

SUIVI DE PERFORMANCE ET DÉTERMINATION DES CAUSES D'ÉCHEC ET DE SUCCÈS DE LA RÉGÉNÉRATION (8 ANS APRÈS ENRICHISSEMENT) DANS DES COUPES PAR TROUÉES DE LANAUDIÈRE

Rapport final dans le cadre du

Programme de mise en valeur des
ressources du milieu forestier - Volet II de
la CRÉ-Lanaudière



Septembre 2013



Table des matières

Résumé.....	4
1. Introduction.....	5
2. Approche et Méthodes.....	7
2.1 Approche méthodologique.....	7
2.2 Définition du Stocking.....	8
2.3 Secteur d'étude.....	8
2.4 Dispositif expérimental.....	9
2.5 Mesures et méthodes.....	10
2.6 Analyses.....	11
3. Résultats et Discussion.....	12
3.1. Stocking en gaules dans les trouées enrichies.....	12
3.1.1 Essences plantées.....	12
3.1.2 Essences désirées ou commerciales.....	13
3.1.3 Effet d'un dégageant pré commercial.....	13
3.2. Succès et échec du stocking de gaules 8 ans après enrichissement.....	15
3.2.1 Essences plantées.....	15
3.2.2 Essences désirées.....	16
3.3 Croissance des essences plantées 8 ans après enrichissement.....	17
3.3.1 Le CET.....	18
3.3.2 Le CHR.....	19
3.3.3 Le PIB.....	20
3.4 Évolution de la mortalité et de la vigueur des essences plantées en enrichissement.....	22
3.4.1 Vigueur.....	22
3.4.2 Mortalité.....	22
4. Synthèse et conclusions.....	24
5. Références.....	26
Annexes.....	28

Équipe de travail

ISFORT

Sylvain Delagrance : professeur à l'Université du Québec en Outaouais (UQO) et chercheur à l'ISFORT, a agi à titre d'expert-conseil pour l'établissement du dispositif et a été responsable de l'analyse des données et de la rédaction du rapport final.

Marie-Ève Roy (chercheure et co-gestionnaire du projet)

Régis Pouliot (responsable terrain et coordination)

Pascal Rochon (gestion de la base de données et des sorties statistiques)

Amélie Goulet (assistante de terrain)

Agence des Forêts Privées de Lanaudière

Benoît Couture (responsable des travaux de terrain assurés de l'Agence et de la coordination avec les propriétaires privés)

Denis Roulier (technicien forestier de l'agence participant aux mesures sur le terrain)



Pour Citation :

Delagrance, S., et Roy, M.-E. 2013. Suivi de performance et détermination des causes d'échec et de succès de la régénération (8 ans après enrichissement) dans des coupes par trouées de Lanaudière. Rapport Scientifique de l'Institut des Sciences de la Forêt Tempérée. 28p. + annexes.

Résumé

Dans le but de restaurer la qualité de certaines forêts privées de Lanaudière étant peu stockées en essences nobles, 7 secteurs dégradés mais ayant été enrichis en 2005 ont été suivis à l'échelle de la trouée ainsi qu'à l'échelle de l'individu. Huit ans après la plantation, le stocking en CET, CHR et PIB dominants est relativement décevant pour des objectifs d'amélioration significative de la qualité. Cependant, un traitement de dégagement ramènerait ce stocking en essences plantées respectivement à des niveaux tout à fait acceptables car la survie et la qualité des plants sont généralement très bonnes. Nous avons aussi observé que la taille de la trouée n'est pas un facteur déterminant dans le succès de stocking alors que la qualité locale de la station et la présence d'essences commerciales compétitrices (majoritairement l'érable rouge et deux essences de peupliers dans notre étude) le sont. En ce qui concerne la croissance, la vigueur et la mortalité des trois essences plantées, on a pu mettre en évidence des différences entre secteurs mais qui n'ont pas pu être associées à des variables générales de ces secteurs. D'autres facteurs, tels que la date de mise en terre, la qualité des plants et le personnel ou la méthode de plantation pourraient être des critères confondants à l'effet 'secteur' observé sur la croissance. Ensuite, le positionnement des arbres dans la trouée s'avère un facteur déterminant pour la croissance des trois espèces plantées mais pas la taille de la trouée. Pour ce qui est de la vigueur et de la mortalité, les trois essences ont connu une perte de vigueur au cours du temps qui s'est stabilisée rapidement dans les positions C et N, mais pas la position NE. Pour la mortalité, celle-ci était très légèrement plus élevée dans les petites trouées mais les variations les plus importantes demeurent celles observées au cours du temps et liées à des événements climatiques extrêmes. Des recommandations sylvicoles en lien avec ces observations sont faites en fin de document.

1. Introduction

La surexploitation et la fragmentation du territoire forestier sont devenues une problématique mondiale au cours des dernières décennies. Cette problématique amène en effet à une modification du processus de recrutement qui peut provoquer une perte en essences, une perte en productivité ou encore une modification de la composition des couverts forestiers. Il existe plusieurs critères pouvant amener à ce manque de régénération lors des activités humaines et parmi ceux-ci la coupe sélective, la modification des conditions de site ou l'invasion d'espèces récalcitrantes sont les principaux (voir dans Asanok et al. 2013).

En Amérique du Nord, le biome de la forêt feuillue tempérée est depuis longtemps exploité et ce biome est probablement celui qui a subi les pressions anthropiques les plus intenses et les plus diverses depuis la colonisation. Au Québec, et notamment dans la région de Lanaudière, l'historique de coupes a fait en sorte qu'une proportion importante du territoire est maintenant composée de forêts dégradées, fournissant un rendement sous-optimal en bois de qualité. Dans le but de restaurer la qualité de certaines forêts privées peu stockées en essences nobles dans le sud de la région, un dispositif d'enrichissement en chêne rouge, pin blanc, cerisier tardif, bouleau jaune et épinette (blanche et rouge) a été mis en place dans les années 2000 au sein de nombreux peuplements dégradés (communication personnelle de Benoît Couture de l'AMVFPL). Il est en effet considéré, à travers le monde, que les pratiques sylvicoles utilisant l'enrichissement par plantation sont de très bonnes options pour atteindre des objectifs de restauration écologique (Ashton et al. 2001, de Souza Gomes Guarino et Osni Scariot 2012, Hüttl et Schneider 1998), d'amélioration de la productivité (Paquette et al. 2006, Hüttl et Schneider 1998) et de fixation de carbone (Paquette et al. 2009).

Cependant, leur réussite est très variable et plusieurs échecs ont déjà été mis en évidence sur différents continents (Hüttl et Schneider 1998, Myers et Harms 2011, Asanok et al. 2013, Schweizer et al. 2013). Ceci démontre bien qu'un enrichissement, même en essence native, n'amène pas systématiquement à un retour à la situation initiale et que ce processus est incontestablement complexe. Parmi les efforts développés par l'Agence de Mise en Valeur des Forêts Privées de Lanaudière (AMVFPL), un dispositif d'enrichissement en pin blanc, cerisier tardif et chêne rouge dans des trouées de jardinage a été mis en place au sein de sept secteurs dégradés en 2005. Ce dispositif avait été développé en collaboration avec l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue (IQAFF) qui en a assuré le suivi scientifique dans les 5 premières années (Bouffard et al. 2006, Bouffard et Delagrange 2008, Delagrange et Doyon 2010). Après 5 ans, le suivi des individus plantés a démontré que la performance des essences reboisées était très variable mais surtout que les combinaisons de facteurs assurant leur performance étaient différentes pour chaque espèce (Delagrange et Doyon 2010). Il a donc été montré que la performance de la régénération, d'une trouée à l'autre, était très variable, même au sein d'un même peuplement. De plus,

l'occurrence de facteurs extérieurs, comme des évènements climatiques ou la présence d'herbivores, pouvaient grandement affecter cette performance. Dans ce contexte, il a été proposé qu'un enrichissement basé sur l'utilisation de plusieurs essences dans une même trouée avait donc l'avantage de garantir la performance d'au moins une essence ce qui n'aurait pas été le cas avec un enrichissement mono-spécifique.

Le présent projet a donc pour but d'élargir notre compréhension de la performance de cette régénération enrichie en essences nobles et de la transporter de l'échelle de l'individu à l'échelle de la trouée. Ce regard est important afin (i) de mieux évaluer le succès ou l'échec de la pratique sylvicole, (ii) de déterminer si un mélange d'essence était effectivement à l'échelle de la trouée garant d'un meilleur succès et (iii) si les mélanges utilisés étaient pertinents dans le contexte de Lanaudière et s'ils peuvent être améliorés.

Les objectifs à plus long terme et adjacents à ces questions sont :

1. Améliorer les connaissances en matière de sylviculture visant la production de bois de qualité par l'intermédiaire d'un reboisement multi-espèces;
2. Déterminer les zones bien régénérées (par essences et totales) qui assureront un peuplement de qualité (succès par essence et mélange d'essence), ainsi que les zones mal régénérées (échec).
3. Déterminer les paramètres spécifiques et les mécanismes de succès et d'échec par essence et mélange d'essence.

Tout ceci vise ultimement à augmenter les superficies aménagées par enrichissements de manière à (i) restaurer la qualité des forêts privées de Lanaudière, (ii) favoriser la diversité en essence et en produits forestiers et (iii) diminuer les coûts associés à l'application de ces traitements d'amélioration.

2. Approche et Méthodes

2.1 Approche méthodologique

Les dispositifs d'enrichissement mis en place par l'AMVFPL s'avèrent généralement très bien documentés. Plus d'une dizaine de secteurs ont été utilisés par l'AMVFPL pour réaliser des enrichissements avec des essences nobles dans les forêts privées de Lanaudière (communication personnelle Benoît Couture de l'AMVFPL) et l'ensemble a été considéré pour la réalisation du présent projet. Cependant, après étude des documents, certaines informations, cruciales pour un suivi scientifique, concernant (i) des variables de sites, (ii) les essences reboisées ou (iii) le mode de plantation se sont avérées manquantes pour certains secteurs. Le coût associé à la prise de ces données manquantes n'étant pas envisageable dans le cadre de ce projet, ces quelques secteurs ont été retirés de l'étude. De plus, une variabilité importante a été notée en ce qui concerne les essences reboisées, leur densité et les modes de plantation. Compte tenu de l'effort d'échantillonnage qu'il était possible de développer et le besoin de minimiser les facteurs de variation, certains secteurs ont également été retirés lors de cette étude préliminaire. En revanche, le dispositif mis en place en 2005 et suivi par l'IQAFF en 2005, 2007 et 2009 et concernant un enrichissement en pin blanc, cerisier tardif et chêne rouge, possède une somme d'information quantitativement et qualitativement très intéressante. Ainsi, dans les douze secteurs disponibles, sept ont été conservés en raison de la similarité des années de plantation, du nombre d'essences qui y ont été enrichies et surtout de la similarité des modes de plantation (densité de plantation et rapport égaux entre espèces plantées).

Au total, cent trouées enrichies avec du cerisier tardif, du chêne rouge et du pin blanc ont donc été visitées sur les sept secteurs. Dans un premier temps, une évaluation du stocking a été faite pour les essences commerciales, désirées, plantées et non commerciales (cf. Tableau 1). Cette évaluation a permis de déterminer, de façon spatialement explicite, le taux d'occupation de chaque classe d'essence et d'en définir le succès ou l'échec. Dans un deuxième temps, trente-huit parcelles ont été revisitées en raison de leur réussite ou de leur échec à développer un stocking en espèces désirées ou plantées. Plusieurs caractéristiques de sites ont alors été mesurées afin d'identifier si la réussite ou l'échec du stocking en espèces désirées ou plantées pouvait être reliés à une ou plusieurs caractéristiques de la trouée.

Il est à noter que les cent trouées étudiées dans ce projet contenaient le dispositif expérimental déjà suivi à trois reprises (i.e. les quarante-deux trouées où plus de 1500 individus plantés ont été suivis en 2005, 2007 et 2009, cf. Delagrangé et Doyon 2010), il a été décidé d'y effectuer une remesure afin de suivre l'évolution de la croissance et de la vigueur des tiges des trois espèces plantées.

Tableau 1. Liste des espèces dans les 4 classes de stocking suivies. Pour le détail des acronymes des essences, voir le site web du MRN (<http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/index.jsp>)

Groupe d'essence	Essences	Code d'abréviation
Essences plantées	CET, CHR et PIB	PLANT
Essences désirées	PLANT, ERS, BOJ, FRX, THO, CHX, NOX, PIR	DES
Essences commerciales	DES, ERA, ERR, BOG, BOP, SAB, EPX, PEX, HEG, OSV, PRU	COM
Essences non commerciales	ERP, EPE, CEP	NON

2.2 Définition du Stocking

La majeure partie des analyses s'appuyant sur une évaluation de stocking, nous avons trouvé important de bien définir ce terme, ainsi que la façon dont nous l'avons mesuré. Le stocking lorsqu'il est calculé pour la régénération est souvent décrit comme la densité relative ou la charge potentielle d'une espèce ou d'une classe d'espèces dans la régénération et qui permettra un plein boisement (cf. Lorenzetti et al 2008). Il faut donc bien comprendre que ce paramètre fait référence à trois critères extrêmement importants qui sont (i) la densité de tige à l'hectare de cette espèce ou de la classe d'espèce à l'âge mature (aussi appelée densité de plein boisement) (ii) la distribution spatiale de ces tiges dans la régénération et (iii) la position hiérarchique (ou verticale) de ces tiges dans la régénération.

Ainsi, on peut déclarer que 500 gaules de bouleau jaune d'avenir, distribuées de façon homogène dans un peuplement d'1 hectare et dominantes dans la régénération, représenteraient un stocking de 100%. En d'autres termes, ces 500 gaules ont donc le potentiel de réaliser un plein reboisement en bouleau jaune à la maturité de l'hectare échantillonné. En revanche, il est important de noter qu'une densité de gaule supérieure (par exemple 600 tiges à hectare), mal distribuées spatialement ou non dominantes, mèneraient à un stocking inférieur à 100%.

2.3 Secteur d'étude

La présente étude a été réalisée dans la région de Lanaudière située au nord de Montréal dans un secteur comprenant les municipalités de Ste-Émilie-de-l'Énergie, St-Gabriel-de-Brandon, Chertsey, St-Calixte, Ste-Julienne et St-Cuthbert. Parmi les sept sites sélectionnés pour effectuer de l'enrichissement en essences feuillues nobles et pin blanc, six sont situés dans l'unité de paysage régionale " Saint-Jérôme " alors que le

dernier se retrouve dans l'unité de " Val David " (Robitaille et Saucier 1998). Étant localisée majoritairement dans une sous-région méridionale du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (Robitaille et Saucier 1998), la zone d'étude est caractérisée au niveau du dépôt par la présence d'un till indifférencié épais (50 – 100 cm) sur les coteaux et dans les dépressions séparant les collines. Un till mince occupe les collines les plus élevées où il est parfois percé d'affleurements rocheux. Par ailleurs, une portion importante des dépôts composés de tills indifférenciés est caractérisée par une forte pierrosité. Le relief, relativement peu accidenté avec une altitude moyenne de 213 m, est formé de coteaux et de collines aux versants en pente généralement faible où le substrat rocheux est de nature cristalline (Robitaille et Saucier 1998). La température et les précipitations annuelles moyennes sont comprises respectivement entre 2.5 et 5.0 °C et entre 900 et 1100 mm (avec 25 % sous forme de neige), alors que la longueur de la saison de croissance se situe entre 180 et 190 jours. Enfin, la végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune ou encore en certaines occasions l'érablière à tilleul, alors que les sommets mieux drainés sont colonisés par l'érablière à hêtre (Robitaille et Saucier 1998).

2.4 Dispositif expérimental

L'objectif principal du dispositif expérimental mis en place dans cette étude vise à évaluer la qualité de la régénération présente dans les trouées enrichies en essences nobles. De son côté, le suivi à l'échelle de l'individu a pour but de mieux comprendre, au sein d'une variété de peuplements, l'influence de la dimension des trouées et du positionnement de l'enrichissement dans la trouée sur la croissance, la survie et la vigueur des plants reboisés en essences dites nobles. Sept peuplements, d'une superficie minimale de quatre hectares et dont la composition est à dominance de feuillus tolérants ou encore constituée d'un mélange de feuillus tolérants, intolérants et d'essences résineuses (cf. Delagrangé et Doyon 2010), ont été sélectionnés chez des propriétaires dynamiques et sensibilisés à l'importance de la protection et du maintien du dispositif expérimental sur plusieurs années. Les peuplements choisis, de structure inéquienne sans perturbations majeurs depuis au moins dix ans et localisés à mi-pente, étaient tous situés dans le piedmont Lanaudois sur un till indifférencié. Les peuplements sélectionnés ont été soumis à une coupe jardinatoire par trouées réalisée à l'hiver 2004 ou au printemps de 2005. Des trouées circulaires de 10 ou 17 mètres de rayon ont été effectuées sur 15 à 17% de la superficie totale des peuplements. La répartition des trouées, aléatoire, a été réalisée par l'aménagiste forestier. La délimitation du pourtour des trouées a été effectuée à partir du fût des arbres situés en périphérie, et non en fonction de l'étendue de la cime. La distance minimale entre les trouées devait correspondre à au moins une fois la dimension des trouées. Tous les arbres de plus de 10 cm au DHP ont été récoltés alors que les tiges non désirées ayant un DHP inférieur à 10 cm ont été rabattues au sol. Un jardinage par pied d'arbre avec amélioration de la qualité du peuplement a été pratiqué en dehors des trouées avec un niveau de prélèvement d'environ 20%. Par la suite, les enrichissements ont été faits au printemps 2005.

2.5 Mesures et méthodes

Dans cet exercice, les mesures ont été faites en deux phases. La première a consisté en la mesure du stocking (Figure 1). Pour les deux tailles de trouée, l'effort d'échantillonnage a été gardé constant ce qui a amené à des nombres de parcelles de mesure différent. Dans notre calcul, le potentiel de plein boisement a été appliqué pour une densité de 500 tiges à l'hectare (ce qui correspond à une surface d'occupation de 20 m² par arbre). Dans les petites trouées, cinq parcelles ont donc été mesurées sur un potentiel de quinze (soit 30%) alors que dans les grandes trouées, treize parcelles ont été mesurées sur un potentiel de quarante-cinq (soit 29%). Pour chaque trouée, la disposition spatiale des parcelles a été déterminée selon leur taille (Figure 1) et chaque parcelle devait être à une distance de 8 m entre elles (orientées nord-sud et est-ouest). Chaque parcelle avait un rayon de 2.52 m et dans ce rayon, l'individu dominant et d'avenir a été noté (DHP et Essence). Ensuite, pour l'ensemble des essences plantées et désirées, l'individu dominant de son espèce, dans la classe de DHP allant de 1 à 9 cm, a été mesuré ainsi que son potentiel d'avenir si celui-ci était dégagé.

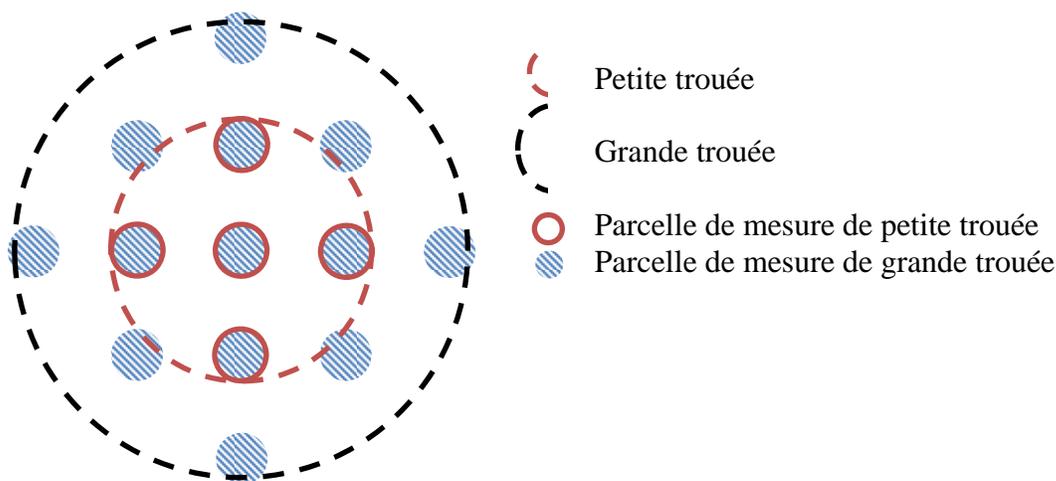


Figure 1. Disposition des parcelles de mesure pour le stocking selon la taille de la trouée

Dans la deuxième phase, la densité de gaules en régénération, la pente, la profondeur de sol, les diamètres N-S et E-O des trouées, ont été évalués pour chaque trouée ayant montré un succès ou un échec de régénération en essences plantées ou désirées. Un indice de qualité de station a été utilisé par la détermination visuelle de la présence de plantes indicatrices de milieux riches. De la même façon, un indice de compétition à la régénération a été déterminé sur la base de la présence de mousses, herbacées et d'arbustes. L'ensemble de ces remesures a été fait dans les mêmes parcelles (cinq ou

treize selon la taille de la trouée) que celles visitées dans la première phase d'échantillonnage. Finalement, l'identité des essences présentes dans le couvert en bordure de trouée a également été déterminée pour obtenir une idée de la composition du couvert avant coupe et connaître la source de potentiels semenciers.

En ce qui concerne la remesure des individus suivis pour la croissance et la vigueur, le DHP ainsi que la hauteur des plants ont été mesurés et leur état de vigueur évalué visuellement. Des références détaillées sur ce dispositif à l'échelle de l'individu, les méthodes utilisées et les individus suivis sont disponibles dans le document de Delagrangé et Doyon (2010).

2.6 Analyses

L'ensemble des analyses a été effectué avec le logiciel R (R version 2.15.2, 2012). Des analyses de variance ont été faites afin de déterminer des différences entre secteurs et la taille de trouée pour le stocking. En ce qui concerne la détermination des facteurs permettant la distinction des trouées ayant eu un succès ou un échec de régénération, des analyses canoniques discriminantes ont été réalisées. Ces analyses visent à déterminer quels arrangements de critères peuvent expliquer au mieux la séparation de groupe partageant une même qualité. Dans cette étude, nous avons cherché à discriminer quatre groupes : petite trouée avec succès de stocking (OPT), petite trouée avec échec de stocking (NPT), grande trouée avec succès de stocking (OGT) et grande trouée avec échec de stocking (NGT). Finalement, en considérant les résultats obtenus dans les suivis précédents (Bouffard et al. 2006, Bouffard et Delagrangé 2008, Delagrangé et Doyon 2010), l'étude des paramètres de performance (DHP et hauteur) et la vigueur et la mortalité des individus plantés, a été faite à l'aide de comparaisons de modèle en utilisant la trouée (et l'année dans les analyses de vigueur et de mortalité) comme facteur aléatoire (expliquant une variation d'une source inconnue) pour isoler les facteurs directs d'influence (secteurs et/ou état initial et/ou taille de trouée et/ou position dans la trouée). Des combinaisons de ces facteurs (sous forme de différents modèles) ont alors été testées et comparées pour en ressortir le ou les meilleurs.

3. Résultats et Discussion

3.1. Stocking en gaules dans les trouées enrichies

3.1.1 Essences plantées

Le stocking en essences plantées a varié de 11 à 49% selon les secteurs mais aucune variation n'a été détectée en fonction de la taille de la trouée ou de l'interaction entre les deux facteurs (Figure 2, Annexe 1). Ainsi, la résultante de la survie et la prise de dominance des CHR, PIB et CET plantés n'ont donc pas été influencées par l'ouverture du couvert ($F=0.59$, $p=0.44$) mais par des caractéristiques se définissant à l'échelle du site ($F=2.34$, $p=0.05$).

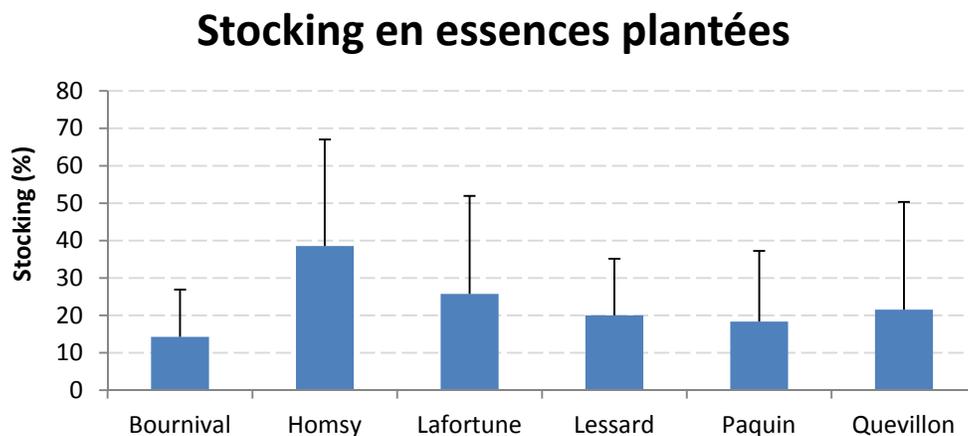


Figure 2. Histogramme des moyennes de stocking en essences plantées en fonction des secteurs

Au regard des caractéristiques macroscopiques de site telles que la pente, le type de dépôt, la profondeur de sol et l'orientation, aucune distinction notable n'a pu être faite en relation avec les différences observées entre secteurs (données non montrées). Les différences observées entre secteurs pourraient donc plutôt s'expliquer avec des critères plus précis définissant la qualité de la station (e.g. disponibilité en eau, teneur en azote ou en macronutriments du sol) qui n'ont malheureusement pas été mesurés dans cette étude. Cependant, compte tenu de la très grande variation de ces critères sur de faible distance (Brady 1976), il est peu probable qu'ils puissent discriminer les secteurs. D'autres facteurs associés avec le secteur, tels que la date de mise en terre, la qualité des plants et le personnel ou la méthode de plantation peuvent être des critères confondant à un effet secteur. De plus, il est à noter qu'il existe au sein de chaque secteur, mais aussi au sein de chaque taille de trouée, une variabilité très importante dans le stocking en essences plantées (pouvant généralement aller de 0 à 100%). Ainsi, même si un facteur associé directement ou indirectement au site peut amener une tendance à un meilleur stocking dans un secteur comparativement à un autre, un ou plusieurs facteurs intra-secteur impactent de façon cruciale le stocking en CHR, PIB et

CET plantés (cf. section « 3.2 Succès et échec du stocking de gaules 8 ans après enrichissement »).

3.1.2 Essences désirées ou commerciales

En ce qui concerne les essences désirées ou commerciales (cf. Table 1 et Liste du MRN (MRN 2013)), il appert que ni le secteur, ni la taille de la trouée ne sont associés avec le succès de stocking (Annexe 1). Pour le stocking en essences désirées, les valeurs varient entre 20 et 40% entre les secteurs, ce qui demeure assez faible. Cependant, pour ce groupe d'essences, une variabilité très importante entre trouées (même au sein d'un même secteur) a là aussi été observée (de 0 à 100% de stocking). Du côté du groupe d'essences commerciales, les valeurs de stocking étaient bien plus élevées et stables avec des variations allant de 83 à 99% entre secteur et de 70 à 100% entre trouées.

Cette différence importante entre les deux groupes d'espèces (i.e. désirées et commerciales) vient directement du fait que le groupe d'essences commerciales contient l'érable rouge et le peuplier qui à eux seuls ont comptabilisé 50% des occurrences de dominance dans les trouées.

3.1.3 Effet d'un dégagement pré-commercial

Avec l'objectif de produire des essences commerciales, aucun traitement pré-commercial ne serait nécessaire du fait de la valeur élevée de stocking pour ce groupe. Cependant, dans le but de produire des essences à plus haute valeur économique ou de maximiser les investissements faits dans la plantation de CHR, PIB et CET, un dégagement pré-commercial serait recommandé.

En effet, au moment de l'inventaire, la présence des essences plantées ou désirées non dominantes mais ayant une qualité de tige d'avenir a aussi été évaluée. Ainsi dans chaque trouée, il a été possible d'évaluer le stocking de ces deux groupes si l'on faisait le retrait de la tige dominante (commerciales ou non). Il en ressort que le stocking en essences plantées monterait à des valeurs variant entre 38 et 84% entre secteurs ($F=6.90$, $p<0.001$) ce qui correspond à des stockings beaucoup plus intéressants (Figure 3, Annexe 1). Un dégagement pré-commercial permettrait donc au minimum de doubler le stocking en essences plantées. Dans le cas des secteurs comme Bournival voire, Quévillon et Paquin, le dégagement pré-commercial devient une nécessité car le mauvais stocking de ces secteurs (cf. Figure 2) n'est pas dû à un manque de survie mais bien un manque de dominance (Figure 3).

Stocking d'avenir en essences plantées

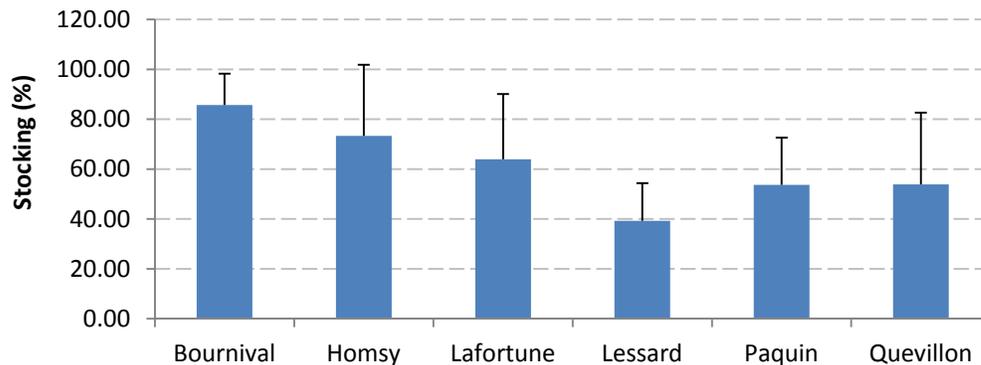


Figure 3. Histogramme des moyennes de stocking d'avenir en essences plantées en fonction des secteurs. Ici la dominance n'est plus incluse dans la mesure du stocking

Dans le cas du groupe d'essences désirées, un dégagement pré-commercial permettrait là aussi une augmentation substantielle des valeurs de stocking (Figure 4). Dans ce contexte, quatre propriétaires sur six atteindraient un stocking en essences à haute valeur économique de 75% et plus (cf. Annexe 1).

Stocking d'avenir en essences désirées

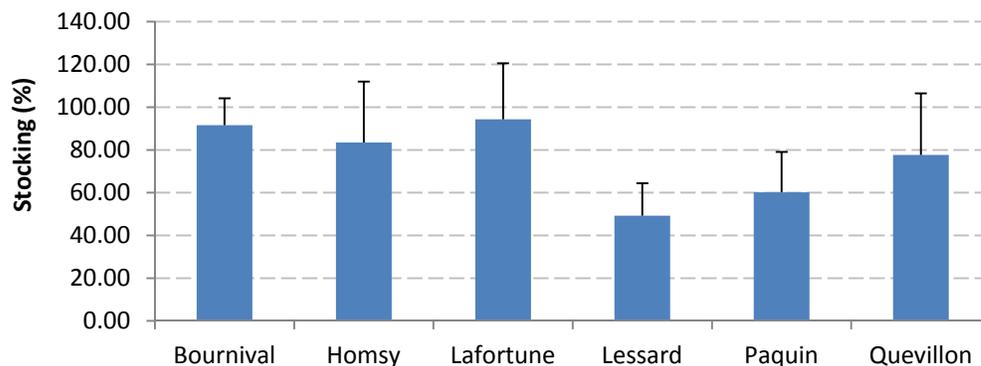


Figure 4. Histogramme des moyennes de stocking d'avenir en essences désirées en fonction des secteurs. Ici la dominance n'est plus incluse dans la mesure du stocking

En revanche, cet exercice permet également de mettre en évidence le défaut de régénération de certains secteurs. Celui de Lessard est un bon exemple où les conditions de site ne permettent la présence et la dominance que de quelques essences

commerciales (sapin baumier et érable rouge; 68% des occurrences) et que la présence d'essences désirées ne provient que des essences plantées (20% des occurrences. Cf. Figures 3 et 4).

3.2. Succès et échec du stocking de gaules 8 ans après enrichissement

Dans cet exercice, le secteur Lessard a été retiré de l'analyse devant le nombre important de parcelles n'ayant aucune régénération (cap de roche ou présence importante de mousse) alors que pour un bon nombre d'autres parcelles, seuls le sapin baumier et les rejets de souche de l'érable rouge ont pu atteindre le stade gaulis. Dans ces conditions, l'explication de l'échec des essences plantées ou désirées était évidente et aurait pu nuire aux autres analyses.

D'un autre côté, cet exercice a été fait afin d'identifier les facteurs permettant la survie ET la dominance des groupes d'essences considérées. Ainsi, cette analyse vise à déterminer les facteurs de succès et d'échec du stocking en essences plantées ou désirées sans aucune autre intervention (e.g. dégagement pré-commercial).

Finalement, la taille de la trouée n'étant pas un critère influençant le succès ou l'échec du stocking (cf. analyses de la section « 3.1. Stocking en gaules dans les trouées enrichies »), mais étant un facteur important dans les choix sylvicoles appliqués, il a été décidé de déterminer les critères de succès et d'échec au sein de ces deux types d'environnement créés, soient les grandes et les petites trouées.

3.2.1 Essences plantées

L'analyse canonique discriminante réalisée sur les groupes de parcelles ayant eu un succès (O) ou un échec (N) de régénération en espèces plantées dans les petites (PT) et les grandes (GT) trouées a permis de créer un repère de deux axes expliquant 89.9% des différences (Figure 5). Majoritairement, la séparation des groupes s'est faite sur l'axe Can1 (58.8%), lequel représente une discrimination basée sur le type d'essences présentes dans le couvert (COM : commerciales et DES : désirées) et la qualité de la station. L'axe Can2 discrimine les groupes sur la base de l'indice de compétition de régénération et la densité de gaule en régénération. On peut voir que les petites et grandes trouées se séparent sur l'axe Can2, les petites étant associées à des densités de gaules en régénération moins élevées et à une compétition envers la régénération plus forte. D'un autre côté, les trouées à succès ou à échec se séparent sur l'axe Can1. Ainsi, le succès des trouées est associé à une meilleure qualité de station, la présence d'essences désirées dans le couvert et l'absence d'essences commerciales (Figure 5). Il est important de rappeler que dans cette analyse, les essences commerciales correspondent majoritairement (80% des occurrences) à l'érable rouge, le bouleau blanc, le hêtre et le peuplier (par ordre décroissant d'importance) alors que les essences désirées réfèrent pour 90% des occurrences à l'érable à sucre, au bouleau jaune et aux frênes (par ordre décroissant d'importance).

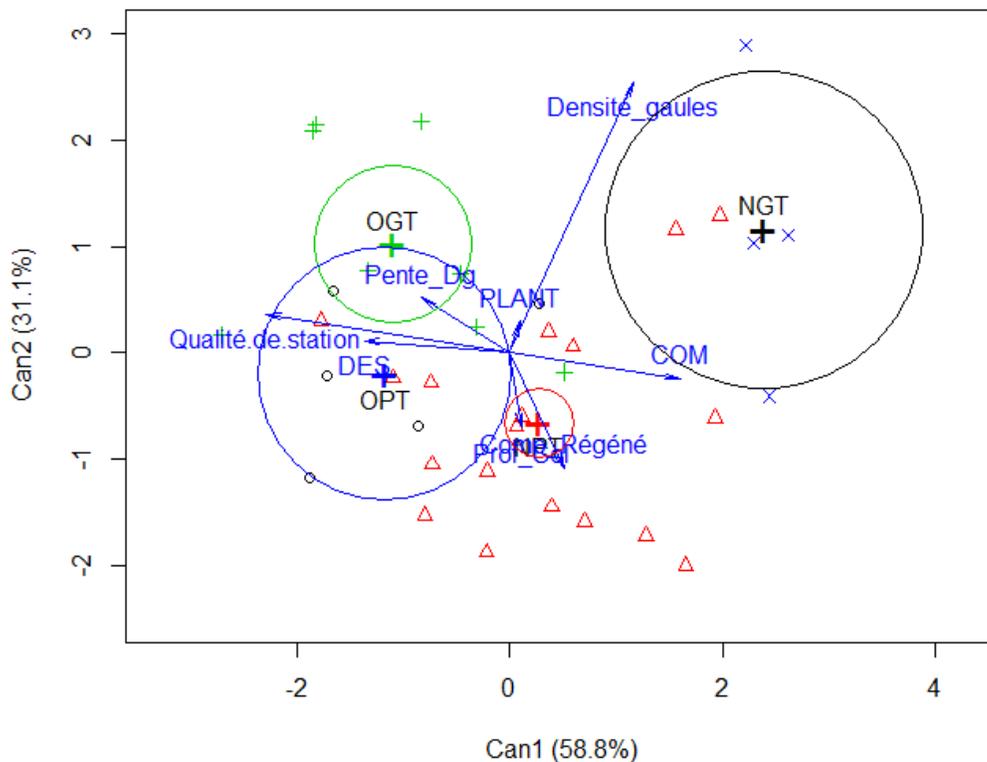


Figure 5. Résultats de l'analyse canonique discriminante pour l'explication des différences associées aux parcelles ayant eu un succès (O) ou un échec (N), dans les petites (PT) et grandes (GT) trouées pour les essences plantées.

3.2.2 Essences désirées

En ce qui concerne les paramètres associés avec le succès de régénération en essences désirées (Figure 6), il appert que la situation diverge grandement entre les petites et les grandes trouées. Dans cette analyse, la combinaison des axes Can1 et Can2 totalisent une explication de 84.1% des différences. Pour les grandes trouées, le succès du stocking en essences désirées est garanti par une meilleure qualité de station, la présence d'essences désirées dans le couvert et l'absence d'essences commerciales (majoritairement à l'érable rouge, le bouleau blanc, le hêtre et le peuplier [par ordre décroissant d'importance]). En ce qui concerne les petites trouées, l'analyse n'a pas réussi à discriminer les deux groupes. En effet, le groupe des petites trouées ayant eu un échec de régénération se trouve inclus dans celui ayant connu un succès (Figure 6). Dans ce cas, les paramètres mesurés ne permettent pas d'expliquer le succès ou l'échec du stocking en essences désirées. Ainsi, il pourrait être très difficile de prévoir le succès ou l'échec de stocking pour ce groupe dans une petite trouée, pour lesquelles le hasard

pourrait jouer un grand rôle. Évidemment, il est important ici de considérer les essences présentes dans ce groupe (cf. Tableau 1). Même si ce groupe est plutôt diversifié, les résultats pourraient être tout à fait différents avec un autre groupe d'essences exprimant d'autres traits fonctionnels.

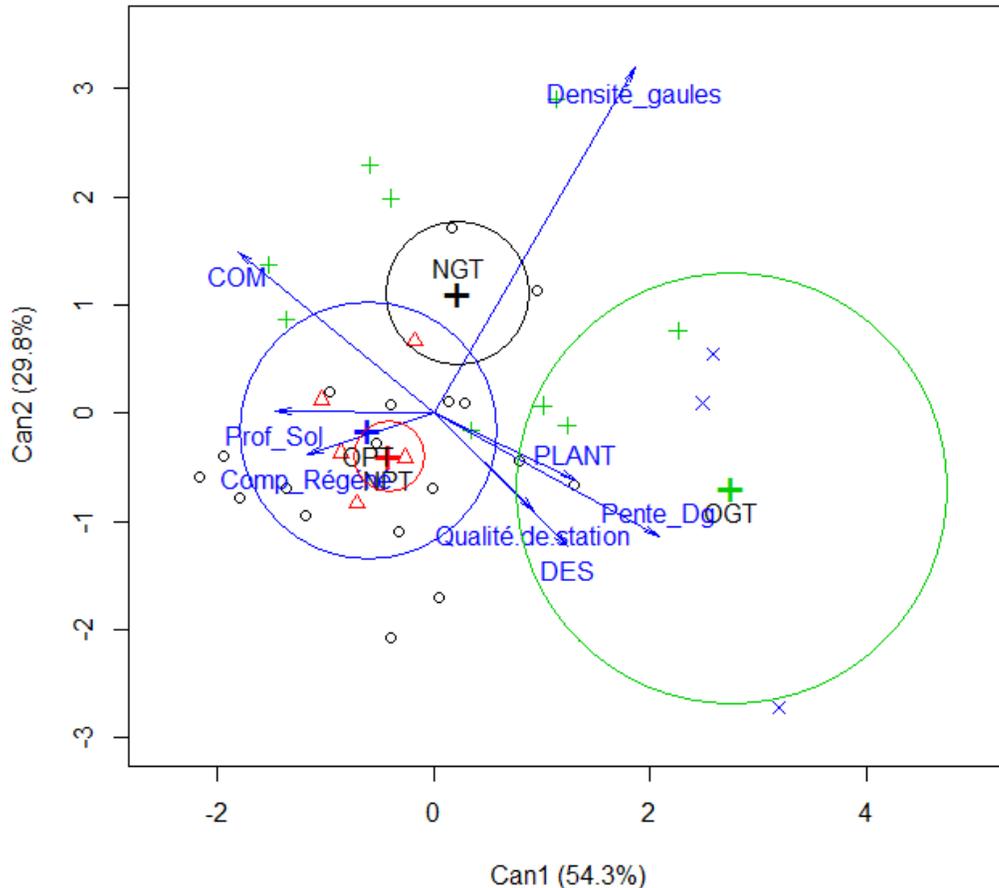


Figure 6. Résultats de l'analyse canonique discriminante pour l'explication des différences associées aux parcelles ayant eu un succès (O) ou un échec (N), dans les petites (PT) et grandes (GT) trouées pour les essences désirées.

3.3 Croissance des essences plantées 8 ans après enrichissement

Dans cette section, nous proposons de regarder plus précisément la qualité et la performance de la régénération issue de plantation en fonction de la taille de la trouée et de sa position de plantation dans la trouée. On ne parle donc plus ici que des trois essences plantées (CET, CHR et PIB) et de leur croissance.

Pour chacune des essences, les résultats démontrent que le meilleur modèle expliquant la variabilité de la croissance (qu'elle soit en hauteur ou en diamètre) est toujours le même. Il s'agit d'une combinaison de la taille de trouée et de la position (parfois en interaction), à laquelle s'ajoute un effet secteur.

3.3.1 Le CET

Pour cette essence, il existe une interaction entre la taille de trouée et la position dans la trouée pour la croissance et cela dans l'ensemble des secteurs (Figure 7, Annexe 1). En général, la position centrale est meilleure pour le CET dans les grosses trouées alors que peu de différences sont visibles entre les positions S, C et N dans les petites trouées. En revanche, dans les deux tailles de trouée, la position NE offre des conditions de croissance bien moindres que les autres. Pour des raisons de simplification nous ne présentons que les valeurs des DHP, mais la hauteur suit exactement le même patron.

Chez le CET, les secteurs Lafortune et Quévillon ont été les meilleurs pour la croissance, alors que les secteurs Lessard et Paquin se sont révélés les moins favorables (Figure 8).

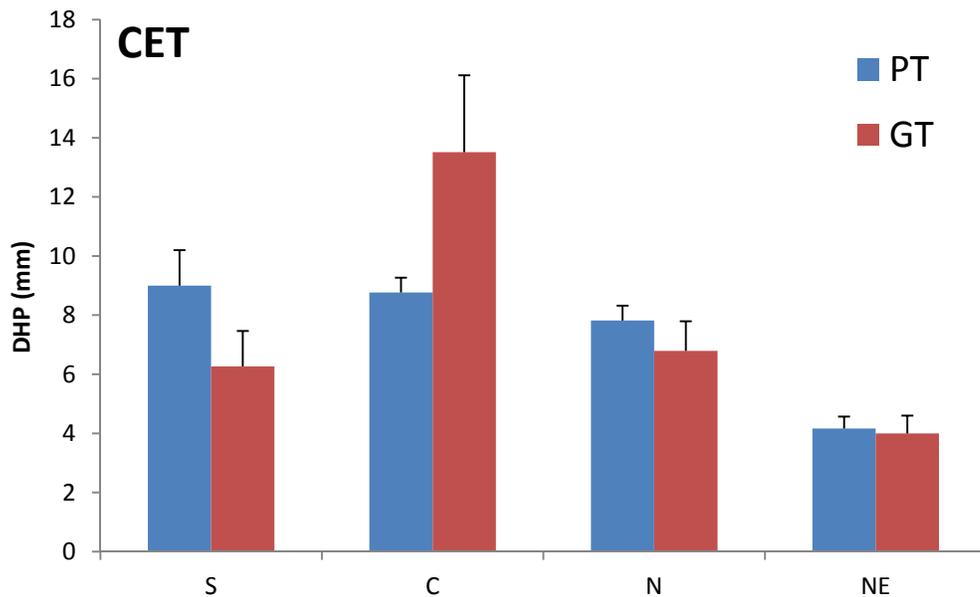


Figure 7. Histogramme des moyennes de DHP du cerisier tardif en fonction de la taille de la trouée et de la position dans la trouée.

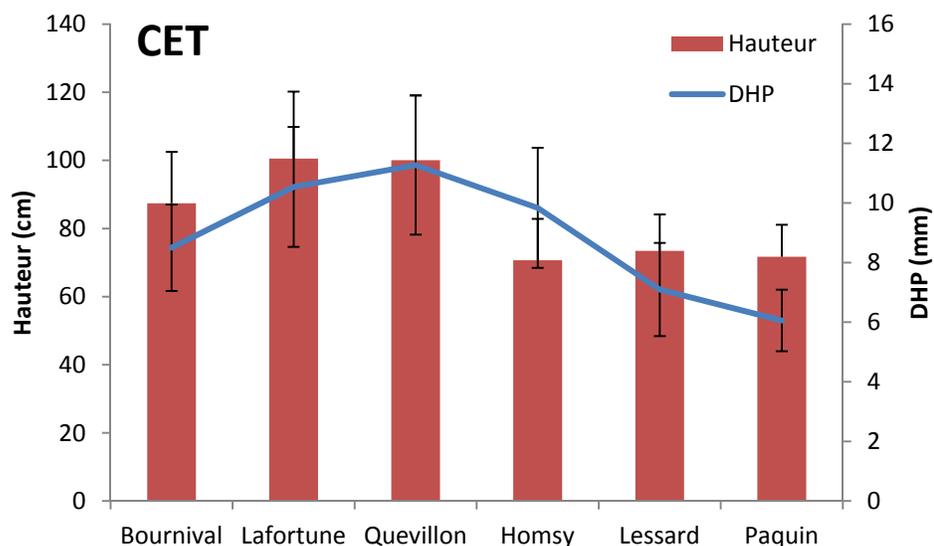


Figure 8. Histogramme des moyennes de hauteur et de DHP du cerisier tardif en fonction des secteurs.

3.3.2 Le CHR

Pour le CHR, la croissance en hauteur et en DHP se sont avérées relativement indépendante de la taille de la trouée, mais largement influencée par la position dans la trouée. Dans les deux tailles de trouée, la position C, ainsi que la position N, se sont avérées les meilleures pour la croissance du CHR. D'un autre côté la position NE a été la moins favorable avec une réduction de plus de 30% de la croissance.

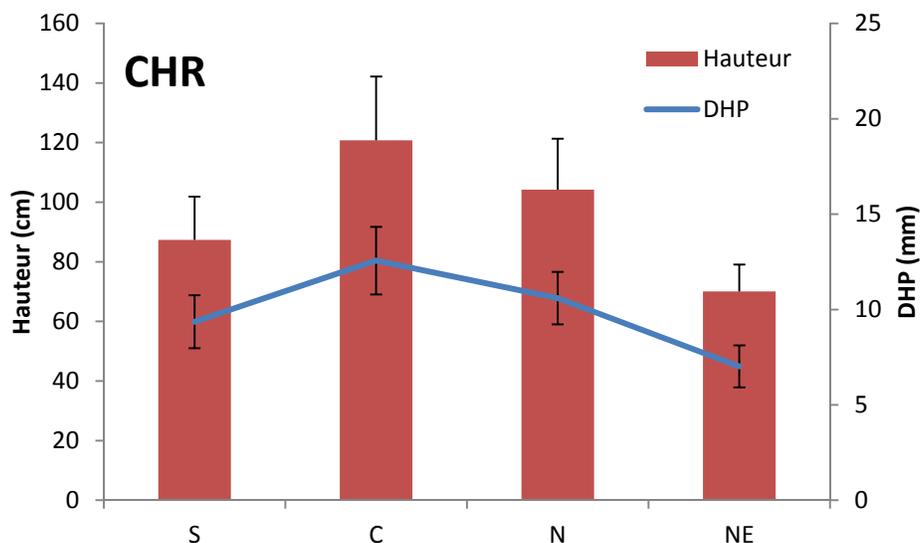


Figure 7. Histogramme des moyennes de hauteur et de DHP du chêne rouge en fonction de la position dans la trouée.

Pour le CHR, le secteur Quévillon a montré la meilleure croissance alors que le secteur Lessard s'est avéré le moins favorable.

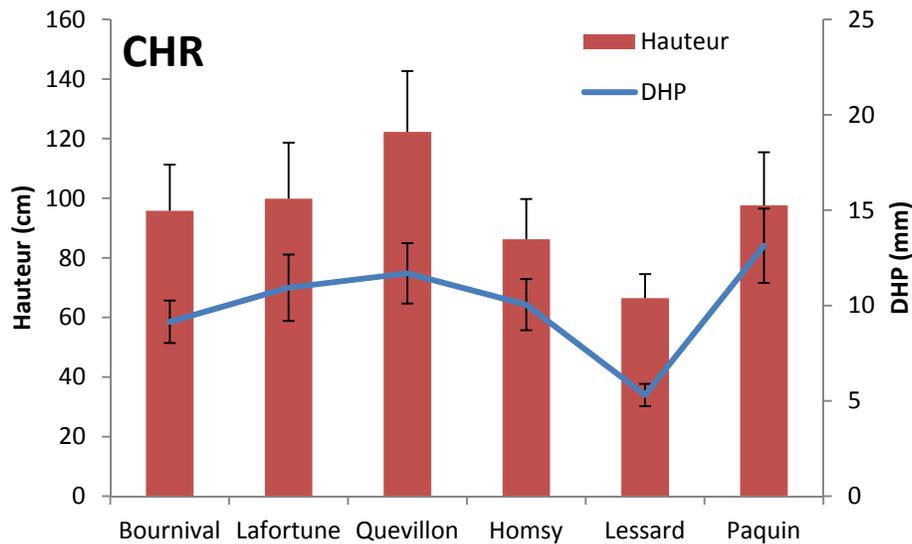


Figure 10. Histogramme des moyennes de hauteur et de DHP du chêne rouge en fonction des secteurs.

3.3.3 Le PIB

La croissance du PIB a suivi un patron similaire au CET. Il a en effet été mis en évidence une interaction entre la taille de trouée et la position dans la trouée et cela dans l'ensemble des secteurs. En général, la position C dans les grandes trouées amène la meilleure croissance du PIB alors que peu de différences sont visibles entre les positions S, C et N dans les petites trouées ainsi que les positions N et S des grandes trouées. En revanche, la position NE offre des conditions de croissance très mauvaises pour les deux tailles de trouée. Pour des raisons de simplification nous ne présentons que les valeurs des DHP, mais la hauteur suit exactement le même patron.

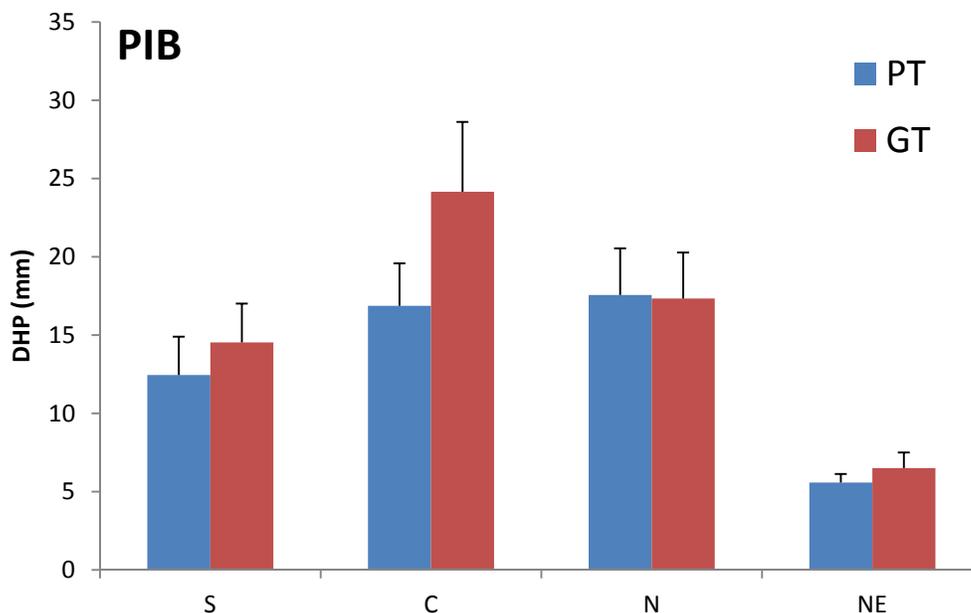


Figure 11. Histogramme des moyennes de DHP du pin blanc en fonction de la taille de la trouée et de la position dans la trouée.

Le PIB a connu une croissance relativement équivalente entre les différents secteurs mais il est à noter que le secteur Bournival a été le moins propice à sa performance et que le secteur Paquin a amené une réduction de la croissance en hauteur mais pas en DHP.

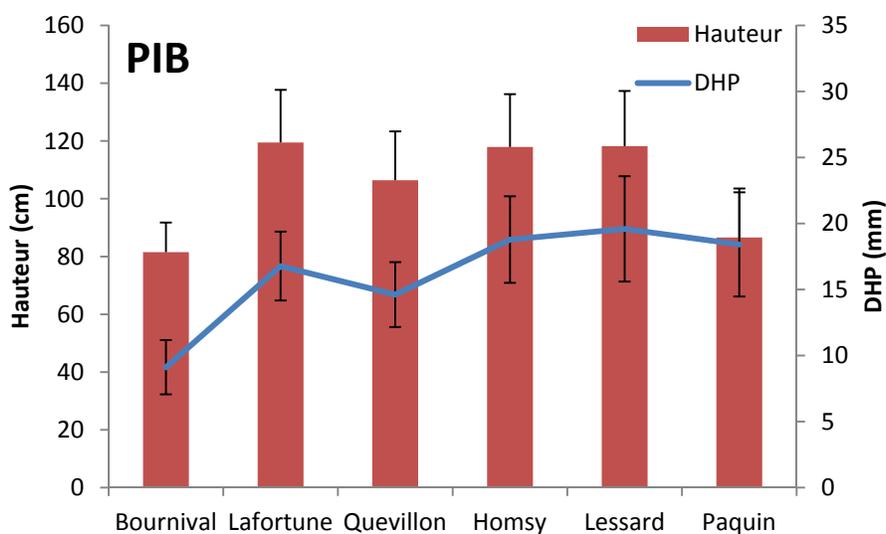


Figure 12. Histogramme des moyennes de hauteur et de DHP du pin blanc en fonction des secteurs.

3.4 Évolution de la mortalité et de la vigueur des essences plantées en enrichissement

Comme dans la section précédente, ces analyses concernent seulement les trois essences plantées (CET, CHR et PIB). On s'attarde ici à identifier leur vigueur estimée lors de la remesure sur la base de critères visuels. Un regard est aussi porté sur la mortalité de ces trois essences en fonction de la taille de la trouée et de la position de plantation afin mieux comprendre les informations associées au stocking de ce groupe d'essences. Pour l'ensemble des analyses de cette section, on a utilisé les quatre années de remesure afin de dresser un tableau de l'évolution chronologique des traits suivis.

3.4.1 Vigueur

Pour les trois essences, le temps a été un facteur très important dans l'évolution de la vigueur. Une fois ce facteur pris en compte, le modèle expliquant le mieux la variabilité de la vigueur, est celui incorporant la position des individus dans la trouée. En effet, dans les trois cas, on peut observer un maintien de la vigueur dans les positions C et N alors que les positions S mais surtout NE amènent une perte importante et continue de la vigueur avec le temps.

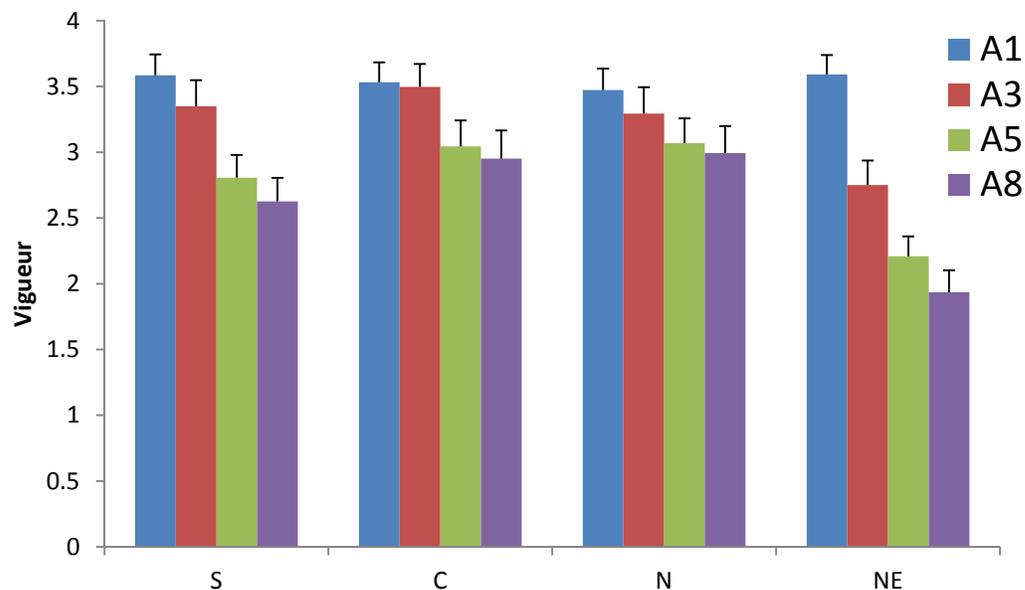


Figure 13. Histogramme des moyennes de vigueur pour les trois essences plantées en fonction de la position dans la trouée et des quatre remesures (année 1, année 3, année 5 et année 8 après plantation).

3.4.2 Mortalité

Comme pour la vigueur, les trois essences ont montré un patron similaire de variation de leur mortalité, lequel était d'abord largement affecté par le temps. En effet, avec le facteur temps, ce paramètre peut aisément varier d'un facteur dix. Une fois l'importance de l'année contrôlée, le meilleur modèle expliquant la variabilité de la

mortalité était celui incluant la taille de la trouée. Cependant, pour l'ensemble des trois essences, la mortalité était légèrement plus élevée dans les petites trouées que dans les grandes. On notera que même si la position n'est pas sortie dans le meilleur modèle, la position NE s'est avérée plutôt mauvaise pour la survie du CET et du PIB (données non montrées).

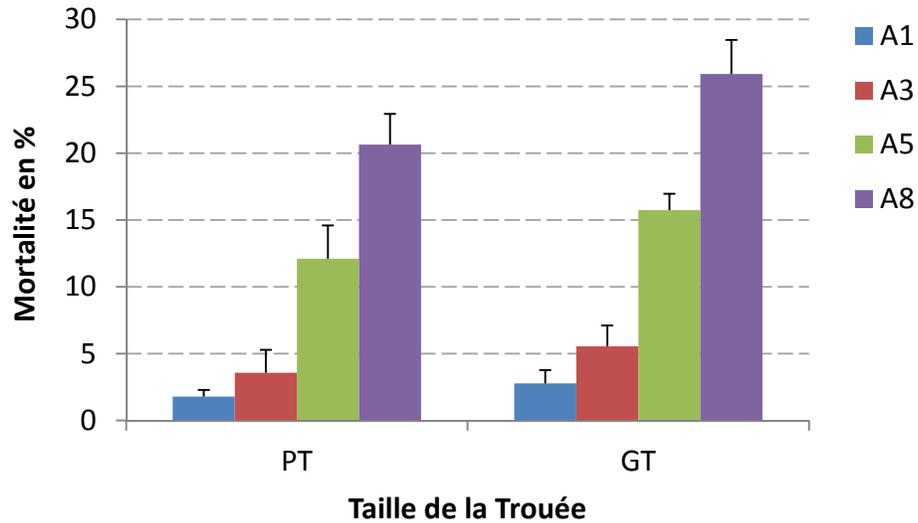


Figure 14. Histogramme des moyennes de vigueur pour les trois essences plantées en fonction de la taille de la trouée et des quatre remesures (année 1, année 3, année 5 et année 8 après plantation).

4. Synthèse et conclusions

Suite à l'évaluation de la quantité et de la qualité de la régénération dans les trouées enrichies en CET, CHR et PIB, il apparaît que ces peuplements n'ont pas de problème de stocking en ce qui concerne les essences commerciales. Cependant, dans les secteurs inventoriés il s'agissait majoritairement de peupliers, de sapin et d'érable rouge. D'un autre côté, un stocking faible à moyen en essences désirées et un stocking faible en essences plantées ont été observés, ce qui est relativement décevant par rapport à l'effort de plantation fait.

Toutefois, on remarque que c'est surtout par un manque de dominance que le stocking est faible pas par un manque de survie. Un traitement de dégagement ramènerait les stocking en essences désirées et plantées respectivement à des niveaux bons et élevés. Un tel traitement permettrait donc de contrecarrer le « filtre écologique » que représente cette végétation compétitrice ou récalcitrante à la régénération des essences plantées (Myers et Harms 2011).

Autre constat d'importance, la taille de la trouée n'a jamais été un facteur déterminant dans le succès de stocking. Ceci peut s'expliquer par le fait que les essences plantées possèdent des traits fonctionnels suffisamment différents permettant à au moins une des trois essences d'être présente dans ces deux différents environnements et d'y garantir un succès (cf. théorie des niches écologique dans Tilman 1982 et Gilbert et Lechowicz 2004). Cependant, il s'avère que les trois essences plantées pouvaient être présentes et responsables du succès dans les deux tailles de trouées. Dans notre étude, le succès de stocking en essences plantées a cependant été affecté par deux caractéristiques locales de sites : la qualité de la station et la présence d'essences commerciales compétitrices (majoritairement l'érable rouge et deux essences de peupliers). Un résultat similaire a été démontré pour le groupe, plus large, d'essences désirées dans les grandes trouées. Une qualité de station meilleure et la minimisation des compétiteurs comme l'érable rouge et les peupliers favorisent donc un recrutement dominant en essences désirées. Dans le cas des petites trouées, le succès de recrutement en essences désirées étaient cependant indépendant de ces facteurs et était plutôt dû au hasard ou à un facteur non mesuré dans cette étude.

En ce qui concerne la croissance, la vigueur et la mortalité des trois essences plantées, on a pu mettre en évidence des différences entre secteurs, mais aucune des variables de sites n'a pu permettre d'expliquer d'où elles provenaient. D'autres facteurs, tels que la date de mise en terre, la qualité des plants et le personnel ou la méthode de plantation pourraient être des critères confondants à cet effet 'secteur' observé sur la croissance. Ensuite, si la taille de la trouée n'était importante que pour le CET dans la position C, le positionnement des arbres dans la trouée s'avère un facteur déterminant pour la croissance. Pour les trois essences plantées, la position NE est à proscrire et la position S est moins productive. Pour ce qui est de la vigueur et de la mortalité des essences plantées, les trois essences ont eu des comportements similaires : la perte de vigueur au cours du temps se stabilise rapidement dans les positions C et N, mais continue de chuter dans la position NE. Pour la mortalité, celle-ci était très légèrement plus élevée

dans les petites trouées mais les variations les plus importantes demeurent celles observées au cours du temps et liées à des événements climatiques.

Dans notre cas, les efforts d'enrichissement ont donc assurément amené à un stocking de tige d'avenir tout à fait acceptable mais pas de tige dominante. Un traitement de la régénération (dégagement pré-commercial) est donc recommandé. Contrairement à d'autres observations (Asanok et al. 2013) le succès de la régénération est fortement associable à la présence de congénères (surtout pour le pin blanc). De plus, nos observations tentent à démontrer que le succès des essences était associé à une niche écologique adaptée (exception faite des petites trouées pour le groupe d'essences désirées ou un effet hasard peut être supposé).

Recommandations :

- Il est important de planter un mélange tant qu'il n'est pas possible de déterminer localement la niche écologique qui va être offerte aux semis plantés. Moins la niche écologique offerte (i.e. l'ensemble des caractéristiques de sites) peut être connue, plus le mélange doit être diversifié en termes de traits fonctionnels.
- Il est important de prendre minimalement connaissance des essences présentes dans le couvert et planifier un dégagement si la présence de forts compétiteurs est notée (p.ex. érable rouge, peupliers).
- Si aucun dégagement pré-commercial n'est prévu, limiter les efforts de plantation au C et au N de la trouée, là où la croissance est maximale, afin de maximiser les investissements.
- En ce qui concerne l'association des essences plantées avec des critères de sites, ceux-ci sont généralement complexes (cf. Annexe 2) mais pour l'aide à la décision il est possible de statuer que :
 - Le succès du CET était surtout associé aux sites mieux drainés, aux stations plus riches et aux trouées les plus grandes
 - Le succès du PIB était surtout associé à l'absence de compétition dans la strate herbacée et arbustive, à la présence de congénères dans la canopée et aux stations plus riches
 - Le succès du CHR était généralisé, relativement indépendant de la compétition et associé aux plus petites trouées.

5. Références

- Asanok, L., Marod, D., Duengkae, P., Pranmongkol, U., Kurokawa, H., Aiba, M., ... Nakashizuka, T. (2013). Relationships between functional traits and the ability of forest tree species to reestablish in secondary forest and enrichment plantations in the uplands of northern Thailand. *Forest Ecology and Management*. 296: 9–23.
- Ashton, M. S., Gunatilleke, C. V. S., Singhakumara, B. M. P., & Gunatilleke, I. A. U. . (2013). Restoration pathways for rain forest in southwest Sri Lanka: a review of concepts and models. *Forest Ecology and Management*. 154: 409-430
- Bouffard, D. and Delagrangé, S. 2008. Enrichissement en essences nobles après coupe jardinatoire par trouées dans la région de Lanaudière : résultats après trois saisons de croissance. Rapport scientifique de l'Institut québécois d'Aménagement de la forêt feuillue p. + Annexes.
- Bouffard, D., Forget, É., and Delagrangé, S. 2006. Suivi d'un dispositif expérimental sur l'enrichissement en essences nobles après coupe jardinatoire par trouées dans la région de Lanaudière : résultats après une saison de croissance. Rapport scientifique de l'Institut québécois d'Aménagement de la forêt feuillue p. + Annexes.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2007). *The Nature and Properties of Soils, 14th Edition* (p. 980). Prentice Hall. Retrieved from <http://www.amazon.com/Nature-Properties-Soils-14th-Edition/dp/013227938X>
- Delagrangé S. et F. Doyon. 2010. Suivi de la régénération 5 ans après un enrichissement en essences nobles dans des coupes de jardinage par trouées dans Lanaudière. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport Final. 34 p + Annexes.
- Gilbert B. and Lechowicz M. J. 2004. Neutrality, niches, and dispersal in a temperate forest understory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 101, no. 20, pp. 7651–6.
- Hüttel, R.F., Schneider, B.U., 1998. Forest ecosystem degradation and rehabilitation. *Ecological Engineering*. Volume 10, 19–31
- MRNF 2013. Publications liées à l'inventaire forestier. Indices de qualité de station des principales essences commerciales en fonction des types écologiques du Québec méridional - <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/inventaire/publications-inventaire-forestier.jsp>
- Myers J.A. and Harms K.E. 2011. Seed arrival and ecological filters interact to assemble high-diversity plant communities. *Ecology* 92, 676–686.
- Paquette, A., Bouchard, A., & Cogliastro, A. (2006). Survival and growth of under-planted trees: a meta-analysis across four biomes. *Ecological Applications*, 16(4), 1575–1589. doi:10.1890/1051-0761(2006)016[1575:SAGOUT]2.0.CO;2

- Paquette A., J. Hawryshyn, A. Senikas, C. Potvin. 2009. Enrichment planting in secondary forests: A promising clean development mechanism to increase terrestrial carbon sinks. *Ecology and Society* 14(1):31
- R version 2.15.2 (2012) -- "Trick or Treat" Copyright (C) 2012 The R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0
- Robitaille, A. and Saucier, J.-P. 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Les Publications du Québec. 213 p., Québec, QC, Canada.
- Schweizer et al. 2013
- de Souza Gomes Guarino E. and Osni Scariot A. 2012. Tree seedling survival and growth in logged and undisturbed seasonal deciduous forest fragments in central Brazil. *Journal of Forest Research*. Volume 17, Issue 2, pp 193-201
- Tilman D. 1982. *Ressource competition and community structure*. Book. Princeton Ed.
- Schweizer, D., Gilbert, G. S., & Holl, K. D. (2013). Phylogenetic ecology applied to enrichment planting of tropical native tree species. *Forest Ecology and Management*, 297, 57–66. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713001060>
- Souza Gomes Guarino, E., & Scariot, A. O. (2011). Tree seedling survival and growth in logged and undisturbed seasonal deciduous forest fragments in central Brazil. *Journal of Forest Research*, 17(2), 193–201. doi:10.1007/s10310-011-0294-1

Annexes

Annexe 1

Résultats d'analyses statistiques

Résultats d'analyses statistiques pour le stocking en gaules pour les essences plantées.

	Df	SumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
Secteur	5	0.618	0.12352	2.34	0.0483
Taille_trouée	1	0.031	0.03135	0.594	0.443
Secteur:Taille_trouée	5	0.321	0.06413	1.215	0.3091
Residuals	86	4.539	0.05278		

Résultats d'analyses statistiques pour le stocking en gaules pour les essences désirées.

	Df	SumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
Secteur	5	0.564	0.11274	1.79	0.123
Taille_trouée	1	0	0.00022	0.004	0.952
Secteur:Taille_trouée	5	0.275	0.05491	0.872	0.504
Residuals	86	5.418	0.063		

Résultats d'analyses statistiques pour le stocking en gaules pour les essences commerciales.

	Df	SumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
Secteur	5	0.1745	0.0349	1.739	0.134
Taille_trouée	1	0.0063	0.00626	0.312	0.578
Secteur:Taille_trouée	5	0.1871	0.03741	1.864	0.109
Residuals	86	1.7259	0.02007		

Résultats d'analyses statistiques pour le stocking en gaules d'AVENIR pour les essences plantées.

	Df	SumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
Secteur	5	2.277	0.4554	6.898	1.90E-05
Taille_trouée	1	0.186	0.1863	2.822	0.0966
Secteur:Taille_trouée	5	0.752	0.1504	2.277	0.054
Residuals	85	5.612	0.066		

Résultats d'analyses statistiques pour le stocking en gaules d'AVENIR pour les essences désirées.

	Df	SumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
Secteur	5	1.813	0.3626	6.037	7.91E-05
Taille_trouée	1	0.129	0.1294	2.155	0.146
Secteur:Taille_trouée	5	0.268	0.0537	0.894	0.489
Residuals	85	5.106	0.0601		

Comparaison de modèles pour la croissance des essences plantées

	n	df	AICc	DeltaAICc	Wi %
Haut CET					
lmer, y ~ Haut_Initiale + (1 No_Trouee), data	432	4	5335.4	181.6	0.0
lmer, y ~ Proprietaire + (1 No_Trouee), data	432	9	5294.6	140.9	0.0
lmer, y ~ Haut_Initiale + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	432	10	5287.8	134.1	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee), data	432	4	5333.4	179.7	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee), data	432	6	5237.3	83.5	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee), data	432	10	5199.0	45.2	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	432	16	5153.7	0.0	100.0
DHP CET					
lmer, y ~ Haut_Initiale + (1 No_Trouee), data	132	4	1018.8	69.6	0.0
lmer, y ~ Proprietaire + (1 No_Trouee), data	132	9	991.4	42.2	0.0
lmer, y ~ Haut_Initiale + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	132	10	995.0	45.8	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee), data	132	4	1010.7	61.6	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee), data	132	6	992.3	43.1	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee), data	132	10	973.9	24.8	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	132	16	949.2	0.0	100.0

	n	df	AICc	DeltaAICc	Wi %
Haut CHR					
lmer, y ~ Haut_Initiale + (1 No_Trouee), data	374	4	4680.4	150.5	0.0
lmer, y ~ Proprietaire + (1 No_Trouee), data	374	9	4627.3	97.4	0.0
lmer, y ~ Haut_Initiale + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	374	10	4623.6	93.8	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee), data	374	4	4677.3	147.5	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee), data	374	6	4610.4	80.6	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee), data	374	10	4581.4	51.5	0.0
lmer, y ~ Position + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	374	16	4529.9	0.0	100.0
DHP CHR					
lmer, y ~ Haut_Initiale + (1 No_Trouee), data	179	4	1287.1	60.5	0.0
lmer, y ~ Proprietaire + (1 No_Trouee), data	179	9	1260.9	34.3	0.0
lmer, y ~ Haut_Initiale + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	179	10	1263.1	36.5	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee), data	179	4	1283.3	56.8	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee), data	179	6	1254.8	28.3	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee), data	179	10	1244.9	18.3	0.0
lmer, y ~ Position + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	179	16	1226.6	0.0	100.0
Haut PIB					
lmer, y ~ Haut_Initiale + (1 No_Trouee), data	376	4	4624.3	252.2	0.0
lmer, y ~ Proprietaire + (1 No_Trouee), data	376	9	4572.8	200.7	0.0
lmer, y ~ Haut_Initiale + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	376	10	4569.9	197.9	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee), data	376	4	4620.8	248.8	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee), data	376	6	4456.2	84.2	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee), data	376	10	4425.5	53.5	0.0
lmer, y ~ Position + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	376	16	4372.0	0.0	100.0
DHP PIB					
lmer, y ~ Haut_Initiale + (1 No_Trouee), data	248	4	2151.3	152.5	0.0
lmer, y ~ Proprietaire + (1 No_Trouee), data	248	9	2112.0	113.2	0.0
lmer, y ~ Haut_Initiale + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	248	10	2114.6	115.8	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee), data	248	4	2144.4	145.6	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee), data	248	6	2062.9	64.1	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee), data	248	10	2026.3	27.5	0.0
lmer, y ~ Position + Proprietaire + (1 No_Trouee), data	248	16	1998.8	0.0	100.0

Comparaison de modèles pour la vigueur et mortalité des essences plantées

	n	df	AICc	DeltaAICc	Wi
Vigueur CET					
lmer, y ~ Propriétaire + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	432	10	1266.7	85.9	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	432	5	1257.8	76.9	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	432	7	1180.8	0.0	93.0
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	432	11	1186.0	5.2	7.0
lmer, y ~ Dimension * Position + Propriétaire + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	432	17	1195.8	15.0	0.1
Mortalité CET					
lmer, y ~ Propriétaire + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	10	-671.8	20.4	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	5	-692.2	0.0	96.8
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	7	-685.4	6.8	3.2
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	11	-641.4	50.8	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + Propriétaire + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	17	-609.5	82.7	0.0
Vigueur CHR					
lmer, y ~ Propriétaire + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	374	10	1153.9	42.9	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	374	5	1159.7	48.8	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	374	7	1110.9	0.0	94.3
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	374	11	1117.9	6.9	3.0
lmer, y ~ Dimension * Position + Propriétaire + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	374	17	1118.1	7.1	2.7
Mortalité CHR					
lmer, y ~ Propriétaire + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	10	-334.5	6.6	3.6
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	5	-341.1	0.0	96.3
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	7	-328.3	12.8	0.2
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	11	-284.2	56.9	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + Propriétaire + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	17	-265.2	75.9	0.0
Vigueur PIB					
lmer, y ~ Propriétaire + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	376	10	1171.0	68.7	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	376	5	1164.3	62.0	0.0
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	376	7	1102.3	0.0	98.6
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	376	11	1110.8	8.5	1.4
lmer, y ~ Dimension * Position + Propriétaire + (1 No_Trouee) + (1 Annee), data	376	17	1124.3	22.0	0.0
Mortalité PIB					
lmer, y ~ Propriétaire + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	10	-324.4	28.5	0.0
lmer, y ~ Dimension + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	5	-352.9	0.0	98.6
lmer, y ~ Position + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	7	-344.4	8.6	1.4
lmer, y ~ Dimension * Position + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	11	-300.7	52.2	0.0
lmer, y ~ Dimension * Position + Propriétaire + (1 No_Trouée) + (1 Année), data	672	17	-259.9	93.0	0.0

Annexe 2

Analyse complémentaire

Analyse canonique discriminante visant à déterminer quelles caractéristiques de sites discriminent le mieux le succès des 3 essences plantées.

