

Evaluation et perspectives de développement des plantations de douglas réalisées avec des plants élevés dans des conteneurs inférieurs à 300cc

Rapport final de la convention n° E17/2018
Passée entre le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation,
le CNPF (IDF)
et FCBA.



Juillet 2019

Auteurs : S. Girard, L. Veuillen (CNPF-IDF)
M. Chaumet, A. Thivolle-Cazat (FCBA)



Photo : L.Veuillen, CNPF.

Remerciements

Nous tenons à remercier les membres du comité de pilotage de l'étude : Carole Bastianelli (MAA), Laurent Firmin (DRAAF Occitanie), Catherine Maison (DRAAF Pays de la Loire), Josette Chauvin (DRAAF BFC), Nicolas Lecoer (DRAAF Nouvelle Aquitaine), Olivier Baubet (DSF), et Marin Chaumet (FCBA).

Nous remercions chaleureusement tous ceux qui nous ont aidés pour les mesures de terrain :

Sébastien Gauniche, Dominique Jay, Pascal Farge, Marc Lafaye, Emmanuel Favre d'Anne, Grégoire Sanson (CRPF AURA), Magali Maviel et Stéphane Serieye (CRPF Occitanie), Marion Bolac, Jeremy Abgrall et Thierry Nequier (CRPF Nouvelle Aquitaine), Arnaud Galletti (ONF), Jean Mathieu Colin (Forêt Evolution), Nicolas Eisner (FCBA).

Le DSF pour la fourniture des données de l'enquête « Plantation » et en particulier Olivier Baubet et Bernard Boutte pour leurs conseils.

Tous les reboiseurs contactés qui ont pris du temps pour chercher des chantiers répondant à notre cahier des charges et échanger avec nous sur leurs caractéristiques, voire visiter certaines parcelles avec nous (liste en annexe 2),

Les producteurs de plants avec lesquels nous avons échangé : Romain Saint Joanis (Dubost), Loic Iffat (Forelite), Thomas Guyot et Guillaume Decolombel (Naudet) ; Jean-Marc Bonedeau (Planfor), Samuel Lemonnier et Frédéric Thévenon (Thévenon),

Les contrôleurs des ressources génétiques des régions AURA, Occitanie, BFC, Pays de la Loire, Nouvelle-Aquitaine (liste en annexe 2),

Le CRPF AURA et tout le personnel de l'antenne du Puy de Dôme et du siège régional à Lempdes qui a accueilli Léa Veuillen, chargée de mission durant 6 mois.

Adrien Balzenc et Yves Rousselle, pour leur aide très précieuse concernant le traitement statistique des données.

Toutes les personnes du CNPF qui ont partagé leurs expériences.

Le MAA qui a financé cette étude.

Résumé

Pour évaluer la qualité des plantations réalisées avec des plants de douglas élevés selon deux itinéraires différents (en pleine terre, racines nues ou bien hors sol en godets), deux approches ont été utilisées. D'une part, les données récoltées depuis 2007 par l'enquête nationale annuelle du Département Santé des Forêts pour appréhender la réussite des plantations de l'année ont été analysées, d'autre part, 14 plantations comparatives âgées de 1 à 6 ans et installées dans les principales régions de reboisement en douglas ont été évaluées.

L'enquête annuelle nationale montre que les taux de reprise des plantations utilisant des plants racines nues ou des plants en godets- tous volumes confondus c'est-à-dire incluant des volumes inférieurs et supérieurs à 300 cc- sont identiques. Les dégâts liés à l'hylobe –dans un contexte de plants traités contre l'insecte- concernent 5% des plants quel que soit le mode d'élevage considéré mais ces attaques entraînent davantage de mortalité chez les plants en godets que chez les plants racines nues.

Les 14 plantations comparatives évaluées disposaient de plants racines nues de 2 ou 3 ans installés selon le même itinéraire technique et dans les mêmes conditions que des plants élevés en godets de volume inférieur à 300 cc. Dans tous les cas, les deux types de plants ont des taux de survie identiques. Les plants élevés en godets, plus petits que ceux racines nues à la plantation, les rattrapent plus ou moins rapidement et aucune différence de hauteur n'existait entre les 2 types de plants dans les 5 plantations âgées de 6 ans qui ont été étudiées. Les dégâts de gibier concernent la même proportion de plants quel que soit leur mode d'élevage. Quelques différences existent entre types de plants : la courbure basale est davantage présente chez les plants racines nues dont le développement du système racinaire est également plus souvent déformé et déséquilibré. Ces défauts sont davantage liés à la mise en place des plants qu'à leur mode d'élevage et leur proportion reste faible dans les plantations étudiées.

Pour appréhender les surfaces à reboiser en douglas, la production en volume des peuplements de douglas a été simulée à l'échéance de 2035 selon un scénario tendanciel- correspondant à la poursuite de la sylviculture moyenne actuelle- et un scénario accéléré, prévoyant principalement des coupes finales plus précoces. Au niveau national, le renouvellement du massif de douglas devrait impliquer un reboisement de l'ordre de 6500 (tendanciel) à 8500 ha/an (accéléré) sur les 10 prochaines années selon le scénario considéré. Il pourra s'ajouter à ces surfaces, des plantations réalisées après coupe d'autres espèces (substitution) (aujourd'hui de l'ordre de 6500 ha/an). Ainsi l'effort de reboisement devrait fortement augmenter dans les 10 prochaines années.

Girard S., Veuillen L., Chaumet M. et Thivolle-Cazat A., 2019 - Evaluation et perspectives de développement des plantations de douglas réalisées avec des plants élevés dans des conteneurs inférieurs à 300cc, Rapport final de la convention n° E17/2018 au Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 157 p.

Table des matières

| | |
|--|----|
| Remerciements | 3 |
| Résumé | 5 |
| Table des matières | 6 |
| Table des figures | 9 |
| Tableaux | 11 |
| Liste des abréviations | 13 |
| I. Introduction | 15 |
| II. Contexte | 17 |
| II.1 Un marché dominé très largement par les plants en racines nues | 17 |
| II.2 Des normes dimensionnelles variables selon les régions | 19 |
| a. Cas des plants élevés en pleine terre et vendus racines nues..... | 19 |
| b. Cas des plants élevés hors sol..... | 20 |
| II.2.1.a Dans des volumes de substrat supérieurs à 300cc | 20 |
| II.2.1.b Dans des volumes de substrat inférieurs à 300cc | 21 |
| II.3 Un marché dominé par la variété Luzette-VG | 21 |
| II.4 Ce que mentionne la bibliographie sur la différence entre types de plants | 22 |
| III. Evaluation de la qualité de plantations de douglas (IDF)..... | 25 |
| III.1 Matériels et méthodes..... | 25 |
| c. Les différentes approches explorées..... | 25 |
| III.1.1.a Analyse de la base de données « plantation » du DSF | 25 |
| III.1.1.b Inventaire et échantillonnage des plantations réalisées avec des godets <300cc .. | 25 |
| III.1.1.c Appariement de plantations réalisées avec des types de plants différents..... | 26 |
| III.1.1.d Etude de plantations comparatives godets / racines nues | 28 |
| d. Analyse de l'enquête annuelle « Evaluation de la réussite des plantations de l'année » du DSF | 28 |
| III.1.1.e Rappel du protocole d'enquête..... | 28 |
| III.1.1.f Variables analysées | 29 |
| III.1.1.g Présentation des résultats..... | 29 |
| e. Etude de plantations comparatives | 30 |
| III.1.1.h Recensement des plantations comparatives..... | 30 |
| III.1.1.i Evaluation de la qualité des plantations comparatives | 31 |
| III.1.1.j Caractérisation des plantations étudiées..... | 38 |

| | | |
|-----------|--|----|
| III.1.1.k | Analyse des données | 45 |
| f. | Déroulement de l'étude | 47 |
| III.2 | Analyse de l'enquête annuelle du DSF | 49 |
| g. | Caractérisation des plantations observées | 49 |
| III.2.1.a | Type de plant utilisé | 49 |
| III.2.1.b | Itinéraires techniques de plantation | 50 |
| h. | Réussite des plantations observées | 53 |
| III.2.1.c | Taux de survie et causes de mortalité | 53 |
| III.2.1.d | Focus sur les dégâts liés à l'hylobe | 54 |
| III.2.1.e | Focus sur les mortalités d'origine abiotique ou indéterminée | 56 |
| III.2.1 | Conclusion | 58 |
| III.3 | Evaluation de 14 plantations comparatives | 59 |
| i. | Survie | 59 |
| III.3.1.a | ...un an après plantation | 59 |
| III.3.1.b | ...en avril 2019 | 60 |
| j. | Hauteur et diamètre | 60 |
| III.3.2 | Défauts de forme | 62 |
| k. | Stabilité | 63 |
| l. | Dégâts d'origine biotique | 64 |
| III.3.2.a | Le gibier | 64 |
| III.3.2.b | L'hylobe | 64 |
| m. | Analyse des systèmes racinaires | 65 |
| III.3.2.c | Importance relative des parties aérienne et racinaire | 66 |
| III.3.2.d | Déformations des systèmes racinaires | 67 |
| III.3.2.e | Distribution horizontale des racines | 68 |
| III.3.2.f | Répartition verticale des racines | 70 |
| n. | Discussion | 73 |
| III.3.2.g | Taux de survie identiques | 73 |
| III.3.2.h | Disparition des écarts de hauteur après quelques années | 73 |
| III.3.2.i | Plus de plants courbés chez les RN | 74 |
| III.3.2.j | Des systèmes racinaires différents au départ, impossibles à distinguer après quelques années | 74 |
| III.3.2.k | Des dégâts d'origine biotiques rares | 76 |
| III.3.2.l | Limites et perspectives | 76 |
| o. | Conclusion de l'étude de plantations comparatives | 77 |
| III.4 | Deux approches... et des résultats convergents | 79 |
| IV. | Estimation des surfaces à reboiser et besoins en plants de douglas (FCBA) | 81 |
| IV.1 | Introduction | 81 |
| IV.2 | Méthodologie et rappels à propos des données utilisées pour la surface des coupes finales | 81 |
| IV.3 | Résultats : estimation des surfaces de coupe finale | 83 |

| | | |
|------|--|-----|
| p. | Surface par scénario | 83 |
| q. | Surface par région | 84 |
| IV.4 | Eléments de discussion sur les surfaces à renouveler et la consommation de plants | 87 |
| IV.5 | Conclusion de l'estimation des surfaces à reboiser en douglas..... | 91 |
| V. | Synthèse | 93 |
| | Bibliographie..... | 95 |
| VI. | Annexes..... | 97 |
| VI.1 | Annexe 1 : Suivi de la convention..... | 97 |
| VI.2 | Annexe 2 : Liste des contacts | 98 |
| VI.3 | Annexe 3 : Protocole d'évaluation de la réussite des plantations de l'année du Département Santé des Forêts (mise à jour mai 2018) | 102 |
| VI.4 | Protocole de mesure des chantiers inventoriés..... | 106 |
| VI.5 | Liste des stations météo utilisées pour obtenir les données de température et pluviométrie mensuelles | 117 |
| VI.6 | Diamètres en fonction du type de plant..... | 118 |
| VI.7 | Photos des racines des plants extraits..... | 119 |
| a. | 13_RAZES | 119 |
| b. | 15_BELLEYDOUX | 122 |
| c. | 15_UCHON..... | 124 |
| d. | 17_ALLEGRE..... | 127 |
| e. | 18_AZOLETTE | 131 |
| f. | 18_BONNEFOND | 135 |
| g. | 18_DUN | 139 |
| h. | 18_NAUSSAC | 143 |
| i. | 18_RIVOLET..... | 149 |
| j. | 18_VINCENT | 153 |
| VI.8 | Quelques données mesurées sur des plants produits aujourd'hui..... | 157 |

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Vente de plants de douglas en France, de 1991 à 2018. Source : Enquêtes annuelles du MAAF sur les ventes de plants forestiers. | 17 |
| Figure 2 : Les différents modèles de conteneurs utilisés pour l'élevage des plants de douglas, source : (Drénou, 2006) | 18 |
| Figure 3: Principaux facteurs pouvant impacter les performances des plants après plantation en forêt. | 27 |
| Figure 4: Mesure de la hauteur d'un plant en godet à la perche télescopique, 18_VINCENT. Photo : L.Veuillen, CNPF..... | 33 |
| Figure 5 : Description des défauts de forme rencontrés | 34 |
| Figure 6 : Notation de l'écart à la verticalité | 34 |
| Figure 7 : Vue d'ensemble d'un plant (racines nues). Photo : S.Girard, CNPF | 35 |
| Figure 8 : Lavage d'un système racinaire. Photo : S.Girard, CNPF | 35 |
| Figure 9 : Principales déformations racinaires rencontrées chez les plants forestiers résineux (d'après (Franclet, 1981) et (MAAF, 2014))..... | 36 |
| Figure 10 : exemple de notation d'un système racinaire dans le plan vertical et dans le plan axial. Photos : S.Girard,, CNPF | 36 |
| Figure 11 : Localisation des plantations comparatives étudiées..... | 38 |
| Figure 12 : Répartition du nombre de chantiers par préparation du sol avant plantation..... | 42 |
| Figure 13 : Déroulement des phases de l'étude dans le temps..... | 47 |
| Figure 14 : Localisation des plantations de douglas inventoriées pour l'enquête annuelle "réussite des plantations" du DSF | 49 |
| Figure 15 : Evolution des types de plant utilisés dans les plantations observées par le DSF, de 2007 à 2018, n=2164..... | 50 |
| Figure 16 : Essence en place avant le reboisement, n=2164 | 50 |
| Figure 17 : Répartition des chantiers selon la période de plantation, n(G)=195 ; n(RN)=1969 | 51 |
| Figure 18 : Evolution du taux de mortalité après une saison de végétation et origines de cette mortalité pour les plantations de douglas observées, de 2007 à 2018. n=2164 | 53 |
| Figure 19 : Origines de la mortalité selon le type de plant, toutes années confondues | 54 |
| Figure 20 : Part des plantations de l'année attaquées par l'hylobe selon le type de plant, toutes années confondues n(G)=195 ; n(RN)=1969 | 55 |
| Figure 21 : Proportion de plants attaqués par l'hylobe en fonction du type de plant, toutes années confondues, n(G)=195 ; n(RN)=1969 | 55 |
| Figure 22 : Evolution de la part des plantations présentant une mortalité d'origine abiotique ou indéterminée supérieure à 20%, de 2007 à 2018. n=2164..... | 56 |
| Figure 23 : Taux de reprise par plantation et type de plant | 59 |
| Figure 24 : Pourcentage de plants vivants en 2018 en fonction du type de plant pour les plantations "anciennes", n=8..... | 60 |
| Figure 25 : Hauteur en fonction du type de plant pour les plantations récentes (n=8)..... | 61 |

| | |
|--|----|
| Figure 26 : Hauteur en fonction du type de plant pour les plantations anciennes (n=8)..... | 61 |
| Figure 27 : Plant penché et présentant une zone de jeu autour du collet sur terrain plat, 13_ANGLES. Photo : S.Girard, CNPF..... | 64 |
| Figure 28: Plant non penché et présentant une zone de jeu autour du collet sur terrain plat, 13_ANGLES. Photo : L.Veuillen, CNPF | 64 |
| Figure 29 : Pourcentage de plants touchés par l'hylobe en fonction du type de plant. A analyser au regard des Fig. 23 & 24..... | 65 |
| Figure 30 : Morsures d'hylobe sur la cime d'un jeune plant entraînant la sécheresse de la cime., 17_ALLEGRE. Photo : L.Veuillen, CNPF | 65 |
| Figure 31 : masse sèche racinaire / masse sèche aérienne en fonction du type de plant. Un point correspond à la valeur d'un système racinaire déterré n=80 | 67 |
| Figure 32: Exemples de plants ayant une forte déformation de leur système racinaire : le plant de gauche était en godet, les autres, racines nues. Tous ont été plantés en 2018. Ils sont à la même échelle, alignés sur le niveau du sol (étiquette bleue). Photos : S.Girard, CNPF | 67 |
| Figure 33 : Vue des systèmes racinaires les plus vieux que nous ayons arrachés à 13_RAZES, le plant RN situé au milieu a développé son système racinaire dans une même direction (indice 2 de distribution spatiale horizontale). Photos : S.Girard, CNPF..... | 68 |
| Figure 34: Effectif par note de distribution horizontale. En abscisse : Rayon considéré autour de l'axe de la tige (cm). En ordonnée : Année de plantation et nombre de systèmes racinaires étudiés (n). En bleu : plants en godets, en orange : plants en racines nues..... | 68 |
| Figure 35 : Profondeur d'enterrement du collet en fonction du type de plant, n=104..... | 70 |
| Figure 36 : Plants à racines nues (2+1) produits par la même pépinière. Noter la profondeur d'enterrement du collet (distance entre les étiquettes bleue et jaune) et le niveau d'habillage des racines. Rq : les collets des plants sont alignés sur les 3 photos. Les détails des dimensions des plants avant plantation peuvent être trouvés en annexe 8. Photos S. Girard, CNPF)..... | 71 |
| Figure 37 : Profondeur médiane d'enracinement en fonction du type de plant par plantation. | 72 |
| Figure 38 : Epaisseur du système racinaire en fonction du type de plant pour chaque plantation. | 72 |
| Figure 39 : Fréquence des coupes finales par âge et par scénario..... | 82 |
| Figure 40 Evolution brute (avec artefact de simulation) des surfaces à renouveler sur le massif de douglas | 83 |
| Figure 41 Evolution lissée (artefact de simulation réparti sur la période) des surfaces à renouveler sur le massif de douglas ; | 84 |
| Figure 42 Evolution des surfaces de douglas à renouveler par grande région | 85 |
| Figure 43 Surfaces de douglas à renouveler par anciennes régions selon le scénario tendanciel | 86 |
| Figure 44 : résultats de l'enquête statistique annuelle MAA/IRSTEA sur les ventes de plants forestiers en France pendant la campagne de plantation 2017-2018..... | 87 |
| Figure 45 Répartition au niveau national (gauche) régional (droite) des peuplements de douglas par altitude..... | 88 |
| Figure 46 Antécédent culturel des reboisements effectués en douglas | 88 |
| Figure 47 Répartition des surfaces d'épicéas par altitude..... | 89 |

Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Caractéristiques des conteneurs produits par les principales pépinières productrices de godets (Données confidentielles). | 19 |
| Tableau 2 : Volumes des conteneurs <300cc utilisés en 2019 par les principales pépinières pour la production de douglas (Données confidentielles). | 19 |
| Tableau 3 : Normes dimensionnelles mentionnées dans l'annexe 3 de l'instruction technique « MFR » de Novembre 2016 | 19 |
| Tableau 4 : Normes dimensionnelles des plants racines nues, pour les 4 régions concernées par l'étude | 20 |
| Tableau 5 : Normes dimensionnelles des plants en godets de plus de 300cc par région | 20 |
| Tableau 6: Variables relevées lors du suivi annuel des plantations par le DSF | 29 |
| Tableau 7 : Variables descriptives de la station et de l'itinéraire sylvicole | 31 |
| Tableau 8 : Surface plantée, nombre d'emplacements observés et de plants extraits par plantation | 32 |
| Tableau 9: Bilan des variables mesurées sur tous les plants de l'échantillon | 37 |
| Tableau 10 : Bilan des variables mesurées sur les plants arrachés..... | 37 |
| Tableau 11 : Nombre de plantations par année de plantation..... | 39 |
| Tableau 12 : Principales caractéristiques stationnelles des plantations étudiées..... | 39 |
| Tableau 13 : Précipitations printanières de l'année de plantation enregistrées dans la station météorologique la plus proche de la plantation considérée (Source Météo France) | 40 |
| Tableau 14 : Températures de l'été de l'année de plantation..... | 40 |
| Tableau 15 : Itinéraire technique de plantation | 41 |
| Tableau 16 : Caractéristiques des plants racines nues (NA = not available, donnée non disponible)... | 42 |
| Tableau 17 : Caractéristiques des plants en godet (NA = not available, donnée non disponible)..... | 43 |
| Tableau 20 : Regarnis et dégagements effectués depuis la plantation | 44 |
| Tableau 21: Travaux préparatoires à la plantation en fonction du type de plant (données de 2015 à 2018 avec n(G)=115 et n(RN)=790). | 52 |
| Tableau 22 : % des plantations observées présentant une mortalité d'origine abiotique ou indéterminée supérieure à 20%, par GRECO..... | 57 |
| Tableau 23 : Bilan des résultats obtenus par l'analyse de l'enquête annuelle du DSF | 58 |
| Tableau 24 : Moyennes ajustées et intervalles de confiance calculés par les modèles mixtes, en fonction du type de plant | 62 |
| Tableau 25 : coefficients de variation moyens des hauteurs et diamètres par type de plant | 62 |
| Tableau 26 : Pourcentage moyen des plants touchés par chaque défaut, sur les plantations où le défaut a été observé..... | 63 |
| Tableau 27 : Pourcentage de plants instables dans les plantations par type de plant | 63 |
| Tableau 28 : Pourcentage moyen des plants atteints par le gibier sur les plantations où des dégâts ont été observés..... | 64 |

| | |
|---|----|
| Tableau 29 : Hauteur, Diamètre, masses sèches des parties racinaire et aérienne et Rapport moyen de la masse sèche racinaire sur celle de la partie aérienne par plantation en fonction du type de plant, n=104 | 66 |
| Tableau 30 : Bilan des résultats de l'étude de 14 plantations comparatives | 77 |
| Tableau 31 : Taux de réalisation des combinaisons [Nombre d'éclaircie x âge de la coupe finale] pour les deux scénarios de massif définis..... | 82 |
| Tableau 32 : Surface de douglas à renouveler par région, année et scénario | 86 |

Liste des abréviations

AR : Arrêté Régional

cc : centimètres cubes

G : godet

GRECO : Grande Région ECOlogique

MFR : Matériel Forestier de Reproduction

R/S : Root to Shoot ratio (rapport de la masse sèche de la partie racinaire sur celle de la partie aérienne)

RN : racines nues

SER : SylvoEcoRégion

SIG : Système d'Information Géographique

Organismes :

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DRAAF : Direction Régionale de l'Agriculture l'Alimentation et la Forêt

DSF : Département de la Santé des Forêts

FCBA : Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement

IDF : Institut pour le Développement Forestier

Régions :

AURA : Auvergne Rhône Alpes

BFC : Bourgogne Franche Comté

LR : ancienne région Languedoc Roussillon

MP : ancienne région Midi Pyrénées

NA : Nouvelle Aquitaine

I. Introduction

Le douglas est actuellement l'espèce la plus utilisée en reboisement hors du massif landais. La grande majorité des plants installés sont élevés en pleine terre, arrachés avant d'être vendus « racines nues ».

Depuis plusieurs années, l'utilisation de plants de douglas élevés hors sol (en godet) se développe : ils représentaient 16% des douglas produits en France en 2017/2018 soit un peu plus de 1,6 millions de plants contre 320 000 seulement sept ans auparavant¹.

Jusqu'à présent, dans la plupart des régions, pour bénéficier d'une aide publique, le forestier qui souhaitait planter des douglas élevés hors sol, devait installer des plants élevés dans des godets d'un volume minimum de 300 voire 400 cc².

En parallèle, depuis déjà plusieurs années, des plantations sont réalisées avec des douglas produits dans des godets de 200 à 275cc, hors cadre subventionné par l'Etat. Cette diminution du volume des godets s'inscrit dans la recherche de solutions pour réduire les coûts d'investissement liés aux reboisements, notamment en développant des types de plants compatibles avec la mécanisation de la plantation ou l'utilisation d'outils réduisant la pénibilité des tâches pour les opérateurs.

En 2017 et 2018, les échanges qui ont précédé la publication des nouveaux arrêtés régionaux relatifs aux matériels forestiers de reproduction (MFR) ont été l'occasion de discuter des standards en vigueur et de s'interroger sur l'éligibilité de tels plants aux subventions publiques. Pour disposer d'éléments de réponse à cette question, le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation a demandé à l>IDF et FCBA d'étudier la qualité de plantations de douglas réalisées avec différents types de plants dans les principales zones d'utilisation de l'espèce à savoir les régions AURA, Limousin, Bourgogne et Occitanie.

Le présent document rapporte cette étude réalisée par les deux organismes de février à juillet 2019.

Après un rappel d'éléments de contexte, la première partie traite de l'évaluation des plantations réalisées avec différents types de plants tandis que la seconde s'attache à quantifier les surfaces qui seront amenées à être plantées en douglas dans les prochaines années selon différents scénarios prospectifs.

¹ Notes de service DGPE/SDFCB/ N2012-3007 et 2019-417 consolidée en Août 2019.

² cf. les arrêtés régionaux « MFR » établis en suivant les recommandations de l'instruction technique DGPE/SDFCB/2016-851 du 02/11/2016 relative aux matériels forestiers de reproduction éligibles aux aides de l'Etat.

II. Contexte

II.1 Un marché dominé très largement par les plants en racines nues

Les plants de douglas utilisés ces dernières années en France sont produits en très grande majorité en pleine terre et vendus « racines nues » (Fig.1).

Leur élevage dure en général 3 ans. Les graines sont semées sur des planches préparées et les semis se développent pendant 1 ou 2 saisons avant d'être arrachés et repiqués à une densité plus faible sur une autre planche. Selon le nombre d'années de croissance avant et après repiquage (1+2 ou 2+1), les plants auront des caractéristiques morphologiques différentes : les plants 2+1 étant en général plus petits que les 1+2 (Girard, com. personnelle) (Iverson, 1984). Depuis quelques années, certains producteurs proposent également des plants de 2 ans (1+1).

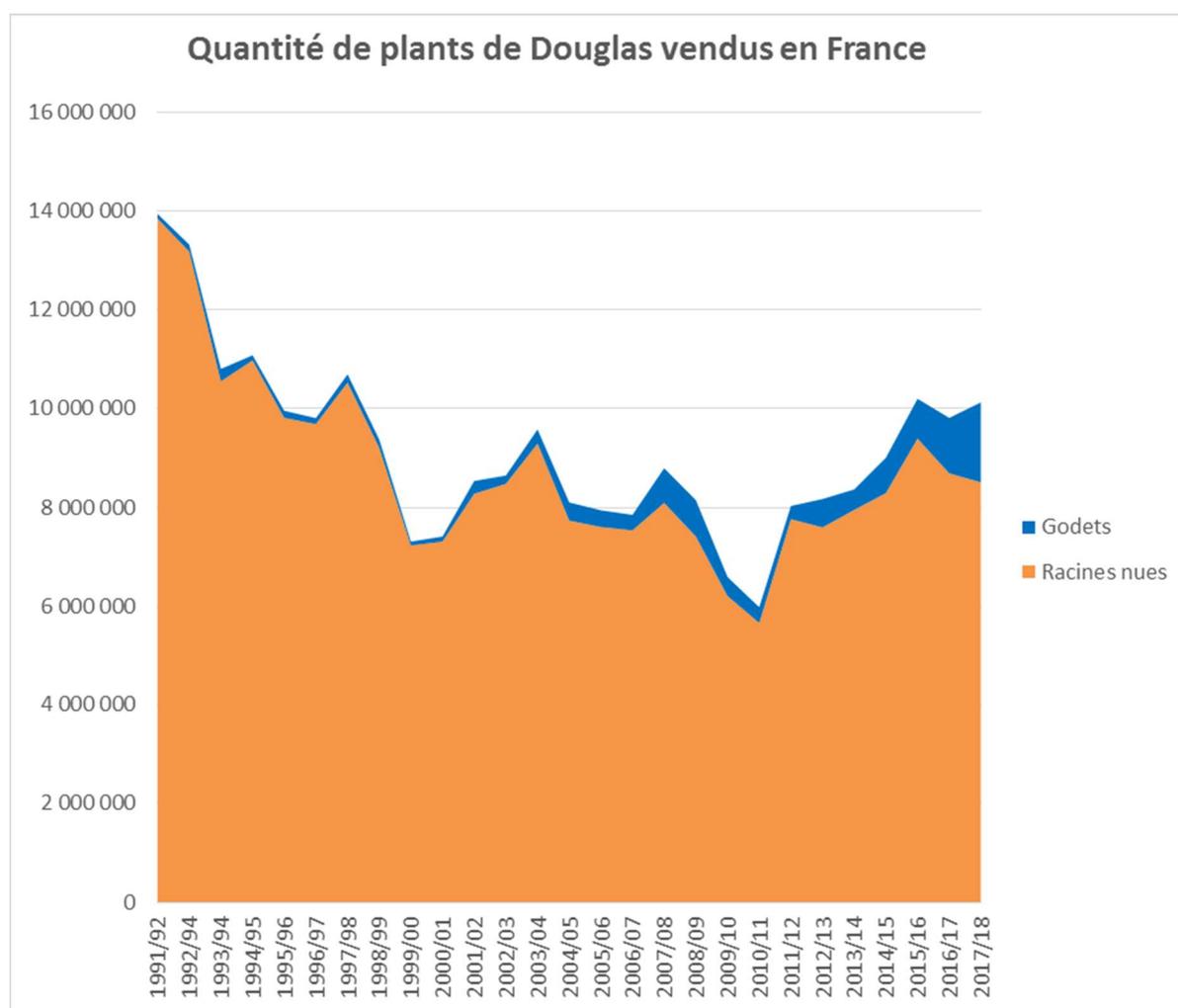


Figure 1 : Vente de plants de douglas en France, de 1991 à 2018. Source : Enquêtes annuelles du MAAF sur les ventes de plants forestiers.

Bien que les ventes de plants de douglas élevés hors sol soit largement inférieures à celles des plants « racines nues » (16 % de la totalité des plants vendus en France en 2017/18), elles sont en constante

augmentation depuis 20 ans : d'environ 150 000 plants soit 1 % du marché à la fin des années 90, elles dépassent le million de plants depuis 2016 et représentent désormais plus de 15 % de part du marché.

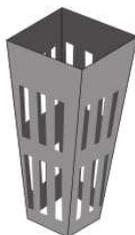
La quasi-totalité des plants de douglas produits actuellement hors sol sont élevés en 1 an dans des conteneurs de volume et forme variables. La majorité d'entre eux ont des parois en plastique soit pleines avec des dispositifs anti-chignon (groupe 1 de la figure ci-dessous) soit ajourées (groupe 2). A noter l'existence d'une production de douglas dans des mottes entourées de papier (Ellepot®, groupe 3). Les volumes des conteneurs varient de 200 à 400cc.

Tous les conteneurs actuellement utilisés pour produire des douglas sont conçus pour éviter de déformer les systèmes racinaires de plants produits en 1 an. Les conteneurs à paroi pleine présentent des rainures, ergots ou angles, dispositifs qui permettent d'orienter le développement des racines verticalement vers le bas du conteneur et évitent qu'elles ne tournent et forment un véritable chignon, limitant la prospection racinaire et ayant de graves conséquences sur la stabilité future de l'arbre. Dans le cas de parois ajourées, les racines qui entrent en contact avec l'air au niveau des « jours » de la paroi cessent de se développer, se ramifient en amont (on parle d'auto-cernage) mais n'induisent pas de déformation. Un auto-cernage à l'air intervient également dans le cas des Ellepot® lorsque les racines émergent de la membrane de papier.

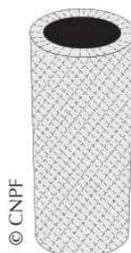
LES TROIS CATÉGORIES DE GODETS UTILISÉS POUR ÉLEVER DES PLANTS FORESTIERS



Groupe 1 : Godets à paroi pleine équipée de systèmes anti-chignon : volume variable, section ronde ou carrée, paroi rainurée verticalement, fond ouvert.



Groupe 2 : Godets à paroi ajourée : volume variable, section ronde ou carrée, paroi en partie évidée (proportion de vides variable), fond ouvert.



Groupe 3 : Godets à paroi perméable aux racines : volume variable, section ronde ou carrée, paroi en tourbe compressée ou en tissus.

© CNPF

Figure 2 : Les différents modèles de conteneurs utilisés pour l'élevage des plants de douglas, source : (Drénou, 2006)

Tableau 1 : Caractéristiques des conteneurs produits par les principales pépinières productrices de godets (Données confidentielles).

Tableau 2 : Volumes des conteneurs <300cc utilisés en 2019 par les principales pépinières pour la production de douglas (Données confidentielles).

II.2 Des normes dimensionnelles variables selon les régions

Les exigences minimales relatives à la qualité extérieure des plants commercialisés sont fixées nationalement par l'arrêté du 29 novembre 2003 modifié. Afin que les projets de boisement-reboisement bénéficiant d'aides de l'Etat soient réalisés avec des taux de réussite élevés, des exigences supplémentaires peuvent être requises en matière de dimensions des plants et d'équilibre hauteur-diamètre. Ces exigences sont mentionnées dans les arrêtés régionaux fixant la liste des « Matériels Forestiers de Reproductions » éligibles aux aides de l'Etat pour les boisements et reboisements, dits arrêtés « MFR ».

Fin 2016, une instruction technique nationale³ a été adressée aux services déconcentrés de l'Etat pour cadrer la rédaction de nouveaux arrêtés régionaux. L'annexe 3 de cette instruction présente des normes dimensionnelles minimales requises pour l'éligibilité aux aides, qui ont ensuite été discutées, et, le cas échéant, adaptées aux conditions locales par les Commissions Régionales de la Forêt et du Bois avant d'être intégrées dans les arrêtés régionaux.

Au moment de rédiger ce rapport, tous les arrêtés n'étaient pas encore parus. Ceux de Nouvelle-Aquitaine (devant très prochainement être ré-actualisé), Bourgogne-Franche-Comté et Auvergne-Rhône-Alpes ont pu être examinés. Celui de la région Occitanie n'était pas encore publié et nous avons donc, pour cette région, examiné ceux en vigueur dans les anciennes régions Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon.

Tableau 3 : Normes dimensionnelles mentionnées dans l'annexe 3 de l'instruction technique « MFR » de Novembre 2016

| ESSENCES | | HAUTEUR en cm | DIAMETRE minimum au collet en mm | Âge maximum des plants | | Volume minimum du godet et remarques |
|--------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|------------------------|--------|--------------------------------------|
| Nom commun | Nom latin | | | Racines nues | godets | |
| Douglas vert | Pseudotsuga menziesii | 25 - 40 | 5 | 2 | | |
| | | 30 - 60 | 6 | 3 | | |
| | | 40 - 60 | 7 | 4 | | |
| | | 60 et + | 9 | | | |
| | | 15 - 40 | 3 | | | |

(d) Pseudotsuga menziesii : après avis de la Commission Régionale de la Forêt et du Bois, il peut être décidé régionalement de subventionner les plantations réalisées, en conditions d'utilisation favorables (à définir), avec des plants en godets de 200 cm³ disposant d'un système permettant l'autocernage des plants, respectant les mêmes dimensions que celles des godets de 300 cm³ dans la tableau précédent, ainsi que les normes de l'arrêté modifié du 29 novembre 2003 relatif à certaines normes qualitatives applicables à la production sur le territoire national de matériels forestiers de reproduction.

a. Cas des plants élevés en pleine terre et vendus racines nues

Quelle que soit la région (AURA, BFC, ancienne LR, ancienne MP, NA), les normes dimensionnelles pour les plants de douglas racines nues sont identiques à celles figurant dans l'instruction technique nationale 2016-851:

³ IT DGPE/SDFCB/2016-851 du 02/11/2016

Tableau 4 : Normes dimensionnelles des plants racines nues, pour les 4 régions concernées par l'étude

| Hauteur (cm) | Diamètre minimum (mm) | Âge maximum des plants |
|--------------|-----------------------|------------------------|
| 25-40 | 5 | 2 |
| 30-60 | 6 | 3 |
| 40-60 | 7 | 4 |
| 60+ | 9 | 4 |

Précisons que la région Nouvelle-Aquitaine est la seule à avoir dérogé en autorisant également des plants racines nues de 20-30 cm de hauteur, 4 mm de diamètre minimum et produits en 2 ans maximum, il est toutefois précisé que ces plants sont autorisés sur sol préparé et qu'ils pourront « faire l'objet d'un suivi expérimental accompagné par l'Etat. A cette fin, les plantations devront être géolocalisées et des informations complémentaires sur les techniques de plantations seront à fournir à la DTT(M) en charge du suivi des aides.». Ce type de « petits » plants est également mentionné dans l'arrêté de Midi Pyrénées dans une note, mentionnant qu'il pourra « être expérimenté ».

En Nouvelle Aquitaine et Languedoc Roussillon, l'arrêté précise également que l'utilisation de plants âgés de 4 ans n'est admise que « pour les stations favorables et après préparation mécanique du sol notamment en raison des risques liés à la sécheresse ».

b. Cas des plants élevés hors sol

Contrairement au cas précédent, les différences entre régions sont nombreuses et des catégories non prises en compte dans l'instruction technique ont été ajoutées.

Par ailleurs, l'instruction technique mentionne que la hauteur de la partie aérienne des plants de douglas élevés hors sol ne doit pas dépasser 4 fois la hauteur du godet. Ce point a été repris dans les AR de la plupart des régions à l'exception d'AURA où cette hauteur est réduite à 3 fois la hauteur du godet, et de Midi Pyrénées qui n'y fait pas allusion.

II.2.1.a Dans des volumes de substrat supérieurs à 300cc

Tableau 5 : Normes dimensionnelles des plants en godets de plus de 300cc par région

| Région | Date de publication de l'AR | Volume minimum du conteneur | Hauteur (cm) | Diamètre minimum (mm) | Âge maximum des plants |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------|------------------------|
| AURA | 2018 | 300 | 20-40 | 4 | 1 |
| BFC | 2017 | 400 | 25-40 | 5 | 2 |
| | | 350 | 20-40 | 5 | 1 |
| Ancienne LR | 2015 | 400 | 15-40 | 3 | 1 |
| Ancienne MP | 2008 | 300 | 15-40 | 3 | 1 |
| NA | 2019 | 300 | 15-40 | 3 | 1 |

Le volume minimum des conteneurs varie de 300 à 400cc selon les régions. Notons que la région BFC autorise la production de plants âgés de 2 ans dans des godets de 400cc.

II.2.1.b Dans des volumes de substrat inférieurs à 300cc

Ce type de production n'est pas mentionné dans l'instruction technique, néanmoins, à l'exception de l'arrêté de la région Languedoc Roussillon de 2015, tous les autres font allusion aux plants élevés en godets de 200cc. Il en ressort que de tels plants sont éligibles sous conditions techniques (préparation préalable du sol), ou de signalement (géolocalisation), ou encore de suivi voire de comparaison avec des plants racines nues en expérimentation.

Plus précisément :

- **en Bourgogne- Franche- Comté**- « Utilisation à titre expérimental de godets 200 cm³ disposant d'un système permettant l'autocernage des plants : uniquement sur terrain préparé, en plantation comparative avec des plants racines nues et sous réserve d'un suivi par un organisme scientifique (liste en article 8) avec un compte rendu par chantier. »

- **en AURA**, les godets de douglas d'un volume de 200 cc peuvent ainsi prétendre aux aides, dans le cadre d'expérimentations faisant l'objet de suivi technique par un organisme habilité ;

- **en Midi-Pyrénées**, la plantation de tels plants « peut être expérimentée régionalement ». Dans cette région, les plantations ayant fait l'objet d'aides publiques et réalisées avec des godets inférieurs à 200cc sont déclarées auprès de la DRAAF depuis la campagne 2014/15.

- **en Nouvelle-Aquitaine**, le précédent arrêté stipulait « la plantation de godets de 200 cc (...) est autorisée sur sol préparé et pourra faire l'objet d'un suivi expérimental accompagné par l'Etat. A cette fin, les plantations devront être géolocalisées et des informations complémentaires sur les techniques de plantations seront à fournir à la DTT(M) en charge du suivi des aides.». La formulation prévue dans le nouvel arrêté est « la plantation de godets de 200 cm³ et de plants en racines nues de petite taille (20<H<30cm et D=4mm) sont autorisées et pourront faire l'objet d'un suivi expérimental mis en place par l'Etat. A cette fin, les plantations devront être géolocalisées et les informations seront envoyées à la DRAAF ou à l'organisme chargé du suivi technique ».

Concernant les dimensions des plants élevés en godets de 200cc minimum, l'arrêté régional de BFC précise qu'ils doivent avoir **entre 20 à 30 cm** de hauteur et un diamètre **d'au moins 4 mm** contre **15 et 40 cm et 3 mm** respectivement dans l'AR de Nouvelle-Aquitaine en préparation (diamètre minimal de 3.5 mm dans le précédent arrêté).

II.3 Un marché dominé par la variété Luzette-VG

Longtemps approvisionnée par l'importation de semences nord-américaines et des peuplements « classés » français, la filière de production de plants de douglas est désormais quasi exclusivement alimentée par les vergers à graines installés sur le territoire métropolitain ; lors de la campagne 2017/18⁴, **98 %** des plants commercialisés par les pépiniéristes français en étaient issus. Ces vergers sont le résultat du programme d'amélioration génétique développé en France à partir des années 60 afin de produire des variétés améliorées destinées au reboisement à basse et moyenne altitude.

Le programme d'amélioration a commencé par une évaluation des populations de l'aire naturelle. Des arbres remarquables d'origine française ou américaine ont ensuite été sélectionnés au sein des meilleures provenances ou descendance, en forêt ou dans des tests génétiques, puis multipliés par greffage ou bouturage pour être installés dans des vergers à graines.

Au cours de ces différentes étapes, la sélection a porté sur l'adaptation au milieu, la croissance, la rectitude du fût, la branchaison et la qualité du bois.

⁴ Enquête statistique annuelle MAA/IRSTEA sur les ventes de plants forestiers en France pendant la campagne de plantation 2017-2018, Note de service DGPE/SDFCB/2019-417

Aujourd'hui, 8 variétés sont homologuées : 2 en catégorie testée (= **étiquette bleue** : La Luzette-VG et Darrington-VG) et 6 en catégorie qualifiée (= **étiquette rose** : Washington-VG, Washington2-VG, France1-VG, France2-VG, France3-VG et Californie-VG).

Les variétés testées Darrington-VG et La Luzette-VG sont les plus anciennes (elles sont apparues sur le marché respectivement en 1987 et 1996) et leurs performances ont été établies en tests comparatifs. Comparativement aux plants issus de graines récoltées dans des peuplements français, les deux variétés ont un débourrement plus tardif, Darrington-VG présente une meilleure branchaison, moins de fourches et un tronc plus droit tandis que la Luzette-VG affiche une meilleure croissance en hauteur et circonférence.

Les 6 autres variétés qualifiées sont apparues sur le marché en 2009 et leurs gains génétiques n'ont de ce fait pas encore pu être appréciés. Elles sont en cours d'évaluation dans un réseau d'une quarantaine de plantations comparatives installées depuis 2009 par différents organismes de R&D sous l'égide du MAAF.

Le marché des plants forestiers de douglas est très largement dominé par la variété La Luzette-VG qui concernait environ 70 % des plants produits en 2017/18³ et qui a par ailleurs été très largement utilisée depuis la fin des années 90.

II.4 Ce que mentionne la bibliographie sur la différence entre types de plants

En 2015, deux chercheurs canadiens ayant à leur actif de nombreuses publications sur le sujet depuis plus de 20 ans, ont publié une synthèse sur les performances des plants élevés en conteneur (godets) ou en pleine terre (RN) (Grossnickle & El-Kassaby, 2015). Des 400 publications examinées, relatives à différentes espèces, il ressort que, comparativement aux plants à racines nues, les plants élevés en conteneurs :

- ont, au moment de leur plantation, un rapport partie racinaire / partie aérienne plus grand c'est-à-dire qu'ils possèdent, pour une hauteur équivalente, un système racinaire plus développé et un potentiel de croissance racinaire plus élevé ce qui leur confère un plus grand potentiel d'évitement de la sécheresse. Toutefois, mis à part l'effet de « réservoir » lié à la présence d'une motte de substrat au moment de la plantation, aucun élément ne permet de dire qu'ils sont plus résistants à la sécheresse (Hobbs, Crawford, & Yelczyn, 1989) (Rose & Haase, 2005)

- sont moins sensibles aux manipulations, au stockage, au transport et à l'opération de plantation, pratiques qui détériorent les performances des plants à racines nues (Sharpe, Mason, & Howes, 1990).

- ont souvent un taux de survie en forêt plus élevé, particulièrement en conditions difficiles. Cela est lié en partie à leur plus grand potentiel d'évitement de la sécheresse, notamment immédiatement après plantation, et à leur plus grande résistance à la crise de transplantation.

- ont un meilleur taux d'accroissement dans les premières années, ce qui leur permet de rattraper rapidement une hauteur et un diamètre comparables à ceux des racines nues.

- ont des performances en termes de croissance comparables aux plants RN une fois que les plants sont établis.

- ont des taux de survie comparables à ceux de plants à racines nues sur des sites peu contraignants.

L'une de ces publications concerne l'extraction et l'observation de 8 systèmes racinaires de douglas de chaque type de plant (RN 2+1 et G paperpot 2-0 de contenance 280cc) en Irlande, 10 ans après plantation (Sundström & Keane, 1999). Aucune différence concernant le nombre de racines, la surface racinaire, et la profondeur de prospection des racines n'a été observée entre les deux types de plants. En revanche, les plants élevés en godet présentaient moins fréquemment une courbure basale que les plants racines nues.

En 2018, le FCBA a compilé des observations réalisées sur 2 essais plantés en 2012 et 2013 avec à la fois des plants racines nues (2+1) et des plants en godets à parois ajourées de 275 cc (Chaumet, Eisner, & Peuch, 2018). Les résultats montrent un taux de survie équivalent pour les deux types de plants. Les plants en godet présentent un accroissement plus important que les racines nues sur les 3 premières années de croissance (+7cm/an la première année et +4.5cm/an la deuxième année ; comparé aux accroissements des racines nues) : bien qu'initialement plus petits, ils présentent donc au bout de 3 ans une taille équivalente à celle des racines nues.

III. Evaluation de la qualité de plantations de douglas (IDF)

Rappelons que la question à l'origine de cette étude est de savoir si les plants de douglas produits en godets de 200 à 300cc peuvent être éligibles aux aides de l'Etat au même titre que les plants racines nues.

Afin de juger de la qualité des plantations réalisées avec des douglas élevés dans de tels godets, deux approches ont été utilisées. La première est basée sur l'analyse des données recueillies par le DSF lors de l'enquête -menée chaque année au niveau national- sur la réussite des plantations de l'année. La seconde repose sur l'évaluation de plantations comparatives réalisées dans la zone où l'espèce est très largement plantée à savoir les régions Occitanie, Auvergne Rhône Alpes, Bourgogne Franche Comté et Nouvelle Aquitaine.

Remarque : Pour la suite de ce rapport, la mention de « godets » seule fait automatiquement référence à « godets de contenance comprise entre 200 et 300cc ». Cela n'est simplement pas précisé à chaque fois pour faciliter la lecture.

III.1 Matériels et méthodes

c. Les différentes approches explorées

III.1.1.a Analyse de la base de données « plantation » du DSF

Le DSF réalise depuis 2007 une enquête annuelle sur la réussite des jeunes plantations à l'échelle du territoire métropolitain et concernant l'ensemble des espèces utilisées en forêt. Son objectif est d'évaluer l'impact sur la survie des plants des différents stress (biotiques ou abiotiques) auxquels ils sont soumis lors de leur première année de vie en forêt. L'indicateur annuel permet de suivre les évolutions du contexte climatique, épidémiologique et constitue un des seuls indicateurs à l'échelle du territoire national.

Cette enquête permet donc de dresser un premier état des lieux de la réussite des plantations de douglas au niveau du territoire national et d'identifier les principales causes de mortalité des plants l'année qui suit leur installation en forêt. Le fait de disposer de données sur 10 ans permet notamment d'observer les conséquences de contraintes abiotiques telles que les sécheresses de 2015, 2017 et 2018.

En outre, parmi les données récoltées par les correspondants-observateurs, figure le type de plant utilisé : racines nues ou godet, ce qui permet d'observer d'éventuelles différences de sensibilité à tel ou tel stress. Le volume des godets utilisés n'a pas toujours été relevé ; il nous a néanmoins semblé pertinent d'analyser ce facteur lorsqu'il était renseigné.

III.1.1.b Inventaire et échantillonnage des plantations réalisées avec des godets <300cc

Afin d'avoir une vision exhaustive de la réussite des plantations de douglas élevés en godets de moins de 300cc, il aurait été pertinent de réaliser un **inventaire** des plantations réalisées avec de tels plants et d'en échantillonner une partie pour y réaliser des mesures et observations. L'inventaire en question se devait d'être exhaustif ou du moins le plus neutre possible vis-à-vis de la réussite des plantations. Le plan d'échantillonnage pouvait alors être construit de façon à intégrer différents facteurs de variations :

l'itinéraire de plantation (par exemple la réalisation ou non d'une préparation mécanique du sol), l'altitude, le climat (par exemple en stratifiant l'échantillonnage selon des indices climatiques liés à la pluviométrie qui suit la plantation...).

Dans le Puy de Dôme, un inventaire exhaustif de ces plantations a été réalisé, début 2019, sur par S. Gauniche dans le cadre de son stage de BTS (Gauniche, 2019). Ce recensement, la base de données du DSF ainsi que la base de données réalisée par L. Firmin pour la région Midi Pyrénées⁵ pouvaient fournir une partie de l'inventaire pour les régions concernées par l'étude qui aurait été complété en sollicitant la collaboration des différents reboiseurs.

Néanmoins, une telle démarche ne permet pas de répondre à la question posée puisqu'elle ne permet pas de positionner les résultats de telles plantations par rapport à ceux de plantations réalisées avec des plants racines nues- « standard » éligible aux aides publiques. Prenons l'exemple d'une plantation en godet qui aurait très mal fonctionné sur une station particulière : nous ne pourrions pas conclure à un problème lié au type de plant, puisque nous serions en incapacité de savoir ce qu'il serait advenu de plants racines nues installés dans les mêmes conditions... De la même façon, l'observation de déformations racinaires ne pourrait être reliée à un type de plant, dans la mesure où il serait impossible de savoir si des plants racines nues n'auraient pas présenté les mêmes déformations, à cause de la nature du terrain ou de l'itinéraire technique de plantation par exemple.

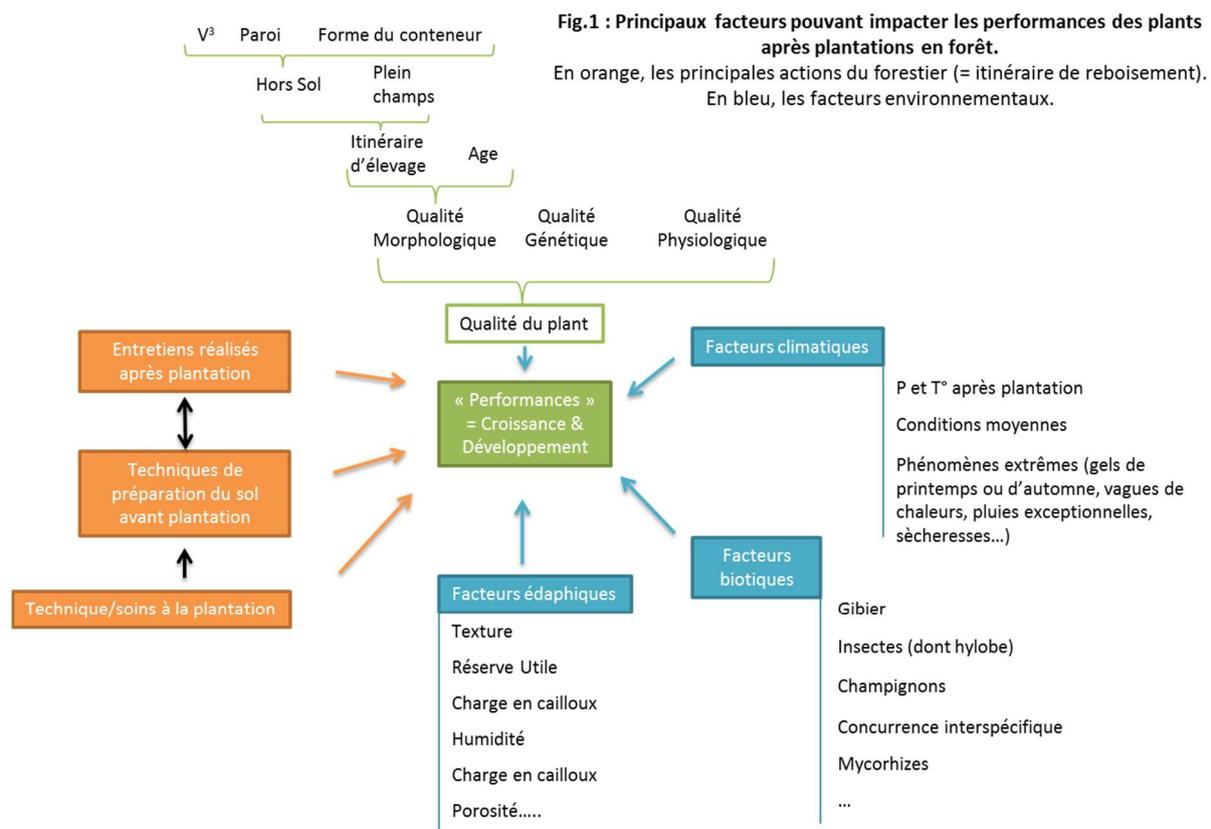
Cette démarche n'a donc pas été retenue pour la présente étude.

III.1.1.c Appariement de plantations réalisées avec des types de plants différents

Les performances d'une plantation dépendent de nombreux facteurs (Fig.3). Ainsi, pour pouvoir juger en toute objectivité du seul effet « type de plants » sur les performances des plantations de douglas, il faut pouvoir s'affranchir des effets des autres facteurs. Pour cela, il faut disposer de plants produits selon deux modes d'élevage différents, auxquels le même itinéraire technique est appliqué et qui sont soumis aux mêmes conditions environnementales, qu'elles soient climatiques, édaphiques ou biotiques... il faut donc disposer de plantations comparatives.

⁵ L. Firmin est contrôleur des ressources génétiques pour la région Midi Pyrénées. Dans cette région, l'arrêté MFR mentionne que la plantation de douglas en godets de 200cc « peut être expérimentée régionalement ». Ainsi, L. Firmin demande-t-il chaque année aux reboiseurs intervenant dans la région de signaler les plantations en question. Une base de données avec leur localisation a ainsi pu être constituée.

Figure 3: Principaux facteurs pouvant impacter les performances des plants après plantation en forêt.



S. Girard, IDF-CNPF, Nov. 2018

Les différents organismes français de Recherche et de R& D ne disposant que d'un nombre très limité de dispositifs comparatifs, nous avons envisagé une autre démarche.

Compte tenu du fort impact des conditions climatiques et édaphiques sur les performances des plants après plantation, nous avons essayé de travailler à partir de « **couples** » de plantations de même âge et situées dans les mêmes conditions stationnelles.

Le nombre de plantations réalisées avec des godets de moins de 300cc étant beaucoup plus faible que celui des plantations de douglas racines nues, nous avons cherché, dans un premier temps, à réaliser un inventaire des plantations en godets sur la zone d'étude. L'idée était de rechercher dans un deuxième temps, pour chacune des plantations inventoriées, une plantation en racines nues réalisée à proximité, la même année et dans les mêmes conditions stationnelles.

Nous disposions pour cela des plantations échantillonnées dans le cadre de l'enquête du DSF, de celles répertoriées par la DRAAF Occitanie et par S. Gauniche dans le cadre de son étude (cf. paragraphe précédent). Pour compléter cet inventaire, des contacts ont été pris avec les reboiseurs des 4 régions concernées et demande leur a été faite de nous transmettre une liste de leurs chantiers réalisés avec des douglas élevés en godets < 300cc. Tous ont accepté de collaborer à l'étude et nous ont transmis des éléments d'information (année de plantation, type de plants et localisation géographique). Les retours ont toutefois été incomplets et tardifs dans le calendrier de l'étude.

Trouver des plantations en racines nues effectuées la même année et à proximité des plantations en godets dont nous avons eu connaissance (rayon de 10 km) et constituer des « couples » s'est avéré particulièrement difficile. Une partie des couples identifiés grâce aux bases de données, a été invalidée après entretien téléphonique avec le reboiseur et/ou le gestionnaire. D'autres ont dû être éliminés en raison de **conditions stationnelles** (exposition, confinement, position topographique...) et/ou

d'itinéraire technique de plantation (année de plantation, travail du sol, gestion des rémanents...) trop différents entre la plantation de racines nues et celle de godets.

Outre son caractère chronophage, la recherche de « couples » de plantations (une de godets, l'autre de racines nues) pouvant permettre de comparer les performances des types de plants s'est révélée être une impasse et a été abandonnée.

Néanmoins, les contacts pris avec les reboiseurs et les agents du développement forestiers pour répertorier les chantiers, nous ont permis d'identifier un certain nombre de plantations pertinentes installées par des gestionnaires pour comparer les 2 types de plants, plantations comparatives qui ont été utilisées dans l'étude.

III.1.1.d Etude de plantations comparatives godets / racines nues

Comme nous l'avons déjà mentionné, les organismes français de Recherche ou de R&D ne disposaient que d'un nombre très limité de dispositif expérimentaux permettant d'appréhender les performances de douglas élevés en godets <300cc comparativement à celles de plants racines nues.

Pour répondre à la question posée, nous avons donc recherché d'autres plantations comparatives c'est-à-dire des chantiers où plants racines nues et en godets ont été installés **au même moment**, par le **même reboiseur**, sur la **même parcelle** (ou plus rarement sur des parcelles limitrophes), selon le **même itinéraire technique**, et dans les mêmes **conditions stationnelles**. Contrairement aux dispositifs scientifiques, ces plantations ne sont pas agencées de façon à tenir compte des éventuelles hétérogénéités du site (pas de répétitions ni d'organisation en blocs). Dans la plupart des cas, une partie du chantier a été réalisée avec des plants en godets et l'autre avec des racines nues- les 2 parties n'étant pas toujours équivalentes.

Seule l'étude des plantations de ce type nous a permis de comparer objectivement la qualité des plantations réalisées avec l'un ou l'autre type de plant.

La plupart des 14 plantations comparatives que nous avons étudiées ont été installées par des reboiseurs ou gestionnaires intéressés par la question en conditions de chantier « normal ».

d. Analyse de l'enquête annuelle « Evaluation de la réussite des plantations de l'année » du DSF

Dans le cadre du suivi spécifique "Evaluation de la réussite des plantations de l'année", chaque correspondant-observateur du réseau du DSF évalue chaque année un échantillon de 5 parcelles d'au moins 1 ha plantées dans l'année. Les plantations sont donc évaluées après **une seule saison de végétation**. Cet échantillon se doit d'être représentatif de l'ensemble des plantations connues du correspondant-observateur.

III.1.1.e Rappel du protocole d'enquête

Le protocole complet se trouve en annexe 3.

La notation porte sur 100 plants pris au hasard et répartis sur 10 grappes de 10 plants selon un parcours en U dans la parcelle. Chaque plant est noté individuellement comme « indemne », « atteint mais non mort » ou « mort ». Lorsqu'il est possible de déterminer la ou les causes de la mort d'un individu, la cause principale est renseignée.

La plantation est évaluée deux fois durant la première saison de végétation : un premier passage est effectué au printemps (1 mois après débourrement), le second à l'automne (pas obligatoirement sur les mêmes plants).

III.1.1.f Variables analysées

Les variables relevées par le correspondant-observateur et auxquelles nous nous sommes intéressées sont les suivantes :

Tableau 6: Variables relevées lors du suivi annuel des plantations par le DSF

| |
|---|
| Année d'exploitation |
| Antécédent culturel |
| Travaux préparatoires (comprend traitement des rémanents et préparation du sol) |
| Date de plantation (mois, année) |
| Type de plant |
| Nombre de plants morts par cause |
| Nombre de plants atteints mais non morts par cause |

Les causes principales de mortalité pouvant être renseignées sont multiples : Pour n'en citer que quelques-unes, hylobe, rongeur, frottis, écorçage, kermès, dégâts sylvicoles, arrachage, problème de plantation, sécheresse, engorgement... mais il est souvent complexe de déterminer la cause de mort de façon aussi pointue avec certitude. Les mortalités liées au climat ou à des facteurs anthropiques sont donc regroupées sous le même libellé « cause abiotique ou indéterminée ». Dans notre analyse, les causes de mortalité ont été regroupées en 4 grandes catégories :

- Hylobe
- Autre insecte ou champignon
- Mammifères
- Abiotique ou indéterminée

III.1.1.g Présentation des résultats

Le DSF nous a transmis les données des enquêtes effectuées de 2007 à 2018, portant uniquement sur des reboisements en douglas, soit **2164 plantations réparties dans toute la France**. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux notations d'automne, réalisées à la fin de la première saison de végétation.

Rappelons que l'objectif de l'enquête est de pouvoir fournir un bilan de la santé des plantations par année. De ce fait, l'échantillonnage des plantations de l'année réalisé par les correspondants-observateurs se doit d'être représentatif de l'ensemble des plantations : la base de données n'a pas été construite dans le but de comparer les plantations en fonction du type de plant utilisé.

Par conséquent, de nombreux autres facteurs que le type de plant diffèrent entre les plantations en racines nues et les plantations en godet : la localisation géographique, les conditions stationnelles, l'itinéraire technique de plantation, ... La variabilité liée à ces facteurs est très importante, et les conditions à respecter afin de réaliser un test statistique sur les différences liées au type de plant ne sont donc pas remplies. Néanmoins au vu de la taille de l'échantillonnage, il est intéressant de tester si le facteur « type de plants » présente un poids statistique significatif.

Les résultats sont donc présentés au moyen de statistiques descriptives uniquement (moyennes, histogrammes) (*cf.* paragraphe III.2).

e. Etude de plantations comparatives

III.1.1.h Recensement des plantations comparatives

Les DRAAF, CRPF, gestionnaires et reboiseurs de chaque région ont été contactés afin de savoir s'ils avaient mis en place ou avaient connaissance de plantations comparatives. Au total, 28 plantations comparatives nous ont été signalées. Après contact avec les gestionnaires qui en ont la charge, 14 ont été éliminées car elles ne répondaient finalement pas au cahier des charges d'une plantation comparative et présentaient au moins l'une des faiblesses suivantes :

- Années de plantation différentes : une année de décalage entre la mise en terre des plants en godet et ceux à racines nues (5 plantations concernées).
- Conditions stationnelles trop différentes : plantations des plants en godets sur la partie haute de la parcelle et des racines nues dans la pente (1 plantation).
- Impossibilité de localiser les 2 types de plants sur le terrain (2 plantations anciennes) : les délimitations entre les deux types de plant n'avaient pas été notées sur un plan, et ont aujourd'hui disparu (piquets couchés, sous la ronce, ...). *A noter que dans ce cas, après visite sur le terrain, il n'a pas été possible de trouver a posteriori ces limites car les plants n'étaient pas différenciables à l'œil nu.*
- Plantations qui se sont révélées finalement inexploitables pour cette étude d'après FCBA (2 plantations).
- Plantations ayant subi d'importants dégâts de gibier (3 plantations).
- Fausse piste : signalement d'une plantation comparative alors qu'un seul type de plant avait été réellement planté.

Au final, **14 plantations comparatives** ont été incluses dans l'étude :

- 5 fournies par CFBL
- 2 par AFB-FCBA
- 1 par l'ONF
- 1 par le reboiseur Thevenon
- 1 par la SF CDC
- 1 par le cabinet d'experts Forêt Evolution
- 1 par la coopérative COFORET
- 1 par Naudet reboisement
- 1 par l'IDF

Remarques :

- Une des plantations présente des itinéraires techniques de plantation différents selon le type de plant. Elle a tout de même été retenue pour l'étude, mais n'est pas incluse dans l'analyse statistique des résultats.
- Certaines plantations retenues se sont avérées, après investigation, avoir été réalisées avec des plants en godet et en racines nues de provenances génétiques différentes. Au vu de la faible influence de la provenance génétique sur la croissance dans le jeune âge pour les génétiques considérées (Rousselle, et al., 2018), et compte tenu du faible nombre de plantations qui nous sont remontées, ces plantations comparatives ont tout de même été retenues et considérées comme homogènes.

III.1.1.i Evaluation de la qualité des plantations comparatives

Il s'agit de comparer des variables quantitatives et qualitatives connues pour rendre compte de la qualité d'une jeune plantation dans le cas de plants élevés dans des godets de volume compris entre 200 et 300 cc et de plants élevés en pleine terre (RN). Aussi, sur chaque plantation comparative, le même nombre de plants de chaque type a été mesuré. Des données environnementales ont également été récoltées afin de caractériser au mieux les facteurs extérieurs susceptibles d'influer sur la réussite des plantations étudiées. La liste de l'ensemble des données relevées se trouve en annexe 4.

Chaque plantation est caractérisée par un identifiant unique correspondant à l'année de plantation suivi du nom de la commune ou d'un diminutif de celui-ci, par exemple, le chantier 13_RAZES correspond à une plantation effectuée en 2013 à Razès. Cet identifiant sera systématiquement utilisé dans la suite du rapport dans un souci de clarté.

i Description de la station et de l'itinéraire sylvicole mis en œuvre

Afin de caractériser au mieux chaque plantation, les données sur l'antécédent cultural et l'itinéraire technique de plantation ont été recueillies préalablement aux mesures de terrain auprès de chaque gestionnaire ou reboiseur. Les données stationnelles sont, elles, relevées sur le terrain et sous SIG.

Les données descriptives de la station et de l'itinéraire sylvicole sont listées ci-dessous :

Tableau 7 : Variables descriptives de la station et de l'itinéraire sylvicole

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Station | Altitude |
| | Topographie |
| | Pente moyenne |
| | Exposition |
| | Roche mère |
| | Profondeur prospectable |
| | Texture |
| | pH |
| | Végétation concurrente |
| Préparation du chantier | Précédent cultural |
| | Année de coupe |
| | Traitement des rémanents |
| | Traitement des souches |
| | Préparation du sol |
| | ETP pour la préparation du sol |
| Plantation | ETP pour la plantation |
| | Mode de plantation |
| | Année de plantation |
| | Mois de plantation |
| | Distances interligne, intraligne |
| | Densité de plantation |
| | Traitement hylobe |
| | Protection gibier |
| | Fertilisation |
| | Essences accompagnatrices |
| Plants | Pépinière de provenance des plants |
| | Variété |

| | |
|-----------|-----------------|
| | Age |
| | Taille du godet |
| | Taille du plant |
| Entretien | Regarnis |
| | Dégagements |

ii Echantillonnage des plants

L'échantillonnage des plants dans la parcelle est celui de l'enquête du DSF. Sont inventoriées, par type de plant, 10 grappes de 10 emplacements réparties aléatoirement sur la parcelle ou dans la zone sélectionnée pour les mesures. Une grappe correspond à un parcours en U : 5 emplacements dans un sens, puis 5 dans le sens du retour de façon à échantillonner sur 2 lignes de plantations et éliminer ainsi un éventuel « effet planteur ».

Nous avons veillé à ce que les conditions stationnelles soient les plus proches possibles pour les 2 types de plants mesurés (même distance à la lisière, même pente...), quitte à en limiter le nombre et même si des variations micro-topographiques (pierrosité du sol par exemple) sont difficiles à exclure. Les plants situés sur les lignes bordant les andains n'ont pas été mesurés afin d'éliminer l'« effet andain ».

Selon la taille de la plantation et des surfaces homogènes au plan stationnel, **de 50 à 100 emplacements** de plants de chaque type ont été observés. Deux exceptions ont cependant été faites : à 13_CONDAT, le nombre de godets plantés est très faible et nous n'avons inventorié que 25 plants de chaque type. A 18_NAUSSAC, les gestionnaires ont testé 4 types de plants sur une grande surface et nous avons donc inventorié 80 plants de chaque type (2 types de godets et 2 types de racines nues), soit 320 plants.

Sur les plantations où l'autorisation a été obtenue, 5 plants « lambda » de chaque type, pris au hasard parmi les plants mesurés, ont été déterrés afin d'analyser leur système racinaire. Sur les plantations les plus anciennes, le temps a manqué - l'extraction étant très chronophage - et un nombre légèrement plus faible de plants a été extrait : nous n'avons pu extraire que 6 systèmes racinaires à 13_RAZES avec l'aide de deux agents du CRPF et 8 à 15_UCHON. Sur le chantier de 15_BELLEYDOUX, les plants ayant eu une croissance beaucoup moins rapide du fait des conditions stationnelles particulières, nous avons tout de même pu en extraire 10 avec l'aide de l'agent de l'ONF qui a installé l'essai.

Tableau 8 : Surface plantée, nombre d'emplacements observés et de plants extraits par plantation

| Code plantation | Surface totale du chantier de plantation (ha) | Surface plantée en G de 200 à 300cc (ha) | Surface plantée en RN (ha) | Nombre d'emplacements mesurés par type de plant | Nombre de plants extraits par type de plant |
|-----------------|---|--|----------------------------|---|---|
| 13_ANGLES | 3,4 | 1,7 | 1,7 | 120 | 0 |
| 13_CAMARES | 9,9 | 0,3 | 0,3 | 80 | 0 |
| 13_CONDAT | 3,5 | 0,2 | 3,3 | 25 | 0 |
| 13_RAZES | 1,2 | 0,6 | 0,6 | 40 | 3 |
| 15_BELLEYDOUX | 5* | 1,2* | 1,2* | 50 | 5 |
| 15_CHAMEANE | 1,35 | 0,9 | 0,45 | 50 | 0 |
| 15_UCHON | 6,5 | 3 | 1,4 | 100 | 4 |
| 17_ALLEGRE | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 50 | 5 |
| 18_AZOLETTE | 3,2 | 2 | 1,2 | 50 | 5 |
| 18_BONNEFOND | 3 | 1,5 | 1,5 | 80 | 5 |
| 18_DUN | 6,1 | 3,5 | 2,6 | 100 | 5 |

| | | | | | |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-----------|
| 18_NAUSSAC | 18 | 13,9 | 4,1 | 160 | 10 |
| 18_RIVOLET | 1,8 | 1,3 | 0,5 | 80 | 5 |
| 18_VINCENT | 2,17 | 1,6 | 0,57 | 100 | 5 |
| TOTAL | 65,62 | 31,9 | 19,72 | 1085 | 52 |

*La plantation de 15_BELLEYDOUX est atypique puisqu'elle n'a pas été réalisée en plein, il s'agit d'un complément de la régénération naturelle déjà présente sous futaie irrégulière.

Le nombre d'emplacements mesurés et de plants extraits est identique pour chaque type de plants, il est adapté à la surface plantée.

iii Observations et mesures réalisées sur le terrain

Taux de survie et croissance en hauteur

Lorsqu'un emplacement est vide ou que le plant est mort, le plant est décrit comme « absent » ou « mort ». Le nombre de plants absents ou morts sert ensuite à caractériser le taux de survie :

$$\text{Taux de survie} = \frac{\text{nombre d'emplacements observés} - (\text{nombre de plants absents} + \text{nombre de plants morts})}{\text{nombre d'emplacements observés}}$$

Les plants vivants sont caractérisés en termes de hauteur (hauteur de la pousse de l'année 2018, au cm couvert) et de diamètre (diamètre mesuré au collet pour les plantations les plus jeunes, à 1m30 pour les plantations plus âgées, au mm couvert).



Les plants vivants mais à l'avenir très compromis (cassés par la végétation, la neige ou le gibier ; secs sur plus de la moitié du plant même si les branches basses sont encore vivantes, ...) ne sont pas mesurés et sont spécifiquement notés comme « non mesurables ».

Figure 4: Mesure de la hauteur d'un plant en godet à la perche télescopique, 18_VINCENT. Photo : L.Veuillen, CNPF

Défauts de forme

La présence de défauts de forme a été notée pour chaque plant vivant. Ont été distingués les défauts de tête (double tête ou multi-tête), les baïonnettes, les fourches, les jumelles et la présence d'une courbure basale.

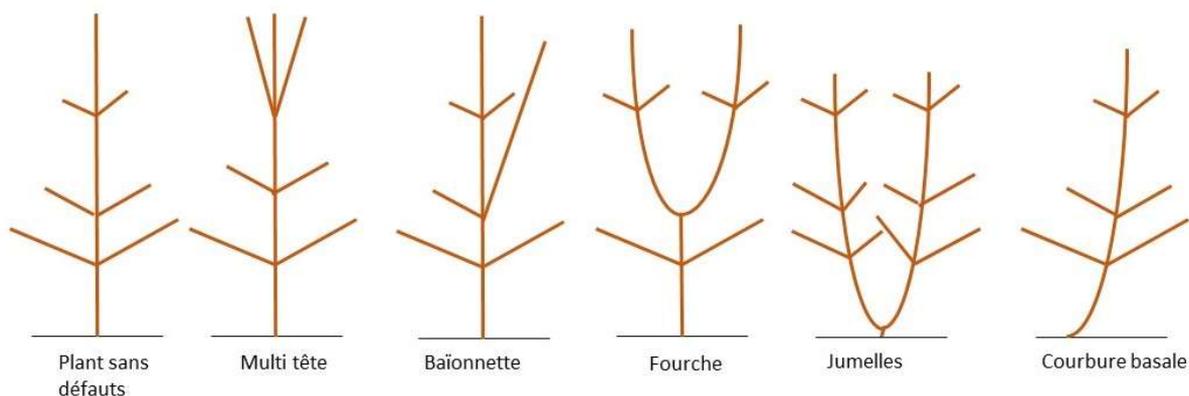


Figure 5 : Description des défauts de forme rencontrés

Evaluation de la stabilité des plants

La stabilité des plants a été évaluée en appréciant l'écart à la verticalité de la tige, noté selon une note de 0 à 3 (cf. figure ci-dessous) et la présence ou non d'une zone de jeu autour du collet.

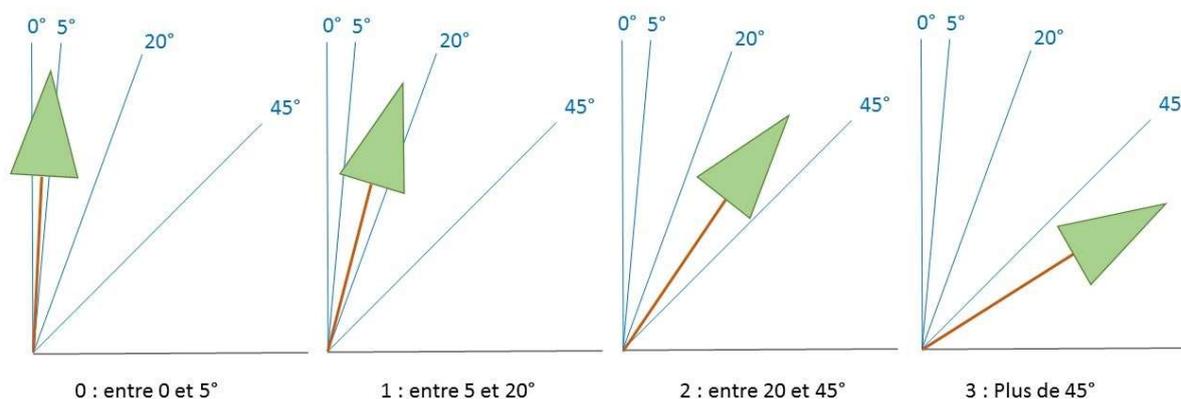


Figure 6 : Notation de l'écart à la verticalité

Observation des dégâts biotiques

Les frottis et l'abroustissement par le gibier, ainsi que la présence de morsures d'hylobe sur la tige principale ont été relevés pour chaque plant (note de présence / absence).

iv Observations et mesures réalisées après arrachage

Essai de quantification de la force nécessaire à l'arrachage des plants

Afin de juger de l'enracinement de plants sains, nous avons tenté de mesurer la force verticale nécessaire à l'arrachage d'un plant à l'aide d'un dynamomètre (Référence : Millot DR 600-100). L'application d'une force verticale supérieure à 500 newtons n'a pas permis de déstabiliser des plants élevés en godets de 200cc et plantés depuis 2 ans (tests réalisés sur une plantation de godets de 200cc uniquement, à Mazet-Saint-Voy, Haute Loire), il s'est par ailleurs avéré **impossible d'arracher des plants sains « à mains nues »**. Pour appliquer une force supérieure, il aurait fallu adapter un système de poulies et trépieds au système que nous avons testé, ce qui aurait pris beaucoup de temps (de l'ordre d'une journée supplémentaire par essai pour mesurer la force d'arrachage sur 20 plants) et ne pouvait donc s'envisager dans le cadre temporel de cette étude.

Méthode d'extraction des plants

Pour accéder au système racinaire des plants, nous avons opté pour une extraction précautionneuse des plants de façon à préserver au mieux les racines situées à proximité du collet. La technique présente l'avantage d'être moins destructive qu'un arrachage mais est en revanche plus chronophage, ce qui explique que nous l'ayons appliquée à un nombre réduit de plants (de 3 à 5 individus par modalité selon l'âge des plantations, cf. tableau 8).

Une marque est tout d'abord appliquée dans le sens de la ligne de plantation au niveau du sol, sur la tige, ce qui a permis de mesurer la profondeur d'enterrement du collet. Une tranchée est ensuite ouverte à la pioche et à la bêche autour du plant pour extraire un cube de sol d'environ 30 cm de côté (40 à 50 cm dans le cas des plantations les plus anciennes) et dégager les racines.

Mesures et analyse des plants déterrés



Figure 7 : Vue d'ensemble d'un plant (racines nues). Photo : S.Girard, CNPF

Les plants déterrés dans les plantations récentes (2018 et 2017) sont étiquetés, emballés en sacs plastiques transportés dans un local adapté pour être observés. Chaque plant est photographié sur un fond uniforme et les niveaux du sol et du collet matérialisés à l'aide de repères colorés (Fig. 5).

La **hauteur** du système aérien et le **diamètre au collet** sont mesurés, ainsi que la **profondeur d'enterrement du collet** dans le sol et la **longueur du pivot** (cette dernière n'est considérée que pour les plants de 2018 ; en effet, pour les plants plus âgés, la méthode d'extraction a pu couper ou endommager celui-ci).



Figure 8 : Lavage d'un système racinaire. Photo : S.Girard, CNPF

Le système aérien du plant est ensuite coupé 1 cm au-dessus du collet, lavé- afin de le débarrasser des restes de tourbe éventuels, de la terre et des cailloux (Fig. 8)- avant d'être observé et photographié. Il est ensuite mis en sachet ; sa masse sèche est déterminée après passage à l'étuve à 50°C pendant 48 h.

La présence d'éventuelles **déformations racinaires** typiques (cage à oiseau, enroulement/spiralisation des racines, système en J., Fig. 9) est alors noté.

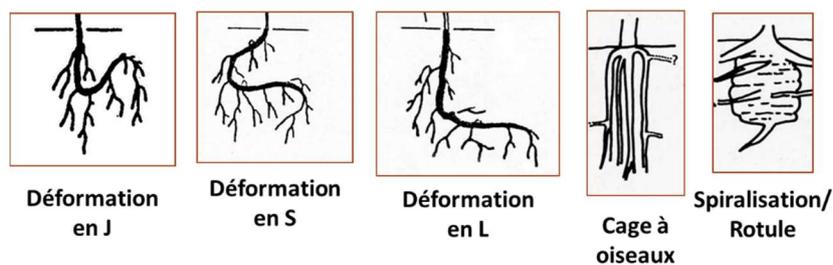


Figure 9 : Principales déformations racinaires rencontrées chez les plants forestiers résineux (d'après (Franclet, 1981) et (MAAF, 2014))

Les systèmes racinaires sont ensuite photographiés sous deux angles, sur deux supports différents (Fig. 10) afin de pouvoir caractériser la distribution spatiale des racines tant en profondeur qu'autour de l'axe de la tige.

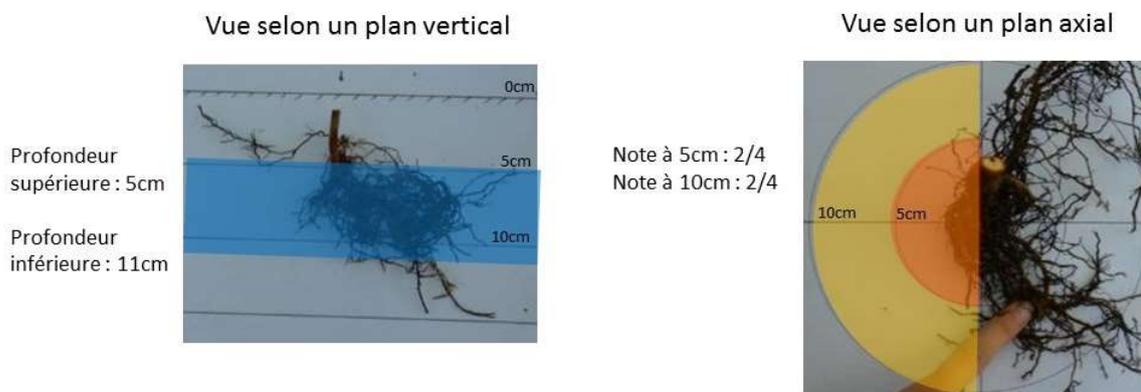


Figure 10 : exemple de notation d'un système racinaire dans le plan vertical et dans le plan axial. Photos : S.Girard,, CNPF

Les vues de face des systèmes racinaires, selon un plan vertical, ont été analysées afin de définir l'épaisseur du système racinaire extrait et sa profondeur médiane :

$$\text{profondeur médiane} = \frac{\text{profondeur supérieure} + \text{profondeur inférieure d'enracinement}}{2}$$

Les vues du dessus- avec le système racinaire positionné sur une cible- ont été utilisées pour affecter des **indices de distribution racinaires autour de l'axe**. Un premier indice concerne les 5 premiers cm situés autour de la tige, le second l'anneau suivant situé entre 5 et 10 cm de l'axe. Ces indices correspondent au nombre de quart de cercle occupés par des racines. La note 4 indique ainsi que des racines sont présentes dans tous les quarts de la cible et correspond à une répartition homogène des racines autour de l'axe. Si les racines ne prospectent que 2 quarts de cercles comme dans le cas de la figure 10, la note de 2 est attribuée au système racinaire.

Une fois les systèmes racinaires photographiés, ils sont emballés en sacs papier, séchés 48h à l'étuve à 50°C avant d'être pesés. Le **rapport des masses sèches des parties racinaire et aérienne** de chaque plant, souvent utilisé pour caractériser l'équilibre entre la partie aérienne et la partie racinaire, a ainsi pu être calculé (le R.S ratio des anglo-saxons) selon la formule :

$$R.S \text{ ratio} = \frac{\text{masse sèche racinaire (g)}}{\text{masse sèche aérienne (g)}}$$

Cette variable est calculée pour les plants de 2017 et 2018 uniquement qui sont les seuls à avoir pu passer à l'étuve, soit pour 80 plants.

Les plants déterrés dans les plus anciennes plantations comparatives, de plus grandes dimensions, ont été observés selon le même protocole mais n'ont pu être conservés et séchés à l'étuve. Après avoir été mesuré, le système aérien a d'ailleurs été laissé sur place et seul le système racinaire a été transporté pour faire l'objet d'observations.

v Récapitulatif des variables mesurées sur les plants

Tableau 9: Bilan des variables mesurées sur tous les plants de l'échantillon

| | |
|--|--|
| Performances | Etat (vivant, mort, absent, non mesurable) |
| | Hauteur |
| | Diamètre |
| Défauts de forme | Défaut de tête |
| | Baïonnette |
| | Fourche |
| | Jumelles |
| Dégâts d'origine biotique | Frottis ancien |
| | Abrouissement / Frottis récent |
| | Dégât hylobe |
| Dégâts d'origine abiotique ou indéterminée | Cime sèche |
| | Cime cassée |
| | Autre blessure |
| | plant rouge |
| Stabilité | Courbure basale |
| | Présence d'une zone de jeu |
| | Ecart à la verticalité |

Tableau 10 : Bilan des variables mesurées sur les plants arrachés

| | |
|--|---|
| Performances | Hauteur |
| | Diamètre |
| | Masse sèche aérienne / masse sèche racinaire |
| Caractérisation sur un plan vertical | Profondeur d'enterrement du collet |
| | Épaisseur du système racinaire |
| | Profondeur médiane d'enracinement |
| Caractérisation sur un plan horizontal | Répartition horizontale des racines (1, 2, 3, 4 quarts de cercles couverts à 5cm et à 10cm de distance de l'axe du plant) |
| Défauts | Défauts majeurs (chignon, spiralisation, L ou J) |

III.1.1.j Caractérisation des plantations étudiées

i Localisation et date de plantation

La carte ci-dessous localise les 14 plantations étudiées : 7 se trouvent en région AURA, 3 en Occitanie, 2 en Bourgogne et 2 en Limousin. Toutes se trouvent dans des zones où le douglas est largement utilisé en reboisement à l'exception toutefois de celle située à Belleydoux dans le massif du Bugey (01).

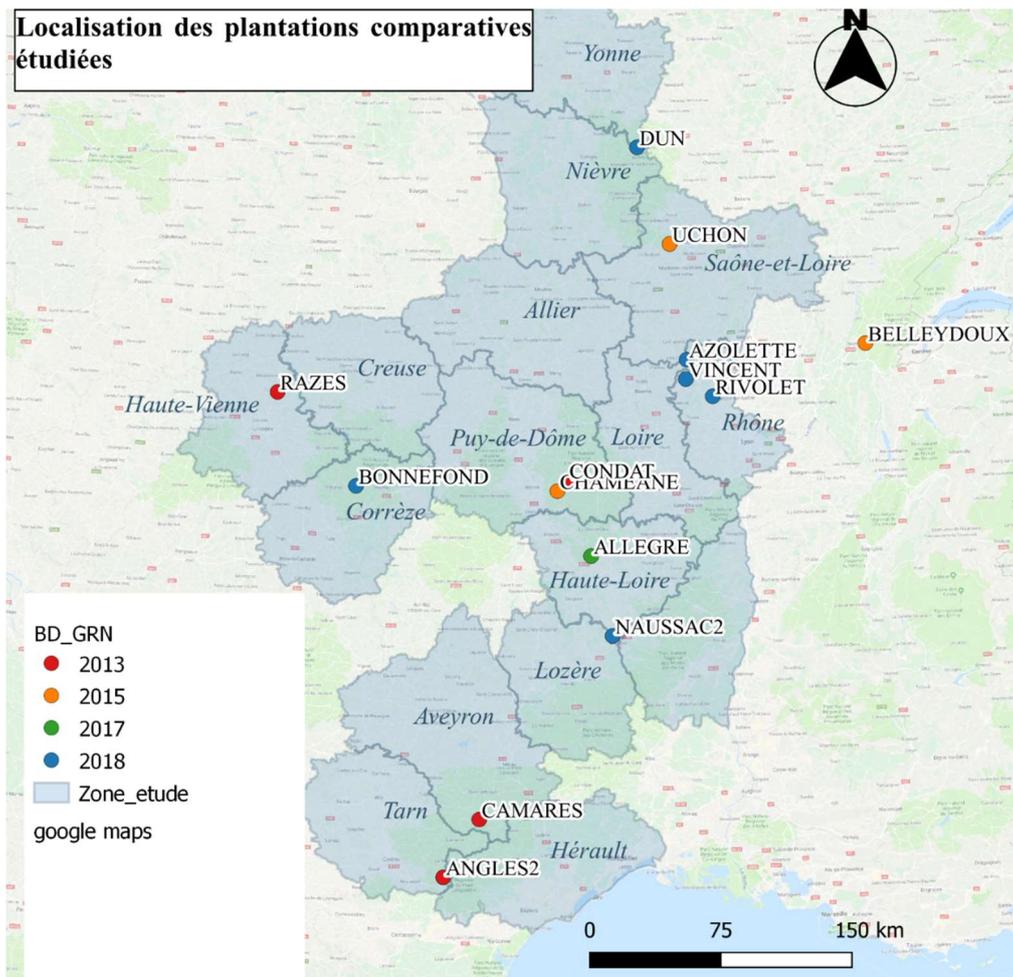


Figure 11 : Localisation des plantations comparatives étudiées

La majorité d'entre elles (n=6) a été mise en place au printemps 2018. Les plus anciennes ont été plantées il y a 6 ans, en 2013 (Tab.11).

Rappel : Chaque plantation est caractérisée par un identifiant unique correspondant à l'année de plantation suivi du nom de la commune ou d'un diminutif de celui-ci. Par exemple, le chantier 13_RAZES correspond à une plantation effectuée en 2013 à Razès. Cet identifiant sera systématiquement utilisé dans la suite du rapport dans un souci de clarté.

Tableau 11 : Nombre de plantations par année de plantation

| Année de plantation | Nombre de plantations |
|---------------------|-----------------------|
| 2013 | 4 |
| 2014 | 0 |
| 2015 | 3 |
| 2016 | 0 |
| 2017 | 1 |
| 2018 | 6 |

ii Conditions stationnelles

Tableau 12 : Principales caractéristiques stationnelles des plantations étudiées

| CODE | LOCALISATION | | TOPOGRAPHIE | | | CONDITIONS EDAPHIQUES | | | |
|---------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------|------------|-----------------------|------------------------------|---------|-----|
| | Département | Commune | Altitude (m) | Pente moyenne (%) | Exposition | Roche mère | Profondeur prospectable (cm) | Texture | pH |
| 13_ANGLES | 81 | ANGLES | 830 | 0 | - | orthogneiss | 45 | L | 4,7 |
| 13_CAMARES | 12 | CAMARES | 700 | 18 | N | conglomérats | 60 | LA | 5 |
| 13_CONDAT | 63 | CONDAT LES MONTBOISSIER | 840 | 0 | - | gneiss | 65 | L | 4,5 |
| 13_RAZES | 87 | RAZES | 460 | 0 | - | granite | NA | LS | 4 |
| 15_BELLEYDOUX | 01 | BELLEYDOUX | 960 | 10 | SE | calcaire | NA | LA | 7,2 |
| 15_CHAMEANE | 63 | CHAMEANE | 820 | 0 | - | gneiss | 100 | L | NA |
| 15_UCHON | 71 | UCHON | 580 | 40 | S | granite | 45 | S | 4,5 |
| 17_ALLEGRE | 43 | ALLEGRE | 1070 | 0 | - | orthogneiss | 35 | SL | 4 |
| 18_AZOLETTE | 42 | AZOLETTE | 680 | 25 | SE | granite | NA | AL | 4,5 |
| 18_BONNEFOND | 19 | BONNEFOND | 810 | 12 | S/N | granite | NA | LS | 4 |
| 18_DUN | 58 | DUN LES PLACES | 600 | 0 | - | granite | 45 | SL | 4,3 |
| 18_NAUSSAC | 48 | NAUSSAC | 1000 | 0 | - | orthogneiss | 35 | SL | 4,5 |
| 18_RIVOLET | 69 | RIVOLET | 480 | 30 | SE | roches plutoniques | NA | S | 5 |
| 18_VINCENT | 69 | SAINT VINCENT DE REINS | 610 | 42 | O | granite | NA | LS | 4,2 |

Le gradient altitudinal varie de 480 m (18_RIVOLET dans le Beaujolais) à 1 070 m (17_ALLEGRE en Haute Loire). La moitié des plantations étudiées sont en zone plate, deux se trouvent sur des pentes de 40 %. Les plantations situées en zone de pente ont des expositions variables.

Seule la plantation 15_BELLEYDOUX est installée sur un substrat calcaire ce qui explique la forte valeur du pH, les autres sont situées sur des roches acides et le pH se situe autour de 4.5 entre 4 et 5.

La profondeur prospectable à la tarière est très variable selon les sites et dépend beaucoup de la pierrosité à l'endroit précis où le trou est effectué. Pour 6 des plantations, la pierrosité était telle que nous n'avons pas pu introduire la tarière dans le sol.

Les stations météorologiques les plus proches géographiquement et situées à des altitudes voisines des plantations comparatives ont été recherchées (la liste se trouve en annexe 5). Les données de précipitation sont disponibles pour toutes les plantations sauf pour 18_VINCENT, et les données de températures pour 9 d'entre elles.

Tableau 13 : Précipitations printanières de l'année de plantation enregistrées dans la station météorologique la plus proche de la plantation considérée (Source Météo France)

| Code plantation | Cumul des hauteurs de précipitation au printemps de l'année de plantation (mm, de mars à juin) |
|-----------------|--|
| 13_ANGLES | 747 |
| 13_CAMARES | 673 |
| 13_CONDAT | 419 |
| 13_RAZES | 456 |
| 15_BELLEYDOUX | 538 |
| 15_CHAMEANE | 244 |
| 15_UCHON | 290 |
| 17_ALLEGRE | 396 |
| 18_AZOLETTE | 378 |
| 18_BONNEFOND | 502 |
| 18_DUN | 362 |
| 18_NAUSSAC | 418 |
| 18_RIVOLET | 458 |

Les précipitations qui ont immédiatement suivies la plantation varient de 244 mm à Chaméane à 747 mm à Anglès.

Pour toutes les stations météorologiques, les températures moyennes et maximales estivales ont atteint des records en 2018.

Tableau 14 : Températures de l'été de l'année de plantation enregistrées dans la station météorologique la plus proche de la plantation considérée (Source Météo France)

| Code plantation | Moyenne des températures maximales de l'été de l'année de plantation (°C) | Moyenne des températures moyennes de l'été de l'année de plantation (°C) |
|-----------------|---|--|
| 13_ANGLES | | |
| 13_CAMARES | 23,2 | 18,2 |
| 13_CONDAT | 23,3 | 17,3 |
| 13_RAZES | | |
| 15_BELLEYDOUX | 21,9 | 16,8 |
| 15_CHAMEANE | 21,3 | 15,5 |
| 15_UCHON | | |
| 17_ALLEGRE | 20,6 | 15,4 |
| 18_AZOLETTE | | |
| 18_BONNEFOND | 25,0 | 17,1 |
| 18_DUN | 24,8 | 18,9 |
| 18_NAUSSAC | 25,3 | 17,4 |
| 18_RIVOLET | | |

Parmi les plantations que nous avons étudiées, celles qui ont été plantées en 2018 ont donc subi les températures estivales les plus chaudes.

iii Itinéraires techniques de plantation

Rappelons au préalable que l'itinéraire technique est exactement le même sur une même plantation pour les 2 types de plants, excepté pour la plantation 15_CHAMEANE. Toutes les plantations étudiées ont été réalisées à la pioche et cela, quel que soit le type de plants considéré. Les caractéristiques techniques de l'itinéraire de plantation des différents dispositifs sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15 : Itinéraire technique de plantation

| CODE | Précédent culturel | Année coupe | Année plantation | Mois de plantation | Traitement des rémanents | Traitement des souches | Préparation du sol |
|----------------------------|----------------------|-------------|------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
| 13_ANGLES | Pin Weymouth | 2012 | 2013 | 4 | andains | laissées sur place | aucune |
| 13_CAMARES | Epicéa de Sitka | NA | 2013 | 1 | andains | laissées sur place | aucune |
| 13_CONDAT | Inconnu | NA | 2013 | NA | laissés sur place | laissées sur place | potets travaillés à la pelle |
| 13_RAZES | Douglas | 2013 | 2013 | 5 | andains | broyées | labour |
| 15_BELLEYDOUX | Epicéa, Sapin, Hêtre | 2014 | 2015 | 4 | laissés sur place | laissées sur place | aucune |
| 15_CHAMEANE (godets) | Divers | 2014 | 2015 | 4 | ecoreboisement® | laissées sur place | ecoreboisement® |
| 15_CHAMEANE (racines nues) | Divers | 2014 | 2015 | 4 | andains | laissées sur place | sous-solage |
| 15_UCHON | Chêne, Hêtre | 2014 | 2015 | 4 | andains | arrachées | scarification |
| 17_ALLEGRE | Epicéa, Sapin | 2017 | 2017 | 6 | andains | laissées sur place | sous-solage |
| 18_AZOLETTE | Douglas | 2017 | 2018 | 5 | andains | laissées sur place | aucune |
| 18_BONNEFOND | Epicéa | 2016 | 2018 | 3 | laissés sur place | laissées sur place | potets travaillés à la pelle |
| 18_DUN | Epicéa | 2017 | 2018 | 6 | andains | Dent Becker | scarification |
| 18_NAUSSAC | Epicéa | 2009 | 2018 | 4 | broyés | broyées | broyage |
| 18_RIVOLET | Inconnu | NA | 2018 | 4 | andains | laissées sur place | aucune |
| 18_VINCENT | Douglas | 2017 | 2018 | 5 | andains | laissées sur place | aucune |

Parmi les 12 plantations pour lesquelles nous avons pu connaître l'**antécédent culturel**, moins d'un quart seulement a été réalisé après une coupe de douglas, les autres ont été installées essentiellement après résineux, seule la plantation 15_UCHON l'a été après feuillus.

Dans 8 cas sur 10, la plantation est intervenue moins d'un an après la coupe. Dans la majorité des plantations (2 cas sur 3), les **rémanents** ont été andainés et les **souches** laissées sur place.

Pour les 14 plantations étudiées, 1 chantier sur 3 n'a fait l'objet d'aucun **travail préparatoire du sol** avant plantation. Dans les autres cas, les techniques utilisées sont diverses (détails dans la figure ci-dessous).

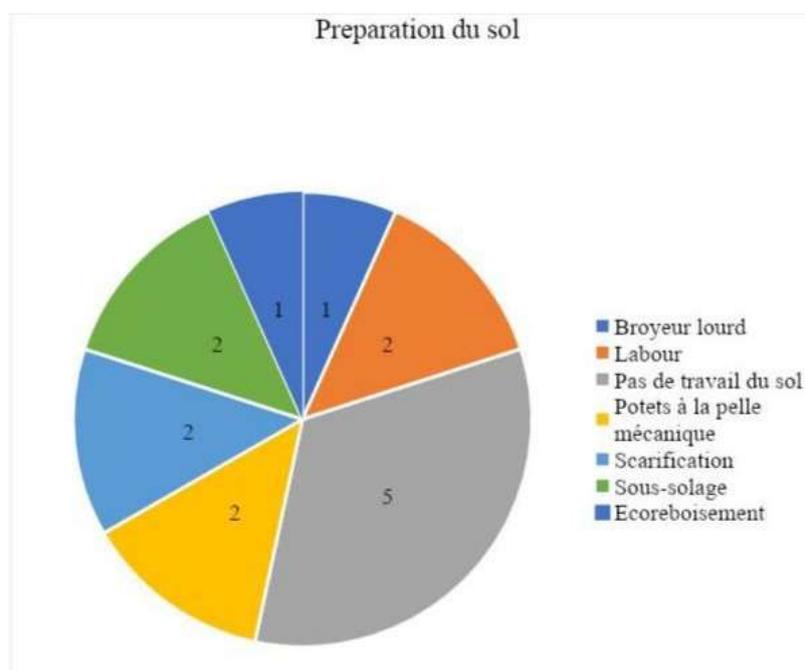


Figure 12 : Répartition du nombre de chantiers par préparation du sol avant plantation

Les chantiers ont été très majoritairement réalisés au **printemps** : 1 en mars, 6 en avril, 3 en mai et 2 en juin (seule la plantation aveyronnaise de 13_CAMARES a été installée en janvier). La plantation a systématiquement été faite à la pioche (dimensions et forme de la lame de la pioche variable selon les sites) à des densités variant de 1 100 à 1 600 plants /ha (à l'exception de 15_BELLEYDOUX qui n'est pas une plantation en plein).

iv Caractéristiques des plants utilisés

Les tableaux ci-dessous regroupent, pour chaque plantation étudiée, les informations relatives aux plants utilisés.

Tableau 16 : Caractéristiques des plants racines nues (NA = not available, donnée non disponible)

| CODE | RN | | | | |
|---------------|--------------|------------|-----|---|----------------------------|
| | Pépinière | Génétique | Age | Indication de la taille initiale des plants | Traitement contre l'hylobe |
| 13_ANGLES | Confidentiel | LUZETTE | 2+1 | NA | SUXON |
| 13_CAMARES | | LUZETTE | 2+1 | NA | NON |
| 13_CONDAT | | LUZETTE | NA | 40-60 | NON |
| 13_RAZES | | LUZETTE | 2+1 | NA | NA |
| 15_BELLEYDOUX | | WASH2 | 2+1 | 30-60 | NON |
| 15_CHAMEANE | | LUZETTE | 2+1 | 30-60 | SUXON |
| 15_UCHON | | LUZETTE | 1+2 | 30-60 | NON |
| 17_ALLEGRE | | DARRINGTON | 2+1 | NA | MERIT® |
| 18_AZOLETTE | | LUZETTE | 2+1 | 30-60 | SUXON® + MERIT® |

| | | | | | |
|---------------------|--------------|---------|-----|-------|-----------------|
| 18_BONNEFOND | Confidentiel | LUZETTE | 2+1 | 30-60 | SUXON® |
| 18_DUN | | WASH2 | 1+1 | 25-40 | MERIT® |
| 18_NAUSSAC | | LUZETTE | 1+2 | 30-60 | MERIT® |
| 18_NAUSSAC2 | | LUZETTE | 2+1 | 30-60 | EKOWAX® |
| 18_RIVOLET | | LUZETTE | 2+1 | NA | OUI |
| 18_VINCENT | | LUZETTE | 1+1 | 20-40 | SUXON® + MERIT® |

Tableau 17 : Caractéristiques des plants en godet (NA = not available, donnée non disponible)

| CODE | Pépinière | G | | | | |
|----------------------|--------------|------------|-----|-----------------|---|----------------------------|
| | | Variété | Age | Contenance (cc) | Indication de la taille initiale des plants | Traitement contre l'hylobe |
| 13_ANGLES | Confidentiel | LUZETTE | 1-0 | 275 | NA | SUXON |
| 13_CAMARES | | LUZETTE | 1-0 | 220 | NA | OUI |
| 13_CONDAT | | LUZETTE | 1-0 | 200 | NA | NON |
| 13_RAZES | | LUZETTE | 1-0 | 275 | NA | NA |
| 15_BELLEYDOUX | | LUZETTE | 1-0 | 200 | NA | NON |
| 15_CHAMEANE | | LUZETTE | 1-0 | 220 | 20+ | SUXON |
| 15_UCHON | | LUZETTE | 1-0 | 200 | 15-40 | SUXON |
| 17_ALLEGRE | | LUZETTE | 1-0 | 220 | 25-35 | MERIT |
| 18_AZOLETTE | | DARRINGTON | 1-0 | 200 Ellepot | NA | SUXON + MERIT |
| 18_BONNEFOND | | LUZETTE | 1-0 | 200 Ellepot | 15+ | SUXON |
| 18_DUN | | LUZETTE | 1-0 | 220 | 15+ | MERIT |
| 18_NAUSSAC | | LUZETTE | 1-0 | 200 | NA | SUXON |
| 18_NAUSSAC2 | | LUZETTE | 1+1 | 200 | NA | FORESTER |
| 18_RIVOLET | | LUZETTE | 1-0 | 200 | NA | OUI |
| 18_VINCENT | | DARRINGTON | 1-0 | 200 Ellepot | NA | SUXON + MERIT |

Remarque : le total du nombre de plantations est de 15 et non de 14, car sur le chantier de 18_NAUSSAC, deux types de godets et deux types de racines nues ont été plantés.

Qualité génétique et dimensions initiales

Les plants sont en très grande majorité issus du verger à graines **La Luzette-VG (PME-VG-002)**. Dans cinq plantations, la variété des plants en godets diffère de celle des plants à racines nues :

- 15_BELLEYDOUX : Washington2-VG pour les RN et La Luzette-VG pour les G
- 17_ALLEGRE : Darrington-VG pour les RN et La Luzette-VG pour les G
- 18_AZOLETTE : La Luzette-VG pour les RN et Darrington-VG pour les G
- 18_DUN : Washington2-VG pour les RN et La Luzette-VG pour les G
- 18_VINCENT : La Luzette-VG pour les RN et Darrington-VG pour les G

Le réseau d'évaluation national de ces variétés n'a pas mis en évidence de différence statistiquement significative de croissance en hauteur entre ces variétés à l'âge de 5 ans (Rousselle Y. J.-C., 19-21 septembre 2018). Pour cette raison, ces plantations ont été conservées dans notre étude en faisant l'hypothèse que la variété n'influence pas de façon significative les variables que nous mesurons.

Les plants RN étaient très majoritairement âgés de 3 ans au moment de leur plantation : de type « 2+1 » dans 9 plantations sur 13 et « 1+2 » dans 2 autres. A noter la présence sur 2 chantiers (18_DUN et 18_VINCENT) de plants RN produits en 2 ans (« 1+1 »), plus petits que les autres RN au moment de leur installation (20/ 40 contre 30/60).

Les plants G étaient âgés de 1 an au moment de leur plantation, à l'exception d'un cas où des plants de 2 ans (1+1)- très rares- ont été testés.

Pépinières de production

Sept pépinières différentes ont fourni les plants RN des plantations comparatives (pépinières Benoit, Combre, Dubost, pépinière sylvicole du Haut Forez (Genthialon), du Limousin (Jobin), Naudet, Primard) et cinq ont fourni les plants en godets : Forelite, Lemonnier, Naudet, Planfor et Robin. Chacune d'entre elles a fourni de 1 à 7 chantiers.

v Une protection contre l'hylobe, mais pas contre le gibier

Aucune protection contre le gibier (répulsif, piquets, arbres de fer...) n'a été mise en place sur les plantations que nous avons étudiées.

En revanche, la majorité des plants utilisés ont été traités contre l'hylobe. Dans le cas d'un élevage hors sol, les insecticides étaient soit intégrés au substrat de culture (Suxon®) soit vaporisés en pépinière (Merit Forest®). Pour les plants à racines nues, les produits étaient soit apportés dans le trou de plantation sous forme de granules (Suxon®) soit appliqués en pépinière (Merit Forest®). L'utilisation de ces produits est aujourd'hui interdite. Il est toutefois encore possible de traiter contre l'hylobe après plantation avec le Forester®, produit curatif à base de cyperméthrine à utiliser dès que les premières morsures sont détectées et dont l'application doit être renouvelée car la rémanence d'efficacité ne dépasse pas 6 semaines. Il existe également une plantation avec des plants protégés par des barrières physique à base de cire siliceuse, l'Ekowax®. Seule la plantation de 18_NAUSSAC a testé le Forester® et l'Ekowax® ; mais celle-ci n'a pas fait l'objet d'une attaque d'hylobes.

vi Regarnis et interventions après plantation

Les plantations comparatives les plus anciennes que nous avons étudiées ont été régulièrement dégagées, ce qui n'est pas forcément le cas pour des chantiers courants. On peut par ailleurs imaginer que les personnes et/ou structures qui décident d'investir dans l'installation de tels essais font le nécessaire pour qu'ils soient entretenus.

Tableau 18 : Regarnis et dégagements effectués depuis la plantation

| CODE | Date des regarnis | % de regarni | Cause principale du regarni | Dégagements |
|----------------------|-------------------|--------------|-----------------------------|------------------------|
| 13_ANGLES | 2014 | 5 | gibier | oui |
| 13_CAMARES | aucun | - | - | 2013, 2014, 2015 |
| 13_CONDAT | 2015-2016 | 5 | gibier | 2017 |
| 13_RAZES | aucun | - | - | 2013 |
| 15_BELLEYDOUX | aucun | - | - | sur 10% parcelle/an |
| 15_CHAMEANE (godets) | 2016 | 5* | sécheresse | 2015, 2016, 2017, 2018 |

| | | | | |
|---------------------------------------|---------|----|--|----------------------------|
| 15_CHAMEANE (racines nues) | aucun | | | |
| 15_UCHON | aucun | - | - | 2016, 2017 sur la ligne |
| 17_ALLEGRE | aucun | - | - | aucun |
| 18_AZOLETTE | aucun | - | - | aucun |
| 18_BONNEFOND | aucun | - | - | aucun |
| 18_DUN | 2019/04 | 15 | sécheresse, mauvaise qualité plantation, gibier | sur la ligne |
| 18_NAUSSAC | 2019/05 | 7 | sécheresse | 2018/09, 2019 sur la ligne |
| 18_RIVOLET | 2019/04 | 10 | gibier, sécheresse | aucun |
| 18_VINCENT | aucun | - | - | aucun |

Précisons que les regarnis des jeunes plantations qui ont eu lieu début 2019 (18_DUN, 18_NAUSSAC 18_RIVOLET) ont pu être clairement identifiés sur le terrain et comptabilisés comme plants morts.

III.1.1.k Analyse des données

A l'exception de 18_BONNEFOND qui présente des répétitions (plantation de 3 lignes G ; 3 lignes RN et ainsi de suite), toutes les plantations comportent une partie plantée en G à côté d'une partie plantée en RN. L'effet du type de plant est donc indissociable de l'effet du microenvironnement, et rend toute analyse à l'échelle du site hasardeuse et incorrecte.

L'analyse a donc été menée à l'échelle de l'ensemble des sites, et chaque plantation est considérée comme une répétition.

i Taux de survie

A partir des mesures réalisées sur les plantations comparatives installés en 2018, nous avons calculé, pour chaque type de plant, et sur chaque plantation, le taux de survie un an après la première année de végétation (aussi appelé taux de reprise) selon la formule suivante :

$$\text{Taux de survie à un an} = \frac{\text{nombre de plants vivants après une saison de végétation}}{n}$$

Avec n = nombre d'emplacements mesurés.

Le taux de reprise des plantations plus anciennes n'est pas connu. Nous avons néanmoins intégré la valeur de la plantation 15_BELLEYDOUX qui a fait l'objet d'un comptage précis dans l'année qui a suivi la plantation.

Pour les autres plantations, le pourcentage de plants vivants de chaque type de plant en 2018 a été considéré, permettant de donner une idée de leur réussite globale.

Les taux de survie sont représentés graphiquement pour chaque type de plant et chaque plantation (cf. paragraphe III.2.2.a).

ii Croissance

L'analyse a porté uniquement sur les plants vivants et mesurables, soit 1841 plants sur les 2170 emplacements observés (85 %).

Le travail du sol pouvant impacter la croissance des plants, la plantation de 15_CHAMEANE où le travail du sol avant la plantation a été différencié selon le type de plant a été exclue des analyses. Elle est néanmoins incluse sur les graphiques présentant les résultats par sites à titre descriptif.

Compte tenu des fortes disparités en termes de hauteur et diamètre entre les plantations récentes et les plantations anciennes, celles-ci sont séparées en deux groupes pour l'analyse afin de minimiser l'effet de l'âge de la plantation :

- Plantations « anciennes » : 4 à 6 années de végétation
- Plantations « récentes » : 1 à 2 années de végétation

Le diamètre a été mesuré tantôt à 1m30 pour les plantations anciennes qui atteignent déjà une hauteur suffisante, tantôt au collet pour les plantations récentes et pour 15_BELLEYDOUX, dont les conditions de croissance ne permettaient pas une mesure à 1m30 pour la plupart des plants.

Le modèle linéaire utilisé afin de déterminer l'influence du type de plant sur la hauteur et le diamètre est un modèle mixte d'analyse de la variance, c'est-à-dire prenant en compte des effets fixes qualitatifs (ici, le type de plant) et des effets aléatoires (l'ensemble des caractéristiques du site de plantation). Il permet, à partir des données mesurées sur le terrain, d'obtenir les moyennes ajustées en fonction du type de plant et du site de plantation et de calculer les intervalles de confiance autour de ces moyennes.

Détails du modèle d'analyse utilisé :

$$Y_{i,j} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{i,j}$$

avec

Y_{i,j} = variable à expliquer (hauteur ou diamètre)

i=(1,2) : type de plant (G ou RN)

j=(1,15) : numéro de la plantation

α_i : effet fixe du type de plant

β_j : effet aléatoire du site

ε_{i,j} : erreur

Cette analyse a été effectuée à l'aide du logiciel de statistiques R.

iii Défauts de forme, stabilité, et dégâts d'origine biotique

Ces variables concernent les plants vivants, qu'ils soient mesurables ou non (soit 2032 plants sur 2170 emplacements observés). Les défauts considérés touchent un nombre trop peu élevé de plants pour qu'une analyse statistique soit robuste. En effet, ces événements sont peu fréquents, voire rares et une éventuelle différence entre les deux types de plants est difficile à déceler en explorant les données.

Nous réalisons donc uniquement une statistique descriptive en présentant le pourcentage de plants touchés par ces défauts par type de plant et par plantation. La moyenne du pourcentage de plants touchés est ensuite calculée pour les plantations impactées par ce défaut (et non sur l'ensemble des plantations), le nombre de plantations touchées pour chaque défaut étant systématiquement indiqué dans les résultats.

iv Analyse des systèmes racinaires

104 systèmes racinaires ont été extraits (52 G/52 RN) et constituent le jeu de données de base pour cette analyse.

Le nombre de systèmes racinaires extraits par plantation est faible (*cf.* tableau 8) et ne permet donc pas de réaliser des tests statistiques robustes.

Les variables concernant la répartition verticale du système racinaire et les défauts rédhibitoires sont analysées pour l'ensemble de ces systèmes racinaires.

Remarque : 15_BELLEYDOUX est retiré du jeu de données pour l'analyse de répartition horizontale des racines, car cette plantation présente une croissance très faible par rapport aux autres. Le développement des systèmes racinaires est donc, lui aussi, très lent. Les photos des systèmes racinaires de cette plantation peuvent de toute façon être trouvées en annexe 7b.

f. Déroulement de l'étude

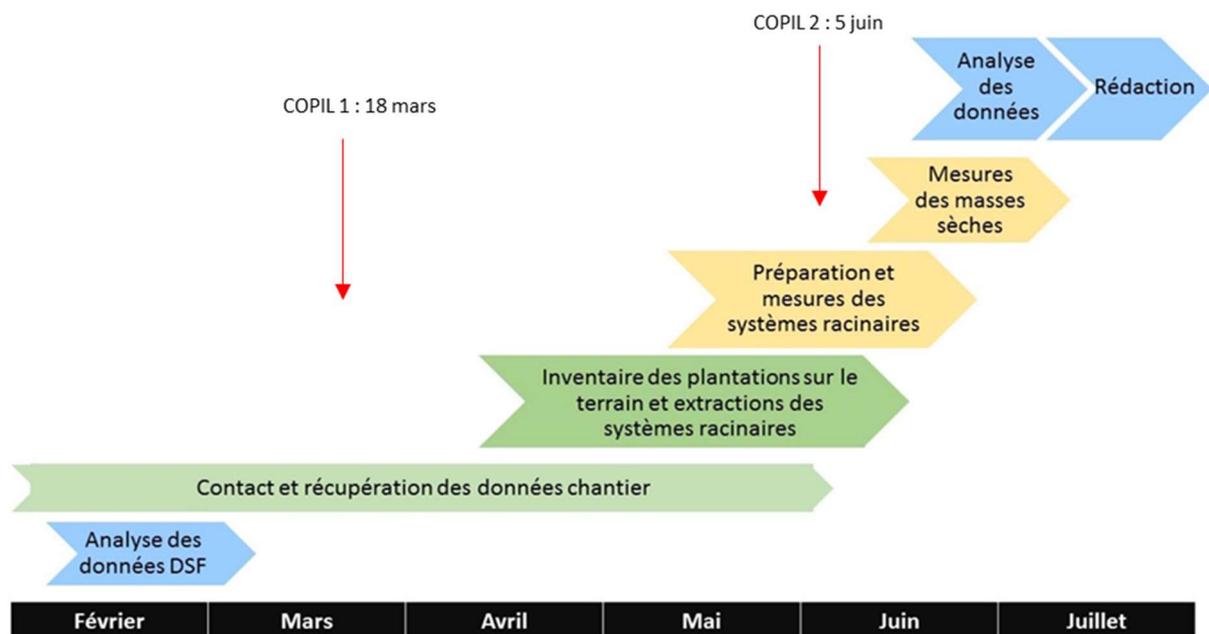


Figure 13 : Déroulement des phases de l'étude dans le temps

La phase de contact des différents acteurs pour identifier les plantations comparatives à étudier a été extrêmement chronophage. Elle a été d'autant plus longue qu'elle s'est déroulée en pleine période de plantation, c'est-à-dire lors du pic d'activité des acteurs du reboisement.

Les premiers chantiers candidats nous ont été fournis par les gros opérateurs à partir de début avril seulement et les chantiers plus confidentiels (experts, ONF) ne nous sont parvenus que très tardivement, le temps que l'information circule et diffuse dans les réseaux des acteurs de la plantation.

De ce fait, l'organisation de la phase de terrain a quelque fois été un peu laborieuse. Celle-ci s'est déroulée de début mai à mi-juin 2019.

Chaque plantation nécessite une journée complète en tenant compte du temps nécessaire au déplacement, aux mesures, et à l'extraction des systèmes racinaires. Pour les chantiers anciens (plantations avant 2016), l'extraction est très chronophage et a pu entraîner une demi-journée supplémentaire de travail. Au total, 27 jours de terrain ont été nécessaires pour caler le protocole et effectuer les mesures et les prélèvements.

Nous n'avons pas pu procéder à l'arrachage de plants pour tous les chantiers, car nous n'avons pas obtenu l'autorisation pour toutes les plantations anciennes. Sur les plantations récentes en revanche, cela n'a jamais posé problème. Nous avons donc pu extraire des plants sur l'ensemble des 7 plantations récentes, et sur 3 des plantations anciennes seulement.

La préparation et l'analyse des systèmes racinaires se sont déroulées au fur et à mesure des inventaires de terrain afin de limiter leur dessèchement et pouvoir les photographier et observer dans le meilleur état possible. Cette préparation, nécessite environ 3 à 4h par chantier à deux personnes.

Enfin, la saisie des données (la prise de données se faisant sur papier sur le terrain) demande une petite heure par chantier à une personne.

III.2 Analyse de l'enquête annuelle du DSF

Depuis la première édition de cette enquête concernant la réussite des plantations, en 2007, **2 164 plantations** de douglas ont été observées sur l'ensemble du territoire

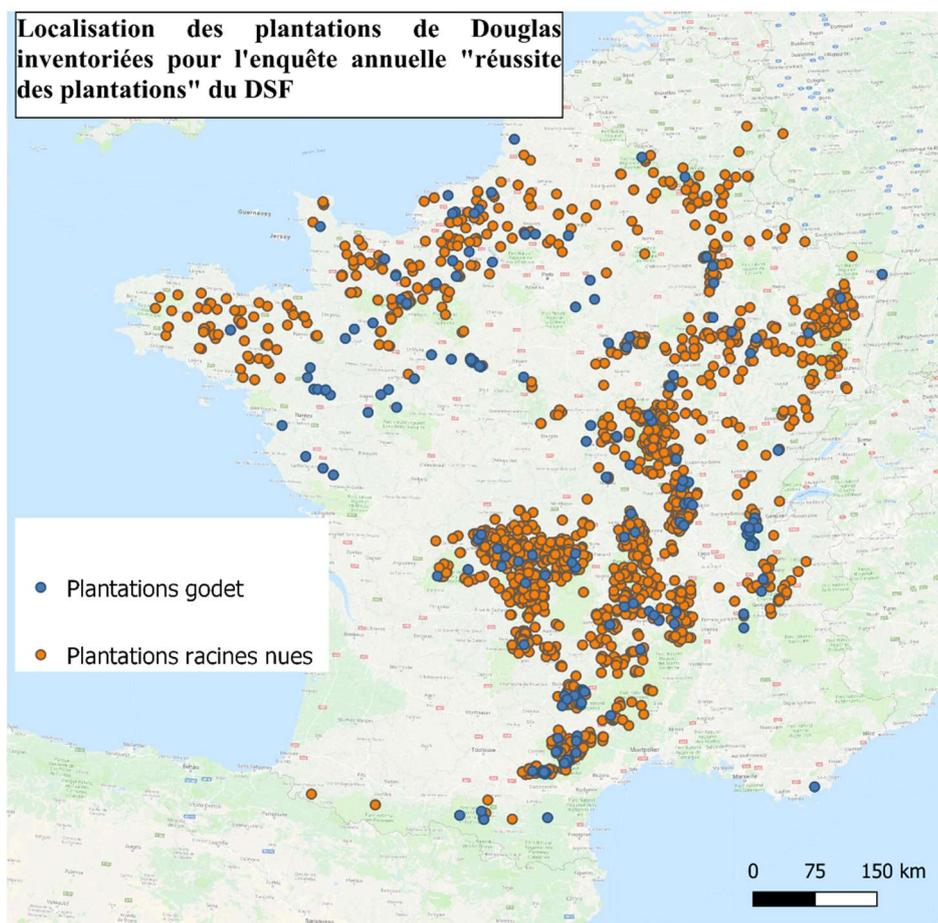


Figure 14 : Localisation des plantations de douglas inventoriées pour l'enquête annuelle "réussite des plantations" du DSF

g. Caractérisation des plantations observées

III.2.1.a Type de plant utilisé

Parmi les plantations observées depuis 12 ans dans le cadre de l'enquête, 9 % ont été réalisées avec des plants en godet ($n = 195$) et 91 % avec des racines nues ($n = 1\,969$). La part relative des plantations en godet a augmenté depuis 2017 et représente, ces dernières années, de l'ordre de 15 % de l'ensemble des plantations de douglas observées (17% en 2018).

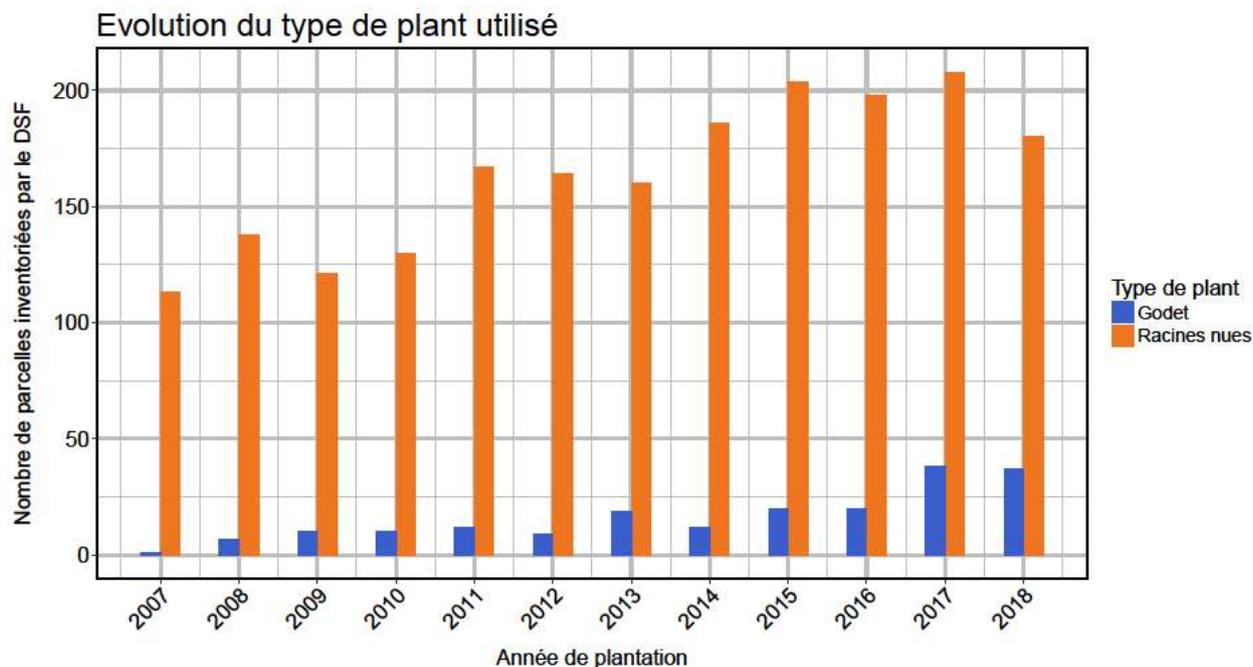


Figure 15 : Evolution des types de plant utilisés dans les plantations observées par le DSF, de 2007 à 2018, n=2164

Notons que ces chiffres et leur évolution sont en cohérence avec ce qui est observé au niveau des ventes de plants (cf. II.1).

Le volume des godets utilisés n'est pas systématiquement noté et n'est renseigné que dans ¼ des cas (soit pour 45 plantations). Précisons que le protocole du DSF ne prévoit le renseignement « volume du godet » que depuis 2014. Les plantations pour lesquelles l'information est disponible ont été réalisées avec des **plants élevés en godets d'une contenance inférieure à 300cc dans 84% des cas** soit 38 plantations.

III.2.1.b Itinéraires techniques de plantation

i Précédent cultural

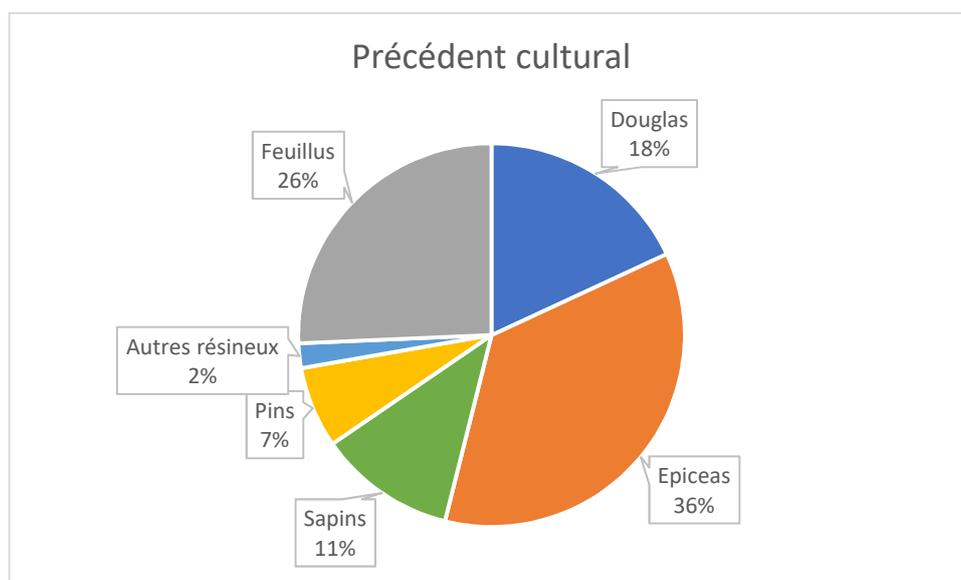


Figure 16 : Essence en place avant le reboisement, n=2164

Les plantations de douglas sont réalisées dans la plupart des cas **après une coupe de résineux**, et notamment, dans 1 cas sur 3, en remplacement de l'épicéa. Les reboisements de douglas sur douglas sont loin de représenter la majorité des reboisements : ceux-ci se font dans la plupart des cas en substitution d'essence.

ii Délai et période de plantation

Plus de la moitié des chantiers (58%) sont réalisés l'année qui suit la coupe et 21% la deuxième année. Dans la grande majorité des cas, les reboisements interviennent donc rapidement après la coupe et seuls 20 % d'entre eux sont réalisés dans un délai supérieur à 2 ans.

Quel que soit le type de plant utilisé, 92% des chantiers de plantation ont été réalisés au printemps, en très grande majorité **aux mois de mars et avril**.

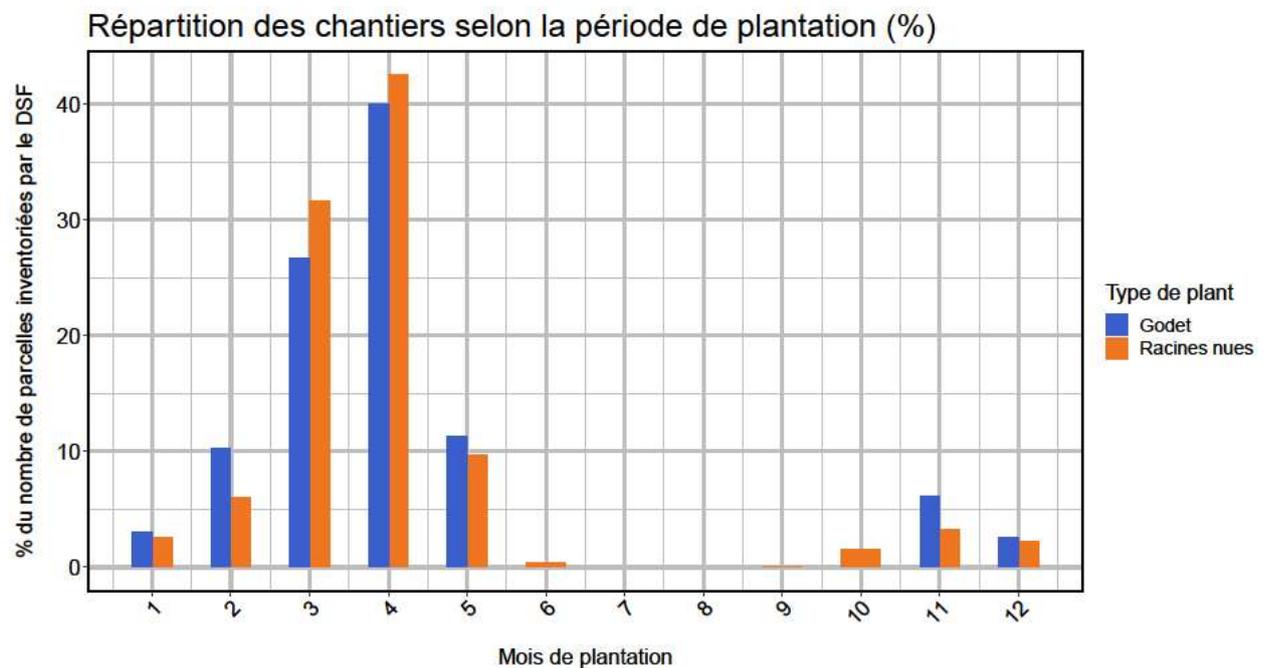


Figure 17 : Répartition des chantiers selon la période de plantation, $n(G)=195$; $n(RN)=1969$

Les données ne révèlent pas une utilisation plus tardive des plants en godets, point que nous a pourtant été signalé à plusieurs reprises. On peut toutefois se demander si les plantations tardives ne sont pas sous-représentées dans l'enquête. En effet, les correspondants-observateurs planifient généralement leur tournée de juin sans avoir forcément tous les éléments pour y inclure les plantations les plus tardives. Celles-ci n'entrent pas dans l'échantillonnage de l'année suivante car elles ne sont plus en « première saison de végétation », comme le prévoit le protocole. Ces plantations tardives sont rares mais pourraient devenir plus fréquentes avec le développement de l'utilisation de plants de douglas élevés en godet.

iii Travaux préparatoires à la plantation

La **mise en andains des rémanents** n'est pas systématique sur les plantations observées. Elle a été réalisée sur près de la moitié des chantiers ayant utilisés des plants en godets (47%) et dans 59% des plantations racines nues.

Un **travail du sol** préalablement à la plantation intervient dans 60% des plantations en godet contre 50% des plantations en racines nues.

Pour mémoire, les cinq catégories de travaux préparatoires du sol définies dans l'enquête sont : le labour, la réalisation de potets travaillés à la pelle, le sous-solage, le travail superficiel du sol et une catégorie « autre travail du sol ». L'importance de chacune d'elles selon le type de plants utilisé est donnée dans le tableau ci-dessous. Précisons que le libellé « potets travaillés à la pelle » n'étant apparu dans l'enquête qu'en 2015, nous n'avons considéré pour cette variable que les 905 plantations observées depuis (790 RN et 115 G).

Tableau 19: Travaux préparatoires à la plantation en fonction du type de plant (données de 2015 à 2018 avec $n(G)=115$ et $n(RN)=790$).

| Préparation du sol | % des plantations de godets pour lesquelles un travail du sol a été réalisé | % des plantations de racines nues pour lesquelles un travail du sol a été réalisé |
|---|---|---|
| Labour | 30% | 4% |
| Potets travaillés à la pelle | 26% | 39% |
| Sous-solage | 51% | 38% |
| Travail superficiel | 1% | 11% |
| Autre travail du sol (non précisé) | 30% | 10% |

N.B : Le total fait plus de 100%, car une plantation peut avoir fait l'objet de plusieurs travaux différents (par exemple, labour puis sous-solage).

Les résultats obtenus sont assez surprenants dans la mesure où ils ne correspondent pas, voire sont en contradiction avec ce que nous ont rapporté les opérateurs avec qui nous avons échangé pour cette étude. Ainsi, il est surprenant de voir apparaître le sous-solage comme pratiqué dans la moitié des plantations en godets (cette opération n'est *a priori* pas pratiquée avec ce type de plant), plus souvent qu'en plantations RN !

Le fait que les catégories de travaux définies dans l'enquête ne sont pas toujours faciles à identifier sur le terrain après plantation pourrait être un élément d'explication. Un autre serait lié aux dénominations utilisées, qui, selon la personne interrogée, recouvrent des travaux différents. Certains peuvent par exemple considérer que la mise en andains avec un rateau andaineur correspond à un travail superficiel du sol et d'autres non. Les termes utilisés gagneraient donc à être clarifiés pour permettre notamment d'observer d'éventuels liens entre l'état sanitaire des jeunes plants et la nature des travaux préparatoires réalisés.

h. Réussite des plantations observées

III.2.1.c Taux de survie et causes de mortalité

Le taux de mortalité moyen de l'ensemble des plantations de douglas observées sur la période 2007-2018 est de **13%**. Il est identique quel que soit le type de plant considéré.

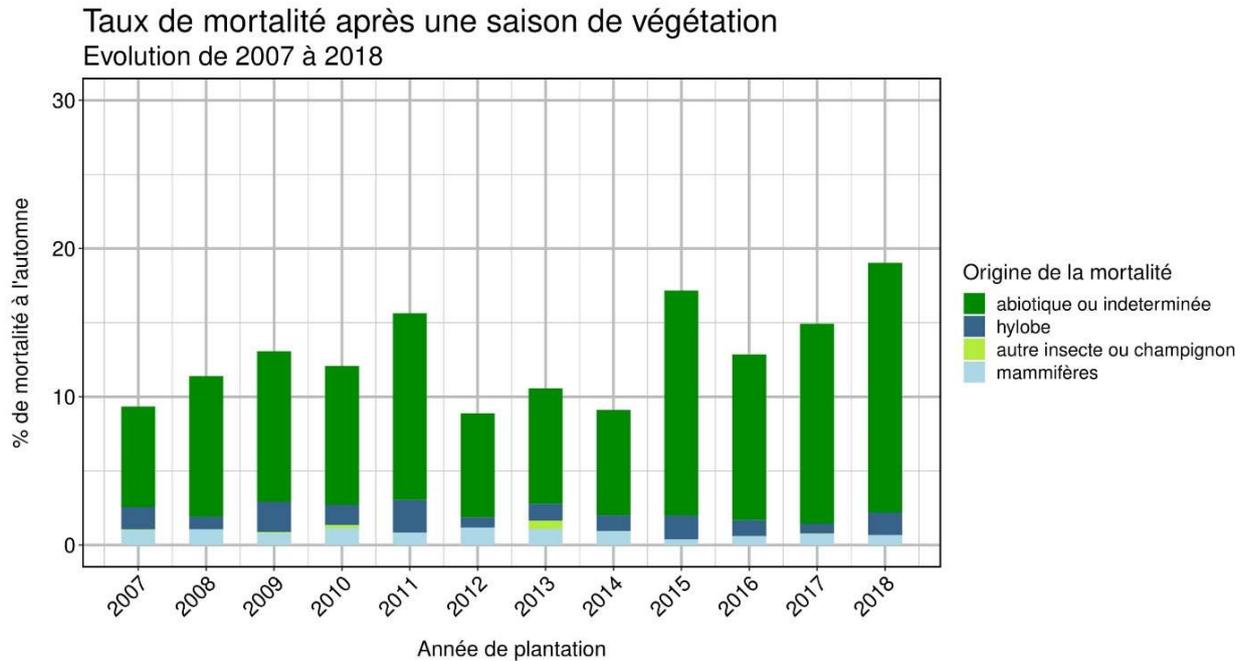


Figure 18 : Evolution du taux de mortalité après une saison de végétation et origines de cette mortalité pour les plantations de douglas observées, de 2007 à 2018. n=2164

La mortalité constatée est très majoritairement imputable à des causes « abiotique, anthropique ou indéterminée » qui sont impliquées dans 83% des cas. Elles sont souvent extrêmement complexes à identifier précisément, il peut s'agir de conditions climatiques difficiles (gel, sécheresse, engorgement), mais aussi des conséquences de mauvaises pratiques (préparation de sol, plantation...), voire d'une combinaison de plusieurs facteurs.

Les mortalités d'origine biotique sont faibles (17%) et sont liées à des attaques d'hylobe dans plus d'un cas sur deux.

Les cas de mortalité causés par d'autres insectes que l'hylobe ou par des champignons sont extrêmement rares. Signalons toutefois, l'attaque de larves de hanneton sur une plantation racines nues réalisée en 2003 dans le Lot qui a décimé 88% des plants observés.

Les frottements ou abrouissements du gibier représentent en moyenne 7% de la mortalité.

La figure suivante détaille les causes de mortalité des plants en distinguant ceux élevés en godets et ceux à racines nues. Dans les deux cas, les causes abiotiques dominent très largement.

Part des différentes causes impliquées dans les cas de mortalité selon le type de plant

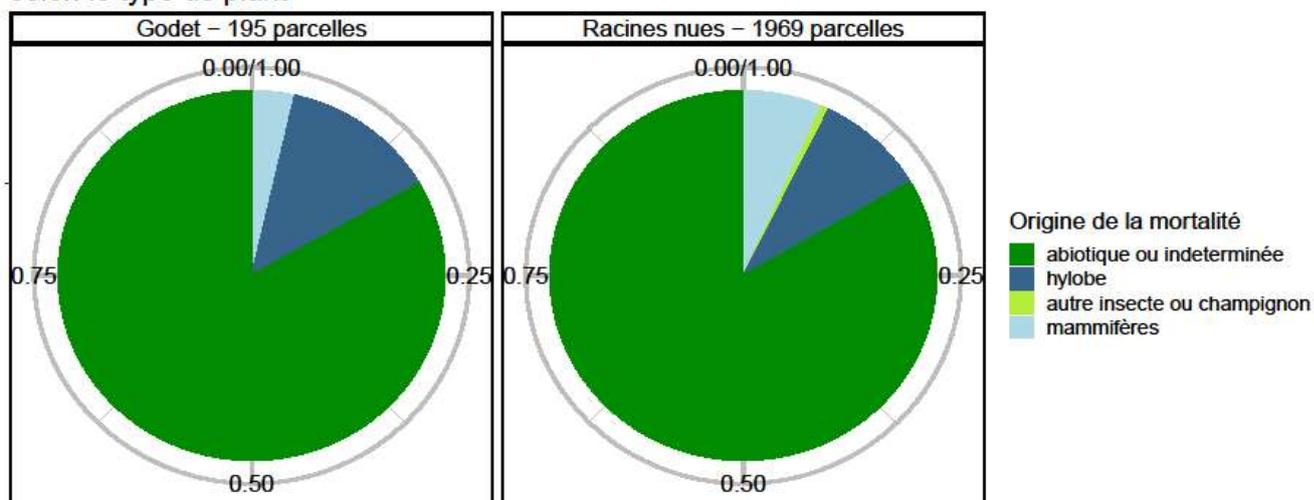


Figure 19 : Origines de la mortalité selon le type de plant, toutes années confondues

La mortalité imputée à l'hylobe est légèrement supérieure chez les plants élevés en godets (13 % contre 9% pour les RN), tandis que celle liée à des dégâts de mammifères est légèrement plus faible (4% contre 7% pour les RN).

En ce qui concerne la répartition géographique des causes de mortalité, deux points ressortent de notre analyse :

- le Massif central- particulièrement les SER des plateaux granitiques ouest du Massif central, le Morvan, les Grands Causses, la bordure nord-est du Massif central et le Haut Languedoc et Lézou-est plus concerné que les autres GRECO par les dégâts d'hylobe : 15 % des mortalités leur sont imputables, alors que ce taux ne dépasse pas 6% ailleurs.
- le Jura semble plus concerné que les autres GRECO par les dégâts de mammifères : 17 % des mortalités leur sont imputables contre 7% ailleurs. Le nombre réduit de plantations observées dans cette GRECO (n= 40 soit 2% du total) incite toutefois à la prudence.

III.2.1.d Focus sur les dégâts liés à l'hylobe

En plus des résultats concernant les plants morts du fait des morsures d'hylobes présentés ci-dessus, il nous a semblé pertinent d'analyser plus finement les données de l'enquête et de considérer également les dégâts infligés aux plants vivants.

Ainsi, les plantations dans lesquelles des morsures étaient observées sur un ou plusieurs plants ayant ou non entraîné la mort de ce(s) plants, ont été considérées comme « attaquées » par l'hylobe. Elles représentent 37% du nombre de plantations observées depuis 12 ans soit **plus d'une plantation sur 3**.

Sur les parcelles attaquées, afin de mieux appréhender l'importance de l'attaque de l'insecte, ont été définies deux catégories selon la proportion de plants concernés par les dégâts ; le seuil a été fixé à 20%.

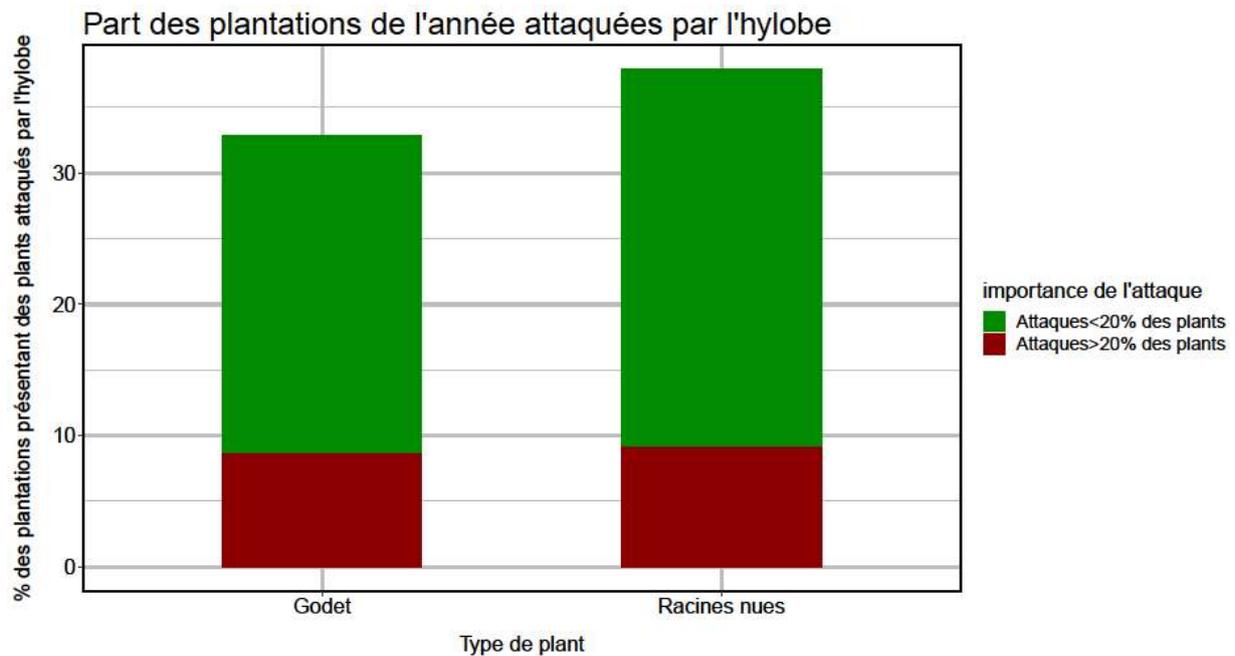


Figure 20 : Part des plantations de l'année attaquées par l'hylobe selon le type de plant, toutes années confondues $n(G)=195$; $n(RN)=1969$

La proportion de plantations attaquées par l'hylobe est peu différente (Fig.20) qu'elles aient été réalisées avec des plants en godet ou à racines nues (**33% et 38%** respectivement). Quel que soit le type de plant, les fortes attaques concernent 9% des plantations.

Par ailleurs, quel que soit le type de plant, **5 % environ des plants sont attaqués par l'hylobe** (Fig.21). Dans la plupart des cas, l'attaque n'entraîne pas la mort du plant.

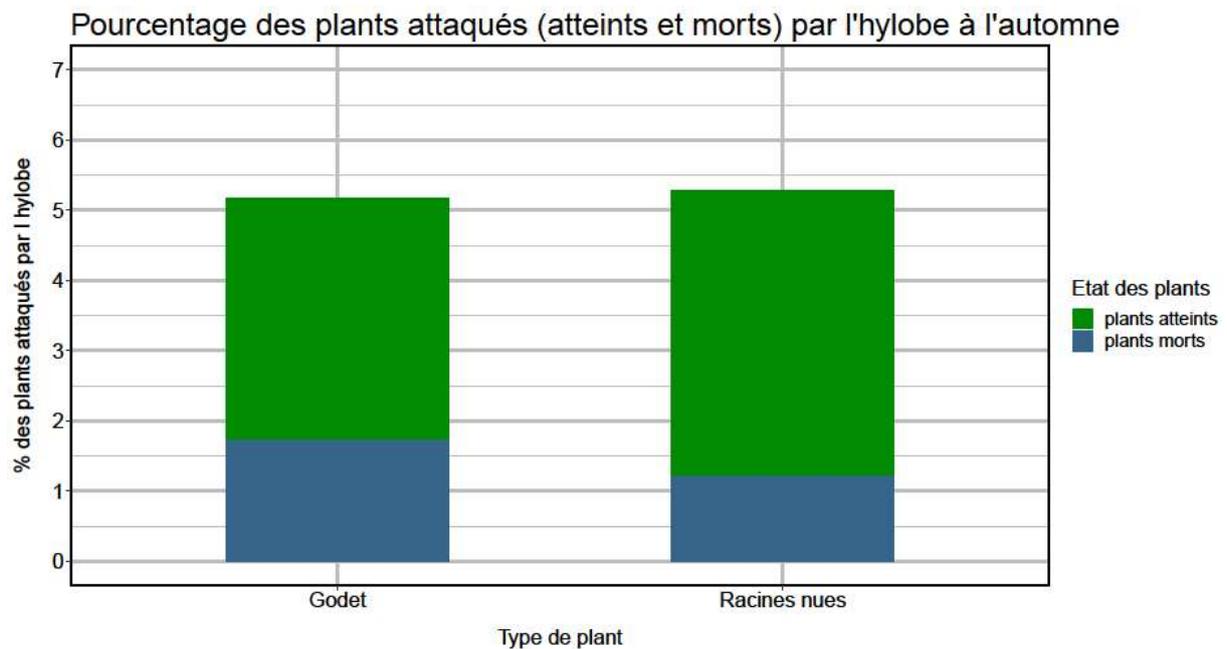


Figure 21 : Proportion de plants attaqués par l'hylobe en fonction du type de plant, toutes années confondues, $n(G)=195$; $n(RN)=1969$

La proportion de morts suite à des morsures d’hylobe est plus importante pour les plants en godet que pour les plants en racines nues (34% des plants en godets attaqués par l’hylobe en sont morts, contre 23% des racines nues). Ce résultat est vraisemblablement lié au plus faible diamètre des jeunes plants en godets.

III.2.1.e Focus sur les mortalités d'origine abiotique ou indéterminée

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux plantations présentant un taux de mortalité d'origine abiotique ou indéterminée supérieur ou égal à 20%. Elles représentent **17%** des 2 164 plantations de douglas observées sur la période 2007-2018.

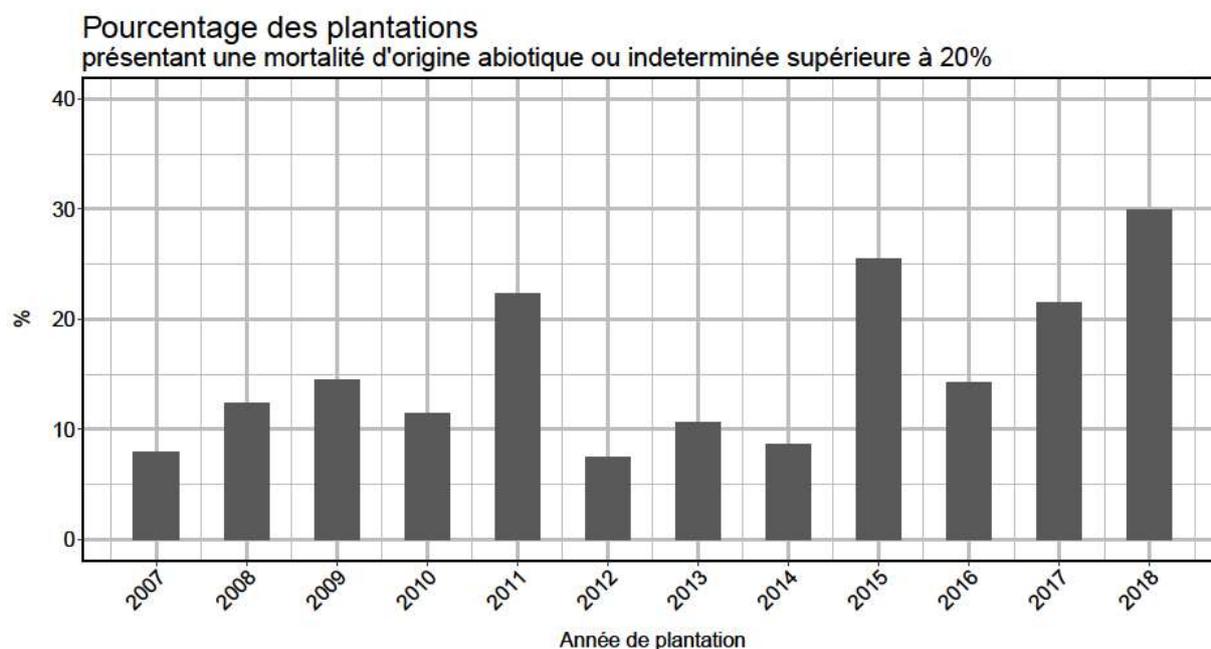


Figure 22 : Evolution de la part des plantations présentant une mortalité d'origine abiotique ou indéterminée supérieure à 20%, de 2007 à 2018. n=2164

Comparativement aux autres années, ces plantations ont été particulièrement nombreuses en **2018** où elles ont représenté 30 % des chantiers observés cette année-là, et -par ordre d'importance décroissante- **2015, 2011 et 2017**.

L'importance des dégâts abiotiques de ces années a également été enregistrée par d'autres espèces, ce qui témoigne d'évènements climatiques défavorables (O. Baubet, comm. pers.). Ainsi, en 2011, le printemps a été chaud et sec ; 2015 fut une année chaude et ensoleillée à faibles précipitations, avec une sécheresse exceptionnelle des sols sur la moitié nord de la France de mai à juillet. En 2017, les températures printanières et estivales étaient supérieures aux normales de saison et le déficit en précipitations fort. 2018 a été marquée par une forte chaleur estivale : à l'écriture de ce rapport, c'est l'année la plus chaude depuis le début du 20^{ième} siècle, présentant 9 mois chauds consécutifs d'avril à décembre. Les précipitations ont été très contrastées géographiquement puisque la sécheresse était prononcée dans le nord / nord-est, et au contraire les pluies ont été abondantes sur le pourtour méditerranéen. (Source : météo France).

Afin d'examiner la répartition géographique des forts dégâts d'origine abiotique ou indéterminée, nous avons organisé les données par GRECO. Elles concernent les 12 années de l'enquête.

Tableau 20 : % des plantations observées présentant une mortalité d'origine abiotique ou indéterminée supérieure à 20%, par GRECO

| GRECO | Code GRECO | Nombre d'observations effectuées par le DSF depuis 2007 | Pourcentage des plantations observées présentant une mortalité d'origine abiotique ou indéterminée supérieure à 20% |
|-------------------------------------|------------|---|---|
| Massif Central | G | 1355 | 12% |
| Centre Nord semi-océanique | B | 259 | 26% |
| Grand Est semi-continentale | C | 226 | 34% |
| Grand ouest cristallin et océanique | A | 135 | 18% |
| Vosges | D | 101 | 18% |
| Jura | E | 40 | 13% |
| Alpes | H | 21 | - |
| Pyrénées | I | 11 | - |
| Sud-Ouest océanique | F | 2 | - |
| Méditerranée | J | 1 | - |

Les mortalités liées à des dégâts abiotiques et indéterminés sont le plus élevés dans la GRECO C « Grand Est semi-continentale » avec 1 plantation de douglas de cette zone sur 3 particulièrement touchée. Cette proportion est de 1 plantation sur 4 pour la GRECO B « Centre Nord semi-océanique ». Le Massif central (GRECO G) présente la proportion la plus faible, en particulier dans les SylvoEcoRégions situées au "cœur" du massif central (G30 – Massif central volcanique, G13 – Plateaux limousins, G21 – Plateaux granitiques ouest du Massif central, G22 – Plateaux granitiques centre du Massif central), dans une zone où le douglas est très largement utilisé.

III.2.1 Conclusion

Les résultats de l'analyse de données récoltées dans le cadre de l'enquête annuelle du DSF sur la réussite des plantations sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : Bilan des résultats obtenus par l'analyse de l'enquête annuelle du DSF

| | | Godets (tous volumes) | Racines nues |
|--|---|------------------------------|---------------------|
| Nombre de plantations observées depuis 12 ans | | 195 | 2164 |
| Taux de reprise | | 87% | 87% |
| Causes de Mortalité | Mortalité liée à des causes abiotiques ou indéterminées | 83% | 83% |
| | Mortalité causée par les mammifères | 4% | 7% |
| | Mortalité causée par l'hylobe | 13% | 9% |
| % de plantations attaquées par l'hylobe | | 33% | 38% |
| % de plantations fortement attaquées par l'hylobe (Plus de 20% des plants) | | 9% | 9% |
| % de plants attaqués par l'hylobe | | 5% | 5% |
| % des plants attaqués par l'hylobe pour lesquels l'attaque entraîne la mort du plant | | 34% | 23% |

Les **taux de reprise** des plantations utilisant des plants racines nues ou des plants en godets sont **identiques**.

Les dégâts liés à l'hylobe concernent 5% des plants quel que soit le mode d'élevage considéré mais ces attaques entraînent davantage de mortalité chez les plants en godets que chez les plants racines nues.

III.3 Evaluation de 14 plantations comparatives

Après une longue phase de prospection et de sélection, 14 plantations comparatives se sont révélées pertinentes pour évaluer les performances de douglas élevés en godets <300cc comparativement à celles de plant racines nues. Ces performances ont été évaluées sur plus de 1 000 plants de chaque type en termes de taux de reprise, de croissance et de développement mais aussi de stabilité et de sensibilité à des agents biotiques (hylobe et herbivores en particulier). Elles ont également été appréciées en observant le système racinaire d'une centaine de plants.

i. Survie

III.3.1.a ...un an après plantation

Le taux de survie après la première saison de végétation ou taux de reprise a été mesuré pour les 7 plantations réalisées en 2018. Il est toujours supérieur à 80% (moyenne de **89%**)

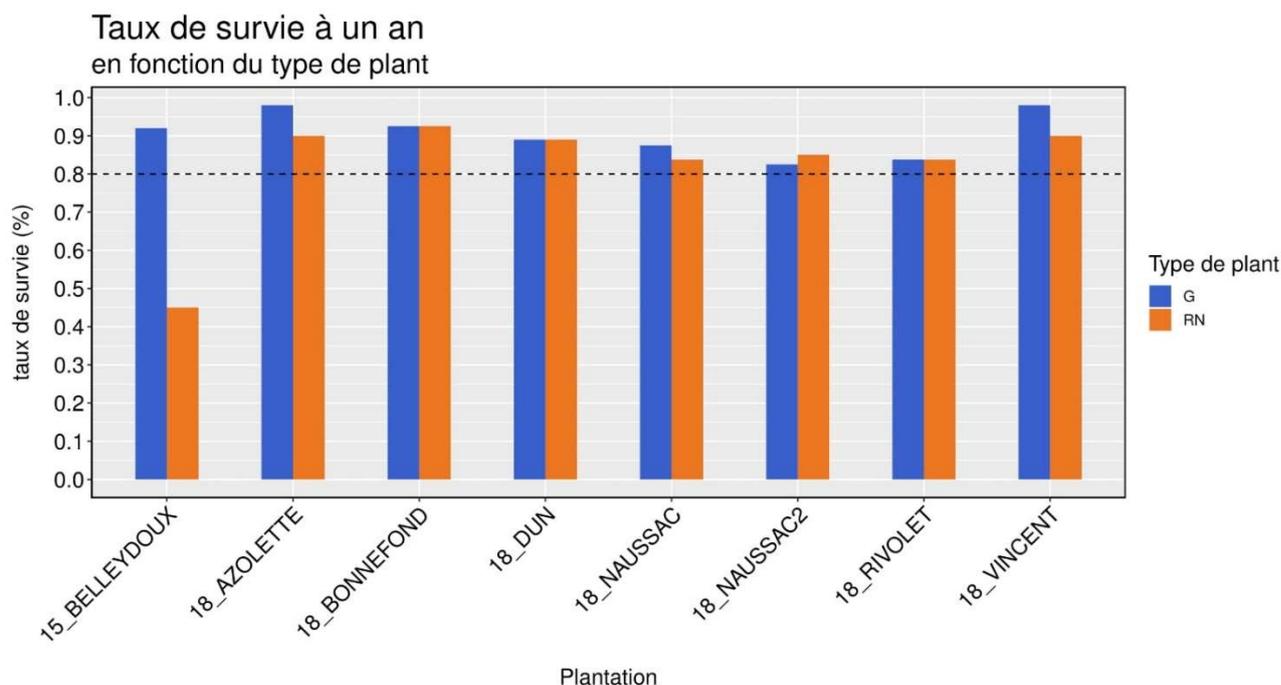


Figure 23 : Taux de reprise par plantation et type de plant

Pour les plantations plus anciennes, l'information précise n'était pas disponible à l'exception de la plantation installée en 2015 dans le Bugey (15_BELLEYDOUX) qui avait fait l'objet de comptages et que nous avons intégrée dans le graphique ci-dessus.

Dans cette plantation, atypique (plantation sous couvert, sur calcaire), moins de la moitié des racines nues ont survécu à la première saison de végétation qui a été plus sèche qu'habituellement selon son gestionnaire, alors que le taux de reprise des plants en godets dépassait 90%.

Pour les autres plantations « anciennes », bien que nous ne disposions pas du taux de reprise précis par type de plants, les informations concernant les regarnis éventuels (Tab.20), nous permettent d'apprécier leur réussite globale. Le pourcentage de plants comptés comme vivants est en moyenne de **84%** pour ces plantations, et ne descend pas en dessous de 70%.

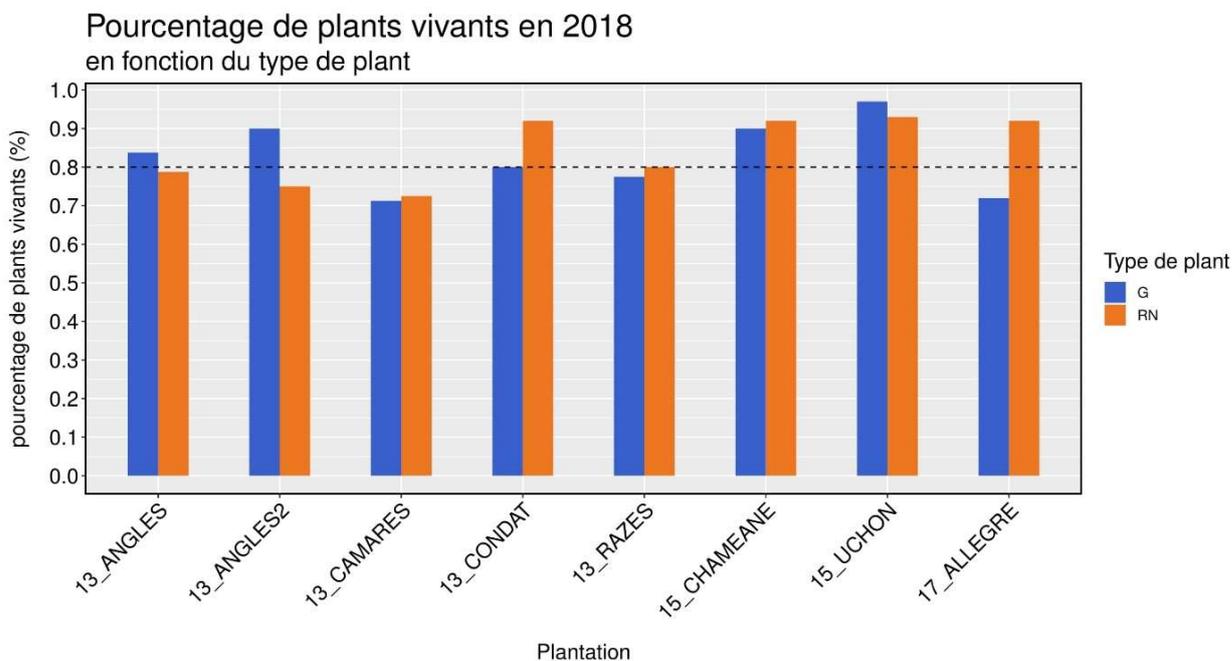


Figure 24 : Pourcentage de plants vivants en 2018 en fonction du type de plant pour les plantations "anciennes", n=8

Pour 4 d'entre elles (13_CAMARES, 13_RAZES, 15_UCHON, 17_ALLEGRE), aucun regarni n'a été fait tandis que 5 % de plants ont été réinstallés sur les 3 autres (13_ANGLES, 13_CONDAT, 15_CHAMEANE).

A Camarès, les dégâts de gibier étaient importants et expliquent sans doute que le pourcentage de plants vivants soit plus faible que les autres plantations. La plantation de 17_ALLEGRE a été particulièrement touchée par l'hylobe malgré un traitement aux néonicotinoïdes. Elle avait été réalisée directement après coupe d'épicéa. Les plants en godet ont été plus atteints que les plants en racines nues sur cette plantation, probablement liés à des dégâts d'hylobe plus importants (cf. III.3.5.b).

j. Hauteur et diamètre

La figure suivante montre que, dans la quasi-totalité des plantations les plus récentes, les plants élevés en godets sont plus petits que ceux racines nues en 2018.

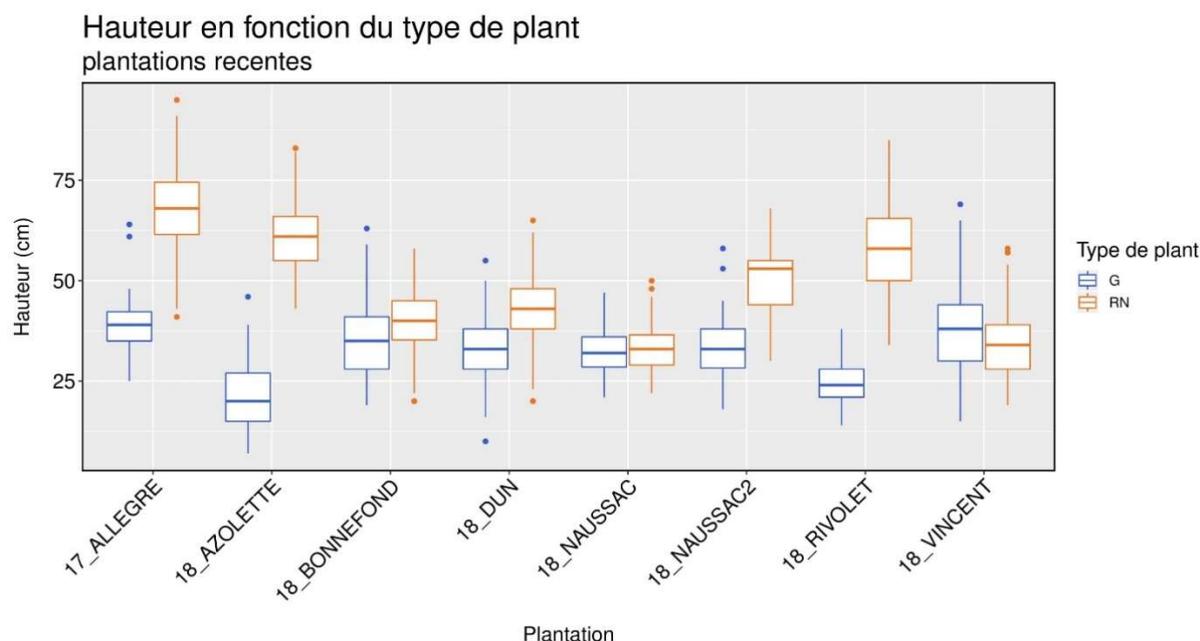


Figure 25 : Hauteur en fonction du type de plant pour les plantations récentes (n=8)

En revanche, dans la quasi-totalité des plantations les plus anciennes âgées installées depuis 6 ans, les deux types de plants ont des hauteurs très proches voire identiques.

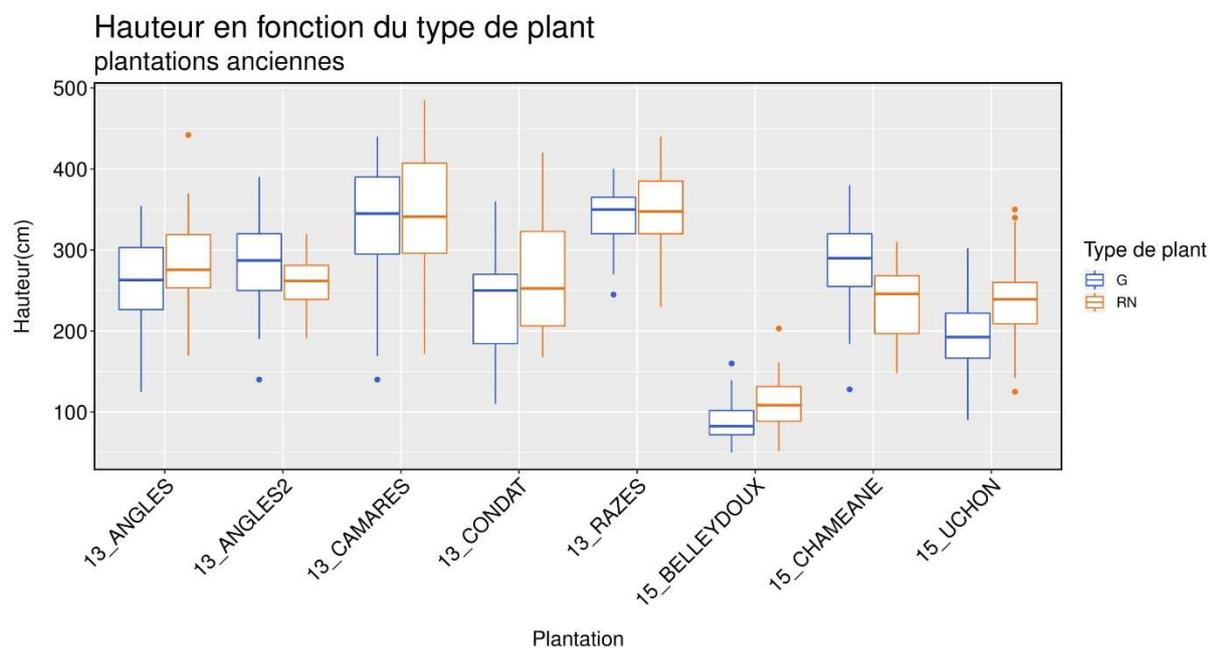


Figure 26 : Hauteur en fonction du type de plant pour les plantations anciennes (n=8)

Les résultats sont similaires pour le diamètre : les plants en godet ont un diamètre inférieur à celui des plants RN dans les jeunes plantations, et très proche dans les plus anciennes (figures en annexes 6a et 6b).

Ces résultats ont été confirmés statistiquement (cf. III.1.3.d.ii) et le tableau ci-dessous présente les moyennes ajustées et les intervalles de confiance calculés par le modèle pour ces deux variables.

Tableau 22 : Moyennes ajustées et intervalles de confiance calculés par les modèles mixtes, en fonction du type de plant

| Variable | Plantations considérées | Racines Nues | Différence Godets-Racines nues |
|-----------------|-------------------------|------------------------------|--|
| Hauteur | Plantations récentes | 48.6cm, IC=[41.6;55.6] | -16.6cm, IC=[-26.5;-6.6] Soit 34% de moins en moyenne |
| | Plantations anciennes | 261.7cm, IC=[183.0;340.4] | -17.6cm, IC=[-33.0;-2.2] Soit 7% de moins en moyenne |
| Diamètre | Plantations récentes | 14.4mm IC=[11.8;16.9] | -3.3mm IC=[-4.8;-1.7] Soit 23% de moins en moyenne |
| | Plantations anciennes | 33.6mm IC=[19.5;47.8] | -3.0mm IC=[-6.9;0.8] Soit 9% de moins en moyenne |

Dans les plantations récentes, qui n'ont qu'une ou deux années de croissance, les plants en godets ont une hauteur inférieure d'un tiers en moyenne à celle des plants RN. Il faut rappeler, qu'à la plantation, cette différence existe déjà, puisque les plants en godet mesurent en général entre 20 et 40 cm contre 30 à 60 cm pour les RN.

Cependant lors de la première saison de végétation, les accroissements sont généralement plus importants pour les godets que pour les racines nues (S. Girard, comm. pers.). Cette variable n'a pas été mesurée dans le cadre de cette étude, toutefois sur la plantation de 18_DUN, elle a été relevée pour une dizaine de plants de chaque type pris au hasard : elle est en moyenne de 5.8cm pour les racines nues contre 12.7cm pour les godets, soit plus de deux fois supérieure.

Afin de comparer la dispersion autour de la moyenne pour le diamètre et la hauteur des deux types de plant, on utilise le coefficient de variation (grandeur sans unité, qui correspond à l'écart type divisé par la moyenne) (Tableau ci-dessous).

Tableau 23 : coefficients de variation moyens des hauteurs et diamètres par type de plant

| | G | RN |
|--------------------|----------|-----------|
| Cv Hauteur | 0.24 | 0.20 |
| Cv Diamètre | 0.27 | 0.25 |

Les coefficients de variation des deux types de plant sont très proches, même s'ils sont légèrement plus élevés pour les godets.

III.3.2 Défauts de forme

Dans toutes les plantations étudiées, des plants présentent des défauts de forme. La proportion de chacun est détaillée par type de plants ci-dessous :

Tableau 24 : Pourcentage moyen des plants touchés par chaque défaut, sur les plantations où le défaut a été observé

| Défaut | RN | G | Nombre de plantations présentant le défaut |
|-----------------|-----|-----|--|
| Défaut de tête | 9% | 10% | 15 |
| Baïonnette | 10% | 11% | 12 |
| Courbure basale | 12% | 7% | 13 |

La proportion moyenne de plants présentant des défauts de tête ou des baïonnettes sont identiques pour les deux types de plants. En revanche, les courbures basales semblent se rencontrer plus souvent chez les plants RN ; la proportion restant néanmoins relativement faible (12%).

k. Stabilité

Les plants instables qui ont été repérés, se trouvent essentiellement dans les plantations les plus anciennes installées en 2013 et 2015. Leur hauteur est en moyenne de 225cm (n=86), légèrement inférieure à la valeur moyenne. En général, les plants plus jeunes sont plus petits, ont moins de prise au vent et sont plus rarement touchés.

Tableau 25 : Pourcentage de plants instables dans les plantations par type de plant

| | RN | G | Nombre de plantations présentant des plants instables |
|--|-----|-----|---|
| % de plants présentant une instabilité (écart à la verticalité et/ou zone de jeu autour du collet) | 15% | 10% | 8 (toutes les plantations anciennes) |

Dans les plantations concernées par le phénomène, moins de 20 % des plants sont instables et aucune différence marquante n'est observée entre les deux types de plant. Les plants présentant un écart à la verticalité ne sont, pour la plupart (80%), que « peu » penchés, c'est-à-dire présentent entre 5 et 20° d'écart à la verticale. Seulement 6% présentent un écart de plus de 45°.

Les 2 variables « Ecart à la verticalité » et « Zone de jeu autour du collet » sont corrélées puisque 1 plant présentant une zone de jeu sur 3 est également penché.

Parmi les plantations présentant des plants penchés, 5 ne sont pas en pente. L'écart à la verticalité des plants n'est donc pas majoritairement lié à la pente : il peut être lié au vent, au gibier, à la neige...



Figure 27 : Plant penché et présentant une zone de jeu autour du collet sur terrain plat, 13_ANGLES. Photo : S.Girard, CNPF

Figure 28: Plant non penché et présentant une zone de jeu autour du collet sur terrain plat, 13_ANGLES. Photo : L.Veuillen, CNPF



I. Dégâts d'origine biotique

III.3.2.a Le gibier

Des traces de frottis ou d'abroustissement sont présentes sur toutes les plantations, mais ne touchent qu'un faible nombre de plants (8%). Aucune différence n'apparaît selon le type de plant (Tab.28).

Tableau 26 : Pourcentage moyen des plants atteints par le gibier sur les plantations où des dégâts ont été observés.

| | RN | G | Nombre de plantations présentant des dégâts |
|---------------|----|----|---|
| Gibier | 8% | 7% | 15 |

Sur l'ensemble des plants impactés par le gibier, 6% en sont morts et 11%, gravement atteints, ne survivront sans doute pas à court terme.

III.3.2.b L'hylobe

Des dégâts liés à des morsures d'hylobe ont été observés dans 4 des 7 plantations récentes que nous avons étudiées : 18_AZOLETTE située dans la Loire, 18_DUN dans la Nièvre, 18_BONNEFOND en Corrèze et 17_ALLEGRE en Haute Loire. Les 3 dernières ont été installées après coupe d'épicéas, la première après coupe de douglas. Toutes ont été réalisées avec des plants (RN et godets) traités avec des néonicotinoïdes (Merit® ou Suxon®) (Tab.16 et 17).

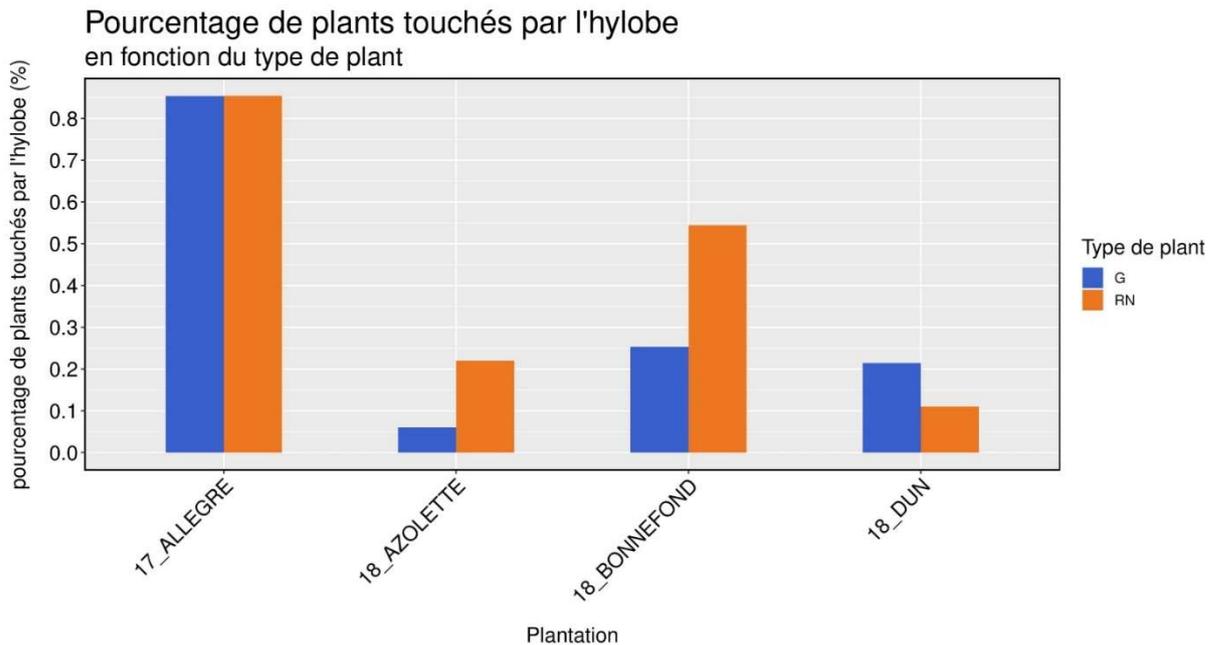


Figure 29 : Pourcentage de plants touchés par l'hylobe en fonction du type de plant. A analyser au regard des Fig. 23 & 24.

Les plantations 17_ALLEGRE et 18_BONNEFOND ont été les plus touchés avec respectivement 85% et 40% des plants attaqués. Précisons que la plantation 17_ALLEGRE avait eu lieu directement après la coupe des épicéas, deux ans après pour 18_BONNEFOND. Ces morsures n'ont entraîné la mort du plant avec certitude (plant mort présentant beaucoup de morsures) que pour 5% des plants. La même proportion présente de graves dégâts et ne survivra sans doute pas à court terme.

Les plantations 18_AZOLETTE et 18_DUN ont subi des attaques moins fortes avec respectivement 14% et 16% des plants touchés.

Aucun dégât n'a été noté sur les plantations plus âgées, habituellement moins concernées par des attaques.



Figure 30 : Morsures d'hylobe sur la cime d'un jeune plant entraînant la sécheresse de la cime,, 17_ALLEGRE. Photo : L.Veuillen, CNPF

Dans le cas de la forte attaque subie par la plantation 17_ALLEGRE, la proportion de plants touchés est identique quel que soit le type de plant considéré. Dans le cas d'attaques plus modérées, la tendance n'est pas nette.

m. Analyse des systèmes racinaires

Contrairement au système aérien, le système racinaire des plants présente une organisation irrégulière et fortement influencée par les caractéristiques physiques et chimiques du sol (présence et taille de cailloux, structure, texture, humidité...). Cela entraîne une très grande variabilité de sa morphologie et rend extrêmement complexe son étude. Au cours de cette étude, 104 systèmes racinaires ont été observés.

III.3.2.c Importance relative des parties aérienne et racinaire

Pour mémoire, les masses sèches des parties aérienne et racinaire ont été mesurées sur les 5 plants de chaque type déterrés dans chaque plantation récente (soit 80 échantillons au total). La partie racinaire en question était présente dans un cube de sol de 30 x 30 x 30 cm environ.

Tableau 27 : Hauteur, Diamètre, masses sèches des parties racinaire et aérienne et Rapport moyen de la masse sèche racinaire sur celle de la partie aérienne par plantation en fonction du type de plant, n=104

| Code plantation | Hauteur moyenne (cm) | | Diamètre moyen (mm) | | Masse sèche racinaire moyenne (g) (plantations récentes) | | Masse sèche aérienne moyenne (g) (plantations récentes) | | Rapport moyen de la masse sèche racinaire sur celle de la partie aérienne (plantations récentes) | |
|----------------------|----------------------|--------|---------------------|-------|--|-------|---|-------|--|------|
| | RN | G | RN | G | RN | G | RN | G | RN | G |
| 13_RAZES | 359,33 | 337,00 | 93,00 | 76,33 | non mesuré | | | | | |
| 15_BELLEYDOUX | 114,40 | 100,80 | 23,20 | 18,40 | | | | | | |
| 15_UCHON | 237,50 | 211,75 | 41,75 | 45,25 | | | | | | |
| 17_ALLEGRE | 86,00 | 47,60 | 18,60 | 13,60 | 35,50 | 15,76 | 141,80 | 51,72 | 0,25 | 0,33 |
| 18_AZOLETTE | 71,40 | 27,40 | 12,40 | 8,20 | 16,00 | 3,23 | 39,70 | 10,58 | 0,40 | 0,40 |
| 18_BONNEFOND | 53,20 | 39,80 | 15,20 | 9,40 | 31,96 | 7,18 | 58,24 | 15,56 | 0,54 | 0,48 |
| 18_DUN | 47,00 | 40,00 | 10,20 | 9,60 | 9,76 | 9,84 | 22,42 | 24,76 | 0,46 | 0,39 |
| 18_NAUSSAC | 43,60 | 41,00 | 10,20 | 8,40 | 15,30 | 9,32 | 26,70 | 12,32 | 0,58 | 0,81 |
| 18_NAUSSAC2 | 59,00 | 45,20 | 10,60 | 9,60 | 11,06 | 6,20 | 25,36 | 9,62 | 0,45 | 0,64 |
| 18_RIVOLET | 69,20 | 26,80 | 11,60 | 7,80 | 12,62 | 4,02 | 46,52 | 18,46 | 0,27 | 0,29 |
| 18_VINCENT | 35,60 | 46,40 | 10,40 | 12,60 | 15,44 | 13,54 | 22,06 | 33,92 | 0,72 | 0,44 |

Les masses sèches des parties aériennes et racinaires des RN sont en moyenne plus de deux fois supérieures à celles des G (Tab. 29).

Le rapport de la masse sèche racinaire sur la masse sèche aérienne diffère très peu en fonction du type de plant : 0.47 en moyenne pour les godets contre 0.46 pour les racines nues (Tab. 29, Fig.31).

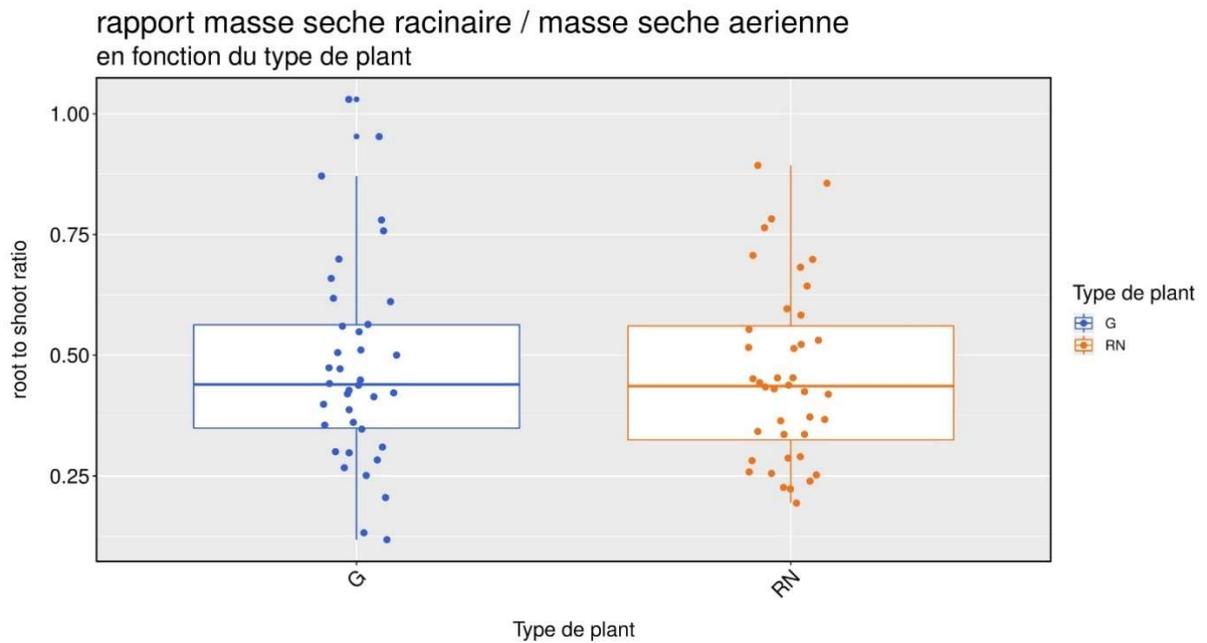


Figure 31 : masse sèche racinaire / masse sèche aérienne en fonction du type de plant. Un point correspond à la valeur d'un système racinaire détérré n=80

A titre indicatif, nous avons également mesuré ce ratio sur quelques plants sortant de pépinière : il est de 0.47 pour les godets et de 0.7 pour les racines nues. Les caractéristiques de ces plants se trouvent en annexe 8. Les plants racines nues ont donc, avant plantation, une proportion de racines plus importante que les plants en godets. Cette différence se gomme après quelques années de plantation.

III.3.2.d Déformations des systèmes racinaires

Aucun des 104 systèmes racinaires extraits ne présentait de défaut de type « cage à oiseaux » ou de rotule (cf. Fig.9). Mais, dans toutes les jeunes plantations, nous avons observé des plants dont le système racinaire était déporté sur un côté en forme de J ou L voire « plié » vers le haut (cf. photos). Cela a concerné **14%** des racines nues observées contre **3%** des godets.



Figure 32: Exemples de plants ayant une forte déformation de leur système racinaire : le plant de gauche était en godet, les autres, racines nues. Tous ont été plantés en 2018. Ils sont à la même échelle, alignés sur le niveau du sol (étiquette bleue). Photos : S.Girard, CNPF

Comme nous avons repéré sur les plants le sens de plantation, nous avons pu constater que ces déformations étaient souvent mais pas systématiquement orientées selon cette direction. La présence de gros cailloux dans les 30 premiers centimètres du sol étaient également à l'origine de déformations.

III.3.2.e Distribution horizontale des racines

Le fait de développer des racines de façon équivalente dans toutes les directions est un gage de stabilité future pour un plant. Afin de quantifier cela, nous avons donc défini des indices de distributions des racines autour de l'axe du collet (cf. III.1.3.b.iv). La figure 34 présente, par année de plantation et pour tous les plants extraits, le nombre de plants présentant les différents indices de distribution (pour mémoire, l'indice 1 correspond à un système racinaire développé dans un seul quart alors que 4 correspond à un développement dans toutes les directions, sur les 4 quarts).

Pour les plantations de 2018, les plants qui ont des racines dans toutes les directions (indice 4) à 10 cm de la tige sont un peu plus nombreux chez les G que chez les RN (7 contre 4). La tendance est inverse pour les indices les plus faibles (1&2) dont on peut penser qu'ils augmentent les risques d'instabilité : 10 chez les RN contre 7 chez les G. Ce résultat est probablement à relier aux résultats présentés dans le paragraphe précédent et à la présence plus fréquente de déformations chez les RN dans ces jeunes plantations.

Parmi les plants (n=14) que nous avons arrachés dans des plantations âgées de 4 & 6 ans, un seul présentait une distribution déséquilibrée (cf. Fig. 33). Par ailleurs, aucun élément ne permettait de distinguer les plants G des RN.

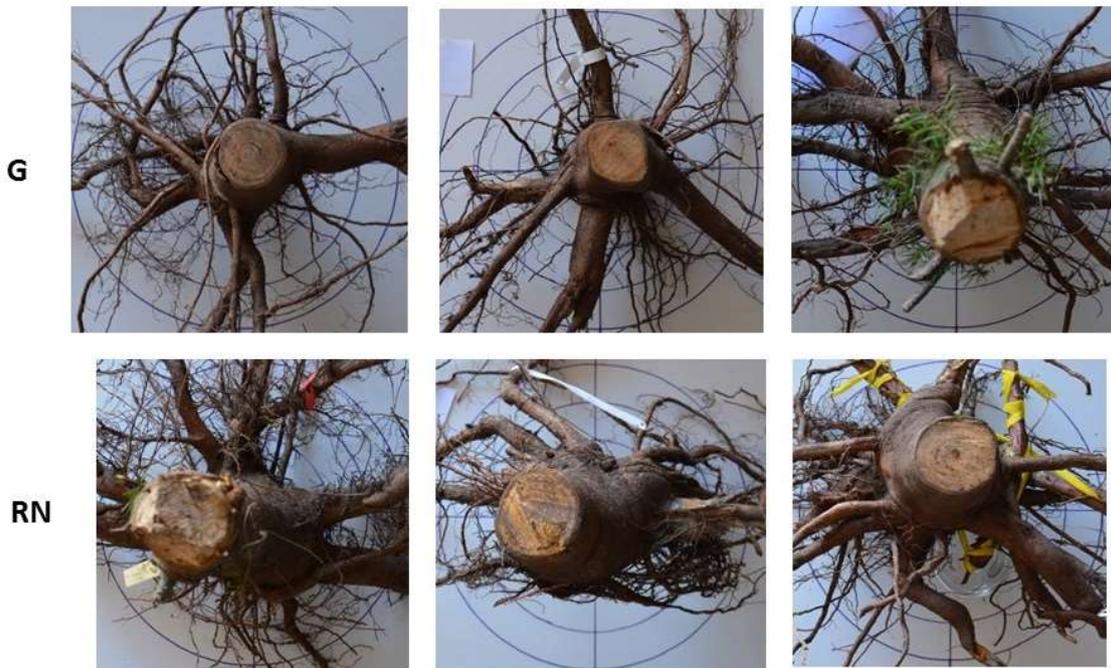


Figure 33 : Vue des systèmes racinaires les plus vieux que nous avons arrachés à 13_RAZES, le plant RN situé au milieu a développé son système racinaire dans une même direction (indice 2 de distribution spatiale horizontale). Photos : S.Girard, CNPF

Figure 34: Effectif par note de distribution horizontale. En abscisse : Rayon considéré autour de l'axe de la tige (cm). En ordonnée : Année de plantation et nombre de systèmes racinaires étudiés (n). En bleu : plants en godets, en orange : plants en racines nues.

2013
n=6

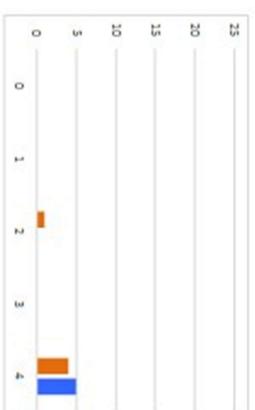
5 cm



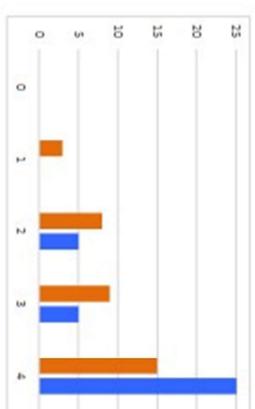
2015
n=8



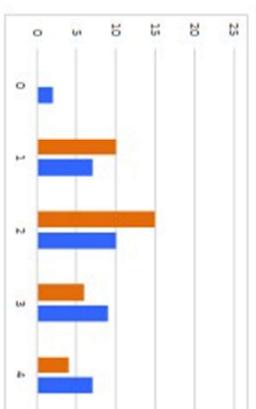
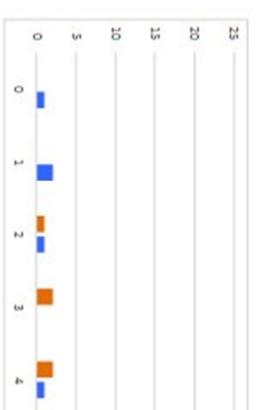
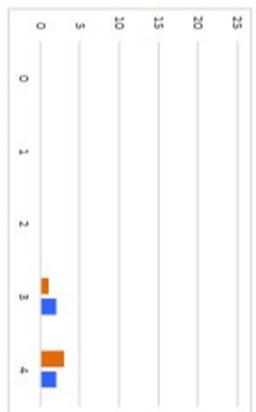
2017
n=10



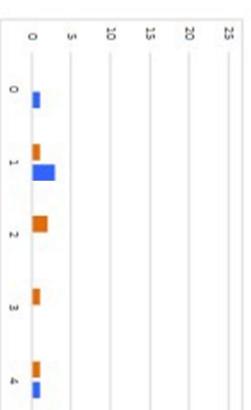
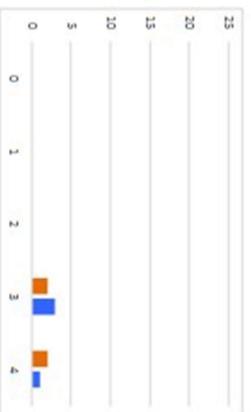
2018
n=70



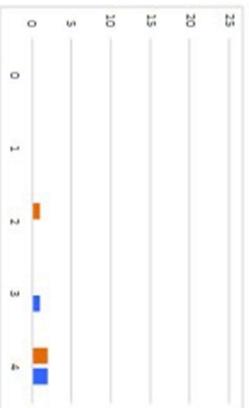
10 cm



15 cm



25 cm



III.3.2.f Répartition verticale des racines

En plus de la distribution horizontale des racines autour du plant, la stabilité des plants dépend également de leur ancrage en profondeur.

i Profondeur d'enterrement du collet

L'arrachage des plants nous a permis de juger de la profondeur à laquelle le collet des plants avait été enterré. Il ressort que le collet des plants racines nues est enterré plus profondément que celui des godets (médiane de la distance collet-sol de 7 cm et 4 cm respectivement (Fig. 35)).

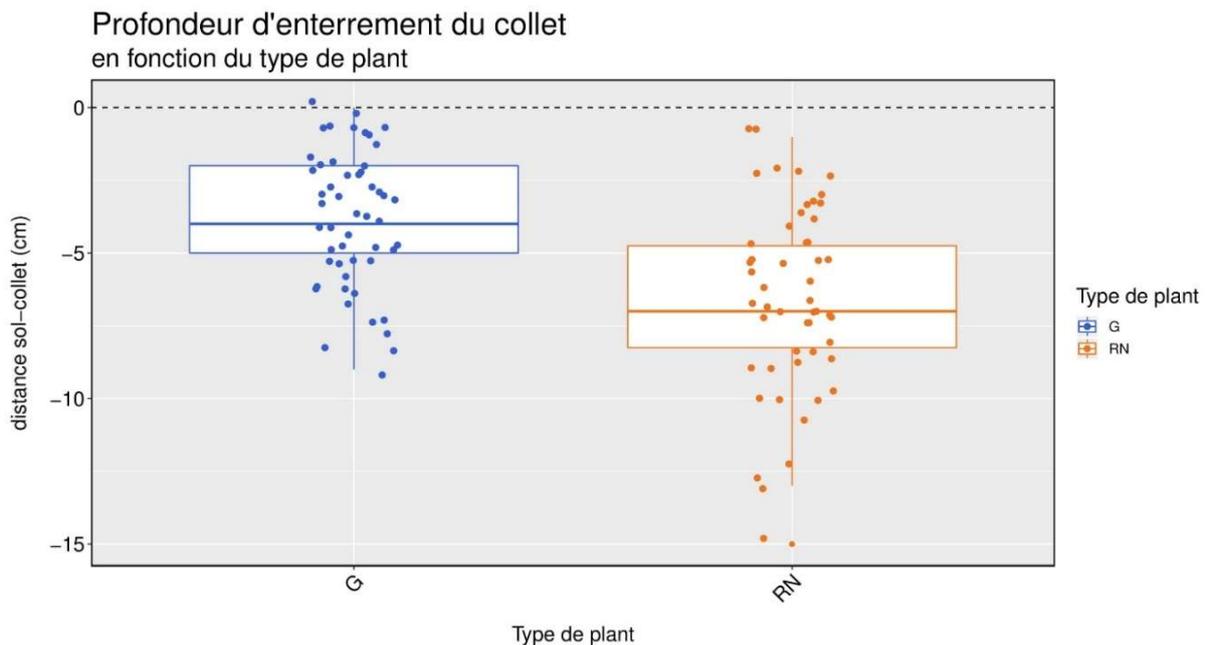


Figure 35 : Profondeur d'enterrement du collet en fonction du type de plant, n=104

La profondeur maximale d'enterrement est 15 cm pour les RN contre 9 cm pour les godets (Photo ci-dessous). Ces observations correspondent à une pratique très répandue chez les planteurs qui enterrent largement le collet des douglas à racines nues pour éviter qu'ils ne versent après plantation. Le fait que les douglas en godets-plantés rappelons –le à la pioche comme les plants racines nues- soient enterrés moins profondément pourrait s'expliquer par le fait qu'ils sont plus petits et donc jugés moins exposés à ce risque lors de leur plantation à la pioche.



Plants RN (2+1), un an après plantation (18_Rivollet)

Plants RN (2+1) avant plantation

Figure 36 : Plants à racines nues (2+1) produits par la même pépinière. Noter la profondeur d'enterrement du collet (distance entre les étiquettes bleue et jaune) et le niveau d'habillage des racines. Rq : les collets des plants sont alignés sur les 3 photos. Les détails des dimensions des plants avant plantation peuvent être trouvés en annexe 8. Photos S. Girard, CNPF).

Nous avons par ailleurs pu observer que la plupart des plants racines nues avaient été « habillés » juste avant leur plantation c'est-à-dire que leur système racinaire avait été taillé (Fig.36).

ii Profondeur d'enracinement

Rappelons ici que nous n'avons pas pu, au vu de la méthode d'extraction (cf. III.1.3.b.iv) extraire les racines dépassant une profondeur d'une trentaine de centimètres ; et que par conséquent la profondeur d'enracinement représentée ici ne concerne pas les racines les plus profondes, mais bien la majorité du système racinaire superficiel.

Ce paramètre varie selon la plantation et n'est pas différent selon que l'on considère les plantations récentes ou plus anciennes (Fig.37).

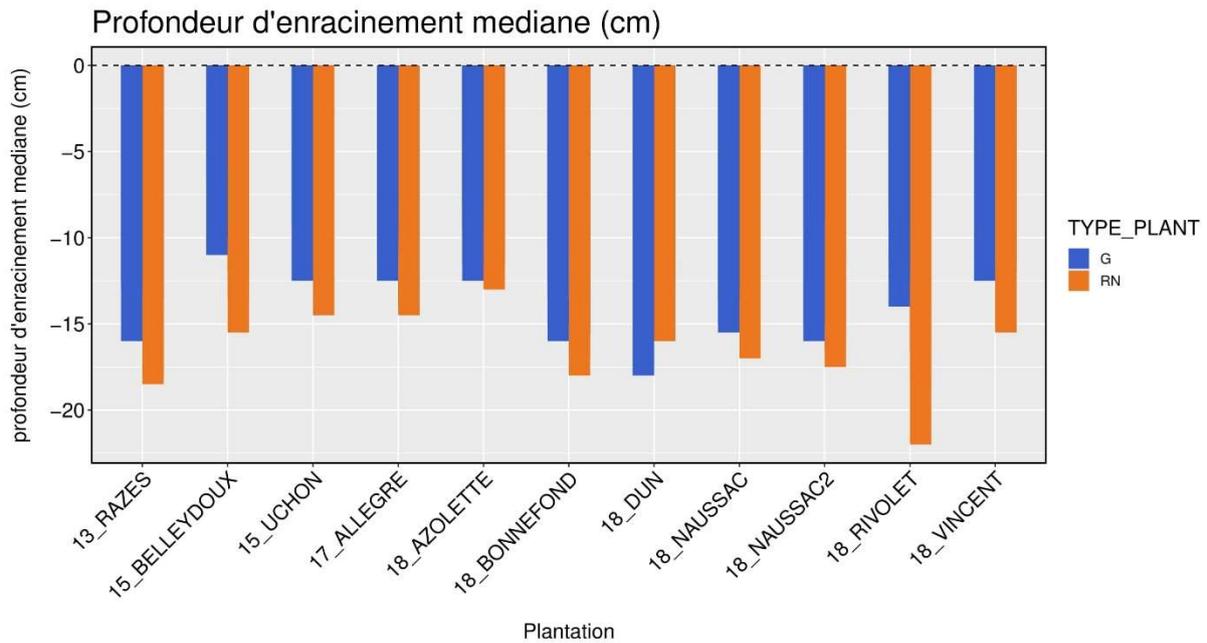


Figure 37 : Profondeur médiane d'enracinement en fonction du type de plant par plantation.

Les systèmes racinaires des plants racines nues sont quasiment toujours situés à quelques centimètres au-dessous de ceux des plants en godets : en moyenne à 14cm et 12cm respectivement.

iii Épaisseur du système racinaire

L'épaisseur des systèmes racinaires mesurés diffère selon les plantations : de 11 à 24 cm pour les plus récentes (2018), et jusqu'à 33 cm pour la plantation âgée de 6 ans.

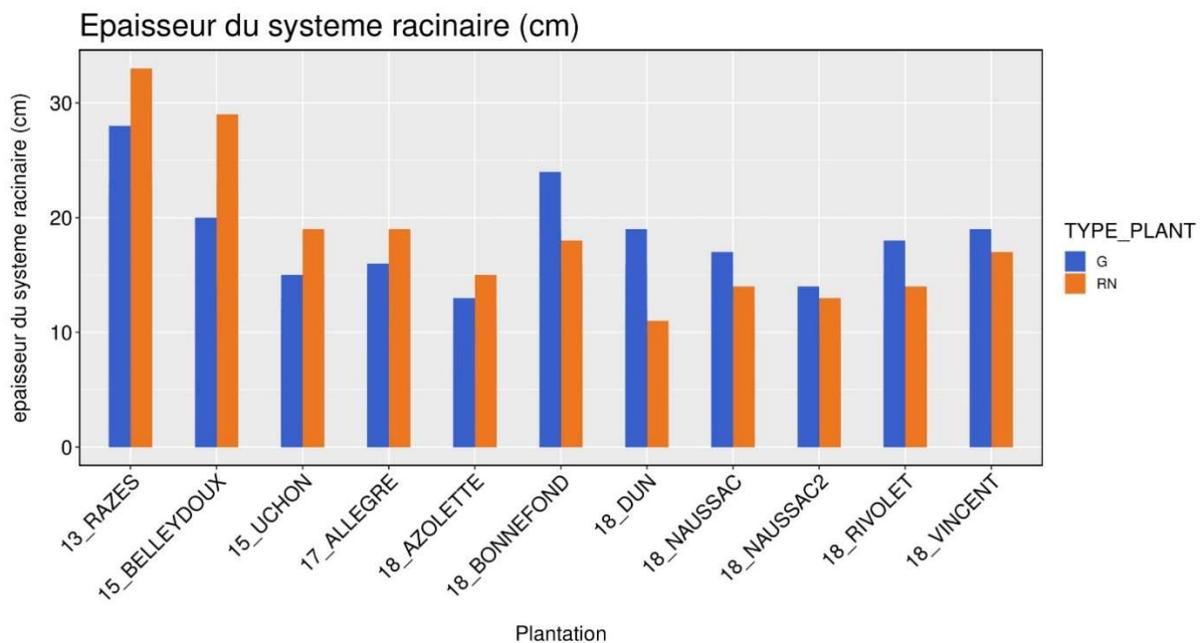


Figure 38 : Épaisseur du système racinaire en fonction du type de plant pour chaque plantation.

Une tendance en fonction de l'âge de la plantation ressort néanmoins : les systèmes racinaires des racines nues sont un peu plus épais que ceux des godets pour les plantations anciennes, et l'inverse est observé pour les plantations récentes.

n. Discussion

Les 14 plantations étudiées nous ont permis de comparer les performances (au sens large du terme) de plants de douglas produits selon 2 itinéraires de production différents et installés dans les mêmes conditions.

Outre le support de culture, les délais de production des plants racines nues et des plants en godet sont différents ; les premiers ont en général trois années de croissance lors de leur plantation tandis que les seconds n'en ont qu'une.

Cet écart explique bien entendu qu'ils aient, au moment de la plantation, des caractéristiques morphologiques (hauteur, diamètre, importance relative des parties aérienne et racinaires) mais aussi des caractéristiques physiologiques différentes (notamment une meilleure capacité de croissance racinaire pour les plants en godets, cf. par exemple (Binder, Fielder, Scagel, & Krumlik, 1990)).

Précisons que ces caractéristiques peuvent être modifiées par les conditions de stockage, mais aussi les manipulations –dont l'habillage- et le soin apporté à leur mise en terre ((Grossnickle & El-Kassaby, 2015)

Dans la présente étude, l'effet du type de plant que nous observons se juxtapose à celui de l'ensemble de ces facteurs.

III.3.2.g Taux de survie identiques

Dans notre étude, il n'existe aucune différence en terme de survie entre les deux types de plants, que cela soit après une saison de croissance ou plusieurs.

Les taux de reprise que nous avons observés dans les jeunes plantations sont quasiment les mêmes que ceux de l'enquête annuelle du DSF (89% et 87 % en moyenne respectivement), qui, elle aussi, ne montre aucune différence entre les deux types de plants.

Les travaux menés dans les états du Washington et de l'Oregon sur le douglas⁶, ne montrent aucun consensus quant à un taux de survie supérieur de l'un ou l'autre type de plants. Certains rapportent des taux plus élevés pour les RN (par exemple (Pilz D, 1986), (Helgerson OT, 1992)), d'autres pour les plants produits en godets (par exemple (Hahn & Smith, 1983), (Macdonald & Weetman, 1993)), d'autres enfin, ne montrent aucune différence (Rose & Haase, 2005).

III.3.2.h Disparition des écarts de hauteur après quelques années

Dans les plantations comparatives étudiées, les godets sont initialement de plus faibles dimensions que les racines nues, mais cette différence s'amoindrit après quelques années de croissance : La hauteur et le diamètre moyens des godets 4 à 6 ans après plantation sont quasiment identiques à ceux des racines nues (différence inférieure à 10%).

Sundström & Keane (1999) ont mesuré le même phénomène dans une plantation de douglas en Irlande : la différence de hauteur entre les RN (2+1) et les godets (2-0, 280cc) était de 32% la première année, et seulement de 8% après 8 années de croissance.

Ainsi, l'avantage initial donné au RN du fait de leurs plus grandes dimensions ne s'amplifie pas au cours du temps. Au contraire, en accroissement relatif, les godets ont une plus forte croissance.

Cela avait d'ailleurs été mesuré sur deux des plantations que nous avons étudiées (13_ANGLES et 13_RAZES) pour lesquelles la croissance avait été suivie les trois premières années après plantation.

⁶ cités par (Grossnickle & El-Kassaby, 2015)

Sur ces 2 sites, les accroissements des plants en godets ont été supérieurs à ceux des RN au cours des 3 années qui ont suivis la plantation : la pousse des plants en godets était supérieure en moyenne de 7 cm en 1^{ère} année et de 4,5 cm en 2^{ème} et 3^{ème} années à celle des racines nues (Chaumet, Eisner, & Peuch, 2018).

Les mêmes observations ont été faites par Hobbs et ses collaborateurs (1989) qui ont constaté que les godets avaient rattrapé les plants racines nues c'est-à-dire avaient des hauteurs identiques, 5 ans après plantation.

III.3.2.i Plus de plants courbés chez les RN

Nous avons observé plus fréquemment des courbures basales chez les racines nues (12% des plants concernés contre 7 % pour les godets).

Le même constat a été fait dans l'étude de Sundström & Keane (1999) dans laquelle la moitié des racines nues contre le tiers des godets présentent une courbure basale, orientée dans le sens de la pente. Les auteurs ont établi une corrélation entre la présence de ce défaut et la hauteur des plants 10 ans après plantation.

Nos observations ne vont pas dans ce sens puisque les plants instables ne sont pas plus grands que la moyenne. Egalement, les courbures que nous avons observées n'étaient pas orientées dans le sens de la pente mais semblaient plutôt liées à l'orientation du vent dominant voire à des passages de gibier.

Un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie racinaire est souvent avancé comme hypothèse explicative (Sundström & Keane, 1999).

Quoiqu'il en soit, dans notre étude, ces courbures concernent une faible proportion des plants, qui seront a priori éliminés lors de la première éclaircie.

III.3.2.j Des systèmes racinaires différents au départ, impossibles à distinguer après quelques années

Les itinéraires de production des plants impactent très fortement leur développement racinaire.

Ainsi, le repiquage et le soulèvement des plants en pleine terre provoquent la ramification du pivot et la densification des racines à proximité du collet tandis que les parois des conteneurs limitent leur extension latérale. Par ailleurs, compte tenu de leur différence d'âge, les systèmes racinaires des douglas RN sont beaucoup plus volumineux que ceux des plants élevés en godets. Avant d'être plantés, les systèmes racinaires des 2 types de plants étudiés ont donc des morphologies très différentes.

Malgré cela, nous n'avons observé aucune différence dans l'architecture des systèmes racinaires des plantations de 4 et 6 ans au point qu'il était difficile de les reconnaître sans étiquette ! Les distributions horizontale et verticale des racines étaient similaires et aucune déformation ne traduisait un type de plant particulier.

Même si notre échantillon est relativement réduit (14 plants arrachés sur 3 plantations différentes), nos résultats sont en cohérence avec ceux de (Sundström & Keane, 1999) qui, après extraction et analyse de 16 systèmes racinaires arrachés dans une plantation de 10 ans, n'observaient aucune différence entre les deux types de plants en termes de nombre et ramification de racines $\leq 5\text{mm}$, de surface racinaire et de conformation racinaire. Ces auteurs mentionnent deux articles ayant obtenus des résultats similaires également sur douglas : (Arnott, 1978) (Newton & Cole, 1991).

Dans les plus jeunes plantations, nous avons observé un certain nombre de différences qui sont davantage liées à la plantation qu'au type de plant.

Ainsi, les plants RN sont systématiquement plantés plus profondément que les godets (G) ce qui explique que leur système racinaire se développe à un niveau légèrement plus profond, néanmoins, l'épaisseur du système racinaire est identique pour les deux types de plants.

Ce résultat est assez surprenant dans la mesure où le système racinaire des plants RN est plus volumineux et long que celui des Godets <300 cc au moment de la plantation (15/20 cm contre 8/12 cm).

Il est à relier à la pratique quasi-systématique de l'habillage racinaire des plants RN que nous avons observé dans presque toutes les plantations étudiées.

Cet habillage réduit très fortement le volume racinaire des plants, augmente le déséquilibre entre les parties aérienne et souterraine, et conduirait à une instabilité du plant si le collet n'était pas enterré très profondément.

En plus de cet effet sur la stabilité des plants, l'habillage réduit leur capacité à émettre de nouvelles racines ce que l'on nomme potentiel de croissance racinaire (RGP en anglais) directement lié à la croissance en hauteur des plants la première année après transplantation (Ritchie & Tanaka, 1990). Elle est très fortement impliquée dans ce que l'on appelle la « crise de transplantation » et pourrait en partie expliquer les plus faibles accroissements observés l'année qui suit la plantation chez les RN.

Cette opération apparaît néanmoins la plupart du temps indispensable du fait de la présence de longues racines qui, si elles n'étaient pas coupées avant la plantation, seraient enchevêtrées au fond du trou ce qui conduirait très certainement à des déformations ultérieures.

C'est dans les jeunes plantations que nous avons observé des déformations au niveau racinaire. Dans quelques cas, elles étaient liées à la présence d'un obstacle à proximité du plant (gros caillou, ou grosse racine d'une souche avoisinante), la majorité a été attribuée à une mauvaise mise en place des plants.

La proportion de plants concernée était plus élevée chez les RN que chez les plants en godets (14% et 3% respectivement).

La plus grande sensibilité des plants RN aux déformations est mentionnée dans plusieurs articles relatifs à différentes espèces (7 références sont citées dans la synthèse de (Grossnickle & El-Kassaby, 2015).

Elle est très certainement liée au volume et à la « souplesse » du système racinaire de ces plants, ainsi qu'à la technique de plantation à la pioche, qui, si elle est mal maîtrisée, conduit des dispositions en J, voire parfois en U avec des extrémités racinaires se trouvant au même niveau que le collet !

La pratique de l'habillage pourrait limiter ce type de problème, nous ne l'avons toutefois pas observé puisque la plupart des plants présentant une déformation avaient été habillés.

Les godets semblent moins exposés dans la mesure où leur système racinaire est plus petit, rigide, compact et donc plus facile à mettre en terre. Dans leur synthèse, (Grossnickle & El-Kassaby, 2015) citent plusieurs références montrant que les plants en godets sont plus faciles à planter et se plantent plus rapidement. Néanmoins, certains de nos arrachages (18_Azolette notamment) montrent qu'ils peuvent aussi être mal plantés !

On peut se demander comment vont évoluer ses déformations et si elles auront des conséquences sur la stabilité et l'état sanitaire des arbres dans le futur. Car toute déformation racinaire crée potentiellement une "fragilité" tant sur le plan mécanique que pour le fonctionnement physiologique des jeunes arbres forestiers.

Pour apporter des éléments de réponse à cette question, signalons que Baubet et Goudet (Baubet & Goudet, 2015) n'ont pas trouvé de lien entre les déformations racinaires et le rouge physiologique dans 41 placettes du Massif central âgées de 4 à 15 ans. Néanmoins, « La comparaison d'arbres sains et rougissants au sein de mêmes parcelles montre un meilleur état des systèmes racinaires pour les arbres vivants sans symptômes. Sur toutes les parcelles testées, les arbres rougissants ont un système racinaire plus mal conformé que les arbres indemnes de symptômes. ».

Par ailleurs, on sait que les systèmes racinaires des arbres font preuve d'une grande plasticité et d'une stratégie opportuniste pour se développer (*cf.* les travaux de F. Danjon à l'INRA de Bordeaux, ou par exemple (Zanetti, Vennetier, Mériaux, & Provansal, 2015). Ainsi, dans une certaine mesure et sous réserve de conditions stationnelles favorables, les déformations observées sur les jeunes plants peuvent être compensées au fil du temps (Permingeat, 1999).

III.3.2.k Des dégâts d'origine biotiques rares

La proportion de plants impactés par le gibier est identique quel que soit le type de plants considéré, elle est identique à celle établie grâce à l'enquête annuelle du DSF.

L'étude montre un impact modéré des attaques d'hylobe sur les plantations étudiées. Lorsque l'attaque est importante comme à 17_ALLEGRE, les 2 types de plants sont touchés dans les mêmes proportions. La réponse est moins nette dans le cas d'attaques plus faibles.

III.3.2.1 Limites et perspectives

Notre étude repose sur l'analyse de plantations réalisées dans des conditions courantes de chantier de reboisement. Grâce à ces plantations, l'ensemble du territoire concerné par l'étude a pu être échantillonné.

On ne peut donc que se féliciter que des reboiseurs prennent l'initiative d'installer ce type de plantation pour se faire leur propre opinion ; rappelons ici la diversité des structures qui ont installées ces comparaisons avec à la fois des coopératives, des entreprises de reboisement, un cabinet d'experts, la SFCDC, l'ONF, FCBA et le CNPF.

L'exploitation de cette diversité est néanmoins complexe. Par exemple, le taux d'échantillonnage de chaque plantation n'a pas été le même partout dans la mesure où les surfaces concernées n'étaient pas identiques (de 0.2 à 3.3 ha *cf.* tab 7). Quant au fait de ne pas avoir travaillé sur une série temporelle complète (aucune plantation comparative réalisée en 2016 et en 2014), cela n'apparaît a posteriori pas gênant dans la mesure où les résultats obtenus sont assez nets et cohérents entre eux et avec la littérature.

On peut regretter de ne pas avoir eu ni le temps ni les moyens d'arracher plus de plants dans des plantations âgées. Il faut néanmoins souligner que les autorisations pour le faire sont difficiles à obtenir, notamment en forêt privée ; seuls 3 propriétaires sur 7 l'ont permis dans cette étude. Nous avons néanmoins observé 14 systèmes racinaires âgés et les avons décrits à l'aide de variables relativement simples ; des outils numériques très performants existent, en particulier des logiciels dédiés à l'acquisition de données de digitalisation 3D (PiafDigit par exemple) et permettraient d'aller plus loin dans leur analyse.

Par manque de temps, nous n'avons pu mesurer les accroissements annuels et reconstituer les dynamiques de croissance en hauteur, qui sont en général différentes selon le type de plant considéré. Cet aspect n'était toutefois pas nécessaire pour répondre à la question posée.

Les informations relatives aux aspects financiers sont généralement difficiles à obtenir de la part des gestionnaires. Ainsi, dans notre étude, il a été difficile d'obtenir le coût des plants utilisés. Signalons par ailleurs que le travail sur des plantations comparatives, n'a pas permis de préciser les différences de coûts d'installation liés aux deux types de plants puisque le même itinéraire technique était appliqué aux RN et G, contrairement au cas habituel. La plantation en godets est en effet souvent associée à un travail du sol, pratique moins répandue dans le cas de racines nues. Ces éléments économiques restent donc à préciser.

o. Conclusion de l'étude de plantations comparatives

Les résultats de l'étude comparative réalisée sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Précisons que les valeurs sont considérées comme égales entre les deux types de plant lorsque la différence entre les deux est de moins de 5%.

Tableau 28 : Bilan des résultats de l'étude de 14 plantations comparatives

| Catégorie | Variable | Comparaison RN et G | Nombre de plantations considérées |
|----------------------------|---|---------------------|-----------------------------------|
| Survie | Reprise | = | 7 |
| | Pourcentage de plants vivants en 2018 | = | 6 |
| Croissance | Hauteur et diamètre (plantations récentes) | G<RN | 8 |
| | Hauteur et diamètre (plantations anciennes) | G=RN | 8 |
| Stabilité | Ecart à la verticalité | = | 9 |
| | Jeu | = | 9 |
| Dégâts biotiques | Hylobe | ? | 4 |
| | Gibier | = | 15 |
| Défauts de forme | Défaut de tête | = | 15 |
| | Baïonnette | = | 12 |
| | Courbure basale | G<RN | 13 |
| Systèmes racinaires | Défauts rédhibitoires | = | 11 |
| | Masse sèche racinaire / aérienne | = | 8 |
| | Répartition horizontale des racines dans un rayon de 5cm | G>RN | 8 |
| | Répartition horizontale des racines dans un rayon de 10cm et plus | = | 9 |
| | Profondeur d'enterrement du collet | G<RN | 11 |
| | Profondeur d'enracinement médiane | = | 11 |
| | Epaisseur du système racinaire | = | 11 |

La majorité des variables que nous avons mesurées sont identiques quel que soit le type de plant considéré.

Quelques différences existent en défaveur des plants racines nues (plus souvent courbés à la base de la tige et avec un système racinaire plus souvent déformé et déséquilibré) dans une proportion qui reste néanmoins faible dans les plantations étudiées.

Les plants racines nues, plus grands au départ, ne conservent pas cet avantage et ont la même hauteur que les plants en godets dans les plantations âgées de 6 ans que nous avons étudiées.

III.4 Deux approches... et des résultats convergents

Au vu des résultats des deux approches développées au cours de cette étude, les jeunes plantations de douglas utilisant des plants en godets sont de qualité comparable aux plantations utilisant des plants racines nues.

Aucun argument technique ne permet donc de justifier, dans les conditions de l'étude, un traitement différent de ces plants au niveau des arrêtés régionaux et des aides financières publiques.

Soulignons que les conclusions de cette étude ne concernent qu'une composante d'un itinéraire de plantation – le type des plants- dont le choix doit être raisonné en fonction des autres composantes (préparation du sol, entretiens ultérieurs...), l'ensemble étant déterminé par le contexte local (station, risques hylobe, gibier...). Le bilan qualitatif de différents itinéraires complets de plantation reste à faire.

Il faut toutefois préciser que notre travail est intervenu sur des plantations qui ont bénéficié de traitements chimiques efficaces contre les attaques d'hylobe, principale menace des jeunes plantations de douglas.

Ces traitements à base de néonicotinoïdes (Merit Forest® ou Suxon Forest®) sont désormais interdits et les forestiers craignent des pertes supplémentaires dans les plantations, notamment celles effectuées avec des plants en godet, plus fragiles du fait de leur plus faible diamètre.

De nouvelles plantations comparatives ont été installées au printemps 2019 par un certain nombre de reboiseurs, elles pourraient constituer des sites particulièrement intéressants à observer dans ce contexte.

IV. Estimation des surfaces à reboiser et besoins en plants de douglas (FCBA)

IV.1 Introduction

Actuellement, la production de plants de douglas en godet de taille comprise entre 200 et 300cc est principalement réalisée par des pépinières disposant de fortes capacités de production. Ces pépinières sont automatisées (à différents degrés) ce qui permet de proposer des plants en godet de volume inférieur à 300cc à des tarifs équivalents voire inférieurs aux plants racines nues.

Aujourd'hui, pour ces pépinières, la production de douglas reste secondaire face à celle de pin maritime.

L'ouverture aux subventions des reboisements réalisés à l'aide de plants en godet inférieur à 300cc pourrait avoir des impacts économiques et des impacts sur la stabilité du marché des plants de douglas sur le territoire national. Les producteurs spécialisés dans les plants en godet pourraient notamment orienter et intensifier leurs productions sur le douglas en prévision du ralentissement des plantations de pin maritime (rajeunissement du massif induit par les tempêtes Martin en 1999 et Klaus en 2009). Le ministère a donc demandé à FCBA, en complément des analyses précédentes de l'IDF, une étude prospective sur les besoins en plants de douglas pour les boisements et reboisements futurs, afin d'estimer les éventuels impacts économiques de l'éligibilité aux subventions des godets de taille minimale 200cc.

Cette partie présente ainsi une étude prospective des surfaces à reboiser en douglas, visant à estimer les besoins en plants à court et moyen termes, et ainsi évaluer dans quelle mesure le développement de la production de plants en godet pourrait être susceptible de compléter ou de concurrencer la production de plants racines nues actuelle, majoritaire sur le marché.

IV.2 Méthodologie et rappels à propos des données utilisées pour la surface des coupes finales

L'estimation des surfaces de coupe finale de douglasaies a été réalisée à partir de l'étude de disponibilité réalisée pour France Douglas en 2018 et présentée lors des Assises Nationales du Douglas.

Cette étude a porté sur les peuplements dont l'essence principale est le douglas. Elle visait à estimer le potentiel de bois récoltable à l'horizon 2035. Pour ce faire, à partir des relevés de la campagne 2015 de l'inventaire forestier de l'IGN, nous avons modélisé la production en volume des peuplements de douglas, puis simulé leur croissance.

Parallèlement, France Douglas a défini des scénarios de sylviculture (volume prélevé à chaque éclaircie, âge de la coupe finale) avec différentes variantes.

Nous avons considéré qu'il était possible de réaliser de 0 à 4 éclaircies, et que la coupe finale pouvait être réalisée à 40, 50, 60, 70 ou 80 ans voire jamais dans le cas d'un traitement en futaie irrégulière.

Chacune des combinaisons nombre d'éclaircie / âge de la coupe finale a ensuite été affectée d'un taux de réalisation.

Le tableau suivant donne le taux de réalisation de chaque combinaison pour les deux scénarios considérés : le scénario tendanciel, correspondant à la poursuite de la sylviculture moyenne actuelle, et un scénario accéléré, prévoyant principalement des coupes finales plus précoces.

Tableau 29 : Taux de réalisation des combinaisons [Nombre d'éclaircie x âge de la coupe finale] pour les deux scénarios de massif définis.

| | Âge de la coupe finale | Nombre d'éclaircies | | | | | Total |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | | Pas d'éclaircie | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Scénario tendanciel | 40 ans | 8% | 5% | 2% | | | 15% |
| | 50 ans | 5% | 5% | 25% | 5% | | 40% |
| | 60 ans | 2% | 5% | 7% | 10% | 1% | 25% |
| | 70 ans | | | 1% | 7% | 2% | 10% |
| | 80 ans | | | | 3% | 2% | 5% |
| | Futaie irrégulière | | | | | 5% | 5% |
| | Total | 15% | 15% | 35% | 25% | 10% | 100% |
| Scénario accéléré | 40 ans | 15% | 10% | 5% | | | 30% |
| | 50 ans | 5% | 20% | 15% | 10% | | 50% |
| | 60 ans | | | 5% | 5% | 5% | 15% |
| | Futaie irrégulière | | | | | 5% | 5% |
| | Total | 20% | 30% | 25% | 15% | 10% | 100% |

répartition de l'âge des coupes finales pour les 2 scénarios

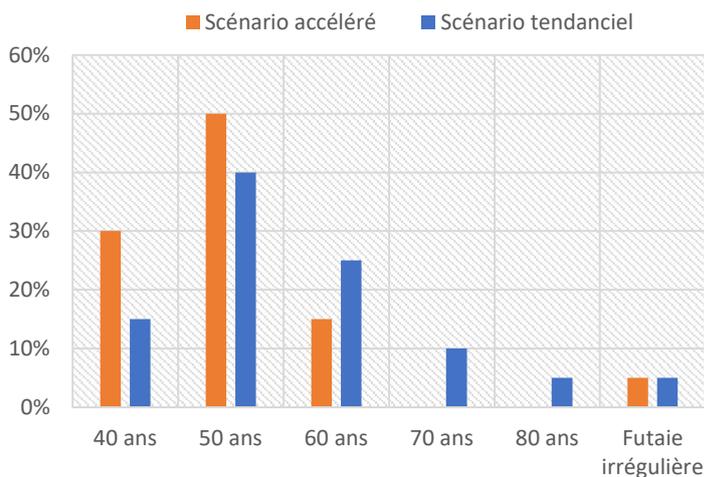


Figure 39 : Fréquence des coupes finales par âge et par scénario

La surface des coupes finales correspond à la surface des peuplements passant en coupe finale selon le scénario et la période de temps considérés. L'âge moyen de coupe finale est de 55 ans dans le scénario tendanciel contre 48 ans dans le scénario accéléré.

La surface des coupes finales dans les peuplements de douglas ne donne qu'une indication sur la surface à reboiser en douglas. En effet, cette estimation ne tient pas compte des peuplements :

- dont la régénération sera naturelle ;
- qui ne seront pas régénérés en douglas ;
- d'autres essences (épicéa, pins, feuillus, ...) qui seront reboisés en douglas.

IV.3 Résultats : estimation des surfaces de coupe finale

p. Surface par scénario

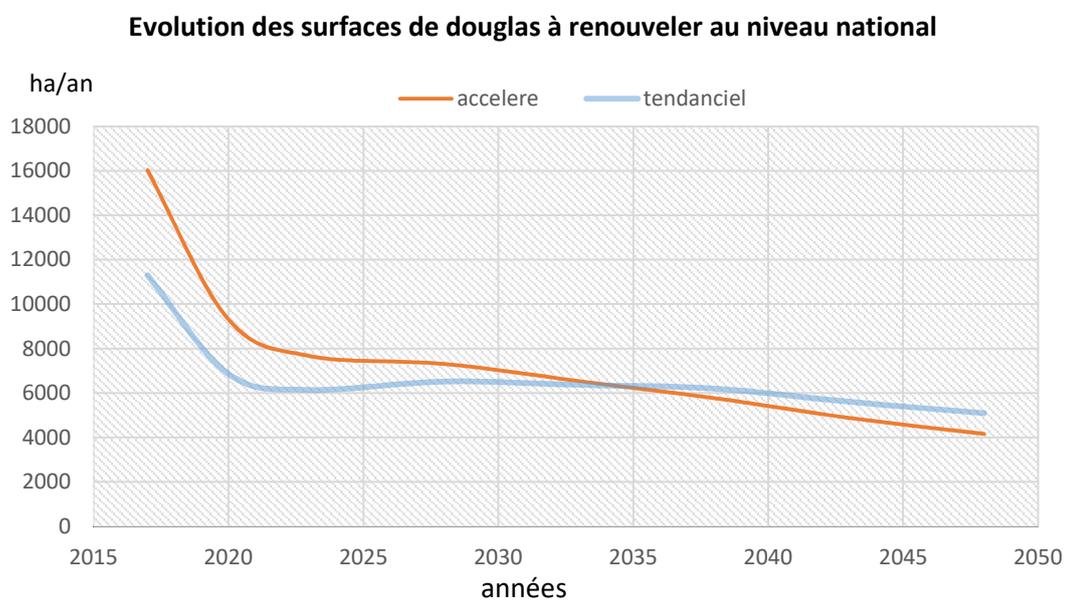


Figure 40 Evolution brute (avec artefact de simulation) des surfaces à renouveler sur le massif de douglas

Evolution lissée des surfaces de douglas à renouveler au niveau national

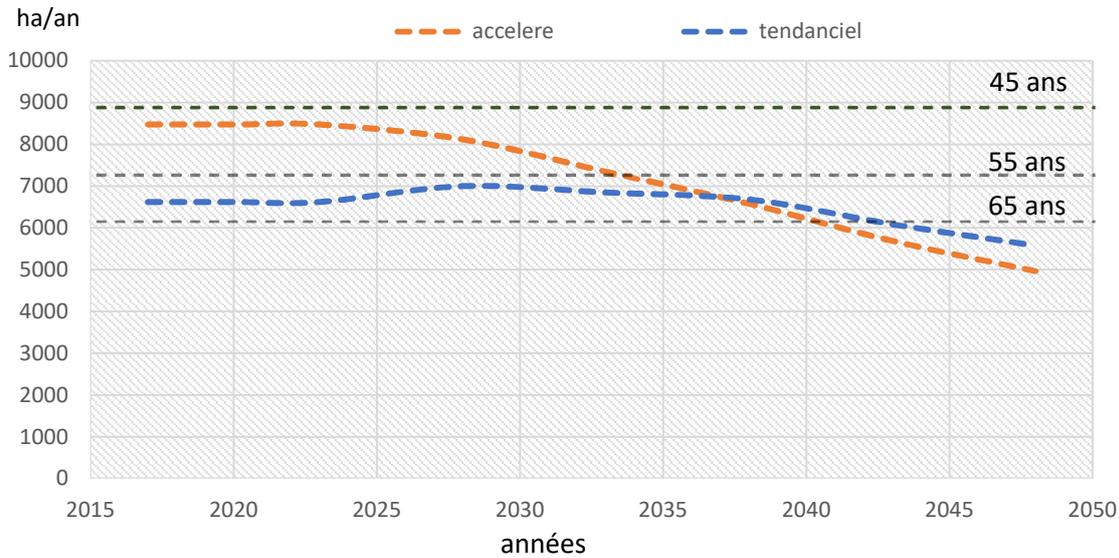


Figure 41 Evolution lissée (artefact de simulation réparti sur la période) des surfaces à renouveler sur le massif de douglas ;
Pointillé + âge = surface à reboiser pour un massif équilibré à l'âge indiqué

La méthode utilisée génère un artefact de simulation de 2015 à 2020 (Figure 40) puisqu'il y a forçage pour faire coïncider le profil des surfaces par classes d'âge de la ressource à ceux des fréquences de coupes finales définies dans les 2 scénarios. Ce forçage génère des surfaces importantes de coupes finales sur la première période, c'est un premier résultat qui montre que le scénario tendanciel (et encore moins le scénario accéléré) ne reflète pas la dynamique du massif actuel et que l'âge moyen de coupe finale est aujourd'hui supérieur à 55 ans.

Si on considère l'hypothèse (forte) que sur la période 2015-2020 les surfaces reboisées sont équivalentes à celle de l'année 2020 (année de stabilisation des prédictions) et que le surplus de surface observé sur 2015 à 2020 est réparti de façon égale jusqu'à 2050, on observe un surplus de surfaces à reboiser de 500 ha/an dans le cas du scénario tendanciel et de 800 ha/an dans le cas du scénario accéléré (Figure 41).

Au niveau national, il faudrait donc s'attendre à un renouvellement du massif de douglas de l'ordre de 6500 (tendanciel) à 8500 ha/an (accéléré) sur les 10 prochaines années selon le scénario considéré. Au-delà de 2030, la tendance à la baisse des surfaces à renouveler annuellement est conditionnée par la réalisation du renouvellement sur 2020-2030.

q. Surface par région

L'effort de renouvellement est différent selon les régions (Fig.42), c'est en Auvergne Rhône Alpes qu'il est le plus important et compris entre 1500 et 2500 ha/an (selon les scénarios) sur les 10 prochaines années. Sur cette région, il est intéressant de remarquer que les deux bosses observées en 2030 et 2040 correspondent aux différentes dynamiques des massifs des 2 anciennes régions (en Auvergne, le massif est à peine plus jeune qu'en Rhône Alpes (Fig.43)).

Les 3 autres grandes régions à douglas (Bourgogne-Franche-Comté, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie) présentent des situations comparables avec un effort de renouvellement de l'ordre 1000 à 1500 ha/an chacune jusqu'à 2030.

Au-delà de 2030, la Nouvelle Aquitaine se démarque par des surfaces relativement stables dues à son massif équilibré. Sous réserve de réalisation des coupes sur la période 2020-2030, il faudrait donc s'attendre à une légère diminution en Occitanie et Bourgogne Franche Comté, et une diminution plus marquée en Auvergne Rhône Alpes.

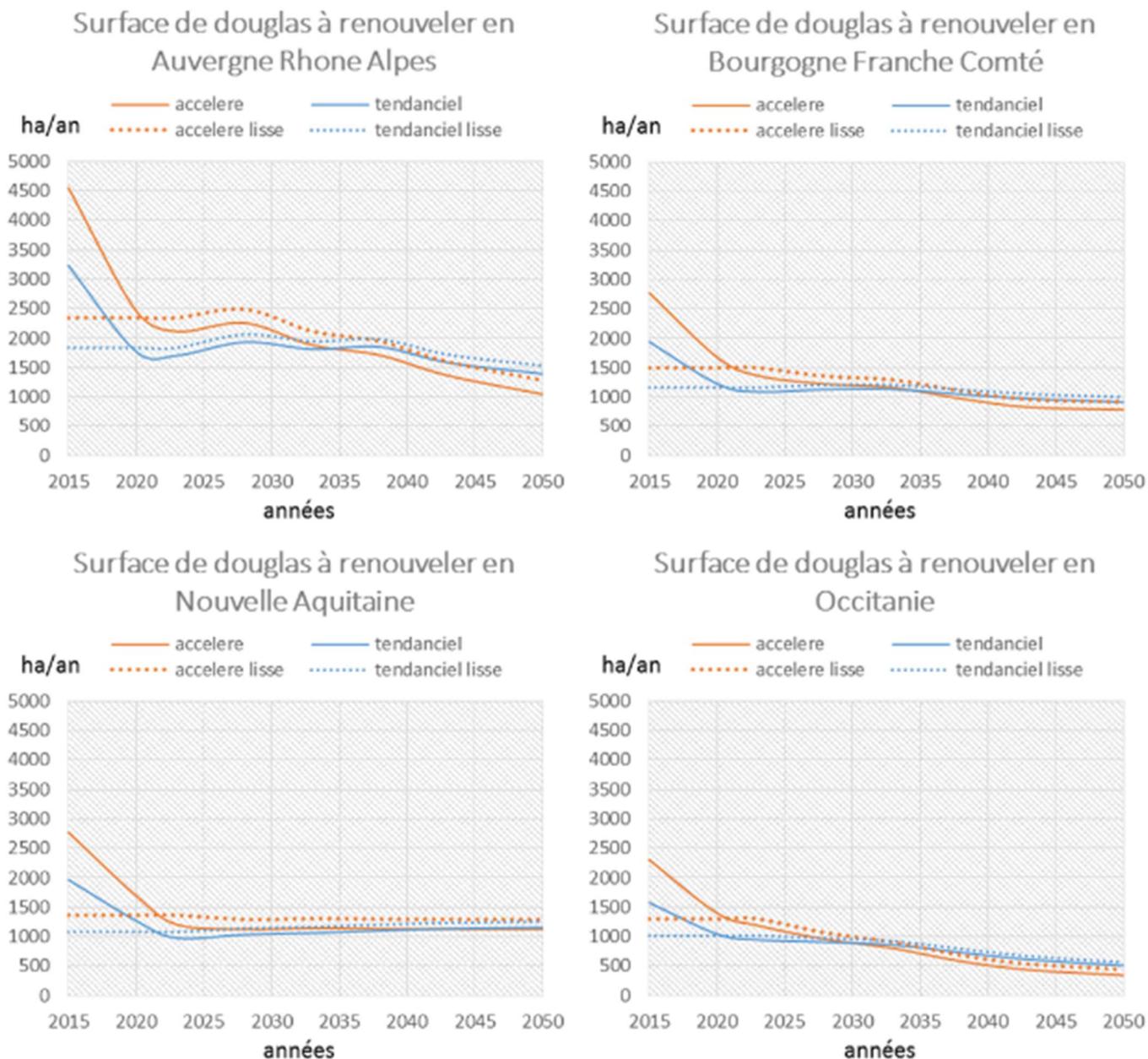


Figure 42 Evolution des surfaces de douglas à renouveler par grande région

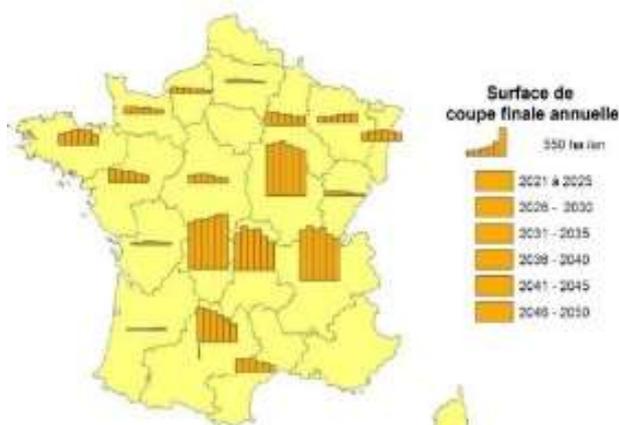


Figure 43 Surfaces de douglas à renouveler par anciennes régions selon le scénario tendanciel

Tableau 30 : Surface de douglas à renouveler par région, année et scénario

| Surface de douglas à renouveler (ha/an) | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2015-2018 | 2019-2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 |
| AUVERGNE-RHONE ALPES | | | | | | | | |
| accelere | 4551 | 2462 | 2113 | 2259 | 1883 | 1710 | 1367 | 1050 |
| tendanciel | 3230 | 1772 | 1704 | 1934 | 1813 | 1851 | 1587 | 1395 |
| CENTRE-VAL DE LOIRE | | | | | | | | |
| accelere | 342 | 229 | 194 | 185 | 174 | 137 | 76 | 64 |
| tendanciel | 291 | 186 | 151 | 161 | 170 | 151 | 111 | 99 |
| BOURGOGNE-FRANCHE COMTE | | | | | | | | |
| accelere | 2773 | 1681 | 1367 | 1225 | 1164 | 976 | 831 | 787 |
| tendanciel | 1941 | 1229 | 1091 | 1132 | 1134 | 1050 | 976 | 916 |
| BRETAGNE | | | | | | | | |
| accelere | 489 | 320 | 292 | 297 | 349 | 280 | 252 | 150 |
| tendanciel | 318 | 216 | 216 | 250 | 296 | 278 | 284 | 210 |
| CENTRE-VAL DE LOIRE | | | | | | | | |
| accelere | 342 | 229 | 194 | 185 | 174 | 137 | 76 | 64 |
| tendanciel | 291 | 186 | 151 | 161 | 170 | 151 | 111 | 99 |
| GRAND EST | | | | | | | | |
| accelere | 1311 | 683 | 633 | 647 | 560 | 564 | 498 | 447 |
| tendanciel | 915 | 507 | 502 | 545 | 540 | 569 | 521 | 508 |
| HAUTS DE FRANCE | | | | | | | | |
| accelere | 169 | 99 | 74 | 91 | 49 | 29 | 10 | 1 |
| tendanciel | 145 | 71 | 59 | 79 | 54 | 49 | 27 | 20 |
| NORMANDIE | | | | | | | | |
| accelere | 648 | 399 | 303 | 256 | 216 | 166 | 154 | 113 |
| tendanciel | 489 | 309 | 247 | 243 | 224 | 201 | 185 | 149 |
| NOUVELLE AQUITAINE | | | | | | | | |
| accelere | 2772 | 1696 | 1206 | 1126 | 1141 | 1133 | 1129 | 1126 |
| tendanciel | 1968 | 1270 | 977 | 1035 | 1062 | 1102 | 1132 | 1156 |
| OCCITANIE | | | | | | | | |
| accelere | 2303 | 1400 | 1188 | 955 | 800 | 581 | 435 | 342 |
| tendanciel | 1575 | 1043 | 945 | 905 | 857 | 731 | 611 | 506 |
| PAYS DE LOIRE | | | | | | | | |
| accelere | 668 | 342 | 296 | 268 | 200 | 192 | 128 | 77 |
| tendanciel | 427 | 260 | 247 | 234 | 216 | 217 | 171 | 136 |

IV.4 Eléments de discussion sur les surfaces à renouveler et la consommation de plants

Les résultats présentés sont valables uniquement dans le cadre d'un raisonnement sur le massif de douglas, de nombreux facteurs externes ou internes au massif sont susceptibles de modifier à la hausse ou la baisse les surfaces en cause et la consommation en plants :

✓ Production de plants

Depuis 2015 la production de plants de douglas est comprise entre 9 et 10 millions de plants par an (Figure 44), 90% de cette production est réalisée en racines nues. Si l'on considère une densité de plantation moyenne de 1200 plants/ha cela représente près de 8 000 ha/an de surfaces (re)boisées en douglas.

Cette disponibilité peut varier à la hausse (intensification des récoltes en verger à graines, optimisation de l'utilisation de la graine en pépinière) comme à la baisse (mauvaises années de récoltes de graines).

✓ Densités de plantation

Les pratiques en matière de densité de plantation évoluent, ainsi auparavant avec 10 millions de plants plantés à 1100 plants/ha il était possible de reboiser 9000 ha contre 6000 ha à 1600 plants/ha. La réalité se situe certainement entre ces deux bornes (1200 à 1300 plants/ha) surtout si l'on considère la surface réellement reboisée (hors andain, bordures,...)

✓ Regarnis

La quantité de plants utilisée en regarnis est difficile à estimer, elle est sûrement anecdotique face au volume total mais reste à surveiller en raison de la généralisation des aléas (climatiques, cervidés, hylobe, etc.).

✓ Tempête

Les tempêtes ont pour conséquence de rajeunir les massifs, par exemple la tempête de 1999 est en partie responsable de la jeunesse du massif Limousin comparativement aux autres régions. Une fois la tempête passée, selon son ampleur, les efforts de reboisements sont importants pendant plusieurs années, voire décennies.

✓ Alternatives à la plantation pour le renouvellement

Les alternatives au reboisement existent (conversion en futaie irrégulière, régénération naturelle), elles comptent pour 5% des surfaces considérées dans les scénarios soit environ 350 ha/an. Ces pratiques

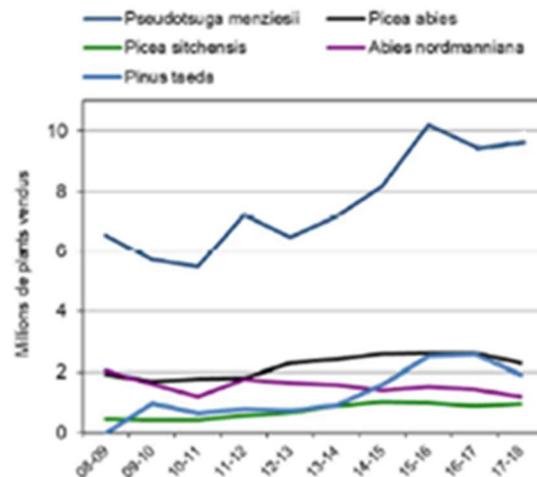


Figure 44 : résultats de l'enquête statistique annuelle MAA/IRSTEA sur les ventes de plants forestiers en France pendant la campagne de plantation 2017-2018

semblent séduire de plus en plus de propriétaires, mais l'absence de statistique nationale ne permet pas de confirmer ou d'infirmier ce chiffre.

✓ Changement d'essence

L'étude n'envisage pas de changement d'espèce (substitution).

Celui-ci peut intervenir lorsqu'un peuplement de douglas n'est pas reboisé en douglas. On peut s'attendre à voir progressivement une partie des peuplements situés en dessous de 400m, sur des stations limites/inadaptées ne pas être reboisée en douglas par constatation ou anticipation des risques climatiques. Ces peuplements, toutes classes d'âges confondus, représentent 130 000 ha.

Repartition des surfaces de douglas selon l'altitude au niveau national

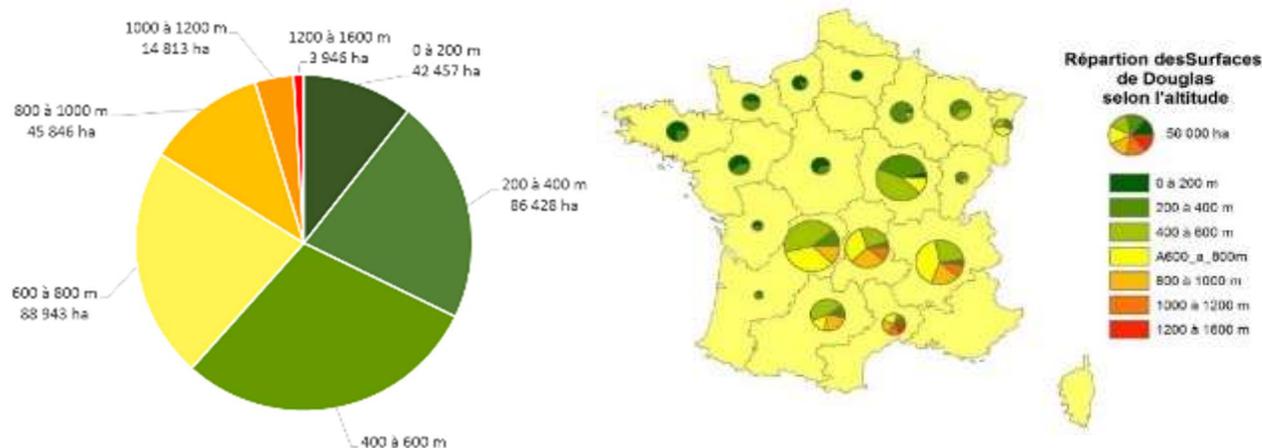


Figure 45 Répartition au niveau national (gauche) régional (droite) des peuplements de douglas par altitude

A l'inverse on constate qu'aujourd'hui seuls 18% des reboisements réalisés en douglas se font derrière un peuplement de douglas (cf. II.2.1.b).

Ce chiffre est issu de l'échantillonnage du DSF sur le suivi des plantations de 2007 à 2018 au niveau national et est certainement soumis à de fortes disparités régionales.

On retrouve ici la confirmation des limites du scénario tendanciel, assez éloigné la réalité, et qu'il n'y a pas aujourd'hui suffisamment de renouvellement au sein du massif de douglas. En effet, du point de vue macroscopique les ventes de plants subviennent au besoin de renouvellement du massif (9 à 10 millions de plants pour 6500 à 8500 ha/an de reboisement) mais il s'avère qu'une grande proportion des plants (82%) n'est pas utilisée derrière peuplements de douglas (Figure 46), ce qui implique un vieillissement généralisé du massif et une capitalisation sur pied.

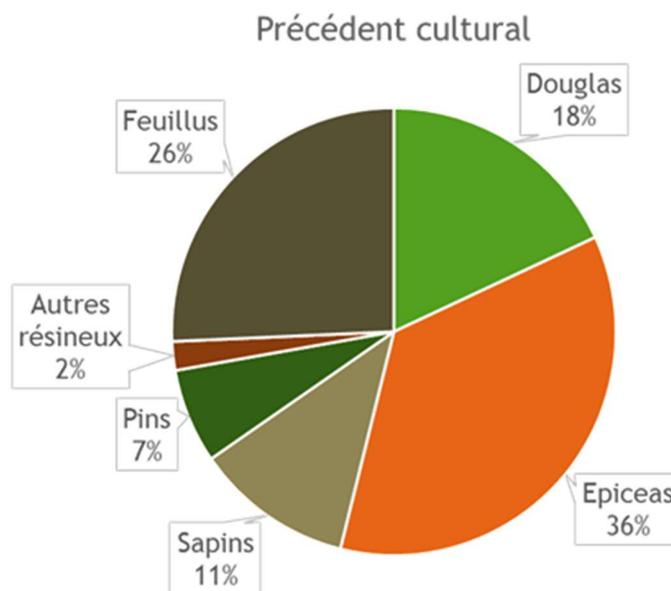


Figure 46 Antécédent culturel des reboisements effectués en douglas
Source : étude godet MAA – échantillonnage DSF 2007-2018

On peut s'attendre à ce que la part de douglas en substitution d'épicéas augmente considérablement surtout à faible altitude (160 000ha < 600m) et de façon assez brutale suite aux récentes attaques de scolytes observées en France.

La quantité de feuillus concernée par les substitutions dans les années à venir dépendra certainement des politiques carbone et/ou énergétiques mises en œuvre, des surfaces éligibles et disponibles pour de telles conversions et des attentes sociétales.

Répartition des surfaces d'épicéa selon l'altitude

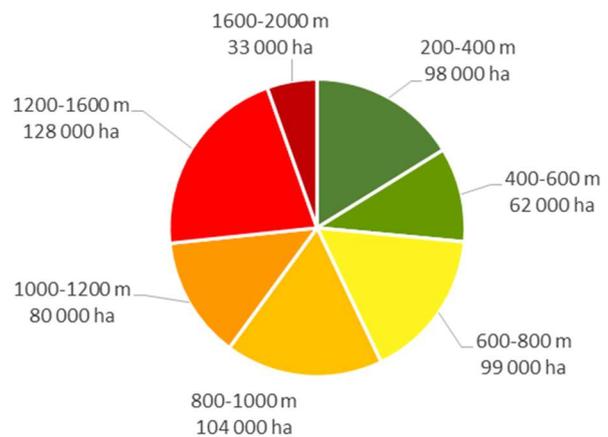


Figure 47 Répartition des surfaces d'épicéas par altitude

✓ Le facteur humain

Les travaux sylvicoles (préparation du terrain, plantation et entretiens des plantations) sont des métiers exigeants et faiblement rémunérés. L'évolution des surfaces reboisées est fortement dépendante de la quantité et qualité de la main d'œuvre disponible, d'autant plus que ces travaux s'effectuent dans un temps restreint.

La capacité de la filière à maintenir (renouveler le massif douglas) ou accroître (renouveler le massif douglas et substituer d'autres espèces) les surfaces reboisées dépendra de ce dernier facteur ou d'évolutions permettant d'organiser le reboisement différemment.

IV.5 Conclusion de l'estimation des surfaces à reboiser en douglas

La dynamique de reboisement observée en France (~7500ha/an) permet en théorie de maintenir le massif de douglas à environ 400 000ha.

Cependant, on peut observer qu'une partie seulement du renouvellement concerne le massif de douglas alors qu'il est important de renouveler au bon moment les plantations (notamment celles plantées à « faible » densité puis dépressées et non élaguées) pour éviter de condamner des surfaces avec des bois de fortes dimensions et de faible valeur ajoutée.

Les plantations ayant pour objectif la substitution d'autres essences par du douglas représentent aujourd'hui de l'ordre de 6500 ha/an. La réaction des gestionnaires et propriétaires suite aux attaques de scolytes sur épicéas ainsi que l'efficacité des différents programmes d'aide au reboisement (publics, projet carbone,...) laissent penser que ce chiffre pourrait encore augmenter de quelques milliers d'hectares par an.

Au-delà de 2030, la diminution des surfaces à reboiser est conditionnée par la réalisation des 12 000 ha/an sur la période 2020-2030.

Les enjeux de surface à planter en douglas sont bien supérieurs à ce qui est réalisé actuellement, la filière doit s'organiser pour y répondre aussi bien en termes de production de graines et de plants que de main d'œuvre.

Pour relever ce défi, et produire plus de plants en France, les deux systèmes de production (godets et racines nues) sont complémentaires plus que concurrents et c'est aux gestionnaires d'en intégrer les atouts et les contraintes avant, pendant et après la plantation pour garantir l'efficacité de la filière graines et plants.

V. Synthèse

Le douglas est actuellement l'essence la plus utilisée en reboisement en France hors du massif landais. La majorité des plants sont élevés en pleine terre et vendus « racines nues ». Depuis quelques années, l'utilisation de plants élevés hors sol se développe, notamment dans des godets d'une contenance comprise entre 200 et 300cc. Jusqu'à présent, l'utilisation de ce type de plants dans les chantiers de boisement et reboisement n'était pas éligible aux aides publiques.

Suite aux échanges qui ont précédé la publication des nouveaux arrêtés régionaux relatifs aux matériels forestiers de reproduction, la question de la définition des conditions d'utilisation, et donc de l'éligibilité de ces matériels a été posée. Pour disposer d'éléments de réponse et d'un éclairage technique sur les performances des différents matériels disponibles sur le marché, le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation a demandé à l'IDF d'étudier la qualité de plantations de douglas réalisées avec ce type de plants dans les principales zones d'utilisation de l'espèce.

Pour ce faire, les données récoltées depuis 12 ans dans le cadre de l'enquête annuelle du département Santé des Forêts (DSF) sur la réussite des plantations de l'année ont été analysées et 14 plantations comparant racines nues et godets <300cc (plantées dans des conditions similaires), situées dans les régions Occitanie, Nouvelle-Aquitaine (Limousin), Bourgogne-Franche-Comté (Bourgogne) et Auvergne-Rhône-Alpes, âgées de 1 à 6 ans, ont été mesurées sur le terrain. Outre la survie et la croissance, la qualité de ces plantations a été évaluée en termes de stabilité et de sensibilité à l'hylobe et au gibier. Des plants ont été arrachés pour détecter d'éventuels déformations et déséquilibres racinaires.

L'analyse des données du DSF montrent que les taux de reprise des plantations utilisant des plants racines nues ou des plants en godets -- tous volumes confondus c'est-à-dire incluant des volumes inférieurs et supérieurs à 300 cc- sont identiques. Les dégâts liés à l'hylobe --dans un contexte de plants traités contre l'insecte- concernent 5% des plants quel que soit le mode d'élevage considéré mais ces attaques entraînent davantage de mortalité chez les plants en godets que chez les plants racines nues.

L'analyse des 14 plantations comparatives n'a pas mis en évidence de différence entre plants à racines nues et plants élevés en godets <300cc pour la majorité des variables mesurées (reprise, survie après quelques années, stabilité de la partie aérienne, épaisseur du système racinaire, dégâts de gibier...). Quelques différences existent entre types de plants : la courbure basale est davantage présente chez les plants racines nues dont le développement du système racinaire est également plus souvent déformé et déséquilibré. Ces défauts sont davantage liés à la mise en place des plants qu'à leur mode d'élevage et leur proportion reste faible dans les plantations étudiées. Par ailleurs, les plants racines nues, plus grands au moment de la plantation, ne conservent pas cet avantage et sont « rattrapés » par les plants en godets après quelques années.

Les deux approches développées conduisent aux mêmes résultats à savoir que les deux types de plants considérés conduisent à des plantations de qualité comparable sous réserve toutefois d'être plantés de façon soignée. Aucun argument technique ne semble donc justifier, dans les conditions étudiées, un traitement différent de ces plants au niveau des arrêtés régionaux et des aides financières publiques.

Il faut toutefois préciser que cette étude a été menée sur des plantations qui ont bénéficié de traitements insecticides à base de néonicotinoïdes efficaces contre les attaques d'hylobe, et que leur interdiction depuis septembre 2018 laisse craindre une augmentation des dégâts, en particulier sur les plants en godets de plus faible diamètre.

Afin d'essayer d'appréhender les conséquences économiques d'une ouverture des subventions aux reboisements utilisant de tels plants sur la filière graines et plants française, le ministère a confié en parallèle à FCBA une étude prospective des surfaces à reboiser en douglas à court et moyen termes.

A partir des relevés de la campagne 2015 de l'IGN, la production en volume des peuplements de douglas a été modélisée et leur croissance simulée à l'échéance de 2035 en appliquant différents itinéraires sylvicoles (nombre et volume prélevé à chaque éclaircie, âge de la coupe finale) et différents taux de réalisation de chacun d'entre eux.

L'évolution de la surface des peuplements de douglas à renouveler au niveau national a été calculée pour un scénario tendanciel, correspondant à la poursuite de la sylviculture moyenne actuelle, et pour un scénario accéléré, prévoyant principalement des coupes finales plus précoces.

Au niveau national, le renouvellement du massif de douglas devrait impliquer un reboisement de l'ordre de 6500 (tendanciel) à 8500 ha/an (accéléré) sur les 10 prochaines années selon le scénario considéré. Il pourra s'ajouter à ces surfaces, des plantations réalisées après coupe d'autres espèces (substitution) (aujourd'hui de l'ordre de 6500 ha/an). Ainsi l'effort de reboisement devrait fortement augmenter dans les 10 prochaines années.

Pour relever ce défi, et produire plus de plants en France, les deux systèmes de production (godets et racines nues) seraient donc bien complémentaires. Les gestionnaires doivent être à même d'intégrer les atouts et les contraintes de chaque type de plants, et leur adaptation et pertinence aux contextes locaux, pour garantir l'efficacité de la filière graines et plants et la réussite des boisements et reboisements.

Bibliographie

- Arnott, J. (1978). Root development of container-grown and bareroot stock : coastal british columbia. In E. Van Eerden, & J. Kinghorn, *Proceedings, root form of planted trees symposium* (pp. It rep 8, pp. 257-267). BC Ministry of forest/Canadian forest services, victoria BC.
- Baubet, O., & Goudet, M. (2015). Enquête sur le rougissement physiologique du douglas dans le Massif central. *Bilan de la santé des forêts 2014, MAAF*, 8p.
- Bernier, P. L. (1995). Shoot : Root Ratio Is of Limited Use in Evaluating the Quality of Container Conifer Stock. *Tree Plant Notes*, 46:102–106.
- Binder, W., Fielder, P., Scagel, R., & Krumlik, G. (1990). Temperature and time-related variation of root growth in some conifer tree species. *Canadian Journal for Forest Research*, 20 : pp. 1192-1199.
- Chaumet, M., Eisner, N., & Peuch, D. (2018). Eclairage sur les performances des plants de douglas en godet. *FCBA INFO 19*.
- Drénou, C. (2006). *Les racines, face cachée des arbres*. Institut pour le Développement Forestier.
- Dupuy, L., & Fourcaud, T. e. (2005). A numerical investigation into the influence of soil type and root architecture on tree anchorage. *Plant and Soil.*, 278:119-134.
- Francllet. (1981).
- Gauniche, S. (2019). *Etat des lieux des plantations de Douglas réalisées avec des plants élevés en conteneurs de faible volume* sur le département du Puy de Dôme (63)*. Lempdes: CRPF Puy de Dôme.
- Grossnickle, S., & El-Kassaby, A. (2015). Bareroot versus container stocktypes : a performance comparison. *New Forests*.
- Haase, D. (2011). Seedling Root Targets. *Natl Proc For Conserv Nurs Assoc Proc RMRS-P-*, 65:80–82.
- Hahn, P., & Smith, A. (1983). Douglas-fir planting stock performance comparison after the third growing season. *Tree Plant notes*, 34 : 33-39.
- Helgerson OT, T. S. (1992). Effects of stocktype, shading, and species on reforestation of a droughty site in southwest Oregon. *N W Sci* 66:57–61.
- Hobbs, S., Crawford, M., & Yelczyn, B. (1989). Early development of three Douglas-fir stocktypes on a droughtly skeletal soil. *West J Appl For* 4, 21-24.
- Iverson, R. (1984). Planting-stock selection : meeting biological needs and operational realities. In M. Duryea, & T. Landis, *Forest nursery manual : production of bareroot seedlings*. (pp. pp261-269).
- MAAF. (2014). *Guide technique Réussir la plantation forestière, Contrôle et réception des travaux de reboisement* (3ième ed.).
- Macdonald, G., & Weetman, G. (1993). Functional growth analysis of conifer seedling responses to competing vegetation. *For Chron*, 69 : 64-70.
- Newton, M., & Cole, E. (1991). Root development in planted Douglas-fir under varying competitive stress. *Canadian Journal for Forest Research*, 21 : 25-31.
- Permingeat, J. (1999). Conséquences des déformations racinaires provoquées lors de la plantation du douglas en racines nues. *afocel - fiche informations-forêt n°589*.

- Pilz D, Z. R. (1986). Comparison of survival enhancement techniques for outplanting on a harsh site in the western Oregon Cascades. *Tree Plant Notes* 37:24–28.
- Plourde, A. (2007). *Croissance, développement et architecture des structures aériennes et souterraines de pins gris (Pinus banksiana Lamb.) dans un peuplement naturel et une plantation*. Québec.
- Ritchie, G., & Tanaka, Y. (1990). Root growth potential and the target seedling. In R. ROse, S. Campbell, & T. Landis, *Target seedling symposium : proceedings of the western forest nursery associations* (pp. pp. 37-51). USDA forest service technical report RM-200.
- Rose, R., & Haase, D. (2005). Root and shoot allometry of bareroot and container Douglas-fir seedlings. *New For* 30, 215-233.
- Rousselle, Y. J.-C. (19-21 septembre 2018). Evaluation des vergers à graines français de douglas : résultats des tests à 5 ans. *3èmes Assises du Douglas*, (pp. <https://www.france-douglas.com/mediatheque/assises-nationales/> (Atelier Ressources)). Bordeaux.
- Rousselle, Y., Bastien, J., François, D., Girard, S., Gobin, R., Matz, S., . . . Philippe, G. (2018). Evaluation des vergers à graines français de douglas : résultats des tests à 5 ans. *3èmes Assises du Douglas, 19-21 septembre 2018*, (pp. <https://www.france-douglas.com/mediatheque/assises-nationales/> (Atelier Ressources)). Bordeaux.
- Sharpe, A., Mason, W., & Howes, R. (1990). Early forest performance of roughly handled Sitka-spruce and Douglas-fir of different plant types. *Scott For* 44, 257-265.
- Sheridan, R. (2019). *Influence of Limited Water Access on Douglas-fir Seedling Root Systems, Physiology, and Growth*.
- Sundström, E., & Keane, M. (1999). Root architecture, early development and basal sweep in containerized and bare-rooted Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Plant and Soil*, 65-78.
- Zanetti, C., Vennetier, M., Mériaux, P., & Provansal, M. (2015). Plasticity of tree root system structure in contrasting soil materials and environmental conditions. *Plant and Soil*, pp 21-35.
-

VI. Annexes

VI.1 Annexe 1 : Suivi de la convention

La convention E17/2018 a été notifiée le 20/12/2018.

Le budget de la subvention a été imputé au domaine fonctionnel 149 -26-12

Premier comité de pilotage : le 18 Mars 2019, à Paris

Etaient présents :

Carole Bastianelli, MAA BGeD
Olivier Baubet, DSF AURA
Marin Chaumet, FCBA
Josette Chauvin, DRAAF BFC
Laurent Firmin, DRAAF Occitanie
Sabine Girard, CNPF IDF
Nicolas Lecoeur, DRAAF NA
Catherine Maison, DRAAF PdeL
Léa Veuillen, CNPF IDF

Deuxième comité de pilotage : les 5-6 Juin 2019, Lempdes et Chaméane

Etaient présents :

Carole Bastianelli (BGeD DGPE MAA)
Olivier Baubet (DSF)
Marin Chaumet (FCBA)
Josette Chauvin (DRAAF BFC)
Laurent Firmin (DRAAF Occitanie)
Sabine Girard (IDF)
Catherine Maison (DRAAF PdL)
Philippe Vaurs (DRAAF AuRA, invité)
Léa Veuillen (Chargé de mission CNPF)

Troisième comité de pilotage : le 28 août 2019, Paris

Etaient présents :

Carole Bastianelli (BGeD DGPE MAA)
Olivier Baubet (DSF)
Marin Chaumet (FCBA)
Laurent Firmin (DRAAF Occitanie)
Sabine Girard (IDF)
Nicolas Lecoeur, (DRAAF NA)
Catherine Maison (DRAAF PdL)
Léa Veuillen (Chargé de mission CNPF)

VI.2 Annexe 2 : Liste des contacts

| Région | Type d'organisme | Organisme | Nom |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| AURA | coopérative | CFBL | Baptiste Betemps |
| | coopérative | CFBL | Vincent Gouin |
| | coopérative | COFORET | Frédéric Michon |
| | coopérative | COFORET | Mickael Lacroix |
| | coopérative | UNISYLVA | Clement Durand |
| | CRPF | CRPF | Sebastien Gauniche |
| | CRPF | CRPF | Marc Lafaye |
| | CRPF | CRPF | René Sabatier |
| | CRPF | CRPF | Norbert Riocreux |
| | CRPF | CRPF | Bruno Pasturel |
| | CRPF | CRPF | Marie Pauline Tachon |
| | CRPF | CRPF | Philippe Couvin |
| | CRPF | CRPF | Adrien Balzenc |
| | CRPF | CRPF | Dominique Jay |
| | DRAAF | DRAAF | Chantal Faure |
| | experts | experts | Nicolas Moneret |
| | Maison de la forêt et du bois | Maison de la forêt et du bois | Pascale Motot |
| | ONF | ONF | Arnaud Galletti |
| | Pepiniere + reboisement | DUBOST | Romain Saint Joanis |
| | Pepiniere + reboisement | ETP THEVENON | Frederic Thevenon |
| | Pepiniere + reboisement | GENEST | Philippe Genest |
| | Pepiniere + reboisement | PICHON | Pépinrière Pichon |
| | Propriétaire | - | David Poumarat |
| Reboisement | CENTRE BOIS | Entreprise Centre Bois | |
| Reboisement | SARL CUOQ | Pascal Jouve | |
| Reboisement | SARL CUOQ | Anthony Forand | |
| AURA + OCCITANIE | Reboisement | BUNOUT | Entreprise Bunout |
| Belgique | experts | experts | Valery Bemelmans |

| | | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| BFC | coopérative | CFBL | Stéphane Ollagnon |
| | coopérative | CFBL | Bruno Ramage |
| | CRPF | CRPF | Bruno Borde |
| | CRPF | CRPF | Bruno Vanstaevel |
| | CRPF | CRPF | Antoine Delbergue |
| | CRPF | CRPF | Brigitte Jozon |
| | CRPF | CRPF | Hervé Louis |
| | DRAAF | DRAAF | Josette Chauvin |
| | experts | experts | Sebastien Chaton |
| | Pepiniere + reboisement | BOURGOGNE SYLVICULTURE | Alexandre Gil de Muro |
| | Pepiniere + reboisement | NAUDET | Thierry Quenesson |
| | Pepiniere + reboisement | NAUDET | Thomas Guyot |
| | Pepiniere + reboisement | NAUDET | Angélique Burtsey |
| | Pepiniere + reboisement | LECHAPT | Pépinière Lechapt |
| | Pepiniere + reboisement | PRIMARD | Pépinière Primard |
| | SF CDC | SF CDC | Philippe Latour |
| SF CDC | SF CDC | Amaury Jany | |
| SF CDC | SF CDC | Guillaume Silande | |
| SF CDC | SF CDC | Fabien Montcharmon | |
| SF CDC | SF CDC | Pierre Alain Sanders | |
| NOUVELLE AQUITAINE | coopérative | AFB | Loic Cotten |
| | coopérative | AFB | Laurence Degoul |
| | coopérative | AFB | Alix Vaquier |
| | coopérative | AFB | Yannick Calvat |
| | coopérative | CFBL | Michel Moulin |
| | coopérative | CFBL | Loïc Conter |
| | CRPF | CRPF | Aymeric Gabriel |
| | CRPF | CRPF | Marion Bolac |
| | CRPF | CRPF | Jeremy Abgrall |
| | DRAAF | DRAAF | Nicolas Lecoœur |
| | FCBA | FCBA | Marin Chaumet |
| | FCBA | FCBA | Nicolas Eisner |
| | Pepiniere | FORELITE | Loic Iffat |

| | | | |
|-------------------------|-------------|------------------------------|----------------------|
| | Pepiniere | NAUDET | Guillaume Decolombel |
| | Pepiniere | PLANFOR | Jean Marc Bonedeau |
| OCCITANIE | CNPF-IDF | IDF | Christophe Drénou |
| | CNPF-IDF | IDF | Grégory Sajdak |
| | coopérative | AFB | Idriss Wachill |
| | CRPF | CRPF | Pascal Matthieu |
| | CRPF | CRPF | Grégory Philippe |
| | CRPF | CRPF | Jean Yves Magaud |
| | CRPF | CRPF | Jean Michel D'orazio |
| | CRPF | CRPF | Alexandre Petroff |
| | CRPF | CRPF | Magali Maviel |
| | CRPF | CRPF | Stephane Serieye |
| | DRAAF | DRAAF | Laurent Firmin |
| | experts | Foret evolution | Frederic Lejuez |
| | experts | Foret evolution | Jean Mathieu Colin |
| | experts | IF experts | Denis Chauchadis |
| | experts | ABC | Gaetan Du Bus |
| | GF | IFE | Sophie Pithon |
| | Reboisement | GANNAC | SAS Gannac |
| | Reboisement | BRENAC | Entreprise Brenac |
| | SF CDC | SF CDC | Thibaut Salvetat |
| | SF CDC | SF CDC | Sebastien Roch |
| SF CDC | SF CDC | Sebastien Diaz | |
| PAYS DE LA LOIRE | DRAAF | DRAAF | Catherine Maison |
| France entière | APT | APT | Meriem Fournier |
| | CNPF-IDF | IDF | Jean Lemaire |
| | CNPF-IDF | IDF | Michel Chartier |
| | CNPF-IDF | IDF | Sophie Saint Jore |
| | coopérative | UNISYLVA | Emmanuel Patigny |
| | DRAAF | DSF | Olivier Baubet |
| | DRAAF | DSF | Bernard Boutte |
| | experts | CABINET ROUSSELIN GOURMIN | Matthieu Chevereau |
| | ONF | ONF | Yves Rousselle |

| | | |
|-----------|-----------|----------------------|
| Pepiniere | ROBIN | Christophe Giordano |
| Pepiniere | ROBIN | Christine Robin |
| Pepiniere | LEMONNIER | Samuel Lemonnier |
| SF CDC | SF CDC | Ceydic Sedilot Gasmì |

VI.3 Annexe 3 : Protocole d'évaluation de la réussite des plantations de l'année du Département Santé des Forêts (mise à jour mai 2018)

1- Le contexte

La plantation est une phase difficile de la vie d'un peuplement forestier. Les arbres quittent la pépinière (milieu très favorable à leur physiologie) pour la parcelle forestière, milieu beaucoup plus hostile.

Outre la crise normale de plantation, ces jeunes plants peuvent subir des stress divers :

- d'ordre abiotique : gel, fortes températures, sécheresse, etc. ...,
- d'ordre biotique : attaques d'insectes et champignons, souvent spécifiques des très jeunes arbres,
- d'ordre anthropique : travaux de sols, de préparation ou de stockage des plants, de plantations, d'entretien inappropriés.

L'objectif du présent suivi est d'évaluer l'importance relative de ces différents stress potentiels sur la survie des plants lors de leur première année de vie en forêt. C'est également un observatoire des techniques de plantation et il peut permettre de mettre en relation ces techniques avec la réussite des plantations.

La mise en œuvre implique une collaboration étroite avec les différents acteurs concernés : pépiniéristes, reboiseurs, DDT, gestionnaires etc, notamment pour informer les correspondants-observateurs sur les parcelles plantées susceptibles d'être échantillonnées ainsi que sur la collecte des informations relatives à celles-ci (travaux mis en œuvre, année d'exploitation...).

2 - Le suivi

2 a - Choix des plantations suivies

L'évaluation porte sur un échantillon de parcelles de 1 ha au moins, plantées, toutes essences confondues (feuillus et résineux), au cours de l'hiver précédent et du printemps soit, pour l'année n, entre le 1er octobre de l'année n-1 et **le 15 mai de l'année n (mise à jour mai 2018)**.

Le correspondant-observateur s'efforcera de choisir parmi toutes les plantations dont il aura connaissance, des parcelles de 1 ha au moins représentatives de l'ensemble des plantations connues de son secteur. Cette représentativité portera sur l'antécédent culturel, la répartition géographique au sein de la zone de travail du correspondant-observateur, l'essence de reboisement, le type de plant, etc. Dans les parcelles de plus de 5 ha, il est possible de mettre en œuvre 2 protocoles d'observation.

En cas de mélange d'essences, il est possible de mettre en œuvre plusieurs protocoles, un par essence, sur la même plantation. Dans ce cas, seules les essences prépondérantes sont cependant observées et une fiche d'observation par essence est réalisée.

2 b - Réalisation des suivis

La notation porte sur 100 plants, répartis sur 10 grappes de 10 plants distantes de 50 mètres environ selon un parcours en U. Il est primordial de prendre les plants au hasard et de ne pas privilégier les arbres atteints d'un symptôme particulier ou mort et de ne pas faire de notation le long d'un chemin ou d'un cloisonnement.

Dans les parcelles de grandes dimensions, le cheminement est donc composé de deux virées de 200 mètres de long chacune, elles-mêmes distantes, en règle générale, de 50 mètres. Le cheminement terminé, l'observateur aura donc effectué un parcours en forme de « U ». Dans les parcelles de petites dimensions et/ou de forme complexe, un parcours de 450 m est positionné au mieux (mise à jour mai 2018).

Deux notations sont effectuées au cours de la première année de la vie de la plantation :

- la première un mois après débourrement (soit entre le 1er mai et **le 30 juin - mise à jour mai 2018** - selon l'essence et la région).
- la seconde en fin de saison de végétation (soit entre le 1er octobre et le 15 novembre). La seconde notation est effectuée dans une partie aussi proche que possible de celle où a été faite la première, mais pas obligatoirement sur les mêmes plants.

Lors de la seconde notation, le comptage cumule les éventuels effets des différents facteurs notés lors de la première notation. Sur les essences caducifoliées, la seconde notation doit être effectuée avant la chute des feuilles.

La saisie des données doit être réalisée avant le 31 août pour la notation de printemps et avant le 15 décembre pour la notation d'automne.

Pour les boisements de terre agricole, les rubriques "date d'exploitation" et "essence exploitée" resteront vierges. Pour les autres plantations, si ces données sont inconnues, la rubrique est renseignée par un "?".

Concernant les plants en mottes ou en godets, 4 volumes sont proposés : G 100, pour les plants de 100 à 150 cm³, G 200 (151 à 250 cm³), G 300 (251 à 350 cm³) et G 400 (351 cm³ à 400 cm³). Pour les volumes supérieurs à 400 cm³, saisir GO et indiquer le volume en « informations complémentaires » (mise à jour mai 2018).

Une liste minimale de problèmes à rechercher est définie avec 5 problèmes généraux pour toutes les essences et certains problèmes spécifiques pour des essences ou des groupes d'essences déterminés.

Concernant les plants manquants ou non retrouvés, si aucune raison n'explique que le plant est manquant (comme une souche ou un rocher ayant empêché la plantation), **le plant est noté ABSENT et est inclus dans les 100 plants observés sur la plantation (mise à jour 2018).**

Sur la fiche d'observation, les plants observés sont ventilés en 3 colonnes : indemnes, atteints mais non morts ou morts. **Un plant sera noté « atteint » s'il est affecté de manière significative par un problème, un symptôme ou un dommage sanitaire soit au moins 10 % de la surface foliaire ou de la tige (mise à jour 2018).**

La mortalité d'un plant ne doit être attribuée qu'à un seul facteur : il faut donc déterminer le facteur prépondérant de la mortalité et renseigner la case correspondante. Les plants morts doivent être arrachés pour observer les éventuels dégâts sur les racines et grattés au niveau du collet (décision 2014) Pour les autres problèmes recherchés, le plant est comptabilisé selon le cas en indemne ou en atteint mais non mort.

Il n'est pas toujours possible de déterminer précisément si un plant est mort pour une raison anthropique ou pour une raison climatique : c'est la raison pour laquelle ces causes sont comptabilisées avec la cause "inexpliquée". Toutefois, en cas de conviction forte, il convient de préciser la cause incriminée dans le champ PROBLEME. Si aucune cause n'est identifiée, des précisions doivent être apportées par l'observateur dans la rubrique « Remarques ». De plus, lorsque les mortalités abiotiques ou inexpliquées sont élevées (+ de 50 % de plants morts), il est fortement conseillé de prélever des échantillons dans le cas de présence potentielle de facteurs biotiques non visibles : pathogènes racinaires : *fomes*, *phytophthora* sur chênes ou châtaignier... ou de faire une tournée avec le pôle.

Les données sont reportées sur la fiche spécifique et saisie sur le module correspondant de

Mémo de terrain

Suivi des plantations

Objectifs du suivi

- Evaluer l'importance des facteurs affectant la survie des plants lors de leur 1^{ère} année en forêt.
- Observer les méthodes de plantation et faire le lien avec la réussite de la plantation.

A l'installation

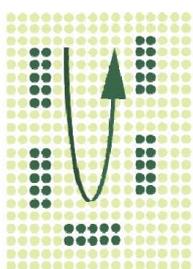
Plantation cible

- Plantation de plus d'1 hectare
- Toutes essences (+/- représentatives de la région ou jugées d'avenir)
- Plantée entre le 1^{er} octobre de l'année précédente et le 30 avril de l'année en cours

A faire

- Se renseigner auprès du propriétaire / gestionnaire : essence exploitée, année de l'exploitation, type de plants, mois de plantation, travaux,..
- Prendre coordonnées GPS de la parcelle
- Noter essence dominante (=essence majoritaire plantée)

Suivi



- Parcours en U par grappe de 10 plants (x 10 grappes = 100 plants)
- Espacez les grappes d'au moins 50mètres
- Choix des grappes aléatoire (*ne pas commencer la grappe parce que « le plant a telle ou telle caractéristique »*)
- Ne marquez un plant absent comme mort seulement si vous êtes certain qu'il a bel et bien été planté (cause ABIOTIQ)
- Pas en lisière ou le long d'un chemin (= tassements)
- Plants morts: en **arracher quelques-uns** pour examiner le système racinaire
- **On ne note que les problèmes que l'on voit !**
- Notation 1 mois après débournement

Calendrier d'action

| Janv. | Févr. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-------|-------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ |

La fiche de notation

| GRAPPE | INDEMNES | PROBLÈME : <i>DOTHISD</i> | | PROBLÈME : <i>HYLOABI</i> | |
|----------------------|---------------------|--|------|---|------|
| | | ATTEINT | MORT | ATTEINT | MORT |
| 1 | ☐ | ☐ | | ☐ | ☐ |
| = 10 plants observés | = 3 plants indemnes | = 2 plants atteints par la maladie des bandes rouges | | = 6 plants atteints par l'hylote (4 vivants et 2 morts) | |

- Un plant peut être atteint par plusieurs problèmes
- Un plant n'a qu'une seule cause de mortalité
- La somme des plants indemnes et morts ne peut excéder 100 (=nbre de plants observés).

Les codes

...problème

Il s'agit de déterminer l'origine du dégât observé. Pourquoi le plant est-il comme cela? Quelle en est la cause?

...symptôme

Description factuelle du dégât observé. Des consommations, des colorations, la présence d'insectes ou champignons?

...organe

A quel endroit le symptôme est-il localisé? Sur la feuille, la tige, les racines?

Le plant observé est...



Dernière mise à jour: Sept 2017



Protocole de mesures

Inventaire de chantiers comparatifs de plantation – Mai - Juin 2019

I. Prise de données à l'échelle du chantier

I.1 Informations sur l'itinéraire technique de plantation

Une fois que le chantier est confirmé comme étant une plantation comparative répondant aux critères établis, demander au gestionnaire qui a effectué le reboisement les informations listées ci-dessous :

Tableau 1 : Liste des informations à récupérer auprès du gestionnaire

| | Paramètre | Description |
|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| Localisation | Département | |
| | Commune | |
| | Coordonnées GPS | Système WGS84 |
| | Références cadastrales | |
| | Propriétaire | |
| | Surface | |
| Préparation chantier | Précédent cultural | |
| | Année de coupe | |
| | Traitement des rémanents | |
| | Traitement des souches | |
| | Préparation du sol | |
| | Entreprise pour la préparation du sol | |
| Plantation | Entreprise pour la plantation | |
| | Mode de plantation | Pioche / canne à planter / autre |
| | Année de plantation | |
| | Mois de plantation | |
| | Distance interligne, intraligne | |
| | Densité de plantation | |
| | Traitement hylobe | |
| | Protection gibier | |
| | Fertilisation | |
| | Essences accompagnatrices | |
| Plants | Pépinière de provenance des plants | |
| | Variété | |
| | Age | 1+1 / 1+2 / 2+1/ 1-0 |
| | Taille des plants avant plantation | En cm (ex : 30-60) |
| | Taille du godet | En cc |
| | Type de godet | Paroi ajourée / pleine Paroi rainurée / lisse Système anti-chignon |
| Entretien | Regarnis | Date, pourcentage, cause |
| | Dégagements | Date |

Demander le certificat de provenance des plants afin d'obtenir les informations les plus précises possibles concernant la provenance des plants.

I.2 Données stationnelles

I.2.1 Caractéristiques topographiques, géologiques et édaphiques

Sur le site géoportail.fr, relever l'altitude, la pente moyenne (vérifiée au clisimètre sur la parcelle). Le substrat géologique est déterminé à partir des cartes géologiques départementales (source : site du BRGM) sous SIG.

Après avoir mesuré les plants, effectuer une analyse du sol à l'aide d'une tarière et relever la profondeur prospectable, la cause de l'arrêt, ainsi que la texture dominante à une vingtaine de cm de profondeur. Un échantillon du sol à environ 10cm de profondeur est prélevé afin de déterminer son pH au pH-mètre.

La situation topographique est déterminée sur le terrain.

Les espèces principales composant la végétation concurrente sont notées.

Tableau 2 : données stationnelles

| Relief | |
|-------------------------------------|--|
| Pente moyenne | % |
| Exposition | N/S/E/O, si pente > 10% |
| Situation topographique | croupe/replat/dépression/vallon/bas de versant/ milieu de versant/ haut de versant/ plateau |
| Facteurs édaphiques | |
| Roche mère | |
| Profondeur prospectable | Cm maximal atteint avec la tarière |
| Texture des 20 premiers centimètres | S/A/L/SL/LS/... |
| pH | |
| Végétation concurrente | |
| Végétation concurrente | Sur les zones où l'on mesure des plants. Espèces considérées : Genêt, fougère aigle, ronce, framboisier, ... |

I.2.2 Caractéristiques climatiques

Un point GPS est relevé sur chaque plantation comparative. La station météorologique la plus proche est déterminée sous SIG, et les données concernant les précipitations et températures mensuelles depuis l'année de plantation sont demandées auprès de Météo France.

Tableau 3 : Variables climatiques récupérées auprès de Météo France

| Variable climatique | Source des données |
|---------------------------------------|--|
| Précipitations mensuelles (mm) | Données Météo France de la station météorologique la plus proche |
| Températures mensuelles moyennes (°C) | |

II. Données relevées à l'échelle du plant

II.1 Plan d'échantillonnage

La localisation précise et la surface plantée en godets et en racines nues n'est, dans la majeure partie des cas, pas connue avant d'arriver sur la plantation. Dès l'arrivée sur la plantation, la parcourir dans son ensemble afin de repérer sur le terrain la localisation des plants en godets et des plants en racines nues. Déterminer ainsi le plan d'échantillonnage qui pourra s'appliquer en fonction des conditions stationnelles observées : si les conditions stationnelles sont variables, diriger l'échantillonnage afin qu'elles soient les mêmes pour godets et racines nues. Par exemple si les plants en racines nues se situent dans une pente, et les plants en godet dans cette même pente et sur la croupe au-dessus, ne sélectionner pour l'échantillonnage que les plants situés dans la pente (l'objectif étant bien de comparer les deux types de plants et non de faire un bilan de la plantation dans son ensemble).

L'échantillonnage s'appuie sur le protocole déjà établi par le DSF pour l'enquête annuelle de la réussite des plantations :

Sont inventoriées, par type de plant, 10 grappes de 10 **emplacements** réparties aléatoirement sur la parcelle ou la partie de la parcelle sélectionnée pour les mesures (soit en tout 100 emplacements ; Un plant est en théorie présent sur chaque emplacement, mais il peut être absent / mort / ...). Les lignes de plantation bordant les andains ne sont **pas considérées** dans l'échantillonnage, afin d'éliminer l'« effet andain ».

Une grappe correspond à un parcours en U, 5 emplacements dans un sens, puis 5 dans le sens du retour de façon à éliminer l'« effet planteur ». Les grappes sont réparties de manière aléatoire sur l'étendue de la plantation ou de la partie de la plantation retenue.

II.2 Mesures à réaliser sur chaque plant de l'échantillon

Les plantations inventoriées présentent une forte hétérogénéité en âge (plantations réalisées de 2013 à 2018). Il a été décidé de distinguer :

- Plantations « anciennes » : 4 à 6 années de végétation
- Plantations « récentes » : 1 à 2 années de végétation

Par plant sont relevées les variables suivantes :

Tableau 4 : Variables relevées à l'échelle du plant

| Paramètre relevé | Mesure | Description |
|------------------|--|---|
| ETAT | v = vivant m = mort nm = non mesurable s = emplacement vide | Nm : plant encore vivant mais à l'avenir très compromis (cassé par la végétation, la neige ou le gibier ; sec sur plus de la moitié du plant même si les branches basses sont encore vivantes, ...) |
| PERFORMANCES | | |
| Hauteur | cm couvert | Hauteur de la pousse de 2018 (pousse de l'année 2019 non prise en compte quand plants débouffés lors de la mesure), à la perche télescopique |
| Diamètre | mm | Mesure au collet pour les plants ayant eu 1 ou 2 saisons de végétation ; A 1m30 pour les plus anciens (4 à 6 saisons de végétation), au pied à coulisse. |

| CONFORMATION DU PLANT | | |
|---|---------------|---|
| Courbure à la base de la tige | COURB | |
| Baïonnette | BAI | Branche partant de la tige principale avec un angle aigu, formée avant la dernière saison de végétation, dont le diamètre est au moins égal à la moitié du diamètre de la tige principale |
| Défauts de tête | TET | Double-tête ou Multi-tête (formation à la dernière saison de végétation) |
| Fourche | FOURC | Toutes les fourches sauf celles de l'année en cours (qui sont des défauts de tête), et, pour les plantations anciennes, celles situées sous la mesure de diamètre (qui sont des jumelles) |
| Jumelles (double tige) | JUM | Fourche dont la base se situe sous la mesure de diamètre. (le diamètre mesuré est alors celui de la jumelle la plus grande) |
| SENSIBILITE AUX DEGATS BIOTIQUES /ABIOTIQUES | | |
| Frottis ancien (cicatrisé) | FROTANC | |
| Frottis récent (non cicatrisé) / abroutissement | FROTREC | |
| Hylobe | HYL | Présence de morsures |
| Cime sèche | CIMS | |
| Cime cassée | CK | |
| Autres blessures d'envergure | BLESS | Blessures remettant en cause l'avenir du plant uniquement (ne pas noter les petites blessures cicatrisées sans incidence). Cause inconnue (grêle, parasite quelconque, végétation...) |
| Plant rouge | ROUGE | |
| STABILITE ET ANCRAGE DU PLANT | | |
| Zone de jeu autour du collet | cm | zone de dépression autour du collet qui indiquerait une liberté de mouvement du plant. |
| Ecart à la verticalité basale* | Note de 0 à 3 | Mesure à prendre en cm à 1m30. |

*uniquement pour les plantations anciennes

Quelques précisions :

- Gestion des regarnis

Lorsqu'il y en a, les regarnis sont inclus dans l'inventaire pour les plantations anciennes puisqu'on ne dispose d'aucun moyen de les différencier. Pour les plantations récentes, les regarnis sont différenciables : si on trouve le plant mort à côté du regarni, il est décrit comme mort ; sinon, comme absent.

- Défauts de forme

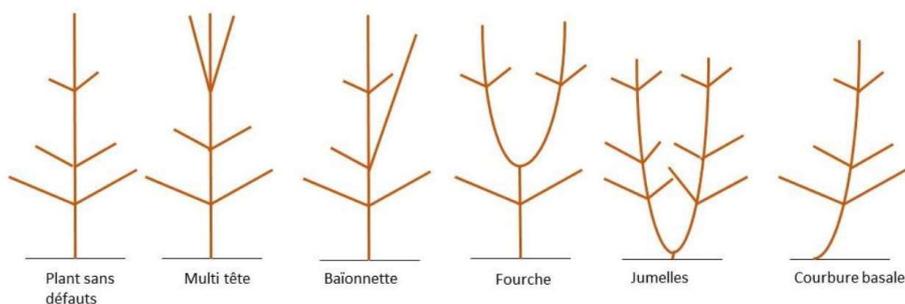


Figure 1 : Description des défauts de forme

- Dégâts biotiques entraînant des défauts de forme

Si un défaut de conformation (défaut de tête fréquemment) est de manière évidente causé par un frottis de gibier ou par l'hylobe : Ne noter **que le dégât biotique en question, pas la déformation qu'il induit.**

- Mesure de l'écart à la verticalité

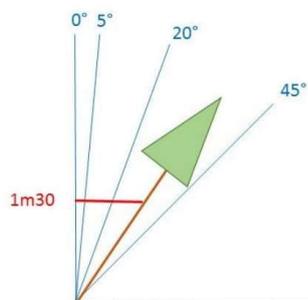


Figure 2 : Mesure de l'écart à la verticalité par la distance horizontale entre la verticale et le tronc (en rouge sur le schéma)

L'écart à la verticalité est mesuré à 1m30 : la distance entre la verticale et le tronc est notée (en cm) et celle-ci est ensuite convertie en une note de 0 à 3 selon le tableau suivant :

Tableau 5 : Correspondance entre la notation et les mesures d'écart à la verticalité

| Note | Distance à la verticale en cm | Angle d'inclinaison en degrés |
|------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 0-11 | 0-5 |
| 1 | 11-47 | 5-20 |

| | | |
|----------|--------|-------|
| 2 | 47-130 | 20-45 |
| 3 | >130 | >45 |

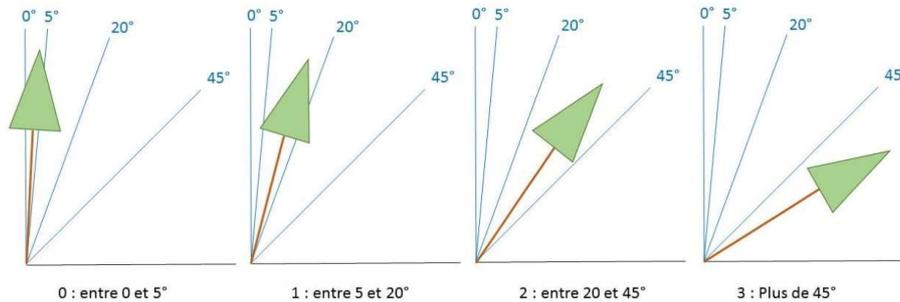


Figure 3 : Notes d'écart à la verticalité en fonction de l'angle entre la verticale et le tronc

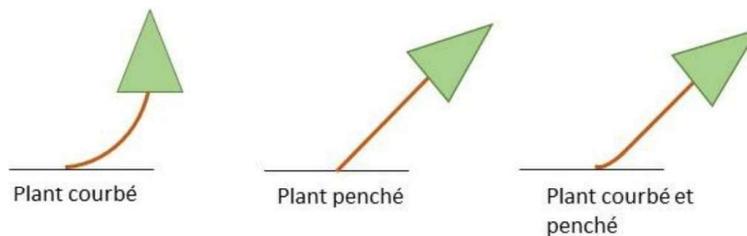


Figure 4 : différence entre courbure et écart à la verticalité

III. Extraction de plants pour l'étude de leur système racinaire

III.1 Plan d'échantillonnage

L'extraction des plants est très chronophage. Aussi, il a été décidé d'en extraire 5 de chaque type pour les plantations récentes, et 3 ou 4 de chaque type selon le temps nécessaire pour les plantations anciennes.

Le 5^{ème} plant de chaque grappe est marqué d'un ruban de couleur pendant les mesures de hauteur, diamètre et conformation. Si celui-ci est absent, mort ou non mesurable, c'est le 6^{ème} plant qui est marqué, puis ainsi de suite jusqu'à trouver un plant vivant et mesurable.

Ensuite, 5 plants de chaque type sont choisis de manière aléatoire parmi les plants marqués pour être extraits.

III.2 Méthode d'extraction

Une marque est tout d'abord appliquée dans le sens de la ligne de plantation au niveau du sol, sur le tronc du plant (encoche au sécateur).

A la pioche et à la bêche, on dégage 20cm de chaque côté et 30cm au-dessous de la tige. La terre est ensuite extraite à la main. Le but est de réussir à extraire toutes les racines dans un volume de 40cm de côté et 30cm de profondeur autour du plant.

Les plants des plantations récentes sont ensuite étiquetés et mis en sacs pour être conservés jusqu'à analyse.

Les plants des plantations anciennes sont trop volumineux pour permettre l'export de l'ensemble du plant. Après mesure de la hauteur de chaque pousse annuelle et du diamètre au collet, le système aérien est donc laissé sur place. Le système racinaire seul est prélevé.

IV. Mesures réalisées « au laboratoire »

IV.1 Plants des chantiers récents

Les plants extraits sont photographiés dans leur ensemble en marquant à l'aide de repères colorés le niveau du sol et le niveau du collet réel, afin d'avoir une vue d'ensemble de chaque plant. La hauteur du système aérien est remesurée, ainsi que le diamètre au collet et la profondeur d'enterrement du collet sous le niveau du sol.

Le système aérien du plant est ensuite découpé 1cm au-dessus du collet et mis en sachet.

Le système racinaire est lavé afin de le débarrasser de la terre, des cailloux, des racines des autres végétaux et des restes de tourbe.

La présence de déformations racinaires (L, J, enroulement des racines, chignon, cage à oiseau) est notée.

Le système racinaire est ensuite photographié selon deux prises de vue, sur un fond gradué :

-Une prise de vue dans un plan axial permettant d'observer la répartition horizontale des racines : le système racinaire est posé sur une cible, collet vers le haut, et photographié « vu du dessus »

-Une prise de vue dans un plan vertical qui permet de constater l'étagement vertical du système racinaire : le système racinaire est posé sur un plan gradué avec une ligne correspondant au niveau du sol, la marque correspondant à la ligne de plantation contre le plan afin que tous les systèmes racinaires soient orientés de la même façon.

La longueur du pivot, depuis le collet jusqu'à ce que le pivot se ramifie, est mesurée en cm. Chaque système racinaire est ensuite également placé en sachet.

Les sachets contenant les systèmes racinaires et aériens sont étiquetés et envoyés au FCBA à Limoges, afin d'être séchés en étuve pendant 48h à 50°C.

La masse sèche du contenu de chaque sachet (en grammes) est ensuite mesurée à l'aide d'une balance de précision.

IV.2 Plants des chantiers anciens

Le système racinaire extrait est lavé, puis photographié selon le même protocole que celui décrit précédemment.

Les systèmes racinaires sont conservés pour démonstrations lors de formations futures.

IV.3 Mesures réalisées sur les photos prises

Les photos prises sont ensuite triées et mises à la même échelle pour chaque chantier.

Les mesures effectuées sont :

➤ Sur la prise de vue dans un plan axial :

La répartition des racines sur un plan horizontal est mesurée selon une note de 0 à 4 correspondant aux quatre quarts de cercles susceptibles d'être prospectés par le système racinaire. Cette note est donnée pour des cercles de 5cm, 10cm, 15cm et 25cm de rayon autour de la tige. Par exemple, si les racines ne prospectent que la moitié de l'espace sur un plan horizontal, la note de 2 est attribuée (voir exemple de la figure 5).

➤ Sur la prise de vue dans un plan vertical :

La profondeur d'enracinement est mesurée en deux points : la profondeur supérieure et la profondeur inférieure d'enracinement. Les racines esseulées ne sont pas prises en compte pour ces mesures. En effet les racines esseulées ont pu être coupées ou arrachées lors de l'extraction et ne correspondent donc pas à la réelle profondeur d'enracinement maximal. C'est donc la profondeur de l'essentiel de la masse racinaire qui est considérée.

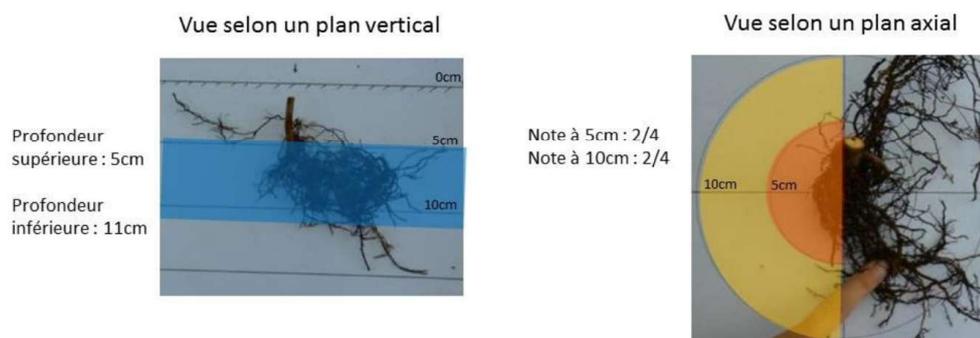


Figure 5 : Exemple d'analyse des photographies d'un système racinaire

V. Bilan des variables relevées

Tableau 6 : Bilan de variables relevées

| A l'échelle de la parcelle | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Localisation | Département |
| | Commune |
| | Coordonnées GPS |
| | Références cadastrales |
| | Propriétaire |
| | Surface |
| Station | Altitude |
| | Topographie |
| | Pente moyenne |
| | Exposition |
| | Roche mère |
| | Profondeur prospectable |
| | Texture |
| | PH |
| | Végétation concurrente |
| Confinement | |
| Préparation chantier | Précédent culturel |
| | Année de coupe |
| | Traitement des rémanents |
| | Traitement des souches |
| | Préparation du sol |
| | ETP pour la préparation du sol |
| Plantation | ETP pour la plantation |
| | Mode de plantation |
| | Année de plantation |
| | Mois de plantation |
| | Distance interligne, intraligne |
| | Densité de plantation |
| | Traitement hylobe |
| | Protection gibier |
| | Fertilisation |
| | Essences accompagnatrices |
| Plants | Pépinière de provenance des plants |
| | Variété |
| | Age |
| | Taille du godet |
| | Taille du plant |

| | |
|-----------|-------------|
| Entretien | Regarnis |
| | Dégagements |

| A l'échelle du plant | |
|--|--|
| Localisation relative | Numéro de grappe |
| Performances | Etat (vivant, mort, absent, non mesurable) |
| | Hauteur |
| | Diamètre |
| Défauts de forme | Défaut de tête |
| | Baïonnette |
| | Fourche |
| | Jumelles |
| Dégâts d'origine biotique | Frottis ancien |
| | Abrouissement / Frottis récent |
| | Dégât hylobe |
| Dégâts d'origine abiotique ou indéterminée | Cime sèche |
| | Cime cassée |
| | Autre blessure |
| | plant rouge |
| Stabilité | Courbure basale |
| | Présence d'une zone de jeu |
| | Ecart à la verticalité |

| A l'échelle du plant extrait | |
|--|---|
| Performances | Hauteur |
| | Diamètre |
| | Masse sèche aérienne / masse sèche racinaire |
| Caractérisation sur un plan vertical | Profondeur d'enterrement du collet |
| | Longueur du pivot |
| | Epaisseur du système racinaire |
| | Profondeur médiane d'enracinement |
| Caractérisation sur un plan horizontal | Répartition horizontale des racines (1, 2, 3, 4 quarts de cercles couverts à 5cm et à 10cm de distance de l'axe du plant) |
| Défauts | Défauts majeurs (chignon, spiralisation, L ou J) |

VI. Matériel

-
- Perche télescopique de 5m
 - Pied à coulisse
 - Planche pour noter
 - Ruban dégradable de couleur
 - Pioche
 - Bêche

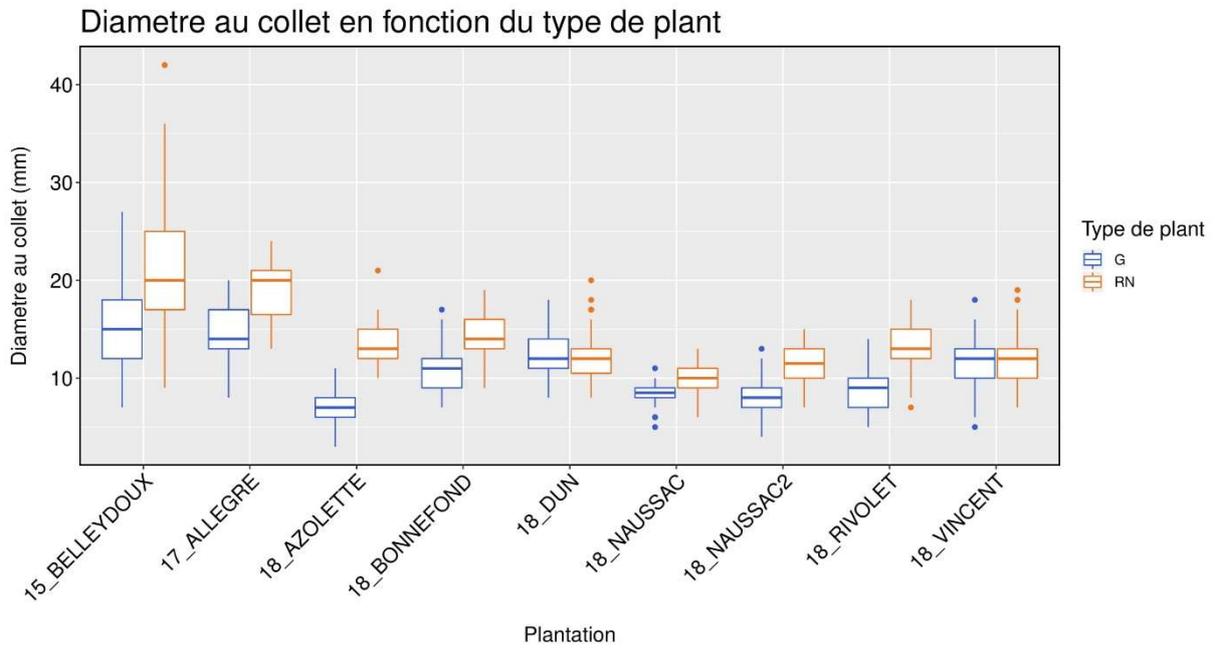
- Sécateur
- Scie
- Hache
- Appareil photo
- Règle
- Mètre charpentier
- Plaque graduée pour photos
- Contenants (seaux)
- pH-mètre et solutions d'étalonnage
- Tarière
- Clisimètre
- Sacs plastiques
- Sacs papier

VI.5 Liste des stations météo utilisées pour obtenir les données de température et pluviométrie mensuelles

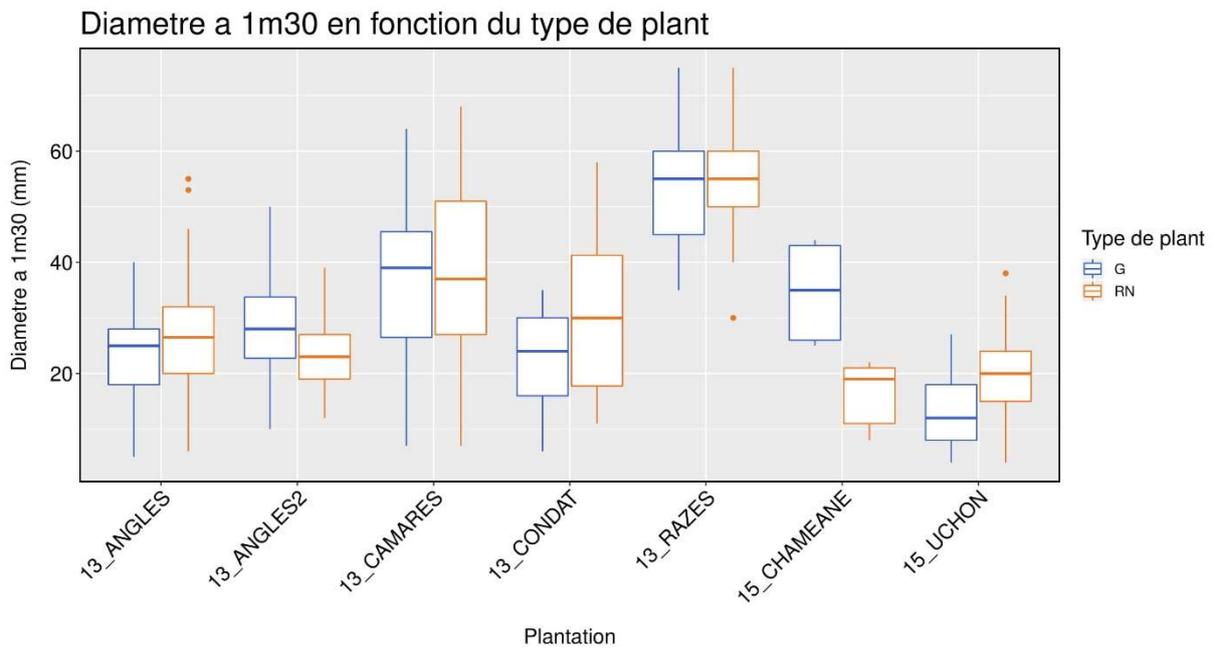
| Code plantation | Département | station météo la plus proche à l'altitude la plus proche | Température moyenne mensuelle | Pluviométrie mensuelle |
|------------------------|--------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|
| 13_ANGLES | 81 | 81014003 | non | oui |
| 13_CAMARES | 12 | 12179001 | oui | oui |
| 13_CONDAT | 63 | 63132002 | oui | oui |
| 13_RAZES | 87 | 87183001 | non | oui |
| 15_BELLEYDOUX | 1 | 1174001 | oui | oui |
| 15_CHAMEANE | 63 | 63353003 | oui | oui |
| 15_UCHON | 71 | 71551001 | non | oui |
| 17_ALLEGRE | 43 | 43095001 | oui | oui |
| 18_AZOLETTE | 42 | 71120001 | oui | oui |
| 18_BONNEFOND | 19 | 19033001 | oui | oui |
| 18_DUN | 58 | 58106005 | oui | oui |
| 18_NAUSSAC | 48 | 48105001 | oui | oui |
| 18_RIVOLET | 69 | 69257001 | non | oui |
| 18_VINCENT | 69 | 69128001 | non | non |

VI.6 Diamètres en fonction du type de plant

Diamètre au collet pour les jeunes plantations + 15_BELLEYDOUX



Diamètre à 1m30 pour les plantations de 4 & 6 ans



VI.7 Photos des racines des plants extraits

a. 13_RAZES

2013 RAZES



Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 13_RAZES | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|----------|--------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Répartition horizontale des racines | | Répartition verticale des racines | | | Pivot |
| | | | | Note moyenne à 15cm | Note moyenne à 20cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) |
| RN | 359,3 | 93,0 | indisponible | 3,7 | 3,3 | 3,3 | 16,7 | 26,7 | indisponible |
| G | 337,0 | 76,3 | indisponible | 4,0 | 3,7 | 1,7 | 13,8 | 24,3 | indisponible |
| Moyenne des deux types de plant | 348,2 | 84,7 | indisponible | 4,0 | 4,0 | 2,5 | 15,3 | 25,5 | indisponible |

RN 1



RN 2



RN 3



RN 2+1, 2013 RAZ 87

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF

G1



G2

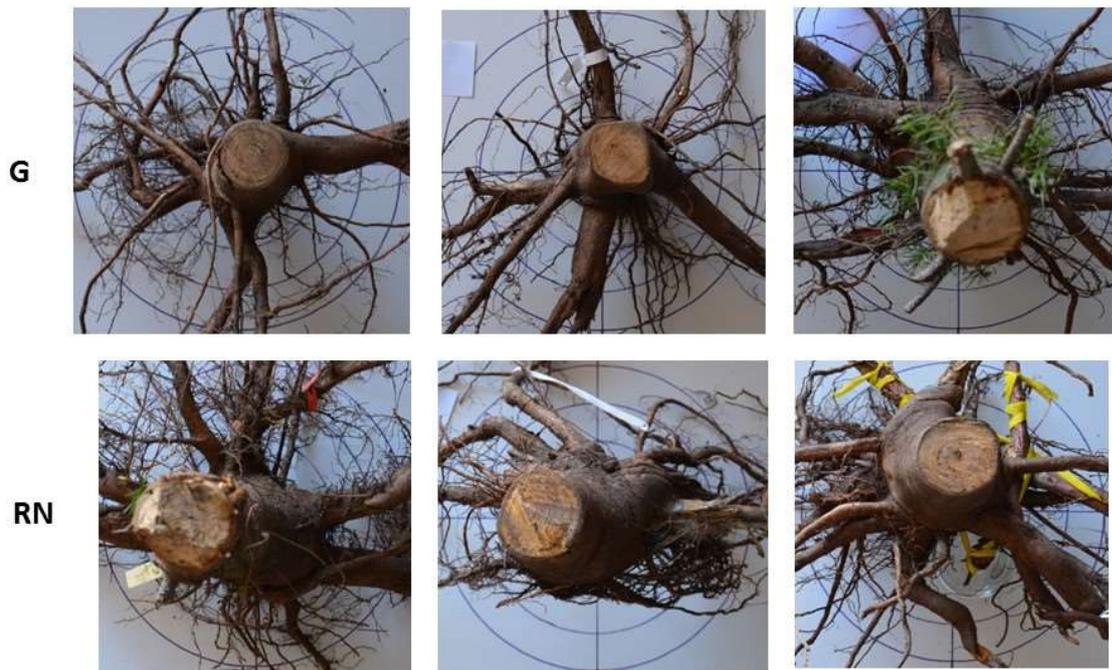


G3



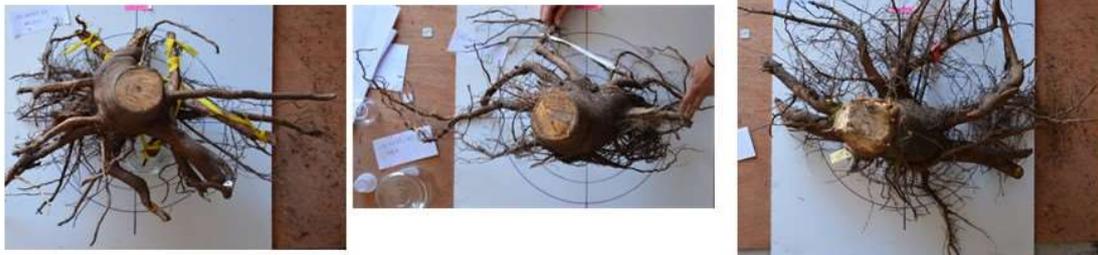
G 1-0, 200 cc 2013 RAZ 87

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF



2013 RAZES

Racines nues, 2+1 :



Godets 200 cc, G1-0 :



Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

b. 15_BELLEYDOUX

2015 BELLEYDOUX



Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 15_BELLEYDOUX | | Répartition horizontale des racines | | | Répartition verticale des racines | | | Pivot |
|---------------------------------|--------|---------------|--------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Note moyenne à 15cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) |
| RN | 114,4 | 23,2 | indisponible | 3,8 | 3,2 | 2,0 | 2,2 | 12,2 | 18,0 | 7,5 |
| G | 100,8 | 18,4 | indisponible | 3,8 | 2,8 | 1,8 | 1,4 | 8,9 | 13,0 | 8,2 |
| Moyenne des deux types de plant | 107,6 | 20,8 | indisponible | 3,8 | 3,0 | 1,9 | 1,8 | 10,6 | 15,5 | 7,9 |

RN 1



RN 2



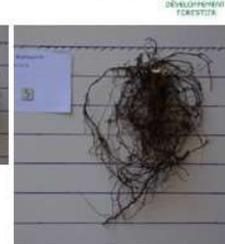
RN 3



RN 4



RN 5



RN 2+1, 2015 BEL 01

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF



G 1-0, 200 cc 2015 BEL 01

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF



G 1-0, 400 cc 2015 BEL 01

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF

c. 15_UCHON

2015 UCHON



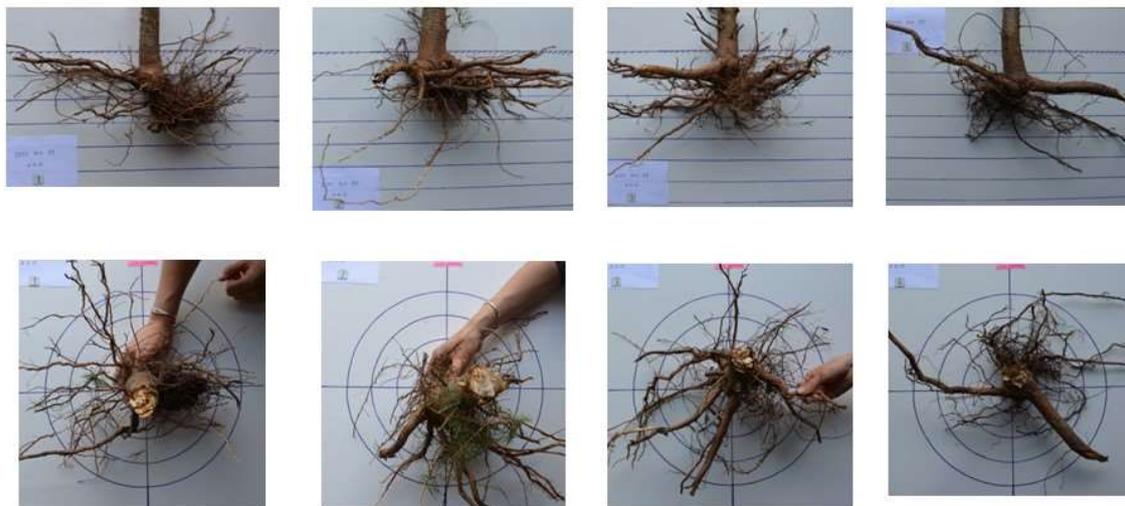
Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 15_UCHON | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|----------|--------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|--|
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Répartition horizontale des racines | | | Répartition verticale des racines | | | Pivot | |
| | | | | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Note moyenne à 15cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) | |
| RN | 237,5 | 41,8 | indisponible | 4,0 | 3,8 | 3,5 | 5,5 | 13,6 | 15,3 | 9,0 | |
| G | 211,8 | 45,3 | indisponible | 4,0 | 3,5 | 3,3 | 4,8 | 9,9 | 12,8 | 6,5 | |
| Moyenne des deux types de plant | 224,6 | 43,5 | indisponible | 4,0 | 3,6 | 3,3 | 5,1 | 11,8 | 14,0 | 8,2 | |



RN 1+2, 2015 UCH 71

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF



G 1-0, 2015 UCH 71

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF

d. 17_ALLEGRE

2017 ALLEGRE



Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 17_ALLEGRE | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|--|
| | H (cm) | D (mm) | R,S ratio | Répartition horizontale des racines | | | Répartition verticale des racines | | | Pivot | |
| | | | | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Note moyenne à 15cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) | |
| RN | 86,0 | 18,6 | 0,2 | 3,6 | 3,2 | 2,4 | 7,8 | 12,7 | 15,4 | 5,2 | |
| G | 47,6 | 13,6 | 0,3 | 4,0 | 1,6 | 1,4 | 3,4 | 10,3 | 12,6 | 4,5 | |
| Moyenne des deux types de plant | 66,8 | 16,1 | 0,3 | 3,8 | 2,4 | 1,9 | 5,6 | 11,5 | 14,0 | 4,9 | |



RN 2+1, 2017 ALL 43

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

RN 1

RN 2

RN 3

RN 4

RN 5



RN 2+1, 2017 ALL 43

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF



G 1-0, 2017 ALL 43

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF



G 1



G 2



G 3



G 4



G 5



RN 2+1, 2017 ALL 43

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

e. 18_AZOLETTE

2018 AZOLETTE



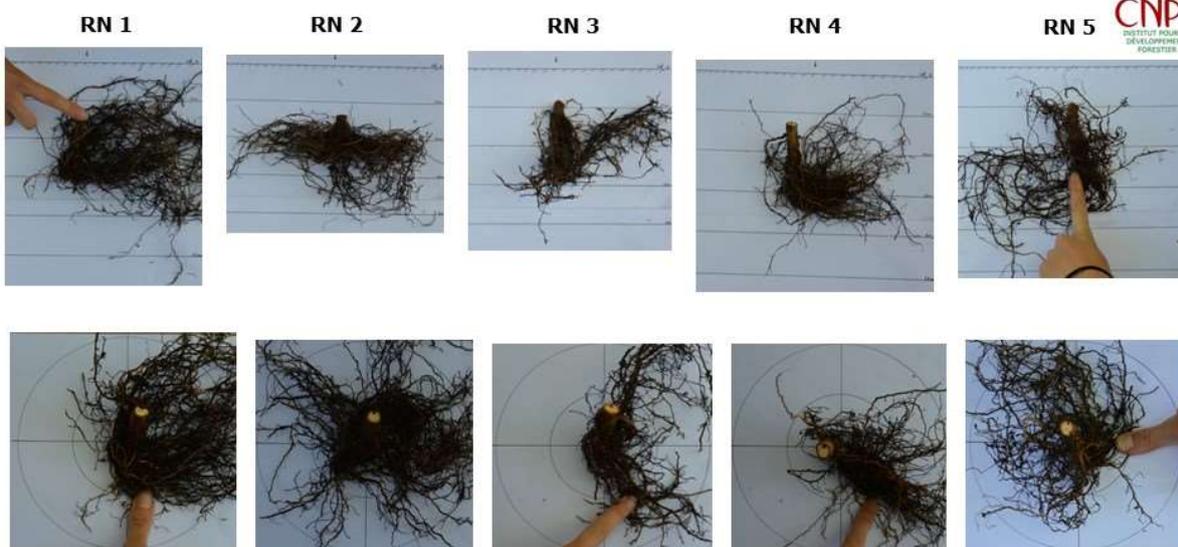
Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 18_AZOLETTE | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-------------|--------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|--|--|
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Répartition horizontale des racines | | Répartition verticale des racines | | | Pivot | | |
| | | | | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) | | |
| RN | 71,4 | 12,4 | 0,4 | 3,0 | 2,4 | 6,2 | 12,0 | 12,4 | 7,8 | | |
| G | 27,4 | 8,2 | indisponible | 3,4 | 2,2 | 4,0 | 10,1 | 10,2 | 4,4 | | |
| Moyenne des deux types de plant | 49,4 | 10,3 | indisponible | 3,2 | 2,3 | 5,1 | 11,1 | 11,3 | 6,1 | | |



RN 1+1, 2018 AZO 42

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF



RN 1+1, 2018 AZO 42

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF



G 1-0, 2018 AZO 42

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

G 1

G 2

G 3

G 4

G 5



G 1-0, 2018 AZO 42

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

f. 18_BONNEFOND

2018 BONNEFOND



Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 18_BONNEFOND | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|-------|
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Répartition horizontale des racines | | Répartition verticale des racines | | | Pivot |
| | | | | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | |
| RN | 53,2 | 15,2 | 0,5 | 3,6 | 2,4 | 6,4 | 15,4 | 13,2 | 5,8 |
| G | 39,8 | 9,4 | 0,5 | 3,4 | 2,8 | 1,4 | 13,5 | 17,8 | 6,2 |
| Moyenne des deux types de plant | 46,5 | 12,3 | 0,5 | 3,5 | 2,6 | 3,9 | 14,5 | 15,5 | 6,0 |



RN 2+1, 2018 BON 19

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

RN 1

RN 2

RN 3

RN 4

RN 5 



RN 2+1, 2018 BON 19

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF



G 1-0, 2018 BON 19

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF



RN 2+1, 2018 BON 19

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

g. 18_DUN

2018 DUN



Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|
| | 18_DUN | Répartition horizontale des racines | | | | Répartition verticale des racines | | | Pivot |
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) |
| RN | 47,0 | 10,2 | 0,5 | 2,8 | 1,6 | 5,0 | 11,3 | 9,0 | 4,8 |
| G | 40,0 | 9,6 | 0,4 | 3,6 | 1,6 | 7,6 | 15,3 | 14,6 | 5,2 |
| Moyenne des deux types de plant | 43,5 | 9,9 | 0,4 | 3,2 | 1,6 | 6,3 | 13,3 | 11,8 | 5,0 |



RN 1+1, 2018 DUN 58

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

RN 1

RN 2

RN 3

RN 4

RN 5



RN 1+1, 2018 DUN 58

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF



G 1-0, 2018 DUN 58

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF

G 1

G 2

G 3

G 4

G 5



G 1-0, 2018 DUN 58

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF

h. 18_NAUSSAC

2018 NAUSSAC



Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | (Plusieurs éléments) | | | Répartition horizontale des racines | | Répartition verticale des racines | | | Pivot |
|-----------------------------------|----------------------|--------|-----------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Épaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) |
| RN2+1 | 59,0 | 10,6 | 0,5 | 2,2 | 1,6 | 7,4 | 14,4 | 10,8 | 9,5 |
| RN1+2 | 43,6 | 10,2 | 0,6 | 4,0 | 2,4 | 8,6 | 13,1 | 11,4 | 3,6 |
| G1+1 | 45,2 | 9,6 | 0,6 | 3,4 | 2,0 | 6,0 | 12,4 | 10,8 | 6,0 |
| G1-0 | 41,0 | 8,4 | 0,8 | 4,0 | 3,2 | 5,4 | 14,1 | 15,4 | 5,6 |
| Moyenne des quatre types de plant | 47,2 | 9,7 | 0,6 | 3,4 | 2,3 | 6,9 | 13,5 | 12,1 | 6,0 |



R 2+1, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF

RN 1

RN 2

RN 3

RN 4

RN 5



RN 2+1, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF



RN 1+2, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF



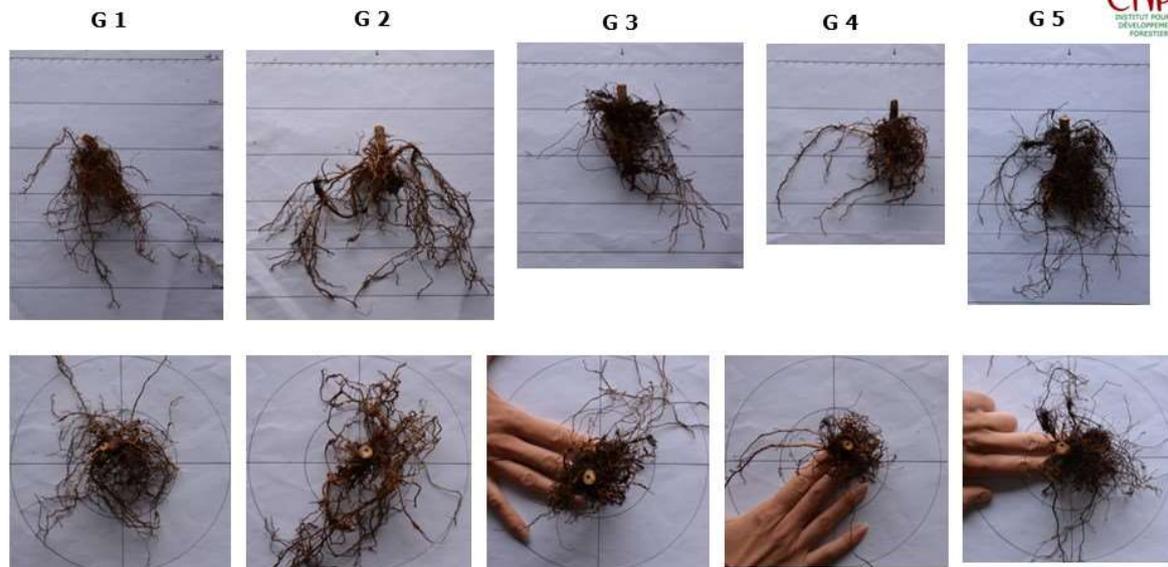
RN 1+2, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF



G 1+1, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF



G 1+1, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF



G 1-0, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF

G 1

G 2

G 3

G 4

G 5



G 1-0, 2018 NAU 48

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF

i. 18_RIVOLET

2018 RIVOLET



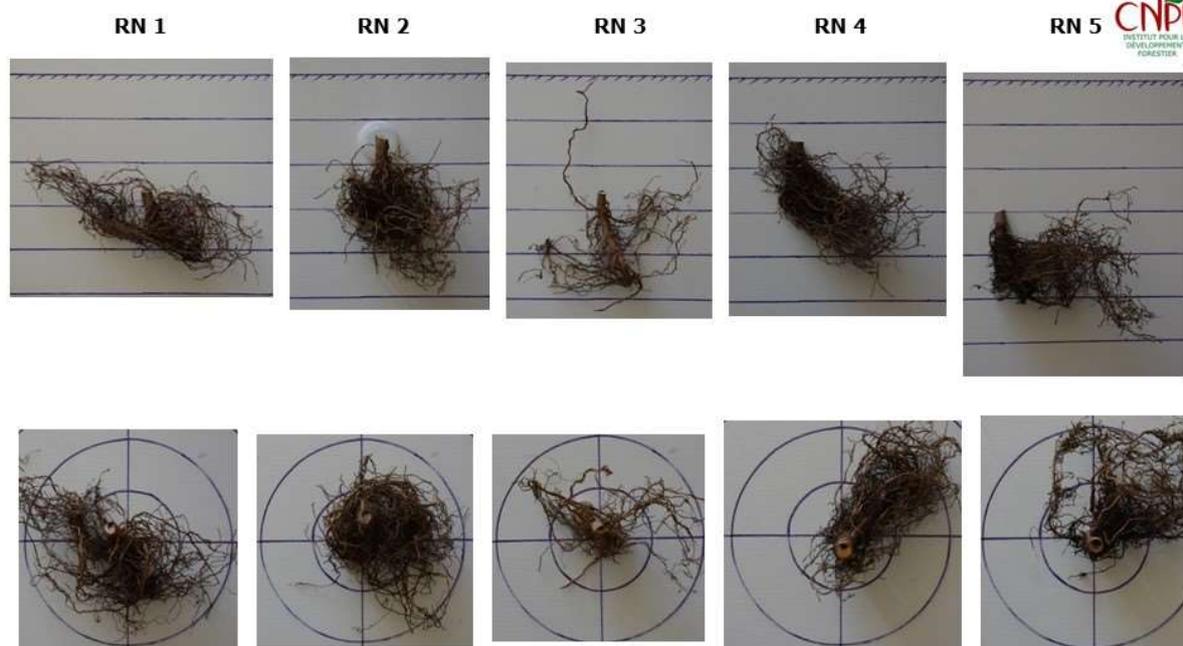
Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 18_RIVOLET | | Répartition horizontale des racines | | Répartition verticale des racines | | | Pivot |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) |
| RN | 69,2 | 11,6 | 0,3 | 3,0 | 1,8 | 11,0 | 17,5 | 11,4 | 8,0 |
| G | 26,8 | 7,8 | 0,3 | 3,2 | 1,0 | 3,8 | 11,1 | 13,0 | 7,4 |
| Moyenne des deux types de plant | 48,0 | 9,7 | 0,3 | 3,1 | 1,4 | 7,4 | 14,3 | 12,2 | 7,7 |



RN 2+1, 2018 RIV 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF



RN 2+1, 2018 RIV 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF



G 1-0, 2018 RIV 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

G1

G2

G3

G4

G5



G 1-0, 2018 RIV 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuilien, CNPF-IDF

j. 18_VINCENT

2018 VINCENT



Moyenne des variables mesurées par type de plant

| CODE | | 18_VINCENT | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|
| | | | | Répartition horizontale des racines | | Répartition verticale des racines | | | Pivot |
| | H (cm) | D (mm) | R.S ratio | Note moyenne à 5cm | Note moyenne à 10cm | Distance sol-collet (cm) | Profondeur d'enracinement médiane (cm) | Epaisseur du système racinaire (cm) | Longueur du pivot (cm) |
| RN | 35,6 | 10,4 | 0,7 | 2,6 | 2,6 | 6,6 | 11,2 | 12,0 | 3,2 |
| G | 46,4 | 12,6 | 0,4 | 4,0 | 3,6 | 2,2 | 11,4 | 15,6 | 8,6 |
| Moyenne des deux types de plant | 41,0 | 11,5 | 0,6 | 3,3 | 3,1 | 4,4 | 11,3 | 13,8 | 5,9 |



RN 1+1, 2018 VIN 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF

RN 1

RN 2

RN 3

RN 4

RN 5



RN 1+1, 2018 VIN 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Veuillen, CNPF-IDF



G 1-0, 2018 VIN 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF



G 1-0, 2018 VIN 69

Photos : S. Girard, CNPF-IDF
Préparation : L. Vuillen, CNPF-IDF

VI.8 Quelques données mesurées sur des plants produits aujourd'hui

Nous avons fait la demande à quelques pépinières productrices de plants racines nues et godet de nous fournir quelques plants prêts à être commercialisés. Nous avons mesuré la hauteur, le diamètre et le rapport de la masse sèche racinaire sur la masse sèche aérienne pour ces plants.

Mesures réalisées sur des plants en sortie de pépinière, n=25

| | Pépinière de production | H (cm) | D (mm) | R.S ratio |
|--------|--------------------------------|---------------|---------------|------------------|
| RN 2+1 | A | 55,3 | 7,3 | 0,7 |
| G 1-0 | B | 25,4 | 6,0 | 0,5 |
| | C | 38,6 | 7,0 | 0,4 |
| | D | 21,2 | 4,8 | 0,5 |
| | Moyenne générale | 39,2 | 6,5 | 0,5 |