arbre en réaction à son environnement proche et donc à la sylviculture. De même, cette dernière influence directement le diamètre des arbres et il ne faut pas perdre de vue que la quantité de duramen est avant tout corrélée au diamètre.

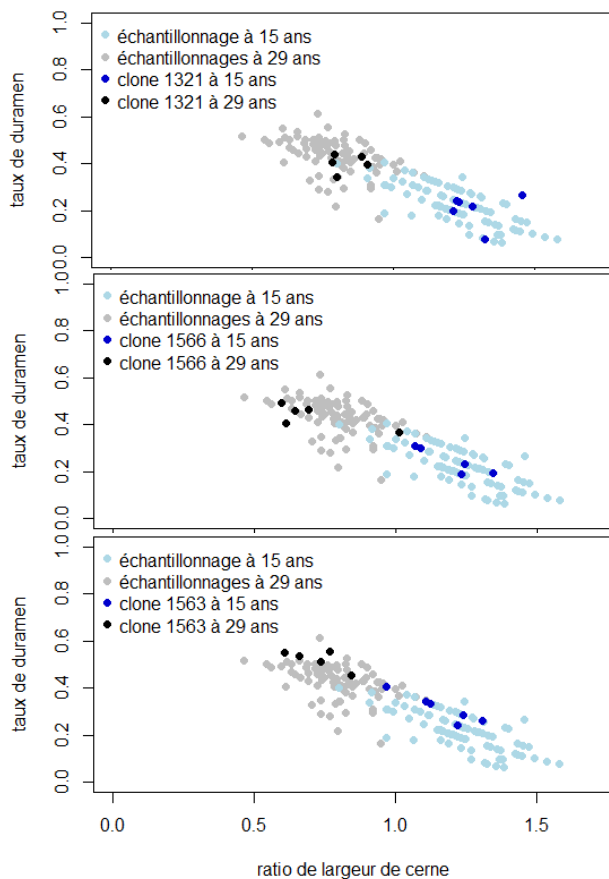


Figure 14 : taux de duramen sur l'essai de Lartige III en fonction du ratio de largeur de cerne pour 3 clones à 15 et 29 ans

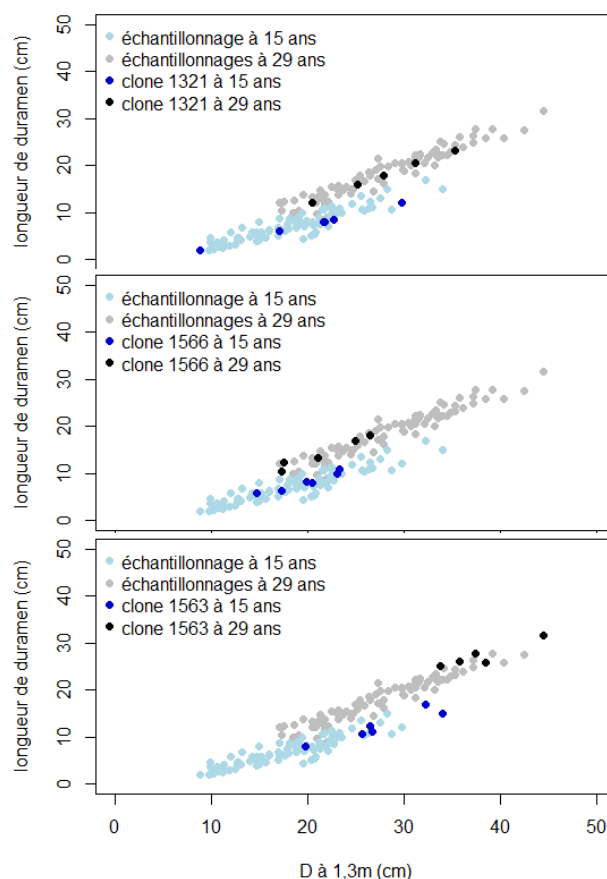


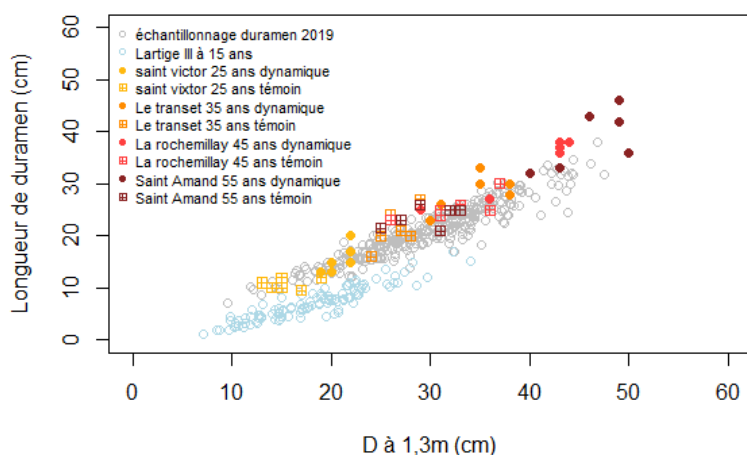
Figure 15 : longueur de duramen sur l'essai de Lartige III en fonction de du diamètre à 1,3m pour 3 clones à 15 et 29 ans

✓ Comparaison de sylvicultures contrastées et d'arbres d'âges différents :

Le projet FAST FOREST (financement ADEME, MAA, woodwisdom-net) visait à évaluer l'effet des forêts à croissance rapide sur les propriétés du bois, l'échantillonnage mobilisé reposait sur 4 peuplements d'âges différents dans lesquels il y avait des sylvicultures contrastées (régime d'éclaircie dit « dynamique » et peuplement « témoin » sans éclaircie). C'est un total de 48 arbres (6 arbres par modalités : 2 dominants, 2 co-

dominants, 2 dominés) qui ont été exploités, billonnés puis sciés et testés mécaniquement. Le diamètre de duramen a été mesuré sur les billons, ce qui permet de comparer ces résultats aux données de l'étude duramen (malgré une méthodologie différente). En revanche le nombre de cerne d'aubier n'a pas été mesuré, ce qui ne permettra pas de discuter du ratio de largeur de cerne.

Longueur de duramen selon l'âge et la sylviculture



Taux de duramen selon l'âge et la sylviculture

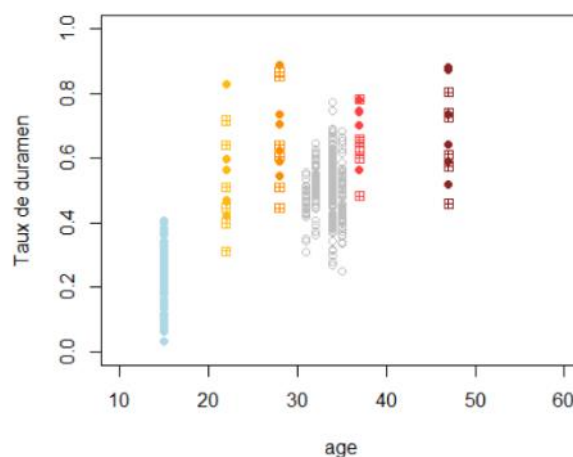


Figure 16 : résultats du projet FAST FOREST en lien avec l'échantillonnage précédent

Les effectifs étant réduits il est difficile de faire des analyses robustes, néanmoins il est bon d'observer :

- ✓ que l'on retrouve les mêmes ordres de grandeurs dans les différents échantillonnages,
- ✓ que l'on retrouve la confirmation que l'effet site paraît négligeable,
- ✓ que la sylviculture a un impact sur le diamètre des arbres et donc sur la quantité de duramen dans un arbre mais qu'elle ne semble pas influencer le taux de duramen,
- ✓ que pour un diamètre donné au-delà de 25 ans, l'âge et donc la vitesse de croissance ne semble pas influencer le taux de duramen.

Discussion / conclusion

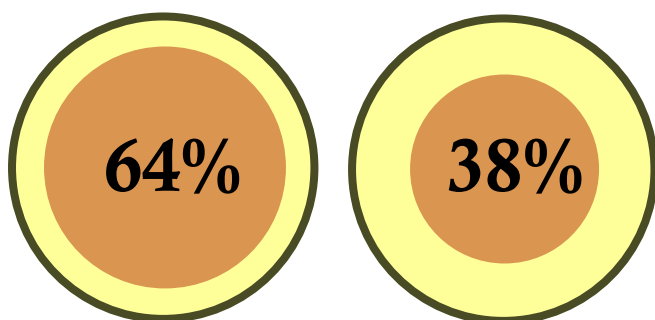


Figure 17 : Représentation des géotypes extrêmes en termes de taux de duramen

Ces résultats permettent d'illustrer une certaine variabilité sur le taux de duramen qui s'observe sur les billons de douglas et comme souvent, l'expression de ce caractère relève d'une interaction génétique x environnement :

✓ Le site

L'échantillonnage de sites de fertilité comparable au sein des différents massifs de production de douglas a permis de mettre en évidence un effet site anecdotique, bien qu'un tel effet ait déjà été identifié aux Etats Unis et en Nouvelle Zélande (Cown 1995; Lassen et Okkonen 1969). Il est possible que l'étude de sites de moindre fertilité, ou d'altitudes plus contrastées révèle l'existence d'un effet site plus important.

✓ La sylviculture

La sylviculture a un impact direct sur la quantité de duramen produite par arbre puisque celle-ci est directement liée au diamètre de l'arbre.

Ainsi pour maximiser la production de duramen il faut chercher à faire grossir les arbres le plus rapidement possible avec la réalisation d'éclaircies régulières, tout en veillant à maîtriser le diamètre des branches, autre critère important pour la valorisation des bois.

Il faudrait néanmoins pousser l'analyse de la production de duramen à l'échelle de la parcelle sur sa révolution complète et considérer la quantité de sciages classés hors aubier pour réellement intégrer tous les paramètres sylvicoles.

En ce qui concerne le taux de duramen, la conclusion est moins nette puisqu'il ne semble pas y avoir d'effet ni du statut social ni de la sylviculture ce qui corrobore des résultats montrant l'absence d'effet de la densité de plantation sur le taux de

duramen (Sebastian, Weiskittel, et Kohnle 2008, Kantavichai et al. 2019).

Néanmoins les deux échantillonnages étudiés révèlent un effet important du ratio de largeur de cerne, qui reflète une dynamique de croissance tout en étant peu corrélé au diamètre. L'effet de la largeur moyenne des 10 derniers cerne sur le taux de duramen a déjà été mis en évidence (Lassen et Okkonen 1969). Dans notre étude la largeur moyenne des cerne d'aubier (qui correspondent aux 10/15 derniers cerne) ressort aussi comme corrélée au taux de duramen, mais cette corrélation est encore plus forte concernant le ratio de largeur de cerne. Celui-ci a cependant été calculé grossièrement (nombre de cerne variable, estimation de l'âge à 1,3 m) et mériterait d'être étudié de façon plus précise.



Figure 18 : Pile de billon de douglas

Le lien entre surface foliaire, volume du houppier et surface d'aubier (et donc duramen par corollaire) a souvent été mis en évidence (Borghetti, Vendramin, et Giannini 1986; Long, Smith, et Scott 2011; Brix et Mitchell 1983) et découle de la théorie du « pipe model ». Ces observations pourraient traduire :

- ✓ Un système stable où le diamètre de l'arbre et donc sa surface d'aubier, qui conduit la sève brute vers le houppier, est en adéquation avec les besoins du houppier : les dominants ont des gros houppiers et des gros diamètres donc une surface d'aubier conséquente, les dominés des petits houppiers et des petits diamètres donc une surface d'aubier réduite. Considéré en relatif, le taux de duramen resterait identique.
- ✓ Un système transitoire à la suite d'une perturbation : réaction à une éclaircie, acquisition ou perte de dominance, stress, défoliation qui implique une réaction du houppier et un ajustement de ses besoins en sève brute par une modulation du taux de duramen.

Par ailleurs des résultats sur l'élagage de pin sylvestre (Långström et Hellqvist 1991) montrent un impact potentiel, à court terme, sur la quantité de duramen. Bien que la nature de ce duramen soit discutée cela pourrait rejoindre l'hypothèse sur le régime transitoire (sous réserve que l'élagage concerne des branches vertes). La rémanence d'un tel effet sur des arbres mûrs paraît cependant peu probable mais reste à vérifier.

Quoiqu'il en soit, il faut souligner que les études menées sur le lien entre sylviculture et duramen n'ont pas montré de différence de durabilité du duramen selon la vitesse de croissance (Pollet et al. 2013) et ont mis en avant une plus forte concentration en extractible pour les vitesses de croissance élevées (Taylor, Gartner, et Morrell 2003).

✓ L'âge

Pour les arbres jeunes (15-25 ans) l'effet de l'âge existe et se combine avec le ratio de largeur de cerne qui s'avère lui aussi influent sur le taux de duramen. Sur les arbres d'âge compris entre 25 et 55 ans il ne semble pas y avoir d'effet important de l'âge sur le taux de duramen, ce qui conforte les observations sur le statut social au sens où les arbres de même diamètre mais d'âge différents (et donc de vitesse de croissance différentes) auront le même taux de duramen. Ces résultats ne correspondent pas à ceux reportés par Kort 1993 dont l'échantillonnage avait le mérite de couvrir une plus large gamme d'âge mais avec des effectifs très déséquilibrés.

✓ La génétique

La mise en évidence d'un effet clonal sur un nombre réduit de génotypes conforte les observations réalisées par Cown en 1995. De plus cet effet est relativement conséquent ce qui permet d'espérer le retrouver au niveau des descendances. Ce sera l'objet de la prochaine campagne de carottage (hiver 2019/2020) qui se déroulera sur un nombre important de descendances et qui permettra de caractériser l'héritabilité du taux de duramen. C'est cette valeur, en lien avec celle des autres caractères pris en compte en amélioration, qui définira s'il est possible d'inclure le duramen comme critère de sélection pour les futures variétés forestières améliorées de douglas.

Quoiqu'il en soit, le taux de duramen ne s'avère pas corrélé à la vitesse de croissance au niveau clonal, ce qui implique que le travail de sélection entrepris jusqu'à aujourd'hui n'a, en théorie, pas dégradé le taux de duramen dans les variétés forestières améliorées.

Bibliographie

Borghetti, M., G. G. Vendramin, et R. Giannini. 1986. « Specific leaf area and leaf area index distribution in a young Douglas-fir plantation ». *Canadian Journal of Forest Research* 16 (6): 1283-88. <https://doi.org/10.1139/x86-227>.

Brix, H., et A. K. Mitchell. 1983. « Thinning and Nitrogen Fertilization Effects on Sapwood Development and Relationships of Foliage Quantity to Sapwood Area and Basal Area in Douglas-Fir ». <https://doi.org/10.1139/x83-057>.

Cown, David. 1995. « Variation in some wood properties of *Pseudotsuga menziesii* provenances grown in New Zealand ». *New Zealand Journal of Forestry Science* 25 (janvier): 133-46.

Kantavichai, Rapeepan, Eric C. Turnblom, et Eini C. Lowell. « Effects of Density Control and Fertilization on Log Wood Quality from a Douglas-Fir Stand in Western Oregon, USA ». *Forest Science*. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz069>.

Kort, Ingrid de. 1993. « Relationships Between Sapwood Amount, Latewood Percentage, Moisture Content and Crown Vitality of Douglas Fir, *Pseudotsuga Menziesii* ». *IAWA Journal* 14 (4): 413-27. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000596>.

Långström, Bo, et Claes Hellqvist. 1991. « Effects of different pruning regimes on growth and sapwood area of Scots pine ». *Forest Ecology and Management* 44 (2): 239-54. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90011-J](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90011-J)

Lassen, L. E., et E. A. Okkonen. 1969. « SAPWOOD THICKNESS OF DOUGLAS-FIR AND FIVE OTHER WESTERN SOFTWOODS. » *FSRP-FPL-124. FOREST PRODUCTS LAB MADISON WIS.* <https://apps.dtic.mil/docs/citations/AD0696631>.

Long, James, Frederick Smith, et David Scott. 2011. « The role of Douglas-fir stem sapwood and heartwood in the mechanical and physiological support of crowns and development of stem form ». *Canadian Journal of Forest Research* 11 (février): 459-64. <https://doi.org/10.1139/x81-063>.

Pour en savoir plus

<https://www.france-douglas.com/assets/components/francedouglas/images/mediatheque/plaquettes/recommandations-sylvicoles.pdf>

Etude réalisée en partenariat avec



Avec le soutien financier de



Pollet, C., J.M. Henin, J. Hébert, et B. Jourez. 2013. « Effect of growth rate on the natural durability of Douglas-fir in western Europe ». *Canadian Journal of Forest Research* 43 (10): 891-96. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0161>.

Sebastian, Hein, Aaron Weiskittel, et Ulrich Kohnle. 2008. « Effect of wide spacing on tree growth, branch and sapwood properties of young Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] in south-western Germany ». *European Journal of Forest Research* 127 (octobre): 481-93. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0231-9>.

Smith, J. H. G., J. Walters, et R. W. Wellwood. 1966. « Variation in Sapwood Thickness of Douglas-Fir in Relation to Tree and Section Characteristics ». *Forest Science* 12 (1): 97-103. <https://doi.org/10.1093/forestscience/12.1.97>.

Taylor, Adam M., Barbara L. Gartner, et Jeffrey J. Morrell. 2003. « Co-incident variations in growth rate and heartwood extractive concentration in Douglas-fir ». *Forest Ecology and Management* 186 (1): 257-60. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00278-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00278-0).

Contact

Marin CHAUMET ● marin.chaumet@fcba.fr
Tél. 05 55 45 48 18



Pôle Biotechnologie Sylviculture Avancée
Equipe Sylviculture Avancée
Les Vaseix, 87430 Verneuil sur Vienne