

**SUIVI DE LA REGENERATION 5 ANS APRES UN
ENRICHISSEMENT EN ESSENCES NOBLES DANS DES
COUPES DE JARDINAGE PAR TROUEES DANS
LANAUDIERE**

Rapport Final

Remis à

Benoit Couture, ing.f.



**AGENCE RÉGIONALE
DE MISE EN VALEUR
DES FORÊTS PRIVÉES
DE LANAUDIÈRE**

De l'Agence régionale de Mise en Valeur
des Forêts privées de Lanaudière

et à la



Mars 2010



**INSTITUT QUÉBÉCOIS D'AMÉNAGEMENT
DE LA FORÊT FEUILLUE**



**Université
du Québec
en Outaouais**

Équipe de réalisation de l'IQAFF-UQO *

Coordonnateur scientifique et de rédaction : Sylvain Delagrangé (IQAFF-UQO)
Frédéric Doyon (IQAFF-UQO)

Equipe technique terrain et base de données : Benoit Couture (ARMVFP-Lan)
Denis Routhier (ARMVFP-Lan)
Pascal Rochon (IQAFF)

- * Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue (IQAFF)
Université du Québec en Outaouais (UQO)
58 Principale, Ripon, Québec, J0V 1V0
Tél : 819-983-6589 ; Fax : 819-983-6588
Courriel : iqaff@iqaff.qc.ca
Site internet : www.iqaff.qc.ca

Pour citation :

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. 36 p + Annexes.

Remerciements

Ce travail a été rendu possible grâce à l'implication technique et professionnelle de Messieurs Benoît Couture et Denis Routhier (Agence régionale de Mise en Valeur des Forêts privées de Lanaudière) depuis l'origine du projet, il y a cela 6 ans. Il est également important de souligner le travail efficace et consciencieux des conseillers forestiers ainsi que l'implication des propriétaires privés chez lesquels le dispositif expérimental a été implanté. Ce suivi a été financé par le Programme de mise en valeur du milieu forestier (PMVRMF, Volet-II) du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) du Québec dans un partenariat regroupant la Commission Régionale des Élus (CRÉ) de Lanaudière et l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées (ARMVFP) de Lanaudière.

Résumé

Dans le but de restaurer la qualité de certaines forêts privées de Lanaudière étant peu stockées en essences nobles, un dispositif d'enrichissement en chêne rouge, pin blanc et cerisier tardif a été mis en place au sein de 7 peuplements dégradés. Afin de développer une méthode novatrice et basée sur une expertise scientifique, un dispositif testant le positionnement du reboisement dans la trouée et la dimension de cette trouée a été mis en place. Après 5 ans, le suivi de la mortalité, la vigueur, la croissance et la qualité des tiges a été fait et pour chaque essence reboisée, des conclusions sur les combinaisons de facteur assurant leur performance ont été dressées. Grâce à la diversité des peuplements ayant été inclus dans l'analyse, deux problématiques très intéressantes sont ressorties de l'étude. Premièrement, il est très difficile d'identifier une combinaison de facteurs pouvant assurer la performance d'une essence et cela même à l'intérieur d'un peuplement. Le succès de la régénération d'une trouée à l'autre était donc très variable et associé à des facteurs souvent distincts. Dans ce contexte, l'enrichissement de plusieurs essences dans une même trouée a donc eu l'avantage de garantir la performance d'au moins une essence ce qui n'aurait pas été le cas avec un enrichissement mono-spécifique. Deuxièmement, cette grande variabilité de réponse en fonction des facteurs testés entre espèces et entre peuplements est souvent provenue de facteurs extérieurs à l'étude, tel que les populations d'herbivores ou des extrêmes climatiques. Là encore, la plantation d'une variété d'espèce nous a permis de voir l'intérêt de diversifier le reboisement. Des recommandations tenant compte de l'ensemble de ces problématiques sont finalement proposées en conclusion.

Table des matières

Équipe de réalisation de l'IQAFF-UQO *	i
Remerciements	ii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
I. Mise en contexte	i
II. Méthodologie	ii
II. Méthodologie	ii
II.1. Secteur d'étude	ii
II.2. Dispositif expérimental	ii
II.3. Inventaires réalisés et paramètres calculés	6
II.4. Analyses statistiques	9
II.4.a. Dispositif expérimental	9
II.4.b. Analyses préliminaires et corrections appliquées aux analyses	10
III. Résultats	12
III.1. Données climatiques	12
III.1.a. Retour sur les deux premiers suivis et le climat	12
III.1.b. Climat entre le deuxième et troisième suivi	12
III.2. Chêne rouge	14
III.2.a. La mortalité et la vigueur	14
III.2.b. La croissance	15
III.2.b. La qualité de la tige	16
III.3. Pin blanc	18
III.3.a. La mortalité et la vigueur	18
III.3.b. La croissance	19
III.3.c. La qualité de la tige	21
III.4. Cerisier tardif	23
III.4.a. La mortalité et la vigueur	23
III.4.b. La croissance	24
III.4.c. La qualité de la tige	25

IV. Discussion	27
IV. 1. Les essences	27
IV.1.a. LE CHR.....	27
IV.1.b. Le PIB	28
IV.1.c. Le CET	28
IV.2. Les peuplements.....	29
V. Conclusion	32
Références.....	34
ANNEXES.....	36

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques écologiques des sites sélectionnés pour le projet d'enrichissement en feuillus nobles et pin blanc.	4
Tableau 2. Description des trouées et nature du dépôt de surface dans celles-ci.	7
Tableau 3. Abréviations utilisées dans le document.	10
Tableau 4. Sources et degrés de liberté associés au dispositif expérimental.	10
Tableau 5. Résultats de l'analyse de variance pour la détection de différences initiales de hauteur et de diamètre immédiatement après le reboisement en fonction des différents peuplements.	11

Liste des figures

Figure 1. Exemple d'une trouée de 10 m de rayon utilisée dans le dispositif expérimental.	8
Figure 2. Proportion de mortalité des plants de chêne rouge en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.....	14
Figure 3. Vigueur moyenne des plants de chêne rouge en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.	15
Figure 4. Hauteur moyenne des plants de chêne rouge en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.	16
Figure 5. Porportion de plants de chêne rouge avec défaut en fonction de la taille de la touée (rayon) et de leur position après 5 saisons de croissance.....	17
Figure 6. Porportion de plants de chêne rouge broutés en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.....	17
Figure 7. Porportion de mortalité des plants de pin blanc en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.	18
Figure 8. Vigueur moyenne des plants de pin blanc en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.	19
Figure 9. Hauteur moyenne des plants de pin blanc en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.....	20
Figure 10. Diamètre moyen des plants de pin blanc en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.	20
Figure 11. Proportion de plants de pin blanc avec un défaut en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.....	21
Figure 12. Proportion de plants de pin blanc broutés en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.	22
Figure 13. Vigueur moyenne des plants de cerisier tardif en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.....	23
Figure 14. Proportion de plants de cerisier tardif ayant subi une descente de cime en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.....	24
Figure 15. Hauteur moyenne des plants de cerisier tardif en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.....	25
Figure 16. Diamètre moyen des plants de cerisier tardif en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.....	25
Figure 17. Proportion des plants de cerisier tardif ayant un défaut en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance	25
Figure 18. Proportion des plants de cerisier tardif broutés en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.....	26

I. Mise en contexte

La forêt privée de Lanaudière contribue de plus en plus à l'approvisionnement des usines de transformation du bois, notamment en essences nobles et plus particulièrement de feuillus durs de qualité. En effet, la demande pour ces essences ne cesse d'augmenter alors que les contraintes à l'exploitation s'accumulent sur les terres publiques. Cependant, l'historique de coupes dans cette région fait en sorte qu'une proportion importante du territoire est composée de forêts dégradées qui fournissent un rendement sous-optimal en billes de qualité.

Dans ce contexte, l'Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue (IQAFF) a été mandaté par l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de Lanaudière pour élaborer, mettre en place et faire le suivi d'un dispositif expérimental dans le cadre de la réalisation d'un projet de volet II du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (PMVRMF). Le projet initial, déposé au printemps 2004, visait à mettre en place des sites d'expérimentation et de démonstration sur l'enrichissement en essences de feuillus durs et de pin blanc à l'intérieur de trouées effectuées dans des peuplements faiblement stockés en essences de qualité. Le but recherché par ce projet était d'expérimenter de nouvelles pratiques sylvicoles d'enrichissement, d'assainissement et d'amélioration de la qualité des peuplements. Le dispositif expérimental mis en place par l'IQAFF au printemps de 2005 avait pour objectifs principaux à court, moyen et long terme :

- d'améliorer les connaissances en matière de sylviculture visant la production de bois feuillu de qualité ;
- d'expérimenter de nouvelles techniques sylvicoles axées sur la mise en valeur du potentiel feuillu de la région de Lanaudière tout en mettant en place des sites de démonstration;
- de démontrer au monde municipal les avantages liés à la mise en valeur des forêts feuillues ;
- d'augmenter les superficies aménagées de manière à favoriser la production de bois de qualité.

Dans un premier temps, ce dispositif a été suivi un an après la réalisation de l'enrichissement (Bouffard et al. 2006) puis un nouveau suivi a été réalisé trois ans après l'enrichissement (Bouffard & Delagrangé 2008). Arrivée au terme de la cinquième année de croissance après l'enrichissement, un troisième suivi a été effectué pour établir un nouvel état de la régénération dans les trouées. L'ensemble des analyses et des résultats de ce 3^{ème} suivi est retranscrit dans ce document.

II. Méthodologie

II.1. 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 & Saucier 1998). Étant localisée majoritairement dans une sous-région méridionale du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (Robitaille & 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 & 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 & Saucier 1998).

II.2. Dispositif expérimental

L'objectif principal du dispositif expérimental mis en place dans cette étude vise à 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 qualité 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 (Tableau 1), 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. Le Tableau 1 fournit également l'information permettant de placer ces peuplements dans le système de classification écologique du Québec.

Les peuplements sélectionnés ont été soumis à une coupe jardinatoire par trouées réalisée à l'hiver 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%.

Tableau 1. Caractéristiques écologiques des sites sélectionnés pour le projet d'enrichissement en feuillus nobles et pin blanc.

Classification écologique	Sites sélectionnés							
Propriétaire	Bournival (A)	Lafortune (B)	Quévillon (C)	Homsy I (D)	Homsy II (E)	Lessard (F)	Paquin (G)	
Localisation	Ste-Julienne	St-Émilie	St-Cuthbert	St-Calixte	St-Calixte	Chertsey	St-Gabriel	
Domaine	3	3	3	3	3	3	3	
Région écologique	C	C	C	C	C	C	C	
Sous-région	M	M	M	M	M	T	M	
District écologique	Collines	du Collines	du Coteaux	Collines	du Collines	du Hautes	Coteaux	
Essences dominantes	Lac ERR, ERS, PET, BOP	Lac Noir ERS, ERR, PET, BOP,	Rivière ERS, HEG	Lac ERS, HEG	ERR, PEG, ERR	Collines ERR, SAB,	Rivière PET, ERR, BOP,	BOP, SAB

Il est connu que l'utilisation de trouées de dimensions variables permet d'agir sur la composition végétale future du peuplement (Leak & Filip 1977; Smith 1981; Phillips & Shure 1990; McClure & Lee 1993; Dale et al. 1995; Gray & Spies 1996; Jenkins & Parker.G.R. 1998). C'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, deux dimensions de trouées ont été retenues afin d'en vérifier l'impact sur l'évolution de la performance des trois essences choisies dans ce dispositif. Le choix des rayons de 10 et 17 m amène une différenciation réelle de la taille des trouées en termes de superficie (315 versus 908 m²). De plus, compte tenu de la précision réelle qu'il est possible d'obtenir par la méthode de délimitation par les fûts (plus ou moins deux mètres sur le rayon), ces deux dimensions permettent l'obtention de deux populations de trouées bien distinctes (Tableau 2). Par ailleurs, la superficie des trouées de 10 m de rayon tend à s'approcher de celle observée en milieu naturel qui ne dépasse que rarement 200 m² (Runkle 1982; Payette et al. 1990; Beaudet & Messier 1997). Quant aux trouées plus grandes (17 m de rayon), elles sont connues pour favoriser notamment la réinstallation du pin blanc et du chêne rouge, deux des essences étudiées dans ce projet. Les caractéristiques des trouées, ainsi que des dépôts de surface qu'on y retrouve, sont présentées au Tableau 2. Pour les besoins de l'étude, trois trouées de 10 et 17 m de rayon ont été aléatoirement choisies chez chaque propriétaire, et ce parmi l'ensemble des trouées réalisées.

Selon York *et al.* (2003), la croissance des semis à l'intérieur d'une trouée varie peu selon l'axe est-ouest rendant ainsi l'échantillonnage non essentiel à ce niveau. Il en est autrement pour les portions sud, centre et nord d'une trouée (Denslow et al. 1990; Palik et al. 1997; York et al. 2003). Par conséquent, trois zones ont été délimitées à l'intérieur de la trouée en tenant compte des positions géographiques mentionnées précédemment (Figure 1). Une autre zone a été installée en périphérie nord de la trouée afin de tester l'effet de la pénétration lumineuse de proximité (Canham et al. 1990). Afin d'obtenir un espacement suffisant entre chaque quadrat à l'intérieur d'une trouée, les dimensions suivantes ont été attribuées aux différentes zones de reboisement en tenant compte de leur positionnement : i) 2 x 10 m pour les secteurs sud (S), nord (N) et en périphérie nord (NE) et ii) 4 x 8 m pour la position centrale (C) (Figure 1).

Les 42 trouées sélectionnées dans le cadre du projet, six par propriétaire, ont donc été reboisées avec du chêne rouge, du pin blanc et du cerisier tardif, trois essences bien adaptées au climat régional et au dépôt dominant du piedmont Lanaudois. Les semis utilisés provenaient de la pépinière de Berthierville et étaient adaptés aux sous-régions écologiques 3ct et 3cm. La densité du reboisement dans les trouées, et par conséquent dans les quadrats, était de l'ordre de 2 500 plants à l'hectare (2 x 2 m). Le reboisement de quatre semis par essence dans les boîtes situées au sud, au nord et en périphérie nord et de cinq semis en milieu de trouée, tous

distribués de façon aléatoire, a permis d'obtenir le nombre nécessaire de plants vivants (trois individus par essence et par position) pour mener à bien les analyses statistiques.

II.3. Inventaires réalisés et paramètres calculés

À la fin du printemps 2005, peu de temps après le reboisement et juste avant le débourrement des plants, trois semis de chêne rouge, de pin blanc et de cerisier tardif ont été sélectionnés aléatoirement dans les trouées au niveau de chaque position (soit un total de 1 508 plants) et identifiés afin de les distinguer de la régénération naturelle et d'en assurer le suivi à moyen terme. Au même moment, des données de croissance - hauteur (hauteur initiale) et diamètre au collet (diamètre initial) - ont été récoltées sur tous les plants suivis.

Après trois et cinq saisons de croissance, c'est-à-dire en septembre 2007 et 2009, la hauteur et le diamètre au collet des plants ont été remesurés en plus de noter l'état des semis (mort ou vivant). La présence de broutage (ainsi que son intensité évaluée en classes) et l'occurrence de mortalité terminale (descente de cime) ont également été notés. De plus, la qualité de chaque tige a aussi été évaluée en notant la courbure, la présence de rejets ou même la cassure de la tige principale. À l'aide de ces données, les proportions de mortalité (totale ou des 2 dernières années), de broutage et de mortalité terminale pour les trois essences ont été calculées pour chaque position à l'intérieur de chacune des trouées. De plus, la hauteur moyenne et le diamètre moyen des plants ainsi que leur accroissement en hauteur et en diamètre dans les 2 dernières années ont également été calculés. Finalement, un pourcentage de plants ayant des défauts (courbure ou cassure) a aussi été déterminé comme proxy pour la qualité de la tige.

Tableau 2. Description des trouées et nature du dépôt de surface dans celles-ci.

Propriétaire	Caractéristiques des trouées				Nature des dépôts		
	No	Dimension (m)	Exposition	Pente (%)	Type	Pierrosité	Épaisseur (cm)
Bournival (A)	1	E-O(32),N-	-	-	1aY	Forte	50-100
	2	E-O(31),N-	E-O	0-5	1aY	Forte	50-100
	3	E-O(20),N-	N-S	0-5	1aY	Forte	50-100
	4	E-O(34),N-	N-S	5-10	1aY	Forte	50-100
	5	E-O(20),N-	E-O	0-5	1aY	Forte	50-100
	6	E-O(23),N-	E-O	5-10	1aY	Forte	50-100
Lafortune (B)	7	E-O(20),N-	E-O	15-25	1a	Nulle	> 100
	8	E-O(32),N-	N	10-15	1a	Nulle	> 100
	9	E-O(30),N-	-	-	1aY	Nulle	50-100
	10	E-O(21),N-	E-O	0-5	1aY	Nulle	50-100
	11	E-O(34),N-	E-O	15-25	1aY	Nulle	50-100
	12	E-O(26),N-	E-O	15-25	1aY	Nulle	50-100
Quévillon (C)	13	E-O(32),N-	E-O	0-5	R1a	Forte	< 50
	14	E-O(20),N-	E-O	0-5	R1a	Forte	< 50
	15	E-O(33),N-	-	-	R1a	Forte	< 50
	16	E-O(34),N-	N	0-5	R1a	Forte	< 50
	17	E-O(21),N-	-	-	R1a	Forte	< 50
	18	E-O(20),N-	E-O	0-5	R1a	Forte	< 50
Homsy I (D)	19	E-O(34),N-	N-S	0-5	1aY	Forte	50-100
	20	E-O(34),N-	NO-SE	5-10	1aY	Forte	50-100
	21	E-O(30),N-	N-S	0-5	1aY	Forte	50-100
	22	E-O(22),N-	N-S	0-5	1aY	Forte	50-100
	23	E-O(20),N-	O-E	5-10	1aY	Forte	50-100
	24	E-O(24),N-	O-E	35	1aY	Forte	50-100
Homsy II (E)	25	E-O(34),N-	O-E	15-25	1aY	Forte	50-100
	26	E-O(32),N-	N-S	5-10	1aY	Forte	50-100
	27	E-O(34),N-	N-S	5-10	1aY	Forte	50-100
	28	E-O(20),N-	N-S	0-5	1aY	Forte	50-100
	29	E-O(23),N-	O-E	0-5	1aY	Forte	50-100
	30	E-O(20),N-	O-E	0-5	1aY	Forte	50-100
Lessard (F)	31	E-O(23),N-	S-N	0-5	1a	Forte	> 100
	32	E-O(36),N-	N-S	0-5	1a	Forte	> 100
	33	E-O(35),N-	E-O	5-10	1a	Forte	> 100
	34	E-O(20),N-	S-N	5-10	1a	Forte	> 100
	35	E-O(35),N-	E-O	5-10	1a	Forte	> 100
	36	E-O(21),N-	-	-	1a	Forte	> 100
Paquin (G)	37	E-O(33),N-	N-S	0-5	1a	Forte	> 100
	38	E-O(32),N-	Butte	5-10	1a	Forte	> 100
	39	E-O(31),N-	Butte	15-20	1a	Forte	> 100
	40	E-O(19),N-	E-O	10-15	1a	Forte	> 100
	41	E-O(19),N-	E-O	10-15	1a	Forte	> 100
	42	E-O(19),N-	E-O	15-20	1a	Forte	> 100

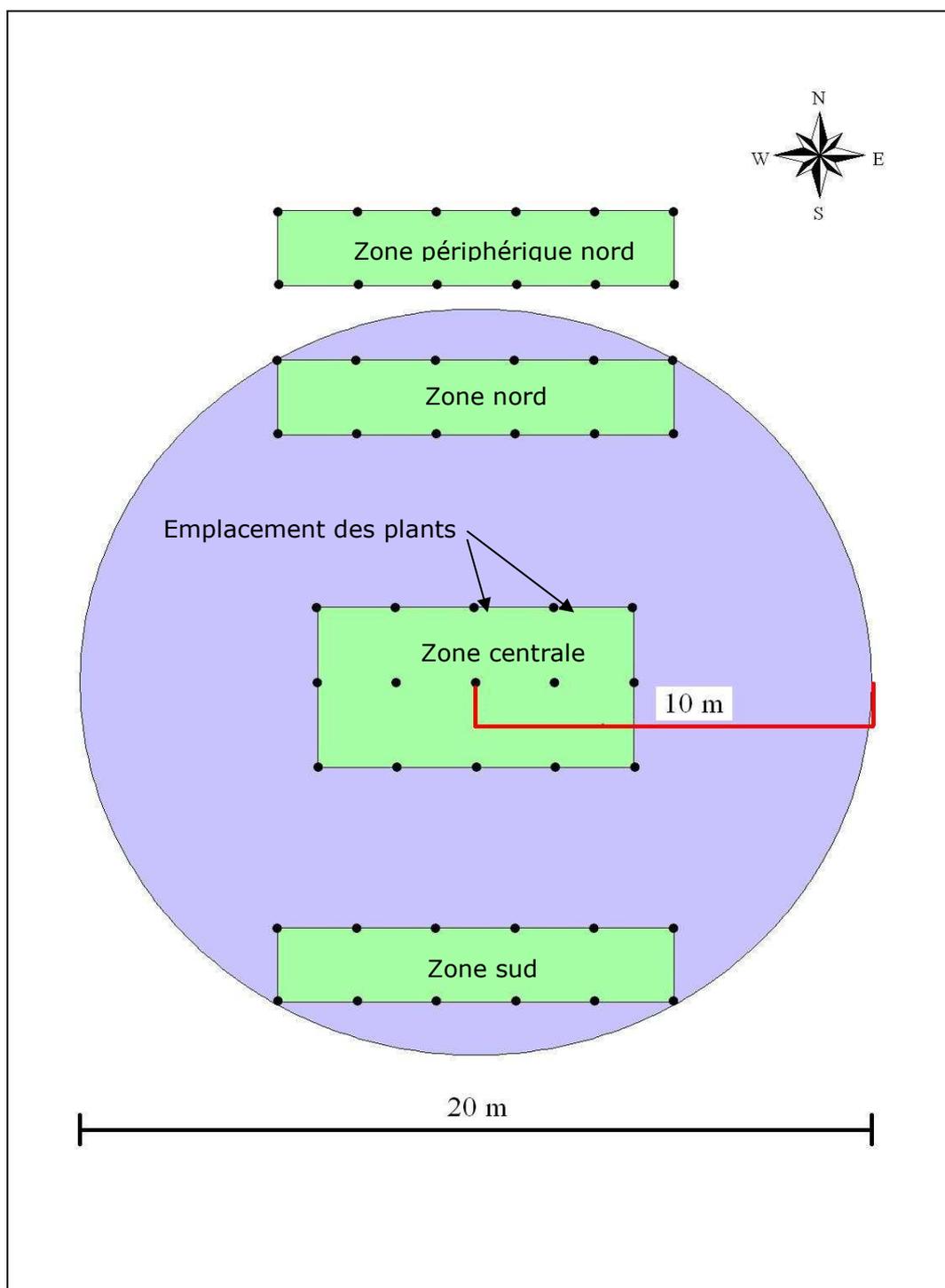


Figure 1. Exemple d'une trouée de 10 m de rayon utilisée dans le dispositif expérimental.

II.4. Analyses statistiques

II.4.a. Dispositif expérimental

L'effort d'échantillonnage des peuplements a été évalué à partir de la distribution de Fisher-Snedecor. Ainsi, il a été estimé qu'un nombre de six peuplements s'avérait suffisant pour avoir des résultats statistiques précis. Par soucis de sécurité, nous avons tout de même opté pour un échantillonnage de huit peuplements. Toutefois, pour des raisons de non-conformité, un des peuplements pré-sélectionnés a dû être éliminé (Beauchamp) avant analyses et aucun résultat n'est présenté pour ce dernier. Les facteurs principaux des analyses correspondent aux peuplements (ou propriétaires), aux diamètres des trouées et au positionnement des plants dans les trouées. Dans le but de détecter l'effet de chaque source de variation et des interactions potentielles entre celles-ci, des analyses de variance (ANOVA) du type à tiroir ont été utilisées. Dans ces analyses, le facteur position dans la trouée était donc imbriqué dans les autres facteurs. Pour des raisons de simplification de l'interprétation des résultats, les trois essences ont été étudiées séparément. On notera d'ailleurs que dans ce dispositif, l'unité expérimentale étudiée s'avère être une moyenne de 3 semis de la même espèce et dans la même position. Les inférences statistiques ne portent donc pas sur des semis individuels, mais bien sur la moyenne d'un ensemble de semis dans la même position. Un seuil alpha de signification statistique de 0.05 a été utilisé pour l'ensemble des analyses. Les comparaisons de moyennes ont été réalisées selon la méthode de Tukey-Kramer. L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel NCSS (Hintze 2004). Enfin, la signification des différentes abréviations utilisées dans la présentation des résultats pour la description des facteurs principaux est illustrée au tableau 3 alors que les sources et les degrés de liberté associés au dispositif expérimental se retrouvent au tableau 4.

Tableau 3. Abréviations utilisées dans le document.

Paramètres	Abréviations utilisées
Peuplement (ou propriétaire)	PE
Bournival	A
Lafortune	B
Quévillon	C
Homsy I	D
Homsy II	E
Lessard	F
Paquin	G
Dimension des trouées	D
10 m	10
17 m	17
Position dans les trouées	P
Sud	S
Centre	C
Nord	N
Périphérie nord	NE

Tableau 4. Sources et degrés de liberté associés au dispositif expérimental.

Sources	Degrés de liberté
Peuplement (PE)	6
Diamètre de la trouée (D)	1
PE x D	6
Position dans la trouée (P)	3
PE x P	18
D x P	3
PE x D x P	18
Erreur	112

II.4.b. Analyses préliminaires et corrections appliquées aux analyses

Un examen de la hauteur initiale et du diamètre initial des plants reboisés a permis de déceler un problème d'uniformité dans l'état initial des semis (Bouffard et al. 2006). Dans le cas de la hauteur, une analyse préliminaire de variance a révélé que la hauteur initiale des semis de pin blanc après reboisement était significativement différente entre les propriétaires (Tableau 5). Cependant, aucune mesure de correction n'a été appliquée ici, du fait que la différence détectée par le test statistique correspondait à un écart maximal de hauteur de 2 cm (soit moins de 5% de la taille initiale des semis). Ainsi, cette différence a été jugée biologiquement négligeable, c'est-à-dire qu'elle n'aurait aucun impact sur la suite des analyses.

Pour ce qui est du diamètre initial, des différences, cette fois biologiquement significatives, ont été constatées et cela chez les trois essences (Tableau 5). Ces différences initiales pourraient s'expliquer par l'utilisation de différents lots de semis ayant poussés dans des conditions différentes. Cependant, en considérant que la différence de hauteur initiale était absente ou négligeable, il n'est pas exclu que ces différences de diamètre initial soient simplement dues au hasard. Puisque le nombre de peuplements n'était pas limitant dans cette étude, il a alors été décidé d'éliminer de la base de données le peuplement responsable de ces différences soit : Lessard (F) pour le chêne, Homsy II (E) pour le pin et Quévillon (C) pour le cerisier (Tableau 5) (mais seulement pour les analyses de croissance diamétrale du 2^{ème} suivi (cf. Bouffard & Delagrangé 2008)). Cependant, après 5 ans (3^{ème} suivi) ces peuplements ont été réincorporés dans l'analyse tout en gardant en mémoire ces différences initiales observées afin d'en tenir compte dans les interprétations. Ceci a donc permis de discriminer les effets initiaux qui ont aujourd'hui encore un impact, de ceux qui après 5 ans n'ont pas laissé d'empreinte significative.

Finalement, un problème d'hétéroscédasticité des variances (inégalité des variances) a été détecté chez les trois essences au niveau de la mortalité suite à la présence d'un très grand nombre de valeurs nulles. Malheureusement, cette problématique n'a pu être corrigée d'aucune manière.

Tableau 5. Résultats de l'analyse de variance pour la détection de différences initiales de hauteur et de diamètre immédiatement après le reboisement en fonction des différents peuplements.

Essence		Hauteur initiale des plants	Diamètre initial des plants	
		Tous les peuplements	Tous les peuplements	Sans le peuplement F pour le chêne, le E pour le pin et le C pour le cerisier
Chêne rouge	F	1.51	2.85	1.40
	P	0.2047	0.0229	0.2518
Pin blanc	F	2.58	4.83	1.70
	P	0.0358	0.0011	0.1650
Cerisier tardif	F	1.73	3.71	2.39
	P	0.1440	0.0058	0.0617

III. Résultats

III.1. Données climatiques

Afin de mieux suivre et comprendre l'évolution de la croissance et de la qualité des plants durant les 5 dernières années, les données climatiques importantes ont été compilées (Station météo de la municipalité de Joliette). Parmi ces données figurent la température moyenne durant les mois de la saison de croissance et durant les mois d'hiver, ainsi que les précipitations estivales et la couverture neigeuse hivernale (cf. Annexe 1).

III.1.a. Retour sur les deux premiers suivis et le climat

Dans l'ensemble, les températures mensuelles moyennes et les précipitations mensuelles de la saison de croissance 2005 (c'est à dire l'année de la plantation) se sont avérées tout à fait normales (Annexe 1). Aucun écart climatique n'a donc été relevé durant cette période et il n'est donc pas attendu que le climat ait interféré avec les mesures réalisées après une saison de croissance.

De même, les deux étés suivants ont connu des températures mensuelles moyennes et des précipitations mensuelles tout à fait habituelles (Annexe 1). Le seul écart notable durant ces deux étés a toutefois été un mois de mai particulièrement pluvieux en 2006 (Annexe1). Cependant ceci n'a assurément pas eu d'impacts sur le développement des plants. Les deux hivers ayant séparés le premier suivi (an 1) et le deuxième suivi (an 3) ont montré des températures moyennes mensuelles proches de la normale mais une couverture neigeuse faible, particulièrement l'hiver 2006-07 (Annexe1). Ainsi, il n'était pas attendu que le climat estival ou hivernal ait un impact direct sur le développement des plants entre le premier et le deuxième suivi. Par contre, il est connu qu'une faible couverture neigeuse peut favoriser le développement des populations d'herbivores comme le cerf de virginie (Telfer 1978; Gill 1992). Et en effet, lors du deuxième suivi, le broutage a été un facteur important pouvant influencer la croissance comme la survie des essences plantées (Bouffard & Delagrangé 2008).

III.1.b. Climat entre le deuxième et troisième suivi

De façon similaire, les données climatiques estivales des étés 2008 et 2009, préalables au troisième suivi, n'ont pas révélé d'extrêmes climatiques pouvant avoir une influence sur les plants (Annexe 1). En ce qui concerne les 2 hivers 2007-08 et 2008-09, les températures mensuelles moyennes se sont révélées proches de la normale, mais encore une fois, le seul

écart notable fut la couverture neigeuse qui a été très élevée durant ces deux hivers (plus du double comparativement aux deux hivers précédents, cf. Annexe 1). Ceci fut particulièrement vrai pour l'hiver 2007-08 où la couverture neigeuse mensuelle a régulièrement dépassé 60 cm de hauteur et est demeurée présente tard dans la saison. On peut donc s'attendre à un effet négatif de ces hivers sur les populations d'herbivore de grande taille (Telfer 1978; Gill 1992) et donc un impact moindre du broutage sur les plants. Cependant, il faudra également surveiller un possible effet négatif de l'accumulation de ces masses de neige sur les jeunes plants en développement.

III.2. Chêne rouge

III.2.a. La mortalité et la vigueur

La mortalité du chêne après 5 ans a atteint 19.1%, mais celle-ci a été très variable selon les peuplements allant de 1.4 à 48.6%(Annexe 2, Figure 2). Il est important de noter que la mortalité associée aux 2 dernières années (2008-2009) a été, quant à elle, très faible (1%) et n'a pas varié selon les peuplements (Annexe 2). Ceci signifie donc que les différences observées aujourd'hui entre les peuplements pour ce paramètre proviennent seulement de la mortalité plus ou moins importante qui avait été relevée et associée au broutage dans les trois premières années (Bouffard & Delagrangre 2008).

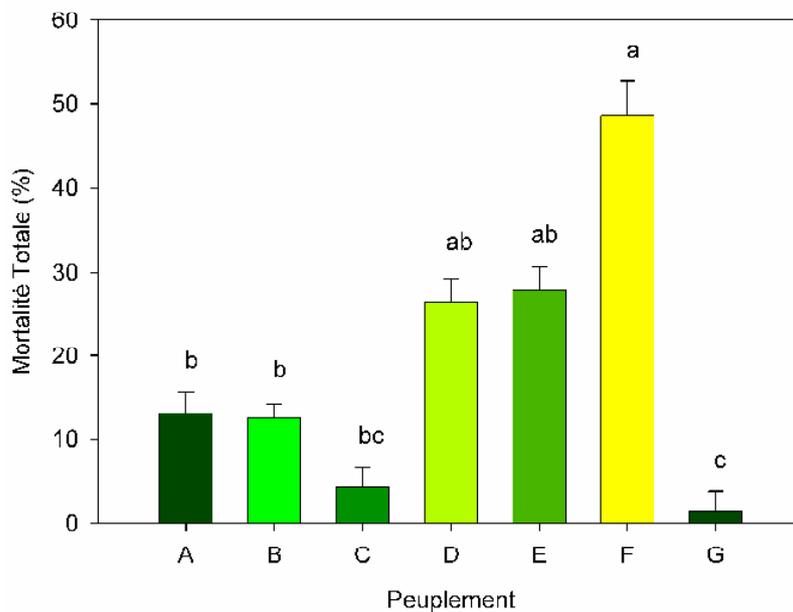


Figure 2. Proportion de mortalité des plants de chêne rouge en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.

La vigueur (estimée par classe de 1 à 5, 5 étant la meilleure) est un indice de la future mortalité, et chez le chêne, celle-ci a différé entre peuplements. Cependant, la différence entre peuplement était principalement associée au fait que certains peuplements (E et F) avaient une vigueur particulièrement faible dans les positions où celle-ci aurait dû être la meilleure (positions C et N) (Annexe 2, Figure 3).

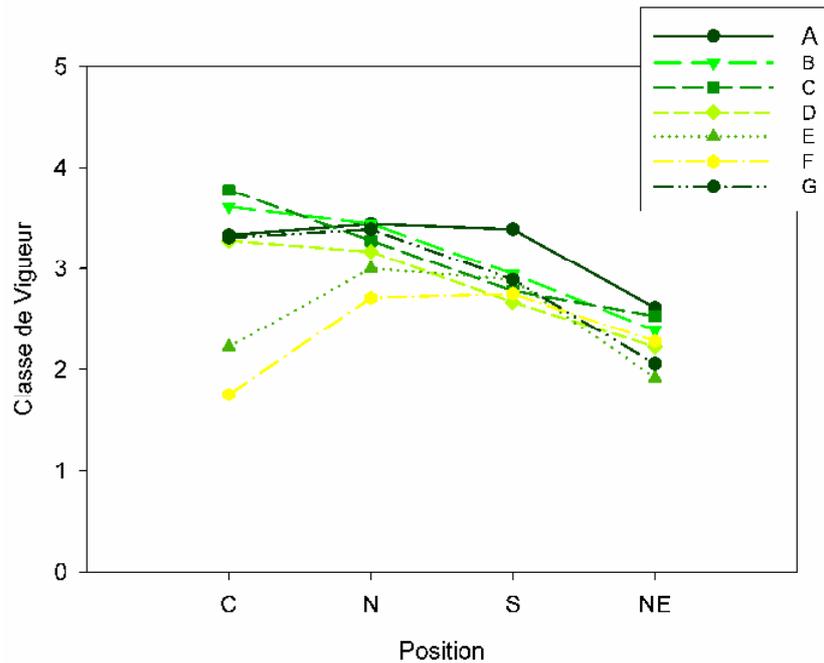


Figure 3. Vigueur moyenne des plants de chêne rouge en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.

En ce qui concerne la descente de cime chez le CHR, celle-ci a exclusivement varié en fonction de la position dans la trouée, mais elle a été indépendante de tout autre facteur. Ainsi, la position NE suivi de la position S étaient plus favorables à une descente de cime chez le CHR que les positions N et C (Annexe 2) ce qui confirme les résultats obtenus pour les classes de vigueur ainsi que le fait que la baisse de vigueur des peuplements E et F (Figure 3) n'est pas associable avec une descente de cime.

III.2.b. La croissance

Après 5 ans, la hauteur moyenne des plants de CHR ayant survécu était de 97.2 cm, cependant celle-ci a significativement varié entre les peuplements allant de 73.2 à 121.7 cm (Annexe 4). L'autre source de variation ayant affecté la hauteur des plants de CHR est la position dans la trouée (Figure 4, Annexe 2). En effet, la position NE s'est révélée néfaste pour la croissance du CHR alors que les positions à l'intérieur des trouées étaient meilleures. Une interaction entre la position et les peuplements a aussi été observée du fait que pour certains peuplements (E et F), les positions plus centrales dans la trouée n'amélioreraient pas la croissance (E) et même la détérioraient (F) (Figure 4) ce qui concorde tout à fait avec les résultats obtenus pour la vigueur.

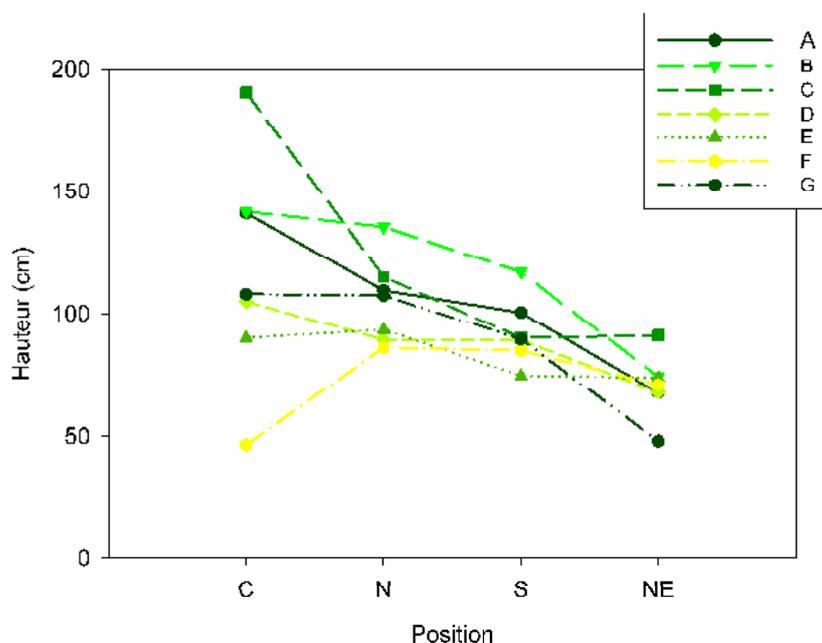


Figure 4. Hauteur moyenne des plants de chêne rouge en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.

La croissance diamétrale ayant suivi exactement le même patron que la croissance en hauteur (Annexe 2), celle-ci était donc meilleure dans les positions C et N et chez certains peuplements ces positions plus centrales n'ont pas amélioré la croissance (E) et l'ont même détériorée (F).

Il est important de noter qu'en ce qui concerne les accroissements en hauteur et en diamètre des 2 dernières années seulement, ceux-ci n'ont varié qu'avec le facteur position (NE étant une position moins favorable que les autres). Ainsi, les différences de hauteur et de diamètre observées après 5 ans entre les peuplements sont le reflet de la croissance des 3 premières années (surtout associé à la faible qualité initiale des plants du peuplement F) mais celles-ci ne semble pas s'être modifiée ou accentuée durant les deux dernières années.

III.2.b. La qualité de la tige

En réalisant l'analyse des proportions d'arbre ayant un défaut (c'est-à-dire une courbure ou une cassure), il s'est avéré que le pourcentage de plants de CHR ayant un défaut augmentait avec la taille de la trouée et avec la position centrale, mais qu'il ne variait avec aucun autre facteur (Annexe 2, Figure 5). Au centre des grandes trouées, plus de 40% des plants de CHR possédaient un défaut de la tige et dans le cas de cette essence il s'agissait en grande majorité d'une cassure de la tige.

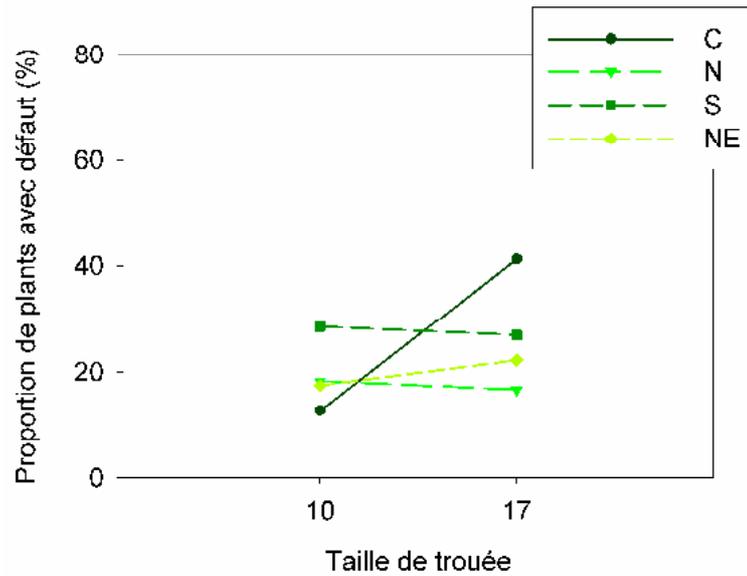


Figure 5. Porportion de plants de chêne rouge avec défaut en fonction de la taille de la touée (rayon) et de leur position après 5 saisons de croissance.

En revanche, la proportion des plants broutés a seulement varié avec les peuplements (Annexe 2, Figure 6), parmi lesquels les C et G ont respectivement montré 33 et 43% de plant broutés. On notera que pour cette essence, le broutage a été associé aux rongeurs plutôt qu'aux gros mammifères et qu'un même constat avait été fait lors du suivi après 3 ans (Bouffard & Delagrangé 2008).

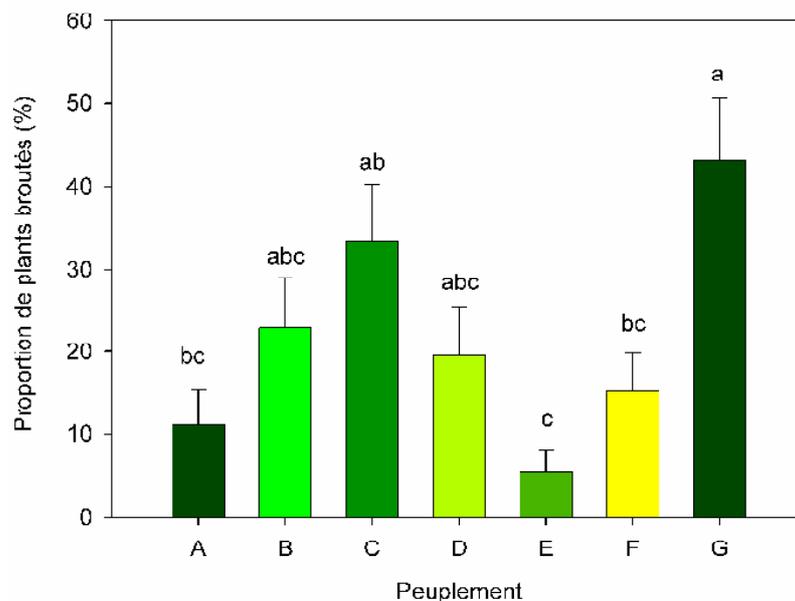


Figure 6. Porportion de plants de chêne rouge broutés en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.

III.3. Pin blanc

III.3.a. La mortalité et la vigueur

Après 5 saisons de croissance, la mortalité du PIB s'est élevée à 13.1% et a peu varié d'un peuplement à l'autre (de 5.5 à 22%, Annexe 3). Chez cette espèce, la position dans la trouée associée avec cette mortalité a cependant significativement varié entre les peuplements (Annexe 3, Figure 7). Ainsi, les plants de PIB ont connu une forte mortalité à la position C dans le peuplement A, à la position NE dans les peuplements D, E et G et à toutes les positions du peuplement F (Figure 7). À l'inverse, une très faible mortalité a été observée dans toutes les positions des peuplements B et C. On notera que la mortalité des 2 dernières années s'est élevée à 7.1%, soit plus de la moitié de la mortalité totale et que c'est cette mortalité récente qui a défini le patron de variabilité observé pour la mortalité totale après 5 ans (Annexe 3).

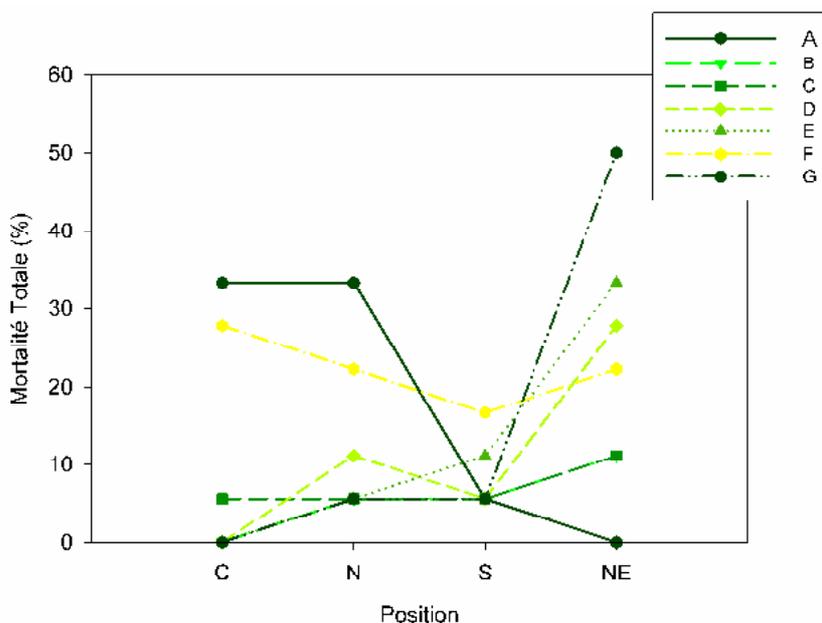


Figure 7. Proportion de mortalité des plants de pin blanc en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.

En ce qui concerne la vigueur des plants de PIB, celle-ci s'est révélée être significativement meilleure dans les grandes trouées que dans les petites (Annexe 3). La position dans la trouée a également affecté la vigueur des plants de PIB mais cela a varié en fonction des peuplements (Annexe 3, Figure 8). En effet, dans l'ensemble des peuplements, la position NE ne semble pas profitable à une bonne vigueur mais les autres positions l'amélioreraient. Cependant, dans certains peuplements (A et F) les positions C, N et S n'amélioreraient en rien la vigueur des plants (Figure 8).

Parallèlement, comme il a été observé dans les trois premières années (Bouffard & Delagrangé 2008), les plants de PIB ont subi très peu de descente de cime et aucun facteur n'a pu être associé à la variation de ce paramètre (Annexe 3).

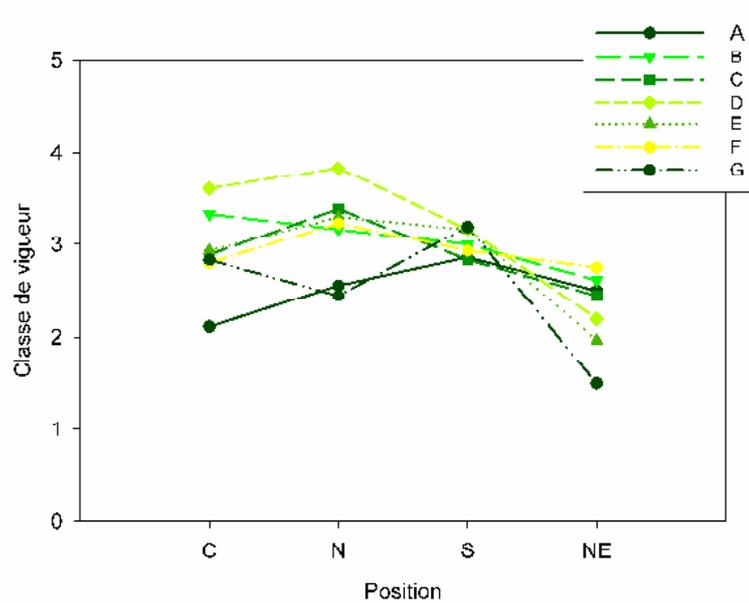


Figure 8. Vigeur moyenne des plants de pin blanc en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.

III.3.b. La croissance

La croissance en hauteur des plants de PIB a été significativement moins bonne dans les peuplements A (92 cm) et G (94 cm) comparativement aux autres peuplements (environ 130 cm en moyenne) (Annexe 3, Figure 9). De même, indépendamment des peuplements, la croissance en hauteur a été moitié moindre (69 cm) dans la position NE que dans la position centrale (156 cm) (Annexe 3).

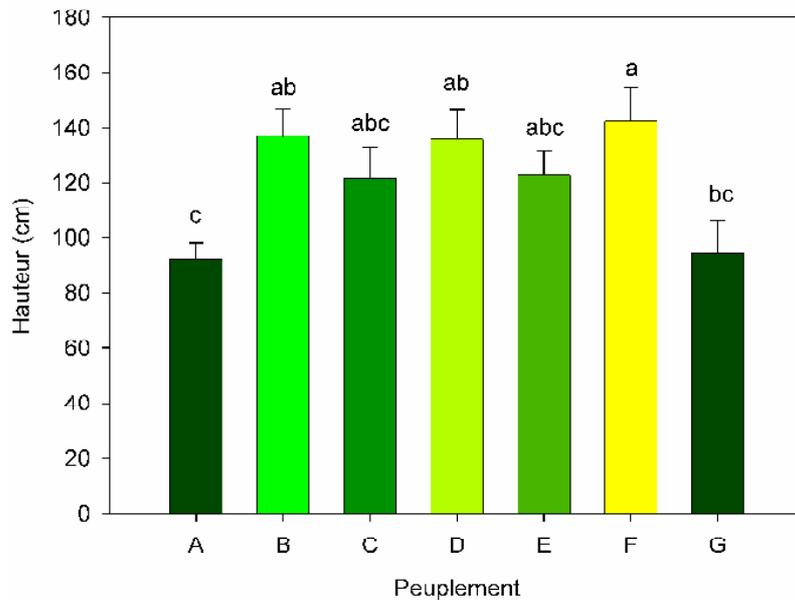


Figure 9. Hauteur moyenne des plants de pin blanc en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.

De façon intéressante, l'analyse de la croissance en diamètre a permis de mettre en évidence que la moins bonne croissance des peuplements A venait du fait que les positions plus centrales (C, N et S) de ce peuplements n'améliorait pas la croissance diamétrale par rapport à la position NE (Annexe 3). Finalement, seule la position centrale a permis à la croissance diamétrale de bénéficier d'un diamètre de trouée plus élevé (Annexe 3, Figure 10).

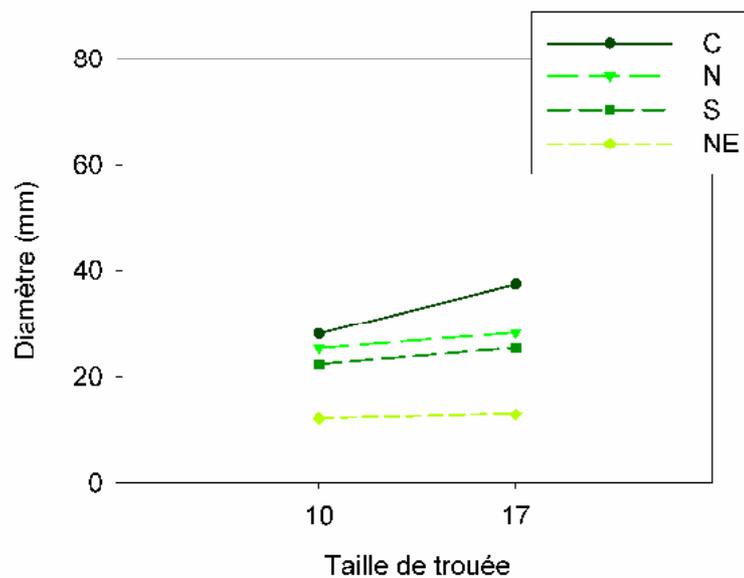


Figure 10. Diamètre moyen des plants de pin blanc en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.

On notera qu'en ce qui concerne les accroissements en hauteur et en diamètre des plants de PIB dans les 2 dernières années, seuls les facteurs « peuplement » et « position » sont ressortis significatifs de l'analyse. Ceci sous-entend donc que l'importance observée après 3 ans de réaliser des trouées plus larges pour cette espèce semble s'estomper après 5 ans et que d'autres facteurs entrent en jeu dans la variabilité de la croissance de cette espèce.

III.3.c. La qualité de la tige

Dans l'ensemble, la position C a augmenté la proportion de plants ayant un défaut chez le PIB alors que la position NE est celle qui a minimisé le plus cette même proportion (Annexe 3). Ceci est étonnant en considérant que la vigueur était meilleure dans la position C que dans la position NE. Cependant, suivant les peuplements, cette différence de proportion de plants avec défaut entre les positions s'est estompée (cf. peuplement A, B et G, Figure 11). De plus, en grande majorité, les défauts observés chez le PIB consistaient en une courbure importante de la tige principale, assurément reliée au poids de la couverture neigeuse. Ainsi il est compréhensible que ce défaut soit plus souvent retrouvé au centre des trouées et moins à l'extérieur.

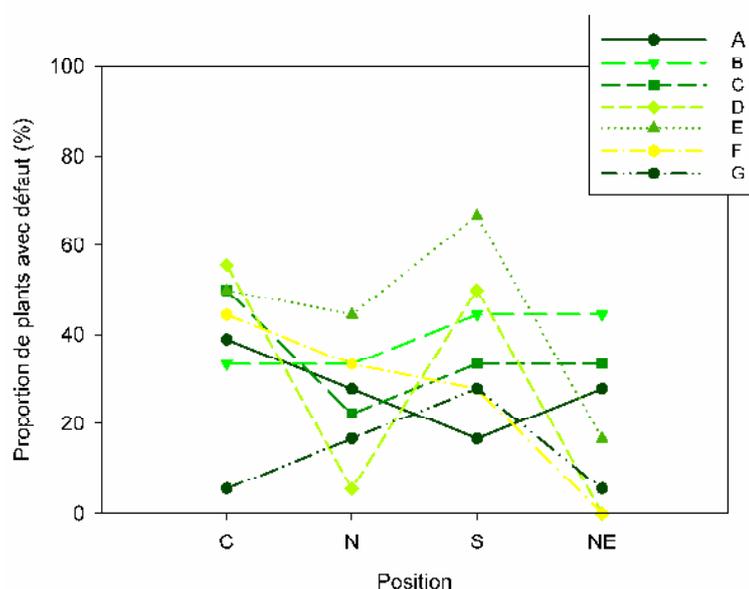


Figure 11. Proportion de plants de pin blanc avec un défaut en fonction des peuplements et de leur position dans la trouée après 5 saisons de croissance.

Au niveau du broutage, celui-ci est demeuré assez faible (en moyenne 13% des individus), mais il a significativement varié entre peuplements, allant de 0% pour le D à 21 et même 29% pour les peuplements A et G respectivement (Annexe 3). Comme il avait été noté après 3 ans,

la taille de la trouée et la position sont des facteurs importants dans le broutage du PIB (Annexe 3, Figure 12). En effet, généralement, une trouée plus grande diminue le broutage pour les positions intérieures (C, N et S), mais à l'inverse, une trouée plus grande augmente la proportion de broutage pour la position NE (Annexe 3, Figure 12).

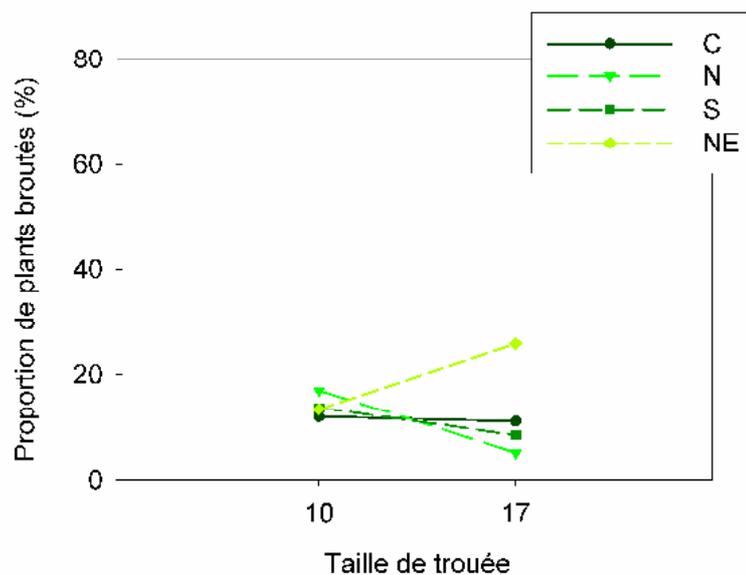


Figure 12. Proportion de plants de pin blanc broutés en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.

III.4. Cerisier tardif

III.4.a. La mortalité et la vigueur

Après 5 saisons de croissance, la mortalité du CET s'est élevée à 6.3% ce qui fait de cette espèce celle qui a obtenu la mortalité la plus faible mais aussi la moins variable car aucun facteur n'a pu être associé à sa faible variation (Annexe 4). De plus, la mortalité dans les 2 dernières années est demeurée assez négligeable oscillant de 0 (pour le peuplement D) à 4.8% (pour le peuplement A) avec une moyenne à 1.7% parmi tous les peuplements (Annexe 4). Très peu de mortalité est donc survenue entre le 2^{ème} et le 3^{ème} suivi pour le CET.

Pour ce qui est de la vigueur, elle s'est avérée d'autant meilleure que les plants étaient situés vers le centre de la trouée et un effet positif supplémentaire a été observé sur la vigueur des plants en position C et N lorsque la taille de la trouée augmentait (Annexe 4, Figure 13).

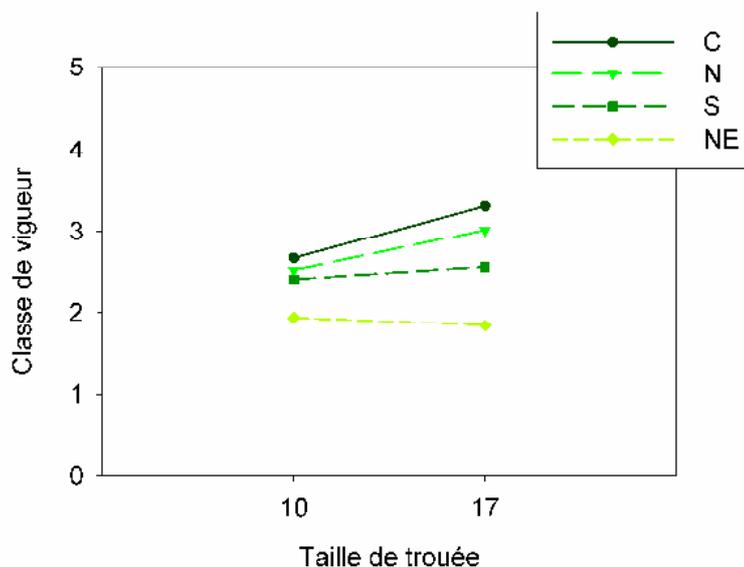


Figure 13. Viguer moyenne des plants de cerisier tardif en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.

En ce qui concerne la descente de cime, un patron similaire a été mis en évidence. Un effet positif sur la diminution de la proportion de descente de cime chez le CET a été observé dans les positions plus centrales par rapport à la position NE (Annexe 4, Figure 14). De plus, la position C a particulièrement été profitable pour réduire cette proportion dans les plus grandes trouées (rayon de 17 m, cf. Annexe 4, Figure 14). On notera aussi que des différences significatives sont apparues entre les peuplements dans les proportions de descente de cime (Annexe 4). Cependant, ce résultat était seulement attribuable à une valeur plus faible dans le

peuplement A (16%) comparativement à tous les autres peuplements qui avaient des proportions très similaires autour de 34% (données non montrées).

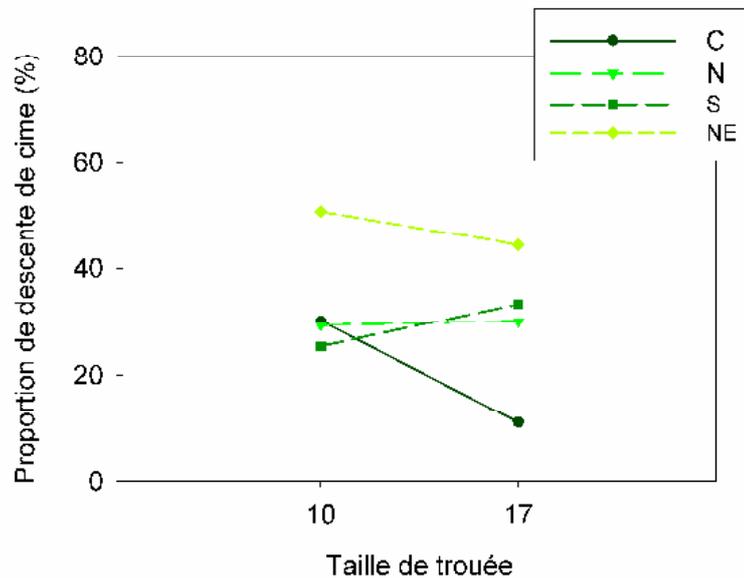


Figure 14. Proportion de plants de cerisier tardif ayant subi une descente de cime en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.

III.4.b. La croissance

Après 5 saisons de croissance, la hauteur des plants de CET n'a pas varié avec les peuplements atteignant une valeur moyenne de 83 cm. Cette même croissance a cependant été meilleure dans les positions plus centrales de la trouée, mais cette tendance est devenue significative seulement dans les grandes trouées où la position C s'est avérée très profitable (Annexe 4, Figure 15). Un patron très similaire a été observé pour la croissance diamétrale. Pour ce paramètre, les positions centrales, et plus particulièrement dans les grandes trouées, se sont montrées plus favorables à la croissance (Annexe 4, Figure 16).

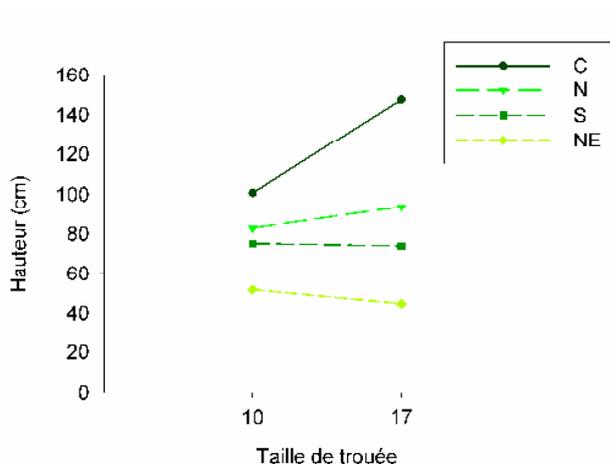


Figure 15. Hauteur moyenne des plants de cerisier tardif en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.

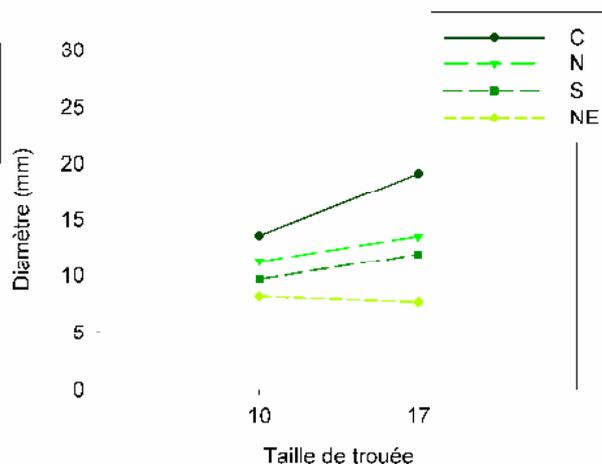


Figure 16. Diamètre moyen des plants de cerisier tardif en fonction de la taille de la trouée et de leur position après 5 saisons de croissance.

De plus, pour ce qui est de l'accroissement en hauteur ou en diamètre lors de ces 2 dernières années, ces deux paramètres ont suivi les mêmes patrons que ceux de la hauteur et du diamètre. Ainsi, la croissance de ces deux dernières années reflète bien la hauteur et le diamètre actuel des individus de CET.

III.4.c. La qualité de la tige

La proportion de plants de CET ayant un défaut n'a varié qu'en fonction du peuplement et ce facteur est sorti significatif principalement parce qu'un des peuplements (D) a montré une proportion de plants avec défaut très inférieure aux autres (Annexe 4, Figure 17).

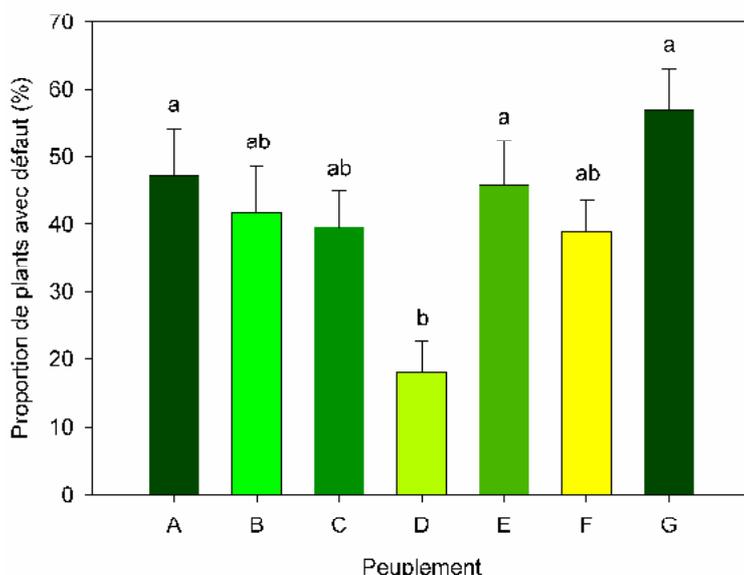


Figure 17. Proportion des plants de cerisier tardif ayant un défaut en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance

Au niveau du broutage, la proportion de plants broutés a différencié entre les peuplements, allant de 0 à 19% avec une moyenne à 7.3%. Il apparaît donc que les peuplements D, E et F ont été ceux pour lesquels la proportion de plants broutés de CET a été la plus forte (Annexe 4, Figure 18). Il faut cependant reconnaître que ces proportions sont restées raisonnablement faibles pour cette essence.

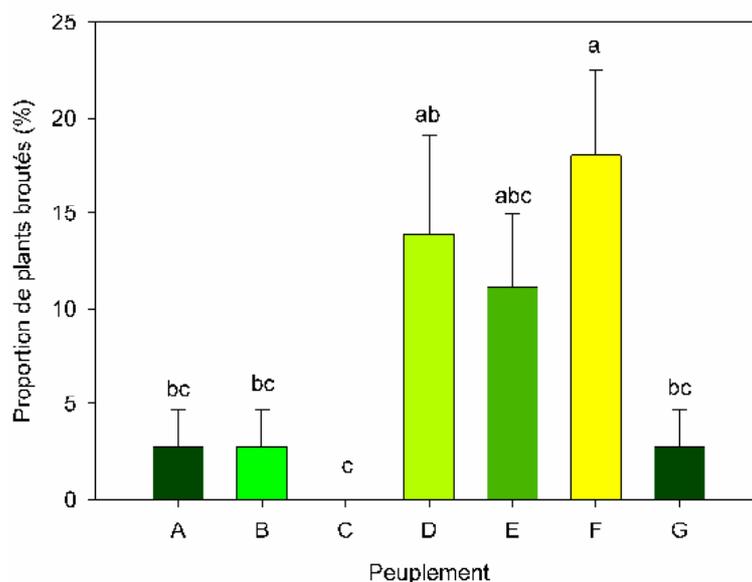


Figure 18. Proportion des plants de cerisier tardif broutés en fonction des peuplements après 5 saisons de croissance.

IV. Discussion

n.b. L'analyse des quelques différences observées dans l'état initial des plants entre certains peuplements nous a permis d'identifier que la procédure d'approvisionnement pourrait être en cause dans certains cas (Bouffard et al. 2006). Après 5 saisons de croissance, la plupart des effets surveillés se sont avérés estompés dans la variabilité naturelle et les peuplements originalement exclus ont été réincorporés dans l'étude tout en considérant encore l'impact probable que ces effets initiaux pourraient avoir sur les différences observées. En définitive, les seuls effets initiaux importants puisqu'ayant eu des conséquences significatives sur la performance de l'enrichissement ont été :

- la plus petite taille (diamètre) des plants de CHR dans le peuplement F. Aujourd'hui, les plants de CHR de ce peuplement démontrent effectivement une moins bonne croissance, une vigueur plus faible et surtout un patron différent de réponse vis-à-vis de la taille de trouée et de la position dans la trouée.
- la plus petite taille (diamètre) des plants de CET dans le peuplement C. Ce peuplement est celui qui a montré la mortalité d'installation la plus élevée chez le CET, mais tant dans la croissance que dans la vigueur, ceci ne semble plus avoir d'impact après 5 ans.

Il demeurera donc important de surveiller ces cas particuliers dans la suite des analyses du dispositif mais l'impact réel des effets initiaux semblent maintenant se clarifier et surtout être sous contrôle.

IV. 1. Les essences

IV.1.a. Le chêne rouge

Entre le 2^{ème} et le 3^{ème} suivi, le CHR n'a pas connu de nouvelle mortalité, ainsi la différence de survie totale observée entre les peuplements après 5 ans semble être l'empreinte laissée par l'important broutage qui avait eu lieu dans certains peuplements (D et E) lors des premières années et de l'effet initial de la taille des plants (peuplement F). En ce qui concerne la vigueur, elle est demeurée généralement bonne et la position centrale des plants dans la trouée à tendance à l'améliorer. De même, la croissance du CHR a légèrement varié entre peuplement (particulièrement basse pour le F ce qui prouve que les plants ayant survécu à la plantation malgré une vigueur faible continuent de souffrir de ce handicap initial). Cependant, la

principale source de variation de la croissance du CHR fut la position des plants dans la trouée, les positions C et N étant les meilleures et la position NE étant à éviter. Finalement, La qualité des tiges de CHR après 5 ans a été généralement bonne, mais celle-ci a légèrement baissé probablement à cause de la couverture neigeuse très importante. Ceci n'a toutefois affecté significativement que les plants en position C dans les plus grandes trouées. Le broutage a eu un faible impact sur la croissance ou la qualité des plants de CHR mais il sera à surveiller dans les peuplements C et G.

IV.1.b. Le PIB

Le PIB est la seule essence qui ait connu une nouvelle mortalité entre le 2^{ème} et le 3^{ème} suivi. En partie, cette mortalité est la conséquence d'une faible vigueur dans la position NE, mais une forte mortalité est apparue de façon surprenante dans la position C de certains peuplements. En moyenne, cette mortalité récente dans la position C a plus que doublé la mortalité totale. En considérant, i) la proportion de courbure que le PIB a subit dans cette position, ii) le fait qu'il conserve sa surface foliaire durant l'hiver et iii) les couvertures neigeuses particulièrement importantes des 2 derniers hivers, il est raisonnable de relier cette nouvelle mortalité avec les conditions climatiques singulières des 2 derniers hivers. Parallèlement, la croissance a probablement elle aussi été affectée par la couverture neigeuse dans la position C (surtout chez certains peuplements) mais celle-ci demeure tout de même significativement meilleure dans cette position et particulièrement dans les grandes trouées. Ainsi, la position dans la trouée est très importante dans la croissance de cette essence et la taille de la trouée, si elle était un facteur important dans les premières années, semble moins critique dans sa performance après 5 ans. Au niveau de la qualité de la tige, il apparaît encore une fois que la position C chez certains peuplements a augmenté le nombre de plants avec un défaut (i.e. courbure). Finalement, le broutage a légèrement affecté la qualité de tige mais exclusivement à l'extérieur des grandes trouées ce qui confirme encore que la position NE n'est pas favorable pour cette essence.

IV.1.c. Le CET

Les plants de CET n'ont pas connu une augmentation significative de leur mortalité comparativement à celle mesurée lors du 2^{ème} suivi. En réalité la seule mortalité observée avec le CET fut celle en réponse à la plantation et notamment à la plantation des plants ayant un diamètre plus petit que les autres (peuplement C). Pour ce qui est de la vigueur, celle-ci est apparue meilleure dans les positions centrales (C et N) et particulièrement dans les grandes trouées. Ceci a été confirmé par le fait que la proportion de plants ayant une descente de cime

(laquelle a été généralement élevée pour le CET) a été significativement diminuée dans la position C des grandes trouées. De même, en terme de croissance, la croissance du CET a été meilleure dans les positions centrales et particulièrement dans les grandes trouées, mais n'a pas différencié entre les différents peuplements. Finalement, la proportion de plants avec un défaut s'est révélée importante chez cette espèce (près de 50%) et la position dans la trouée ainsi que la taille de celle-ci n'a pas semblé améliorer ce paramètre. Pour ce qui du broutage, il a été très faible et n'a pas eu d'impact sur le développement du CET.

IV.2. Les peuplements

Afin de se faire une idée plus précise au niveau du succès de régénération entre les peuplements, un rapide descriptif pour chaque peuplement est fourni dans la section suivante.

Peuplement A :

Après 5 ans, le CHR installé dans ce peuplement semble bien performer tant dans la survie que dans la croissance. Pour ce qui est du PIB, celui-ci performait très bien jusqu'à l'occurrence des 2 derniers hivers avec des couvertures neigeuses importantes. Ce peuplement est en effet, l'un de ceux pour lesquels la position centrale a été néfaste pour la survie, la vigueur et la croissance du PIB. Un broutage relativement important du PIB a aussi été observé dans ce peuplement. Pour ce qui est du CET, la mortalité récente de cette espèce a été la plus élevée parmi les peuplements mais ceci n'a pas dramatiquement affecté la mortalité totale. Bien que la croissance moyenne du CET dans ce peuplement soit bonne, cette espèce sera à surveiller car sa vigueur était significativement moins bonne que dans les autres peuplements.

Peuplement B :

Ce peuplement est probablement celui qui a subi le moins d'impacts des conditions extérieures au dispositif (broutage ou conditions climatiques). Les trois essences ont donc bien performé mais le CET et le PIB sont celles qui ont connu la meilleure survie ainsi que le moins de broutage. Puisque le PIB n'a pas été affecté par la couverture neigeuse dans ce peuplement, la croissance de cette essence a été très bonne. Pour ce qui est du CHR, il a légèrement moins bien performé que les autres essences du fait d'un broutage plus élevé, lequel devra être surveillé.

Peuplement C :

Après 5 saisons de croissance, ce peuplement a été le meilleur en ce qui concerne la croissance du CHR. Cependant, le broutage de cette essence s'est aussi révélé être l'un des plus importants et devra être surveillé. Dans ce peuplement le PIB a montré une belle

performance (faible mortalité, bonne croissance) mais il a apparemment été touché dans la position centrale par les importantes couvertures neigeuses. Le CET a très bien performé dans ce peuplement et on peut noter qu'il n'y a subi aucun broutage jusqu'à ce jour. Pourtant, c'est dans ce peuplement que les plants étaient les plus petits à la plantation (et que la mortalité à la plantation avait été la plus forte). Les survivants semblent donc avoir très bien récupérés.

Peuplement D :

Le CHR a moyennement performé dans ce peuplement en montrant une croissance modérée en plus d'une mortalité relativement élevée (probablement reliée à un broutage important dans les premières années). De même, la croissance du CET a été moyenne même si dans ce peuplement, cette essence a montré peu de défauts. Cependant, ceci s'explique par le fait que ce peuplement est l'un de ceux dans lequel le CET a été le plus brouté. En revanche, le PIB a très bien performé et a montré une très bonne vigueur. Dans ce peuplement, le PIB semble donc avoir été peu affecté par la couverture neigeuse et aucunement brouté.

Peuplement E :

Le CHR a moyennement performé dans ce peuplement en montrant une croissance modérée ainsi qu'une mortalité assez élevée (en réponse à la plantation) et une vigueur plutôt faible après 5 ans. Par contre, le PIB a plutôt bien performé, montrant une bonne survie et une bonne croissance. Le PIB a cependant montré une proportion de défauts assez élevée dans ce peuplement par rapport aux autres peuplements. Plus petits à la plantation, la mortalité et la croissance de cette essence n'ont donc pas été trop affectées par cette différence initiale. En ce qui concerne le CET, malgré une mortalité assez faible, la croissance de cette essence a été modérée et son broutage assez élevé.

Peuplement F :

Ce peuplement a montré de très mauvais résultats pour le CHR (mortalité proche de 50%), vigueur très faible, croissance très faible. Cependant, un effet initial de la taille des plants avait été mis en évidence ainsi qu'un broutage important dans les premières années. Il n'est donc pas possible de conclure sur un effet négatif du site mais simplement que cette essence ne semble pas récupérer de cette différence initiale, surtout dans un contexte où de l'herbivorie est présente. Pour ce qui est du PIB, la mortalité de cette essence a été assez forte dans ce peuplement et on peut soupçonner un impact de la couverture neigeuse. Cependant, la croissance des individus de PIB non touchés a tout de même été la meilleure parmi tous les peuplements. Finalement, le CET a moyennement performé dans ce peuplement en montrant une croissance moyenne ainsi que le broutage le plus important pour cette essence.

Peuplement G :

C'est dans ce peuplement que le CHR a montré la mortalité la plus faible. Malgré une bonne vigueur, la croissance de cette essence a été limitée par un broutage très important (le plus élevé parmi les peuplements pour cette espèce). Pour le PIB, la survie a été très bonne (excepté dans la position NE), et malgré la supposition d'un faible impact de la couverture neigeuse sur sa vigueur et la proportion de plants avec défaut, la croissance est demeurée faible. Cette faible croissance est peut être à associer avec le broutage relativement important observé chez cette essence dans ce peuplement. Pour le CET, la performance générale a été moyenne du fait qu'il a connu une bonne survie et une croissance modérée mais une proportion de plants ayant un défaut de plus de 50%.

V. Conclusion

Après cinq saisons de croissance, la position centrale dans la trouée s'est encore révélée comme étant celle qui offrait la meilleure opportunité de croissance pour les trois essences reboisées. De plus, il semblerait plus opportun de reboiser le pin et le cerisier dans les plus grandes trouées puisque ceux-ci semblent en profiter alors que le CHR semble très bien tolérer les plus petites trouées (s'il est situé dans les positions centrales [C ou N]).

Cependant, le potentiel de survie et de croissance des plants enrichis s'est révélé très dépendant du niveau d'herbivorie ainsi que de l'occurrence d'évènements climatiques particuliers (comme d'importantes couvertures neigeuses deux hivers de suite). Ces facteurs, indépendants du dispositif, ont eu un impact très important sur les résultats aujourd'hui observés. Dans les premières années, le broutage important dû à deux hivers ayant une couverture neigeuse particulièrement faible, a grandement affecté les essences feuillues (et particulièrement le CHR). Ensuite, les 2 hivers suivants (avec une couverture cette fois particulièrement épaisse) ont minimisé l'impact du broutage, mais ont significativement affecté la population de PIB en créant des courbures, une perte de croissance en hauteur et même une mortalité importante dans les positions centrales de la trouée où les meilleures croissances étaient attendues.

Ainsi, il apparaît encore plus clairement qu'une diversification des essences reboisées est profitable puisqu'elle permet d'éviter des problématiques importantes reliées à un reboisement mono-spécifique : i) la mauvaise adaptation au site, ii) le ravage par un herbivore particulièrement bien adapté à l'essence reboisée et iii) l'impact singulier de conditions climatiques spécifiques. Cette diversification est d'autant plus pertinente en l'absence d'une connaissance de la qualité des sites et des populations locales d'herbivores. Cependant, dans un contexte où des efforts importants sont investis dans le retour d'essences nobles au sein de peuplements dégradés, il sera fortement recommandé d'évaluer ces populations d'herbivores (p.ex. le cerf de Virginie et le lièvre d'Amérique) pour ajuster les prescriptions sylvicoles et minimiser l'effet néfaste de ce facteur.

Après 5 ans, les résultats obtenus par cette étude soulèvent des problématiques très intéressantes dont il faudra assurément faire le suivi. D'abord, il a été assez décevant de voir comment un évènement climatique singulier a pu grandement affecter les performances des trois essences qui, après 3 ans et malgré le broutage, avaient été reconnues comme particulièrement prometteuse.

De plus, si des combinaisons de position et taille de trouée semblent se dessiner pour chaque espèce, la prudence impose de ne pas attribuer à une espèce seulement la position correspondant à la niche dans laquelle elle performe le plus. En effet, dans une sylviculture de restauration réfléchie, il sera important de d'ajouter aux zones à enrichir, les niches donnant une performance acceptable des espèces tout en fournissant une protection contre des facteurs extérieurs. Dans notre cas, ce type de compromis amènerait à produire les recommandations suivantes :

- le CHR semble plus généraliste. Il supporte assez bien les 2 tailles de trouée et les positions N et C.
- le PIB supporte bien les trouées de petite taille en position C, mais performe bien dans les positions S, N et C dans les grandes trouées.
- Le CET ne performe qu'au centre des trouées et particulièrement des grandes trouées.
- Les grandes trouées peuvent amener plus de broutage et un risque de courbure/cassure par le poids de la neige surtout chez les conifères.
- Il serait important de vérifier l'effet d'un dégagement sur la sensibilité des individus au broutage et au risque de courbure/cassure.

Par conséquent, la combinaison de petites et grandes trouées semble appropriée mais devrait contenir différents mélanges d'essences selon les positions ;

- petite trouée / position N : CHR
- petite trouée / position C : PIB-CET
- petite trouée / position S : CHR

- grande trouée / position N : CHR-PIB
- grande trouée / position C : PIB-CET
- grande trouée / position S : CHR-PIB

Références

- Beaudet, M. and Messier, C. Le bouleau jaune en peuplements feuillus et mixte: autécologie, dynamique forestière et pratiques sylvicoles. UQAM-GREFi. 1997.
- 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.
- 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.
- Canham, C.D., Denslow, J.S., Platt, W.J., Runkle, J.R., Spies, T.A., and White, P.S. 1990. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Can. J. For. Res.* 20: 620-631.
- Dale, M.E., Smith, H.C., and Percy, J.N. 1995. Size of Clearcut Opening Affects Species Composition, Growth Rate and Stand Characteristics. US Dept. of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Denslow, J.S., Schultz, J.C., Vitousek, P.M., and Strain, B.R. 1990. Growth responses of tropical shrubs to treefall gap environments. *Ecology* 71: 165-179.
- Gill, R.M.A. A Review of Damage by Mammals in North Temperate Forests: 1. Deer. *Forestry* 65[2], 145-169. 1992.
- Gray, A.N. and Spies, T.A. 1996. Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *J. Ecol.* 84: 635-645.
- Hintze, J.L. NCSS and Pass. Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah. www.ncss.com. 2004.
- Jenkins, M.A. and Parker, G.R. 1998. Composition and diversity of woody vegetation in silvicultural openings in southern Indiana forests. *Forest Ecology & Management* 109: 57-74.
- Leak, W.B. and Filip, S.M. 1977. Thirty-eight Years of Group Selection in New England Northern hardwoods. *J For* 75: 641-643.
- McClure, J.W. and Lee, T.D. 1993. Small-scale disturbance in a northern hardwoods forest: effects on tree species abundance and distribution. *Can. J. For. Res.* 23: 1347-1360.
- Palik, B.J., Mitchell, R.J., Houseal, G., and Pederson, N. 1997. Effects of canopy structure on resource availability and seedling responses in a longleaf pine ecosystem. *Can. J. For. Res.* 27: 1458-1464.
- Payette, S., Filion, L., and Delwaide, A. 1990. Disturbance regime of a cold temperate forest as deduced from tree-ring patterns : the Tantaré Ecological Reserve, Quebec. *Can. J. For. Res* 20: 1228-1241.

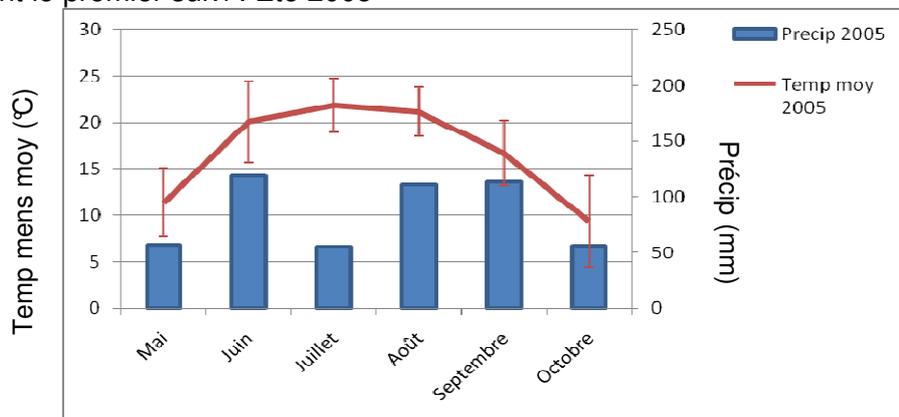
- Phillips,D.L. and Shure,D.J. 1990. Patch-size effects on early succession in southern Appalachian forests. *Ecology* 71: 204-212.
- Robitaille,A. and Saucier,J.-P. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec. 213 p., Québec, QC, Canada.
- Runkle,J.R. 1982. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. *Ecology* 63: 1533-1546.
- Smith,H.C. 1981. Diameters of clearcut openings influence central Appalachian hardwood stem development – a 10-year study. Rep. NE-476 8p.
- Telfer,E.S. 1978. Cervid Distribution, Browse and Snow Cover in Alberta. *The Journal of Wildlife Management* 42: 352-361.
- York,R.A., Battles,J.J., and Heald,R.C. 2003. Edge effects in mixed conifer group selection openings: Tree height response to resource gradients. *For. Ecol. Manage.* 179: 107-121.

ANNEXES

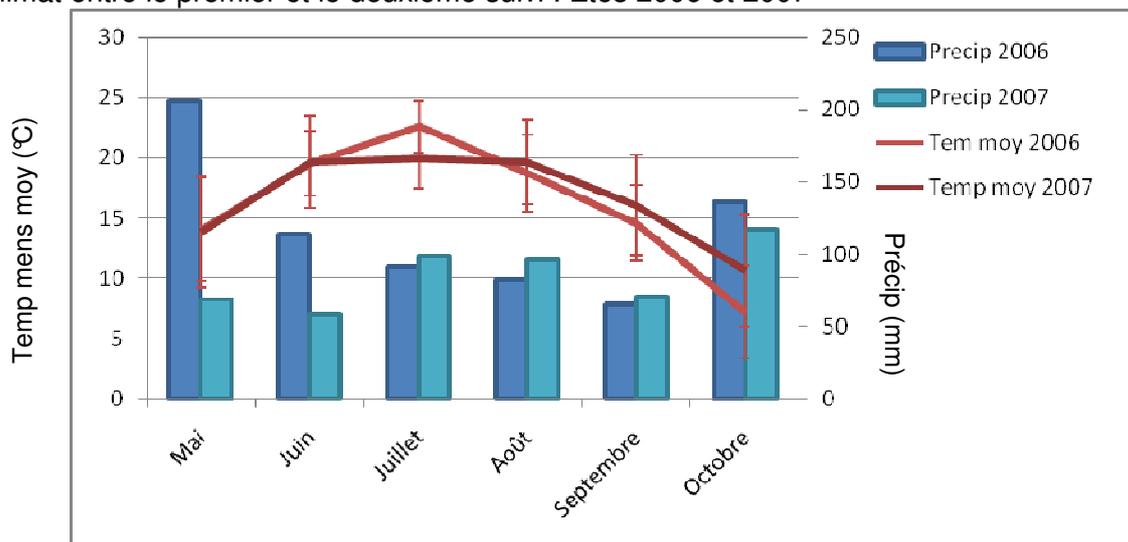
ANNEXE 1

Données climatiques compilées pour les 5 années suivant la plantation d'enrichissement. Les résultats sont présentés pour les périodes estivales et hivernales et sont séparés pour chacun des 3 suivis.

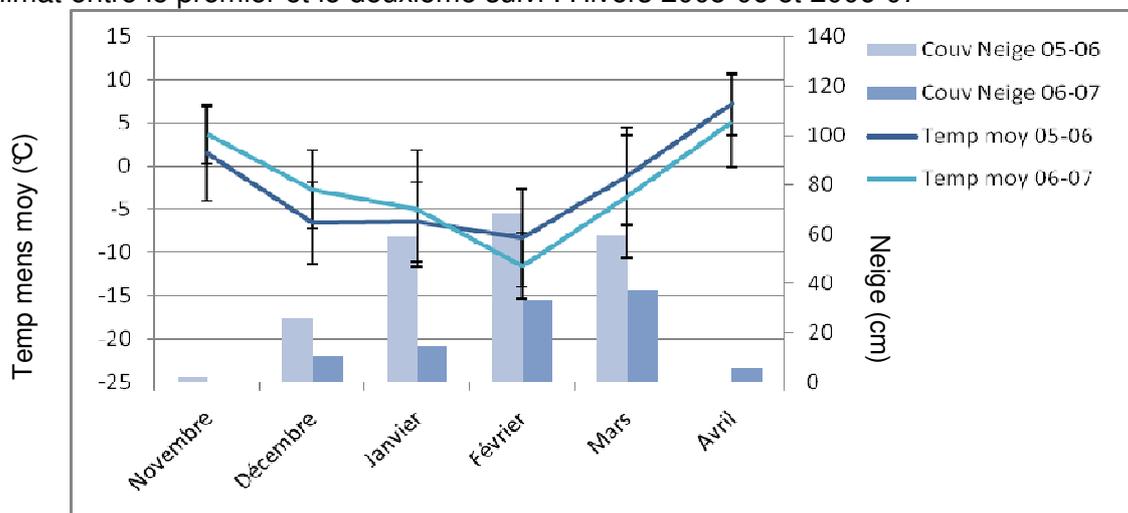
Climat avant le premier suivi : Été 2005



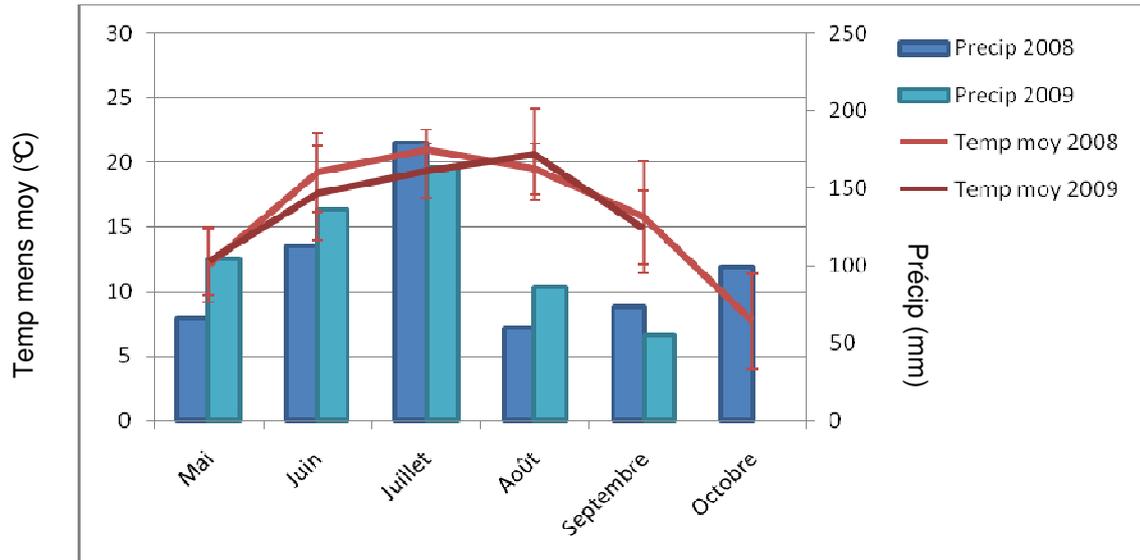
Climat entre le premier et le deuxième suivi : Étés 2006 et 2007



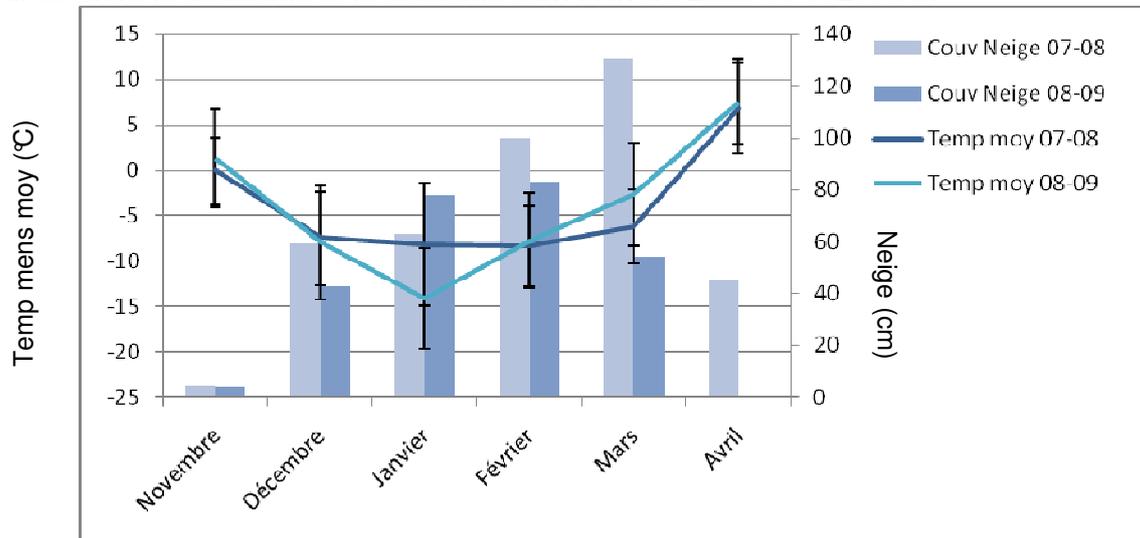
Climat entre le premier et le deuxième suivi : Hivers 2005-06 et 2006-07



Climat entre le deuxième et le troisième suivi : Étés 2006 et 2007



Climat entre le deuxième et le troisième suivi : Hivers 2005-06 et 2006-07



Annexe 2**Résultats des analyses statistiques en factoriels pour chacun des paramètres mesurés sur les plants reboisés de chêne rouge (CHR)**

Mortalité totale

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	38747.29	6457.882	10.36	0.000005*	0.999964
B: DimTR	1	14.875	14.875	0.02	0.878342	0.052556
AB	6	876.2408	146.0401	0.23	0.961660	0.100549
C(AB): NumTR	28	17453.69	623.3459			
D: Position	3	983.793	327.931	0.56	0.644462	0.160444
AD	18	16134.8	896.378	1.52	0.101869	0.870384
BD	3	1129.159	376.3865	0.64	0.591360	0.178956
ABD	18	10618.56	589.9199	1.00	0.464932	0.650451
CD(AB)	84	49398.46	588.077			

Mortalité 2 ans

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	177.6539	29.60898	0.80	0.578156	0.262513
B: DimTR	1	7.402245	7.402245	0.20	0.658161	0.071647
AB	6	148.0449	24.67415	0.67	0.677079	0.220950
C(AB): NumTR	28	1036.314	37.01123			
D: Position	3	22.20674	7.402245	0.20	0.896110	0.085972
AD	18	651.3976	36.18876	0.98	0.492458	0.635800
BD	3	81.4247	27.14157	0.73	0.535004	0.200357
ABD	18	799.4424	44.41347	1.20	0.280155	0.751872
CD(AB)	84	3108.943	37.01123			

Vigueur

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	11.89399	1.982331	3.95	0.005836*	0.924541
B: DimTR	1	0.0511126	0.0511126	0.10	0.752207	0.060921
AB	6	1.972649	0.3287748	0.65	0.686388	0.215760
C(AB): NumTR	27	13.56451	0.5023891			
D: Position	3	18.66553	6.221844	16.41	0.000000*	0.999990
AD	18	11.1079	0.6171057	1.63	0.075234	0.888095
BD	3	0.409505	0.1365017	0.36	0.781980	0.117436
ABD	18	8.264296	0.4591275	1.21	0.275441	0.744695
CD(AB)	73	27.6716	0.3790631			

Response PcDeCimeX

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
----------------	----	-------------------	----------------	---------	---------------	-----------------------

A: PE	6	6596.359	1099.393	2.09	0.086702	0.649133
B: DimTR	1	76.20689	76.20689	0.14	0.706487	0.065616
AB	6	3142.424	523.7374	0.99	0.448061	0.324879
C(AB): NumTR	28	14742.5	526.518			
D: Position	3	6559.225	2186.408	4.35	0.006732*	0.854715
AD	18	2510.867	139.4926	0.28	0.998304	0.175009
BD	3	3193.608	1064.536	2.12	0.104088	0.522889
ABD	18	15364.14	853.5631	1.70	0.055698	0.911947
CD(AB)	84	42229.47	502.7318			

Hauteur

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	45108.94	7518.157	4.08	0.004576*	0.935930
B: DimTR	1	2371.963	2371.963	1.29	0.265950	0.195049
AB	6	11028.9	1838.151	1.00	0.445740	0.326104
C(AB): NumTR	28	51544.74	1840.884			
D: Position	3	47790.54	15930.18	13.41	0.000000*	0.999853
AD	18	43435.13	2413.063	2.03	0.017502*	0.957485
BD	3	2159.622	719.874	0.61	0.613124	0.170609
ABD	18	24253.4	1347.411	1.13	0.337793	0.711702
CD(AB)	76	90281.12	1187.909			

Diamètre

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	410	68.33333	5.34	0.000888*	0.982403
B: DimTR	1	22.48967	22.48967	1.76	0.195837	0.248836
AB	6	203.2601	33.87668	2.65	0.036862*	0.769252
C(AB): NumTR	28	358.6049	12.80732			
D: Position	3	655.9127	218.6375	15.54	0.000000*	0.999978
AD	18	431.222	23.95678	1.70	0.057278	0.907340
BD	3	58.85446	19.61815	1.39	0.251100	0.356348
ABD	18	167.7689	9.320494	0.66	0.836598	0.423442
CD(AB)	76	1069.505	14.07243			

Proportion de plants avec défaut

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	6336.125	1056.021	1.47	0.223948	0.476666
B: DimTR	1	2547.721	2547.721	3.55	0.069958	0.444231
AB	6	2020.76	336.7933	0.47	0.825096	0.162586
C(AB): NumTR	28	20093.21	717.6147			
D: Position	3	2644.192	881.3975	1.55	0.207578	0.395041
AD	18	8040.532	446.6962	0.79	0.710875	0.514857
BD	3	5951.449	1983.816	3.49	0.019230*	0.760680
ABD	18	7745.567	430.3093	0.76	0.742608	0.495469
CD(AB)	84	47757.03	568.5361			

Proportion de plants broutés

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	17759.17	2959.862	3.34	0.013206*	0.871133
B: DimTR	1	546.067	546.067	0.62	0.439389	0.117932
AB	6	2087.388	347.898	0.39	0.877850	0.141129
C(AB): NumTR	28	24849.86	887.4951			
D: Position	3	1014.099	338.0331	0.65	0.586478	0.180734
AD	18	11402.25	633.4583	1.21	0.269238	0.758241
BD	3	1586.016	528.6721	1.01	0.391074	0.266467
ABD	18	12717.11	706.5061	1.35	0.177218	0.815450
CD(AB)	84	43829.2	521.7762			

ANNEXE 3**Résultats des analyses statistiques en factoriels pour chacun des paramètres mesurés sur les plants reboisés de pin blanc (PIB)**

Mortalité totale

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	4715.248	785.8746	1.13	0.372643	0.367472
B: DimTR	1	705.2282	705.2282	1.01	0.323280	0.163095
AB	6	5123.699	853.9498	1.22	0.323705	0.398852
C(AB): NumTR	28	19532.06	697.5736			
D: Position	3	3954.046	1318.015	4.25	0.007552*	0.846178
AD	18	14979.48	832.1931	2.69	0.001248*	0.993585
BD	3	292.0768	97.35892	0.31	0.815020	0.108538
ABD	18	5861.64	325.6467	1.05	0.414802	0.677236
CD(AB)	84	26023.24	309.8005			

Mortalité 2 ans

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	5498.469	916.4115	1.56	0.195633	0.503703
B: DimTR	1	705.2282	705.2282	1.20	0.282482	0.184951
AB	6	3037.47	506.245	0.86	0.534488	0.282236
C(AB): NumTR	28	16443.25	587.259			
D: Position	3	155.5871	51.86237	0.30	0.822815	0.106348
AD	18	6260.743	347.8191	2.04	0.015970*	0.961208
BD	3	90.19275	30.06425	0.18	0.912432	0.081388
ABD	18	3910.188	217.2327	1.27	0.228124	0.782914
CD(AB)	84	14356.13	170.9063			

Vigueur

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	9.080209	1.513368	3.04	0.021125*	0.829619
B: DimTR	1	3.209274	3.209274	6.44	0.017230*	0.686860
AB	6	2.717579	0.4529298	0.91	0.503236	0.295160
C(AB): NumTR	27	13.45224	0.498231			
D: Position	3	15.74574	5.248581	15.25	0.000000*	0.999971
AD	18	13.69632	0.7609067	2.21	0.008933*	0.973128
BD	3	0.7089937	0.2363312	0.69	0.562828	0.188889
ABD	18	6.510461	0.3616923	1.05	0.416422	0.668356
CD(AB)	76	26.14961	0.3440739			

Proportion de descente de cime

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	9.080209	1.513368	3.04	0.021125*	0.829619
B: DimTR	1	3.209274	3.209274	6.44	0.017230*	0.686860
AB	6	2.717579	0.4529298	0.91	0.503236	0.295160
C(AB): NumTR	27	13.45224	0.498231			
D: Position	3	15.74574	5.248581	15.25	0.000000*	0.999971
AD	18	13.69632	0.7609067	2.21	0.008933*	0.973128
BD	3	0.7089937	0.2363312	0.69	0.562828	0.188889
ABD	18	6.510461	0.3616923	1.05	0.416422	0.668356
CD(AB)	76	26.14961	0.3440739			

A: PE	6	1975.903	329.3172	1.64	0.173154	0.527421
B: DimTR	1	2.256717	2.256717	0.01	0.916323	0.051203
AB	6	1796.892	299.482	1.49	0.217237	0.482822
C(AB): NumTR	28	5621.633	200.7726			
D: Position	3	356.1136	118.7045	0.69	0.558547	0.191173
AD	18	3687.234	204.8463	1.20	0.282698	0.750398
BD	3	841.998	280.666	1.64	0.186347	0.416005
ABD	18	3268.636	181.5909	1.06	0.404960	0.682528
CD(AB)	84	14377.75	171.1636			

Hauteur

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	59220.84	9870.141	6.55	0.000209*	0.995546
B: DimTR	1	5688.471	5688.471	3.78	0.062116	0.466748
AB	6	12939.31	2156.552	1.43	0.237951	0.464273
C(AB): NumTR	28	42184.3	1506.582			
D: Position	3	163278.1	54426.03	50.30	0.000000*	1.000000
AD	18	30129.06	1673.837	1.55	0.096168	0.872579
BD	3	2716.211	905.4037	0.84	0.477719	0.223934
ABD	18	7195.397	399.7443	0.37	0.990006	0.228676
CD(AB)	79	85485.92	1082.1			

Diamètre

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	3166.384	527.7307	7.30	0.000092*	0.998173
B: DimTR	1	647.7778	647.7778	8.96	0.005714*	0.823582
AB	6	599.934	99.98899	1.38	0.255968	0.449142
C(AB): NumTR	28	2024.584	72.30659			
D: Position	3	8267.624	2755.875	72.26	0.000000*	1.000000
AD	18	1639.678	91.09325	2.39	0.004361*	0.983910
BD	3	417.0618	139.0206	3.65	0.016140*	0.779296
ABD	18	613.6213	34.09008	0.89	0.587282	0.579747
CD(AB)	79	3012.991	38.13912			

Proportion de plants avec défaut

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	9914.705	1652.451	1.78	0.138739	0.568776
B: DimTR	1	1444.494	1444.494	1.56	0.222059	0.226289
AB	6	4800.829	800.1381	0.86	0.533200	0.282834
C(AB): NumTR	28	25932.8	926.1713			
D: Position	3	8392.64	2797.547	5.89	0.001062*	0.946321
AD	18	18443.74	1024.652	2.16	0.009941*	0.971850
BD	3	477.1367	159.0456	0.34	0.800013	0.112782
ABD	18	10048.49	558.2493	1.18	0.299501	0.740741
CD(AB)	84	39873.2	474.6809			

Proportion de plants broutés

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	14255.47	2375.912	3.10	0.018740*	0.841222
B: DimTR	1	87.99546	87.99546	0.11	0.737404	0.062351
AB	6	1513.867	252.3112	0.33	0.916084	0.124324
C(AB): NumTR	28	21484.67	767.3095			
D: Position	3	2237.608	745.8693	3.16	0.028898*	0.713572
AD	18	6187.419	343.7455	1.46	0.128085	0.850008
BD	3	3284.204	1094.734	4.64	0.004762*	0.878111
ABD	18	5567.105	309.2836	1.31	0.203241	0.798491
CD(AB)	84	19838.91	236.1775			

ANNEXE 4**Résultats des analyses statistiques en factoriels pour
chacun des paramètres mesurés sur les plants reboisés de cerisier tardif (CET)**

Mortalité totale

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	5686.204	947.7006	2.20	0.072550	0.676933
B: DimTR	1	590.625	590.625	1.37	0.251146	0.204809
AB	6	1288.845	214.8075	0.50	0.803329	0.171173
C(AB): NumTR	28	12043.46	430.1234			
D: Position	3	522.5242	174.1747	1.07	0.367800	0.279255
AD	18	4150.867	230.6037	1.41	0.147471	0.835901
BD	3	356.4807	118.8269	0.73	0.538339	0.199034
ABD	18	3229.434	179.413	1.10	0.368250	0.702430
CD(AB)	84	13718.07	163.3103			

Mortalité 2 ans

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	647.2659	107.8777	1.88	0.120068	0.594559
B: DimTR	1	24.7413	24.7413	0.43	0.517032	0.097167
AB	6	75.43072	12.57179	0.22	0.967520	0.096830
C(AB): NumTR	28	1608.663	57.45224			
D: Position	3	191.8073	63.93575	1.11	0.348584	0.290391
AD	18	1523.946	84.66367	1.47	0.120640	0.855626
BD	3	318.4174	106.1392	1.85	0.144822	0.463644
ABD	18	1568.996	87.16645	1.52	0.104320	0.868404
CD(AB)	84	4825.988	57.45224			

Proportion de descente de cime

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: PE	6	9452.521	1575.42	2.52	0.044468*	0.745766
B: DimTR	1	532.8853	532.8853	0.85	0.363586	0.144986
AB	6	5116.779	852.7964	1.37	0.262839	0.443592
C(AB): NumTR	28	17491.4	624.693			
D: Position	3	12655.93	4218.645	10.13	0.000009*	0.997786
AD	18	6423.292	356.8495	0.86	0.629540	0.561671
BD	3	3579.259	1193.086	2.87	0.041435*	0.666508
ABD	18	6829.61	379.4228	0.91	0.567152	0.595830
CD(AB)	84	34972.91	416.3441			

Hauteur

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
----------------	----	-------------------	----------------	---------	---------------	-----------------------

A: PE	6	40345.3	6724.216	1.94	0.109824	0.609990
B: DimTR	1	6201.082	6201.082	1.78	0.192324	0.252128
AB	6	17300.07	2883.345	0.83	0.556907	0.271982
C(AB): NumTR	28	97285.45	3474.48			
D: Position	3	124146.8	41382.26	24.12	0.000000*	1.000000
AD	18	28046.51	1558.14	0.91	0.570999	0.591757
BD	3	18051.81	6017.27	3.51	0.018934*	0.762432
ABD	18	20369.12	1131.618	0.66	0.840181	0.426825
CD(AB)	82	140711.2	1715.99			

Diamètre

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	336.0046	56.00077	1.62	0.179852	0.520117
B: DimTR	1	233.3337	233.3337	6.73	0.014908*	0.707018
AB	6	284.8011	47.46686	1.37	0.261208	0.444899
C(AB): NumTR	28	970.6149	34.66482			
D: Position	3	1529.052	509.684	21.81	0.000000*	1.000000
AD	18	522.3143	29.01746	1.24	0.249547	0.768363
BD	3	189.3255	63.10851	2.70	0.050996	0.636981
ABD	18	264.8731	14.71517	0.63	0.866254	0.406040
CD(AB)	82	1916.695	23.37433			

Proportion de plants avec défauts

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	14811.83	2468.638	2.69	0.034599*	0.776826
B: DimTR	1	155.8814	155.8814	0.17	0.683549	0.068332
AB	6	5510.143	918.3572	1.00	0.445114	0.326436
C(AB): NumTR	28	25725.8	918.7785			
D: Position	3	1627.244	542.4147	0.97	0.412412	0.255350
AD	18	13105.42	728.0791	1.30	0.210696	0.793765
BD	3	167.1347	55.71156	0.10	0.960195	0.067250
ABD	18	8147.393	452.633	0.81	0.687231	0.528832
CD(AB)	84	47130.7	561.0797			

Proportion de plants broutés

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: PE	6	6171.025	1028.504	3.21	0.015932*	0.855678
B: DimTR	1	98.96519	98.96519	0.31	0.582985	0.083592
AB	6	2603.974	433.9956	1.35	0.267616	0.439801
C(AB): NumTR	28	8980.895	320.7462			
D: Position	3	472.9544	157.6515	0.94	0.424412	0.249332
AD	18	3317.846	184.3248	1.10	0.366176	0.703563
BD	3	891.3658	297.1219	1.77	0.158278	0.447079
ABD	18	4482.414	249.023	1.49	0.115344	0.859699
CD(AB)	84	14065.54	167.447			