

LE DOUGLAS SUR SUBSTRAT CALCAIRE

Étude de ses potentialités forestières en Calestienne

FRÉDÉRIC MOUCHET

Unité de Sylviculture, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

HUGUES CLAESSENS

Unité de Gestion et Économie forestières, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

JEAN LAROCHE

Laboratoire de Géopédologie, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

Pour la sylviculture, la principale caractéristique de la Calestienne est très certainement la combinaison entre sa haute biodiversité et sa faible aptitude à la production de bois. Ainsi, la difficulté de trouver une essence économiquement rentable pouvant valoriser des sols souvent très ingrats a poussé plusieurs générations de forestiers à effectuer de nombreux essais sylviculturaux. Parmi ceux-ci, la célèbre introduction du pin noir, et plus récemment et plus discrètement, celle du douglas.

© H. Claessens

D'une part la Calestienne, territoire écologique de Wallonie dont une partie du substrat est calcaire ; d'autre part, le douglas, essence résineuse de forte production, mais réputée calcifuge. Il semblerait, d'après leurs caractéristiques intrinsèques, qu'ils ne soient pas faits pour se rencontrer.

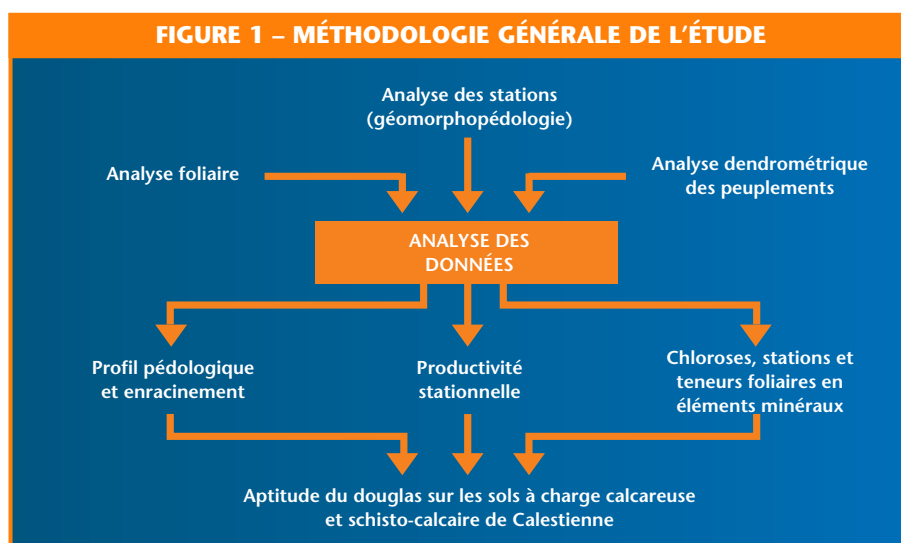
Cependant, au hasard d'une promenade en forêt, on peut se retrouver nez à nez avec ce géant importé du nouveau continent. Le forestier qui peut n'avoir planté que quelques ares de cette essence a certainement été pris pour un marginal par beaucoup de ses collègues.

Toutefois le résultat est là et certaines questions nous viennent à l'esprit :

- ◆ les sols de la Calestienne sont-ils carbonatés ?
- ◆ le douglas, est-il réellement calcifuge ?

Cela mérite bien une étude approfondie, d'autant plus qu'en France, où le douglas est pourtant la première essence de reboisement depuis plus de 20 ans, la question n'a pas non plus été résolue. C'est ce qui a été entrepris dans le cadre d'un travail de fin d'études mené à la FUSAGx¹. Le présent article fait la synthèse des principaux résultats de ce travail.

FIGURE 1 – MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE



Affleurement du substrat calcaire, domaine des sols bruns à charge calcareuse (série Gbbk).



Affleurement d'un substrat schisto-calcaire, domaine des sols bruns à charge schisto-calcaire (série Gbbkf). Nodules calcaires dans un banc schisteux.

© F. Mouchet

© F. Mouchet

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE

L'objectif de l'étude est d'investiguer un certain nombre de douglasaies existantes sous leurs aspects station, productivité et nutrition minérale. Ces différents éléments seront ensuite mis en relation pour tenter de mieux comprendre le comportement autécologique du douglas sur les sols à charge calcaireuse (G**k) et schisto-calcaire (G**kf) de Calestienne, et par extension son aptitude à la sylviculture dans ce contexte (figure 1).

RÉCOLTE ET ANALYSE DES DONNÉES

Parcelles d'étude

Pour mener à bien cette étude, 25 peuplements ont été sélectionnés au sein de différents cantonnements de la Division de la Nature et des Forêts dont les limites recoupent la Calestienne. Ces douglasaies sont âgées de 27 à 46 ans et se situent sur substrat calcaire ou schisto-calcaire. Leur surface varie entre 25 ares et 4,5 hectares. Trente-huit placettes d'échantillonnage y ont été installées sur des stations différentes (y compris 2 placettes témoins sur sol schisteux) avec une à cinq placettes par peuplement.

Analyse stationnelle

L'analyse a été limitée aux types de station des sols bruns caillouteux de Calestienne, à charge calcaireuse ou schisto-calcaire (figure 2), là où les questions quant à l'introduction du douglas se posent le plus souvent.

Pour des raisons liées aux objectifs de l'étude, la récolte des caractéristiques pédologiques du milieu a été approfondie.

Ainsi, après quelques sondages ponctuels et une campagne de prélèvements d'échantillons composites sur chaque placette (figure 3), un nombre restreint de placettes a fait l'objet d'une description plus fine via la réalisation de fosses pédologiques.

Les sols ont ainsi été décrits sur le terrain avec la minutie du pédologue, et les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une analyse en laboratoire via un menu simple (pH H₂O, pHKCl, carbonates totaux) adapté aux objectifs de l'étude.

Les figures 4 à 6 présentent les principaux résultats de ces descriptions et analyses de sols.

Une attention particulière a été apportée à l'observation de l'enracinement au sein des fosses pédologiques. À cette fin, les fosses ont été installées à proximité de souches fraîches ou d'arbres martelés.

La figure 4 révèle que les pH observés dans les sols sont souvent très différents. Les 20 premiers centimètres de ces sols sont majoritairement à pH acide ou neutre (figure 5). Ils sont rarement carbonatés dès la surface et les sols carbonatés à partir de 20 centimètres sont également minoritaires (figure 6). Finalement, les sols carbonatés sont peu rencontrés et sont souvent faiblement carbonatés. Toutefois, le pourcentage de carbonate dans la terre fine est fortement lié à la nature des matériaux et à leur altérabilité. À ce titre, les schistes calcaires semblent très altérés, alors que les calcaires le sont généralement moins.

Analyse dendrométrique des peuplements

Dans chaque station étudiée, une placette dendrométrique a été installée pour estimer en priorité la hauteur dominante et l'âge du peuplement. Ces données permettent d'estimer l'indice de productivité de la douglasaie (figure 7) à partir

des tables de production existantes pour la Wallonie².

L'indice de fertilité moyen est de 30,7 m à l'âge de référence de 50 ans. La figure 7 montre que la majorité des placettes se trouve entre les classes 2 et 3 de fertilité (entre 30 et 33 m), c'est-à-dire en dessous de la moyenne de la Wallonie (indice de 33 m). Les placettes restantes se cantonnent plutôt autour de la classe 4 (27 m). Bien que deux placettes s'approchent de la classe 1, aucune placette ne se situe franchement dans cette classe.

Analyse foliaire

Trente-six arbres ont fait l'objet d'analyses foliaires pour évaluer l'impact de la teneur du sol en carbonates sur les équilibres nutritionnels et la productivité des peuplements. Les arbres ont été répartis sur 6 sites de manière à appréhender à la fois des statuts chlorotiques différents et des teneurs en carbonates contrastées (figure 8).

Contrairement à ce qui avait été observé avant récolte, il est apparu que, pour tous les peuplements ayant fait l'objet d'une récolte d'aiguilles, des chloroses plus ou moins prononcées ont été dia-

FIGURE 2 – PRINCIPALES CONDITIONS DE STATION CIBLÉES PAR L'ÉTUDE

Variable écologique	Niveaux pris en compte par l'étude		
Étage géologique	Givetien		Frasnien
Relief	Plateau	Versant Sous-secteur chaud : S-E à O Sous-secteur froid : N-O à E	
Série de sol	Sol brun à charge calcaireuse série Gbbk		Sol brun à charge schisto-calcaire série Gbbkf
Profondeur de sol	Très superficiel 0 à 20 cm phase « 6 »	Superficiel 20 à 40 cm phase « 4 »	Peu profond 40 à 60 cm phase « 2 »
Teneur en carbonates	Réaction de la terre fine à l'HCl oui présence de carbonates non		

FIGURE 3 – MODE DE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS COMPOSITES DE TERRE

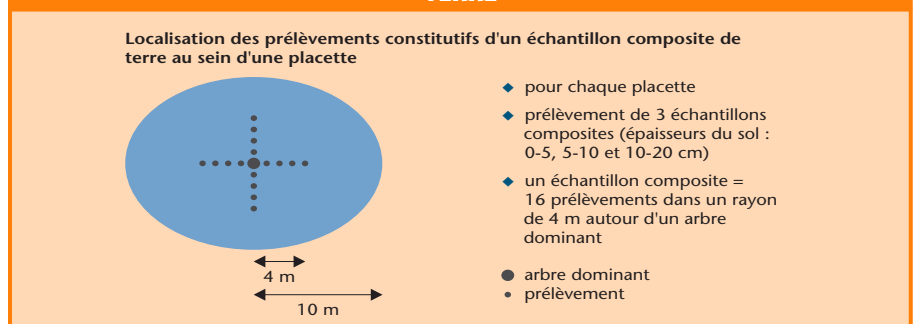


FIGURE 4 – PH H₂O RELATIF AU PREMIER NIVEAU DE PRÉLÈVEMENT (0-5 CM), POUR LES 38 PLACETTES REGROUPÉES SUR BASE DE LA PROFONDEUR DU SOL (2, 4, 6) ET DE LA NATURE DE LA CHARGE (k, kf, f = schiste)

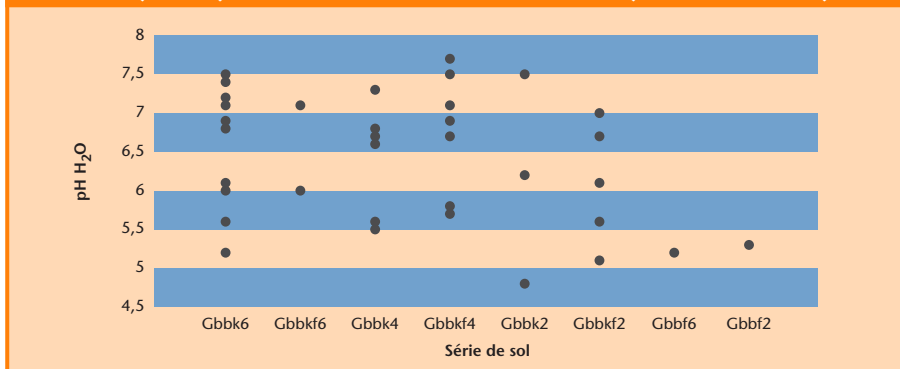
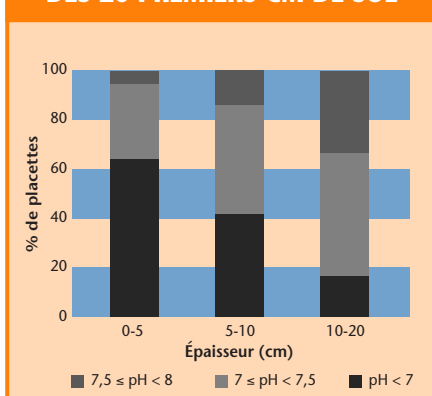


FIGURE 5 – REGROUPEMENT DES PLACETTES AU SEIN DE DIFFÉRENTES CLASSES DE pH H₂O MOYEN DES 20 PREMIERS CM DE SOL



gnostiquées. Les analyses foliaires indiquent des déséquilibres pour plusieurs éléments dans les aiguilles de douglas d'un an (figure 9), notamment de fortes teneurs en calcium et de faibles teneurs en manganèse. Ces résultats confirment ceux déjà obtenus par WEISSEN³ pour une douglaie située en Calestienne sur un sol dont le pH était de 7,5.

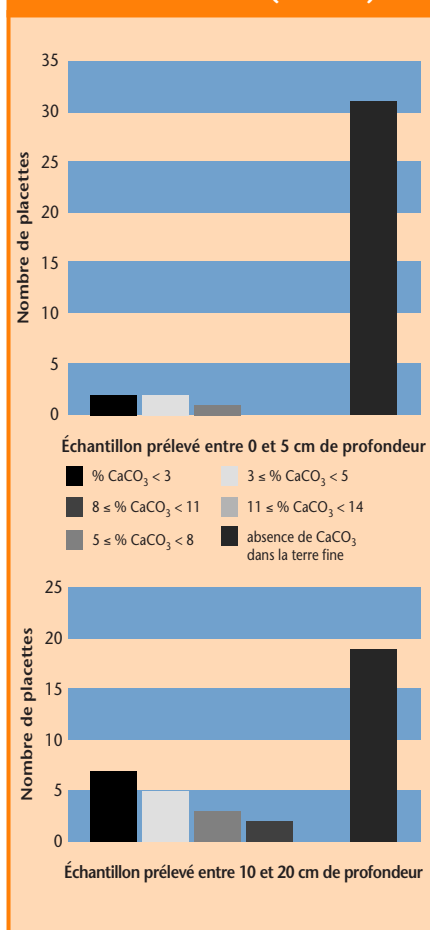
RÉSULTATS

Relation station x production

Une étude déjà réalisée à l'échelle de la Wallonie⁵ a montré que la croissance du douglas réagit faiblement aux caractéristiques du milieu. Notre étude, bien que plus approfondie, mais aussi plus locale, confirme ces propos. En effet, lorsque l'on confronte l'indice de fertilité aux facteurs ou à une combinaison de facteurs du milieu, on s'aperçoit qu'aucun paramètre ne l'influence significativement.

Toutefois, si l'on se place à l'échelle régionale, on observe que l'indice de productivité en Calestienne est nettement inférieur à celui des autres régions naturelles, même contiguës, comme la Famenne ou la basse Ardenne

FIGURE 6 – DISTRIBUTION DES PLACETTES SELON LA TENEUR EN CARBONATES OBSERVÉE DANS LA TERRE FINE DE L'ÉCHANTILLON COMPOSITE PRÉLEVÉ ENTRE 0 ET 5 CM DE PROFONDEUR (EN HAUT) ET 10 ET 20 CM (EN BAS)



(tableau 1). D'autre part, la comparaison de 20 sols à charge calcareuse, de type Gbbk, avec 6 sols de même type, mais situés en Condroz⁵, indique aussi une différence d'indice de fertilité de 3,5 m, soit de plus d'une classe de productivité en défaveur de la Calestienne. D'autres comparaisons, même plus fines, mais non développées ici, nous poussent à conclure que la Calestienne est globalement et significativement moins favorable au douglas que les autres régions.

Cette différence n'est pas aisée à expliquer et l'étude locale approfondie n'apporte pas non plus d'explication. En effet, dans l'éventail des stations observées, qui couvre une gamme allant de sols aux caractéristiques théoriquement acceptables pour le douglas jusqu'à des sols très superficiels et carbonatés, la productivité moyenne est étonnamment peu variable, comme le montrent, à titre d'exemple, les figures 10 et 11. Par contre, la variabilité entre placettes est grande. Nous tentons de répondre à ce point au paragraphe suivant en montrant l'influence de la station d'une part et l'influence des facteurs génétiques et sylvicoles d'autre part sur l'indice de fertilité.

En s'attachant alors uniquement aux nombreuses informations issues des fosses pédologiques, installées dans 6 situations types représentatives des 36 stations, il a été possible de tirer quelques enseignements intéressants, notamment grâce à l'observation des enracinements.

Bien que ces 6 sols soient assez différents, les douglaies qui s'y développent ont des indices de productivité peu différents (fourchette de variation de 2,2 m de différence à 50 ans).

Tant que le substrat est fissuré, la profondeur du sol ne semble pas influencer significativement la productivité. Celle-ci est ainsi similaire pour un sol de 50 cm (figure 12.1) ou de 5 cm (figure 12.2).

Par contre, un sol très superficiel, sans possibilité de développement des racines ailleurs que sur quelques centimètres de sol, voit sa productivité diminuer fortement avec un très mauvais ancrage et une forte probabilité de chablis (Gbbf6 sur l'extrême droite de la figure 11 et figure 12.3). Le risque de chablis sur un substrat constitué de calcaires cohérents peu fissurés est également important (figure 12.4). Ce sont des stations à risque. Les sols superficiels ne garantissent donc la stabilité du douglas que si les racines peuvent s'installer au sein d'un horizon fort caillouteux (figure 12.5) ou si elles se trouvent dans un horizon de transition A/R à la faveur de poches de terre ou dans la roche mère R à la faveur de fissures (figure 12.6).

Nous remarquons par ailleurs que le système racinaire peut se trouver dans un milieu très carbonaté ou dans un horizon très compact (figure 12.7) sans que l'on observe une diminution de produc-

FIGURE 7 – RÉPARTITION DES PLACETTES DE DOUGLAS SELON LEURS INDICES DE PRODUCTIVITÉ (H50 EN M)

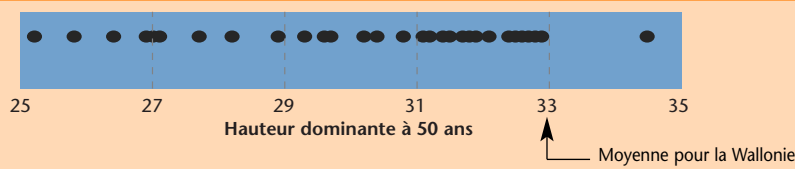
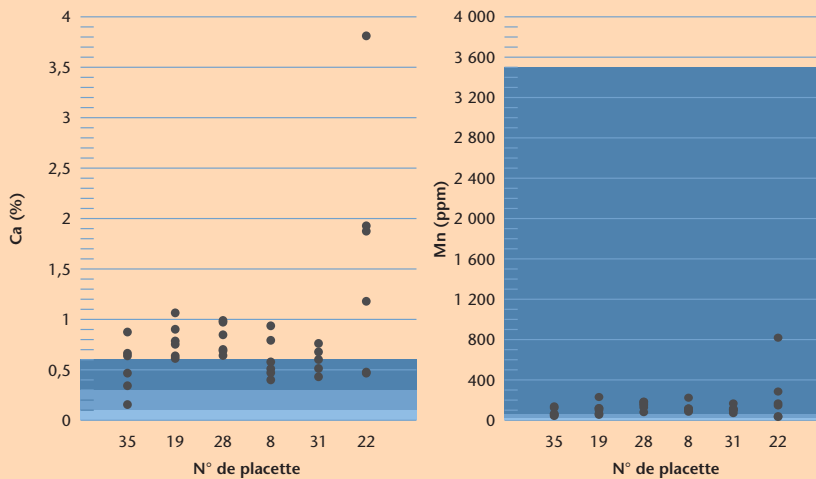


FIGURE 9 – TENEURS INDIVIDUELLES EN CALCIUM (À GAUCHE) ET MANGANÈSE (À DROITE) D'AIGUILLES D'UN AN



Classement par ordre croissant de profondeur (phase très superficielle pour les placettes 35, 19, 28, 8 et peu profonde pour les placettes 31 et 22) et par augmentation du niveau de décarbonatation. Les seuils de carence (en bleu clair sur les graphiques) et les teneurs optimales (en bleu foncé) proviennent de BONNEAU⁴.

TABEAU 1 – INDICES DE PRODUCTIVITÉ MOYENS (H50) OBSERVÉS SELON LES DIFFÉRENTES RÉGIONS NATURELLES SELON CLAESSENS ET AL.⁵ SAUF (*) : DONNÉES DE LA PRÉSENTE ÉTUDE.

Régions naturelles	H50 (m)
(*) Calestienne	30,7
Haute Ardenne	32,1
Moyenne Ardenne (1)	32,8
Condroz	33,9
Basse Ardenne (2)	34,8
Famenne	35,0
Lorraine belge (3)	35,2

1. Altitude comprise entre 380 et 500 m (Ardenne méridionale, centro-orientale et occidentale)
2. Altitudes inférieures à 380 m (Ardenne atlantique et bassins ardennais, vallées supérieures des affluents mosans)
3. Cuesta sableuse uniquement

tivité par rapport à la moyenne obtenue pour la Calestienne.

Influence des facteurs génétiques et sylvicoles sur la productivité des douglaies

Si l'on restreint l'analyse aux seules douglaies qui contiennent au moins 2 placettes différentes, correspondant donc à des stations différentes au sein du même

peuplement, caractérisé par la même sylviculture et la même origine génétique, les résultats sont surprenants. Quarante pour cent de la variabilité de productivité observée sont expliqués par l'effet peuplement et donc seulement 16 % par la station ! En effet, l'indice de productivité est généralement assez stable au sein d'un peuplement, même lorsque celui-ci est établi sur des milieux différents, alors que la variabilité entre peuplements est plus importante (tableau 2).

Dans les limites des stations étudiées, cela démontre la prépondérance des aspects génétiques (provenance bien adaptée aux sols carbonatés peu profonds par exemple), voire sylvicoles (bon démarrage d'une plantation par exemple) sur les aspects de fertilité des stations, comme CLAESSENS *et al.*⁵ l'avaient supposé sans le mesurer dans leur étude à l'échelle de la Wallonie.

État sanitaire des peuplements

Préalablement à toute analyse foliaire, des biopsies d'aiguilles réalisées par le Département lutte biologique et Ressources phytogénétiques du Centre de

FIGURE 8 – STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE DES PRÉLÈVEMENTS POUR L'ANALYSE FOLIAIRE



- par un grimpeur
- six arbres par site
- une branche d'orientation sud autour du sixième verticille

Recherches agronomiques de Gembloux ont permis d'éliminer l'hypothèse d'une relation entre les chloroses observées et d'éventuelles attaques fongiques.

La situation de déséquilibre entre les teneurs en éléments par rapport aux teneurs habituellement observées est générale à l'ensemble des sites analysés, avec des différences aussi importantes entre arbres qu'entre sites. Les teneurs les plus faibles en plusieurs éléments ont surtout été observées pour la placette située sur le sol le plus riche en carbonate. Toutefois, aucun lien n'a été établi entre l'importance des chloroses et les teneurs individuelles des différents éléments dosés. Il n'existe pas non plus de relation statistique entre les teneurs individuelles des différents éléments dosés et les indices de productivité.

PEUT-ON PLANTER LE DOUGLAS EN CALESTIENNE ?

Les principaux enseignements de cette étude sont les suivants :

- ◆ les sols à charge calcaireuse ou schisto-calcaire de Calestienne n'offrent pas de bonnes conditions de croissance au douglas. L'indice de productivité moyen des peuplements de douglas est de plus d'une classe inférieur à celui des régions similaires par leur climat, et notamment à celui des sols à charges calcaireuses superficielles mais non carbonatés et d'étage géologique différent localisés en Condroz ;
- ◆ le caractère plus ou moins carbonaté des sols, leur profondeur ou encore

FIGURE 10 – DISTRIBUTION DES VALEURS MOYENNES ET EXTRÊMES DE L'INDICE DE FERTILITÉ (H50) EN FONCTION DE LA CLASSE DE PROFONDEUR D'APPARITION DE CARBONATES DANS LA TERRE FINE DU SOL

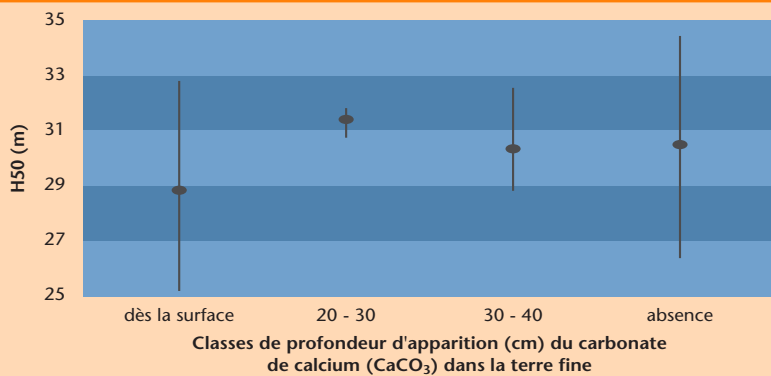


FIGURE 11 – INDICE DE FERTILITÉ (HAUTEUR DOMINANTE À 50 ANS) POUR LES 38 PLACETTES REGROUPÉES SUR BASE DE LA PROFONDEUR DU SOL (2, 4, 6) ET DE LA NATURE DE LA CHARGE (k, kf, f)

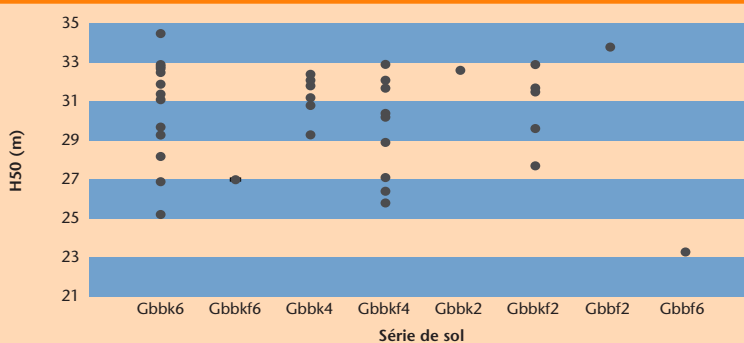


TABLEAU 2 – CONFRONTATION DES INFORMATIONS LIÉES À LA STATION AVEC LES INDICES DE FERTILITÉ : EXEMPLES DE TROIS PEUPELEMENTS DE DOUGLAS OÙ SONT INSTALLÉES RESPECTIVEMENT DEUX, QUATRE ET TROIS PLACETTES SUR DES STATIONS DIFFÉRENTES

Commune (lieu-dit)	N° placette	Âge	Surface (ha)	Topographie	Géologie	Pédologie	Indice de fertilité (H50 en m)
Han-sur-Lesse	I	38	0,80	Versant sud ouest	Frasnien	Gbbkf4	27,1
	II			Bas de versant		Gbbkf2	27,2
Couvin (Bout des Haies de Frasnes)	1	41	4,46	Versant nord	Frasnien	Gbbkf2	31,5
	2					Gbbkf2	31,7
	3					Gbbk6	31,9
	4					Gbbf2	33,8
Couvin (Petit Thienne au Faux)	A	38	1,28	Versant sud	Frasnien	Gbbk6	32,5
	B			Plateau		Gbbk6	32,9
	C			Versant nord		Gbbkf2	32,9

leur position topographique ont peu de répercussion sur l'indice de productivité des douglasaies en regard de l'effet « peuplement » ;

- ◆ aucun lien n'a pu être établi entre les chloroses foliaires, les teneurs foliaires en éléments minéraux, les stations et la productivité ;
- ◆ grâce à l'observation des enracinements dans les fosses pédologiques, les stations les plus favorables au douglas ont pu être ciblées :
 - à condition d'être planté sur des sols (moyennement) profonds, le douglas peut être productif (Gbbk2 et Gbbkf2) ;
 - il peut être introduit sur les sols décarbonatés même (très) superfici-

ciels si le substrat est assez fissuré. Le douglas est moins productif sur ce genre de station mais s'adapte mieux que beaucoup d'autres essences. Les sols à charge calcareuse (très) superficiels (Gbbk4 et Gbbk6) constituent la majorité de ce groupe pour lequel le risque de chablis est minime grâce à un très bon ancrage du système racinaire ;

- par contre, il n'est pas recommandé sur les sols (très) superficiels si le substrat est horizontal, très peu fissuré et par précaution sur les sols carbonatés. Ce sont surtout des sols à charge schisto-calcaire (très) superficiels qui sont visés (Gbbkf4 et Gbbkf6) ici.

Quant à la problématique des sols carbonatés, aucune réponse nette ne ressort de l'étude. Il apparaît cependant que :

- ◆ l'alimentation minérale semble perturbée sur tous les sols investigués, et le plus fortement sur le sol le plus carbonaté ;
- ◆ la productivité du douglas semble plutôt liée à des aspects génétiques ou sylvicoles.

Il restera donc toujours une incertitude sur l'avenir d'une plantation en sol carbonaté. Une sélection génétique permettrait peut-être de résoudre partiellement l'incertitude en produisant ou simplement en identifiant une provenance non calcifuge, comme cela semble se produire spontanément dans les peuplements en cours de régénération naturelle (En Suisse, MOTSCHALOW⁶ indique que des douglas provenant de régénérations naturelles ne présentent pas de chlorose).

Pour le choix des stations, il faut rester prudent.

D'une part, un simple sondage à la tarière du cartographe ou la consultation de la carte des sols ne peut suffire. Il faut ici s'assurer de la possibilité qu'aura le système racinaire de pénétrer le sol. Pour cela, seul le creusement, à la pioche,

d'une fosse pédologique, permet de déceler les fissures et passages possibles des racines. En effet, l'identification précise de l'horizon constituant un obstacle physique à l'enracinement est déterminante. Les racines se comporteront différemment selon qu'il s'agisse d'un horizon fort caillouteux, d'un substrat fissuré ou non, d'un substrat orienté verticalement ou horizontalement.

Le test à l'acide sur la terre fine se révèle utile pour déceler la présence de carbonates.

D'autre part, la variabilité des sols de Calestienne est telle que le facteur spatial est à considérer. Les sols les plus défavora-

FIGURE 12 – COMPORTEMENT RACINAIRE DU DOUGLAS DANS DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS DE CALESTIENNE



© F. Mouchet

bles (Gbbk6, par exemple) peuvent côtoyer des sols plus favorables au douglas (Gbbk4, Gbbkf2), comme nous l'avons observé dans diverses douglasiaies.

QUELLE EST LA PLACE DU DOUGLAS EN CALESTIENNE ?

L'introduction du douglas en Calestienne est donc en elle-même une opération délicate. En effet :

- ◆ le choix de la station nécessite beaucoup d'attention ;
- ◆ l'installation de la plantation, en milieu sec et ensoleillé, avec une concurrence non négligeable des prunelliers et autres aubépines, nécessite des techniques adaptées ;
- ◆ la productivité attendue, bien que supérieure à celle des autres essences, est moins élevée que dans d'autres circonstances ;
- ◆ l'hétérogénéité spatiale des sols et la sensibilité de certaines provenances (non identifiables) au « calcaire actif » maintiennent à un niveau non négligeable le risque d'échec de la plantation.

Il est donc certain que la place du douglas en Calestienne n'est pas en grands massifs, mais plutôt en « enrichissements » localisés, liés à des conditions

de milieu et de sylviculture identifiées avec soin.

D'autres essences sont aussi aptes à coloniser les sols calcaires, notamment le « traditionnel » Pin noir d'Autriche, ainsi que divers feuillus indigènes faisant partie naturellement du cortège de la hêtraie calcicole ou neutrophile qui occuperait, en l'absence de l'homme, une bonne partie des sols calcaires et schisto-calcaires. Parmi ceux-ci, le hêtre, mais aussi quelques fruitiers dont l'Alisier torminal, dont la sylviculture peut aussi apporter une valeur économique aux sols de Calestienne.

Enfin, la Calestienne étant reconnue pour la haute qualité biologique de ses milieux semi-naturels (pelouses calcaires, hêtraies et chênaies-charmaies calcicoles, pineraies à orchidées...), il serait fâcheux d'introduire du douglas en lieu et place de ces formations. Une telle perte écologique, fût-elle passagère, ne peut être acceptée au nom d'un gain économique tout à fait incertain du fait des risques inhérents à la plantation de douglas et à sa productivité réduite.

Ce n'est donc que d'une manière bien réfléchie, et après une expertise attentive, que le douglas peut être introduit à

petites doses sur les tiennes de Calestienne parmi les autres affectations du territoire. ■

Remerciements

Ce travail de fin d'études a bénéficié de la collaboration de personnel des services extérieurs de la Division de la Nature et des Forêts (cantonnements de Couvin, Beaurain, Rochefort) ainsi que d'un appui scientifique et technique conséquent de la part de Mmes Marie Etienne, Béatrice Lagrange et Françoise Toussaint (Laboratoire de Géopédoologie) et de Frans Weissen. L'étude a aussi bénéficié de l'aide de Michel Etienne (Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux) et de Hugues Lecomte (cellule Inventaire des Ressources Ligneuses de Wallonie).

Bibliographie

- ¹ MOUCHET F. [2002]. *Potentialités forestières du douglas en Calestienne*. Mémoire de fin d'étude, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Gembloux, 70 p. + annexes.
- ² RONDEUX J., THIBAUT A. [1996]. *Tables de production relatives au douglas*. Les Presses agronomiques de Gembloux, 152 p.
- ³ WEISSEN F. [1997]. *Schadensstand und Nährstoffversorgung der Douglasie in den belgischen Ardennen*. *Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz*, n° 41, p. 30-39.
- ⁴ BONNEAU M. [1988]. Le diagnostic foliaire. *Revue forestière française*, numéro spécial. Diagnostics en forêt, p. 19-28.
- ⁵ CLAESSENS H., THIBAUT A., RONDEUX J. [1996]. *Le douglas en Belgique*. Gembloux : Centre de Recherche et de Promotion Forestières, 142 p.
- ⁶ MOTSCHALOW S. [1988]. Zur Jugendentwicklung der Douglasie auf Kalkböden. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 139. Jahrgang, n° 8, p. 675-689.
- ⁷ BOXUS J. [1952]. *Aménagement des bois communaux de Rochefort et question spéciale : le hêtre sur calcaire du Dévonien*. Mémoire de fin d'étude, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Gembloux, 70 p. + annexes.
- ⁸ DE CHAMPS [1997]. *Le douglas*. Paris : AFOCEL, 416 p.
- ⁹ GILBERT J.M., CHEVALIER R., VALLÉE B. [1991]. *Étude des relations station-production du douglas dans le pays d'Othe*. Nogent-Sur-Vernisson : CEMAGREF, 69 p.

FRÉDÉRIC MOUCHET
HUGUES CLAESSENS
JEAN LAROCHE

Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux
passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux
mouchet.f@fsagx.ac.be
laroche.j@fsagx.ac.be