

# 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](http://foretnature.be)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto: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**



## INSTABILITÉ ET COURBURE BASALE DES JEUNES PEUPELEMENTS DE DOUGLAS : ÉVALUATION DU RÔLE EXERCÉ PAR LE SYSTÈME RACINAIRE

PASCAL BALLEUX – BENOIT LENTZ – QUENTIN PONETTE

*Dans le but de mieux caractériser les problèmes de courbure basale fréquemment rencontrés chez le douglas, une exploration du système racinaire par échantillonnage a été réalisée dans la parcelle expérimentale du DEMNA (ex-CRNFB) à Bertrix, au lieu-dit « Bois de la Haie ». La structure racinaire (diamètre inférieur à 3 mm) de neuf paires d'arbres « courbé-droit » a été sondée : le diamètre moyen des racines et la surface racinaire totale des arbres courbés sont significativement inférieurs à ceux des arbres droits. Dès le reboisement, il semble primordial de favoriser un ancrage racinaire puissant.*



**Le** douglas (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO), résineux caractérisé par un rendement élevé, est fort prisé pour les reboisements en Belgique. Cependant, au cours des premières années suivant la plantation, des problèmes de stabilité sont régulièrement constatés.

Pour tester l'hypothèse d'un système racinaire déficient, les systèmes racinaires (diamètre racinaire inférieur ou égal à 3 mm) de douglas droits et courbés ont été comparés sur un échantillon de dix-huit arbres, appariés sur base des mêmes caractéristiques dimensionnelles aériennes, dans une plantation ardennaise montrant un taux élevé de courbure basale. Deux mini-tranchées – d'une longueur de 90 cm

et d'une profondeur de 40 cm – ouvertes en amont et en aval des courbures, à une distance horizontale du tronc d'environ 30 cm, ont permis la détermination du nombre de racines, de la section racinaire ainsi que du diamètre moyen.

Le diamètre moyen des racines, la section racinaire totale et la section racinaire du côté exposé aux vents dominants étaient inférieurs chez les arbres courbés par rapport aux arbres droits. En outre, le système racinaire des arbres courbés tendait à être moins symétrique que celui des arbres droits.

Un développement racinaire insuffisant réduirait donc la stabilité au vent des douglas courbés à la base.

---

## CONTEXTE ET OBJECTIFS

---

Essence majeure de reboisement en Europe, le douglas surtout implanté en Ardenne entre 400 et 500 mètres d'altitude, représente en Région wallonne près de 10 800 hectares de peuplements purs (minimum 80 % de douglas en surface terrière)<sup>8</sup> dont plus de la moitié affiche un âge inférieur à 20 ans.

Après sa plantation, l'espèce rencontre fréquemment des problèmes de stabilité<sup>3-6-10-15</sup> : des jeunes plants de douglas inclinés se redressent ensuite par gravitropisme, tout en conservant une courbure basale. Cette déformation peut altérer la valorisation de la grume par la formation de bois de compression.

Différentes hypothèses ont été émises pour expliquer l'origine du phénomène : facteurs stationnels (vents dominants, sols

compacts...), culturaux (plants trop forts, plantation peu soignée...) et/ou sylvicoles (fausse lisière).

L'objectif de cette étude est de comparer le développement du système racinaire de jeunes plants de douglas droits et courbés. La recherche s'appuie sur un échantillonnage de neuf couples d'arbres droits et courbés dans une plantation expérimentale de 15 ans suivie par le Département d'Étude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA, ex-CRNFB), située à Bertrix (Ardenne belge).

---

## MATERIEL ET MÉTHODES

---

La parcelle expérimentale de douglas, d'une superficie de 1,9 hectare, est localisée en Wallonie, dans le territoire écologique de l'Ardenne méridionale, à Bertrix, au lieu-dit du « Bois de la Haie » ; l'altitude varie de 420 à 440 mètres vers l'est, la pente étant en moyenne de 5 à 7 % ; les vents dominants proviennent du sud-ouest ; le sol classé *Gbbfi* est brun acide limvono-caillouteux, profond à moyennement profond, à charge schisto-phylladeuse, à horizon B structural et à bon drainage.

La plantation a été effectuée à la houe traditionnelle en mai 1992 à une densité de 2 500 douglas  $S_2R_2$  par hectare (espacement de 2 x 2 mètres) en orientant les lignes selon un azimut de 70°. Un élagage à une hauteur de 2,5 mètres a été réalisé en 2002 sur tous les arbres.

À 15 ans, la hauteur dominante du peuplement est estimée à 14,8 mètres (classe de fertilité I)<sup>14</sup>. Les arbres affichent en moyenne une circonférence  $C_{130}$  de 42,1 cm et une hauteur totale de 11,2 mètres.

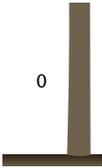
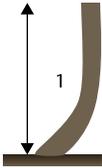
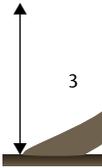
					
0 : sans courbure	1 : courbure faible	2 : courbure moyenne		3 : courbure forte	
67,6 %	26,2 %	4,7 % (185/3 991)		1,5 % (60/3 991)	

Figure 1 – Classification des courbures.

La douglasaie présente de nombreux cas de courbure basale, évalués visuellement par le DEMNA en 2002-2003, selon la méthode présentée à la figure 1.

Neuf paires de douglas « courbés et droits » ont été sélectionnées dans un rayon inférieur à 8 mètres, sur base de caractéristiques aériennes comparables. Pour les arbres courbés, deux fosses ont été creusées dans le sens de la courbure (SC, côté convexe) et dans le sens opposé à celle-ci (OC, côté concave) ; pour les arbres droits, les fosses ont été ouvertes en amont (AM) et en aval (AV) de la ligne de plantation. L'orientation moyenne des axes reliant les deux fosses ne diffère pas significativement entre arbres droits et courbés (figure 2).

À 30 cm du pied des douglas échantillonnés, chaque sondage racinaire s'effectue sur 3 600 cm<sup>2</sup>, soit une profondeur de 40 cm pour une longueur de 90 cm. Un cadre de mesure muni de cordelettes a permis de comptabiliser les racines en fonction de leur profondeur (quatre couches de 10 cm) et de leur position par rapport

à l'axe du tronc (six largeurs de 15 cm). Le diamètre des racines de plus de 3 mm a été mesuré avec un pied à coulisse de grande précision ( $\pm 0,01$  mm).

Les comparaisons entre types d'arbres ou types de fosses se basent sur des tests appariés. Le seuil de signification retenu pour les analyses est de 0,05. Les résultats non significatifs sont rapportés par l'abréviation NS. Pour l'affichage des résultats, ET signifie « écart-type » et CV correspond au « coefficient de variation ».

## PRINCIPAUX RÉSULTATS

### Courbures basales

Les courbures basales (convexité) sont orientées en moyenne selon un azimuth de 73°. Elles sont majoritairement dirigées à l'opposé des vents dominants, comme le fait apparaître la figure 3 :

- près de 40 % des deux cent quarante-cinq courbures caractérisées sont orientées entre l'est-nord-est et le sud-est ;
- cette orientation est soumise à plus de la moitié des vents dominants (51 %)

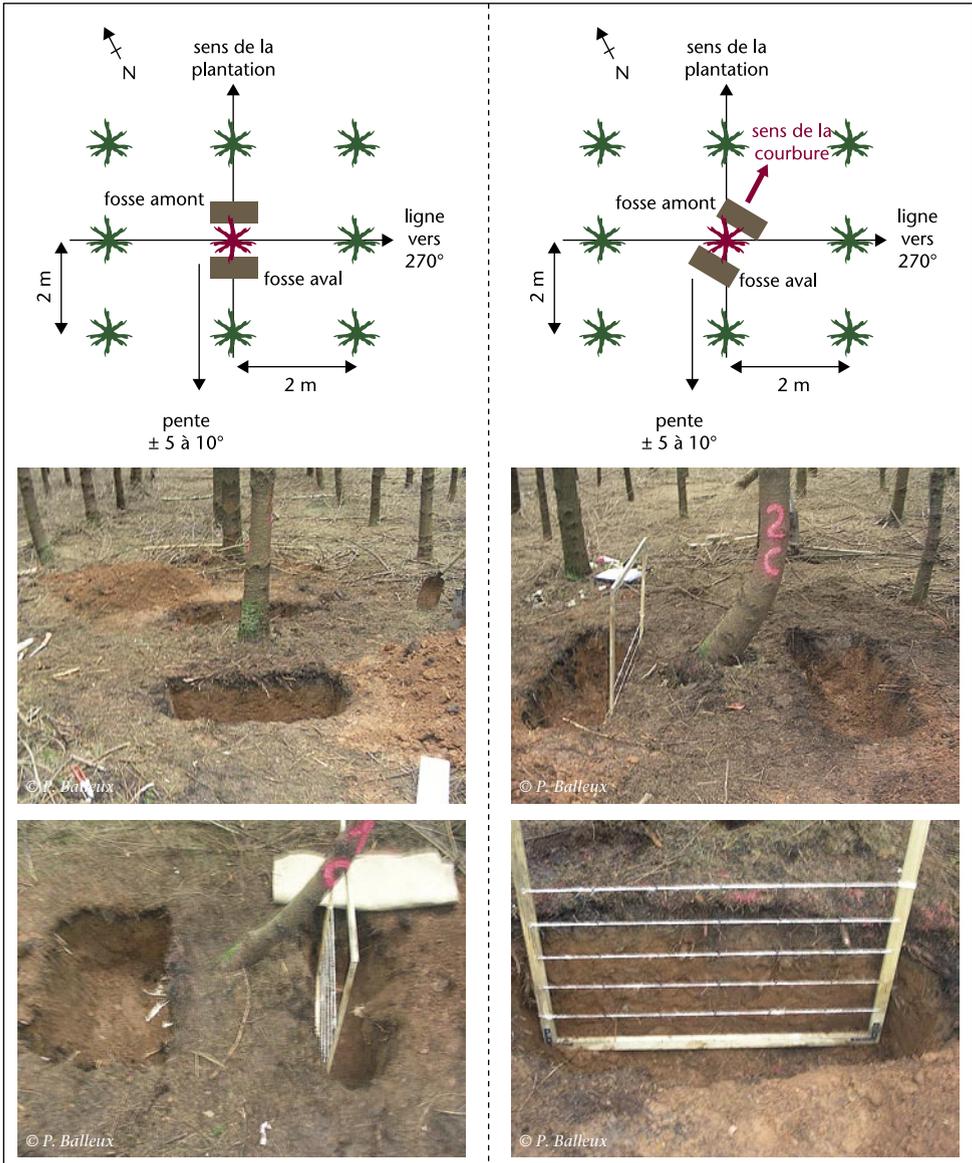
venant du nord-ouest à l'ouest-sud-ouest ;

- les profondeurs de courbure varient fortement sans différences significatives entre les huit catégories d'orientations.

Cette orientation est également voisine de celle des lignes de plantation (70°).

Compte-tenu du lien étroit entre la direction des vents dominants sur le site

Figure 2 – Orientation et disposition des sondages racinaires.



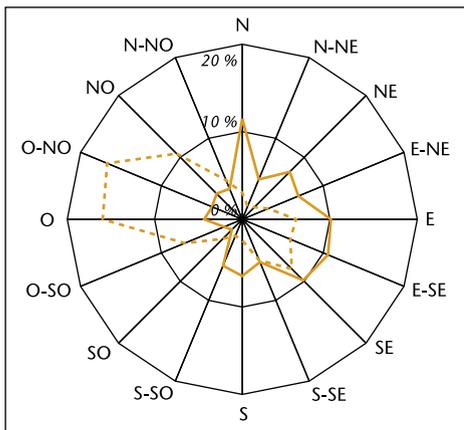


Figure 3 – Distribution des orientations des courbures basales (trait plein) du douglas et des vents dominants (trait pointillé) pour le site expérimental.

expérimental et la direction des courbures ou des lignes de plantation, les quatre types de fosses précédemment identifiés peuvent être ramenés à deux catégories : celles situées à l’abri du vent (arbres courbés : SC ; arbres droits : AM) et celles exposées à celui-ci (arbres courbés : OC ; arbres droits : AV).

### Comparaison des caractéristiques aériennes des arbres droits et courbés

Les caractéristiques dendrométriques moyennes sont très proches pour les deux types d’arbres (tableau 1) : les écarts sur la circonférence à hauteur d’homme ( $C_{130}$ ) et le facteur d’élancement ( $H_{TOT}/D_{130}$ ) sont inférieurs à 1 %, confirmant ainsi le bien-fondé du choix des couples d’arbres droits et courbés.

La figure 4 illustre la quasi-équivalence du profil dendrométrique moyen des deux types d’arbres échantillonnés, excepté bien entendu la courbure basale.

### Comparaison du système racinaire des arbres droits et courbés

En considérant globalement l’ensemble des fosses et des arbres échantillonnés, il apparaît que la section racinaire totale est nettement plus importante (+ 39 %) pour les arbres droits (348 cm<sup>2</sup>) que pour les douglas courbés (213 cm<sup>2</sup>) ; parmi les neuf paires d’arbres échantillonnées, huit font état d’une section totale de racines supérieure pour l’arbre droit. En ce qui concerne le nombre de racines, la tendance s’inverse avec six arbres courbés qui présentent plus de racines que l’arbre droit

Tableau 1 – Caractéristiques aériennes moyennes pour les deux types d’arbres échantillonnés.

Caractéristiques	Arbres droits			Arbres courbés		
	Moyenne	ET	CV (%)	Moyenne	ET	CV (%)
Hauteur branches mortes (m)	3,0	0,2	5,3	3,0	0,3	9,4
Hauteur branches vivantes (m)	6,2	1,1	17,5	6,2	1,1	17,7
$H_{TOT}$ (m)	10,6	1,1	10,5	10,6	1,3	11,9
$C_0$ (cm)	56,9	12,9	22,7	57,1	14,4	25,1
$C_{130}$ (cm)	41,7	9,3	22,2	42,2	10,8	25,6
Facteur d’élancement ( $H_{TOT}/D_{130}$ )°	83,3	22,2	26,7	83,4	20,6	24,7

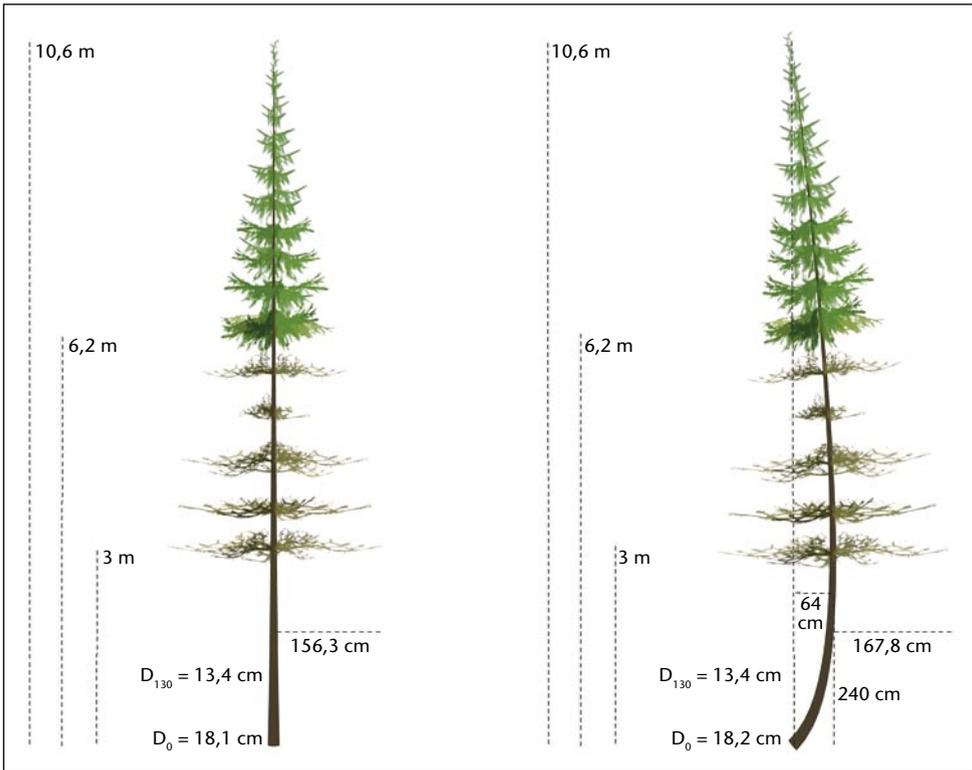


Figure 4 – Représentation schématique des arbres droits et courbés moyens.

correspondant : les arbres courbés développent globalement 15 % de racines en plus (cent quatre-vingt-une racines au lieu de cent cinquante-sept).

Les différences entre arbres droits et courbés en termes de nombre de racines, diamètre moyen et section racinaire totale, ont été analysées statistiquement à l'aide d'un test de *Student* pour échantillons appariés, pour chaque niveau de profondeur (non montré) ainsi que sur toute la profondeur investiguée (tableau 2).

Le coefficient de variation est élevé pour les sections totales et bien moindre pour le

nombre de racines observé. Sur la profondeur 0-40 cm, le diamètre moyen des racines et la section racinaire totale tous types de fosses confondus sont significativement plus élevés pour les arbres droits ( $p = 0,031$  et  $p = 0,022$ , respectivement).

Lorsque les comparaisons des caractéristiques racinaires dans la couche 0-40 cm sont conduites indépendamment pour les fosses exposées au vent (AV, OC) ou à l'abri du vent (AM, SC) (tableau 2), la seule différence significative ( $p = 0,041$ ) entre arbres droits et courbés concerne la section racinaire totale du côté exposé au vent, environ trois fois supérieure pour les

Fosses		Arbres droits			Arbres courbés			$\Delta^*$	
		Moyenne	ET	CV (%)	Moyenne	ET	CV (%)	%	test
Toutes	Nb	17,4	5,6	32,2	20,1	6,3	31,3	15,6	NS
	D (mm)	11,5	3,6	31,4	8,8	2,0	22,4	-23,5	p = 0,031
	S (cm <sup>2</sup> )	38,7	27,2	70,4	23,7	15,8	66,5	-38,7	p = 0,022
Exposées au vent	Nb	9,1	4,3	47,0	9,3	4,4	47,6	2,4	NS
	D (mm)	11,2	4,6	262,6	8,4	2,5	29,4	-25,3	NS
	S (cm <sup>2</sup> )	21,1	21,4	101,4	6,9	3,3	47,2	-67,2	p = 0,041
À l'abri du vent	Nb	8,3	4,6	55,3	10,8	4,6	43,0	29,3	NS
	D (mm)	10,0	4,9	48,7	9,3	3,4	36,1	-6,9	NS
	S (cm <sup>2</sup> )	17,6	25,9	147,0	16,8	16,0	95,0	-4,6	NS

\* ((arbres courbés - arbres droits) / arbres droits) × 100

Tableau 2 – Comparaison des caractéristiques racinaires (Nb : nombre de racines ; D : diamètre racinaire moyen ; S : section racinaire) des arbres droits et courbés sur la profondeur 0-40 cm, tous types de fosse confondus et par type de fosse.

arbres droits (21,1 cm<sup>2</sup>) comparativement aux arbres courbés (6,9 cm<sup>2</sup>).

Les figures 5 et 6 montrent respectivement les sections racinaires et les nombres totaux de racines des arbres droits et courbés pour chaque type de fosse, obtenues sur l'ensemble des arbres échantillonnés et ventilées par taille de racines (diamètre inférieur à 5 mm ; diamètre compris entre 5 et 10 mm ; diamètre supérieur à 10 mm) :

- les différences de sections racinaires entre arbres courbés et droits sont principalement localisées au niveau des fosses exposées au vent (figure 5) ;
- le déficit de section racinaire des arbres courbés du côté exposé au vent est lié à un nombre relativement réduit de racines de grosses dimensions (figure 6).

Pour chaque type d'arbres, la dissymétrie du système racinaire a également été analysée à l'aide d'un test pour échantillons appariés sans toutefois révéler de différence significative entre fosses amont et

aval (arbres droits) ou concave et convexe (arbres courbés).

## CONCLUSION

La proportion d'arbres présentant une courbure basale faible à très forte s'élève à environ un tiers des effectifs. Cette courbure est très majoritairement orientée dans la direction des vents dominants.

Même si la méthode utilisée ne permet d'accéder qu'à une fraction du système racinaire, celui-ci semble encore superficiel après quinze années de plantation, 80 % de la section racinaire se localisant dans les vingt premiers centimètres du sol.

Sur la profondeur prospectée (0-40 cm), les douglas courbés ont un système racinaire caractérisé par un diamètre moyen et une section cumulée significativement inférieurs à ceux des arbres droits. Cette différence entre arbres s'explique principalement par le dé-

ficit de section constaté du côté exposé aux vents, lui-même associé à un nombre de grosses racines (diamètre supérieur à 10 mm) plus réduit.

À type d'arbre fixé, les systèmes racinaires ne sont pas significativement différents entre fosses exposées au vent et fosses situées à l'abri du vent, même si la sec-

tion racinaire des arbres courbés tend à être dissymétrique. Il est possible qu'en augmentant la taille de l'échantillon, des différences statistiques entre fosses apparaissent. En raison de la lourdeur des protocoles, l'échantillonnage mis en œuvre pour ce type d'étude est néanmoins souvent réduit<sup>3-7-15</sup>, le nombre d'arbres testés étant fréquemment inférieur à vingt.

Figure 5 – Effectifs cumulés de racines, par type de fosse et type d'arbre, ventilés par classes de diamètre.

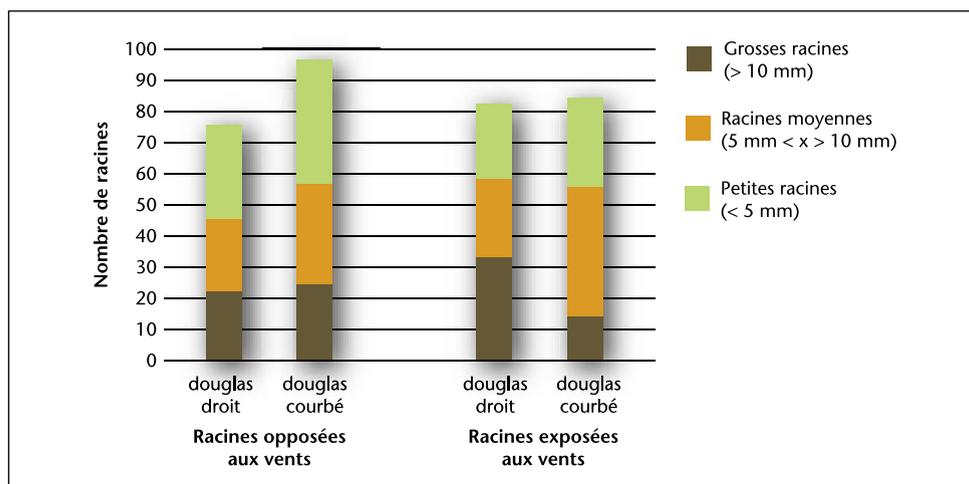
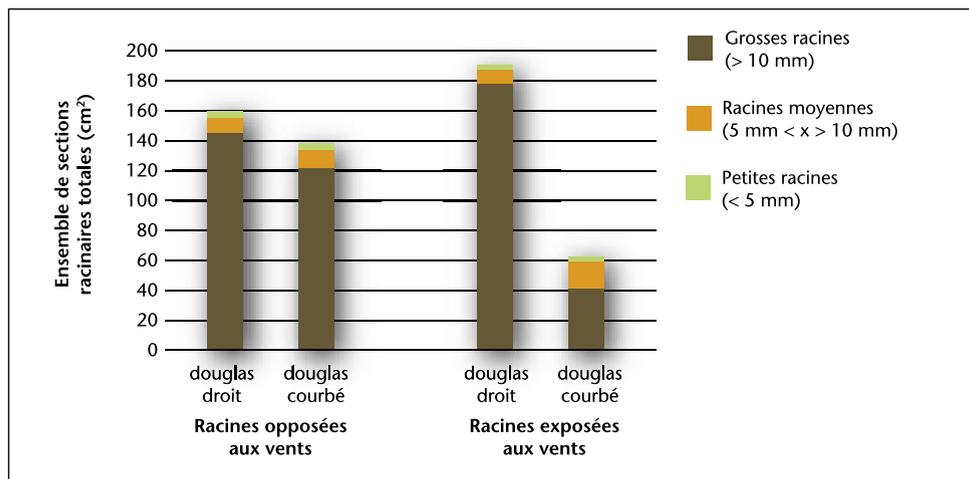


Figure 6 – Sections racinaires cumulées, par type de fosse et type d'arbre, ventilées par classes de diamètre.





Divers auteurs ont souligné le rôle majeur des racines situées du côté aux vents, lequel contribuerait à l'ancrage des arbres à raison de 60 %<sup>5-9-12</sup>. Par conséquent, le déficit de section racinaire des arbres courbés du côté exposé aux vents dominants est bien susceptible d'induire le manque de stabilité et la sensibilité au renversement<sup>2-11-13</sup> constatés.

Dans le cas présent, l'origine du déficit racinaire (du côté exposé aux vents dominants) pourrait s'expliquer par la mise en place des plants : la topographie, l'orientation des lignes de plantation parallèles à celle des vents dominants et l'âge des plants ( $S_2R_2$ ) suggèrent qu'un chignon ait pu se développer suite à la mise en place des plants.

Cette étude exploratoire permet de formuler un certain nombre de recommandations pratiques aux candidats reboiseurs du douglas<sup>1-4</sup>. Ces conseils apparaissent d'autant plus importants que le développement initial du système racinaire du douglas semble réduit :

- exiger des plants de qualité et bien équilibrés : rapport entre la partie aérienne et la partie racinaire le moins élevé possible, aucune déformation racinaire ni courbure à la base de la tige, système racinaire bien développé avec un chevelu abondant et en bon état ;
- plants à racines nues : préférer des jeunes plants de 2 ans (1 + 1) ou de 3 ans (1 + 2 ou 2 + 1) ;
- plants en godet : exiger des godets de volume suffisant (300 à 400 cm<sup>3</sup>) à parois rainurées ou ajourées, veiller au substrat bien poreux, vérifier le bon développement du système racinaire, de forme naturelle et sans déformation (racines principales spiralées, chignon) ;
- garantir des plantations optimales : sols favorables (ni trop lourds ni engorgés), abri latéral, conditions climatiques favorables (humidité atmosphérique), habillage modéré des racines.

Comme pour tout projet de boisement, le soin apporté à la plantation constitue un investissement<sup>1</sup>. Le système racinaire du douglas nécessitant 15 à 20 ans avant d'être pleinement efficace, une attention particulière à la plantation conditionne le succès. ■

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

<sup>1</sup> BALLEUX P., VAN LERBERGHE P. [2006]. *Guide technique pour des travaux forestiers de qualité.*

- Ministère de la Région Wallonne, DGRNE, DNF, Jambes. 374 p.
- <sup>2</sup> COUTTS M.P. [1983]. Root architecture and tree stability. *Plant and Soil* **71** : 171-188.
- <sup>3</sup> DE CHAMPS J., AMPILHAC M. [1978]. Observations sur la sensibilité au vent des jeunes douglas. Afocel *Fiche Informations-Forêt* **104**.
- <sup>4</sup> DE CHAMPS J., DEMARCO P. [1996]. Sylviculture du douglas. ONE, *Bulletin technique* **31** : 35-42.
- <sup>5</sup> DRÉNOU C. [2006]. *Les Racines : face cachée des arbres*. Édition IDF - CNPPE, Paris, 335 p.
- <sup>6</sup> DUPUY L., DRÉNOU C., FOURCAUD T. [2003]. Sols, racines et ancrage des arbres forestiers. *Forêt-Entreprise* **153** : 39-43.
- <sup>7</sup> EIS S. [1974]. Root system morphology of western hemlock, western red cedar and douglas-fir. *Can. J. For. Res.* **4** : 28-38.
- <sup>8</sup> LECOMTE H., FLORKIN P., MORIMONT J.-P., THIRION M. [2000]. *La forêt wallonne, état de la ressource à la fin du XX<sup>e</sup> siècle*. Ministère de la Région Wallonne, DGRNE, DNF, Direction des Ressources Forestières, Cellule IPRFW, Jambes, 71 p.
- <sup>9</sup> MITCHELL S.J. [2003]. Effects of mechanical stimulus, shade, and nitrogen fertilisation on morphology and bending resistance in douglas-fir seedlings. *Can. J. For. Res.* **33**(9) : 1 602-1 609.
- <sup>10</sup> PONCELET J. [1962]. Les peuplements de douglas : actions mécaniques du vent, éclaircies. *Bull. Soc. R. For. Belg.* **69**(8-9) : 397-403.
- <sup>11</sup> STATHERS R., MESSIER C., POULIN S. [1994]. *Windthrow Handbook for BC Forests*. BC Min. For., Research. Br., Victoria, BC. Working Pap. 9401. 31 p. [www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/Wp/Wp01.htm](http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/Wp/Wp01.htm).
- <sup>12</sup> STOKES A. [1999]. Strain distribution during anchorage failure in root system of Maritime pine (*Pinus pinaster* AIT.) at different ages and tree growth response to wind-induced root movement. *Plant and Soil* **217** : 17-27.
- <sup>13</sup> STOKES A., SALIN F., DUPUY L., CUCCHI V. [2004]. Que savons-nous de la biomécani-

que racinaire ? *Forêt-Entreprise* **156** : 23-27.

- <sup>14</sup> THIBAUT A., RONDEUX J., CLAESSENS H. [1995]. *Indices et courbes de fertilité pour les peuplements de douglas [Pseudotsuga menziesii (MIRB.) FRANCO] en Belgique*. Cah. For. Gembloux **16**, 12 p.
- <sup>15</sup> WILSON J.S., OLIVER C.D. [2000]. Stability and density management in douglas-fir plantations. *Can. J. For. Res.* **30**(6) : 910-920.

*Les auteurs tiennent à remercier Pierre Maréchal, responsable du cantonnement du Département de la Nature et des Forêts de Bertrix et Daniel Draux, titulaire du triage de Bertrix, pour leurs autorisations, accueil et conseils avisés. Ils remercient également Jérôme Antoine et ses collaborateurs pour leur participation à la collecte de données dendrométriques.*

*Cette étude a été réalisée grâce au soutien de l'« accord cadre de recherche et vulgarisation forestières ».*

PASCAL BALLEUX

p.balleux@cdaif.be

Centre de Développement  
Agroforestier de Chimay

Route de la Fagne, 34  
B-6460 Chimay

BENOÎT LENTZ

QUENTIN PONETTE

quentin.ponette@uclouvain.be

Unité des Eaux et Forêts,  
Université catholique de Louvain

Croix du Sud, 2 bte 9  
B-1348 Louvain-la-Neuve