PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU FORESTIER

RAPPORT FINAL – VOLET 1

L'application de différents traitements d'éclaircie commerciale dans les peuplements mixtes à dominance de bouleau à papier

Présenté à :

Damien Allard, ing.f.
Alain Bédard, tech.for.
Industries John Lewis Ltée.

Par :

Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
Tadek Rycabel, ing.f., M.Sc.
Anick Patry, ing.f.

CERFO
Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Juin 2000

© CERFO 2000-10

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES i
LISTE DES TABLEAUX iii
LISTE DES FIGURES iv
PARTENAIRES v
REMERCIEMENTS vi
RÉSUMÉ vii
INTRODUCTION viii

1. REVUE DE LA LITTÉRATURE – ÉCLAIRCIE COMMERCIALE ET BOULEAU À PAPIER 1
1.1 Le bouleau à papier 1
1.1.1 Caractéristiques autécologiques *1*
1.1.2 Enracinement *2*
1.1.3 Sites optimaux *2*
1.2 Bétulaies aptes à subir une éclaircie 4
1.2.1 Courbes d'indice de qualité de station *5*
1.2.2 Guides de densité *6*
1.2.3 Diagramme de gestion de la densité *10*
1.3 Types d'éclaircies commerciales 13
1.3.1 Éclaircie par le bas *14*
1.3.2 Éclaircie par le haut *14*
1.3.3 Éclaircie sélective *15*
1.3.4 Éclaircie mécanique *15*
1.3.5 Éclaircie libre ou mixte *16*
1.3.6 Éclaircie d'étalement *16*
1.4 Effets des éclaircies sur le peuplement 17
1.4.1 Le dépérissement *17*
1.4.2 L'insolation des tiges *20*
1.4.3 Susceptibilité aux blessures et à la carie *20*
1.4.4 Influence des opérations sur le niveau de blessures *22*
1.4.5 La croissance *22*
1.5 Recommandations 24
1.5.1 Peuplements aptes à l'éclaircie *24*
1.5.2 Type d'éclaircie *25*
1.5.3 Période d'opérations et machinerie *25*

2. OBJECTIFS 27

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES 28
3.1 Traitements évalués 28
3.1.1 Éclaircie commerciale conventionnelle (EC) *28*
3.1.2 Éclaircie commerciale d'étalement (ECE) *30*
3.2 Dispositif expérimental 31
3.2.1 Description du territoire *31*
3.2.2 Choix du secteur *31*
3.2.3 Inventaire préliminaire *32*
3.2.4 Délimitation *32*
3.2.5 Portrait général *33*
3.2.6 Par bloc *35*
3.2.7 Par type d'intervention *37*
3.3 Réalisation des opérations de récolte 39
3.4 Inventaire après intervention 40

3.5 Suivi des tiges d'avenir 40
3.5.1 Choix des tiges 40
3.5.2 Paramètres mesurés lors du suivi 40
3.6 Analyses statistiques 41

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION 42
4.1 Opérations de récolte 42
4.1.1 Éclaircie commerciale conventionnelle (EC) 42
4.1.2 Éclaircie commerciale d'étalement (ECE) 43
4.1.3 Comparaison des traitements 45
4.2 Portrait des tiges d'étude choisies pour le suivi 47
4.2.1 Portrait des tiges d'avenir par classe de DHP 47
4.2.2 Analyse de variance 49

CONCLUSION 50

BIBLIOGRAPHIE 51

ANNEXES

Figure 1A - Éclaircie commerciale dans la bétulaie blanche à sapin – Site d'étude

Figure A2 - Éclaircie commerciale dans la bétulaie blanche à sapin – Dispositif expérimental

Figure A3 - Bouleau à papier d'avenir

Figure A4 - Peuplement résiduel exceptionnellement dense en bouleau à papier

Tableau A.1 - Intervalle des classes pour les variables de compilation

Tableau A.2 - Surface terrière et densité moyennes selon les blocs et les traitements, par essence

Tableau A.3 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par bloc et par traitement – moyenne et intervalle de confiance

Tableau A.4 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par traitement et par classe de diamètre – moyenne et intervalle de confiance

Tableau A.5 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par bloc et par classe de diamètre – moyenne et intervalle de confiance

Tableau A.6 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par bloc, par traitement et par classe de diamètre – moyenne et intervalle de confiance

Tableau A.7 - Nombre de tiges d'avenir mesurées par bloc, par traitement et par classe de diamètre

Tableau A.8 - Tiges d'avenir disparues ou déclassées, par bloc

Tableau A.9 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par bloc

Tableau A.10 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par traitement

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Caractéristiques sylvicoles du bouleau à papier 2

Tableau 2 - IQS moyen à 50 ans du bouleau à papier observé en Nouvelle-Angleterre sur différents dépôts 5

Tableau 3 - Nombre de tiges à conserver lors des éclaircies en fonction du diamètre moyen du peuplement (d'après les guides de densité du nord-est américain) 10

Tableau 4 - Principaux points à tenir en compte lors de la planification des éclaircies dans les bétulaies blanches 26

Tableau 5 - Caractéristiques dendrométriques moyennes pour l'ensemble du dispositif 33

Tableau 6 - Répartition de la surface terrière, par essence, selon la classe de vigueur pour l'ensemble du dispositif 34

Tableau 7 - Répartition du volume moyen, par essence, selon la classe de qualité pour l'ensemble du dispositif 35

Tableau 8 - Caractéristiques dendrométriques moyennes pour le bouleau à papier, par bloc 36

Tableau 9 - Surface terrière et proportion moyenne, par essence, retrouvée dans les blocs 37

Tableau 10 - Caractéristiques dendrométriques moyennes pour le bouleau à papier, par type d'intervention 38

Tableau 11 - Surface terrière moyenne et proportion moyenne, par essence, selon les traitements 39

Tableau 12 - Portrait des peuplements traités par éclaircie commerciale conventionnelle, avant et après coupe 42

Tableau 13 - Répartition par essence de la surface terrière selon la classe de vigueur après coupe pour les peuplements traités par éclaircie commerciale conventionnelle 42

Tableau 14 - Sommaire des blessures du peuplement après coupe dans le traitement d'éclaircie commerciale conventionnelle 43

Tableau 15 - Portrait des peuplements traités par éclaircie commerciale d'étalement, avant et après coupe 44

Tableau 16 - Répartition par essence de la surface terrière selon la classe de vigueur après coupe pour les peuplements traités par éclaircie commerciale d'étalement 44

Tableau 17 - Sommaire des blessures du peuplement après coupe dans le traitement d'éclaircie commerciale d'étalement 45

Tableau 18 - Caractéristiques dendrométriques moyennes des tiges d'avenir pour l'ensemble du dispositif – moyenne et intervalle de confiance 47

Tableau 19 - Caractéristiques dendrométriques moyennes des tiges d'avenir, par classe de diamètre - moyenne et intervalle de confiance 48

Tableau 20 - Analyse de variance effectuée sur la distribution et la densité de semis 49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Illustration des tables de rendement moyennes du bouleau à papier en peuplements purs et réguliers 3

Figure 2 - Abaque de prédiction de la hauteur dominante en fonction de l'âge à 1 mètre et de l'indice de qualité de station à 50 ans 6

Figure 3 - Exemple de guide de densité conçu pour les feuillus durs du centre des Etats-Unis 7

Figure 4 - Méthode d'utilisation d'un diagramme de densité 8

Figure 5 - Guide de densité des bétulaies blanches créé pour le nord-est américain 9

Figure 6 - Guide de gestion de la densité pour les pessières noires (version préliminaire) 11

Figure 7 - Illustration du prélèvement effectué selon différents systèmes d'éclaircie 13

Figure 8 - Taux de dépérissement en fonction des profondeurs d'enracinement chez le bouleau à papier 18

Figure 9 - Prédiction du pourcentage de dépérissement d 'un peuplement par arbre de regression (intervalle de confiance entre parenthèses, n = nombre d 'observations) 19

Figure 10 - Méthodologie adoptée pour l'identification des tiges d'avenir dans la coupe d'éclaircie conventionnelle 29

Figure 11 - Méthodologie adoptée pour le martelage des tiges dans la coupe d'éclaircie d'étalement 31

Figure 12 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par bloc 36

Figure 13 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par type d'intervention 38

Figure 14 - Comparaison de différentes variables dendrométriques avant et après coupe pour les deux traitements d'éclaircie 46

Figure 15 - Évolution des paramètres mesurés selon la classe de diamètre 48

PARTENAIRES

DÉTENTEUR DE CAAF

- **Industries John Lewis Ltée.**
  M. Damien Allard, ing.f.

PROMOTEUR PRÉSENTANT LE PROJET

- **Gestion Rémabec inc.**
  M. Alain Bédard, tech.for.

PARTENAIRES DU PROJET

- **Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO)**
  M. Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
  M. Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
  M. Tadek Rycabel, ing.f., M.Sc.
  Mme Anick Patry, ing.f.
  M. Martin Bélanger, tech. for.
  Mme Geneviève Daigle, tech.for.

- **Ministère des Ressources naturelles du Québec**
  M. René Gagné, ing.f.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet de recherche a été rendu possible grâce à la collaboration et à l'engagement financier des Industries John Lewis inc et de la compagnie Gestion Rémabec inc. Spécialement, nous voulons remercier Monsieur Alain Bédard qui a contribué à la recherche des secteurs d'étude, à la planification et au bon déroulement des prises de mesure sur le terrain.

Nous désirons également remercier le personnel du MRN, qui a appuyé la demande et permis la mise sur pied d'un dispositif visant à comparer l'effet de différents types d'éclaircies sur la croissance des peuplements mixtes à dominance de bouleau à papier. Monsieur René Gagné mérite ici d'être mentionnés.

Enfin, nous remercions l'équipe du technique du CERFO ainsi que Mme Annie Lelièvre pour le traitement de texte et Mme Claire Demers pour la révision de ce rapport.

RÉSUMÉ

Dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune, plusieurs peuplements à dominance de bouleau à papier présentent une structure équienne où la majorité des tiges de vigueur I est comprise dans les petits et moyens diamètres, ce qui pose un certain questionnement quant à la façon de les traiter. Dans ces peuplements, les éclaircies commerciales peuvent constituer une alternative intéressante pour accélérer la croissance des tiges présentant de faibles diamètres.

Le Manuel d'aménagement propose deux types d'éclaircie commerciale pour les peuplements destinés à la production prioritaire de bouleau à papier : l'éclaircie commerciale et l'éclaircie commerciale d'étalement. Le présent projet vise à comparer l'effet de ces deux types d'éclaircies sur la croissance des tiges résiduelles et à déterminer le type de prélèvement qui minimise le dépérissement des tiges laissées sur le parterre de coupe. Pour ce, un dispositif a été instauré en 1999 dans une bétulaie blanche à sapin à dominance feuillue. Les résultats obtenus démontrent que les deux types d'intervention, tout en ayant un taux de prélèvement semblable, ont engendré peu de différences quant aux proportions de tiges vigoureuses et non vigoureuses présentes après la coupe. L'éclaircie commerciale d'étalement semble toutefois avoir entraîné une plus forte diminution de la proportion de tiges de bouleau à papier de vigueur I.

INTRODUCTION

Dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune, plusieurs peuplements à dominance de bouleau à papier présentent une structure équienne où la majorité des tiges de vigueur I se situe dans les petits et moyens diamètres. Dans ces peuplements, l'âge d'exploitabilité est théoriquement atteint mais les tiges de qualité sont souvent à la limite du diamètre d'utilisation pour la production de bois d'œuvre, la fonction prioritaire retenue étant le bouleau à papier.

Étant donné les possibilités restreintes de ces peuplements pour la production de tiges de qualité sciage et déroulage, plusieurs interrogations se posent quant à la façon de les traiter. En effet, le bouleau à papier est une espèce intolérante à l'ombre et forme des peuplements de structure équienne qui favorisent le développement des tiges avec un maximum de lumière. Comme traitements admissibles dans ces strates, le manuel d'aménagement propose une coupe partielle appelée éclaircie commerciale feuillue ou mixte dont la suite logique est une coupe de régénération. Des questions demeurent cependant face à l'application de ce traitement, notamment quant au pourcentage de tiges vigoureuses et déjà de qualité sciage à obtenir après coupe, au nombre de tiges nécessaires à la constitution future d'un peuplement de qualité optimale, à l'effet réel sur l'optimisation de la croissance, au risque de dépérissement causé par la perturbation d'une coupe forestière ainsi qu'au pourcentage idéal de prélèvement.

Le présent projet vise à comparer l'application et les effets à court et moyen terme de deux types d'éclaircies commerciales pratiquées dans un peuplement mixte à dominance de bouleau à papier, soit l'éclaircie commerciale conventionnelle et l'éclaircie commerciale d'étalement. Dans ce rapport, une comparaison des prélèvements effectués selon le type d'éclaircie pratiquée de même que le portrait des tiges choisies pour le suivi sont présentés. Ces observations serviront de base pour le suivi qui sera réalisé au cours des prochaines années.

1. REVUE DE LA LITTÉRATURE – ÉCLAIRCIE COMMERCIALE ET BOULEAU À PAPIER

1.1 LE BOULEAU À PAPIER

1.1.1 Caractéristiques autécologiques

Le bouleau à papier est une espèce pionnière, intolérante à l'ombre, présente dans tous les domaines bioclimatiques du Québec. Il forme des peuplements purs ou mixtes tout dépendant de la perturbation à l'origine du peuplement.

Les peuplements purs de bouleau à papier se rencontrent fréquemment dans les zones ayant subi des perturbations majeures, telles que les feux ou la coupe. Ces peuplements sont par la suite peu à peu remplacés par des peuplements climaciques bien que certaines tiges de bouleau puissent être conservées dans les ouvertures (Safford *et al.*, 1990; Sims *et al.*, 1990, Leak, 1987, Hyvarinen, 1968). On retrouve également le bouleau à papier dans les peuplements d'essences tolérantes, où il profite des trouées pour s'établir suite aux chablis ou à la mortalité naturelle (Simard, 1996).

En milieu ouvert, le taux de croissance du bouleau à papier est rapide en jeune âge, avec une période de croissance maximale entre 10 et 20 ans (Crcha, 1991). Cette croissance accélérée se poursuit par la suite, particulièrement sur les stations riches, où il démontre une bonne capacité à exploiter les éléments nutritifs du sol (Chapin *et al.*, 1983).

La mortalité est forte dans les jeunes peuplements de bouleau et pour survivre, les jeunes tiges doivent rapidement exprimer leur dominance (Safford *et al.*, 1990; Sims *et al.*, 1990). Aussi, dans les forêts plus au nord, là où il croît en association avec le peuplier faux-tremble, il doit rapidement s'élever au-dessus des autres tiges sous peine de disparaître (Laflèche *et al.*, 1998; Sims *et al.*, 1990). Les tiges de classe intermédiaire peuvent généralement survivre pendant un certain temps sous le couvert mais succombent graduellement après avoir démontré de très faibles taux de croissance (Safford *et al.*,1990).

Le bouleau à papier a une faible longévité en comparaison avec les autres espèces feuillues du Québec : entre 100 et 200 ans, tout au plus (Hornbeck et Leak, 1990). La maturité physiologique des arbres est atteinte entre 60 et 90 ans et la vigueur et la qualité des tiges commencent alors à décroître (Safford, 1983). Les tiges issues de rejets ont une durée de vie plus courte (70 à 90 ans) avec une maturité atteinte dès l'âge de 50 ans (Marquis *et al.*, 1969). Chez les bouleaux surannés, un dépérissement graduel de la cime est fréquemment noté (Greenidge, 1953).

Le bouleau à papier forme peu de grosses branches et de nombreuses branches courtes (Crow et Blanks, 1978). Les arbres croissant en milieu forestier possèdent généralement une meilleure forme et sont plus hauts que ceux établis en milieu ouvert. Ainsi, dans les peuplements denses, le bouleau à papier s'élague naturellement et développe un tronc avec peu de nœuds, alors que dans les peuplements de faible densité, les tiges développent des cimes larges qui limitent la longueur de la bille marchande (Cooley, 1962). À ce sujet, il a été observé que le défilement, la grosseur

des branches et la dimension de la cime vivante des bouleaux européens étaient diminués dans les peuplements plus denses (Niemisto, 1995). La formation de branches adventives est par ailleurs un phénomène fréquemment observé sur les individus faibles ou exposés à la lumière lors des coupes (Safford *et al.*, 1990).

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques sylvicoles du bouleau à papier.

Tableau 1 - Caractéristiques sylvicoles du bouleau à papier

Tolérance à l'ombre	*Croissance en hauteur en jeune âge*	*Durée de vie moyenne (ans)*	*Exigence de croissance*	*Élagage naturel*	*Intervalle entre les bonnes années semencières*	*Vigueur des rejets*	*Germination retardée*
Intolérant	Rapide	100-200	Moyenne	Bon	2	Modérée	Aucune[1]

[1] D'après les connaissances actuelles

Adapté de Hornbeck et Leak (1992)

1.1.2 Enracinement

Le sytème racinaire du bouleau à papier est formé d'un réseau de racines de surface et de racines latérales pénétrant plus en profondeur (Safford *et al.*, 1990). L'enracinement de cette espèce est généralement superficiel et se limite aux premiers 60 cm du sol (Safford *et al.*, 1990). On en retrouve cependant la plus forte concentration dans les 20 à 30 premiers centimètres du sol (Sims *et al.*, 1990). Les profondeurs d'enracinement varient d'un individu à l'autre et d'un peuplement à l'autre, selon la profondeur du dépôt (Safford *et al.*, 1990). Dans les conditions difficiles, les racines du bouleau s'adaptent aisément et celui-ci développe alors un système racinaire dense et superficiel (Perala et Alm, 1990).

Les racines du bouleau à papier sont sensibles à une augmentation de la température et à la compaction du sol. Une perturbation, comme une coupe partielle, peut par conséquent entraîner une forte mortalité des radicelles (Sims *et al.*, 1990).

1.1.3 Sites optimaux

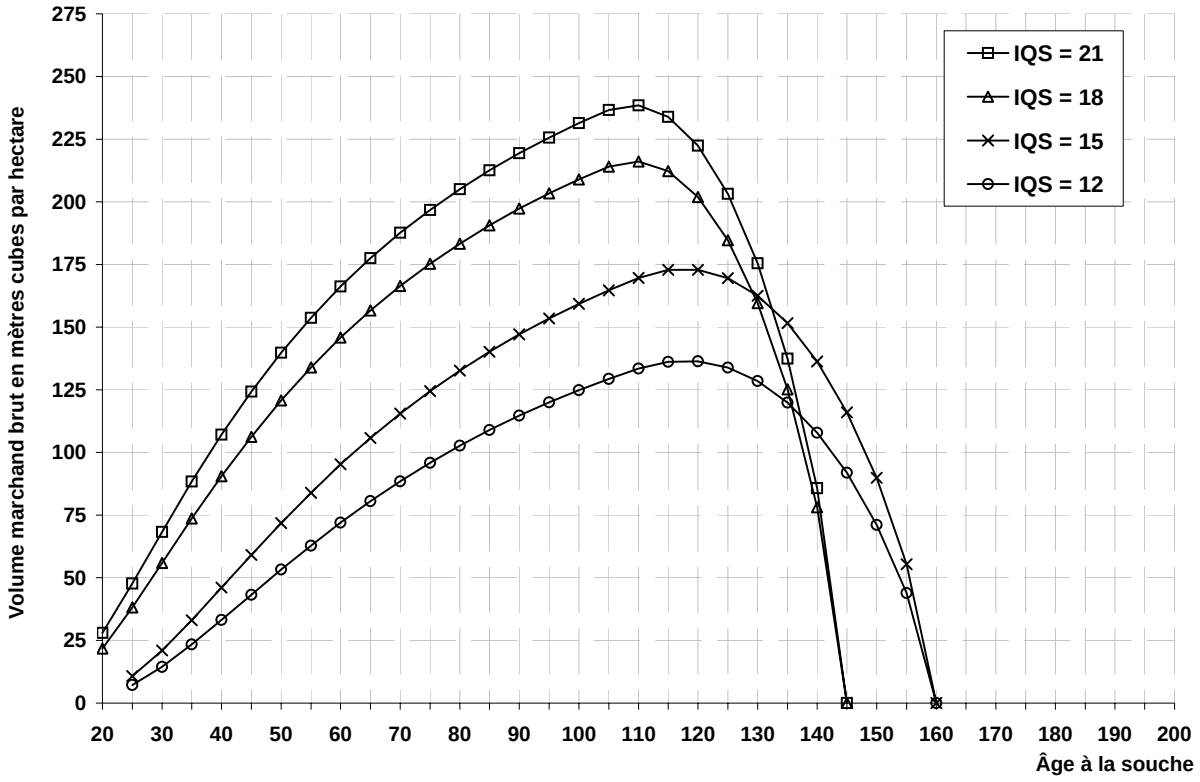
Le bouleau croît sur des sites variés de toutes textures et de toutes positions topographiques (Leak, 1987; Safford *et al.*, 1990; Safford, 1983), mais est sensible à la sécheresse et aux excès d'eau dans le sol (Jobidon, 1995). Il préfère les sols loameux profonds, frais et bien drainés (Safford *et al.*, 1990; Sims *et al.*, 1990).

La croissance juvénile du bouleau semble proportionnelle à la disponibilité en eau du sol (Simard, 1996). Aussi, les sites démontrant un mauvais drainage ou encore ceux présentant un drainage très rapide sont considérés comme les sites montrant les plus faibles croissances (Safford *et al.*, 1990). On le retrouve cependant plus fréquemment sur stations sèches que sur stations hygriques (Marquis *et al.*, 1969).

Au Québec, le bouleau à papier est principalement associé aux stations présentant des textures moyennes ou grossières où le drainage varie de bon à imparfait (Jobidon, 1995). Il en est de même en Ontario, où le bouleau à papier est retrouvé sur les stations dont le drainage varie de bon à imparfait (Sims *et al.*, 1990).

À maturité, le bouleau atteint une hauteur moyenne de 21 m et un diamètre moyen variant entre 25 et 30 cm. Les observations faites au Wisconsin (érablière à bouleau jaune) indiquent que le bouleau à papier peut atteindre des dimensions de 50 cm de dhp sans qu'aucune détérioration sérieuse ne vienne affecter la qualité des tiges (Cooley,1962).

Les volumes moyens produits par les peuplements purs de bouleau à papier âgés de 50 ans varient entre 53 et 140 m³/ha, selon la qualité du site (MRNQ, 1998b) (figure 1). En Alaska, en Ontario et en Nouvelle-Angleterre, les peuplements mûrs croissant sur sites riches peuvent atteindre des volumes de 230 à 270 m³/ha, alors que sur les sites plus pauvres les volumes oscillent entre 100 et 185 m³/ha (Safford *et al.*, 1990).



Tiré de MRNQ (1998b)

Figure 1 - Illustration des tables de rendement moyennes du bouleau à papier en peuplements purs et réguliers

1.2 BÉTULAIES APTES À SUBIR UNE ÉCLAIRCIE

Les éclaircies commerciales peuvent aider à créer des conditions de pleine lumière qui favorisent une croissance rapide des tiges de bouleau (Peterson *et al.*, 1997). Selon Prégent (1998), l'éclaircie procure plusieurs avantages. D'une part, elle permet de récupérer le volume qui serait autrement perdu par mortalité, particulièrement sur stations fertiles, et d'autre part, elle amène une augmentation de la croissance de tiges résiduelles en réduisant la compétition et favorisant le développement racinaire des arbres. En contrepartie, l'éclaircie peut favoriser le développement de plus grosses branches et engendrer une plus grande proportion de cime vivante. De plus, si peu de précautions sont prises, elle peut causer des dommages aux tiges résiduelles. Cependant, lorsqu'elles sont faites consciencieusement, les éclaircies peuvent diminuer les rotations de 10 à 20 ans, selon la qualité du site et les produits désirés (Ohman *et al.*, 1978).

Les éclaircies pratiquées dans les peuplements feuillus peuvent permettre l'atteinte de plusieurs objectifs (Erdmann, 1987) :

1) accroître la croissance en diamètre et la qualité des tiges d'avenir;
2) diminuer les rotations pour la production de sciage et de déroulage;
3) améliorer la qualité et la composition du peuplement en ôtant les espèces indésirables, les billes de faible qualité et les arbres malades;
4) augmenter la production totale du peuplement en récoltant les tiges qui autrement mourraient.

Aussi, pour qu'elles soient rentables, elles ne devraient être pratiquées que dans les peuplements possédant un indice de qualité de station supérieur à 16,5 m à 50 ans.

Le but de l'éclaircie est de constituer un houppier de longueur suffisante (1/3 à ½ H) pour permettre une meilleure croissance radiale (Cameron, 1996; Schütz, 1990). Pour atteindre cet objectif, l'éclaircie doit être pratiquée de façon à ce que le peuplement réagisse bien à l'intervention. À ce sujet, il a été constaté que la réaction de la cime à des intervalles d'éclaircie était d'autant meilleure que la croissance en hauteur était active (Schütz, 1990).

L'éclaircie ne s'effectue pas à un âge donné mais bien à un degré de compétition donné (Prégent, 1998). Aussi, l'âge d'intervention varie généralement selon l'essence, la qualité de station et la densité. Il y a cependant grand intérêt à pratiquer les éclaircies en jeune âge afin que les tiges soient capables de réagir à l'ouverture du couvert et de mieux supporter les effets perverses de l'exploitation (Shütz, 1990).

Chez le bouleau à papier, les éclaircies commerciales peuvent débuter en jeune âge car la maturité des tiges survient relativement rapidement. Conséquemment, dès que le peuplement a atteint des dimensions commerciales, il peut être éclairci (Marquis *et al.*, 1969), tout en demeurant conscient que les tiges de cette essence répondent rarement aux éclaircies passé l'âge de 60 ans (Gilbert et Jensen, 1958 *dans* Godman et Marquis, 1969). Actuellement, ce type d'intervention est utilisé dans les bétulaies dans le but de réduire la compétition et d'établir un espacement approprié des tiges d'avenir dans l'attente d'interventions qui permettront un prélèvement optimal en produits commerciaux (Safford, 1983).

Plusieurs outils peuvent être utilisés lorsque vient le temps de déterminer si, à un âge donné, un peuplement est prêt à être éclairci. Ces outils incluent les courbes de qualité de station, les guides de densité et les diagrammes de gestion de densité.

1.2.1 Courbes d'indice de qualité de station

Avant d'utiliser l'un ou l'autre des modèles d'éclaircie, la qualité du site doit d'abord être déterminée (Vuokila, 1983). En effet, plus une station est riche et le degré de compétition élevée, plus l'éclaircie devra être hâtive (Prégent, 1998).

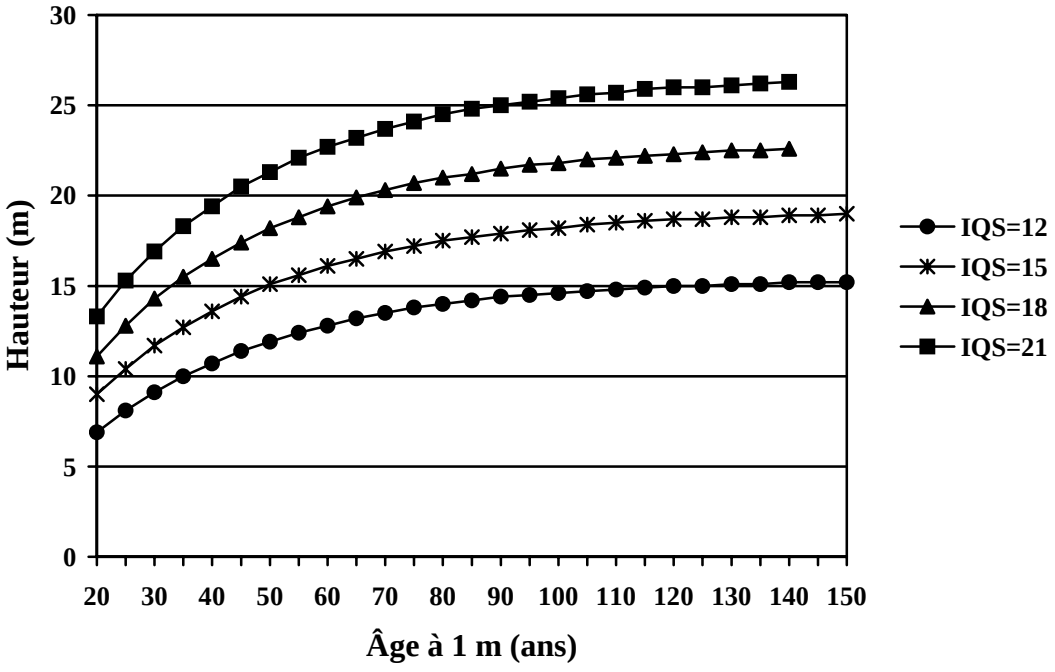
L'indice de qualité de station correspond à la hauteur mesurée ou estimée d'un arbre dominant ou codominant à l'âge de 50 ans. Cet indice est un bon indicateur de la productivité potentielle du site (Safford, 1983; Laidly, 1980) et varie selon la nature du dépôt, tel que démontré au tableau 2 (Leak, 1978 *dans* Hornbeck et Leak, 1992). Des indices de qualité de site de 18 m et plus sont généralement considérés appropriés pour une sylviculture intensive du bouleau à papier orientée vers la production de billes de sciage et de déroulage (Safford, 1983; Ohman *et al.*, 1978).

Tableau 2 - IQS moyen à 50 ans du bouleau à papier observé en Nouvelle-Angleterre sur différents dépôts

Dépôt	***Hauteur (m)***
Roc	17,1
Till compact humide	16,5 ± 0,9
Till compact sec	21,3
Sédiments loameux	18,9 ± 0
Sédiments sableux	20,7 ± 0,6
Till délavé fin	20,1 ± 1,5
Till grossier	20,1 ± 0,6
Till fin	23,5
Dépôt enrichi en sédiments	22,6 ± 1,8

Adapté de Leak (1978) *dans* Hornbeck et Leak (1992)

Plusieurs courbes de qualité de station ont été construites au Canada et aux Etats-Unis pour évaluer la croissance du bouleau à papier sur différents sites pour les régions des Grands Lacs (Laidly, 1980), du nord du Michigan et du Wisconsin (Carmean, 1978 ; Cooley, 1962), de l'Ontario (Plonski, 1981), de la Nouvelle-Angleterre (Curtis et Post, 1958 *dans* Safford, 1983) et du Québec (Pothier et Savard, 1998, *dans* MRNQ, 1998b). Des toutes les courbes consultées, celle de Pothier et Savard (1998) (figure 2) est celle s'appliquant le mieux aux peuplements de bouleau à papier retrouvés dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune.



D'après Pothier et Savard (1998)

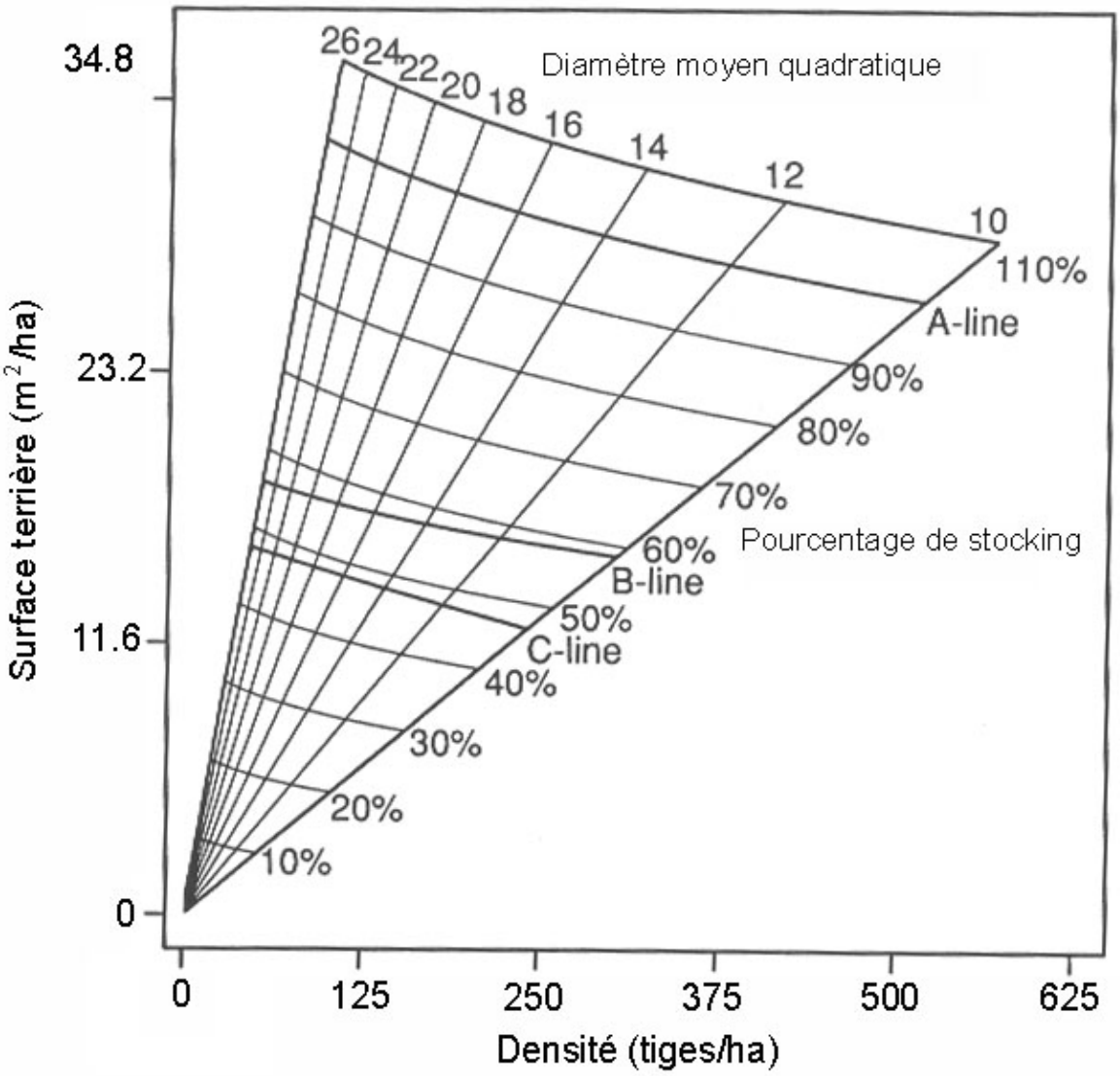
Figure 2 - Abaque de prédiction de la hauteur dominante en fonction de l'âge à 1 mètre et de l'indice de qualité de station à 50 ans

1.2.2 Guides de densité

Les mesures de densités sont importantes dans la planification des éclaircies. En effet, une combinaison correcte entre la densité relative et la structure résiduelles du peuplement peuvent amener des croissances améliorées tant sur le plan individuel qu'au niveau de l'ensemble du peuplement (Stout, 1987). La densité relative d'un peuplement est un concept important car elle reflète l'espace dont un arbre dispose pour sa croissance. Ainsi, à mesure que l'arbre croît, l'acquisition d'espace supplémentaire ne peut se faire que par la mortalité des tiges les plus faibles.

Des guides de densité ont été créés afin de faciliter la tâche des aménagistes et de déterminer une densité optimale à atteindre qui réduise au minimum la mortalité dans le peuplement (figure 3). Ces guides montrent les relations qui existent entre le diamètre moyen quadratique, le nombre de tiges et la surface terrière d'un peuplement, et s'appliquent aux tiges du couvert dominant (Safford, 1983; Solomon, 1970).

Les guides de densité sont largement utilisés aux Etats-Unis parce qu'ils ne sont pas significativement influencés par la qualité du site, l'âge ou la structure du peuplement (Gingrich, 1967). L'avantage de tels guides est de considérer la diminution de densité naturelle qui survient à mesure que la surface terrière augmente lors du développement du peuplement (Stout, 1987).



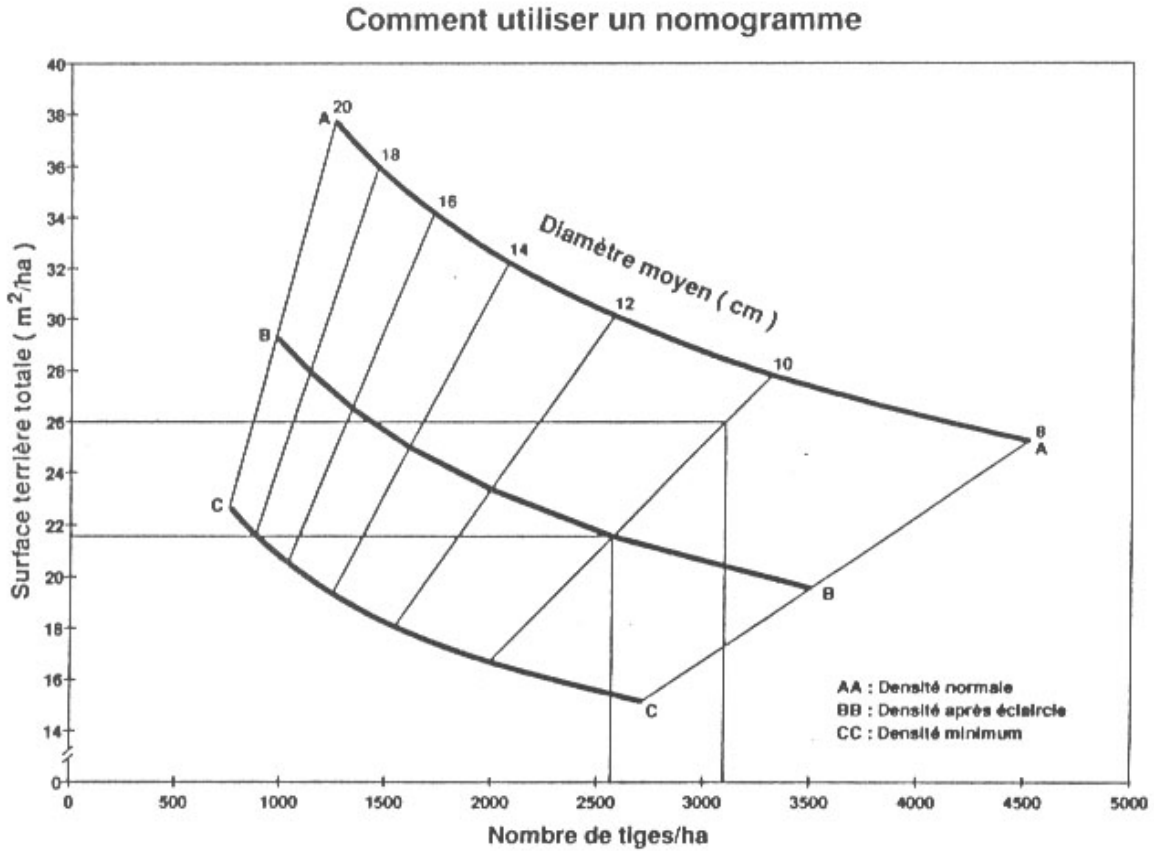
Adapté de Gingrich (1967)

Figure 3 - Exemple de guide de densité conçu pour les feuillus durs du centre des Etats-Unis

D'après des observations faites à partir de ces guides, il a été estimé que de façon générale la croissance en surface terrière était maximisée à 50 % de densité relative, que les branches adventives devenaient importantes à 60 % de densité ou moins, et que la mortalité survenait lorsque la densité dépassait 80 % (Stout, 1987). Dans la planification des éclaircies, ces guides s'utilisent de la façon décrite à la figure 4 (Bolghari, 1990) où la recherche d'une densité

correspondant au niveau BB doit être atteinte. Il est à noter que les figures 3 et 4 n'ont pas été conçues pour les bétulaies et que les densités qui y sont décrites ne s'appliquent pas aux peuplements de bouleau à papier retrouvés sous nos latitudes.

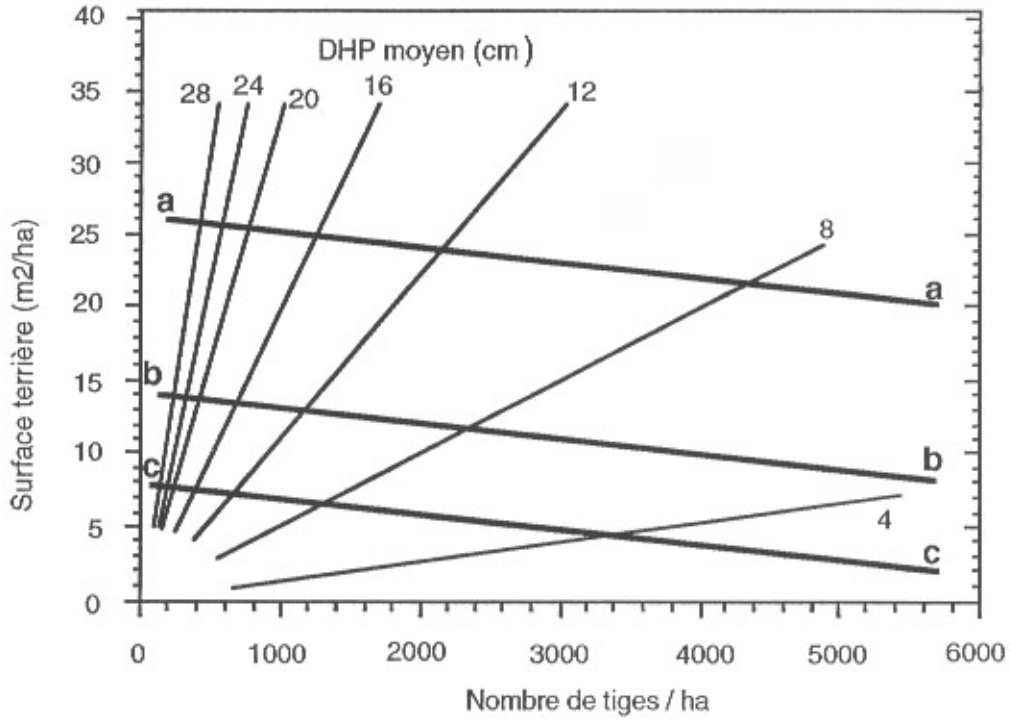
De façon à réduire la densité des tiges au niveau montré par le diagramme, le choix des tiges à éliminer doit d'abord être fait parmi les tiges ne faisant pas partie du couvert dominant, et ensuite parmi les tiges de faible qualité ou nuisant à la croissance des tiges résiduelles (Marquis *et al.*, 1969).



Tiré de Bolghari (1990)

Figure 4 - Méthode d'utilisation d'un diagramme de densité

Aux Etats-Unis, des guides de densité ont été construits dans les années 60 et 70 pour les peuplements purs de bouleau à papier (figure 5). Dans ces guides, le niveau A représente la densité d'un peuplement naturel non aménagé et pleinement stocké (Safford, 1983). Les peuplements entre les niveaux A et B doivent être considérés bien stockés, ceux entre B et C doivent être considérés légèrement sous-stockés et ceux sous le niveau C sont largement sous-stockés (Marquis *et al.*, 1969).



Tiré de Meek (1992) d'après Safford (1983)

Figure 5 - Guide de densité des bétulaies blanches créé pour le nord-est américain

Tel que mentionné précédemment, la planification des éclaircies à l'aide du guide de la figure 5 devrait être faite de façon à ce que les densités soient réduites au niveau B afin d'assurer une croissance maximale et une faible mortalité (Safford, 1983; Marquis *et al.*, 1969). Au-dessous de ce niveau, les tiges ne peuvent utiliser de façon optimale tout l'espace laissé par le dégagement et la croissance globale du peuplement en est réduite (Marquis *et al.*, 1969).

Le niveau C du guide représente le point où 10 ans de croissance séparent le peuplement actuel du niveau B (Marquis *et al.*, 1969). On doit généralement éviter de réduire la densité au niveau C pour ne pas permettre aux espèces plus tolérantes établies en sous-étage d'envahir le site (Safford, 1983).

De ce graphique, il est possible de faire ressortir quelques densités qui correspondent au nombre minimal de tiges à conserver dans un peuplement éclairci selon le diamètre moyen pour exploiter le site de façon optimale (tableau 3).

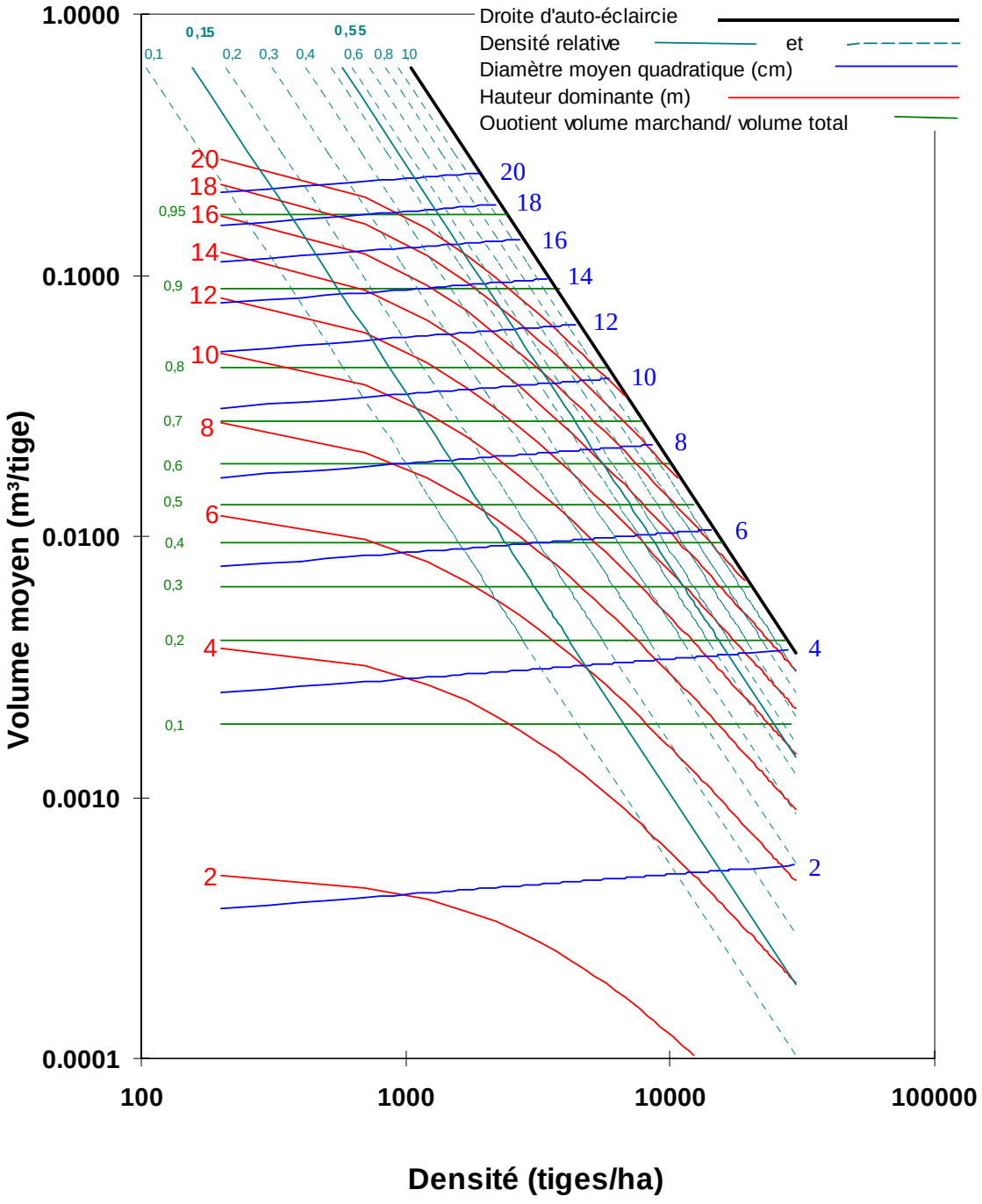
Tableau 3 - Nombre de tiges à conserver lors des éclaircies en fonction du diamètre moyen du peuplement (d'après les guides de densité du nord-est américain)

Diamètre moyen (cm)	*Nombre de tiges à conserver (ti/ha)*
16	750
20	400
28	200

En Finlande, les guides de densité construits suivent les mêmes patrons que les guides américains (Vuokila, 1983). On y distingue deux modèles de guides : ceux basés sur le volume et ceux basés sur la surface terrière et la qualité de la station. Les modèles basés sur la surface terrière sont semblables aux guides de densité américains, c'est-à-dire qu'on y distingue des courbes précisant les densités à conserver pour maximiser l'utilisation du site (niveaux A, B et C). Ces sont les plus utilisés en raison de la faciliter à déterminer la surface terrière d'un peuplement. Les guides basés sur le volume poursuivent les mêmes buts que ceux basés sur la surface terrière et permettent d'évaluer les volumes retirés lors des éclaircies.

1.2.3 Diagramme de gestion de la densité

Selon Leak (1981), les guides de densité doivent être considérés avec suspicion parce qu'ils ne considèrent pas la compétition pour les éléments nutritifs, et que, justement, les accroissements en volume sont le résultat d'une interaction entre la densité du peuplement et la qualité du site. Pour résoudre ce problème, les diagrammes de gestion de densité (figure 6) peuvent être utilisés pour la planification des éclaircies (Kershaw et Fischer, 1991). Ces diagrammes permettent de compléter les guides de densité en intégrant les idées de mortalité induite par la compétition et la notion de diamètre maximum en fonction de la densité. Le diagramme ci-dessous est un exemple de diagramme de gestion de la densité conçu pour les pessières noires boréales.



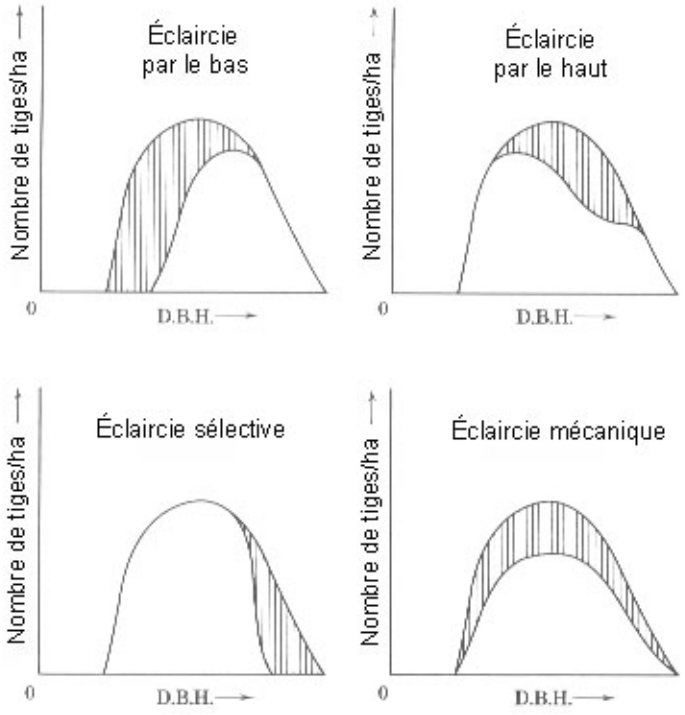
Adapté de Tremblay, Bégin et Bélanger (1999)

Figure 6 - Guide de gestion de la densité pour les pessières noires (version préliminaire)

Les diagrammes de gestion de la densité devraient permettre aux aménagistes de mieux évaluer les activités d'aménagement et de développer une approche adaptative dans l'aménagement du peuplement (Kershaw et Fischer, 1991). Malheureusement, il n'existe pas à ce jour de tels diagrammes conçus pour les peuplements de bouleau à papier.

1.3 TYPES D'ÉCLAIRCIES COMMERCIALES

Quatre systèmes d'éclaircies sont généralement reconnus dans la littérature : l'éclaircie par le bas, l'éclaircie par le haut, l'éclaircie sélective et l'éclaircie mécanique (Smith *et al.*, 1996; Braathe, 1957). Le prélèvement effectué lors de ces quatre méthodes d'éclaircie peut être illustré de la façon suivante (figure 7) :



Adapté de Smith (1996)

Figure 7 - Illustration du prélèvement effectué selon différents systèmes d'éclaircie

Le ratio d/D où d est le dhp des tiges enlevées et D celui des tiges conservées, peut également être utilisé pour qualifier les types d'éclaircies (Smith *et al.*, 1996). Ainsi, ce ratio est supérieur à 1 pour l'éclaircie sélective, de 1 ou moins pour les éclaircies pour les autres méthodes et de 1 exactement pour les éclaircies mécaniques en rangées dans les plantations. Le diamètre moyen quadratique est alors utilisé comme diamètre de référence.

À ces systèmes, la littérature reconnaît également l'ajout d'un cinquième type d'éclaircie, l'éclaircie libre (ou mixte) qui est en fait une combinaison d'une ou de plusieurs des méthodes ci-haut mentionnées.

1.3.1 Éclaircie par le bas

L'éclaircie par le bas consiste à retirer les tiges des classes intermédiaires et opprimées dans le but d'augmenter l'espace disponible pour les tiges des étages supérieurs (Smith *et al.*, 1996; Erdmann, 1987; Braathe, 1957). Ce type d'éclaircie correspond à une accélération de l'auto-éclaircie et de la mortalité induite par la compétition qui surviennent lors du développement normal d'un peuplement (Smith *et al.*, 1996).

Le concept de l'éclaircie par le bas repose sur le fait que toutes les tiges inférieures à un standard donné doivent être coupées (Smith *et al.*, 1996). Pour être profitable, ce système ne s'applique généralement qu'aux peuplements où presque toutes les tiges sont marchandes.

Dans les systèmes d'aménagement équienne, la dernière éclaircie effectuée dans un peuplement avant la coupe de régénération devraient être d'une éclaircie par le bas qui laisse suffisamment de tiges de haute qualité pour utiliser le site de façon optimale (Erdmann, 1987).

Le concept de l'éclaircie par le bas s'applique particulièrement bien aux essences intolérantes qui, dans les peuplements trop denses, risquent de souffrir d'une réduction de leur cime vivante dû à un manque de lumière. Les sites pauvres ou secs où les ressources sont limitées présentent également des conditions appropriées pour ce type d'éclaircie (Smith *et al.*, 1996).

1.3.2 Éclaircie par le haut

L'éclaircie par le haut consiste à éliminer un nombre déterminé de tiges des étages supérieurs afin de diminuer la densité du peuplement et de favoriser le développement des tiges d'avenir (Smith *et al.*, 1996; Braathe, 1957). La plupart des tiges coupées dans ce type d'éclaircie proviennent des classes codominantes et intermédiaires, mais certaines tiges dominantes de mauvaise qualité peuvent également être éliminées. Cette technique d'éclaircie est particulièrement utile pour stimuler le plus possible la croissance des tiges d'avenir avec un minimum d'intervention (Smith *et al.*, 1996).

Lors d'une éclaircie par le haut, le choix des tiges à conserver est effectué en évaluant la qualité des tiges avant tout. Aussi, si un choix doit être fait entre une tige dominante de qualité médiocre et une tige codominante de belle qualité, cette dernière sera conservée (Smith *et al.*, 1996).

L'éclaircie par le haut diffère de l'éclaircie par le bas de deux façons : 1) elle s'applique à l'étage supérieur et 2) les tiges opprimées et intermédiaires qui ne gênent pas les tiges d'avenir demeurent en tout temps conservées dans le peuplement (Smith *et al.*, 1996). Le fait de conserver l'étage inférieur possède plusieurs avantages dont celui d'éduquer les tiges d'avenir et de réduire la formation de branches adventives ainsi que la formation d'un sous-étage arbustif.

L'éclaircie par le haut donne d'excellents résultats dans les perchis feuillus âgés de 21 à 54 ans à qui cette méthode procure les meilleures augmentations de croissance et de qualité (Erdmann, 1987). Même si ses résultats sont les plus valables dans les peuplements de feuillus tolérants, ils peuvent aussi être concluants dans les peuplements purs de feuillus intolérants lorsque combinés à des éclaircies par le bas (Smith *et al.*, 1996).

1.3.3 Éclaircie sélective

Il est reconnu que les arbres de plus forts diamètres croissent plus rapidement notamment en raison de leur avantage compétitif sur leurs voisins (Marquis, 1991). L'éclaircie sélective consiste à retirer du peuplement les plus grosses tiges afin de stimuler la croissance des tiges des étages inférieurs (Smith *et al.*, 1996; Braathe, 1957). Lors de ce type d'éclaircie, les dominants ayant atteint un certain diamètre et les tiges les plus mal formées présentes dans le couvert dominant sont coupées (Erdmann, 1987). L'une des meilleures façons de pratiquer l'éclaircie sélective consiste à éliminer les tiges dominantes de faible qualité afin de favoriser les codominants (Smith *et al.*, 1996). Cette approche s'applique particulièrement bien si les tiges dominantes sont courbées et très branchues ou d'une espèce indésirable (ex : peuplier faux-tremble).

Les tiges favorisées par les systèmes d'éclaircie par le bas et par le haut sont généralement les plus susceptibles d'être coupées lors d'éclaircie sélective (Smith *et al.*, 1996). Aussi, les peuplements les plus aptes à recevoir une éclaircie sélective sont les peuplements de résineux tolérants qui conservent une bonne dominance apicale même à l'ombre. À l'opposé, ce traitement est à éviter chez les feuillus tolérants ayant une faible dominance apicale (ex : bouleau jaune, érable à sucre) qui ont tendance à développer des fourches sous le couvert des dominants (Smith *et al.*, 1996).

Dans les peuplements de feuillus intolérants, l'éclaircie sélective peut être pratiquée seulement une ou deux fois, car par la suite, les tiges seront incapables de répondre en croissance à l'éclaircie (Smith *et al.*, 1996).

1.3.4 Éclaircie mécanique

Contrairement aux trois systèmes d'éclaircies mentionnées précédemment, l'éclaircie mécanique vise à assurer un espacement régulier des tiges sans égard à la qualité des tiges, à leur diamètre ou à leur classe de dominance (Smith *et al.*, 1996; Erdmann, 1987). Ces éclaircies peuvent être pratiquées en rangée ou à intervalles réguliers de façon à assurer un espacement optimal (Smith *et al.*, 1996).

L'éclaircie mécanique peut être avantageuse dans les jeunes peuplements denses où une différentiation des classes ne s'est pas encore produite, ou encore là où le nombre de dominants excède largement le nombre de tiges qu'il a été prévu de dégager (Erdmann, 1987). Les effets de ce genre d'éclaircie ne durent cependant pas longtemps (Smith *et al.*, 1996).

1.3.5 Éclaircie libre ou mixte

Les coupes destinées à libérer les tiges d'avenir du couvert sans égard à leur classe de dominance sont appelées éclaircies libres. Lors d'une éclaircie libre, les concepts de plusieurs méthodes ci-haut mentionnées sont adoptées (Braathe, 1957). Ce système d'éclaircie s'applique particulièrement bien dans les peuplements irréguliers en terme d'âge, de composition ou de densité (Smith *et al.*, 1996). La coupe sélective peut alors être employée comme première intervention afin d'éliminer les tiges de faible qualité ou malades (Erdmann, 1987).

Les conditions requises pour qu'il y ait éclaircie libre sont souvent rencontrées dans les peuplements n'ayant jamais fait l'objet de traitement auparavant. Un exemple typique de ce type de traitement inclut une éclaircie sélective pour éliminer les dominants indésirables et une éclaircie par le haut pour libérer les dominants de bonne qualité et les codominants dans les portions plus lâches du peuplement, auxquels est associée une éclaircie par le bas qui élimine les tiges marchandes opprimées et régularise la densité (Smith *et al.*, 1996).

1.3.6 Éclaircie d'étalement

Dans les peuplements destinés à la production prioritaire de bouleau, le *Manuel d'aménagement forestier* prévoit comme traitement sylvicole admissible l'éclaircie commerciale d'étalement (MRNQ, 1998a). Celle-ci s'applique aux peuplements inéquiennes d'au moins 17 m²/ha de surface terrière, où les tiges de 34 cm et plus sont de faible vigueur et où le nombre de tiges de bouleau blanc est déficient entre 10 et 22 cm.

L'éclaircie d'étalement a comme objectif d'utiliser le potentiel de production de bois d'œuvre du peuplement éclairci en concentrant la croissance sur les arbres d'avenir (MRNQ, 1998a). Cet objectif est atteint en éliminant les tiges de faible vigueur, et par la suite, les tiges des plus forts diamètres (MRNQ, 1999). En ce sens, l'éclaircie d'étalement se rapproche d'une éclaircie sélective où les tiges malades des étages supérieurs sont récoltées en priorité.

1.4 EFFETS DES ÉCLAIRCIES SUR LE PEUPLEMENT

Parce qu'elles modifient le couvert et les conditions écophysiologiques des tiges, les éclaircies entraînent de nombreux effets positifs ou négatifs. Quelques uns de ces effets sont reliés au degré d'ouverture du couvert et donc, à l'intensité de l'intervention. Conséquemment, dans la planification d'une éclaircie, il est important de connaître les conséquences que peuvent avoir une ouverture trop forte sur la qualité future des tiges.

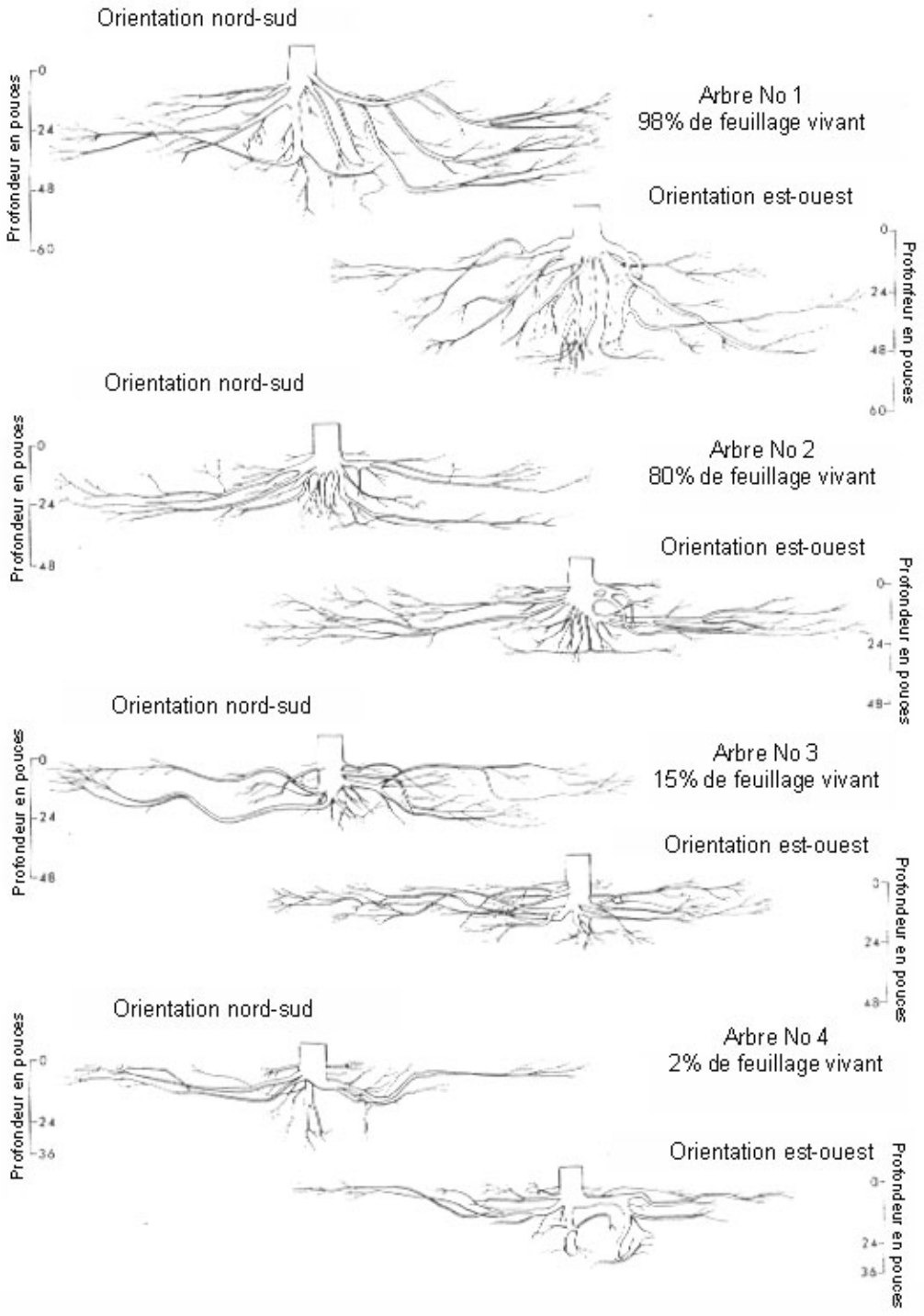
1.4.1 Le dépérissement

Chez le bouleau, le dépérissement se caractérise par la mort prématurée des branches, à partir de la cime d'abord, puis en descendant vers le bas de la tige (Hyvarinen, 1968). Cette mortalité de la cime survient généralement suite à des dommages subis par les racines (Braathe, 1995; Sims *et al.*, 1990).

Dans le passé, le bouleau à papier a été victime d'importants épisodes de dépérissement. Il est aujourd'hui reconnu que des extrêmes climatiques, tel un dégel hâtif en hiver suivi de froids intenses, peuvent avoir été des contribuants majeurs à ces épisodes en entraînant un gel en profondeur du sol et en endommageant ainsi les racines en surface (Cox et Malcolm, 1997; Auclair *et al.*, 1996; Braathe, 1995; Greenidge, 1953).

Les bouleaux à papier laissés sur pied après une récolte présentent souvent, dans les années qui suivent la coupe, des symptômes de déclin analogues à ceux qui ont été observés lors des épisodes de dépérissement des années 50 et 60 (Sims *et al.*, 1990; Marquis *et al.*, 1969). Ces symptômes incluent une faible vigueur, une croissance ralentie, la mort des branches et finalement, la mort prématurée des tiges laissées sur pied (Sims *et al.*, 1990). Tout comme c'était le cas pour les épisode de dépérissement, la décadence des tiges après coupe est due à un changement des conditions environnementales résultant de la coupe (Marquis *et al.*, 1969). Dans ce cas précis, le réchauffement du sol et la compaction peuvent contribuer à la mortalité des racines, d'où s'en suivent la mort des branches (Sims *et al.*, 1990).

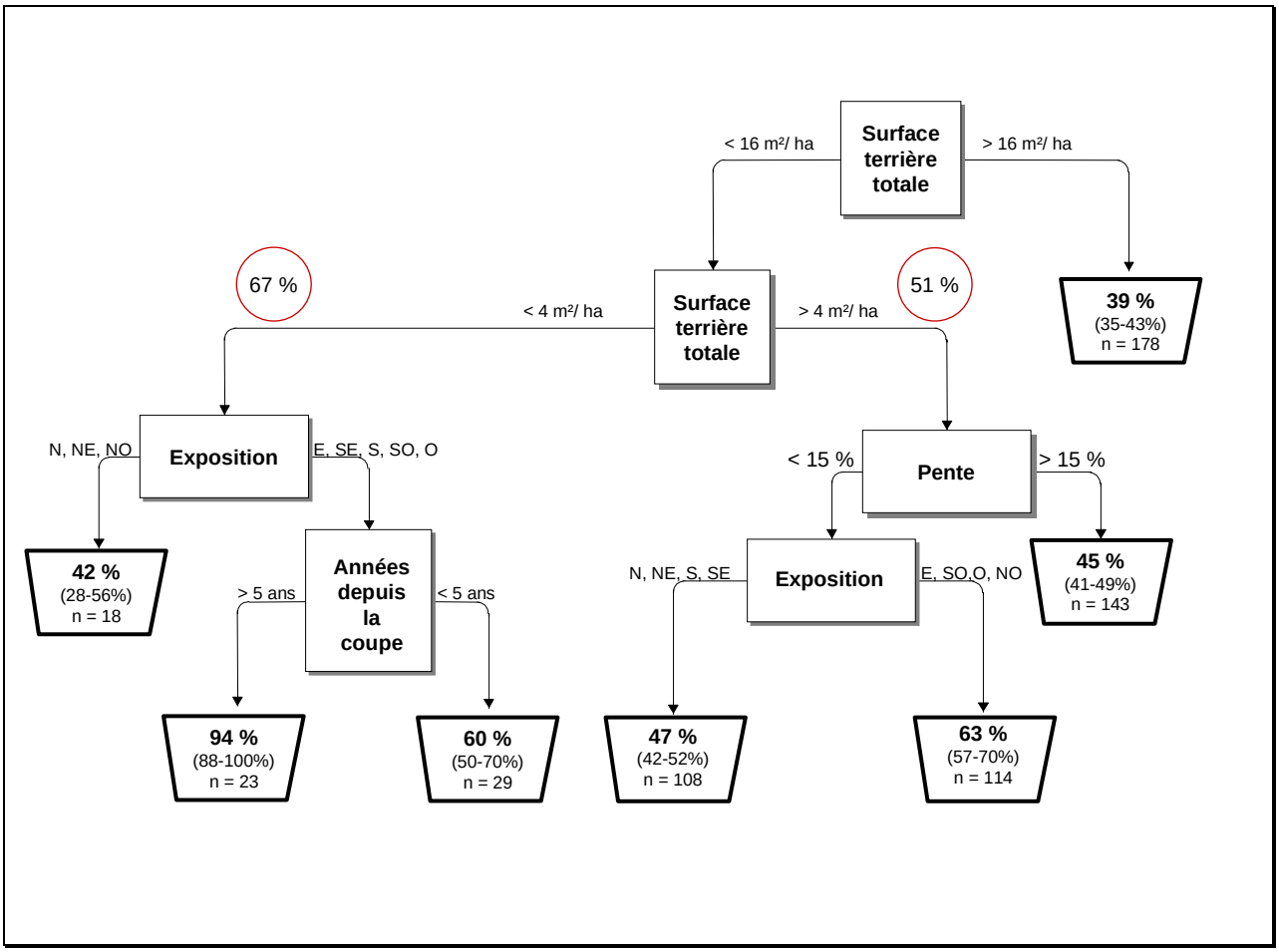
Le niveau de dépérissement du bouleau à papier est directement relié à la profondeur d'enracinement de l'arbre (Pomerleau et Lortie, 1962). En effet, les tiges montrant les plus forts taux de dépérissement sont généralement celles qui possèdent un système racinaire superficiel ou qui croissent sur des sols minces (figure 8). En tout temps, la profondeur d'enracinement demeure indicatrice de la mortalité des radicelles et de la cime à prévoir si jamais il y a changement dans les conditions climatiques (Pomerleau et Lortie, 1962).



Adapté de Pomerleau et Lortie (1962)

Figure 8 - Taux de dépérissement en fonction des profondeurs d'enracinement chez le bouleau à papier

Au Québec, on dénote peu d'observations ayant porté spécifiquement sur le dépérissement des tiges de bouleau après la coupe. Récemment, une étude effectuée en Mauricie par le Ministère des Ressources naturelles, a permis de cerner quelques caractéristiques écologiques et dendrométriques reliées au dépérissement (Roy *et al.*, 2000). Ainsi, la surface terrière résiduelle, le dhp des bouleaux au moment de la coupe, l'exposition, la pente et le nombre d'années depuis la coupe sont autant de variables expliquant le niveau de dépérissement observé dans un peuplement suite à une coupe forestière. Parmi toutes ces variables, la surface terrière résiduelle suite à une coupe semble le principal indicateur du niveau de dépérissement des tiges, ce dernier étant de 39 % à 16 m²/ha ou plus, de 51 % entre 4 et 16 m²/ha et de 67 % lorsqu'elle est de moins de 4 m²/ha (figure 9). Les auteurs mentionnent toutefois que d'autres variables non mesurées peuvent également expliquer le niveau de dépérissement, tels le degré de perturbation du sol et les dommages causés aux tiges résiduelles par la machinerie.



Tiré de Roy *et al.* (2000)

Figure 9 - Prédiction du pourcentage de dépérissement d'un peuplement par arbre de regression (intervalle de confiance entre parenthèses, n = nombre d'observations)

Il est difficile de prévoir le niveau de perte en volume associé au dépérissement. Dans l'étude réalisée en Mauricie, aucun chiffre n'a été avancé pour quantifier la perte en volume associé au dépérissement, mais dans une autre étude effectuée dans les bétulaies blanches éclaircies en âge avancé, une perte moyenne en volume de 4 à 5 % a été associée à un taux de dépérissement de 8 % (Thibault, 1995).

Une bonne façon d'éviter le dépérissement des tiges résiduelles dans les peuplements de bouleau à papier est de maintenir une bonne vitalité des tiges par des éclaircies périodiques débutées en jeune âge et d'éviter les coupes partielles de forte intensité dans les peuplements d'âge mûrs non aménagés (Safford *et al.*, 1990).

1.4.2 L'insolation des tiges

L'effet combiné d'une augmentation de la température et d'une exposition à un soleil vif peut provoquer des insolations au niveau de l'écorce et de la tige (Innes, 1994). Celle-ci se caractérise par la mort localisée du cambium résultant du réchauffement des tissus par l'action du soleil. Les insolations sont fréquentent sur les arbres à écorce mince et lisse.

Les coupes de trop fortes intensités pratiquées dans les peuplements denses peuvent provoquer des insolations sur les tiges résiduelles. Par le passé, des taux de mortalité importants ont déjà été notés dans les parterres de coupe à diamètre limite en raison du choc reliée à l'exposition soudaine des tiges (Trimble et Smith, 1963).

1.4.3 Susceptibilité aux blessures et à la carie

Les éclaircies peuvent causer de grands dommages au peuplement résiduel en détruisant les tiges de faible diamètre ou en blessant les tiges commerciales (Winsauer et Mattson, 1987). Ces blessures, appelées blessures d'exploitation, peuvent entraîner de la carie et de la coloration qui réduiront considérablement la valeur des billes.

La littérature distingue deux types de blessures d'exploitation : les blessures d'abattage et les blessures de débardage (Nyland, 1991). Les blessures d'abattage, comme leur nom l'indique, incluent principalement les dommages engendrés par les activités de coupe (bris de cime ou de branches, arrachement de l'écorce des tiges laissées sur pied) alors que les blessures de débardage sont induites par le passage de la machinerie ou par le débardage du bois (lésions au tronc et aux racines) (Patry *et al.*, 2000). Les blessures de débardage posent généralement un risque d'infection plus élevé en raison de leur position près du sol – auquel est associé un taux d'humidité important – et de leur profondeur dans la tige (Lavallée et Lortie, 1968).

La susceptibilité d'un arbre à subir une blessure varie selon les saisons (Anderson, 1991). Au printemps, les tiges du peuplement sont particulièrement sensibles aux dommages au tronc (Winsauer et Mattson, 1987) parce que les cellules du cambium sont actives. Par la suite, elles demeurent susceptibles mais une plus grande force est nécessaire pour produire les mêmes

niveaux de dommages (Anderson, 1991). Les arbres plus gros posent généralement plus de risque de dommages en raison de leur dimension et de leur système racinaire plus développé (Ostrofsky *et al.*, 1986).

Toutes les blessures ne dégénèrent pas nécessairement en carie mais toutes amènent de la coloration (Shigo, 1965). L'étendue de la coloration sur une tige donnée dépend de la vigueur de l'arbre au moment de la blessure, de la sévérité de la blessure et du temps écoulé depuis la blessure. Généralement, les anneaux formés lors des années subséquentes à la blessure sont exempts de coloration, ce qui limite le diamètre infecté par la carie au diamètre de l'arbre au moment de la blessure (Shigo, 1965; Safford, 1983).

Suite à la blessure, la carie survient lorsqu'il y a infection par des micro-organismes pathogènes. Les surfaces humides, telles les blessures en contact avec le sol et celles recouvertes d'écorce constituent généralement un milieu propice à l'infection par les champignons et bactéries (Anderson, 1991; Nyland, 1991; Ohman, 1970).

Les tiges de bouleau carient différemment des autres feuillus durs (Peterson *et al.*, 1997). Chez ces espèces, la progression de la carie est particulièrement rapide lorsque comparé à l'érable, par exemple (Lavallée et Lortie, 1968). Chez ces essences, le volume de carie est principalement fonction du temps écoulé depuis la blessure (Shigo, 1965).

Peu d'études ont été effectuées sur la progression de la carie chez le bouleau à papier, mais plusieurs ont traité de celle chez le bouleau jaune (Lavallée et Lortie, 1968; Ohman, 1970; Shigo, 1966; Benzie *et al.*, 1963). Les principales observations découlant de l'étude de la carie à la suite de blessures chez cette essence indique que le taux de fermeture des cicatrices est fonction de la dimension initiale de la blessure et de la croissance en diamètre de la tige (Solomon et Blum, 1977).

Le bouleau à papier réagit de la même façon que le bouleau jaune face aux blessures dans la plupart des cas sauf que la coloration et la carie n'avancent pas aussi rapidement, et que les gros chicots de branches ne sont pas aussi fréquents chez cette espèce (Shigo, 1969). Ces derniers demeurent toute de même les principales portes d'entrée de la coloration et de la carie chez cette espèce (Safford, 1983). Les bouleaux sont particulièrement fragiles à la carie de racine (Ohman, 1970), ce qui se répercute inévitablement dans le volume de coloration rencontré dans la bille de pied. Les études effectuées sur le bouleau jaune confirme d'ailleurs que les tiges de cette essence sont hautement susceptibles d'être affectées par la carie si des dommages aux racines sont observés.

La défoliation peut entraîner un ralentissement du taux de fermeture des blessures tel que démontré par Wargo (1977) chez l'érable à sucre, car la croissance radiale s'en retrouve réduite. Le dépérissement entraîné par les opérations de coupe pourrait donc ralentir la cicatrisation des blessures. Ceci pourrait cependant être compensé par des conditions de croissance rapide qui favorisent la cicatrisation (Safford, 1983).

1.4.4 Influence des opérations sur le niveau de blessures

Le maintien d'un peuplement résiduel de moyenne densité, comme c'est le cas lors des éclaircies commerciales, crée des obstacles importants aux manœuvres et à la circulation de la machinerie (Meek, 1997), ce qui entraîne inévitablement des blessures aux tiges résiduelles. En effet, plus la machine doit se déplacer dans le peuplement, plus grandes sont les chances d'endommager les tiges résiduelles (Bruhn, 1984). À ce sujet, le traitement sylvicole, la surface terrière initiale et la distance de la tige au sentier sont des variables qui influencent le niveau de dommages retrouvé dans un peuplement après un coupe forestière (Nichols *et al.*, 1994). La plupart des dommages sont habituellement concentrés le long des sentiers, là où un plus grand trafic de même qu'un nombre répété de passage de la machinerie sont observés (Reisigner et Pope, 1991; Winsauer et Mattson, 1987).

Les dommages aux tiges sont généralement plus faibles par abattage manuel des tiges que par abattage mécanisé (Winsauer et Mattson, 1987; Ostrofsky *et al.*, 1986). Les blessures engendrées par l'abattage conventionnel sont toutefois plus grosses, alors que celles faites lors de l'abattage mécanisé sont situées plus haut sur le tronc (Nichols *et al.*, 1994).

Le débardage cause habituellement plus de dommages aux tiges que l'abattage et l'empilage (Reisigner et Pope, 1991). Le nombre de blessures de débardage dépend toutefois de la taille de la machine utilisée et de la méthode de débardage, le débardage au sol amenant plus de blessures aux racines que le débardage avec une débusqueuse à arches, par exemple (Benzie, 1959). Par ailleurs, pour une même machine, le débardage en troncs entiers produit plus de dommages que celui en longueur (Winsauer et Mattson, 1987; Meyer *et al.*, 1966).

Il est fréquent d'observer un plus grand nombre de dommages sur terrain plat, ce qui peut s'expliquer par le fait que, sur ce type de terrain, les opérateurs roulent à plus grande vitesse et couvrent une plus grande superficie, causant des blessures à un plus grand nombre d'arbres (Reisigner et Pope, 1991). Pour diminuer les blessures aux tiges résiduelles, plusieurs solutions peuvent être apportées. Parmi celles-ci, le marquage des tiges à conserver peut dans certains cas, permettre de minimiser les dommages aux tiges d'avenir (Bruhn, 1984). Par ailleurs, les dommages au tronc peuvent généralement être réduits lorsque les opérations sont effectuées en hiver. En effet, les travaux effectués au cours de cette période affectent une moins grande proportion de la circonférence (Nichols *et al.*, 1994; Ostrofsky *et al.*, 1986) et le sol gelé aide à limiter les dommages aux racines.

1.4.5 La croissance

Après une coupe partielle, la majorité des peuplements ont des accroissements annuels périodiques en diamètre et en volume supérieurs aux peuplements non éclaircis, possiblement en raison des conditions de croissance favorables créés par l'ouverture du couvert (Thibault, 1995). La durée pendant laquelle ces accroissements sont observés est cependant variable. La croissance en diamètre des tiges éclaircies est généralement reliée à l'intensité du dégagement ainsi qu'au diamètre de la tige au moment de l'éclaircie. Ainsi, la mise en lumière des tiges suite à la coupe

partielle semble davantage bénéfique aux grosses tiges ayant un statut social plus élevé (Thibault, 1995, Godman et Marquis, 1969).

Pour une qualité et une croissance optimale, les chercheurs s'entendent pour laisser une surface terrière plus élevée mais un nombre plus faible de tiges à mesure que le diamètre moyen du peuplement augmente (Erdmann, 1987). Généralement, les tiges coupées devraient faire partie de toutes les classes sociales (Marquis *et al.*, 1969) et les premières tiges enlevées devraient être les tiges malades ou blessées. Par la suite, les tiges intermédiaires et opprimées devraient être choisies (Safford, 1983).

Les éclaircies dans les peuplements de bouleau à papier devraient procurer une densité uniforme des tiges d'avenir dans le peuplement (Safford, 1983). Chez cette essence, les meilleurs résultats sont obtenus grâce aux éclaircies qui libèrent la cime des tiges qui ont un bon potentiel de croissance et qui croissent sur des sites appropriés (Godman et Marquis, 1969). Les éclaircies de forte intensité devraient être évitées dans les peuplements de bouleau car elles peuvent entraîner une réduction de croissance (Ohman *et al.*, 1978). En effet, il a été observé que là où des opérations ouvrent le couvert, une abondante production de semences suivait généralement la coupe (Comeau *et al.*, 1989), ce qui pouvait entraîner une réduction de la croissance en diamètre de près de 36 % (Gross, 1972). À ce sujet, Godman et Marquis (1969) recommandent qu'un maximum de 40 % de la surface terrière soit retirée dans une seule et même intervention.

Ces recommandations contrastent avec celles émises en Europe, où les éclaircies de fortes intensités sont hautement suggérées afin que les cimes des bouleaux supportent le moins de compétition possible (Cameron, 1996). Ces éclaircies, débutées lorsque les tiges mesurent 8 à 10 m de hauteur, visent à éliminer la moitié des tiges en favorisant les dominants et les codominants. Par la suite, des éclaircies pratiquées tous les 5 à 7 ans jusqu'à l'obtention d'une densité de 300 à 500 ti/ha, sont préconisées. Toutefois, ces fortes intensités d'éclaircie entraînent inévitablement la formation de grosses branches, phénomène rarement observé dans les peuplements légèrement éclaircis qui présentent plutôt des branchaisons semblables à celles retrouvées dans les peuplements non aménagés (Cameron *et al.*, 1995).

En Finlande, il est également prescrit que les éclaircies pratiquées chez *Betula pendula* et *Betula pubescens* soient de forte intensité. Celles-ci, réalisées quand les tiges ont des hauteurs de 12 à 15 m, laissent dans un premier temps entre 600 et 800 tiges/ha, puis diminuent de moitié à chaque éclaircie jusqu'à l'obtention d'une densité de 400 ti/ha (Puttonen, 1996).

Au Québec, trop peu de données sur les éclaircies dans les bétulaies blanches sont disponibles pour permettre d'en mesurer les effets réels (Huot et Doucet, 1995). On sait toutefois que, après une coupe partielle pratiquée dans une bétulaie âgée de plus de 50 ans, on peut espérer des accroissements qualifiés de modestes à moyens (Dendrotik inc., 1995). La mise en lumière a toutefois un effet mitigé sur la croissance des tiges résiduelles si le choix des tiges à conserver n'est pas effectué en fonction de la vigueur des arbres d'avenir et du potentiel de croissance du site (Thibault, 1995).

1.5 RECOMMANDATIONS

1.5.1 Peuplements aptes à l'éclaircie

Aux dires des auteurs consultés, pour être profitables tant au point de vue sylvicole qu'économique, les éclaircies ne devraient être pratiquées que dans les peuplements possédant de bonnes croissances, c'est-à-dire ceux établis sur des sites relativement riches (indices de qualité de station de 18 m ou plus). Sur de tels sites, elles devraient être réalisées lorsque le peuplement a atteint un niveau de compétition tel que la mortalité risque d'entraîner des pertes en volume importantes. Pour évaluer le degré de compétition, la surface terrière est un bon indicateur: lorsqu'elle dépasse 25 à 35 m²/ha, il est temps d'éclaircir (Prégent, 1998).

Les guides de stocking développés aux États-Unis (figure 5) peuvent aussi être utiles pour déterminer le niveau de compétition du peuplement en fonction du diamètre moyen quadratique de ce dernier. Ces guides prévoient toutefois des niveaux de prélèvement élevés pour cette essence, ce qui peut être risqué dans les peuplements âgés. En effet, pour un DHP moyen de 20 cm et une surface terrière de 25 m²/ha correspondant à 750 tiges à l'hectare, une éclaircie devrait être pratiquée de façon à réduire le nombre de tiges à 250 tiges à l'hectare (le niveau B du guide de densité), soit une surface terrière approximative de 14 m²/ha (44 % de prélèvement). De tels prélèvements peuvent avoir des gains en volume mitigés dans certains peuplements où la mortalité induite par le dépérissement peut contribuer à diminuer les effets positifs apportés par l'éclaircie.

Afin d'éviter un dépérissement graduel des tiges laissées sur pied et d'assurer une réponse en croissance optimale, les éclaircies ne devraient pas être pratiquées dans les peuplements dépassant la maturité. Ainsi, il a été constaté que les peuplements âgés de 60 ans ou plus répondaient rarement aux éclaircies (Tubbs, 1977; Gilbert et Jensen, 1958 *dans* Godman et Marquis, 1969; Marquis *et al.*, 1969) et que des accroissements faibles à modestes avaient été observés dans des peuplements éclaircis fortement passé l'âge de 50 ans (Thibault, 1995). Sur ces bases, les éclaircies devraient donc être pratiquées dès que le peuplement a atteint des dimensions commerciales et se poursuivre jusqu'à maturité. En prématurité, les peuplements présentant des niveaux de stocking supérieurs à 80 % devraient être éclaircis afin de réduire la mortalité, peu importe le diamètre.

Pour minimiser le dépérissement des tiges de bouleau à papier laissées en place, il est recommandé d'éviter d'éclaircir les bétulaies à plus de 33% de la surface terrière (Marquis *et al.*, 1969) et de maintenir en tout temps une surface terrière résiduelle de plus de 16 m²/ha (Roy *et al.*, 2000). Par ailleurs, en plus d'être peu intensives, les éclaircies devraient être dirigées vers les tiges plus petites pour maintenir la vigueur du peuplement (Roy *et al.*, 2000).

1.5.2 Type d'éclaircie

Les éclaircies dans les bétulaies devraient être effectuées de façon à éliminer les tiges des classes opprimée et intermédiaire en évitant de créer de grandes ouvertures dans le couvert (Cooley, 1962). L'intensité du dégagement devrait être fonction du DHP de la tige. Ainsi, les tiges ayant une cime de faible diamètre devrait recevoir un dégagement plus léger, soit par le haut soit par éclaircie sélective (retirer 1 ou 2 tiges compétitrices) que celles de plus fort diamètre (Tubbs, 1977).

La plupart des auteurs consultés s'entendent pour affirmer que l'éclaircie par le bas constitue un système approprié pour le bouleau à papier. Sur sites riches, les peuplements devraient en premier lieu recevoir une éclaircie par le bas qui conserve un couvert le plus continu possible (Tubbs, 1977). Pour ce qui est des sites pauvres, une seule éclaircie par le bas pratiquée suffisamment tôt pourrait contribuer à récupérer les volumes qui seraient autrement perdus par mortalité (Smith *et al.*, 1996).

L'éclaircie par le haut, quoique plus appropriée pour les essences plus tolérantes, peut également s'appliquer aux peuplements intolérants si elle est combinée à une éclaircie par le bas qui récupère les tiges des étages inférieurs. En ce sens, on peut dire qu'une éclaircie mixte combinant une éclaircie par le haut et par le bas est plus appropriée pour les essences intolérantes qu'une éclaircie par le haut appliquée seule.

Avant la coupe, le choix des tiges à marquer devrait être fait en gardant à l'esprit d'enlever les tiges de faible croissance de façon à améliorer l'état du peuplement et de réduire la mortalité sans qu'il n'y ait perte de qualité (Tubbs, 1977).

1.5.3 Période d'opérations et machinerie

Parce que le bouleau à papier possède un enracinement superficiel, les opérations d'éclaircies dans les bétulaies devraient préférablement être faites lorsque le sol est gelé, du moins pour les peuplements croissant sur sols minces. Par ailleurs, choisir une saison où l'écorce est moins susceptible aux chocs peut diminuer les dommages potentiels faits aux tiges résiduelles (Bruhn, 1984). En ce sens, les opérations effectuées de la fin de l'été jusqu'au dégel du printemps contribuent à diminuer l'incidence de dommages aux tiges résiduelles.

Des méthodes d'abattage applicables, l'abattage conventionnel et le débardage du bois en longueur semble être les méthodes qui entraînent le moins de dommages aux tiges. Cependant, le coût élevé de telles opérations à grande échelle en font un handicap majeur (Provencher, 1997). L'enracinement superficiel du bouleau et sa susceptibilité aux dommages aux racines et à la carie du tronc posent cependant de sérieux problèmes pour l'abattage mécanisé (Ostrofsky *et al.*, 1986). Éviter la circulation de la machinerie à proximité des tiges d'avenir peut aider à réduire les dommages aux racines. D'autre part, le marquage des tiges d'avenir peut également aider les opérateurs à repérer visuellement les tiges auxquelles une attention particulière doit être réservée.

Afin de minimiser les dommages au peuplement, les équipements devraient être choisis de façon à maximiser la manœuvrabilité tout en tentant de minimiser la taille des machines (Bruhn, 1984). Généralement, les dommages peuvent être diminués par une bonne supervision, l'utilisation d'opérateurs consciencieux, la diminution des longueurs de débardage et l'utilisation d'équipement de plus petite dimension (Winsauer et Mattson, 1987).

Comme les niveaux de dommages sont fonction de la densité du peuplement, un équilibre doit être atteint entre un pourcentage de prélèvement qui réduise au minimum la mortalité et un autre qui permette la libre circulation de la machinerie. Si l'abattage mécanisé est choisi comme méthode de coupe, les surfaces terrières résiduelles doivent être ajustées en conséquence. Plus la surface terrière et la densité résiduelle sont élevées, pour un diamètre donné, plus difficile il est pour une abatteuse-groupeuse de couper les tiges martelées sans endommager les tiges résiduelles (Bruhn, 1984).

En tout temps, l'attention prise dans la planification et l'expérience des opérateurs influence grandement le niveau et la sévérité des dommages (Cline *et al.*, 1991). Avec un bonne planification, le pourcentage de dommage peut être réduit à 7-12 % de dommages, la moitié de ces tiges faisant partie de la classe des dominants ou des codominants (Winsauer et Mattson, 1987).

Le tableau 4 résume les principales caractéristiques dont il faut tenir compte lors de la planification des éclaircies dans les bétulaies blanches.

Tableau 4 - Principaux points à tenir en compte lors de la planification des éclaircies dans les bétulaies blanches

Tolérance à l'ombre	Intolérant
Croissance	Rapide, particulièrement sur sites riches
Maturité	60-90 ans
Enracinement	Superficiel
Élagage naturel	Bon
Avancée de la carie et de la coloration	Rapide en comparaison avec les autres feuillus durs
IQS pour l'éclaircie	18 m et plus
Réaction à l'éclaircie passé maturité	Modeste à faible
Décadence après éclaircie	Fréquente chez les individus mûrs et surannés

Éclaircie appropriée

- **Éclaircie par le bas** si les dominants et les codominants sont de très bonne qualité
- **Éclaircie mixte par le haut et par le bas** si les bouleaux sont codominants ou si en compagnie de peuplier faux-tremble
- **Éclaircie mécanique** dans les jeunes peuplements de très bonne qualité

Recommandations opérationnelles

- Bonne planification des sentiers
- Éviter la circulation de la machinerie près des tiges d'avenir
- Effectuer les opérations lorsque le sol est gelé, particulièrement sur sites minces
- Marquer les tiges d'avenir

2. OBJECTIFS

En regard de la problématique propre aux peuplements mixtes à dominance de bouleau à papier de la sapinière à bouleau jaune, le projet vise, à court et à moyen terme, à comparer deux méthodes d'éclaircie, soit l'éclaircie commerciale conventionnelle et l'éclaircie commerciale d'étalement. Plus précisément, ce projet vise à :

- comparer les accroissements des tiges traitées et celles non traitées;
- comparer les effets des deux types d'éclaircie sur la croissance des tiges dégagées;
- évaluer l'impact du passage de la machinerie sur le dépérissement du bouleau à papier après coupe.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 TRAITEMENTS ÉVALUÉS

Au Québec, le ministère des Ressources naturelles reconnaît deux types d'éclaircie pouvant être appliqués dans la bétulaies blanches pures ou mixtes pour la production prioritaire de cette essence : l'éclaircie commerciale et l'éclaircie commerciale d'étalement. Ces deux traitements ont pourtant fait l'objet de très peu d'études à long terme quant à leurs effets sur le peuplement.

Cette étude vise à pallier à ce manque en testant ces deux types d'éclaircies dans une bétulaie blanche mixte du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune. Certains ajustements par rapport à leur cadre normatif ont cependant été apportées afin de pouvoir comparer les éclaircies pratiquées dans cette étude aux méthodes d'éclaircies appliquées ailleurs en Amérique du Nord. Ces ajustements sont décrits dans les points qui suivent.

3.1.1 Éclaircie commerciale conventionnelle (EC)

Cadre normatif

L'éclaircie commerciale, telle que définie par le *Manuel d'aménagement forestier* consiste en l'abattage ou en la récolte d'arbres dans un peuplement équienne qui n'a pas atteint l'âge d'exploitabilité, dans le but d'accélérer l'accroissement du diamètre des arbres restants et aussi, par une sélection convenable, d'améliorer la qualité du peuplement résiduel (MRNQ, 1999).

Pour être profitable, l'éclaircie commerciale doit être réalisée au plus tard 15 ans avant la maturité du peuplement. La surface terrière enlevée doit alors se situer entre 30 et 40% de la surface terrière initiale, sans excéder 10 m²/ha, et la surface terrière résiduelle doit être égale ou supérieure à 16 m²/ha. Le martelage doit être réalisé dans le but d'atteindre un pourcentage de qualité de 90 % ou plus, tout en visant une amélioration, pour toutes les essences, du pourcentage de tiges de vigueur I. L'identification d'un nombre minimum de 400 tiges de vigueur I à l'hectare est un prérequis à la réalisation de ce traitement pour la production prioritaire de bouleau.

Application expérimentale

Dans le cadre de cette étude, l'éclaircie commerciale conventionnelle pratiquée vise à favoriser la croissance d'un certain nombre de tiges d'avenir, en prélevant entre 25 et 30 % de la surface terrière parmi les compétiteurs. En ce, l'éclaircie pratiquée se veut une éclaircie mixte ou les tiges sont prélevées sans égard à leur position sociale dans le couvert.

Préalablement à l'intervention, l'identification de 400 tiges d'avenir à l'hectare (1 tige tous les 5 mètres) est réalisée de la façon décrite à la figure 10.

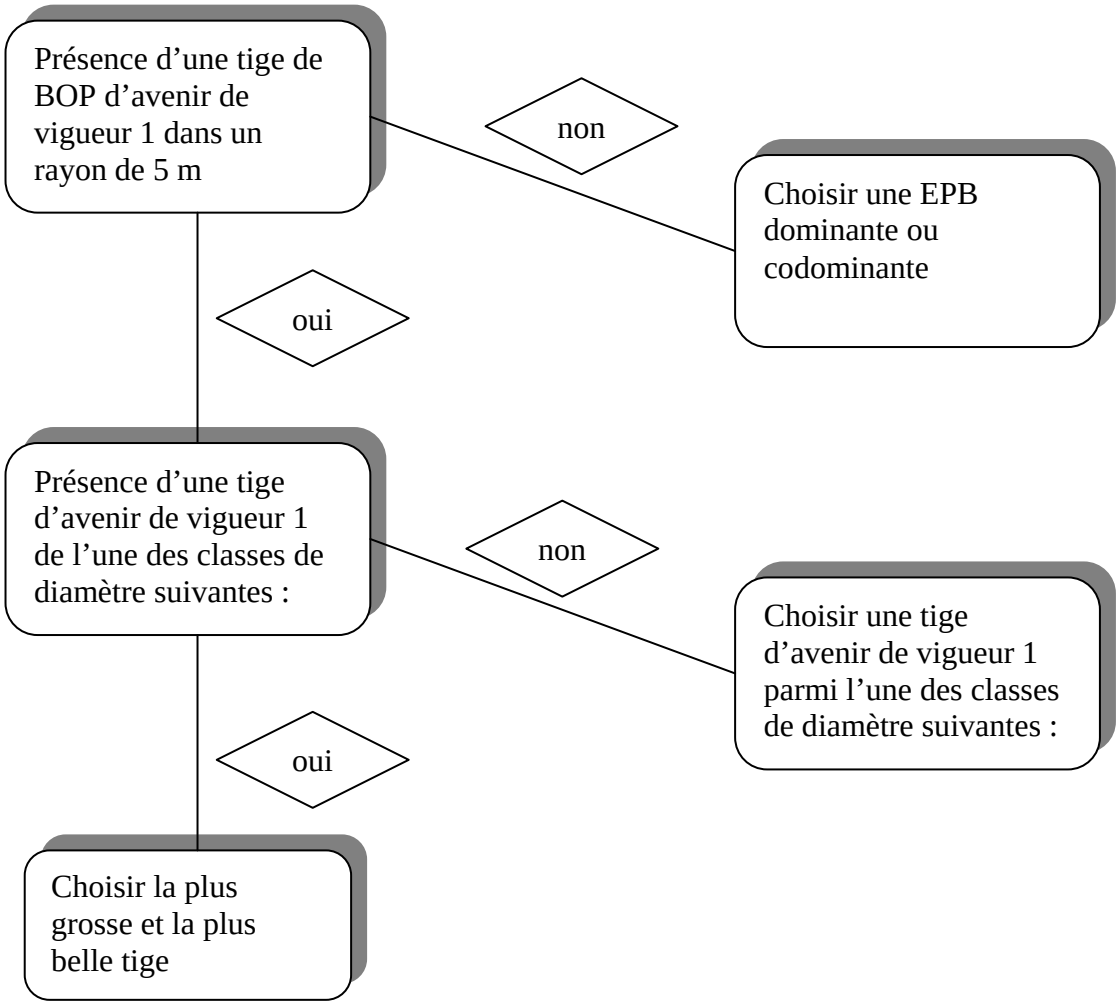


Figure 10 - Méthodologie adoptée pour l'identification des tiges d'avenir dans la coupe d'éclaircie conventionnelle

L'objectif de l'éclaircie est de permettre aux cimes des tiges d'avenir de se développer de façon symétrique dans tous les axes possibles en éliminant toute compétition au niveau du houppier. Pour ce faire, toute obstruction faite à la cime des bouleaux à papier retenus, c'est-à-dire tout arbre touchant ou surplombant la cime, doit être éliminé tout en respectant le pourcentage de prélèvement prescrit. Dans le cas de l'épinette blanche, ce sont les arbres de hauteur supérieure aux tiges qui sont désignés pour la coupe.

3.1.2 Éclaircie commerciale d'étalement (ECE)

Cadre normatif

L'éclaircie commerciale d'étalement, traitement nouvellement à l'essai à échelle industrielle au Québec, est une variation de l'éclaircie commerciale conventionnelle visant à favoriser la production de bois d'œuvre de bouleau avant la coupe de régénération (MRNQ, 1999).

Pour être admissible en paiements des droits, l'éclaircie commerciale d'étalement doit être pratiquée dans un peuplement inéquienne possédant 1) une surface terrière marchande d'au moins 17 m²/ha, 2) une majorité de tiges de 34 cm ou plus de faible vigueur, et 3) une faible quantité de tiges de bouleau de 10 à 22 cm (surface terrière d'au moins 1 m²/ha).

L'éclaircie d'étalement préconise un taux de prélèvement de 25 à 35 % de la surface terrière marchande initiale. Idéalement, le traitement doit amener un pourcentage de qualité d'au moins 90 % après le traitement. Pour ce, l'éclaircie prélève d'abord les tiges de vigueur III et VI et ensuite les tiges des diamètres les plus élevés. Après la coupe, la surface terrière résiduelle en tiges de bouleaux éclaircis de diamètre entre 22 et 32 cm de DHP doit être d'au moins 1,5 m²/ha et la surface terrière marchande résiduelle conservée doit être égale ou supérieure à 12 m²/ha.

Application expérimentale

Dans le cadre de cette étude, l'éclaircie commerciale d'étalement, telle que décrite par le *Manuel d'aménagement forestier*, a dû subir certains ajustements. Entre autres, pour être comparable à l'éclaircie conventionnelle, l'éclaircie a été appliquée à un taux de prélèvement identique à un peuplement possédant les mêmes caractéristiques que celles requises pour une éclaircie conventionnelle, ce qui devrait permettre d'effectuer des comparaisons valables lors du suivi. Le noyau à la base des recommandations sur l'éclaircie d'étalement, c'est-à-dire un prélèvement prioritairement axé vers les tiges non vigoureuses, a toutefois été respecté. Ceci range l'éclaircie d'étalement dans la catégorie des éclaircies sélectives.

Pour ce traitement, le choix des tiges à éliminer a été effectué de la façon suivante décrite à la figure 11.

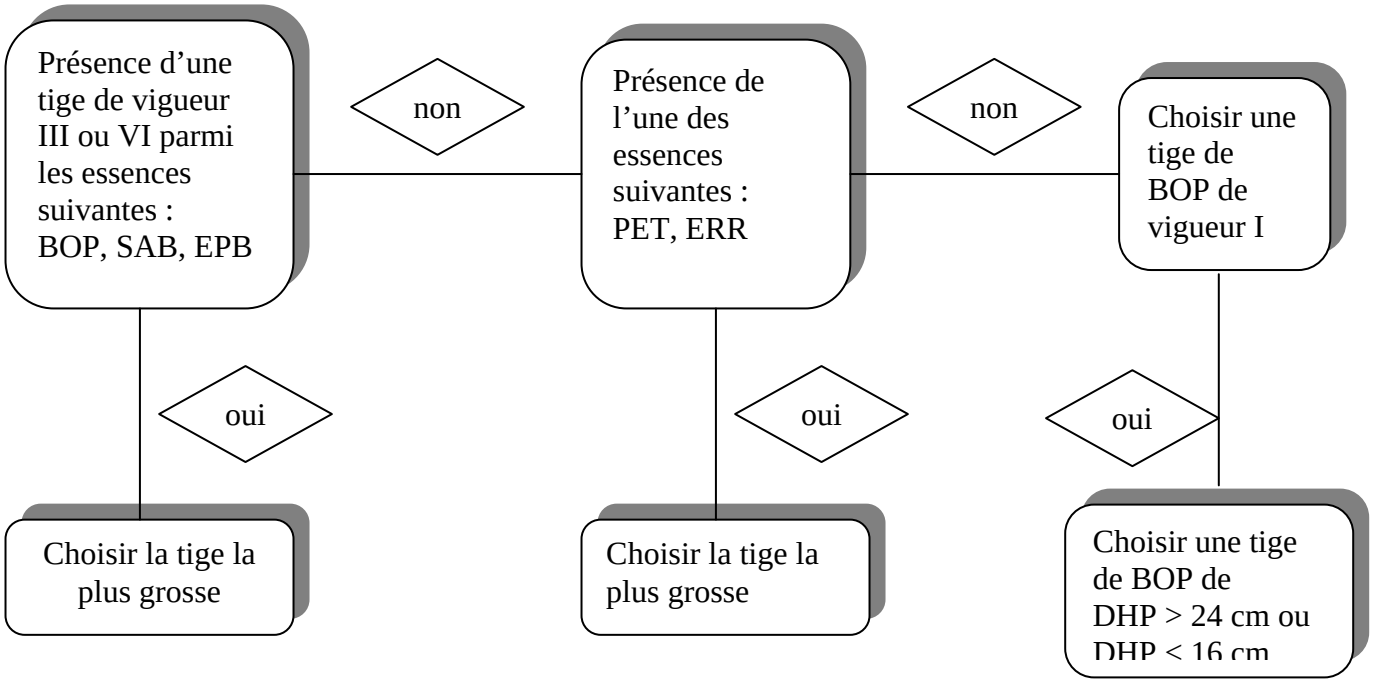


Figure 11 - Méthodologie adoptée pour le martelage des tiges dans la coupe d'éclaircie d'étalement

3.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

3.2.1 Description du territoire

Le territoire à l'étude se situe en Mauricie, dans l'aire commune 43-03, sur le CAAF des Industries John Lewis Inc. Le rapport de classification écologique situe ce secteur dans la sous-région écologique 4c-T du sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'Ouest (Gosselin et al., 1998). Les caractéristiques climatiques et géologiques de ce territoire indiquent, pour cette région, des températures annuelles moyennes variant entre 0 et 2,5 °C, une saison de croissance d'une durée de 160 à 170 jours et des précipitations annuelles moyennes variant entre 900 et 1100 mm.

3.2.2 Choix du secteur

Le secteur retenu se situe approximativement à une centaine de kilomètres au sud ouest de La Tuque, en Haute-Mauricie. Les peuplements du secteur choisi sont issus d'un incendie forestier ayant sévi dans la région en 1922.

Le choix du secteur à l'étude a été effectué parmi les bétulaies blanches à sapin prévues comme aires de coupe et citées au plan annuel d'intervention 1999 des Industries John Lewis inc. Le peuplement recherché devait se trouver sur un terrain régulier présentant des conditions écologiques homogènes et posséder une structure uniforme.

Deux peuplements répondant à ces critères et formant ensemble un bloc d'une superficie de 46 ha ont été retenus. Ces peuplements sont situés en bordure du Lac Picard et sont regroupés sous les appellations cartographiques BB A2 70 et BBS(F) B2 70. Les données d'inventaires fournies par les Industries John Lewis Inc. indiquent que les peuplements à l'étude présentent un diamètre moyen de 16,7 cm dans le peuplement feuillu et de 19,5 cm dans le peuplement mixte, avec un pourcentage de tiges vigoureuses de 88 et 86 %, respectivement. Le relief de ce secteur est relativement peu accidenté, ce qui devrait faciliter les opérations de coupe. La carte 1 illustre de façon précise la localisation du dispositif.

3.2.3 Inventaire préliminaire

Préalablement à la délimitation du dispositif, un inventaire a été réalisé au printemps 1999 afin de dresser le portrait du secteur. Cet inventaire, effectué à l'aide de placettes échantillon à rayon fixe de 11,28 mètres identifiées de façon semi-permanente, a permis de déterminer les caractéristiques dendrométriques moyennes des peuplements. En tout, six virées totalisant 96 placettes échantillons ont été établies dans les deux peuplements cartographiques. Celles-ci ont été localisées par GPS afin de permettre de dresser le portrait du dispositif par point d'inventaire. Dans ces parcelles, le DHP, l'essence ainsi que la vigueur de toutes les tiges de diamètre commercial ont été notées.

À l'aide des mesures effectuées sur le terrain, une compilation sommaire a été effectuée pour chaque parcelle. Cette compilation a permis de déterminer, pour chaque parcelle :

- le nombre de tiges à l'hectare;
- la surface terrière totale;
- la hauteur moyenne du peuplement;
- le nombre de tiges à l'hectare en sapin, épinette blanche et bouleau à papier;
- le pourcentage de surface terrière occupée par le sapin, l'épinette blanche et le bouleau à papier;
- le DHP moyen du sapin, de l'épinette blanche et du bouleau à papier;
- le pourcentage de tiges de vigueur I chez le bouleau à papier.

3.2.4 Délimitation

Le dispositif a été circonscrit de façon à obtenir une composition en essences et en surface terrière la plus homogène possible. Cette composition devait, en premier lieu, comporter une dominance en essences feuillues et en deuxième lieu, une surface terrière suffisamment élevée pour qu'une éclaircie puisse y être pratiquée.

Lors de l'analyse des données d'inventaire terrain, il a été observé que le dispositif présentait des différences dendrométriques suffisamment importantes pour créer des biais potentiels quant à la réaction des tiges à l'éclaircie. Afin de diminuer ces sources de variation et de permettre une meilleure évaluation des effets réels des traitements, la création de blocs distincts, à l'intérieur desquels les traitements seraient répartis, a été jugée nécessaire. Aussi, à partir des données d'inventaire recueillies, la compilation des paramètres par classe de la surface terrière, la proportion des essences, le nombre de tiges à l'hectare, la proportion de tiges de vigueur 1 et le DHP moyen ont servi à différencier les secteurs et délimiter les blocs

En raison de leur proportion trop élevée en résineux ou parce qu'elles étaient situées en tout ou en partie dans les chemins ou les sentiers principaux de débardage, un certain nombre de parcelles ont dû être retirées du dispositif. Sur les 96 placettes établies au départ, seules 64 parcelles ont été retenues pour les inventaires ultérieurs. Avec les parcelles restantes, six blocs comptant chacun entre 8 et 15 parcelles échantillons ont été créés (Annexe Figure A1 et Figure A2).

Afin de mesurer les effets associés à l'ouverture du couvert, il a été convenu qu'une section témoin serait conservée intacte dans chaque bloc, à proximité des sections traitées. Une fois les blocs délimités, les trois traitements (EC, ECE et témoin) ont été répartis au hasard dans chacun des blocs, afin de respecter les postulats relatifs aux analyses statistiques qui seront effectuées ultérieurement.

3.2.5 Portrait général

Ensemble, les deux peuplements étudiés présentent une surface terrière moyenne de 26,3 m²/ha (tableau 5), ce qui constitue une surface terrière suffisante pour qu'une éclaircie puisse y être pratiquée. Cette surface terrière combinée à un nombre de tiges de 1058 tiges à l'hectare situe le peuplement légèrement au-dessus du niveau A des guides de densité américains, ce qui signifie que le peuplement est très dense et qu'une éclaircie est souhaitable pour régulariser l'espacement et récupérer la mortalité qui y aura lieu dans les prochaines années.

Le peuplement à l'étude est vigoureux (80 % des tiges sont de vigueur I, II ou V), la majorité de ces tiges étant de qualité sciage ou déroulage. Les tiges susceptibles de mourir dans les prochains 25 ans sont majoritairement des bouleaux à papier (37 %), des sapins (19 %) des érables rouges (17 %) et des épinettes blanches (13 %).

Tableau 5 - Caractéristiques dendrométriques moyennes pour l'ensemble du dispositif

Peuplement	
ST	26,3 m²/ha
Densité	1058 ti/ha
Proportion en tiges de vigueur I [1]	71 %
Proportion en tiges de vigueur III ou IV	16 %
Bouleau à papier	
Proportion du peuplement	52 %
DHP moyen	17,7 cm
Proportion en tiges de vigueur I	84 %
Proportion en tiges de vigueur I ou II	87 %

[1] Inclus les résineux de vigueur V autres que le sapin

Le tableau 6 présente la répartition de la surface terrière par classe de vigueur pour les essences présentes dans le dispositif. Comme il est possible de le constater, plus de la moitié de la surface terrière est composée de bouleau à papier. L'épinette blanche et le sapin sont par la suite les deux principales essences retrouvées dans le peuplement. Ensemble, ces trois espèces forment plus de 80 % de la composition du couvert.

Les tiges non vigoureuses retrouvées dans le peuplement sont principalement des tiges de bouleau à papier (45 % des tiges de vigueur III ou IV). Ce pourcentage correspond probablement aux tiges des classes intermédiaires et opprimées qui commencent à dépérir sous le couvert.

Tableau 6 - Répartition de la surface terrière, par essence, selon la classe de vigueur pour l'ensemble du dispositif

Essence	Nombre de tiges/ha	Proportion (%)	Classe de vigueur						Total
			I	II	III	IV	V	VI	
Feuillus									
BOP	552,3	52,2	11,4	0,4	0,5	1,4	-	-	13,5
BOJ	5,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	-	-	0,1
PET	43,0	4,1	1,7	0,0	0,2	0,2	-	-	2,0
ERR	43,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,9	-	-	0,9
Résineux									
SAB	152,7	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,0	2,9
EPB	194,1	18,4	4,3	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	5,0
EPN	32,0	3,0	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7
PIG	3,9	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
PIB	31,6	3,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	1,0
Total	**1057,8**	**100**	**18,7**	**0,5**	**1,5**	**2,7**	**1,9**	**1,0**	**26,3**
%	**-**	**-**	**71**	**2**	**6**	**10**	**7**	**4**	**100**

Note : Tous les résineux classés V et VI, à l'exception du sapin, ont été compilés dans les classes de vigueur I et III, respectivement.

Le peuplement à l'étude possède un volume moyen de 163 m³/ha (tableau 7). La majorité des volumes retrouvés dans le dispositif ne sont toutefois pas de diamètre suffisant pour être classés de qualité A, ce qui est corroboré par la courbe de distribution des tiges (présentée en annexe) qui démontre que la grande majorité des tiges se situent dans les classes de DHP inférieures à 24 cm.

Tableau 7 - Répartition du volume moyen, par essence, selon la classe de qualité pour l'ensemble du dispositif

Essence	Classe de qualité					Total	DHP moyen
	A	B	C	D	Autres*		
Feuillus							
BOP	0,0	1,9	25,3	1,7	54,1	83,9	17,7
BOJ	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,6	16,6
PET	0,7	3,7	8,0	1,1	4,2	17,8	24,4
ERR	0,0	0,0	0,0	0,5	3,9	4,4	16,4
Résineux							
SAB	0,0	13,6	0,0	0,0	-	13,6	15,4
EPB	0,0	30,2	0,3	0,1	-	30,6	18,2
EPN	0,0	4,1	0,0	0,0	-	4,1	16,6
PIG	0,0	1,5	0,2	0,0	-	1,6	25,8
PIB	0,0	1,3	2,0	0,0	2,2	6,4	19,7
Total	**0,7**	**56,3**	**36,7**	**4,7**	**64,6**	**163,0**	**-**
%	**0**	**35**	**22**	**3**	**40**	**100**	

** 22 cm de dhp et moins*

3.2.6 Par bloc

Les caractéristiques dendrométriques moyennes du dispositif sont illustrées ci-bas pour chaque bloc. Comme le démontre la figure 12, les différents blocs formés présentent une proportion en tiges vigoureuses de qualité sciage ou déroulage (entre 68 et 80 %) relativement uniforme, tout en ayant une proportion de tiges non vigoureuses qui varie grandement, passant de 8 %, dans le bloc 1, à 22 % dans le bloc 4.

Un seul bloc, le bloc 3, possède une surface terrière inférieure à 25 m²/ha, ce qui le place sous le niveau A des guides de densité. Tous les autres blocs possèdent pour leur part des densités correspondant à celle de peuplements non aménagés pleinement stockés.

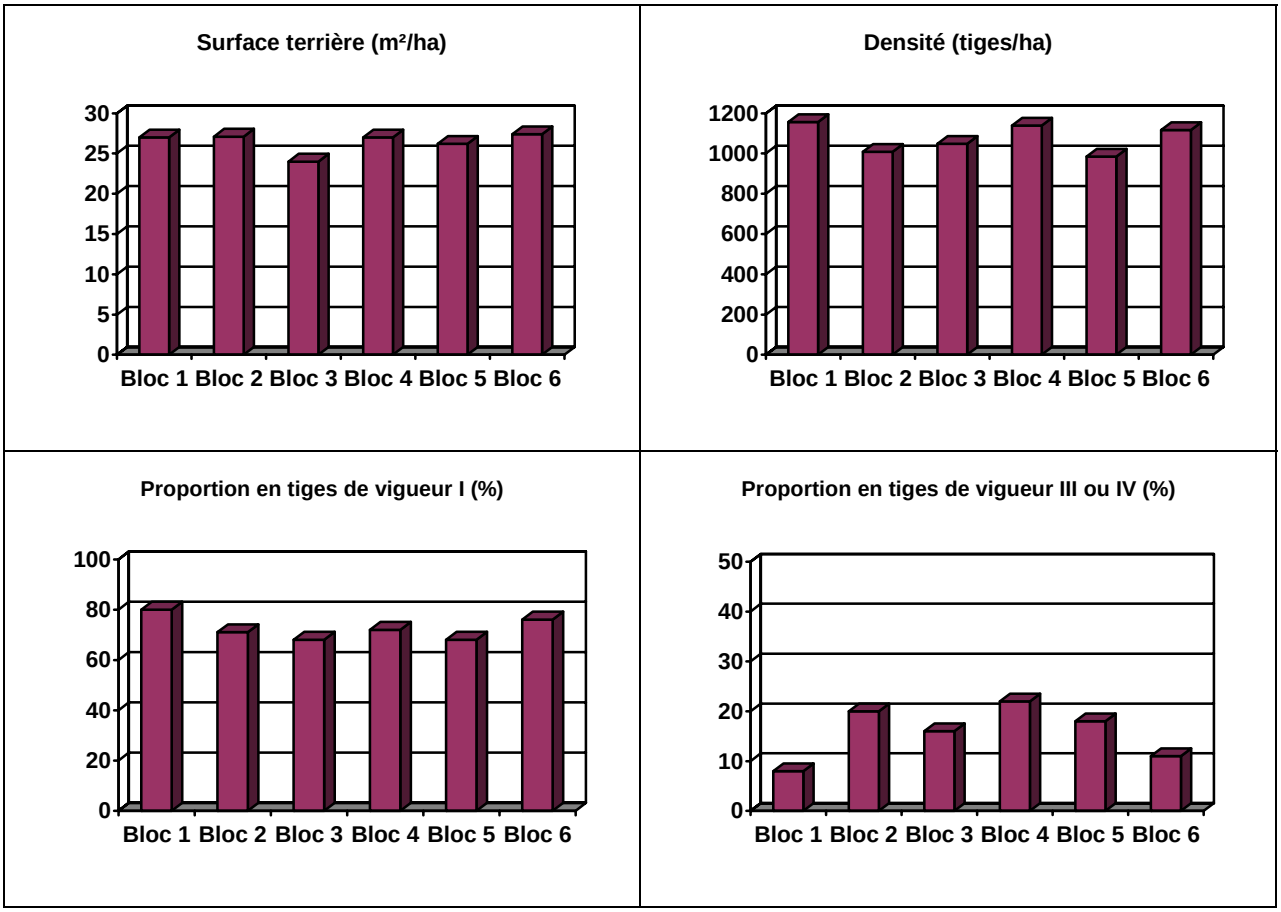


Figure 12 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par bloc

La proportion de bouleau à papier dans le dispositif varie entre 32 et 73 % selon les blocs (tableau 8). Le DHP moyen de ce dernier semble d'ailleurs homogène dans le dispositif à l'exception du bloc 5 qui présente un DHP moyen beaucoup plus élevé avec 19,2 cm.

Le bloc 2 est le bloc qui présente les plus faibles proportions en tiges feuillues vigoureuses avec 75 % de tiges de vigueur I ou II. À l'opposé, le bloc 1 possède les plus fortes proportions de tiges de bouleau de vigueur I avec 96 %.

Tableau 8 - Caractéristiques dendrométriques moyennes pour le bouleau à papier, par bloc

	Bloc 1 n=8	Bloc 2 n=11	Bloc 3 n=12	Bloc 4 n=9	Bloc 5 n=15	Bloc 6 n=9
Proportion de bouleau blanc (%)	51	32	73	33	61	52
DHP moyen (cm)	17,2	16,9	17,8	16,1	19,2	17,1
Proportion en tiges de vigueur I (%)	96	70	85	79	82	89
Proportion en tiges de vigueur I ou II (%)	96	75	87	83	86	90

La composition en essences des différents blocs est décrite au tableau 9. Ce dernier démontre bien le caractère mixte de l'ensemble du dispositif, à l'exception du bloc 3 qui, avec sa proportion feuillue de 79 %, se démarque des autres blocs. Les blocs 2 et 4 sont les blocs qui présentent les plus faibles proportions de bouleau à papier.

Tableau 9 - Surface terrière et proportion moyenne, par essence, retrouvée dans les blocs

	Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4		Bloc 5		Bloc 6	
	ST	**%**	**ST**	**%**	**ST**	**%**	**ST**	**%**	**ST**	**%**	**ST**	**%**
BOP	13,8	51	8,6	32	17,5	73	9,0	33	16,2	61	14,2	52
BOJ	0,0	0	0,1	1	0,4	2	0,1	0	0,0	0	0,0	0
PET	2,7	10	5,0	18	0,2	0	2,3	9	0,3	1	2,7	10
ERR	0,0	0	0,4	1	0,9	4	1,7	6	1,5	6	0,4	1
SAB	3,4	13	1,7	6	3,6	15	1,4	5	3,1	12	3,8	14
EPB	6,6	24	7,9	29	0,9	4	6,3	23	4,3	17	5,7	21
EPN	0,0	0	0,1	1	0,4	2	3,8	14	0,3	1	0,1	1
PIG	0,0	0	0,3	1	0,0	0	0,8	3	0,1	0	0,0	0
PIB	0,5	2	3,0	11	0,0	0	1,5	6	0,5	2	0,4	1
Feuillus	**16,5**	**61**	**14,1**	**52**	**19**	**79**	**13,1**	**48**	**18**	**68**	**17,3**	**63**
Résineux	**10,5**	**39**	**13**	**48**	**4,9**	**21**	**13,8**	**52**	**8,3**	**32**	**10**	**37**
Total	**27**	**100**	**27,1**	**100**	**23,9**	**100**	**26,9**	**100**	**26,3**	**100**	**27,3**	**100**

3.2.7 Par type d'intervention

La figure 13 dresse un portrait du peuplement moyen par type d'intervention projetée. L'analyse de cette figure permet de faire ressortir deux éléments : 1) les peuplements témoins semblent présenter une surface terrière et une densité beaucoup plus élevées que les peuplements désignés à être éclaircis; 2) les peuplements choisis pour éclaircie commerciale d'étalement semble posséder un pourcentage de tiges de vigueur III ou IV inférieur aux deux autres traitements.

Ces deux éléments devront être pris en compte afin de déterminer s'ils influenceront significativement la portée des rendements attendus dans cette étude.

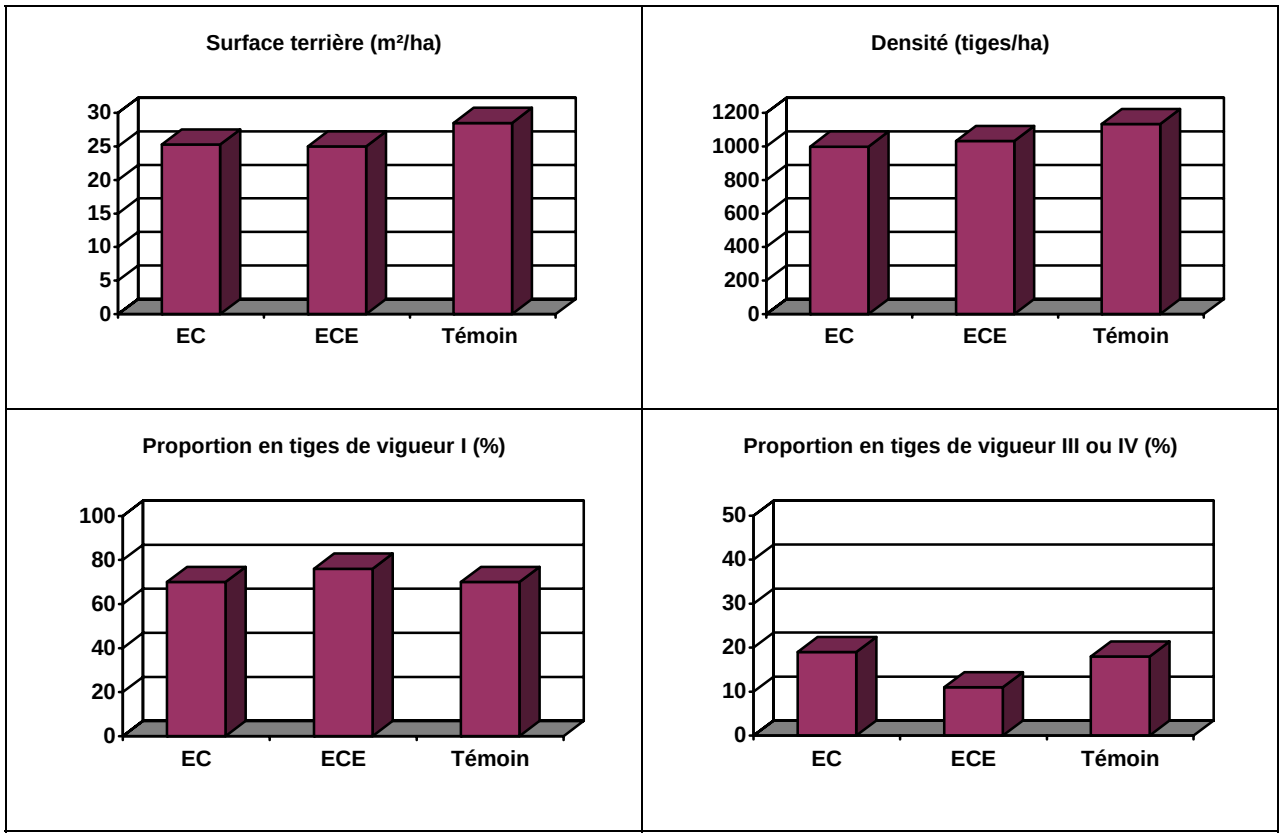


Figure 13 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par type d'intervention

Dans l'ensemble, le bouleau à papier présente un portrait homogène pour les trois traitements, comme le démontre le tableau 10 où les variables « proportion du peuplement », « dhp moyen » et « proportion en tiges de vigueur I » varient très peu en fonction des traitements.

Tableau 10 - Caractéristiques dendrométriques moyennes pour le bouleau à papier, par type d'intervention

	EC n=23	ECE n=19	Témoin n=22
Bouleau à papier			
Proportion du peuplement	51	52	53
DHP moyen	18,1	17,5	17,5
Proportion en tiges de vigueur I	85	86	82
Proportion en tiges de vigueur I ou II	87	88	85

Il en est de même pour la composition en essences des peuplements traités qui est aussi uniforme comme le démontre le tableau 11. Cette uniformité est un atout car elle permettra d'accentuer les différences espérées entre le martelage dans l'éclaircie commerciale conventionnelle et celui de l'éclaircie commerciale d'étalement.

Tableau 11 - Surface terrière moyenne et proportion moyenne, par essence, selon les traitements

	EC		ECE		Témoin	
	ST	**%**	**ST**	**%**	**ST**	**%**
BOP	13,3	51	12,8	52	14,4	53
BOJ	0,1	1	0,2	1	0,2	0
PET	2,3	4	2,3	4	1,5	4
ERR	1,3	6	0,4	2	0,8	3
SAB	2,7	16	2,9	17	2,9	12
EPB	4,5	19	4,8	18	5,8	19
EPN	0,2	1	0,7	4	1,3	4
PIG	0,2	0	0,1	0	0,3	1
PIB	0,7	2	0,7	3	1,4	4
Résineux	**17,0**	**62**	**15,8**	**59**	**16,9**	**60**
Feuillus	**8,3**	**38**	**9,2**	**41**	**11,6**	**40**
Total	**25,3**	**100**	**25,0**	**100**	**28,5**	**100**

3.3 RÉALISATION DES OPÉRATIONS DE RÉCOLTE

Les interventions sylvicoles ont été effectuées durant le mois de juillet 1999, par deux équipes composées de deux abatteurs et d'un débardeur. La supervision des opérations a été réalisée par le CERFO et Forestiers Sélect tandis que les volumes récoltés de même que les études de productivité ont été compilés par Gestion Rémabec.

L'abattage des tiges a été réalisé manuellement et les feuillus ont été ébranchés sur le parterre de coupe. Les techniques d'abattage directionnel ont été mises en application. L'utilisation de deux abatteurs pour un débardeur a d'ailleurs permis aux bûcherons de bien planifier l'abattage afin de minimiser les dommages au peuplement résiduel.

Le débardage a été réalisé par troncs entiers dans le cas de feuillus et par arbres entiers dans le cas des résineux à l'aide d'un débardeur par câbles. Une distance minimale entre les sentiers d'au moins 30 m a été respectée. Aucune circulation des machines n'a été permise dans le peuplement entre les sentiers, ce qui devrait permettre de diminuer l'incidence du dépérissement après coupe, situation fréquemment observée dans les peuplements de bouleaux éclaircis en âge avancé. Très peu de perturbations du sol ont été dénotées dans les sentiers.

3.4 INVENTAIRE APRÈS INTERVENTION

Une fois les opérations de récolte terminées, un remesurage des placettes établies lors de l'inventaire préliminaire a été effectué pour les deux traitements d'éclaircie. Cet inventaire a permis de dresser le portrait du peuplement après la coupe, de déterminer si les traitements se conformaient au prélèvement souhaité et si un fort pourcentage de tiges avaient été blessées.

Les variables mesurées lors de cet inventaire étaient les mêmes que celles avant traitement, avec l'ajout du décompte des tiges coupées, blessées ou renversées.

3.5 SUIVI DES TIGES D'AVENIR

Afin d'évaluer si la réaction en croissance pouvait être influencée par le diamètre initial de la tige d'avenir, cinq classes de DHP ont été retenues pour en évaluer la réaction des tiges. Aussi, en étudiant la distribution des diamètres du bouleau à papier avant traitement dans l'ensemble du dispositif, les classes de 14, 16, 18, 20 et 22 cm de DHP ont été retenues comme représentatives des classes de diamètre des tiges observées dans le dispositif.

3.5.1 Choix des tiges

Pour les données initiales du suivi, 5 tiges ont été choisies au hasard par classe de DHP par traitement et par bloc parmi les tiges mesurées dans les placettes d'inventaire. Lorsqu'il était impossible de trouver 5 tiges dans une classe de diamètre donné, le nombre maximum de tiges présentes pour la classe de diamètre en question était retenu.

À long terme le choix d'un tel nombre de tiges devrait permettre le suivi d'au moins 3 tiges d'avenir par classe de diamètre, et ce, pour chaque type d'intervention et pour chaque bloc.

3.5.2 Paramètres mesurés lors du suivi

La réaction des tiges à l'éclaircie peut être évaluée de plusieurs façons. D'abord, elle peut se quantifier en terme de production de matière ligneuse, qui est elle-même déterminée par la croissance en diamètre observée sur les tiges dégagées. Par ailleurs, à court terme, avant même qu'une réaction en diamètre ne soit perceptible, le potentiel de croissance après éclaircie peut être prédit en étudiant l'évolution en volume de la cime de la tige d'avenir.

Les variables choisies pour le suivi l'ont été dans l'optique de pouvoir suivre l'évolution de la croissance et du potentiel de croissance du peuplement. Aussi, outre le DHP, mesuré au millimètre près à l'aide d'un gallon circonférentiel, trois autres variables ont été mesurées : la hauteur de la cime, la largeur de la cime de même que la hauteur totale des tiges. La hauteur de la cime correspond ici à la hauteur, sur la tige, à laquelle apparaît la première branche vivante, et la

largeur de la cime constitue une moyenne des largeurs de cime observées sur deux axes perpendiculaires nord-sud, est-ouest.

Le pourcentage de cime vivante est un élément fréquemment mentionné dans la littérature comme outil de prédiction de la réaction des tiges à l'éclaircie. Ainsi, la littérature reconnaît que les éclaircies devraient permettre la constitution d'un houppier d'une longueur variant entre 1/2 et 1/3 de la hauteur de la tige, proportion qui maximise la photosynthèse. Grâce aux variables récoltées sur le terrain, ce pourcentage a pu être évalué pour chaque tige à l'aide de la formule suivante :

$$\textit{\% cime vivante} = \frac{(Ht - Hc)}{Ht} * 100$$

où : Ht = la hauteur totale de la tige, en mètre
Hc = la hauteur de la première branche vivante, en mètre.

3.6 ANALYSES STATISTIQUES

Le design expérimental du dispositif à l'étude comporte trois niveaux de variation : les blocs, les types d'intervention et les classes de diamètre. Le design se rapproche d'un plan en tiroirs (split-plot) où les blocs sont en parcelles principales et les types d'intervention de même que les classes de diamètre sont en sous-parcelles. Le logiciel retenu pour effectuer les analyses est le logiciel statistique SAS.

Pour l'année 1999, les tests effectués sur les variables visaient la détermination de différences possibles entre les différents traitements pour les données initiales des cinq variables mesurées sur les tiges d'avenir. L'analyse des résidus ayant démontré que la variance des variables était homogène et que l'erreur était distribuée normalement, aucune transformation des variables n'a été nécessaire pour les analyses.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 OPÉRATIONS DE RÉCOLTE

4.1.1 Éclaircie commerciale conventionnelle (EC)

L'éclaircie commerciale a été réalisée à un taux de prélèvement de 34,8 %, ce qui a abaissé la surface terrière à 16,5 m²/ha (tableau 12). Par cette intervention, le peuplement a été ramené entre les niveaux A et B des guides de densité. L'intervention a permis une certaine augmentation de la proportion de bouleaux dans le peuplement, mais de façon modeste (1% d'augmentation).

Tableau 12 - Portrait des peuplements traités par éclaircie commerciale conventionnelle, avant et après coupe

	Avant coupe	Après coupe	Différence
Peuplement			
ST (m²/ha)	25,3	16,5	**- 8,8 m²/ha**
Densité (ti/ha)	999	701	**- 298 ti/ha**
Taux de prélèvement (%)	25,0	34,8	**+ 9,8 %**
Proportion de tiges de vigueur I (%)	70	65	**- 5 %**
Proportion de tiges de vigueur III ou IV (%)	19	22	**+ 3 %**
Bouleau à papier			
Proportion en BOP (%)	51	52	**+ 1 %**
Proportion de tiges de BOP de vigueur I (%)	85	82	**- 3 %**

La répartition, par essence, de la surface terrière par classe de vigueur (tableau 13) indique un taux de vigueur de 74 % après la coupe, en incluant les résineux d'érables rouges. Les tiges non vigoureuses encore sur pied sont principalement des bouleaux à papier, des épinettes blanches et des sapins.

Tableau 13 - Répartition par essence de la surface terrière selon la classe de vigueur après coupe pour les peuplements traités par éclaircie commerciale conventionnelle

Essence	Proportion (%)	Classe de vigueur						Total
		I	II	III	IV	V	VI	
Feuillus								
BOP	52.2	7.5	0.1	0.4	1.1	-	-	9.1
BOJ	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	0.1
PET	2.0	0.4	0.0	0.2	0.1	-	-	0.7
ERR	5.6	0.0	0.0	0.0	0.8	-	-	0.8
Résineux								
SAB	17.5	-	-	-	-	1.3	0.8	2.1
EPB	18.9	2.3	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	3.0
EPN	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
PIG	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
PIB	1.9	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5
Total		**10.7**	**0.1**	**1.4**	**2.2**	**1.3**	**0.8**	**16.5**
%	**100**	**65**	**1**	**8**	**13**	**8**	**5**	**100**

Les résineux V et VI sont compilés en I et III, respectivement

L'éclaircie commerciale conventionnelle a engendré des blessures sur 9 % des tiges résiduelles, pour une surface terrière en tiges blessées de 0,24 m²/ha (tableau 14). Ce taux correspond aux niveaux observés dans les coupes partielles ayant bénéficié d'une bonne planification des opérations (abattage directionnel, planification des sentiers, etc.) (Winsauer et Mattson, 1987). En considérant que la moitié des tiges blessées font partie de la classe des dominants et des codominants, le nombre de tiges d'avenir blessées peut être extrapolé à 24 tiges à l'hectare.

Tableau 14 - Sommaire des blessures du peuplement après coupe dans le traitement d'éclaircie commerciale conventionnelle

	Nombre de tiges/ha	Nombre de tiges/ha coupées	Nombre de tiges/ha renversées	Nombre de tiges/ha blessées	ST en tiges blessées (m²/ha)
Feuillus					
BOP	366	141	5	23	0.08
BOJ	5	1	0	0	0.00
PET	14	26	0	1	0.00
ERR	39	18	3	4	0.00
Résineux					
SAB	123	29	7	8	0.12
EPB	133	45	8	11	0.04
EPN	7	3	0	0	0.00
PIG	1	1	0	0	0.00
PIB	13	10	0	0	0.00
Total	**701**	**275**	**23**	**48**	**0.24**

4.1.2 Éclaircie commerciale d'étalement (ECE)

L'éclaircie commerciale d'étalement a engendré une réduction de la surface terrière de 8,9 m²/ha (tableau 15), ce qui est inférieur au prélèvement maximal prévu par le *Manuel d'aménagement forestier*. La surface terrière a ainsi été ramenée à 16,1 m²/ha, ce qui conserve le peuplement entre les niveaux A et B des guides de densité (figure 5).

Bien que les travaux de récolte aient entraîné un pourcentage de prélèvement de 11 % supérieur à ce qui avait été prévu initialement, ce prélèvement ne dépasse pas les 40 %, chiffre considéré critique pour le dépérissement du bouleau à papier d'âge mûr.

L'éclaircie commerciale d'étalement a permis d'augmenter, quoique de façon minime, la proportion de bouleau à papier dans le peuplement. Ceci a pu se faire en concentrant le prélèvement parmi les essences résineuses puisque le nombre de tiges non vigoureuses de bouleau à papier était relativement faible.

Tableau 15 - Portrait des peuplements traités par éclaircie commerciale d'étalement, avant et après coupe

	Avant coupe	Après coupe	Différence
Peuplement			
ST (m²/ha)	25,0	16,1	**- 8,9 m²/ha**
Densité (ti/ha)	1033	753	**- 280 ti/ha**
Taux de prélèvement (%)	25	36	**+ 11 %**
Proportion de tiges de vigueur I (%)	76	66	**- 10 %**
Proportion de tiges de vigueur III ou IV (%)	11	19	**+ 8 %**
Bouleau à papier			
Proportion en BOP (%)	52	54	**+ 2 %**
Proportion de tiges de BOP de vigueur I (%)	86	77	**- 9 %**

La coupe a abaissé le pourcentage de tiges de vigueur I du peuplement de 76 à 66 % en conservant une majorité de tiges de bouleau à papier et d'épinette blanche (tableau 16). Le nombre de tiges vigoureuses de bouleau à papier après intervention est pour sa part passé de 86 à 77 %, ce qui rejoint les proportions obtenues lors de l'éclaircie conventionnelle.

Tableau 16 - Répartition par essence de la surface terrière selon la classe de vigueur après coupe pour les peuplements traités par éclaircie commerciale d'étalement

Essence	Proportion (%)	Classe de vigueur						Total
		I	II	III	IV	V	VI	
Feuillus								
BOP	53.8	7.0	0.2	0.4	1.6	-	-	**9.2**
BOJ	0.9	0.0	0.0	0.0	0.2	-	-	**0.2**
PET	1.7	0.4	0.0	0.1	0.0	-	-	**0.5**
ERR	1.4	0.0	0.0	0.0	0.2	-	-	**0.2**
Résineux								
SAB	18.4	-	-	-	-	1.6	0.5	**2.1**
EPB	17.8	2.6	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	**3.0**
EPN	3.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.3**
PIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**
PIB	2.8	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	**0.7**
Total	**-**	**10.7**	**0.3**	**1.0**	**2.1**	**1.6**	**0.5**	**16.2**
%	**100**	**66**	**1**	**6**	**13**	**10**	**3**	**100**

Les résineux V et VI sont compilés en I et III, respectivement

La proportion de tiges blessées au cours de l'éclaircie d'étalement est légèrement plus élevée (12 %) que celle obtenue lors de l'éclaircie commerciale conventionnelle, pour un prélèvement comparable (tableau 17). En assumant, encore ici que la moitié des tiges blessées sont des tiges faisant partie des dominants et codominants, cela porte à 41 tiges/ha le nombre de tiges d'avenir blessées.

Tableau 17 - Sommaire des blessures du peuplement après coupe dans le traitement d'éclaircie commerciale d'étalement

	Nombre de tiges/ha	Nombre de tiges/ha coupées	Nombre de tiges/ha renversées	Nombre de tiges/ha blessées	ST en tiges blessées (m^2/ha)
Feuillus					
BOP	405	118	9	41	0.0
BOJ	7	0	0	0	0.0
PET	13	29	0	1	0.0
ERR	11	9	1	0	0.0
Résineux					
SAB	138	36	5	17	0.24
EPB	134	49	3	14	0.05
EPN	24	9	5	3	0.01
PIG	0	1	0	0	0.00
PIB	21	3	3	7	0.00
Total	**753**	**254**	**26**	**83**	**0.30**

4.1.3 Comparaison des traitements

Les deux traitements à l'étude ont engendré des caractéristiques dendrométriques résiduelles comparables, tel qu'illustré à la figure 14. En effet, à l'exception du pourcentage de tiges non vigoureuses qui semble avoir augmenté dans une plus forte proportion à la suite de l'éclaircie commerciale d'étalement qu'à la suite de l'éclaircie commerciale conventionnelle, les autres variables sont semblables pour les deux types d'intervention. L'augmentation plus forte du pourcentage de tiges non vigoureuses dans l'éclaircie commerciale d'étalement serait, entre autres, l'effet d'un nombre de tiges à l'hectare blessées plus élevé dans ce traitement (tableaux 14 et 17).

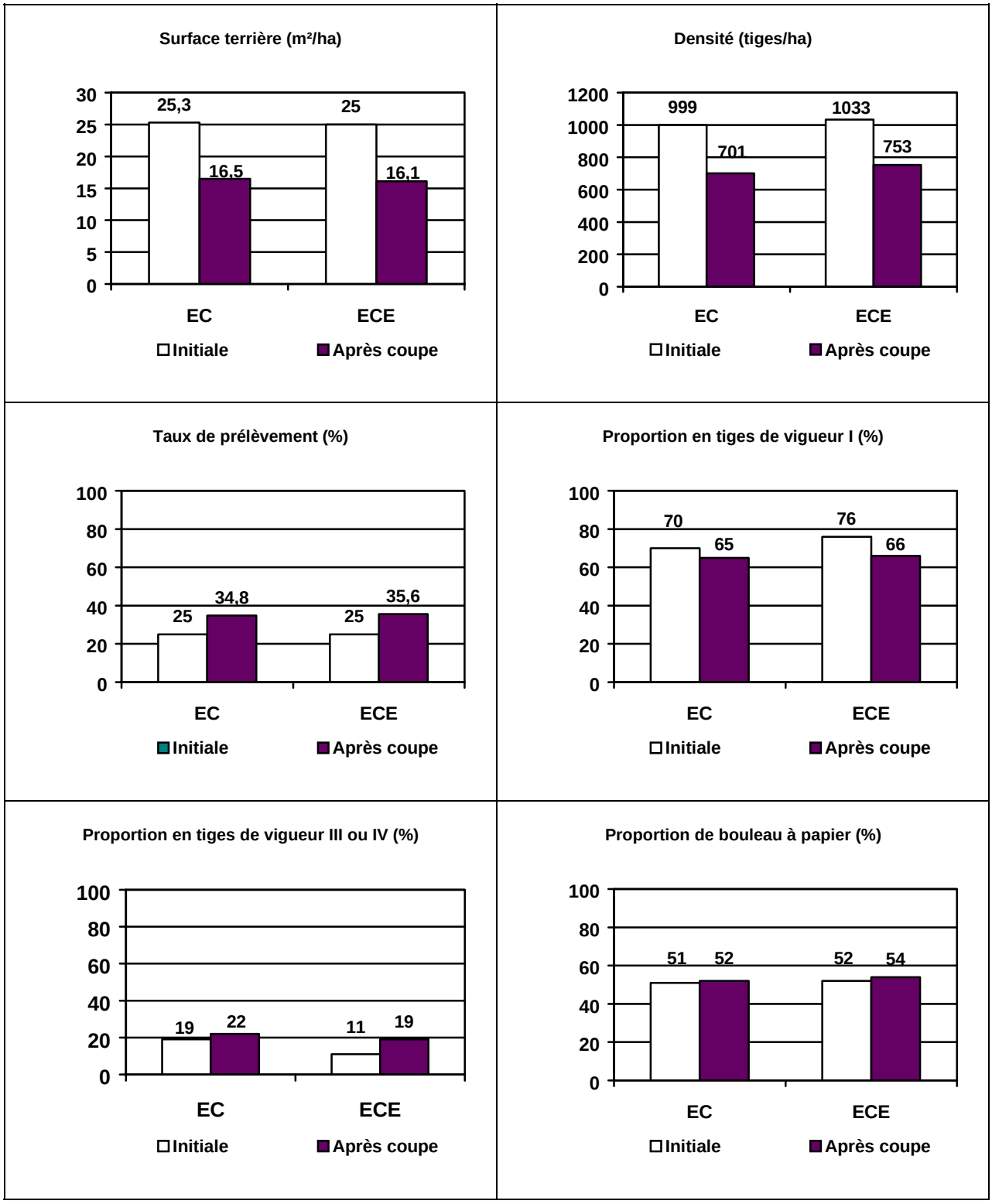


Figure 14 - Comparaison de différentes variables dendrométriques avant et après coupe pour les deux traitements d'éclaircie

4.2 PORTRAIT DES TIGES D'ÉTUDE CHOISIES POUR LE SUIVI

Les tiges d'avenir choisies pour le suivi à long terme présentent un diamètre moyen de 18,1 cm et une hauteur moyenne de 17,4 m à un âge de 78 ans (tableau 18), ce qui porte approximativement à 16 m, l'indice de qualité de station du dispositif. Cet indice n'est toutefois donné qu'à titre indicatif puisque le peuplement en présence est un peuplement mixte qui possède une dynamique de croissance différente des peuplements purs et réguliers.

Le pourcentage de cime vivante observé parmi les dominants et codominants, près de 40 %, montre que les tiges possèdent un ratio cime vivante/hauteur de la tige déjà important, ce qui laisse présager un bon potentiel de réaction à l'éclaircie.

Tableau 18 - Caractéristiques dendrométriques moyennes des tiges d'avenir pour l'ensemble du dispositif – moyenne et intervalle de confiance

	Dispositif
Diamètre (mm)	181 3
Hauteur de la tige (m)	17,4 0,2
Hauteur de la cime (m)	10,7 0,2
Largeur de la cime (m)	3,8 0,1
Proportion de cime vivante (%)	39 1

4.2.1 Portrait des tiges d'avenir par classe de DHP

Comme il est possible de le constater au tableau 19, l'évolution des caractéristiques dendrométriques des tiges d'avenir se reflète bien dans les différentes classes de diamètre à l'étude. Ainsi, on peut observer pour chaque variable une évolution constante de la croissance en hauteur de la tige de même que de la largeur de la cime à mesure que le diamètre augmente. Chez cette dernière, il semble que les tiges d'un diamètre supérieur à 20 cm possède une position grandement avantageuse dans le couvert qui leur permette d'étaler leur cime sur un plus grand diamètre que ne le peuvent les tiges de 18 cm et moins.

Seule la hauteur de la cime, et par le fait même la proportion de cime vivante, semblent peu varier en fonction du diamètre de la tige. En effet, dans le cas de la hauteur de la cime, seules les tiges d'avenir de 14 et de 22 cm montrent des moyennes différentes, alors que pour la proportion de cime vivante, la classe de diamètre de 14 cm montre une proportion de cime plus faible à celle des autres classes. Ceci porte à croire que peu importe la position de la tige dans le couvert, à de telles densités l'expansion verticale de la cime est limitée par les conditions lumineuses. Seule une ouverture du couvert peut donc permettre son expansion.

Tableau 19 - Caractéristiques dendrométriques moyennes des tiges d'avenir, par classe de diamètre – moyenne et intervalle de confiance

	14 n=77	16 n=64	18 n=82	20 n=82	22 n=51
Diamètre (mm)	144 2	164 2	184 2	203 2	222 2
Hauteur de la tige (m)	16,1 0,4	17,4 0,4	17,5 0,4	18,0 0,4	18,6 0,5
Hauteur de la cime (m)	10,4 0,5	10,7 0,5	10,7 0,4	10,9 0,4	11,0 0,6
Largeur de la cime (m)	3,2 0,2	3,4 0,2	3,7 0,2	4,2 0,2	4,6 0,4
Proportion de cime vivante (%)	36 2	39 2	39 2	39 2	41 2

La figure 15 illustre l'évolution des différents paramètres mesurés sur les tiges d'avenir pour les cinq classes de diamètre étudiées. Les résultats des tests d'égalité des moyennes se visualisent bien sur ces figures où la hauteur de la cime ainsi que la proportion de cime vivante présentent une pente beaucoup plus faible, signifiant par le fait même qu'elles sont moins liées au diamètre que celles qui présentent une pente plus forte.

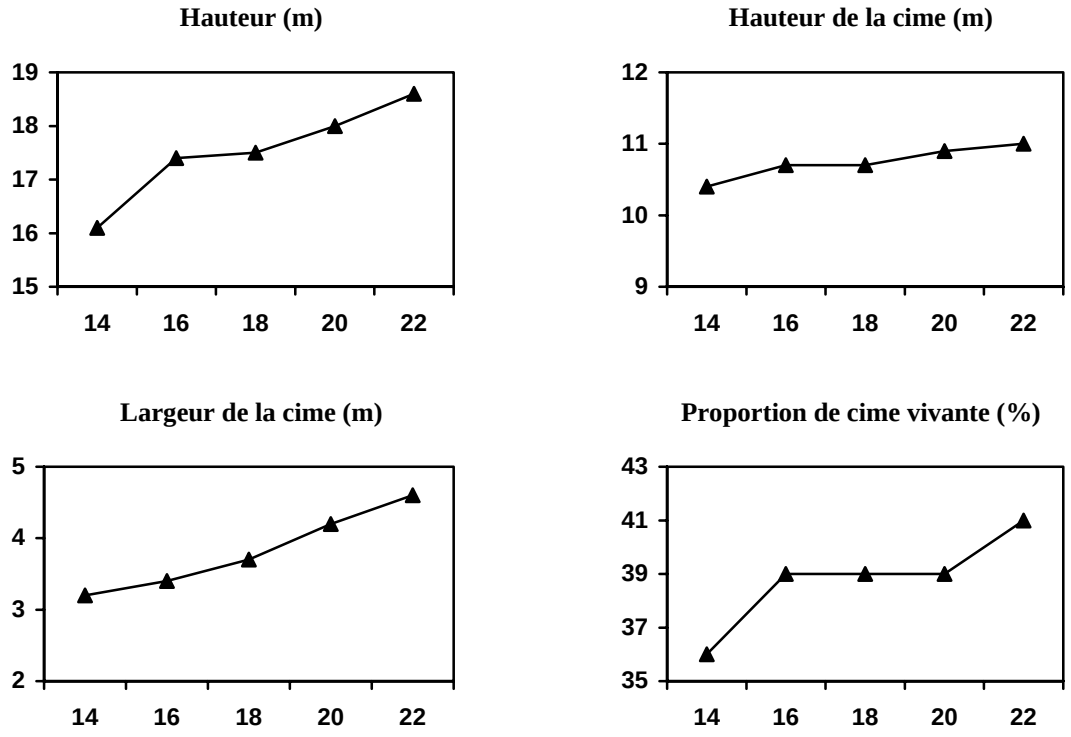


Figure 15 - Évolution des paramètres mesurés selon la classe de diamètre

4.2.2 Analyse de variance

Les analyses de variance réalisées sur le dhp, la hauteur totale de la tige, la hauteur de la cime, la largeur de la cime ont démontré qu'il n'existait aucune différence significative entre les interventions pour une classe de diamètre donnée (tableau 20). Ceci démontre que les tiges d'avenir choisies pour le suivi présentaient des caractéristiques dendrométriques semblables pour tous les traitements. Pour ces quatre variables, la formation de blocs était justifiée et elle semble avoir réussi a circonscrire la variance.

Pour ce qui est du pourcentage de cime vivante, des différences significatives ont été décelées entre l'éclaircie commerciale conventionnelle et l'éclaircie commerciale d'étalement, de même qu'entre les tiges traitées et les tiges témoins. Cette différence significative confirme le fait que la longueur de la cime, près du seuil de signification (p=0,0580), semble beaucoup varier d'une tige à l'autre, probablement selon la position hiérarchique de la tige dans le couvert. Les différences de densités observées, notamment dans les blocs 1 et 6 peuvent être responsable de ces différences (voir tableau A.1., en annexe). Il a en effet été observé dans ces blocs que les peuplements présentaient de grands écarts de densité, ce qui a pu entraîner la formation de cime significativement plus volumineuse dans les cas où la densité était plus faible, et vice versa. Ces différences devront éventuellement être prises en compte lors du suivi qui sera effectué au cours des prochaines années.

Tableau 20 - Analyse de variance effectuée sur les paramètres des tiges d'avenir

Source de variation	*d.l.*	*Carré moyen*	*F*	*p > F*
DHP				
Bloc	5	186.22	2.76	**0.0808**
Traitement	2	85.81	1.27	**0.3222**
Hauteur				
Bloc	5	33.17	3.49	**0.0439***
Traitement	2	15.18	1.60	**0.2504**
Longueur de la cime				
Bloc	5	56.83	6.83	**0.0051****
Traitement	2	31.96	3.84	**0.0580**
Largeur de la cime				
Bloc	5	8.88	5.32	**0.0121***
Traitement	2	0.07	0.04	**0.9618**
Pourcentage de cime vivante				
Bloc	5	843.63	8.52	**0.0022****
Traitement	2	470.98	4.76	**0.0353***
EC vs ECE	1	684.09	6.91	**0.0252***

* : Différence considérée significative au seuil α = 0,05
** : Différence considérée significative au seuil α = 0,01

CONCLUSION

Les éclaircies commerciales pratiquées en 1999 dans les peuplements mixtes à dominance de bouleau à papier démontrent qu'il existe de faibles différences entre les résultats obtenus selon le type d'intervention pratiquée. Dans le cas présent, l'augmentation de la proportion du nombre de tiges de bouleau à papier dans le peuplement a été plutôt modeste pour les deux types d'intervention. Étant donné la forte densité de tiges de bouleau à papier de vigueur I, le pourcentage de blessure de 9 % et 12 % et le prélèvement de tiges de vigueur I; une diminution du nombre de tiges de bouleau à papier vigoureux a été observée pour les deux types d'éclaircies.

La formation de blocs lors de la création du dispositif a réussi à isoler la variance et pour chacun des blocs, les tiges d'avenir choisies pour le suivi démontrent, pour une classe de diamètre donnée, des caractéristiques dendrométriques semblables.

Les suivis qui seront effectués ultérieurement permettront de déterminer l'effet qu'aura eu l'ouverture du couvert sur le développement des tiges et la croissance en diamètre. Il sera possible de valider si les opérations d'été avec des sentiers espacés auront entraînées un dépérissement des tiges d'avenir laissées sur pied. De plus, la présence de témoins permettra de qualifier la réaction aux interventions d'éclaircie de ces peuplements relativement denses et âgés.

BIBLIOGRAPHIE

Anderson, H.W., 1991. Some implications of logging damage in the tolerant hardwood forests of Ontario. *Dans* : Logging damage : problems ans practical solutions (J.A. Rice, Éditeur). Ministry of Natural Resources of Ontario, Ontario Forest Research Institute, Forest Research Information Paper no 117. p 3-27.

Auclair, A.N.D., J.T. Lill et C. Revenga, 1996. The role of climate variability and global warming in the dieback of northern hardwoods. Water, Air and Soil Pollution 91 : 163-186.

Bégin, J, S. Tremblay et L. Bélanger, 19XX. XXX

Benzie, J.W, 1959. Small tractors, ground skidding reduce tree damage in selection harvest. Timberman 60 (11) : 42-42, 54.

Benzie, J.W., G. Hesterberg et J.H. Ohman, 1963. Pathological effects of logging damage four years after selective cutting in old-growth northern hardwoods. Journal of Forestry 61(10) : 786-792.

Bolghari, H.A., 1990. Quelques aspects de la pratique de l'éclaircie commerciale dans les peuplements de pin gris et d'épinette noire du nord-ouest québécois. *Dans* : L'éclaircie commerciale et pré-commerciale. Textes des conférences présentées au colloque sur l'éclaircie commerciale et pré-commerciale les 7 et 8 juin 1990 à Amos. Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec. p 97.

Braathe, P., 1957. Thinnings in even-aged stands. A summary of European litterature. Faculty of Forestry, University of New Brunswick, Fredericton. 92 p.

Braathe, P., 1995. Birch dieback - caused by prolonged early spring thaws and subsequent frost. Norwegian Journal of Agricultural Sciences, Supplément no 20 : 1-59.

Bruhn, J.N., 1984. Damage to the residual stand resulting from mechanized thinning of northern hardwoods. *Dans* : Hardwood thinning opportunities in the Lake States. Proceedings of a Symposium, Escabana Michigan, April 20, 1984 (J.A. Sturos, Compilateur). USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-113. p 74-84.

Cameron, A.D., 1996. Managing birch woodlands for the production of quality timber. Forestry 69 (4) : 357-371.

Cameron, A.D., R.A. Dunham et J.A. Petty, 1995. The effects of heavy thinning on stem quality and timber properties of silver birch (*Betula pendula* Roth). Forestry 68 (3) : 275-285.

Carmean, W.H., 1978. Site index curves for northern hardwoods in northern Wisconsin and upper Michigan. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Paper NC-160. 16 p.

Carmean, W.H., 1979. A comparison of site index curves for northern hardwood species. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Paper NC-167. 12 p.

Chapin F.S. III, P.R. Tryon et K.van Cleve, 1983. Influence of phosphorus on growth and biomass distribution of Alaskan taiga tree seedlings. Canadian Journal of Forest Research 13 : 1092-1098.

Cline M.L., B.F. Hoffman, M. Cyr et W. Bragg, 1991. Stand damage following whole-tree partial cutting in northern forests. Northern Journal of Applied Forestry 8 (2) : 72-76.

Comeau, P.G., S.B. Watts, C.L. Caza, J. Karakatsoulis, S.M. Thomson et A.B. McGee, 1989. Autecology, biology, competititive status and response to treatment of seven southern interior weed species. FRDA Report 093, BC Ministry of Forests, Victoria, British Columbia. 46 p.

Cooley, J.H., 1962. Site requirements and yield of paper birch in northern Wisconsin. USDA Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, Station Paper no 105. 11 p.

Cox, R.M. et J.W. Malcolm, 1997. Effects of duration of a simulated winter thaw on dieback and xylem conductivity of Betula papyrifera. Tree physiology 17 : 389-396.

Crcha, J., 1991. Guide des traitements sylvicoles. Les feuillus tolérants. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Québec. Non paginé.

Crow, T.R. et R.W. Blanks, 1978. Distribution of biomass and production for several northern woody species. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Note NC-239. 3 p.

Dendrotik inc., 1995. Métodes (sic) alternatives d'aménagement des bétulaies blanches. Service canadien des forêts, Programme Essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie, projet no 9000. 57 p.

Erdmann, G.G., 1987. Methods of commercial thinning in even-aged northern hardwood stands. *Dans* : Managing northern hardwoods. Proceedings of a silvicultural symposium, 23-25 June 1986. Syracuse, New York (R.D. Nyland, Éditeur). SUNY ESF Faculty of Forestry, Miscellaneous Publication no 13. p 191-210.

Gingrich, S.F., 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forest in the Central States. Forest Science 13 (1) : 38-53.

Godman, R.M. et D.A. Marquis, 1969. Thinning and pruning in young birch stands. *Dans* : Birch Symposium Proceedings. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. p 119-127.

Gosselin, J., P. Grondin et J.-P. Saucier, 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'ouest. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de la gestion des stocks forestiers. 160 p.

Greenidge, K.N.H., 1953. Further studies of birch dieback in Nova Scotia. Canadian Journal of Botany 31 : 548-549.

Gross, H.L., 1972. Crown deterioration and reduced growth associated with excessive seed production by birch. Canadian Journal of Forest Research 50 : 2431-2437.

Hornbeck, J.W et W.B. Leak, 1992. Ecology and management of northern hardwood forests in New England. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-159. 43 p.

Huot, M. et R. Doucet, 1995. Mesure des effets réels des traitements. Éclaircies précommerciale et commerciale pour la production prioritaire de peuplier et de bouleau à papier. Synthèse des informations disponibles et évaluation des besoins de recherche. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Service de la Recherche appliquée, Rapport interne no 394. 16 p.

Hyvarinen, M.J., 1968. Paper birch, its characteristics, properties and uses. A review of recent literature. US Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Paper NC-22. 12 p.

Innes, L., 1994. Principales maladies des arbres au Québec. Les Publications du Québec. 78 p.

Jobidon, R., 1995. Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec. Revue de littérature. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Québec, Mémoire de recherche forestière no 117. 180 p.

Kershaw, J.A. Jr. et B.C. Fischer, 1991. A stand density management diagram for sawtimber-sized mixed upland central hardwoods. *Dans* : Proceedings Eight Central Hardwoods Forest Conference, University Park, PA. (L.H. McCormick et K.W. Gottschalk, Éditeurs). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-148. p 414-428.

Laflèche, V., D. Pin et A. Patry, 1998. Le bouleau à papier. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Les Éditions à Mains Nues inc, Lévis, Québec. 95 p.

Laidly, P.R., 1980. Metric site index curves for aspen, birch and conifer in the Lake States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-54. 15 p.

Lavallée A., et M. Lortie, 1968. Relationships between external features and trunk rot in living yellow birch. The Forestry Chronicle 44 (2) : 5-10.

Leak, W.B., 1981. Do stocking guides in the eastern United States relate to stand growth ? Journal of Forestry 79 : 661-664.

Leak, W.B., 1987. Fifty year of compositionnal change in deciduous and coniferous forest types in New Hampshire. Canadian Journal of Forest Research 17 : 388-393.

Marquis, D.A., 1991. Independant effects and interactions of stand diameter, tree diameter, crown class, and age on tree growth in mixed-species, even-aged hardwood stands. *Dans* : Proceedings Eight Central Hardwoods Forest Conference, University Park, PA (L.H. McCormick et K.W. Gottschalk Éditeurs). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-148. p 442-458.

Marquis, D.A., D.S. Solomon et J.C. Bjorkbom, 1969. A silvicultural guide for paper birch in the Northeast. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Paper NE-130. 45 p.

Meek, P., 1992. Caractéristiques morphologiques et croissance du bouleau à papier *(Betula papyrifera* Marsh.) de deux massifs en milieu boréal. Mémoire de maîtrise, Faculté de Foresterie et de Géomatique, Université Laval, Sainte-Foy. 51 p.

Meek, P., 1997. La mécanisation des coupes partielles dans les bétulaies mélangées. *Dans* : Méthodes d'exploitation et de régénération naturelle des forêts mélangées à dominance de bouleau à papier. Coopérative forestière des Hautes-Laurentides. Service canadien des forêts, Programme Essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie, Projet no 4057. p 29-41.

Meyer, G., J.H. Ohman et R. Oettel, 1966. Skidding hardwoods – articulated rubber-tired skidders versus crawler tractors. Journal of Forestry 64 : 191-196.

Ministère des Ressources naturelles, 1998a. Manuel d'aménagement forestier. 3e édition. Gouvernement du Québec. 122 p.

Ministère des Ressources naturelles, 1998b. Manuel d'aménagement forestier. Documents d'annexes. Gouvernement du Québec. Non paginé.

Ministère des Ressources naturelles, 1999. Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1999-2000. Gouvernement du Québec. 67 p.

Nichols, M.T., R.C. Lemin Jr. et W.D. Ostrofsky, 1994. The impact of two harvesting systems on residual stems in a partially cut stand of northern hardwoods. Canadian Journal of Forest Research 24 : 350-357.

Niemisto, P., 1995. Influence of initial spacing and row-to-row distance on the crown and branch properties and taper of silver birch. Scandinavian Journal of Forest Research 10 : 235-244.

Nyland, R.D., 1991. Careful logging in northern hardwoods. *Dans* : Logging damage : problems ans practical solutions (J.A. Rice, Éditeur). Ministry of Natural Resources of Ontario, Ontario Forest Research Institute, Forest Research Information Paper no 117. p 3-27.

Ohmann, J. H., 1970. Value loss form skidding wounds in sugar maple and yellow birch. Journal of Forestry 68 (4) : 226-230.

Ohman, L.F, H.O Batzer, R.R. Buech, D.C. Lothner, D.A. Perala, A.L. Schipper Jr. et E.S. Verry, 1978. Some harvest options and their consequences for the aspen, birch, and associated conifer forest types of the Lake States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-48. p 12-14.

Ostrofsky, W.D., R.S. Seymour et R.C. Lemin Jr., 1986. Damage to northern hardwoods from thinnong using whole-tree harvesting technology. Canadian Journal of Forest Research 16 : 1238-1244.

Patry, A., F. Doyon et P. Nolet, 2000. Effets des blessures d'exploitation sur la qualité des tige et du bois. Synthèse de la littérature existante. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 59 p.

Perala. D.A. et A.A. Alm, 1990. Reproductive ecology of birch. Forest Ecology and Management 32 : 1-38.

Peterson, E.B., N.M. Peterson, S.W. Simard et J.R. Wang., 1997. Paper birch manager's handbook for British Columbia. British Columbia Ministry of Forests, Victoria. 133 p.

Plonski, W.L., 1981. Normal yield tables (metric) for major species of Ontario (revised). Ministry of Natural Resources of Ontario, Forest Resources Group. 40 p.

Pomerleau R. et M. Lortie, 1962. Relationships of dieback to the rooting depth of white birch. Forest Science 8 (3) : 219-224.

Prégent, G., 1998. L'éclaircie des plantations. Mémoire de recherche forestière no 133. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Québec. 38 p.

Provencher, G., 1997. Expérimentation des méthodes de travail pour mécaniser l'éclaircie commerciale. Multi-Tech Forestry inc. Service canadien des forêts, Programme Essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie, Projet no 4055. 25 p.

Puttonen, P., 1996. Birch management in Finland. *Dans* : Ecology and Management of B.C. hardwoods. Workshop proceedings, December 1 and 2, 1993, Richmond, B.C. (Comeau, P.G., G.J Harper. M.E. Blache, J.O. Boateng et K.D. Thomas, Éditeurs). British Columbia Ministry of Forests, FRDA Report no 255. p 177-187.

Reisigner, T.W. et P.E. Pope, 1991. Impact of timber harvesting on residual trees in a Central Hardwood forest in Indiana. *Dans* : Proceedings Eight Central Hardwoods Forest Conference, University Park, PA. (L.H. McCormick et K.W. Gottschalk, Éditeurs). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-148. p 82-91.

Roy, V., R. Jobidon et L. Blais, 2000. Effet du peuplement résiduel, de la station et du temps écoulé depuis la coupe sur le dépérissement du bouleau blanc. Synthèse des résultats et recommandations. Ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Document à diffusion restreinte. Non paginé.

Safford, L.O, J.C. Bjorkbom et J.C. Zasada, 1990. Betula papyrifera -Paper birch. *Dans* : Silvics of North America, vol 2. Hardwoods (R.M. Burns et B.H. Honkala, Éditeurs). USDA Forest Service, Agriculture Handbook no 654. p 158-171.

Safford, L.O., 1983. Silvicultural guide for paper birch in the Northeast (revised). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Paper NE-535. 28 p.

Schütz, J.-P., 1990. Sylviculture I. Principe d'éducation des forêts. Presses polytechniques et universitaires romandes. 243 p.

Shigo, A.L., 1965. The pattern of decay and disoloration in northern hardwoods. Phytopathology 55 : 648-652.

Shigo., A.L., 1966. Decay and discoloration following logging wounds on northern hardwoods. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Paper NE-47. 43 p.

Shigo, A.L. et E.vH. Larson, 1969. A photo guide to the patterns of discoloration and decay in living northern hardwood trees. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Paper NE-127. 100 p.

Simard, S., 1996. Ecological and silvicultural characteristics of paper birch in the southern interior of British Columbia. *Dans* : Ecology and Management of B.C. hardwoods. Workshop proccedings, December 1 and 2, 1993, Richmond, B.C. (Comeau, P.G., G.J Harper. M.E. Blache, J.O. Boateng et K.D. Thomas, Éditeurs). British Columbia Ministry of Forests, FRDA Report no 255. p 157-167.

Sims, R.A H.M. Kersaw et G.M. Wickware, 1990. The autecology of major tree species in the North Central region of Ontario. Forestry Canada and Ontario Ministry of Natural Resources, COFRDA Report 3302-NWOFTDU Technical Report 48. 126 p.

Smith, D.M., B.C. Larson, M.J. Kelty et P.M.S. Ashton, 1996. The practice of silviculture : applied forest ecology. Ninth Edition. John Wiley and Sons, inc. 537 p.

Solomon D.S. et B.M. Blum, 1977. Closure rates of yellow birch pruning wounds. Canadian Journal of Forest Research 7 : 120-124.

Solomon, D.S., 1970. A growth model of natural and silviculturally treated stands of even-aged northern hardwoods. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-36. 30 p.

Stout, S.L., 1987. Planning the right residual : relative density, stand structure and species composition. *Dans* : Managing northern hardwoods. Proceedings of a silvicultural symposium, 23-25 June 1986. Syracuse, New York. (R.D. Nyland, Éditeur). SUNY ESF Faculty of Forestry, Miscellaneous Publication no 13. p 176-190.

Tappeiner, J.C. et A.A. Alm, 1975. Undergrowth vegetation effects on the nutrient content of litterfall and soils in red pine and birch stands in northern Minnesota. Ecology 56 : 1193-1200.

Thibault, D., 1995. Étude de l'effet de la coupe partielle sur la croissance des tiges résiduelles dans les bétulaies blanches 10 à 20 ans après coupe. Rapport préliminaire d'analyse dans le cadre du projet « Méthodes alternatives d'aménagement des bétulaies blanches ». Université Laval. Non paginé.

Trimble, G.R. et H.C. Smith, 1963. What happens to living cull trees left after heavy cutting in mixed hardwood stands? US Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Note NE-12. 6 p.

Tubbs, C.H., 1977. Manager's handbook for northern hardwoods in the north central states. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-39. 29 p.

Vuokila, Y., 1983. Thinning models for forest cultures in Finland (*Viljelymetsiköiden harvennusmallit. Gallringsmallar för odlade bestand i Finland*). Folia forestalia no 556. 15 p.

Wargo, P.M., 1977. Wound closure in sugar maple : adverse effects of defoliation. Canadian Journal of Forest Research 7 : 410-414.

Winsauer, S.A. et J.A. Mattson, 1987. Harvesting alternatives for thinning northern hardwoods. *Dans* : Managing northern hardwoods. Proceedings of a silvicultural symposium, 23-25 Jjune 1986. Syracuse, New York. (R.D. Nyland, Éditeur). SUNY ESF Faculty of Forestry, Miscellaneous Publication no 13. p 223-240.

ANNEXES

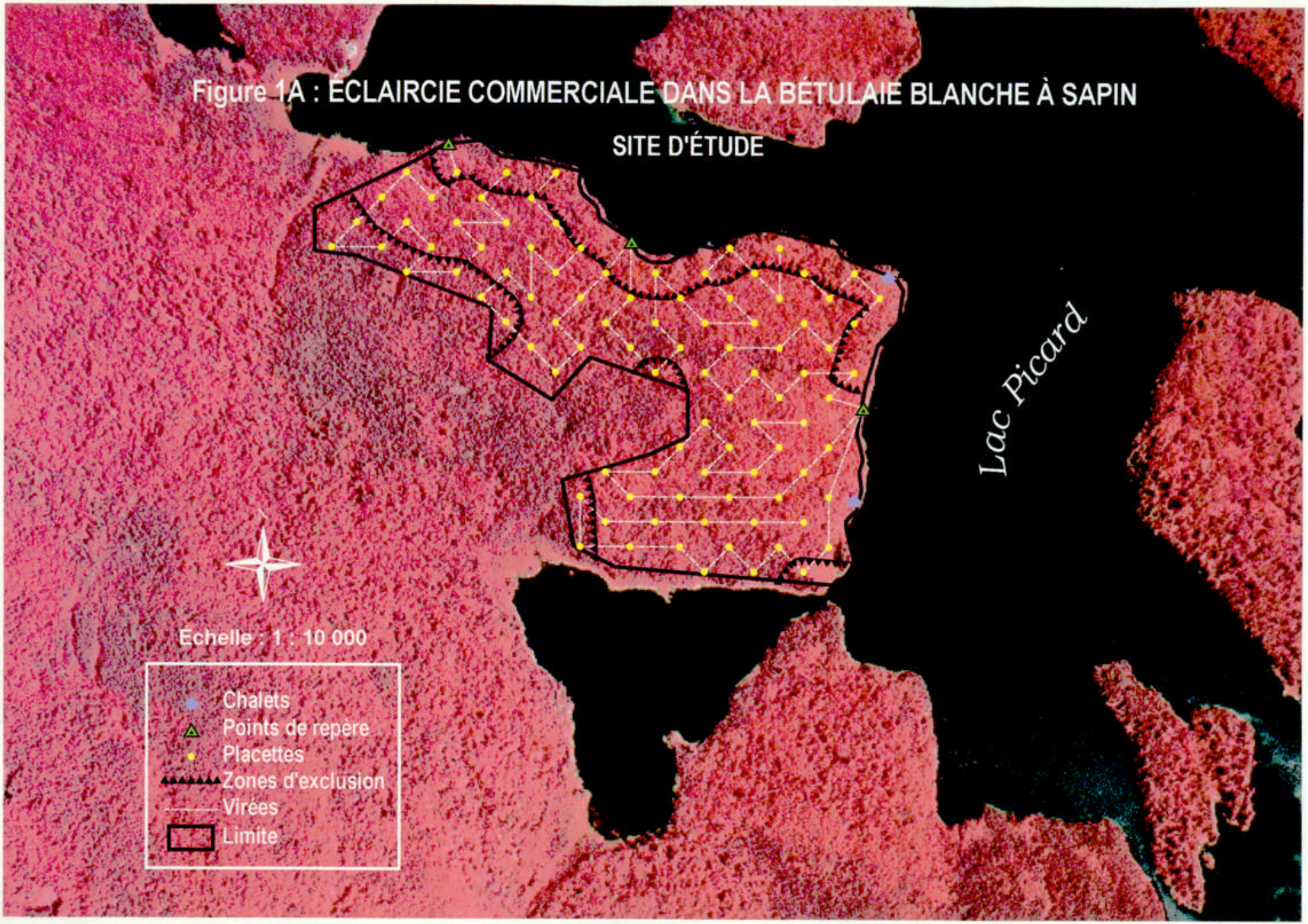


Figure 1A : ÉCLAIRCIE COMMERCIALE DANS LA BÉTULAIE BLANCHE À SAPIN

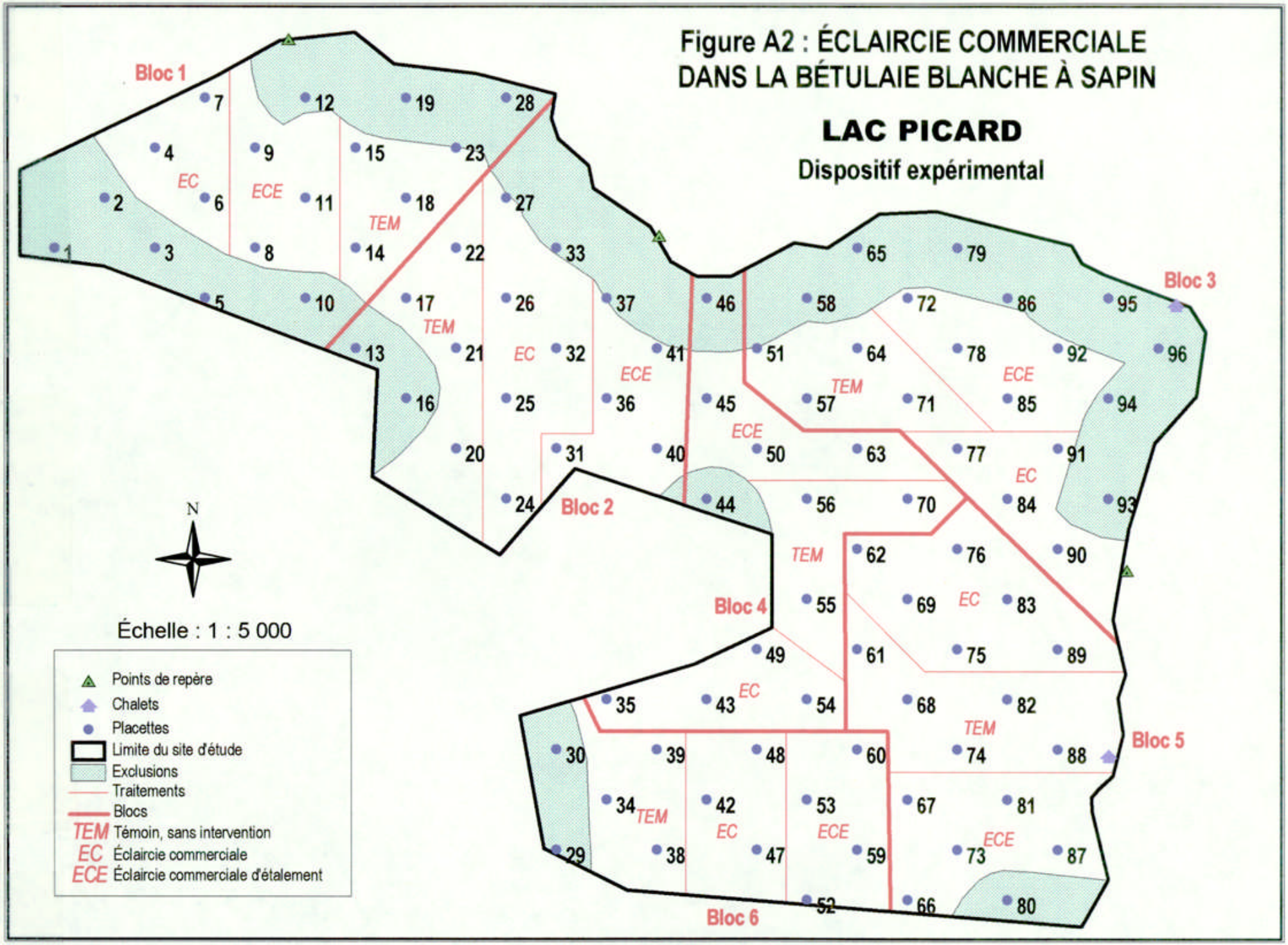


Figure A2 : ÉCLAIRCIE COMMERCIALE
DANS LA BÉTULAIE BLANCHE À SAPIN
LAC PICARD
Dispositif expérimental
Bloc 1
Bloc 2
Bloc 3
Bloc 4
Bloc 5
Bloc 6
EC
ECE
TEM
N
Échelle : 1 : 5 000
Points de repère
Chalets
Placettes
Limite du site d'étude
Exclusions
Traitements
Blocs
TEM Témoin, sans intervention
EC Éclaircie commerciale
ECE Éclaircie commerciale d'étalement

Figure A3 - Bouleau à papier d'avenir

Figure A4 - Peuplement résiduel exceptionnellement dense en bouleau à papier

Tableau A.1 - Intervalle des classes pour les variables de compilation

Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Densité totale (ti/ha)	0	1-900	901-1100	1101-1300	1301^{e}t +
Surface terrière totale (m²/ha)	0	0,1-22,0	22,1-26,0	26,1-29,0	29,1et +
Densité de BOP (ti/ha)	0	25-350	351-500	501-700	701 et +
Densité de SAB (ti/ha)	0	25-124	125-174	175-224	225 et +
Densité de EPB (ti/ha)	0	25-99	100-224	225-399	400 et +
ST en BOP (%)	0	3-35	36-56	57-69	70 et +
ST en SAB (%)	0	0,9-7	8-11	12-17	18 et +
ST en EPB (%)	0	0,8-5,9	6,0-19,9	20,0-34,9	35 et +
DHP BOP (cm)	0	13,5-15,9	16,0-17,5	17,6-18,9	19 et +
DHP SAB (cm)	0	10-13,4	13,5-14,9	15-17	17,1 et +
DHP EPB (cm)	0	10-14,9	15-17,9	18-19,4	19,5 et +
BOP de vigueur I (%)	0	3,2-30,9	31-48,9	49-60,9	61 et +
Hauteur moyenne (m)	0	13-16	17-18	19-22	-

Tableau A.2 - Surface terrière et densité moyennes selon les blocs et les traitements, par essence

	Bloc 1			Bloc 2			Bloc 3			Bloc 4			Bloc 5			Bloc 6		
	EC n=2	**ECE n=3**	**Témoin n=3**	**EC n=4**	**ECE n=3**	**Témoin n=4**	**EC n=4**	**ECE n=4**	**Témoin n=4**	**EC n=4**	**ECE n=2**	**Témoin n=3**	**EC n=6**	**ECE n=4**	**Témoin n=…**	**EC n=3**	**ECE n=3**	**Témoin n=…**
ST (m²/ha)																		
BOP	15.6	12.8	13.6	9.1	11.2	6.2	17.3	14.5	20.6	8.4	13.6	6.8	14.7	14,1	19.7	15.5	9.9	17.1
BOJ	0.0	3.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.9	0.2	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PET	2.4	0.1	2.6	6.5	3.1	4.8	0.0	0.0	0.7	3.4	1.8	1.1	0.8	0.0	0.0	0.9	7.2	0.0
ERR	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	1.2	2.2	0.1	0.4	1.9	1.7	1.6	2.1	0.4	1.7	0.5	0.3	0.4
SAB	1.8	4.1	3.5	1.9	2.2	1.0	4.6	3.6	2.6	2.0	1.5	0.7	2.7	3.0	3.7	3.0	2.5	5.1
EPB	4.8	0.0	10.4	6.1	4.8	12.0	1.4	0.2	1.1	9.6	0.6	5.7	3.2	6.8	3.6	2.4	11.8	2.9
EPN	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	0.3	5.3	7.4	0.2	0.4	0.3	0.0	0.3	0.0
PIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.8	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
PIB	0.0	0.2	1.0	1.9	1.8	4.9	0.1	0.0	0.0	0.8	2.1	2.2	0.3	0.9	0.3	1.3	0.1	0.0
Total	**24.6**	**24.2**	**31.1**	**26.2**	**23.2**	**31.0**	**25.8**	**19.5**	**26.7**	**27.6**	**27.0**	**26.2**	**24.0**	**25.9**	**29.2**	**23.6**	**32.1**	**25.5**
Densité (tiges/ha)																		
BOP	913	458	508	350	517	319	538	619	956	431	550	392	458	513	715	650	525	675
BOJ	0	0	0	13	0	6	19	19	6	0	25	0	4	0.0	0	0	0.0	0
PET	25	42	75	118	75	144	0	0	13	75	50	58	4	0.0	0	25	117	0
ERR	0	8	0	0	0	63	94	13	31	106	100	50	79	19	70	42	17	25
SAB	125	242	167	125	125	50	288	231	119	119	100	50	129	169	150	167	167	217
EPB	363	108	467	213	167	406	31	19	63	356	25	192	142	281	100	92	483	100
EPN	0	0	0	25	0	0	6	13	63	13	288	258	8	13	15	0	17	0
PIG	0	0	0	0	0	31	0	0	0	13	0	17	0	6	0	0	0	0
PIB	0	8	50	63	42	156	6	0	0	38	88	50	8	38	15	17	8	0
Total	**1425**	**867**	**1267**	**906**	**925**	**1175**	**981**	**913**	**1250**	**1150**	**1225**	**1067**	**833**	**1038**	**1065**	**992**	**1333**	**1017**

Tableau A.3 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par bloc et par traitement – moyenne et intervalle de confiance

Traitement	Bloc 1			Bloc 2			Bloc 3			Bloc 4			Bloc 5			Bloc 6		
	Tém	ECE	EC	Tém	ECE	EC	Tém	ECE	EC	Tém	ECE	EC	Tém	ECE	EC	Tém	ECE	EC
	n=22	n=19	n=17	n=17	n=14	n=14	n=25	n=24	n=21	n=15	n=11	n=18	n=25	n=16	n=24	n=23	n=19	n=23
Diamètre (mm)	185	184	174	168	175	181	184	183	191	179	183	185	179	181	186	179	170	184
	11	11	11	11	14	15	12	12	10	17	18	15	11	13	13	11	13	12
Hauteur (m)	16,8	17,6	17,0	16,1	15,3	16,9	18,0	18,3	18,2	16,1	16,3	16,8	18,7	16,5	18,0	17,6	17,3	19,3
	0,4	0.8	0.7	0.5	0.9	1.2	0.5	0.6	0.8	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
Hauteur de la cime (m)	10,8	10,9	10,8	9,1	7,9	10,4	12,4	12,3	11,6	9,9	9,1	10,1	11,1	9,3	11,2	10,7	10,2	11,7
	0.5	0.7	0.7	0.5	0.8	1.2	0.6	0.4	0.7	0.9	1.8	0.8	0.7	0.5	0.6	0.8	0.7	0.7
Largeur de la cime (m)	4,6	4,2	3,6	3,7	4,5	4,5	3,8	3,8	4,7	3,3	3,6	3,5	3,9	3,3	3,8	3,1	3,2	3,2
	0.5	0.3	0.3	0.3	0.6	0.4	0.3	0.3	1.0	0.4	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3
Proportion de cime vivante (%)	36	38	36	43	47	38	31	33	36	39	45	40	41	44	38	39	41	40
	3	4	4	2	6	6	2	2	3	4	9	5	3	4	3	4	4	3

Tableau A.4 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par traitement et par classe de diamètre – moyenne et intervalle de confiance

Diamètre	Témoin					ECE					EC				
	14 n=29	**16** n=26	**18** n=29	**20** n=23	**22** n=20	**14** n=23	**16** n=19	**18** n=27	**20** n=21	**22** n=13	**14** n=25	**16** n=19	**18** n=26	**20** n=29	**22** n=18
Diamètre (mm)	143	165	184	201	221	144	164	181	202	223	145	164	186	204	224
	3	3	3	4	3	3	4	3	3	5	4	5	4	4	4
Hauteur (m)	16,2	17,4	17,1	18,0	18,6	15,8	16,8	17,7	17,2	18,3	16,3	17,8	17,9	18,5	18,9
	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	1.0
Hauteur de la cime (m)	10,4	11,0	10,3	11,3	11,6	9,9	10,0	10,7	10,4	10,0	10,9	10,9	11,1	11,0	11,2
	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	1.1	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.6	0.9
Largeur de la cime (m)	3,1	3,4	3,8	4,2	4,5	3,1	3,6	3,6	4,3	4,6	3,3	3,3	3,8	4,2	4,8
	0.3	0.3	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.2
Proportion de cime vivante (%)	36	37	40	37	38	38	41	40	39	45	33	39	38	40	41
	3	3	3	3	4	4	6	3	4	5	3	2	4	3	4

Tableau A.5 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par bloc et par classe de diamètre – moyenne et intervalle de confiance

	Bloc 1					Bloc 2					Bloc 3				
	14	**16**	**18**	**20**	**22**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**
	n=14	n=15	n=12	n=11	n=10	n=15	n=14	n=12	n=11	n=8	n=9	n=10	n=15	n=14	n=13
Diamètre (mm)	148	166	186	201	218	143	167	179	200	226	143	166	184	203	223
	4	7	4	5	4	4	6	5	6	11	4	3	4	4	5
Hauteur (m)	15,9	16,7	17,3	17,7	18,2	14,7	16,5	16,1	17,5	17,4	17,5	17,7	18,5	18,2	18,8
	0.7	0.7	0.8	0.6	0.9	0.9	0.7	0.5	1.7	1.2	0.7	1.1	0.9	0.5	0.6
Hauteur de la cime (m)	11,3	10,2	11,0	11,0	10,6	8,8	9,0	9,3	10,0	7,9	12,4	11,7	12,2	11,9	12,6
	0.6	0.7	0.7	0.8	1.0	1.1	0.9	0.9	1.5	2.7	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7
Largeur de la cime (m)	3,2	4,0	3,9	4,7	5,3	3,9	3,8	4,2	5,1	4,5	3,3	3,5	3,8	4,4	5,2
	0.3	0.4	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.7	1.7	0.4	0.3	0.3	0.3	1.4
Proportion de cime vivante (%)	29	39	36	38	42	40	46	42	43	55	29	34	34	35	33
	3	4	2	4	7	5	4	5	7	16	3	3	2	4	3

	Bloc 4					Bloc 5					Bloc 6				
	14	**16**	**18**	**20**	**22**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**
	n=14	n=12	n=14	n=11	n=12	n=13	n=8	n=15	n=14	n=10	n=10	n=8	n=5	n=6	n=12
Diamètre (mm)	143	165	188	210	231	142	162	186	202	219	145	161	180	200	224
	5	5	4	7	10	5	6	5	3	4	4	4	4	5	5
Hauteur (m)	15,2	16,7	17,2	17,2	15,9	16,5	18,2	17,4	18,3	19,4	16,8	17,5	18,6	18,7	19,7
	1.2	1.4	0.9	0.9	0.4	0.9	1.3	0.9	0.8	1.1	1.0	0.7	1.0	1.2	1.5
Hauteur de la cime (m)	9,7	9,4	10,1	9,8	9,5	10,2	11,0	10,6	10,9	10,8	10,5	11,0	10,7	11,2	11,3
	1.3	3.2	1.2	1.2	0.8	0.9	1.0	1.0	0.8	1.2	1.0	0.9	1.2	0.9	1.1
Largeur de la cime (m)	2,8	3,0	3,4	4,3	4,3	3,2	3,5	3,9	3,7	4,2	2,7	2,8	3,3	3,4	4,1
	0.3	0.5	0.3	0.5	0.2	0.5	0.7	0.6	0.4	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
Proportion de cime vivante (%)	36	44	41	43	40	39	39	39	40	45	38	37	43	40	42
	7	18	6	5	3	4	4	5	4	4	4	5	5	5	4

Tableau A.6 - Portrait dendrométrique des tiges d'avenir, par bloc, par traitement et par classe de diamètre – moyenne et intervalle de confiance

BLOC 1

	Témoin					**ECE**					**EC**				
Diamètre	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**
	n=4	n=4	n=5	n=5	n=4	n=3	n=4	n=4	n=5	n=3	n=5	n=4	n=3	n=5	n=0
Diamètre (mm)	145	167	189	200	219	146	169	183	202	216	151	162	183	200	-
	5	8	9	12	5	5	2	6	6	6	9	20	3	8	-
Hauteur (m)	15,7	17,3	16,5	17,1	17,4	15,8	16,6	17,5	18,5	19,3	16,2	16,4	18,4	17,4	-
	0.4	1.0	0.7	0.8	0.7	1.9	1.7	1.7	0.9	0.7	1.2	1.0	1.4	1.3	-
Hauteur de la cime (m)	11,6	10,8	10,1	10,6	11,1	11,0	10,1	11,5	11,8	9,9	11,2	9,7	11,9	10,6	-
	0.9	1.5	0.4	0.9	1.4	0.9	1.3	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1	0.9	1.7	-
Largeur de la cime (m)	3,3	4,1	4,2	5,5	5,8	3,2	4,5	4,2	4,4	4,6	3,3	3,4	3,4	4,2	-
	0.7	0.4	0.4	1.4	0.3	0.2	0.6	0.9	0.7	0.3	0.4	0.7	0.3	0.8	-
Proportion de cime vivante (%)	26	37	39	38	36	30	39	34	37	49	31	41	36	39	-
	6	10	2	5	8	4	5	7	6	6	4	6	1	10	-

BLOC 2

Diamètre	Témoin					ECE					EC				
	14 n=5	**16** n=5	**18** n=5	**20** n=1	**22** n=1	**14** n=4	**16** n=2	**18** n=4	**20** n=3	**22** n=1	**14** n=4	**16** n=0	**18** n=4	**20** n=5	**22** n=1
Diamètre (mm)	141	166	179	194	223	142	170	180	201	218	146	-	179	200	237
	6	8	6	-	-	7	6	6	1	-	7	-	13	10	-
Hauteur (m)	15,3	16,6	15,9	16,7	17,5	13,6	16,0	16,1	14,8	18,5	15,0	-	16,2	19,2	16,3
	1.1	0.9	0.7	-	-	1.7	-	0.5	1.5	-	1.6	-	1.5	1.4	-
Hauteur de la cime (m)	9,2	9,5	8,5	8,3	10,5	7,7	7,8	8,4	8,3	6,0	9,4	-	11,1	11,4	7,1
	0.9	1.0	1.0	-	-	2.3	0.5	1.0	2.1	-	2.5	-	1.5	1.7	-
Largeur de la cime (m)	3,4	3,7	4,1	5,0	3,1	4,0	4,1	4,8	5,4	4,3	4,3	-	3,9	4,9	6,0
	0.5	0.6	0.7	-	-	1.2	0.6	1.0	1.8	-	0.4	-	0.6	0.7	-
Proportion de cime vivante (%)	40	43	46	50	40	44	52	48	43	68	38	-	32	41	56
	3	3	5	-	-	13	3	6	21	-	14	-	8	5	-

BLOC 3

Diamètre	Témoin					ECE					EC				
	14 n=5	**16** n=5	**18** N=5	**20** n=5	**22** n=5	**14** n=5	**16** n=5	**18** n=5	**20** n=5	**22** N=4	**14** n=1	**16** n=5	**18** n=5	**20** N=5	**22** n=5
Diamètre (mm)	144	163	183	206	225	144	168	183	198	229	134	168	187	206	215
	7	4	5	4	6	7	5	7	6	8	-	4	8	10	6
Hauteur (m)	16,8	18,5	17,7	18,4	18,6	18,1	17,8	19,3	17,8	18,6	17,3	16,7	18,5	18,4	19,2
	1.2	1.5	0.7	0.9	1.1	0.5	2.3	1.5	0.6	1.2	-	1.8	2.3	1.3	1.2
Hauteur de la cime (m)	11,6	13,2	11,6	12,5	13,1	12,9	11,8	12,8	12,3	11,6	13,3	10,0	12,1	10,9	12,8
	0.9	0.9	1.1	1.3	1.6	0.9	1.3	0.6	1.0	1.0	-	1.3	1.5	1.1	0.9
Largeur de la cime (m)	3,3	3,3	3,8	4,3	4,1	3,1	3,5	3,6	4,1	4,7	3,8	3,7	3,9	4,7	6,6
	0.4	0.3	0.6	0.3	0.7	0.7	0.5	0.3	0.4	0.4	-	0.5	0.6	0.6	3.9
Proportion de cime vivante (%)	31	29	34	32	30	29	34	33	31	38	23	40	35	41	33
	4	2	5	4	6	5	2	5	5	1	-	2	3	7	6

BLOC 4

	Témoin					ECE					EC				
Diamètre	**14** n=5	**16** n=2	**18** n=4	**20** n=2	**22** n=2	**14** n=2	**16** n=2	**18** n=4	**20** n=2	**22** n=1	**14** n=5	**16** n=1	**18** n=5	**20** n=5	**22** n=2
Diamètre (mm)	143	170	190	211	228	144	160	185	211	239	143	166	189	210	231
	10	8	9	0.0	25	8	-	7	28	-	8	-	7	10	11
Hauteur (m)	15,2	16,7	16,3	18,0	15,5	15,0	16,5	17,5	15,2	16,0	15,3	17,0	17,6	17,6	16,2
	2.3	3.3	2.4	0.0	1.0	2.0	2.9	1.0	0.4	-	1.9	-	0.8	1.1	0.1
Hauteur de la cime (m)	9,6	11,0	10,0	10,0	9,0	8,0	7,0	11,0	8,3	10,0	10,6	11,0	9,4	10,3	9,7
	2.0	2.0	2.1	0.0	2.0	5.9	7.8	1.8	1.5	-	1.2	-	2.2	1.8	0.6
Largeur de la cime (m)	2,5	2,8	3,7	4,2	4,3	3,2	3,5	3,1	5,2	3,8	3,1	2,5	3,5	3,9	4,5
	0.3	0.6	0.1	0.0	0.1	0.3	0.6	0.8	0.8	-	0.5	-	0.5	0.6	0.1
Proportion de cime vivante (%)	37	34	39	44	42	48	59	37	46	38	31	35	47	42	40
	9	1	5	0	9	32	40	8	11	-	5	-	13	8	3

BLOC 5

Diamètre	Témoin					ECE					EC				
	14 n=5	**16** n=5	**18** n=5	**20** n=5	**22** N=5	**14** n=4	**16** n=1	**18** n=5	**20** n=4	**22** N=2	**14** n=5	**16** n=5	**18** n=4	**20** n=5	**22** N=5
Diamètre (mm)	137	159	184	198	214	148	167	180	202	218	141	163	196	207	223
	7	8	6	3	2	12	-	6	5	12	9	10	7	4	7
Hauteur (m)	17,6	17,5	19,0	19,3	20,2	15,8	14,0	16,8	17,0	17,5	16,1	19,8	16,1	18,4	19,3
	1.5	1.7	1.4	1.2	1.4	1.5	-0.7	1.4	1.0	1.5	1.2	0.7	1.6	1.0	1.9
Hauteur de la cime (m)	10,6	10,1	11,4	11,6	11,9	9,0	9,0	9,4	9,3	9,5	10,6	12,3	11,2	11,6	10,2
	1.5	1.0	2.1	1.3	2.3	1.4	-	1.0	0.9	1.0	1.4	1.0	1.2	0.9	1.3
Largeur de la cime (m)	3,9	3,7	3,9	3,7	4,4	2,4	3,9	3,4	3,2	4,5	3,2	3,2	4,5	4,2	3,9
	0.8	1.3	0.7	0.4	0.7	0.5	-	0.5	0.9	2.0	0.7	0.8	1.5	0.4	1.1
Proportion de cime vivante (%)	39	42	40	40	42	43	36	44	45	46	34	38	30	37	47
	7	6	9	5	8	4	-	8	10	9	4	5	5	3	4

BLOC 6

Diamètre	Témoin					ECE					EC				
	14 n=5	**16** n=5	**18** n=5	**20** n=5	**22** n=3	**14** n=5	**16** n=5	**18** n=5	**20** n=2	**22** n=2	**14** n=5	**16** n=4	**18** n=5	**20** n=4	**22** n=5
Diamètre (mm)	145	166	180	197	222	142	156	177	207	220	148	161	184	200	228
	5	7	6	8	4	10	8	9	10	4	5	5	5	9	9
Hauteur (m)	16,3	17,5	17,4	17,6	20,2	15,7	17,0	18,4	18,5	18,5	18,4	18,3	20,0	20,3	19,8
	1.4	1.4	2.0	2.1	1.2	1.5	0.6	1.3	1.0	4.9	1.6	1.5	1.4	1.2	2.5
Hauteur de la cime (m)	9,8	11,2	10,0	11,6	11,3	9,6	10,4	10,8	10,0	9,5	12,0	11,5	11,4	11,3	12,0
	1.4	1.7	2.7	1.6	1.3	1.5	1.7	1.6	2.0	1.0	1.8	1.0	2.3	0.9	1.6
Largeur de la cime (m)	2,4	2,9	3,5	3,3	4,0	2,9	2,7	3,1	3,7	4,9	2,7	2,8	3,4	3,3	3,9
	0.6	0.4	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	1.2	0.7	0.3	0.5	0.7	0.6
Proportion de cime vivante (%)	40	35	43	34	44	39	39	42	46	48	35	37	43	44	39
	7	11	10	8	8	7	10	6	8	8	7	5	10	4	6

Tableau A.7 - Nombre de tiges d'avenir mesurées par bloc, par traitement et par classe de diamètre

Classe de DHP	Bloc 1			Bloc 2			Bloc 3			Bloc 4			Bloc 5			Bloc 6			Total			Grand total
	EC	**ECE**	**Tém**	**EC**	**ECE**	**Tém**	**EC**	**ECE**	**Tém**	**EC**	**ECE**	**Tém**	**EC**	**ECE**	**Tém**	**EC**	**ECE**	**Tém**	**EC**	**ECE**	**Tém**	
14	5	3	4	4	4	5	***1***	5	5	5	***2***	5	5	4	5	5	5	5	25	23	29	**77**
16	4	4	4	***0***	***2***	5	5	5	5	***1***	***2***	***2***	5	***1***	5	4	5	5	19	19	26	**64**
18	3	4	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	26	27	29	**82**
20	5	5	5	5	3	***1***	5	5	5	5	***2***	***2***	5	4	5	4	***2***	5	29	21	23	**73**
22	***0***	3	4	***1***	***1***	***1***	5	4	5	***2***	***1***	***2***	5	***2***	5	5	***2***	3	18	13	20	**51**
																						0
Total	**17**	**19**	**22**	**14**	**15**	**17**	**21**	**24**	**25**	**18**	**11**	**15**	**24**	**16**	**25**	**23**	**19**	**23**	**117**	**103**	**127**	**348**

Les chiffres en italique indique que le nombre d'échantillons désirés n'a pas été atteint

Tableau A.8 - Tiges d'avenir disparues ou déclassées, par bloc

Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4	Bloc 5	Bloc 6
ECE : • bop 22 coupé	ECE : • bop 14 déclassé en vigueur 4 EC : • bop 16 renversé, bop 18 blessé mais mesuré quand même	EC : • bop 18 déclassé en vigueur 4 Témoin : • bop 14 déclassé en vigueur 4 (2 fois), • bop 16 céclassé en vigueur 4 (1 fois)	Aucune tige disparue	Témoin : perte de 1 arbre • bop 16 devenu 24 donc non mesuré , • bop 14 devenu 12 donc non mesuré, • bop 20 devenu 14 mesuré, • bop 12 devenu 14 mesuré	EC : • bop 20 coupé

Tableau A.9 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par bloc

	Bloc 1 n=8	Bloc 2 n=11	Bloc 3 n=12	Bloc 4 n=9	Bloc 5 n=15	Bloc 6 n=9
Peuplement						
ST (m²/ha)	27,0	27,1	24,0	27,0	26,2	27,4
Densité (ti/ha)	1156	1009	1048	1139	985	1117
Tiges de vigueur I [1] (%)	80	71	68	72	68	76
Tiges de vigueur III ou IV (%)	8	20	16	22	18	11

[1] Inclus les résineux de vigueur V autres que le sapin

Tableau A.10 - Caractéristiques dendrométriques moyennes du peuplement, par traitement

	EC n=23	ECE n=19	Témoin n=22
Peuplement			
ST (m²/ha)	25,3	25,0	28,5
Densité (ti/ha)	999	1033	1133
Tiges de vigueur I [1] (%)	70	76	70
Tiges de vigueur III ou IV (%)	19	11	18

[1] Inclus les résineux de vigueur V autres que le sapin