

NOUVELLES COURBES DE PRODUCTIVITÉ HARMONISÉES POUR LE DOUGLAS, L'ÉPICÉA ET LES MÊLÈZES EN WALLONIE

JÉRÔME PERIN – OLIVIER DE THIER – HUGUES CLAESSENS
PHILIPPE LEJEUNE – JACQUES HÉBERT

Les courbes de productivité sont des outils de diagnostic précieux en gestion forestière. Elles permettent d'estimer le potentiel de production d'un peuplement de structure équiennne d'âge connu à partir d'une mesure ponctuelle de la hauteur dominante. Une nouvelle génération de modèles de productivité plus fiables ont été développés pour l'épicéa, le douglas et les mélèzes en Wallonie et ont été intégrés au sein d'un outil informatique de diagnostic simple et rapide d'utilisation.

Représentant 35 % de la surface forestière productive et 55 % de la production annuelle totale en volume, l'épicéa est sans nul doute la principale essence de production de Wallonie. Néanmoins, pour une série de raisons liées à l'historique des plantations, aux conditions socio-économiques et écologiques actuelles et futures, on constate depuis deux décennies une régression sensible des surfaces occupées par les pessières ainsi que le développement de la sylviculture d'autres essences résineuses telles que le douglas et les mélèzes. En effet, bien qu'elles n'occupent respectivement que 6 % et 3 % de la surface forestière productive de Wallonie, ces deux essences sont considérées comme d'intéressantes alternatives à l'épicéa en raison de leur production supérieure, des bonnes caractéristiques du bois qu'elles produisent et de leur souplesse face aux changements climatiques.

*Épicéa de la première vague de plantation
(vers 1850, cantonnement de Bullange) :
43 mètres de hauteur et plus de 300 cm de tour.*

Dans un premier temps, les scénarios de gestion appliqués à ces nouvelles essences suivaient des standards proches de ceux appliqués à l'épicéa. Mais il est rapidement apparu que la mise au point de nouveaux scénarios sylvicoles spécialement adaptés à ces essences était indispensable. Ceux-ci doivent reposer sur une bonne connaissance des peuplements et de leur dynamique propre qui s'exprime au travers des lois de croissance en hauteur et en grosseur des arbres et de leur relation avec l'évolution des caractéristiques des peuplements comme la surface terrière, le volume ou le nombre de tiges.

Dans ce cadre, le présent article se focalise sur l'évolution de la hauteur dominante (définie comme étant la hauteur moyenne des cent plus gros arbres par hectare). Il s'agit d'une relation essentielle dans tous les modèles de croissance des peuplements. L'évolution de la hauteur dominante au cours du temps est connue pour sa forte corrélation avec le potentiel de production des peuplements purs équiennes. Ainsi, pour les plantations résineuses, la hauteur dominante théoriquement atteinte à l'âge de 50 ans, connue sous le nom d'indice de productivité, peut être mise en relation avec les caractéristiques des stations forestières. En effet, s'agissant d'une variable dendrométrique relativement simple à mesurer et généralement non affectée par les opérations sylvicoles, elle permet d'estimer rapidement la productivité en évitant les fastidieuses et coûteuses mesures dendrométriques répétées dans le temps sur des placettes permanentes.

En Wallonie, les premières courbes de productivité adaptées aux peuplements d'épicéa, de douglas et de mélèzes ont respec-

tivement été construites par DAGNELIE *et al.*⁴, THIBAUT *et al.*¹⁰ et PAUWELS⁶. À l'usage, des écarts ont été observés entre les données du terrain et les valeurs estimées à l'aide de ces courbes dans certains peuplements. Dès lors, le développement de nouvelles courbes de productivité mieux adaptées à ces essences s'imposait. Les récentes avancées dans le domaine de la modélisation forestière permettent d'utiliser des modèles mathématiques, des méthodes statistiques et des jeux de données plus complexes et mieux adaptés.

Début 2009, un nouveau modèle de productivité avait ainsi été proposé pour le douglas⁸. Depuis, ce nouveau modèle a été analysé par d'autres modélisateurs qui ont insisté sur le fait qu'autant la méthode statistique que le jeu de données employés ne pouvaient pas garantir complètement la validité des nouvelles courbes. Étant donné l'importance des modèles de productivité pour la gestion des peuplements résineux, il a été décidé de compléter le jeu de données et de continuer à améliorer la méthode d'ajustement en tenant compte des remarques émises. Une nouvelle méthode d'ajustement a été mise au point et validée pour l'épicéa⁷. Dans un souci d'harmonisation, nous avons ensuite décidé d'utiliser le même modèle mathématique et la même méthode pour ajuster de nouvelles courbes pour le douglas et les mélèzes.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Toute modélisation repose sur la sélection d'un jeu de données, d'un modèle mathématique et d'une méthode d'ajustement. La priorité doit être de constituer un jeu de données équilibré, représentatif des

conditions de croissance les plus larges possible, notamment en termes de niveau de productivité et de type de sylviculture. La littérature regorge de modèles et de méthodes d'ajustement, parmi lesquels le choix est également très important. Un modèle dont la forme s'éloigne de la dynamique de croissance du peuplement et qui n'est pas assez flexible sera inadapté. Il s'ajustera mal et sera à la base d'estimations biaisées. Quant à la méthode d'ajustement, elle doit être choisie en fonction du jeu de données, dont il est important de bien considérer les caractéristiques.

Placette de production en mélèze (dispositif expérimental de sylviculture de Oignies).



Données

L'idéal pour la mise au point de courbes de productivité est de disposer de longs suivis de l'évolution de la hauteur dominante obtenus dans des placettes permanentes installées dans des peuplements représentatifs de l'amplitude des âges et des différents niveaux de productivité. Ces données sont parfois disponibles grâce aux programmes d'inventaires régionaux qui sont souvent les seuls à même d'assurer pendant plusieurs décennies le suivi d'un vaste réseau d'observations. En Wallonie, ces données sont malheureusement limitées du fait de la relative jeunesse de l'Inventaire permanent des ressources forestières de Wallonie (IPRFW). Il a donc été nécessaire de compléter le jeu de données fourni par l'inventaire.

Les données utilisées dans cette étude proviennent de plusieurs sources : l'IPRFW et le réseau de parcelles expérimentales de GxABT ainsi que des analyses de tige réalisées à l'occasion de plusieurs actions de recherches menées par GxABT et le DEMNA au cours de l'Accord-cadre de recherche et vulgarisation forestières. Des mesures de hauteur réalisées sur plus de 20000 arbres issus de 3380 placettes installées dans des peuplements résineux ont ainsi été réunies.

Après sélection et traitement, ces mesures se présentent sous la forme de 234 courbes expérimentales d'évolution de la hauteur issues d'analyses de tiges, 621 suivis d'accroissements périodiques en hauteur dominante et 2049 mesures ponctuelles de hauteur dominante. Ces données ont servi à ajuster, puis valider les nouveaux modèles de productivité, ainsi qu'à analyser la distribution des niveaux de produc-

Objectif	Type de données	Épicéa	Douglas	Mélèzes	Total
Calibration	Analyses de tige	86	32	116	234
	Suivi en placettes permanentes	-	23	-	23
Validation	Suivi en placettes permanentes	319	67	212	598
Analyse	Couples (hauteur dominante, âge)	1776	147	126	2049

Tableau 1 – Jeux de données utilisés selon les essences et les objectifs

tivité des peuplements résineux de Wallonie (tableau 1).

Choix et ajustement du modèle

Les choix du modèle et de la méthode d'ajustement sont expliqués en détails dans un article scientifique⁷. Le modèle mathématique sélectionné pour l'ajustement des nouveaux modèles de productivité est une version simplifiée du modèle de *Duplat et Tran-Ha III*⁵. Le modèle a été ajusté dans « R »⁹ à l'aide d'une méthode de régression non linéaire à effet mixte. Cette méthode tient compte de la structu-

re des erreurs des données (*autocorrélation* et *hétéroscédasticité*) de manière à assurer que les nouvelles courbes permettent des estimations non-biaisées sur tout le domaine d'application (encart 1).

Cette seule équation permet la construction de courbes de productivité, l'estimation de l'indice de productivité et la prédiction de l'évolution de la hauteur dominante dans un peuplement à partir de n'importe quel couple connu de hauteur dominante et d'âge (H_{dom_M} et age_M) sans nécessiter de transformation, d'ana-

ENCART 1 – ÉQUATION UTILISÉE POUR CONSTRUIRE LES COURBES DE PRODUCTIVITÉ ET VALEURS AJUSTÉES DES PARAMÈTRES DE FORME POUR CHAQUE ESSENCE

$$H_{dom} = \left[a \times (age - age_m) + \left(\frac{H_{dom_m}}{\left[1 - \exp\left(\frac{age_m}{c}\right)^r \right]} \right) \right] \times \left[1 - \exp\left(\frac{age}{c}\right)^r \right]$$

où :

- H_{dom} est la hauteur dominante que l'on veut estimer à l'âge age ,
- H_{dom_m} et age_m est un couple (hauteur dominante et âge) connu pour ce peuplement,
- age et age_m expriment l'âge depuis la germination et non la plantation,
- a , c et r sont des paramètres à ajuster pour chaque essence :

Essence	a	c	r
Douglas	0,2418	31,1379	1,4668
Mélèzes	0,1449	14,9904	1,6818
Épicéa	0,1299	22,3659	2,0464



Analyse de tige sur arbre debout dans un peuplement de plus de 50 mètres de hauteur.

lyse graphique ou de processus itératif. Ce modèle est donc, malgré son apparente complexité, relativement simple à utiliser en pratique.

Le modèle exprime l'évolution de la hauteur dominante depuis la germination (hauteur nulle pour un âge nul). Dans le cas de peuplements dont l'âge est exprimé depuis la plantation, il est nécessaire d'ajouter l'âge des plants compté depuis la germination. Généralement, les plants de résineux sont âgés de 2 à 4 ans lors de la plantation. Par convention, nous considérerons que l'âge des plants est toujours égal à 4 ans pour l'épicéa et 3 ans pour le

douglas et les mélèzes lorsque nous ne disposons pas d'informations plus précises à ce sujet.

S'il est logique de construire les modèles en comptant l'âge depuis la germination, en pratique, l'immense majorité des peuplements résineux de Wallonie sont issus de plantation. Il semble donc pertinent que les applications qui seront faites de ces modèles et les outils qui en découlent utilisent l'âge compté depuis la plantation plutôt que depuis la germination. Ainsi, les indices de productivité seront estimés comme étant la hauteur dominante à 50 ans depuis la plantation et les courbes de productivité proposées pour ces essences seront également exprimées en fonction de l'âge depuis la plantation.

LES NOUVEAUX MODÈLES DE CROISSANCE EN HAUTEUR DOMINANTE POUR L'ÉPICÉA, LE DOUGLAS ET LES MÉLÈZES

Les figures 1 et 2 représentent respectivement les courbes de croissance en hauteur dominante modélisées pour les niveaux de productivité médians constatés en Wallonie selon les jeux de données de l'IPRFW (respectivement 27, 36 et 28 mètres de hauteur dominante à 50 ans pour l'épicéa, le douglas et les mélèzes) et les accroissements courants en hauteur dominante qui y correspondent.

En comparant ces courbes de productivité moyenne, on constate que les mélèzières sont caractérisées par une croissance en hauteur dominante très précoce et très forte dans le jeune âge mais qui ne se maintient pas au delà de 20 ans. La vi-

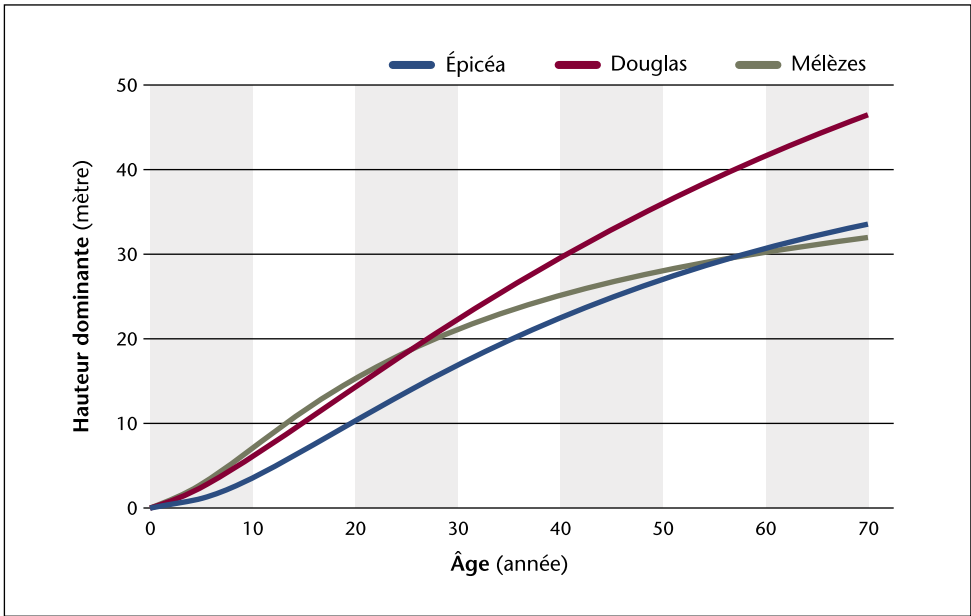
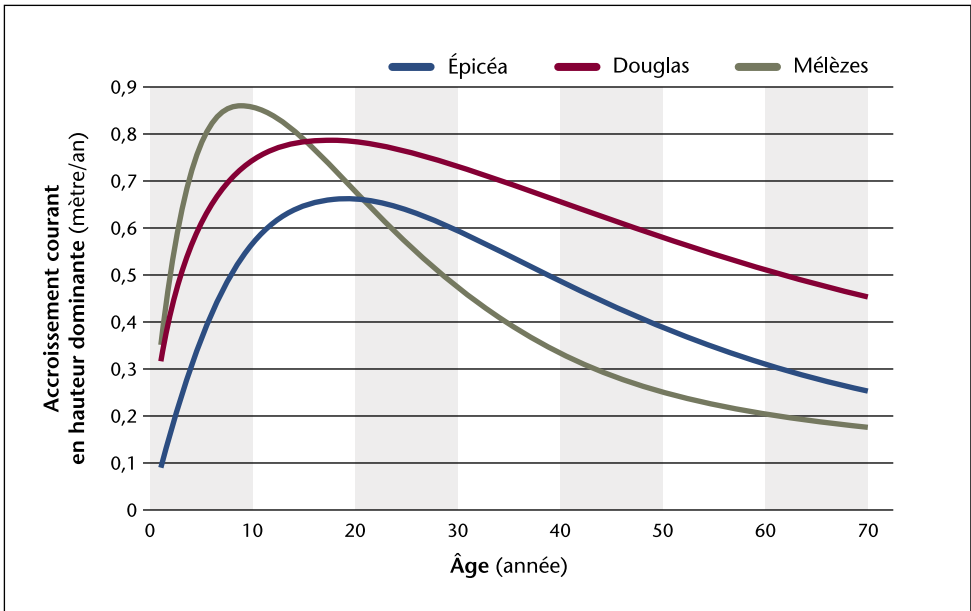


Figure 1 – Courbes d'évolution de la hauteur dominante modélisées pour les niveaux de productivité médians de l'épicéa (en bleu, 27 mètres à 50 ans), du douglas (en rouge, 36 mètres à 50 ans) et des mélèzes (en vert, 28 mètres à 50 ans).

Figure 2 – Courbes d'évolution de l'accroissement en hauteur dominante modélisées pour les niveaux de productivité médians de l'épicéa (en bleu, 27 mètres à 50 ans), du douglas (en rouge, 36 mètres à 50 ans) et des mélèzes (en vert, 28 mètres à 50 ans).





Lutte inégale entre un douglas et un épicéa plantés il y a environ 100 ans à un mètre d'espacement. Des rythmes de croissance bien différents...

tesse de croissance en hauteur dominante des douglasaies et des pessières est par contre beaucoup plus soutenue, leur permettant de finalement combler leur retard sur les mélèzes respectivement vers 25 et 55 ans. On constate aussi que les vieux peuplements de douglas sont capables de maintenir un accroissement en hauteur dominante près de deux fois supérieur à celui des vieux peuplements d'épicéa et de mélèzes. Il explique les grandes hauteurs, largement supérieures à 50 mètres qu'atteignent les douglasaies centenaires de la première génération.

On peut s'étonner que les trois espèces de mélèze ne justifient pas l'utilisation de paramètres différents. Il a ainsi été observé que la forme de la croissance en hauteur dominante des trois espèces a la même allure mais que les niveaux de croissance sont en moyenne différents, à l'avantage du mélèze hybride qui se distingue de manière significative de ses parents européen et japonais.

Les données d'ajustement permettent de garantir la validité des nouveaux modèles pour des hauteurs dominantes allant jusqu'à 40, 50 et 36 mètres et des âges allant jusqu'à 120, 100 et 80 ans respectivement pour l'épicéa, le douglas et les mélèzes. Leur utilisation pour des peuplements âgés de moins de 20 ans est néanmoins déconseillée car la hauteur dominante y est fortement dépendante de très nombreux facteurs indépendants de l'essence et de la station (gelées tardives, mauvaise plantation, printemps sec, dégâts d'abroustissement, prélèvement des jeunes dominants mal conformés...). Le domaine de validité des nouvelles courbes couvre les indices de productivité allant de 15 à 36 mètres, 24 à 46 mètres et 21 à 34 mètres respectivement pour l'épicéa, le douglas et les mélèzes.

**DISTRIBUTION
DES INDICES DE PRODUCTIVITÉ
DANS LES PEUPELEMENTS RÉSINEUX
DE WALLONIE**

La distribution des niveaux de productivité des peuplements d'épicéa, de douglas et de mélèzes en Wallonie a été analysée grâce aux hauteurs dominantes estimées dans le réseau de monitoring de l'IPRFW (figure 3). Pour assurer une estimation aussi

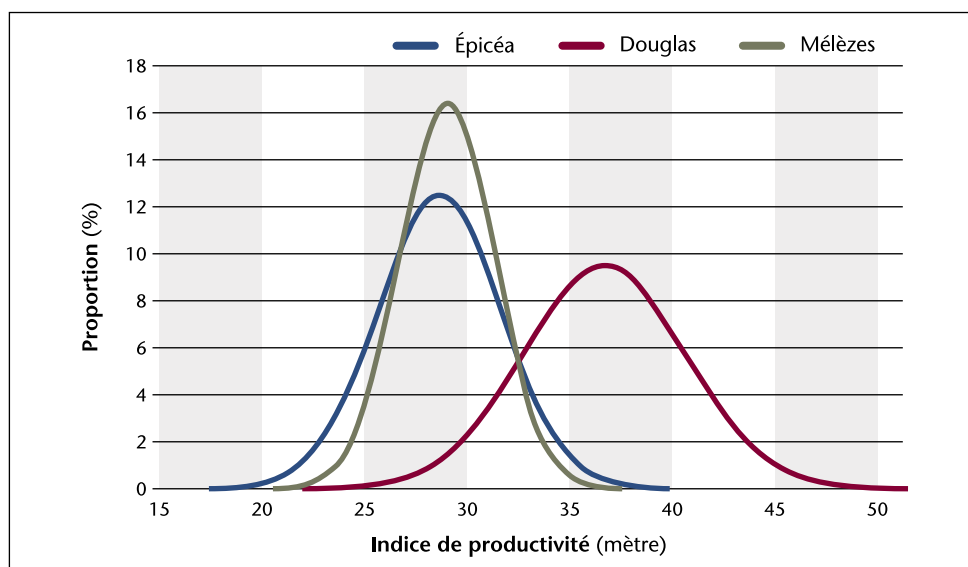
précise que possible de l'indice de productivité, les données issues de peuplements purs équiennes dont l'âge était inférieur à 25 ans au moment des mesures n'ont pas été sélectionnées pour cette analyse. De cette manière, on limite les erreurs d'extrapolation et les biais dus aux problèmes de reprise des plantations qui ont un fort impact sur les extrapolations de la hauteur dominante à 50 ans. Les peuplements âgés de 60 ans et plus ont également été écartés de cette analyse pour éviter de surreprésenter les classes de fertilité les plus faibles. En effet, d'une part les peuplements les moins productifs ont besoin de plus de temps pour atteindre les dimensions d'exploitabilité et sont donc généralement coupés plus tard. D'autre part, une part non négligeable des vieux peuplements les moins productifs, établis dans des milieux marginaux, ne seront jamais replantés avec des essences

résineuses pour des raisons économiques (manque de rentabilité) et réglementaires (nouveau code forestier, Natura 2000...).

Conformément à ce qui avait déjà été observé dans les jeux de données d'ajustement, les indices de productivité rencontrés dans les douglasaies sont généralement largement supérieurs à ceux observés dans les pessières et les mélèzières. On constate également que l'amplitude de variation des indices de productivité est plus élevée dans les douglasaies (36 mètres \pm 20 %) et les pessières (27,5 mètres \pm 20 %) que dans les mélèzières (28 mètres \pm 15 %).

Ces différences d'amplitude découlent de facteurs stationnels, génétiques et sylvicoles. Ainsi, les épicéas ont été installés dans une très large gamme de stations, depuis les tourbières jusqu'aux terres

Figure 3 – Distribution des niveaux de productivité observée dans les placettes permanentes de l'IPRFW installées dans des peuplements purs équiennes d'épicéa (en bleu), de douglas (en rouge) et de mélèzes (en vert) âgés de 25 à 60 ans au moment des mesures.





Vue depuis la cime d'un douglas centenaire comme si vous y étiez. Remarquez au centre de l'image deux observateurs attentifs.

agricoles fertiles¹ alors que les mélèzes et les douglas ont généralement été plantés sur des sols très favorables, comme les sols bruns forestiers bien drainés et les terres agricoles^{2,3}. En douglasaies, l'amplitude des niveaux de productivité, ne s'expliquant que très peu par des critères stationnels³, pourrait être essentiellement liée à la diversité des provenances utilisées, surtout pour les plantations réalisées avant 1980. Les problèmes de reprise suivant la plantation pourraient également avoir un effet durable et non négligeable sur le potentiel de production et causer un étalement vers le bas des niveaux de productivité des douglasaies.

La faible amplitude de variation de l'indice de productivité des mélèzes est quant à elle plus surprenante puisque le genre mélèze est représenté par deux espèces et

leur hybride dont la productivité est supérieure². Mais la rareté de plantations en stations contraignantes (20 %) et la facilité de reprise à la plantation justifient probablement cette homogénéité. Par ailleurs, la croissance des mélèzes étant peu soutenue après 20 ans, les différences de hauteur dominante entre peuplements ne s'accroissent que faiblement avec le temps.

On peut supposer que l'évolution des connaissances sur les adéquations essence-station, le recours plus systématique à des graines de qualité génétique élevée et l'amélioration des techniques de plantation continueront à contribuer à l'augmentation du potentiel de production des peuplements résineux et plus particulièrement à la disparition progressive des niveaux de productivité les plus bas, comme cela a déjà été le cas pour l'épicéa.

LES NOUVELLES CLASSES DE PRODUCTIVITÉ

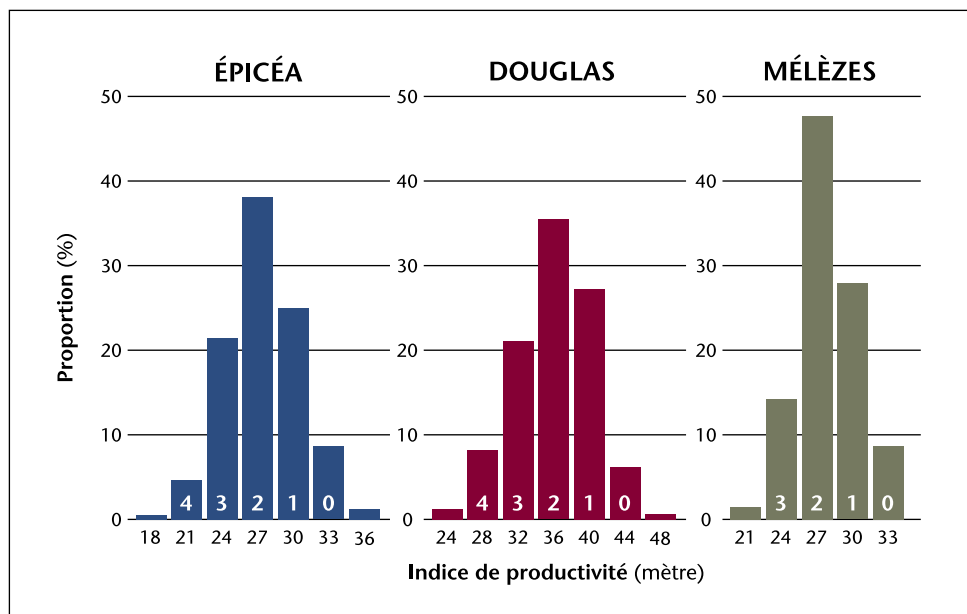
En considérant la dispersion des indices de productivité, nous avons cherché à construire, pour chaque essence, trois classes de productivité centrées sur la valeur moyenne de l'indice de productivité en forêt wallonne, et qui, ensemble, représentent la grande majorité des peuplements. D'un point de vue opérationnel, cela permet au forestier de classer ses peuplements selon un niveau de productivité élevé, moyen ou faible et d'y faire correspondre la sylviculture adéquate.

En pessière et en mélèzières, cette équation a été résolue avec des classes d'une amplitude de hauteur dominante de 3 mètres

(figure 4). Selon l'IPRFW, cette amplitude permet de classer plus de 85 % des peuplements dans les classes de productivité 1 à 3. En dehors de cette amplitude, on rencontre les peuplements d'une productivité exceptionnellement haute (classe 0) ou exceptionnellement basse (classe 4). Au delà de ces limites, les peuplements sont quasi inexistantes. Il s'agit soit de conditions stationnelles tout à fait extrêmes, voire de données dendrométriques douteuses. En épicéa, cette définition des classes correspond exactement à celle de DAGNELIE *et al.*⁴

Pour les douglasaies, dont l'amplitude de variation de l'indice de productivité est plus grande, nous avons retenu une amplitude de 4 mètres par classe (figure 4). D'une part, cette amplitude permet aussi de classer 83 % des peuplements dans

Figure 4 – Distribution des classes de productivité rencontrées dans les placettes permanentes de l'IPRFW installées dans des peuplements purs équiennes d'épicéa (en bleu), de douglas (en rouge) et de mélèzes (en vert) âgé de 25 à 60 ans au moment des mesures.



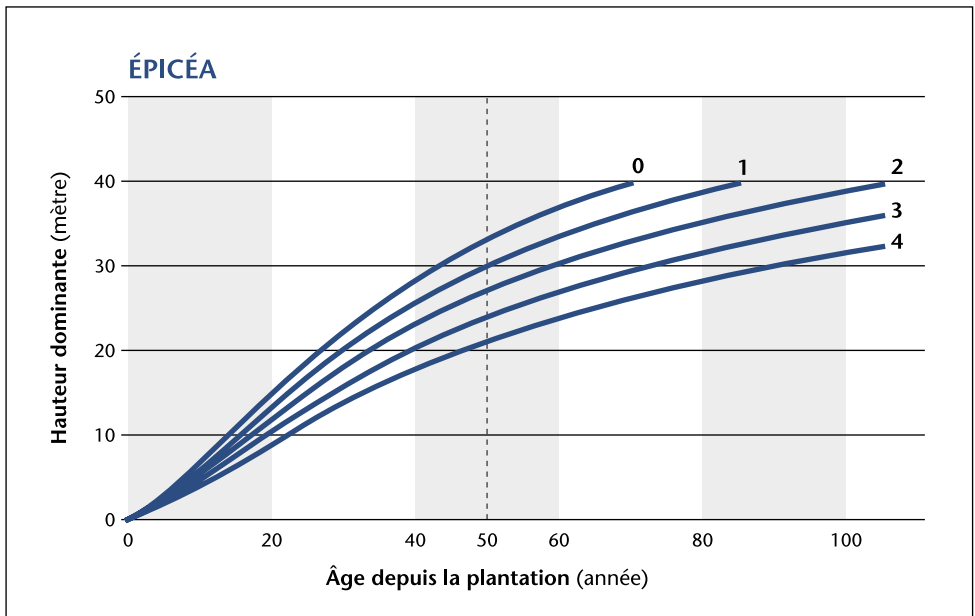


Figure 5 – Évolution de la hauteur dominante selon les nouvelles courbes de productivité définies pour l'épicéa.

trois classes centrées sur la moyenne wallonne et, d'autre part, cette amplitude tient aussi compte de la grande variabilité des hauteurs que l'on rencontre au sein de la population d'arbres dominants d'une douglasaie. En effet, parmi les cent arbres à l'hectare qui définissent la hauteur dominante, l'écart-type des hauteurs est relativement élevé dans le cas du douglas, rendant les estimations de la hauteur dominante d'un peuplement assez imprécises lorsqu'on les calcule sur base de quelques placettes de quelques ares, comme c'est souvent le cas dans la pratique.

Pour les trois essences, l'indice de productivité moyen est de cette manière toujours compris dans la classe 2 (centrée à 27 mètres pour l'épicéa et les mélèzes et 36 mètres pour le douglas) qui est égale-

ment toujours la classe la mieux représentée (figure 4). En mélèzes, on notera que les deux espèces et leur hybride ne se distribuent pas de la même manière au sein des classes de données de l'IPRFW. Environ 80 % des peuplements d'hybrides, dont on connaît la haute productivité, se retrouvent en classes 0 et 1 (moyenne de 30 mètres, soit en classe 1), tandis qu'environ 80 % des mélèzes d'Europe et du Japon relèvent des classes 1 et 2 (moyenne de 28 mètres, soit en classe 2).

Les faisceaux de courbes de productivité correspondant au centre des classes de productivité définies pour l'épicéa, le douglas et les mélèzes sont représentés respectivement dans les figures 5, 6 et 7. Ils sont aussi proposés sous la forme de tableaux de valeurs (tableaux 2, 3 et 4).

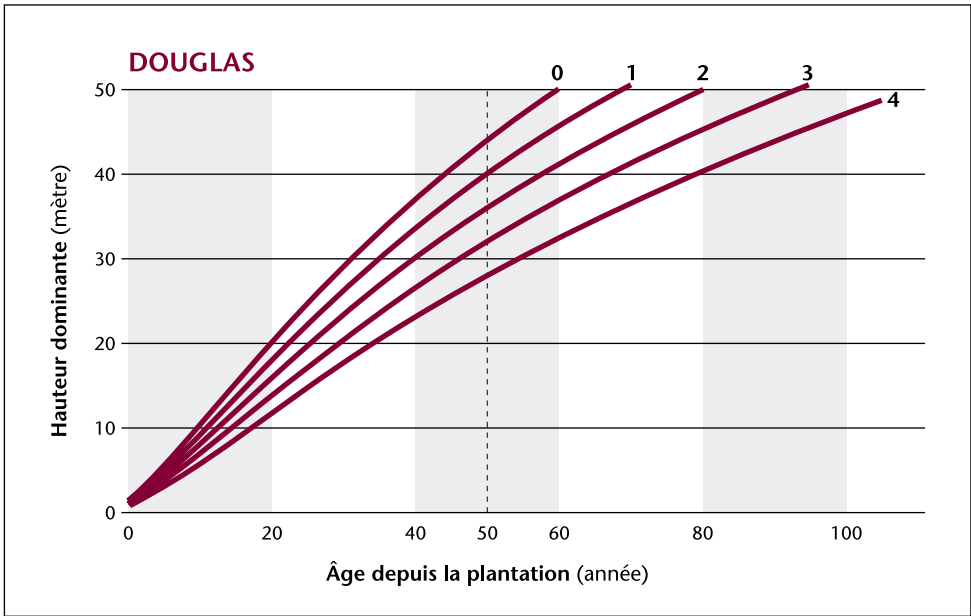
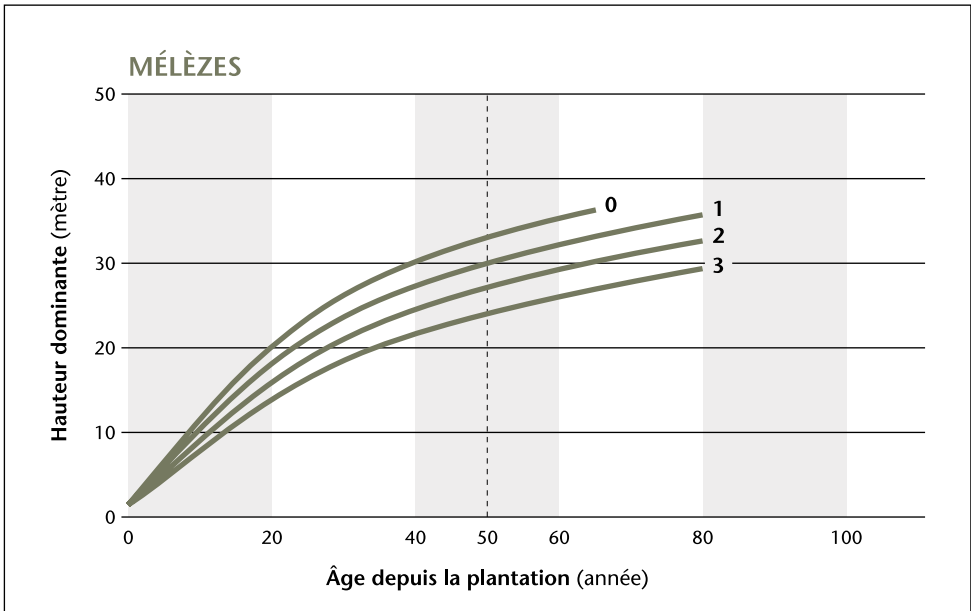


Figure 6 – Évolution de la hauteur dominante selon les nouvelles courbes de productivité définies pour le douglas.

Figure 7 – Évolution de la hauteur dominante selon les nouvelles courbes de productivité définies pour les mélèzes.



**OUTIL D'ESTIMATION
DE L'INDICE DE PRODUCTIVITÉ
DES PEUPELEMENTS RÉSINEUX**

Un outil d'utilisation simple et rapide permettant d'estimer l'indice de productivité dans les peuplements purs équiennes a été développé et mis à disposition du public dans la section « outils »* du site de l'Unité de gestion des ressources forestières et des milieux naturels de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège). Cet outil qui fonctionne actuellement pour les pessières,

les douglasaies et les mélésières, sera très prochainement étendu aux principales essences feuillues de production rencontrées en Wallonie. Il est également prévu de compléter cet outil avec des modèles permettant de lier l'indice de productivité avec des estimations précises de l'accroissement potentiel en surface terrière et en volume.

L'outil, présenté dans la figure 8, se présente sous la forme de deux tableaux. Les

* www.gembloux.ulg.ac.be/gestion-des-ressources-forestieres-et-des-milieux-naturels/outils/h50/

Tableau 2 – Évolution de la hauteur dominante des pessières avec l'âge selon les cinq classes de productivité (valeurs centrales) qui représentent 97,5 % des peuplements de Wallonie.

Âge	Classe de productivité - ÉPICÉA				
	0	1	2	3	4
10	7,3	6,5	5,7	5,0	4,2
15	11,3	10,1	9,0	7,8	6,7
20	15,3	13,8	12,2	10,7	9,1
25	19,1	17,2	15,3	13,4	11,5
30	22,6	20,4	18,2	16,0	13,8
35	25,7	23,2	20,8	18,3	15,9
40	28,4	25,7	23,1	20,4	17,7
45	30,9	28,0	25,1	22,3	19,4
50	33,0	30,0	27,0	24,0	21,0
55	34,9	31,8	28,7	25,5	22,4
60	36,6	33,4	30,1	26,9	23,7
65	38,1	34,8	31,5	28,2	24,9
70	39,4	36,1	32,7	29,3	26,0
75	*	37,3	33,8	30,4	27,0
80	*	38,3	34,9	31,4	27,9
85	*	39,3	35,8	32,3	28,8
90	*	*	36,8	33,2	29,7
95	*	*	37,6	34,1	30,5
100	*	*	38,4	34,9	31,3
105	*	*	39,2	35,7	32,1
110	*	*	*	36,4	32,8
115	*	*	*	37,1	33,5
120	*	*	*	37,9	34,3

Âge	Classe de productivité - DOUGLAS				
	0	1	2	3	4
10	10,2	9,1	8,0	6,9	5,8
15	15,1	13,5	11,9	10,3	8,7
20	20,0	17,9	15,9	13,8	11,7
25	24,7	22,2	19,7	17,2	14,7
30	29,1	26,2	23,3	20,4	17,6
35	33,2	30,0	26,8	23,6	20,3
40	37,1	33,6	30,0	26,5	23,0
45	40,7	36,9	33,1	29,3	25,6
50	44,0	40,0	36,0	32,0	28,0
55	47,1	42,9	38,7	34,5	30,3
60	50,0	45,6	41,2	36,9	32,5
65	*	48,1	43,6	39,1	34,6
70	*	50,5	45,9	41,3	36,6
75	*	*	48,0	43,3	38,5
80	*	*	50,0	45,2	40,4
85	*	*	*	47,0	42,1
90	*	*	*	48,8	43,8
95	*	*	*	50,5	45,5
100	*	*	*	*	47,1

Tableau 3 – Évolution de la hauteur dominante des douglasaies avec l'âge selon les cinq classes de productivité (valeurs centrales) qui représentent 98 % des peuplements de Wallonie.

Tableau 4 – Évolution de la hauteur dominante des mélèzières avec l'âge selon les quatre classes de productivité (valeurs centrales) qui représentent 98,5 % des peuplements de Wallonie.

Âge	Classe de productivité - MÉLÈZES			
	0	1	2	3
10	11,6	10,3	9,0	7,8
15	16,2	14,5	12,8	11,0
20	20,2	18,1	16,0	13,9
25	23,4	21,0	18,7	16,3
30	26,1	23,5	20,9	18,3
35	28,3	25,6	22,8	20,1
40	30,1	27,3	24,4	21,5
45	31,7	28,7	25,8	22,8
50	33,0	30,0	27,0	24,0
55	34,2	31,1	28,1	25,0
60	35,2	32,2	29,1	26,0
65	36,2	33,1	30,0	26,9
70	*	34,0	30,9	27,8
75	*	34,8	31,7	28,6
80	*	35,6	32,5	29,4

Valeurs d'entrée

ID	Essence	Âge	HDom
Test 1	EP	65	34
Test 2	DO	29	27
Test 3	MZ	35	22

➔ Instruction d'encodage
➔ Liste des essences acceptées

Calculer

Résultats

ID	Essence	Âge	HDom	H50	Classe	Production	Remarques
Test 1	EP	65	34	29.28	1	Haut	
Test 2	DO	29	27	42.27	0	Haut	
Test 3	MZ	35	22	26.12	2	Moyen	

Exporter

Figure 8 – Interface de l'outil développé pour calculer l'indice de productivité et mis à disposition du public sur le site de l'unité de GRFMN (GxABT-ULg) à l'adresse suivante : www.gembloux.ulg.ac.be/gestion-des-ressources-forestieres-et-des-milieus-naturels/outils/h50.

valeurs nécessaires pour l'estimation de l'indice de productivité doivent être encodées dans le premier tableau (valeurs d'entrée) :

- *ID*, (optionnel) identifiant pour le peuplement (nom, numéro...);
- *Essence*, essence forestière qui compose le peuplement (code de deux lettres pré-défini);
- *Âge*, nombre d'années écoulées depuis la plantation du peuplement;
- *HDom*, hauteur dominante (en mètre) du peuplement.

Il suffit ensuite de cliquer sur « Calculer » pour obtenir dans le second tableau (résultats) un diagnostic des niveaux de productivité estimés à partir des données encodées :

- *H50*, indice de productivité (hauteur dominante théoriquement atteinte à 50 ans);

- *Classe*, classe de productivité correspondante;
- *Production*, appréciation du niveau de production (bas, moyen ou haut) du peuplement par rapport à ce qui est habituellement observé en Wallonie pour cette essence;
- *Remarques*, remarques éventuelles concernant les mesures encodées (identification des données aberrantes ou situées en dehors du domaine d'application des modèles). ■

BIBLIOGRAPHIE

- 1 CLAESSENS H. [2001]. Faut-il bannir l'épicéa au nom de la gestion durable ? *Forêt Wallonne* 49-50 : 36-44.
- 2 CLAESSENS H., LECOMTE H., PAUWELS D. [2002]. Le mélèze en Région wallonne. État des lieux et stations potentielles. *Forêt Wallonne* 61 : 4-9.

- ³ CLAESSENS H., THIBAUT A., RONDEUX J. [1996]. *Le douglas en Belgique*. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 142 p.
- ⁴ DAGNELIE P., PALM R., RONDEUX J., THILL A. [1988]. *Tables de production relatives à l'épicéa commun*. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 122 p.
- ⁵ DUPLAT P., TRAN-HA M. [1997]. Modélisation de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile (*Quercus petraea* LIEBL.) en France. Variabilité inter-régionale et effet de la période récente (1959-1993). *Annales des Sciences forestières* **54** : 611-634.
- ⁶ PAUWELS D. [2003]. *Conception d'un système d'aide à la décision pour le choix d'un scénario sylvicole : application aux peuplements de mélèze en Région wallonne*. Thèse de doctorat, Gembloux, Faculté universitaire des Sciences agronomiques, 236 p.
- ⁷ PERIN J., HÉBERT J., BROSTAUX Y., LEJEUNE P., CLAESSENS H. [2013]. Modelling top-height Growth and Site Index of Norway Spruce. *Forest Ecology and Management* **298** : 62-70.
- ⁸ PERIN J., HÉBERT J., CLAESSENS H., RONDEUX J. [2009]. Nouvelles courbes de fertilité pour le douglas en Wallonie. *Forêt Wallonne* **98** : 22-28.
- ⁹ R Development Core Team [2011]. *R : A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0 (www.R-project.org).
- ¹⁰ THIBAUT A., CLAESSENS H., RONDEUX J. [1995]. *Indices et courbes de fertilité pour les peuplements de douglas (Pseudotsuga menziesii (MIRB.) FRANCO) en Belgique*. Cahiers Forestiers Gembloux n° 16, 11 p.

Les auteurs tiennent à remercier les nombreuses personnes grâce auxquelles il a été possible de réunir ces jeux de données : E. Dufays, (DNF), F. Henrotay et A. Schot (GxABT) qui ont réalisé la plupart des analyses de tiges

en épicéa et en douglas ; D. Pauwels (DNF) qui a réuni les données relatives aux mélèzes dans le cadre de sa thèse de doctorat ; B. Jourez et J.-M. Henin (DEMNA) qui nous ont transmis des données de croissance relatives au douglas ; H. Lecomte (DNF, IPRFW) qui a mis à notre disposition les données relatives aux résineux mesurées par l'inventaire permanent de Wallonie ; les nombreux agents du DNF qui nous ont renseigné des parcelles d'épicéa et de douglas pour compléter nos jeux de données.

Nous tenons à remercier tout particulièrement J. Rondeux et R. Palm (GxABT) qui ont contribué à l'accomplissement de cette recherche grâce à leurs explications et à leurs nombreuses suggestions.

Les recherches ont été financées par le Département de la Nature et des Forêts dans le contexte de l'Accord-cadre de recherche et vulgarisation forestières.

JÉRÔME PERIN

j.perin@ulg.ac.be

OLIVIER DE THIER

odethier@ulg.ac.be

HUGUES CLAESSENS

hugues.claessens@ulg.ac.be

PHILIPPE LEJEUNE

p.lejeune@ulg.ac.be

JACQUES HÉBERT

jhebert@ulg.ac.be

Unité de Gestion des Ressources
forestières et des milieux naturels,
Gembloux Agro-Bio Tech, ULg
Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux