

PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU FORESTIER – VOLET 1

Rapport final

Éclaircie intermédiaire avec
martelage positif dans une
bétulaie jaune équiennne datant
de 1972 à Duchesnay

Présenté aux :

MRNF

M. Daniel Tremblay

Et

Gestofor

M. Alain Roy

Par :

CERFO

**Centre Collégial de Transfert
de Technologie en foresterie**

Donald Blouin, ing.f., M.Sc.

Frank Grenon, Ph.D.

Guy Lessard, ing.f., M.Sc.

Octobre 2008

Table des matières

LISTE DES FIGURES	II
LISTE DES TABLEAUX.....	II
REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
INTRODUCTION	1
OBJECTIFS EN 2007	2
HYPOTHÈSES	3
RETOMBÉES ESCOMPTÉES	4
1. MATÉRIEL ET MÉTHODES	5
1.1. Dispositif et traitements	5
1.2. Martelage	6
1.3. Placettes	6
1.4. Statistiques	8
1.5. Réalisation des travaux	8
2. RÉSULTATS	10
2.1. Données relatives au peuplement.....	10
2.2. Classes fonctionnelles et MSCR	16
2.3. Caractéristiques des bouleaux jaunes.....	19
3. DISCUSSION.....	24
CONCLUSION	25
RÉFÉRENCES	26
ANNEXE 1 - DIAGRAMME DE DENSITÉ POUR LE BOULEAU JAUNE (YELLOW BIRCH STOCKING GUIDE).....	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Plan de l'essai expérimental d'éclaircie intermédiaire dans une bétulaie jaune équiennaise datant de 1972 à Duchesnay	5
Figure 2 - Relation entre le diamètre et la hauteur des arbres étudiés.....	8
Figure 3 - Densité totale des tiges marchandes par bloc et par traitement.....	10
Figure 4 - Densité par essence des tiges marchandes par bloc et par traitement	10
Figure 5 - Surface terrière par bloc et par traitement	11
Figure 6 - Surface terrière par essence, par bloc et par traitement.....	12
Figure 7 - Volume marchand par bloc et par traitement	12
Figure 8 - Volume marchand par essence, par bloc et par traitement.....	13
Figure 9 - DHP moyen des tiges marchandes par bloc et par traitement.....	13
Figure 10 - DHP moyen par essence des tiges marchandes par bloc et par traitement.....	14
Figure 11 - Hauteurs moyennes des tiges marchandes par bloc et par traitement ⁸	15
Figure 12 - Hauteurs moyennes par essence des tiges marchandes par bloc et par traitement	15
Figure 13 - Proportion du nombre de tiges par classe MSCR, par bloc et par traitement.....	16
Figure 14 - Proportion de la surface terrière par classe MSCR, par bloc et par traitement	17
Figure 15 - Proportion du nombre de tiges par classe fonctionnelle, par bloc et par traitement.....	18
Figure 16 - Proportion de la surface terrière par classe fonctionnelle, par bloc et par traitement.....	19
Figure 17 - Relation entre le DHP et la hauteur sans branche des bouleaux jaunes d'avenir	20
Figure 18 - Surface de la projection horizontale du houppier en fonction du DHP des bouleaux jaunes d'avenir	21
Figure 19 - Croissance quinquennale en diamètre des bouleaux jaunes entre 1993 et 2007	21
Figure 20 - Structure diamétrale des bouleaux jaunes sur l'ensemble du dispositif	22
Figure 21 - Densité des tiges de bouleau jaune de 7,1 cm et plus et de 9,1 cm et plus par bloc et par traitement.....	22
Figure 22 - Proportion de bouleau jaune en nombre de tiges dans les tiges d'avenir par bloc et par traitement.....	23
Figure 23 - Proportion de bouleau jaune en nombre de tiges dans les tiges de classes M et S par bloc et par traitement.....	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Moyenne avant intervention par bloc pour les variables dendrométriques des arbres-études (bouleau jaune)	19
---	----

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette recherche a été possible grâce à la collaboration et à l'engagement financier de la compagnie Gestofor, par l'intermédiaire de M. Alain Roy. Nos remerciements s'adressent également au personnel du MRNF ayant permis de mettre sur pied un dispositif sur des méthodes de coupes favorisant la croissance du bouleau jaune au stade perchis, ainsi qu'à ceux ayant appuyé le suivi de ce projet, particulièrement M. Daniel Tremblay.

Ce dispositif d'expérimentation, âgé de 35 ans, est une initiative conjointe de la Direction de la recherche forestière du MRNF et du département de technologie forestière du Cégep de Sainte-Foy.

Nous aimerions remercier M. Gilles Gaboury de la DRF d'avoir donné l'autorisation au Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO) de pouvoir poursuivre les activités entreprises par les initiateurs.

RÉSUMÉ

Un essai expérimental a été initié à Duchesnay par la Direction de la recherche forestière (DRF) et poursuivi par le professeur Pierre Ricard du Cégep de Ste-Foy. Dans un peuplement originaire d'une coupe totale en 1971 suivi d'une scarification et d'un ensemencement manuel en bouleau jaune en 1972, cet essai vise à produire un peuplement de bouleau jaune équienne avec 4 billes de 2,5 mètres de qualité déroulage par tige. D'une superficie de près de 1,7 ha, le peuplement est situé dans la forêt d'expérimentation 84 de Duchesnay gérée par la DRF du MRNF.

Le but du projet est de démontrer l'application du concept de traitement idéal de la forêt, c'est-à-dire de mettre en œuvre un traitement qui répond à un objectif précis d'obtenir une production soutenue qui maximise le rendement en volume et en qualité. Le présent projet vise plus spécifiquement à planifier et à réaliser une éclaircie intermédiaire dans le peuplement étudié, dans un contexte de sylviculture intensive, de manière à maintenir, voire augmenter le potentiel de qualité déroulage des tiges. De plus, le projet vise à développer des modalités pour optimiser le martelage dans ce type de scénario sylvicole.

Le dispositif contient 9 unités expérimentales constituées de 3 répétitions de 3 traitements. Les traitements sont des éclaircies intermédiaires consistant en un prélèvement léger des tiges nuisant aux arbres d'avenir réalisées en 2007 et 2017 et d'un témoin sans éclaircie. La réduction de l'accroissement quinquennal en diamètre des tiges de bouleau jaune a démontré l'importance d'intervenir dans ce peuplement afin de maintenir un accroissement maximal. De plus, on remarque que l'éclaircie aurait été bénéfique dès l'âge de 25 ans, ce qui aurait maintenu des accroissements plus élevés.

Le peuplement étudié vise à produire 200 tiges de très haute qualité avec chacune 4 billes claires de nœuds. En considérant les 200 plus belles tiges d'avenir de bouleau jaune qui sont actuellement âgées de 35 ans, on constate que ces tiges ont un DHP moyen de 16,7 cm, une hauteur moyenne de 15,6 m et une hauteur sans branche de 6,7 m. En assumant que la présente éclaircie suivie d'éclaircies subséquentes fréquentes arrivent à maintenir un taux de passage de 5 ans, on peut s'attendre à obtenir un DHP moyen de 40 cm dans environ 50 ans, soit à l'âge de 85 ans.

Cet essai permet de démontrer l'intérêt de l'approche d'ingénierie de la forêt, appliquée à un aménagement équienne dans un peuplement de bouleau jaune, en vue d'une production d'un grand volume de bois de qualité supérieure. Il représente un exemple concret de sylviculture intensive feuillue. Comme la sylviculture équienne du bouleau jaune à la fin du stade gaulis est encore à ses premières armes, un tel essai sylvicole devient un indicateur de poids dans ce contexte et un outil pertinent dans le cadre de la démarche d'amélioration continue du Manuel d'aménagement forestier.

Bien que les résultats présentés soient rassurants en ce qui a trait à la pertinence du projet, seul le suivi de ce dispositif permettra de répondre aux hypothèses émises quant à l'accroissement et au rendement de ce peuplement.

INTRODUCTION

Un essai expérimental a été initié à Duchesnay en 1985 par le professeur Pierre Ricard du Cégep de Ste-Foy. Cet essai vise à produire un peuplement de bouleau jaune équienne avec 4 billes de 2,5 mètres de qualité déroulage par tige, dans un contexte de sylviculture intensive. D'une superficie de près de 2 ha, le peuplement est situé dans la forêt d'expérimentation 84 de Duchesnay gérée par la Direction de la recherche forestière (DRF) du MRNF¹. La séquence des traitements sylvicoles déjà réalisés sur ce peuplement est la suivante :

- 1971 : Récolte totale du peuplement précédent;
- 1972 : Scarification et ensemencement manuel en bouleau jaune par la DRF;
- 1985 : 1^{er} dégagement à l'européenne;
- 1988 : 1^{er} élagage;
- 1992 : 2^e dégagement à l'européenne et 2^e élagage;
- 1994 : 3^e élagage.

Le dégagement dit à l'européenne (Schütz, 1990) réalisé dans le cadre de cet essai ne préconise pas la sélection de tiges d'avenir en bas âge, mais plutôt la formation d'une cohorte serrée de tiges utiles. Seules les tiges nuisibles sont éliminées, soit les tiges d'essences indésirables dont la cime dépasse celle de l'essence désirée. Ce type d'intervention, par le maintien d'une compétition intra-spécifique, favorise la croissance en hauteur, l'élagage naturel et permet de gérer le risque en maintenant des tiges de remplacement, ce qui est très important pour une espèce peu plastique comme le bouleau jaune (Zarnovican, 1998).

Une visite sur le terrain durant l'été 2004 a montré que ce peuplement est prêt à subir une éclaircie (éclaircie intermédiaire). C'est le CERFO qui prend la relève du suivi de cet essai. Trois ans après ce diagnostic, il devient urgent de réaliser le traitement si l'on ne veut pas perdre le potentiel de ce peuplement. Il est important de noter que les tiges du peuplement actuel ont déjà 6 à 7 mètres de billes de potentiel de qualité déroulage. Il est donc réaliste de penser que la réalisation de 3 éclaircies (une intermédiaire et deux éclaircies commerciales) dans les années à venir permettra d'atteindre l'objectif initial de 4 billes de qualité déroulage par tige.

¹ L'expérimentation y a été autorisée, tel que stipulé dans une lettre de M. Gilles Gaboury datée du 16 décembre 2003.

OBJECTIFS EN 2007

Le but du projet est de démontrer l'application du concept de traitement idéal de la forêt (Leibundgut, 1987), c'est-à-dire de mettre en œuvre un traitement qui répond à un objectif précis, soit d'obtenir une production soutenue qui maximise le rendement en volume et en qualité.

Le présent projet vise plus spécifiquement à planifier et à réaliser une éclaircie intermédiaire dans le peuplement étudié, dans un contexte de sylviculture intensive, de manière à maintenir, voire à augmenter, le potentiel de qualité déroulage des tiges. De plus, le projet vise à développer des modalités pour optimiser le martelage dans ce type de scénario sylvicole par l'utilisation des monogrammes de densité, l'analyse des cimes et le calcul des coefficients d'espace vital.

HYPOTHÈSES

Les hypothèses vérifient soit l'effet du traitement, soit l'effet de l'environnement sur le développement de bouleau jaune. Ces hypothèses sont :

Traitement (effet sur le peuplement)

- H1 : L'éclaircie 2007 donne le meilleur accroissement en volume des tiges d'avenir.
- H2 : L'éclaircie 2007 donne le meilleur accroissement en volume à l'hectare.
- H3 : C'est dans l'éclaircie 2007 que l'on observe le moins de mortalité (l'éclaircie a permis de récupérer la mortalité à venir).
- H4 : C'est dans l'éclaircie 2007 que l'on observe les plus grosses cimes de bouleau jaune d'avenir.
- H5 : C'est dans l'éclaircie 2007 que l'on observe les cimes de bouleau jaune d'avenir les plus équilibrées (cylindriques, symétriques).
- H6 : L'éclaircie 2007 a permis d'éliminer les arbres gênants en priorité.

Traitement (effet sur les arbres individuels)

- H7 : On observe une augmentation marquée de l'accroissement en diamètre des bouleaux jaunes d'avenir dans l'éclaircie 2007 par rapport aux bouleaux jaunes d'avenir des autres traitements.
- H8 : Ce sont les bouleaux jaunes d'avenir avec les plus forts diamètres qui répondent le mieux à l'éclaircie 2007 (accroissement en diamètre).
- H9 : Ce sont les bouleaux jaunes d'avenir par rapport aux autres bouleaux jaunes qui répondent le mieux à l'éclaircie 2007 (accroissement en diamètre).
- H10 : Dans l'éclaircie 2007, les bouleaux jaunes d'avenir éclaircis réagissent davantage à l'éclaircie que les bouleaux jaunes d'avenir non éclaircis.

Environnement

- H11 : L'accroissement en diamètre des bouleaux jaunes d'avenir a diminué progressivement au cours des 15 dernières années.
- H12 : On observe une plus forte mortalité du bouleau jaune dans les blocs plus secs (gradient en montant vers le sommet).

- H13 : On observe une plus faible longueur moyenne du tronc sans branche des bouleaux jaunes d'avenir dans les zones plus sèches (gradient en montant vers le sommet).
- H14 : On observe une plus faible hauteur moyenne des bouleaux jaunes d'avenir dans les zones plus sèches (gradient en montant vers le sommet).
- H15 : On observe un plus faible diamètre moyen des bouleaux jaunes d'avenir dans les zones plus sèches (gradient en montant vers le sommet).
- H16 : On observe une plus faible densité en bouleaux jaunes d'avenir dans les zones plus sèches (gradient en montant vers le sommet).
- H17 : On observe une plus forte quantité de tiges classées M et S de bouleau jaune dans les zones plus sèches (gradient en montant vers le sommet).
- H18 : Les unités expérimentales à l'intérieur des blocs sont uniformes (homogènes) pour les différentes caractéristiques au niveau du peuplement et des arbres d'avenir de bouleau jaune (diamètre moyen, hauteur moyenne, longueur moyenne du tronc sans branche, mortalité, proportion de M+S, accroissement des 15 dernières années, etc.).

RETOMBÉES ESCOMPTÉES

La poursuite des travaux sylvicoles dans le peuplement équienné de bouleau jaune ciblé par cet essai servira d'exemple en vérifiant si la séquence de traitements réalisés permet bien d'obtenir la qualité de produit désirée (4 billes de 2,5 mètres de qualité déroulage par tige). Si tel est le cas, cela signifiera que la sylviculture du bouleau jaune en peuplement équienné fonctionne, qu'elle peut être rentable et permettre de produire des produits à très haute valeur ajoutée.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. DISPOSITIF ET TRAITEMENTS

Le plan de l'essai expérimental est présenté à la figure 1. Le dispositif occupe une superficie de 1,7 ha et contient 32 placettes. Le dispositif contient 9 unités expérimentales constituées de 3 répétitions de 3 traitements. La répétition 1 est constituée des unités expérimentales 1, 2 et 3, la répétition 2 des unités 7, 8 et 9 et la répétition 3 des unités 4, 5 et 6. Les traitements sont des éclaircies intermédiaires consistant en un prélèvement léger des tiges nuisant aux arbres d'avenir réalisées en 2007 et 2017 et d'un témoin sans éclaircie. Les contours ainsi que les limites des différentes unités expérimentales ont été rubanés en rose.

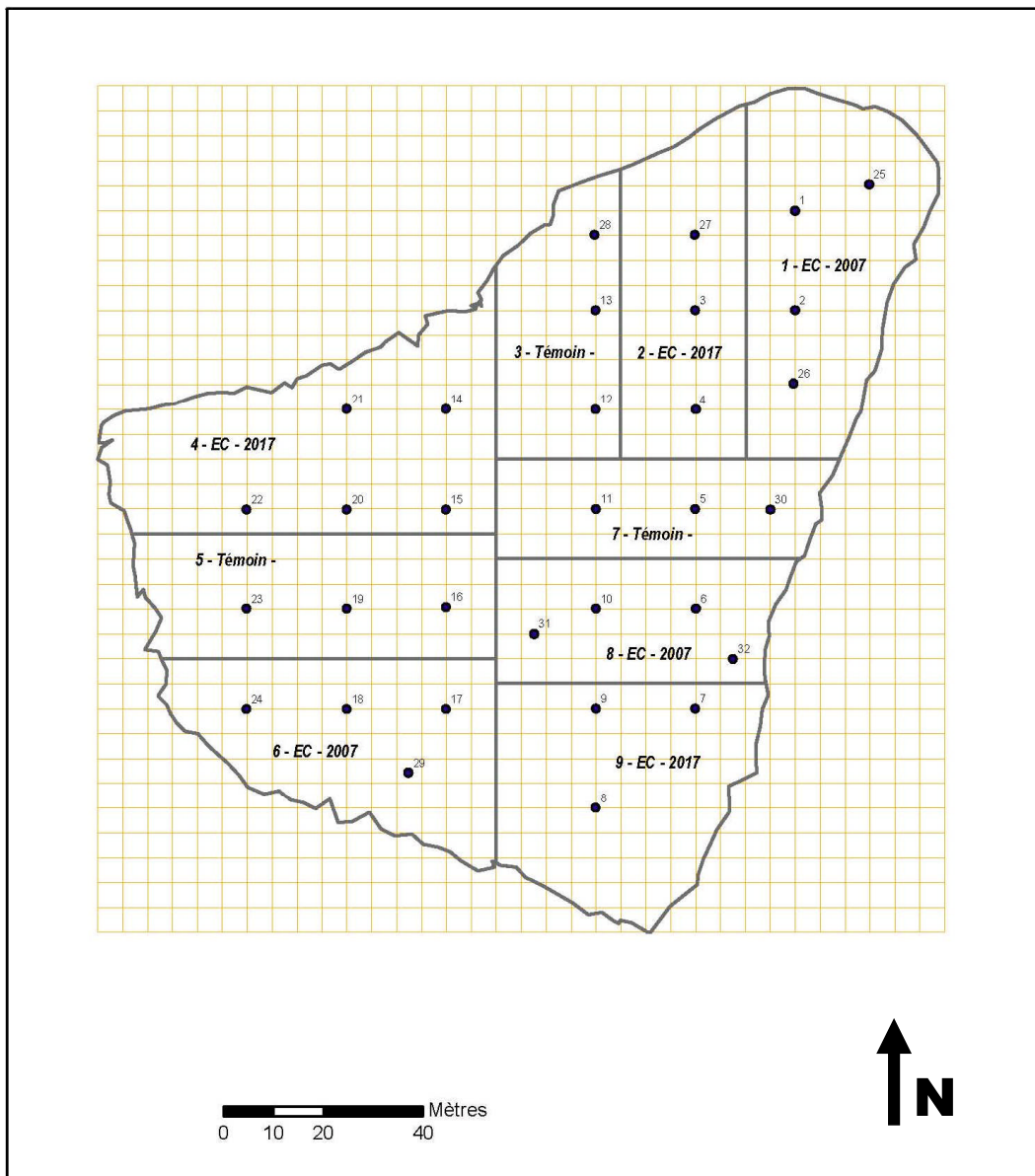


Figure 1 - Plan de l'essai expérimental d'éclaircie intermédiaire dans une bétulaie jaune équienne datant de 1972 à Duchesnay

1.2. MARTELAGE

Le martelage a été réalisé en deux temps. D'abord, le martelage positif (en bleu) a permis d'identifier les arbres d'avenir dans le peuplement. En fonction de la proportion de bouleau jaune dans le peuplement, de la surface terrière et du diamètre des tiges (annexe 1), il a été déterminé que le nombre optimal de tiges de bouleau jaune à l'hectare après éclaircie devrait être de 400 tiges/ha. Ainsi, l'objectif du martelage positif a été d'identifier le plus bel arbre d'avenir présent dans le peuplement à tous les 5 mètres. Il s'agit du bouleau jaune ayant le plus fort diamètre, la plus grande hauteur sans branche ni fourche, la plus belle rectitude du fût, la cime la plus large et la mieux équilibrée et l'absence de défauts ou de maladie (cote R selon MSCR).

Ensuite, le martelage négatif (en rouge) a permis d'identifier les arbres gênants dans le peuplement. Un prélèvement maximal de 25 % de la surface terrière vise à éliminer une tige faisant de l'obstruction à un arbre d'avenir, soit par sa plus grande hauteur, soit par sa proximité empêchant le développement d'une cime symétrique pour l'arbre d'avenir.

1.3. PLACETTES

Les placettes servant à constituer l'échantillonnage ont un rayon de 5,64 m (100 m²). L'enregistrement des tiges à l'intérieur des placettes se fait en commençant au nord et en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Les placettes sont identifiées au centre à l'aide d'une fiche métallique, d'un ruban bleu et d'une étiquette d'aluminium (ex. PE 1).

Dans chaque placette, on a relevé :

- Essence des tiges ayant un DHP de 1,1 cm et plus;
- DHP;
Prendre le DHP par classe de cm paire pour les 2-4-6 (1,1 cm à 7,0 cm).
Prendre le DHP circonférentiel en mm pour les tiges ayant un diamètre de 70,1 mm et plus.
- Classe sylvicole;
Valeur sylvicole de la tige où l'environnement de la tige est considéré.
A= Avenir : arbre de choix à cause de ses qualités et de ses possibilités.
R= Remplissage : arbre utile pour maintenir le climat forestier intérieur.
G= Gênant : arbre gênant qui nuit aux arbres de choix.
H= Hygiène : arbre malade ou en voie de dégradation.
- Étage;
D : Dominant, C : Codominant, I : Intermédiaire, O : Opprimé, V : Vétéran.
- Martelage;
Noter si les arbres inventoriés sont martelé positivement (bleu) ou négativement (rouge, rouge+jaune, jaune).

- MSCR;
Identifier la cote et si un défaut est observé, noter le code correspondant.

Pour les arbres-études :

- Prendre 4 arbres d'avenir (en bleu) par placette de classes de DHP différentes (s'il n'y a pas 4 arbres d'avenir dans la placette, compléter avec les plus beaux sujets de classes de DHP différentes).
- Indiquer à quel numéro de tige corresponde l'arbre-étude.
- Prendre une carotte (minimum 15 derniers cernes annuels) à 1 m de hauteur (identifier par le numéro de la placette et le numéro de l'arbre-étude).
- Numéroté les arbres à la peinture bleue de 1 à 4.
- Indiquer la position des arbres-études dans le cadran sur le formulaire.
- Hauteur totale (25 cm près).
- Hauteur de la branche vivante la plus basse sur la tige (10 cm près).
- Largeur des cimes, selon 2 axes, en se référant à la projection de la cime au sol (10 cm près).

Les calculs de volume ont été réalisés à l'aide du tarif de cubage général de Perron. Les relations entre le diamètre et la hauteur des arbres ont été établies à partir des données des arbres-études. Deux équations ont été utilisées, soit celle du bouleau jaune pour le bouleau jaune et l'érable à sucre, et celle du bouleau à papier pour le bouleau à papier, l'érable rouge et le hêtre. Les données et équations sont présentées à la figure 2.

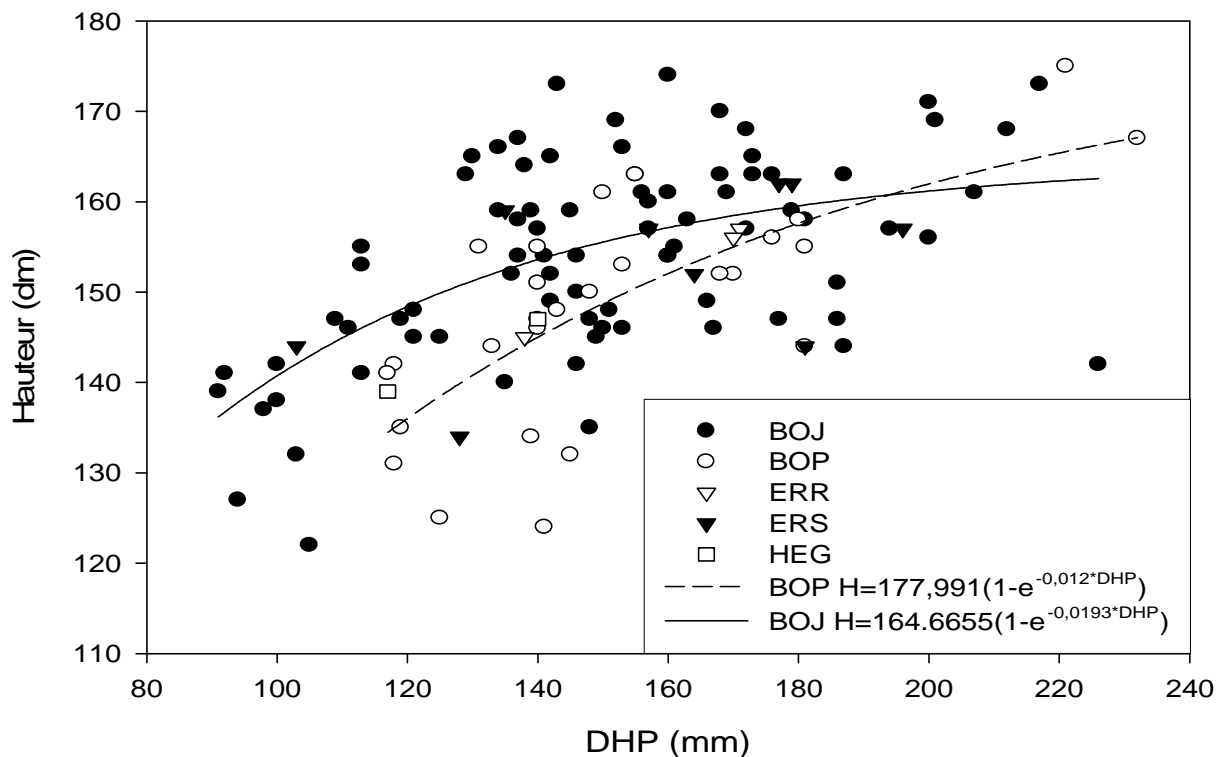


Figure 2 - Relation entre le diamètre et la hauteur des arbres étudiés

1.4. STATISTIQUES

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS version 9.1.3 (SAS Institute, 2006). La théorie des modèles généraux linéaires où les traitements constituent des effets fixes et les blocs constituent des effets aléatoires a été retenue comme base d'analyse. Les analyses ont été réalisées à l'aide de la procédure GLM et les résultats ont été considérés significatifs à un niveau de signification α inférieur ou égal à 0,05. Les analyses ont été réalisées en deux parties, soit d'abord pour les conditions avant traitement pour les trois traitements, puis avant et après éclaircie dans le traitement d'éclaircie 2007 seulement.

1.5. RÉALISATION DES TRAVAUX

L'abattage des tiges des unités expérimentales d'éclaircie 2007 s'est effectué du 7 au 9 novembre 2007 de façon manuelle à la scie à chaîne. Les tiges ont été ébranchées sur place et débardées par tronçonneuse entière d'une longueur maximale de 12 pieds à l'aide d'un véhicule tout terrain (VTT) et d'une remorque spécialisée.

L'éclaircie 2007 réalisée dans 3 blocs d'une superficie totale de 0,56 ha a permis de générer 3 cordes de 4 pieds, soit 9 cordes de bois de chauffage de 16 pouces. Le temps nécessaire à effectuer l'abattage, l'ébranchage, le tronçonnage et le débardage a été évalué à 60 heures par personne de travail. Le débardage des tiges au bord de la route s'est terminé le 12 octobre 2008. Les dépenses d'essence relativement à l'utilisation du VTT ont été évaluées à 30 \$ alors que les

dépenses d'essence et d'huile pour l'utilisation de la scie mécanique ont été évaluées à 45 \$. En tenant compte des frais d'entretien et de légers frais d'amortissement pour l'utilisation du VTT, de la remorque et de la scie à chaîne, la valeur en bois de chauffage permet tout juste de couvrir les dépenses encourues.

2. RÉSULTATS

2.1. DONNÉES RELATIVES AU PEUPLEMENT

La figure 3 présente la densité des tiges marchandes (>9 cm DHP) par bloc et par traitement. On remarque une distribution uniforme entre les blocs et entre les traitements à environ 1 300 tiges/ha. On remarque une réduction d'environ 300 tiges/ha suite à l'éclaircie 2007; cette réduction n'est pas significative, bien que très près de l'être ($p=0,0507$).

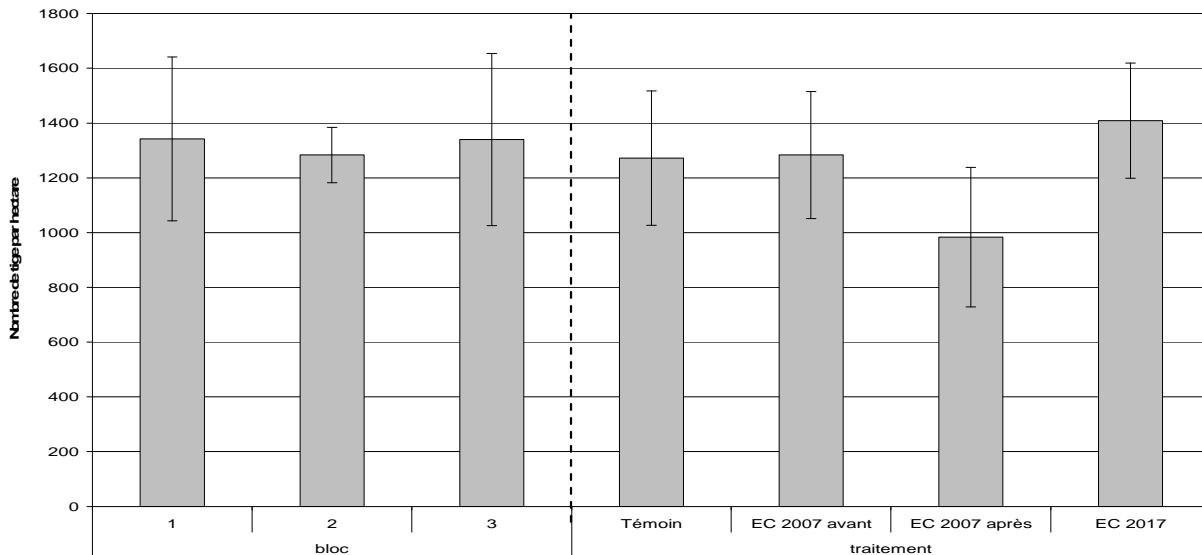


Figure 3 - Densité totale des tiges marchandes par bloc et par traitement

La figure 4 présente la densité par essence des tiges marchandes par bloc et par traitement.

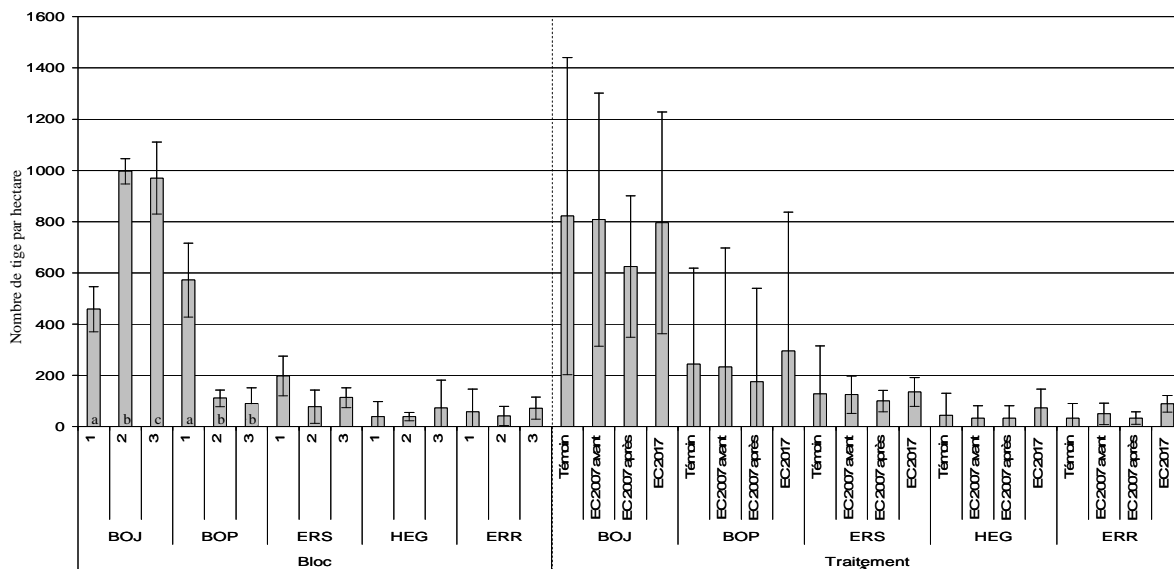


Figure 4 - Densité par essence des tiges marchandes par bloc et par traitement²

² Les lettres différentes au bas des colonnes représentent une différence significative à $p < 0,05$.

La figure 4 montre qu'il y a des différences significatives entre les blocs pour la densité de bouleau jaune et de bouleau à papier. Ces différences sont principalement induites par la composition du bloc 1 où le bouleau à papier est très abondant. Toutefois, la quantité totale de bouleaux est comparable pour chacun des blocs et se situe entre 1 000 et 1 100 tiges par hectare. On remarque également que l'éclaircie a amené une diminution du nombre de bouleaux jaunes et de bouleaux à papier, mais que celle-ci n'est pas significative. De plus, la densité initiale entre les traitements est relativement uniforme.

Le même patron se répète lorsque l'on compare les surfaces terrières (figures 5 et 6) ainsi que les volumes (figures 7 et 8).

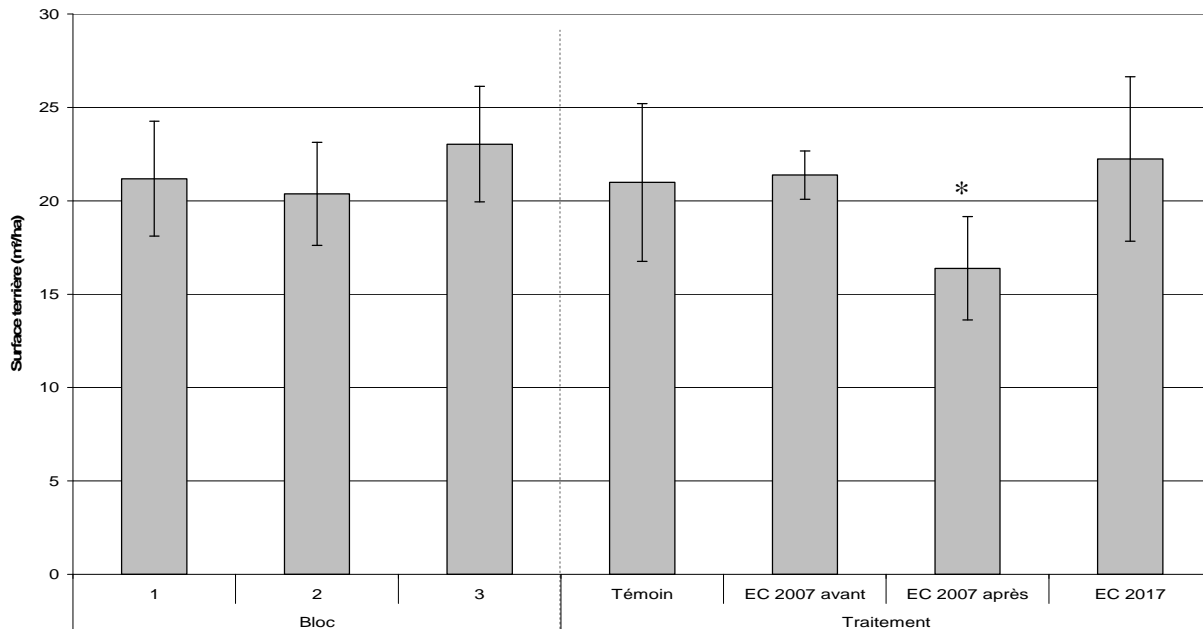


Figure 5 - Surface terrière par bloc et par traitement³

On remarque que l'éclaircie 2007 a réduit de façon significative la surface terrière, qui est passée de 21,4 m²/ha à 16,4 m²/ha, soit un prélèvement moyen de 5 m²/ha correspondant à 23,4 % de la surface terrière initiale.

La figure 6 présente la surface terrière totale par essence, par bloc et par traitement.

³ * Représente un effet significatif du traitement par rapport à l'état initial à $p < 0,05$.

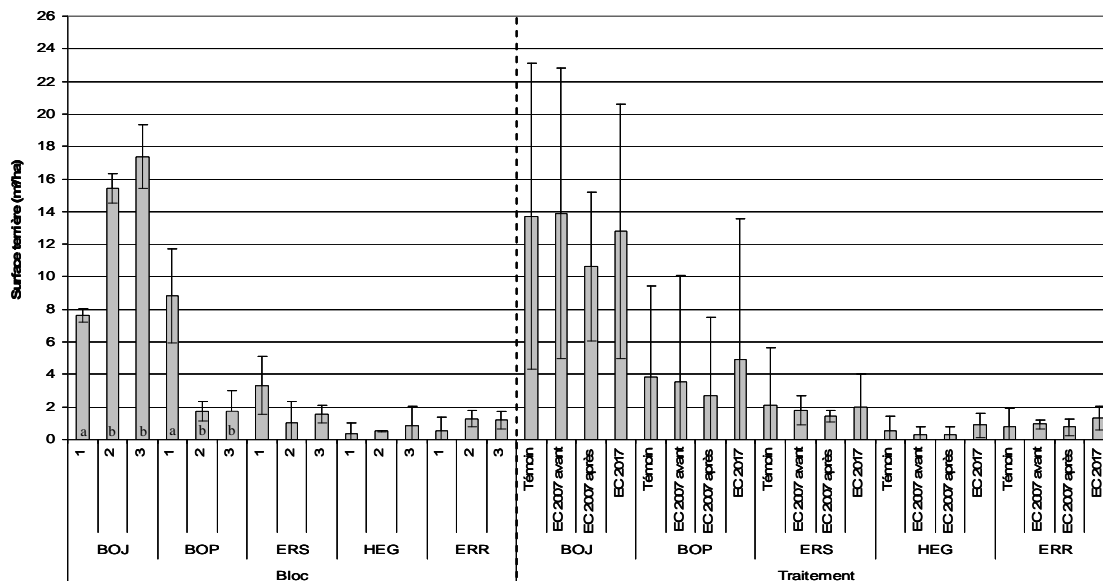


Figure 6 - Surface terrière par essence, par bloc et par traitement⁴

Comme pour la surface terrière, on remarque que l'éclaircie 2007 a réduit de façon significative le volume marchand sur pied qui est passé de 110,4 m³/ha à 84,5 m³/ha, soit un prélèvement moyen d'environ 25 m³/ha (voir figure 7).

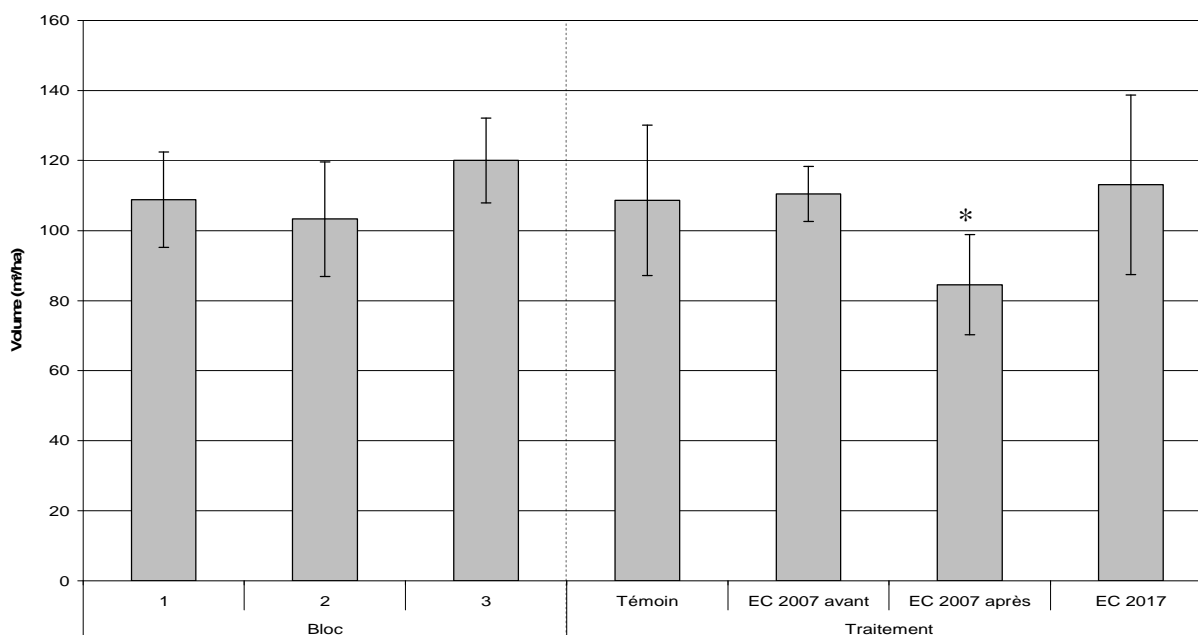


Figure 7 - Volume marchand par bloc et par traitement⁵

La figure 8 présente le volume marchand par essence, par bloc et par traitement.

⁴ Les lettres différentes au bas des colonnes représentent une différence significative à $p < 0,05$.

⁵ * Représente un effet significatif du traitement par rapport à l'état initial à $p < 0,05$.

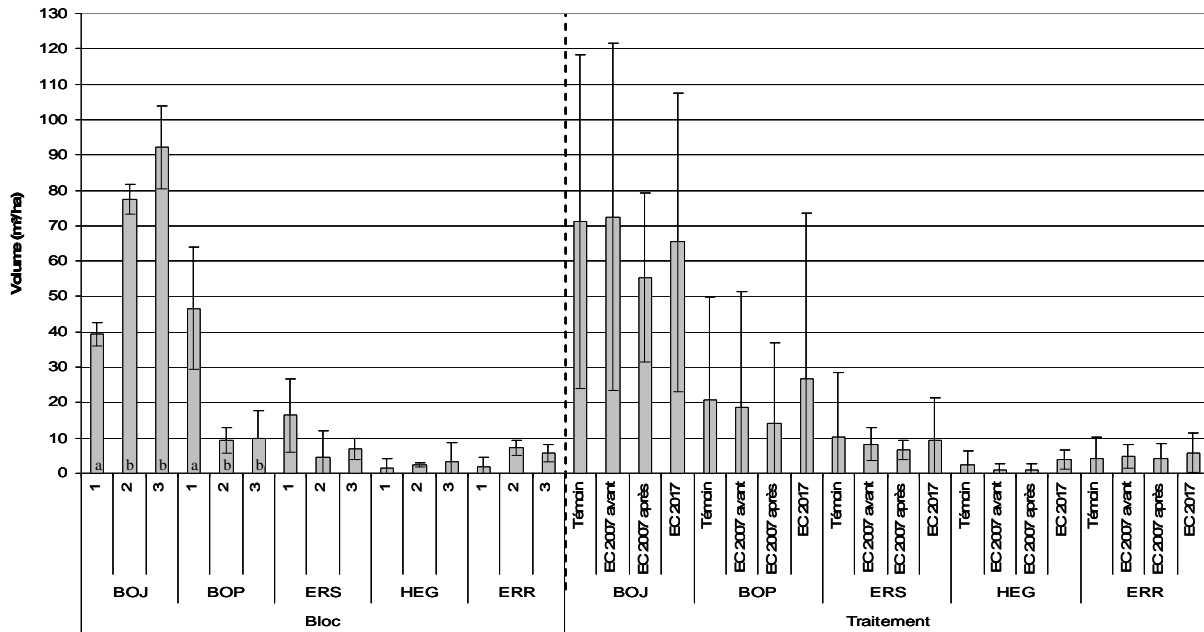


Figure 8 - Volume marchand par essence, par bloc et par traitement⁶

La figure 9 présente les diamètres moyens à hauteur de poitrine (DHP) des tiges marchandes (DHP > 9 cm) par bloc et par traitement.

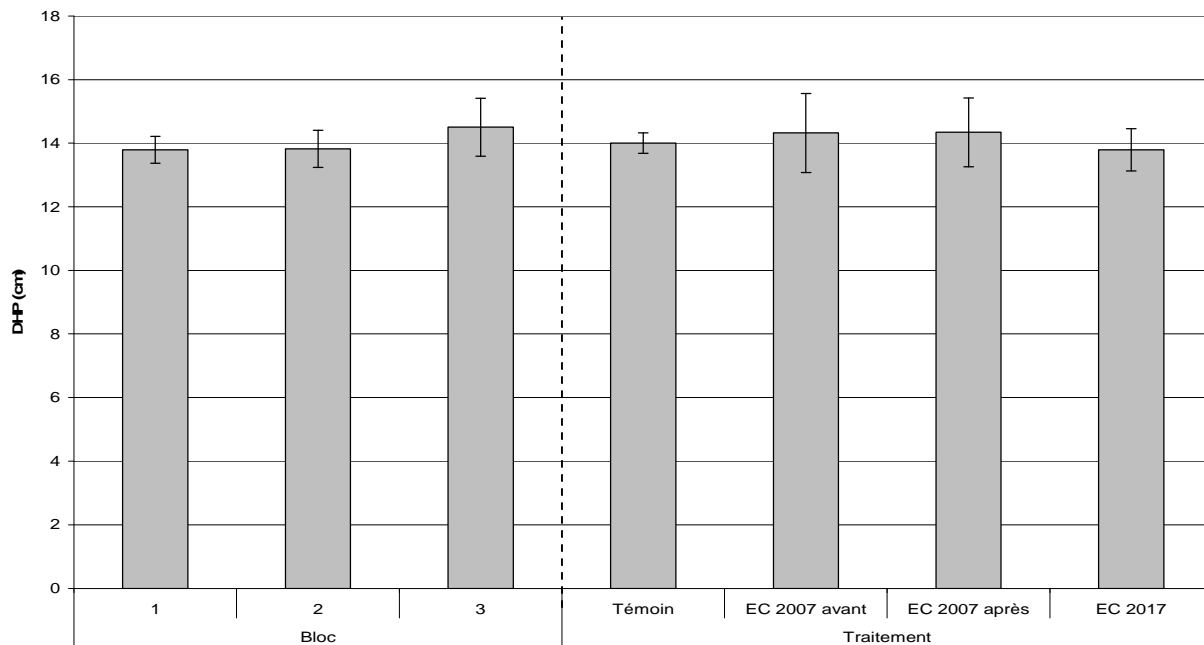


Figure 9 - DHP moyen des tiges marchandes par bloc et par traitement

⁶ Les lettres différentes au bas des colonnes représentent une différence significative à $p < 0,05$.

Le diamètre moyen des tiges marchandes est approximativement de 14 cm, variant peu entre les blocs et entre les traitements et aucune différence significative n'a été observée. De plus, le traitement d'éclaircie 2007 n'a amené aucune différence significative par rapport à la moyenne observée avant traitement.

La figure 10 présente les DHP moyens par essence des tiges marchandes (DHP > 9 cm) par bloc et par traitement.

On remarque des différences significatives entre les blocs pour certaines essences, soit le bouleau à papier, le hêtre à grandes feuilles et l'érable rouge. Pour le bouleau à papier, on observe un gradient selon la pente qui peut être relié soit à la disponibilité en eau ou à un diamètre plus faible dans les blocs 1 et 2 qui sont en haut de pente et ou encore à un diamètre plus fort pour le bloc 3 en bas de pente. On observe la même tendance pour le bouleau jaune, mais elle n'est pas significative. On doit donc rejeter l'hypothèse 15.

Pour le hêtre à grandes feuilles et l'érable rouge, l'interprétation des résultats doit tenir compte du fait que ces essences sont marginales et absentes dans certaines unités expérimentales. C'est entre autres ce qui explique la valeur élevée de l'érable rouge dans le bloc 2, où il y a au total seulement 4 tiges de cette essence dans les placettes. Même chose pour la différence significative entre les traitements pour le hêtre à grandes feuilles.

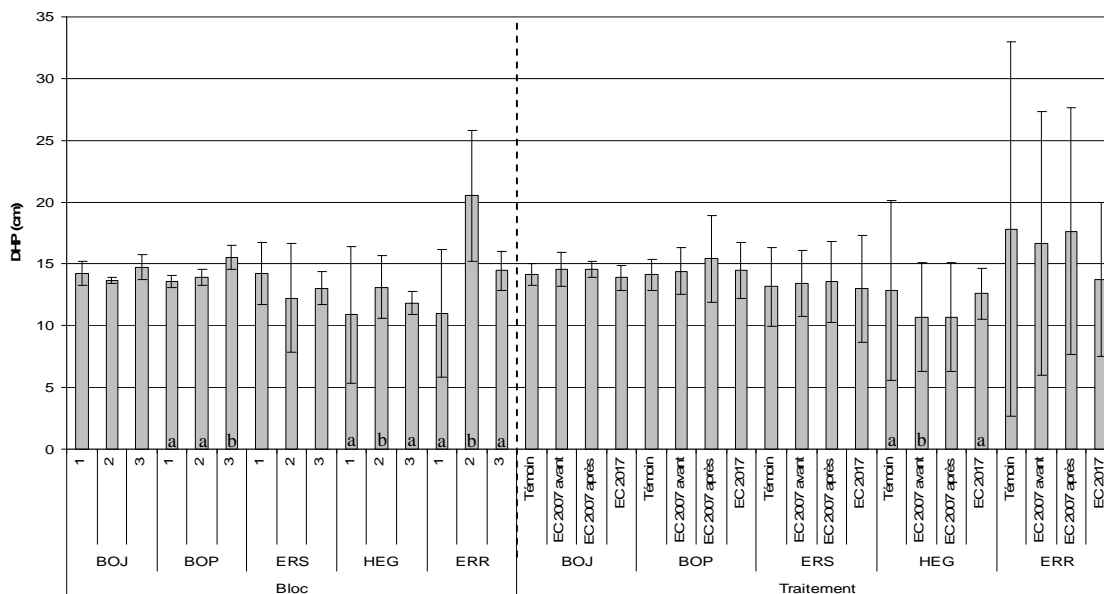


Figure 10 - DHP moyen par essence des tiges marchandes par bloc et par traitement⁷

La figure 11 présente les hauteurs moyennes des tiges marchandes (DHP > 9 cm) par bloc et par traitement.

⁷ Les lettres différentes au bas des colonnes représentent une différence significative à $p < 0,05$.

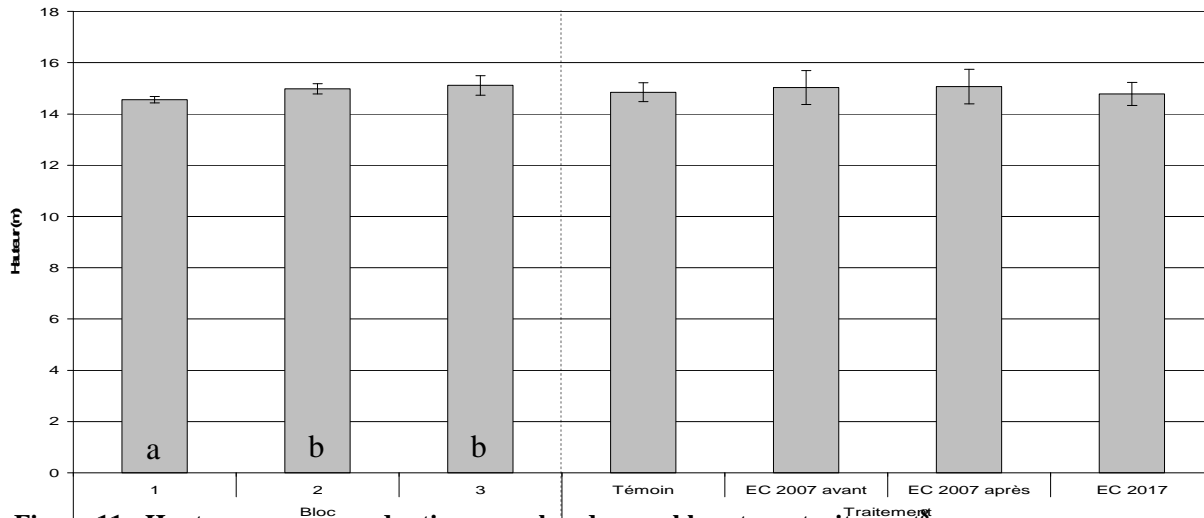


Figure 11 - Hauteurs moyennes des tiges marchandes par bloc et par traitement

Bien qu'il y ait une différence significative entre les blocs, la variation est très faible, soit de 43 cm en moyenne entre le bloc 1 et le bloc 2, et de 56 cm entre le bloc 1 et le bloc 3. Cette différence est entre autres reliée à la composition puisque le bouleau blanc est d'avantage présent dans le bloc 1 et la relation diamètre-hauteur utilisée pour cette essence tend à attribuer des hauteurs inférieures pour les tiges dont le diamètre est inférieur à 19 cm. On remarque également qu'il n'y a aucune différence significative des hauteurs moyennes initiales entre les traitements. De plus, l'éclaircie 2007 n'a pas amené de changements significatifs de la hauteur moyenne.

La figure 12 présente les hauteurs moyennes par essence des tiges marchandes (DHP > 9 cm) par bloc et par traitement.

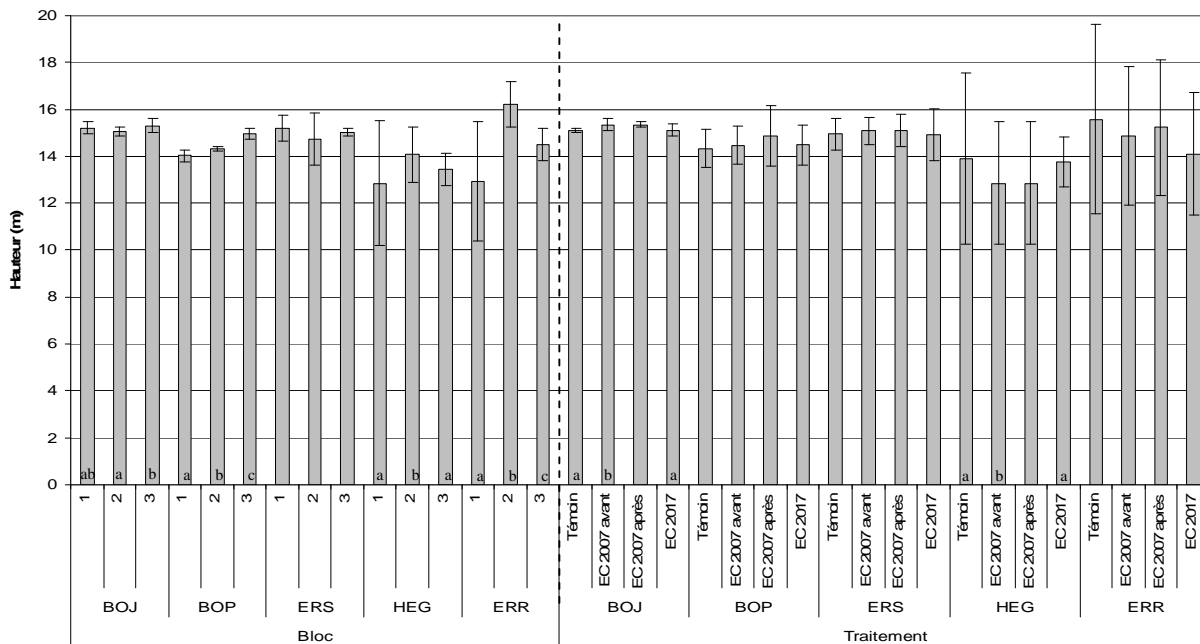


Figure 12 - Hauteurs moyennes par essence des tiges marchandes par bloc et par traitement⁸

⁸ Les lettres différentes au bas des colonnes représentent une différence significative à $p < 0,05$.

On remarque, pour la hauteur par essence à la figure 12, les mêmes tendances observées à la figure 10 pour le DHP à l'exception du bouleau jaune, qui montre des différences significatives entre les blocs et entre les traitements. La différence significative entre le bloc 2 et le bloc 3 est en accord avec l'hypothèse 14 puisque le bloc 2 se trouve en haut de pente. Toutefois, il faut mentionner que ces différences sont faibles, soit de 15 cm entre le bloc 1 et le bloc 2 et de 25 cm entre le bloc 2 et le bloc 3.

Pour ce qui est de la différence initiale entre les traitements, elle devra être tenue en compte dans les suivis ultérieurs afin d'éviter les erreurs d'interprétation dans la comparaison du témoin et des traitements.

2.2. CLASSES FONCTIONNELLES ET MSCR

Cette section présente les données sous forme de densité et de surface terrière, par classe fonctionnelle et MSCR pour chacun des blocs et des traitements.

La figure 13 montre que la proportion de tiges dans chacune des classes MSCR est uniforme entre les blocs. Par contre, on remarque que la proportion de M semble un peu plus faible dans le traitement EC 2007 avant traitement et un peu plus forte dans la classe R. Bien que la différence avant traitement ne soit pas significative, il faudra faire preuve de prudence dans l'analyse éventuelle des différences entre le témoin et les traitements. L'état initial devrait être retenu comme covariable ou tout simplement utiliser les différences avec l'état initial comme base de comparaison future.

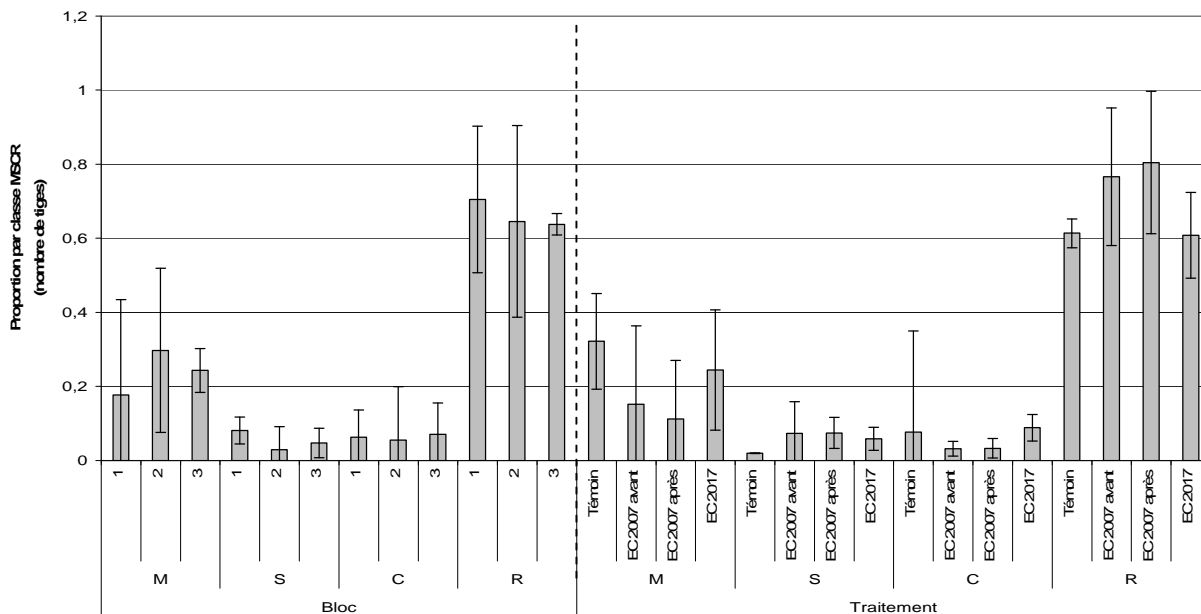


Figure 13 - Proportion du nombre de tiges par classe MSCR, par bloc et par traitement

La figure 14 présente le même type de résultats, mais sur la base de la surface terrière. On y remarque la même uniformité entre les blocs.

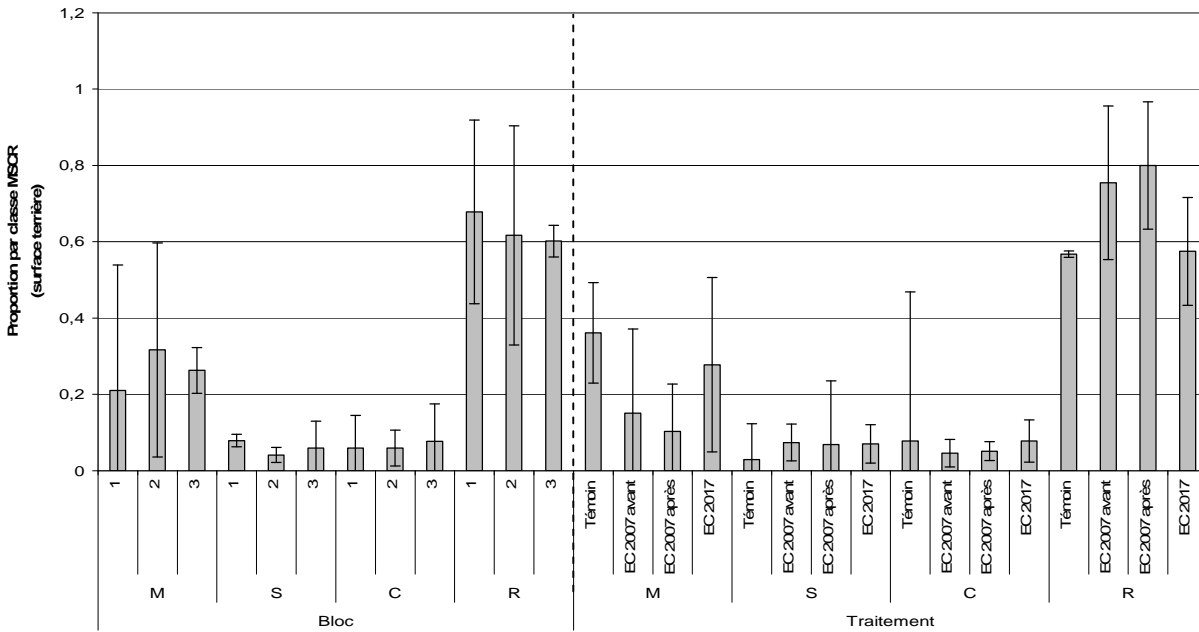


Figure 14 - Proportion de la surface terrière par classe MSCR, par bloc et par traitement

De plus, la proportion de M et de R dans le traitement d'éclaircie 2007 montre la même tendance. Selon le traitement, les tiges de classe M représentent de 15 à 36 % de la surface terrière alors que les R représentent de 57 à 75 % de la surface terrière. Les classes S et C représentent toujours moins de 10 % de la surface terrière. On remarque également que l'éclaircie semble avoir eu un effet sur la proportion de M et de R, bien que très faible et les différences ne sont pas significatives. Ce résultat n'est pas surprenant puisque l'éclaircie ne visait pas à récolter les tiges de classe M de façon systématique.

Les figures 15 et 16 présentent les proportions de tiges, en nombre et en surface terrière respectivement, par classe fonctionnelle, soit les tiges d'avenir, les tiges gênantes pour la croissance des tiges d'avenir, les tiges d'hygiène et les tiges de remplissage.

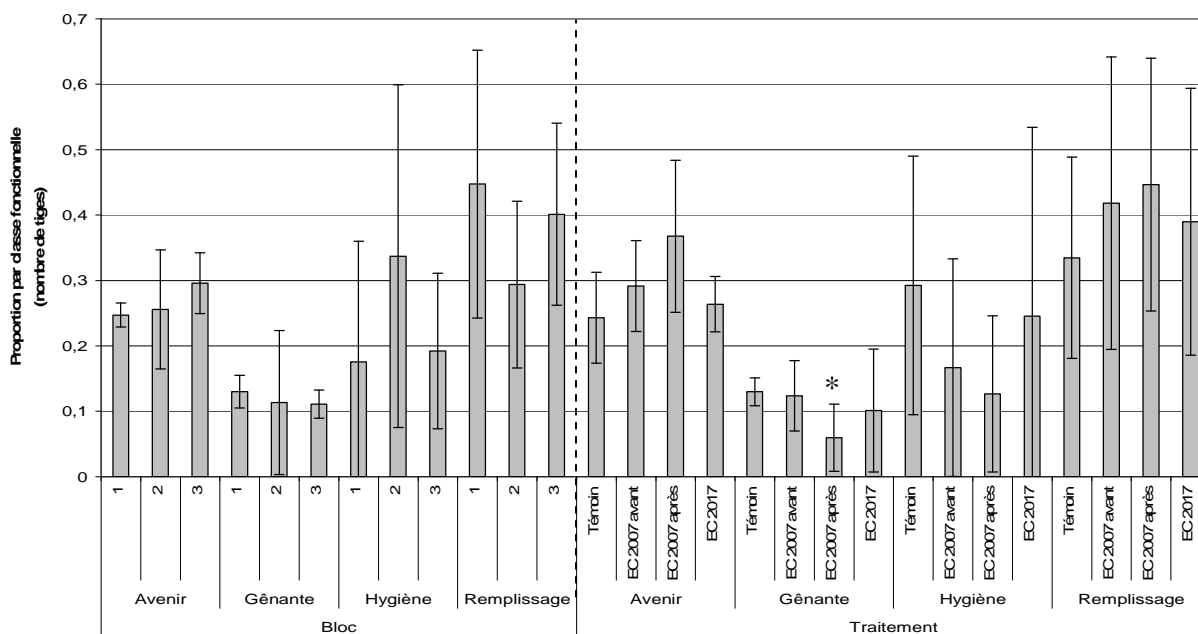


Figure 15 - Proportion du nombre de tiges par classe fonctionnelle, par bloc et par traitement⁹

On remarque qu'il n'y a pas de différence significative entre les blocs et que pour les tiges d'avenir et gênantes, les proportions sont relativement uniformes. Il y a beaucoup plus de variabilité entre les blocs pour les proportions de tiges d'hygiène et de remplissage. On observe ainsi une proportion de tiges d'hygiène qui tend à être plus forte dans le bloc 2 situé en haut de pente. On remarque qu'il n'y a pas de différence significative initialement entre les traitements dû à la très forte variabilité observée.

La proportion de tiges d'avenir et de remplissage tend à être plus élevée initialement dans le traitement d'éclaircie 2007 au détriment des tiges d'hygiène. L'éclaircie a amené une diminution significative de la proportion de tiges gênantes, ce qui correspond à l'objectif du traitement. L'éclaircie 2007 a également amené une diminution de la proportion de tiges d'hygiène, mais pas de façon significative. On remarque donc qu'après traitement, la proportion de tiges d'avenir et de remplissage tend à augmenter, mais la faible intensité du traitement combinée à la variabilité terrain fait que cette augmentation n'est pas significative par rapport à l'état initial.

Les mêmes résultats sont observés sur la base de la surface terrière (figure 16). On remarque par contre que l'écart initial entre les traitements pour la proportion de tiges d'hygiène et de remplissage est encore plus grand lorsqu'on les compare sur la base de la surface terrière, bien que toujours non significatif dû à la très forte variabilité.

⁹ * Représente un effet significatif du traitement par rapport à l'état initial à $p < 0,05$.

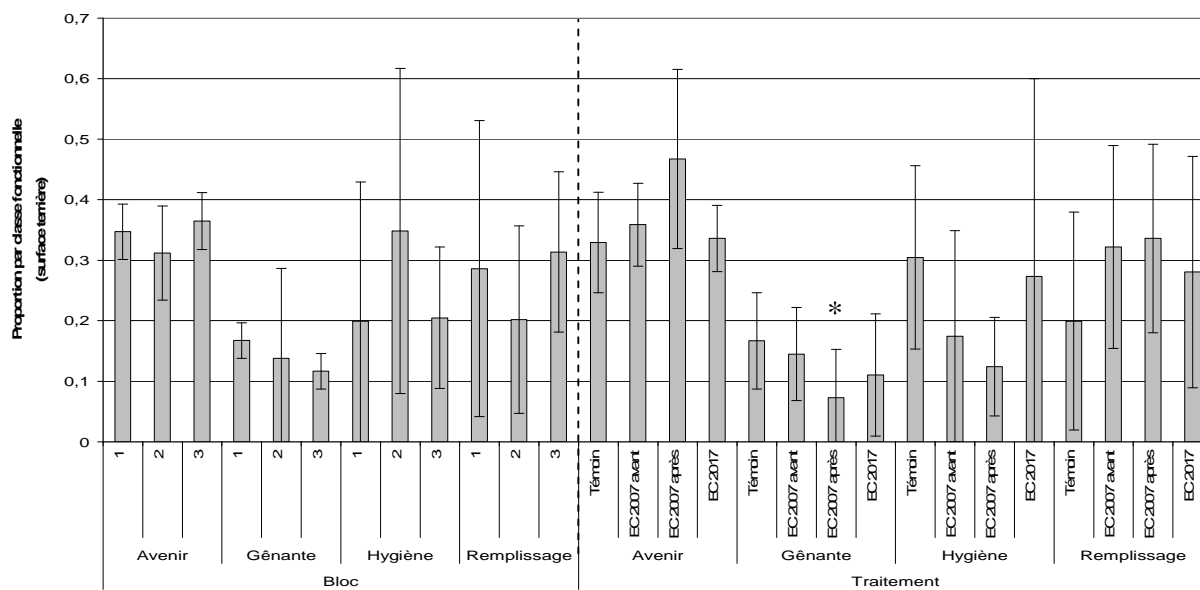


Figure 16 - Proportion de la surface terrière par classe fonctionnelle, par bloc et par traitement¹⁰

2.3. CARACTÉRISTIQUES DES BOULEAUX JAUNES

Le tableau 1 présente les caractéristiques dendrométriques des bouleaux jaunes d'avenir de plus de 8 cm de diamètre.

Tableau 1 - Moyenne avant intervention par bloc pour les variables dendrométriques des arbres-études (bouleau jaune)

Variables	Bloc		
	1	2	3
DHP (cm)	13,8 ± 2,7	14,4 ± 1,4	15,5 ± 0,6
Hauteur totale (m)	15,7 ± 0,2	15,1 ± 0,2	15,5 ± 0,2
Hauteur sans branches (m)	7,6 ± 1,5	6,9 ± 0,9	7,3 ± 0,8
Surface de la cime (m ²)	6,5 ± 2,7	7,0 ± 1,3	7,9 ± 1,6
Équilibre de la cime ¹¹	0,78 ± 0,16	0,79 ± 0,13	0,78 ± 0,01
Acc. en diamètre de 2003-2007 (mm)	16,2 ± 5,4	15,8 ± 4,6	16,4 ± 1,6
Acc. en diamètre de 1998-2002 (mm)	17,5 ± 10,6	19,9 ± 3,7	18,8 ± 4,2
Acc. en diamètre de 1993 à 1997 (mm)	22,0 ± 7,3	22,9 ± 4	23,8 ± 2,4

On remarque dans le tableau 1 que l'ensemble des caractéristiques dendrométriques mesurées sont uniformes entre les blocs (H18). Aucune différence significative entre les blocs n'a été observée. De plus, on constate un ralentissement de la croissance quinquennale en diamètre, ce qui vient justifier l'intervention d'éclaircie (H11).

¹⁰ * Représente un effet significatif du traitement par rapport à l'état initial à $p < 0,05$.

¹¹ 1=équilibrée, 0 aplatie.

La figure 17 présente la relation entre le DHP et la hauteur sans branche des bouleaux jaunes d'avenir pour l'ensemble du dispositif.

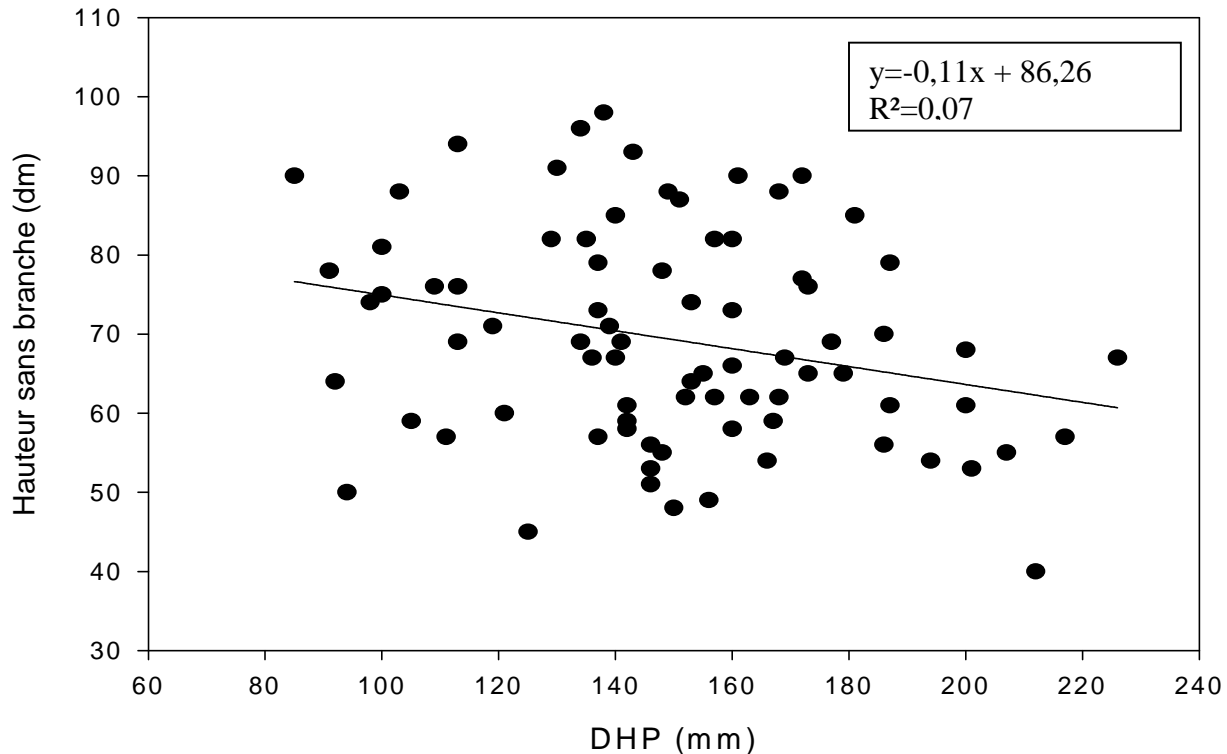


Figure 17 - Relation entre le DHP et la hauteur sans branche des bouleaux jaunes d'avenir

On remarque à la figure 17 que la relation entre le DHP et la hauteur sans branche est négative. Ainsi, bien que les tiges de 16 cm et plus tendent à avoir des hauteurs totales similaires (figure 1), leur hauteur sans branche tend à diminuer. Cela correspond bien à la théorie qui veut qu'un houppier plus long génère une meilleure croissance en diamètre. La hauteur sans branche moyenne des bouleaux jaunes d'avenir est de 6,9 mètres, soit tout près de 3 billes.

La figure 18 présente la surface de la projection horizontale du houppier en fonction du DHP des bouleaux jaunes d'avenir pour l'ensemble du dispositif. On constate que la surface de la projection du houppier des bouleaux jaunes d'avenir est fortement corrélée au DHP des tiges. L'espace qu'occupe une tige de 16 cm de DHP est de plus de deux fois supérieur à celui qu'occupe une tige de 10 cm de DHP.

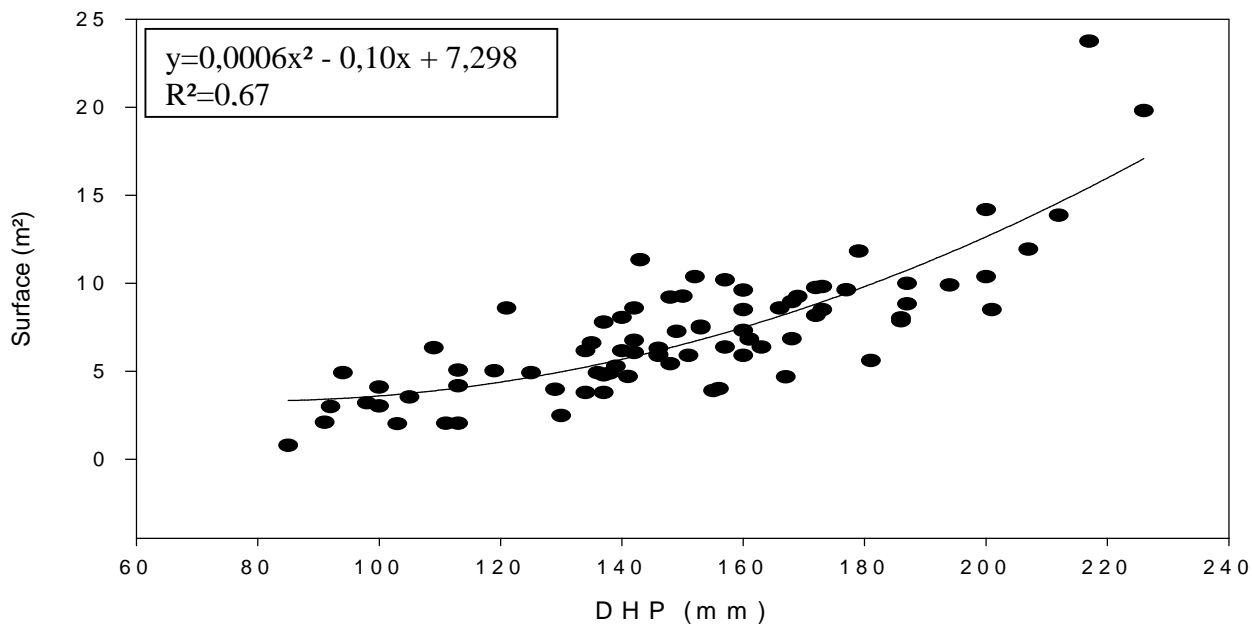


Figure 18 - Surface de la projection horizontale du houppier en fonction du DHP des bouleaux jaunes d'avenir

La figure 19 présente l'accroissement quinquennal en diamètre des bouleaux jaunes pour l'ensemble du dispositif.

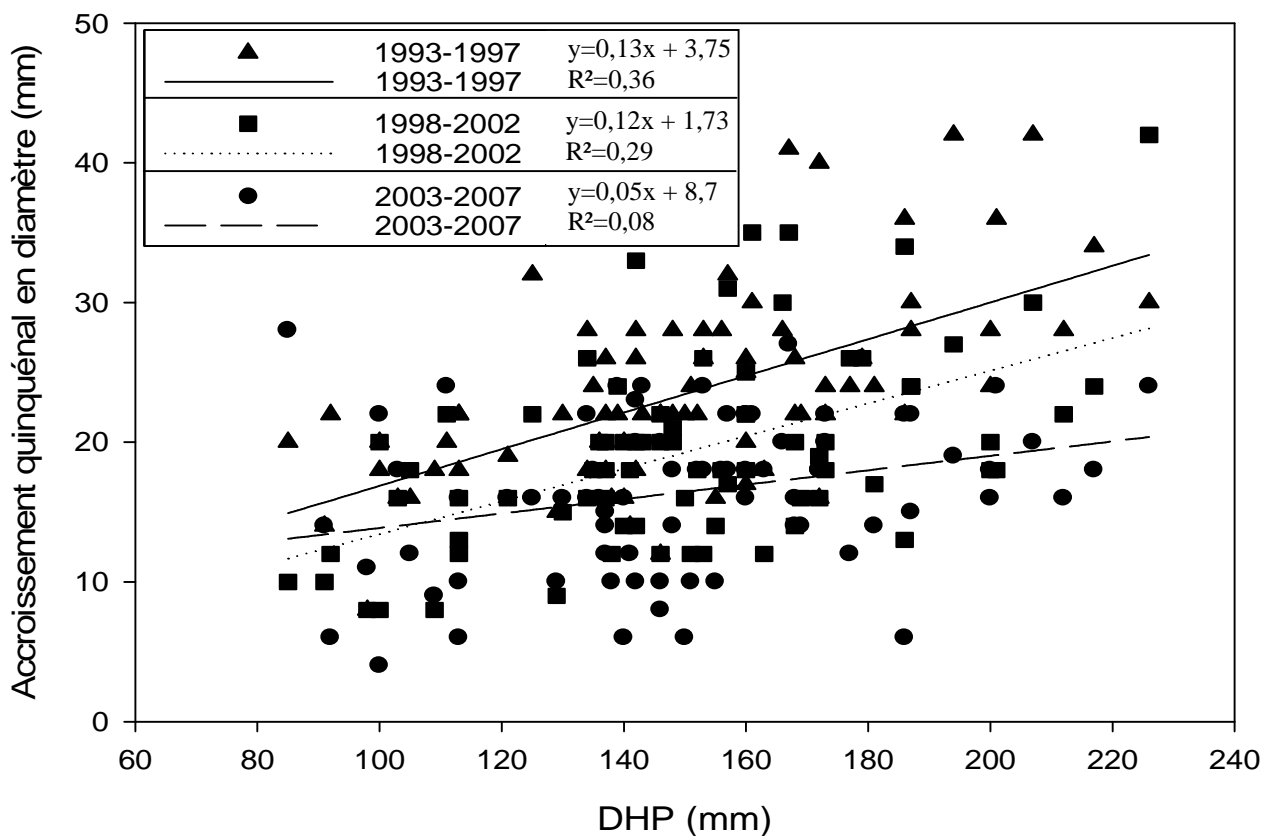


Figure 19 - Accroissement quinquennal en diamètre des bouleaux jaunes entre 1993 et 2007

On remarque une diminution significative uniforme pour tous les DHP entre la période 1993-1997 et la période 1998-2002. Entre la période 1998-2002 et la période 2003-2007, on observe une diminution de l'accroissement en diamètre des grosses tiges alors que celui des petites tiges reste inchangé, ce qui se traduit par une diminution significative de la pente de la relation.

La figure 20 présente la structure diamétrale des bouleaux jaunes pour l'ensemble du dispositif.

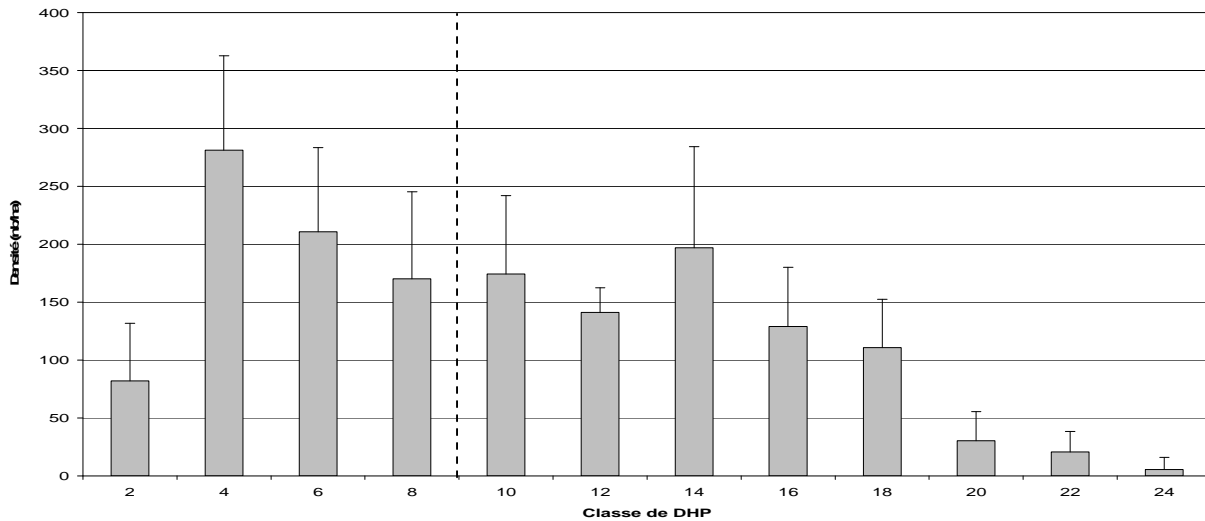


Figure 20 - Structure diamétrale des bouleaux jaunes sur l'ensemble du dispositif

On remarque que la structure diamétrale des tiges marchandes est dominée par les tiges de classe 14 et que la distribution s'étend jusqu'à 24 cm. Les gaules sont relativement abondantes avec plus de 700 tiges par hectare.

La figure 21 présente la densité de bouleau jaune par bloc et par traitement pour le 7,1 cm et plus et les 9,1 cm et plus de DHP.

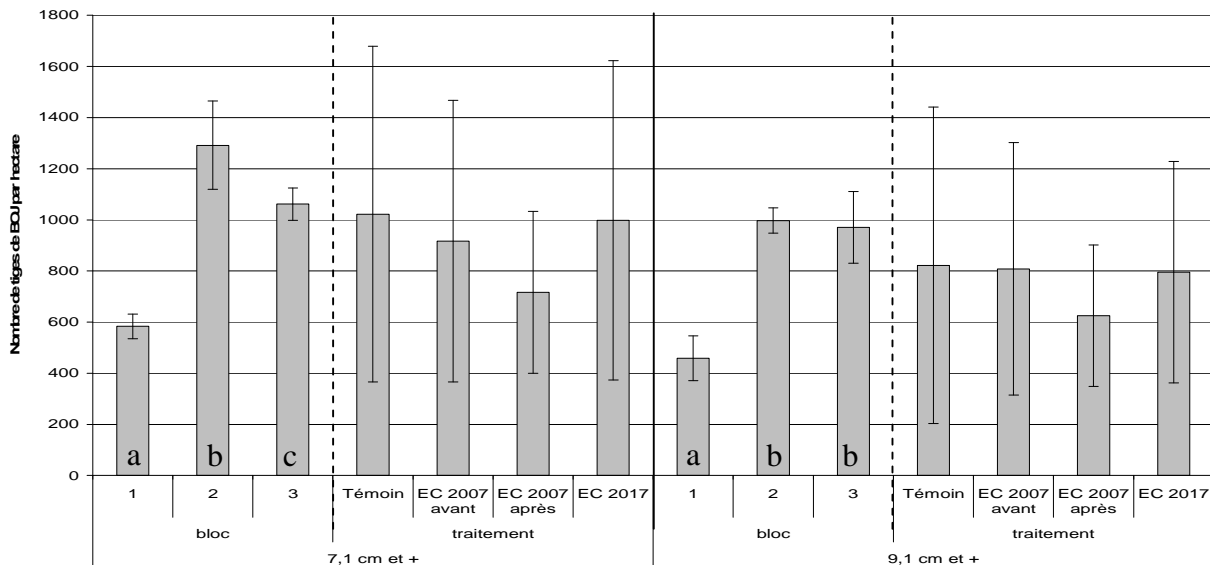


Figure 21 - Densité des tiges de bouleau jaune de 7,1 cm et plus et de 9,1 cm et plus par bloc et par traitement

On remarque que l'inclusion de la classe de 8 cm dans la densité augmente les écarts entre les blocs. On observe ainsi des différences significatives entre les trois blocs alors que pour les 9,1 et plus, il n'y a pas de différence significative entre les blocs 2 et 3 et les valeurs elles-mêmes sont très proches. On remarque que l'uniformité entre les traitements semble également réduite par l'inclusion de la classe de 8 cm, mais pas de manière significative.

La figure 22 présente la proportion de bouleau jaune dans les tiges d'avenir sélectionnées par bloc et par traitement. Comme l'indiquait la figure 8, pour l'ensemble des tiges, la proportion de bouleau jaune dans les tiges d'avenir est également inférieure dans le bloc 1, mais pas de façon significative bien qu'elle soit près de 50 % plus faible que dans le bloc 3. On remarque la proportion légèrement plus élevée dans le traitement initial d'éclaircie 2007.

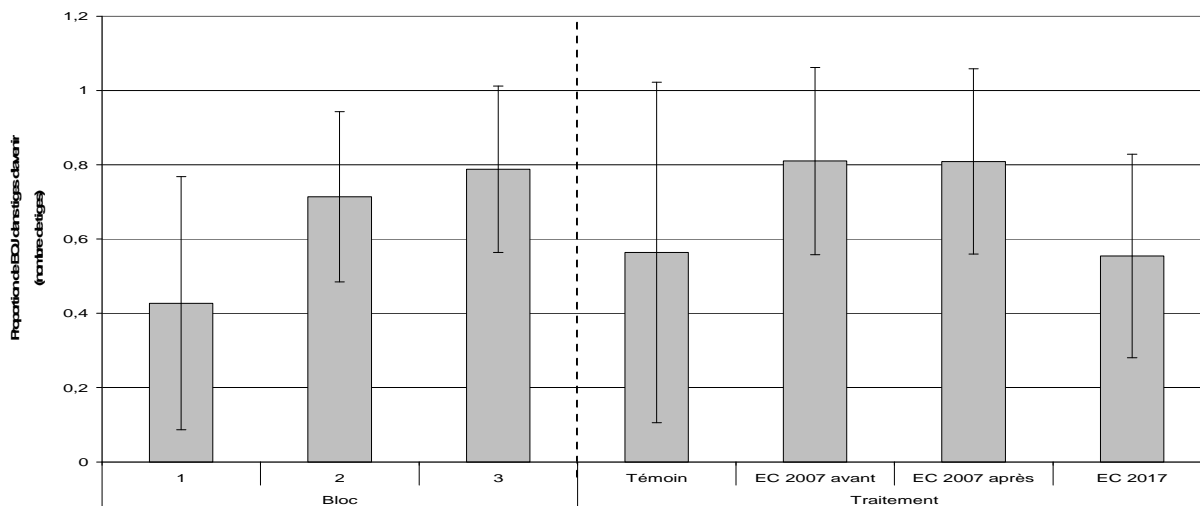


Figure 22 - Proportion de bouleau jaune en nombre de tiges dans les tiges d'avenir par bloc et par traitement

La proportion de bouleau jaune dans les tiges de classes M et S est présentée à la figure 23.

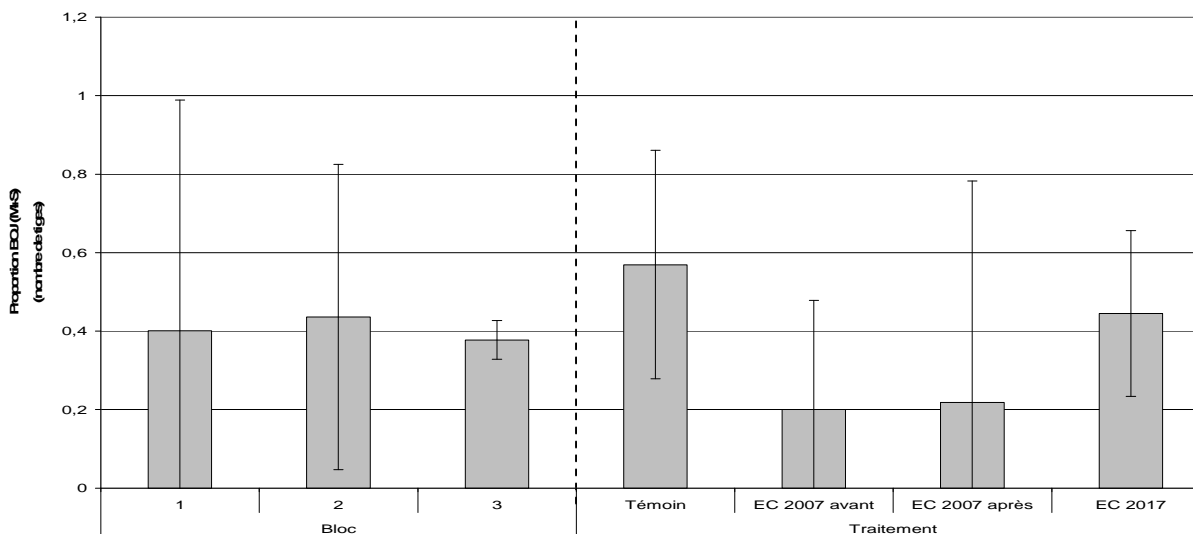


Figure 23 - Proportion de bouleau jaune en nombre de tiges dans les tiges de classes M et S par bloc et par traitement

On voit qu'en moyenne, dans les blocs, environ 40 % des tiges de classes M et S sont des bouleaux jaunes et que cette proportion est relativement uniforme entre les blocs. Par contre, la proportion est beaucoup plus faible dans le traitement initial d'éclaircie 2007, mais pas de façon significative en raison de la variabilité très élevée.

3. DISCUSSION

La réduction de l'accroissement quinquennal en diamètre des tiges de bouleau jaune (figure 19) montre bien l'importance d'intervenir dans ce peuplement afin de maintenir un accroissement optimal. De plus, on remarque que l'éclaircie aurait été bénéfique dès l'âge de 25 ans, ce qui aurait maintenu des accroissements plus élevés.

Le peuplement étudié ici vise à produire environ 200 tiges de très haute qualité avec chacune 4 billes claires de nœuds. En observant les 200 plus belles tiges d'avenir de bouleau jaune actuellement, on constate que ces tiges ont un DHP moyen de 16,7 cm, une hauteur moyenne de 15,6 m et une hauteur sans branche de 6,7 m. En assumant que la présente éclaircie suivie de d'éclaircies subséquentes fréquentes arrivent à maintenir un taux de passage¹² de 5 ans, on peut s'attendre à obtenir un DHP moyen de 40 cm dans environ 50 ans.

De manière générale, le peuplement actuel montre une hauteur sans branche correspondant à près de trois billes claires de nœuds à 35 ans. La faible intensité du prélèvement devrait limiter la descente de cime tout en permettant une meilleure croissance des tiges d'avenir. Toutefois, la relation obtenue entre le DHP et la hauteur sans branche montre une pente négative (figure 17). Cette relation est bien documentée dans la littérature. La hauteur sans branche est inversement proportionnelle à la longueur du houppier qui est un bon estimateur de la capacité de photosynthèse de l'arbre. Il sera intéressant de suivre de plus près cette relation dans le temps afin d'évaluer la combinaison optimale entre la vitesse de croissance et le nombre de billes claires de nœuds.

Comme il avait été avancé dans l'hypothèse 17, la proportion de tiges classées M tend à être plus élevée dans le bloc 2 en haut de la pente. La même tendance est observée pour la proportion de tiges d'hygiène. On peut penser que ces différences sont principalement dues à la position sur la pente puisque les autres caractéristiques comme la densité de tige, le DHP moyen et la hauteur sont similaires entre les blocs. On remarque également que le prélèvement de tiges lors de l'éclaircie ne correspond pas à un assainissement (réduction faible de la proportion de M suite à l'éclaircie), mais bien à un dégagement des tiges d'avenir par le prélèvement de tiges gênantes (figure 13, 14, 15 et 16). L'utilité du classement MSCR sert plutôt de guide complémentaire dans la détermination des tiges d'avenir.

¹² Temps nécessaire à une tige pour changer de classe de diamètre en utilisant comme référence des classes de 2 cm.

CONCLUSION

Cet essai permet de démontrer l'intérêt de l'approche d'ingénierie de la forêt, appliquée à un aménagement équienné dans un peuplement de bouleau jaune, en vue d'une production d'un grand volume de bois de qualité supérieure. Il représente donc un exemple concret de **sylviculture intensive feuillue**. Comme la sylviculture équienné du bouleau jaune à la fin du stade gaulis est encore à ses premières armes, un tel essai sylvicole devient un indicateur de poids dans ce contexte et un outil pertinent dans le cadre de la démarche d'amélioration continue du Manuel d'aménagement forestier.

Bien que les résultats présentés ici sont rassurants en ce qui à trait à la pertinence du projet, seul le suivi de ce dispositif permettra de répondre aux hypothèses émises quant au rendement à moyen et long terme de ce peuplement.

RÉFÉRENCES

LEIBUNDGUT, H., 1987. *Zeitströmungen im schweizerischen Waldbau*. Schweiz. Z. Forstg. 138, 10, 869-879.

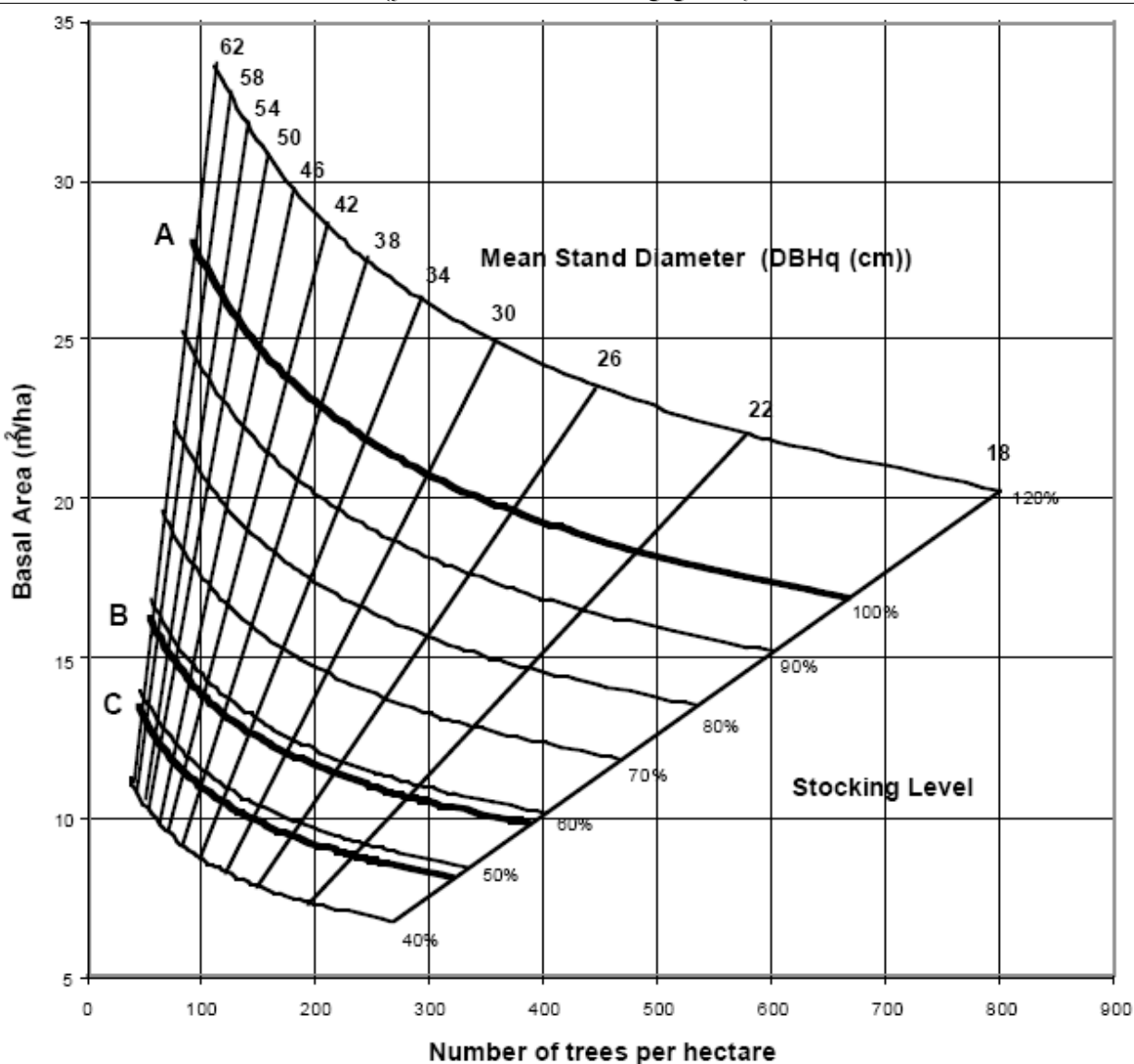
SAS INSTITUTE INC., 2006. *Base SAS 9.1.3. Procedures Guide*, Second Edition, Volumes 1, 2, 3, et 4. Cary, NC : SAS Institute inc.

SCHÜTZ, J.-P., 1990. *Sylviculture 1 : Principes d'éducation des forêts*. Collection Gérer l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes, p. 108-243.

ZARNOVICAN, R., 1998. *Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau jaune: résultats après 10 ans*. Rapport d'information. Centre de foresterie des Laurentides. LAU-X-123F, vii, 19 p.

ANNEXE 1 -

Diagramme de densité pour le bouleau jaune (yellow birch stocking guide)



DBHq (cm)	120%		A Line		90%		80%		70%		B Line		50%		C Line	
	Trees #/ha	BA m²/ha	Trees #/ha	BA m²/ha	Trees #/ha	BA m²/ha	Trees #/ha	BA m²/ha	Trees #/ha	BA m²/ha	Trees #/ha	BA m²/ha	Trees #/ha	BA m²/ha	Trees #/ha	BA m²/ha
18	800	20.3	666	16.9	600	15.2	533	13.5	466	11.8	387	9.8	333	8.5	320	8.1
22	581	22.0	484	18.3	436	16.5	388	14.7	339	12.8	281	10.6	242	9.2	233	8.8
26	446	23.6	372	19.6	334	17.7	297	15.7	260	13.8	215	11.4	186	9.8	178	9.4
30	355	25.0	296	20.8	266	18.8	237	16.7	207	14.6	172	12.1	148	10.4	142	10.0
34	291	26.3	243	21.9	218	19.7	194	17.5	170	15.4	141	12.7	121	11.0	116	10.5
38	244	27.5	203	23.0	183	20.7	163	18.4	142	16.1	118	13.3	102	11.5	98	11.0
42	208	28.7	173	23.9	156	21.5	139	19.1	121	16.7	101	13.9	87	12.0	83	11.5
46	180	29.8	150	24.8	135	22.3	120	19.9	105	17.4	87	14.4	75	12.4	72	11.9
50	158	30.8	131	25.7	118	23.1	105	20.5	92	18.0	76	14.9	66	12.8	63	12.3
54	140	31.8	116	26.5	105	23.9	93	21.2	81	18.6	67	15.4	58	13.3	56	12.7
58	125	32.8	104	27.3	93	24.6	83	21.8	73	19.1	60	15.8	52	13.6	50	13.1
62	112	33.7	93	28.1	84	25.2	75	22.4	65	19.6	54	16.3	47	14.0	45	13.5