

Titre : Scénarios de croissance et d'élagage du pin blanc dans un contexte de calcul de rentabilité

Auteur : Christian Godbout

Date : Mars 2010

On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence
© Gouvernement du Québec

Introduction

Une demande a été acheminée par le Service de la tarification et des évaluations économiques de la Direction du développement et de la coordination du ministère des Ressources naturelles et de la Faune pour obtenir des scénarios de croissance et d'élagage du pin blanc afin de calculer la rentabilité de l'élagage pratiqué sur le pin blanc. Comme le pin blanc est l'essence résineuse pour laquelle la valeur du bois de sciage exempt de nœud vaut près du triple de celle du bois de sciage avec des nœuds, il est apparu tout désigné de débiter le calcul de rentabilité du traitement d'élagage par cette essence.

1. Contexte

L'élagage est un traitement qui consiste à couper les branches vivantes ou mortes sur une certaine longueur le long du fût afin que la tige produise une plus grande proportion de bois sans nœud, bois qui possède une valeur accrue en raison justement de l'absence de nœud. Il est préférable de pratiquer un élagage en bas âge lorsque le diamètre de la tige est relativement petit (autour de 10 cm) afin de faire produire un maximum de volume de bois sans nœud dans la tige. Il ne faut pas enlever plus du tiers du houppier vivant à chaque élagage et laisser au moins la moitié de la hauteur de l'arbre avec un houppier vivant afin de ne pas ralentir la croissance de la tige à cause d'un houppier devenu trop petit.

Un des objectifs est d'évaluer le plus précisément possible la quantité de bois de sciage sans nœud, de bois de sciage avec nœuds et de bois à pâte en fonction d'élagages et d'éclaircies pratiqués à différents moments dans le temps. De cette façon, il sera possible de préciser des scénarios optimaux en matière de rentabilité. Comme la densité des tiges a une influence sur le défilement de celles-ci, donc sur le volume de bois de la portion élaguée du fût, nous avons pris en compte le défilement des tiges afin de mieux estimer ce volume de bois sans nœud. Il nous apparaissait aussi souhaitable de tenir compte de la

fertilité de la station afin de mieux cerner l'influence de la qualité de station sur la rentabilité de l'élagage. Comme c'est un traitement qui s'inscrit d'abord dans une perspective d'aménagement intensif, il nous semblait logique d'élaborer des scénarios pour des plantations ou des reboisements dans lesquels des plants sont mis en terre.

2. Méthode

Nous avons utilisé le logiciel Excel pour construire un modèle qui permet de suivre à chaque année l'évolution du volume de bois de sciage sans nœud (en m³ et en pmp), de même que les volumes de bois de sciage avec nœuds et de bois à pâte (m³), à partir de différentes conditions de croissance et d'élagage définies par l'utilisateur. Les variables retenues dans les scénarios sont les suivantes :

1. La qualité de station;
2. La densité des tiges au départ;
3. Les éclaircies à exécuter dans le temps (le moment ainsi que le nombre de tiges résiduelles);
4. Les élagages à exécuter dans le temps (le moment ainsi que la hauteur d'élagage).

La procédure de calcul comporte trois parties :

1. Le calcul de la croissance de la tige;
2. Le calcul du défilement de la tige;
3. Le calcul des volumes de bois de sciage et de bois à pâte de la tige.

Le calcul se fait en utilisant surtout les unités du système anglais (pouce et pied, hauteur de poitrine à 4,5 pi) car la plupart des équations utilisées ont été construites avec ces unités. Toutefois, les unités du système métrique ont aussi été utilisées et des transformations ont été effectuées pour passer d'un système à l'autre.

2.1 Le calcul de la croissance de la tige

Afin d'être en mesure de générer une croissance en diamètre et en hauteur selon des scénarios dans lesquels interviennent la qualité de station, la densité ainsi que la hauteur du houppier, nous nous sommes basés essentiellement sur les équations de deux publications. L'une est celle de WOODS et MILLER (1996) qui définit l'évolution de la croissance en hauteur d'une tige de pin blanc dans le temps en fonction de l'indice de qualité de station. L'autre est le modèle simple défini par SEYMOUR et SMITH (1987)

lequel permet de déduire le dhp d'une tige de pin blanc à partir de sa hauteur totale ainsi que de la largeur et de la longueur de son houppier.

Voici la démarche globale du calcul de la croissance. Le calcul se fait sur une tige et on suppose que toutes les tiges du peuplement partagent exactement les mêmes caractéristiques dendrométriques. À chacune des années, la hauteur totale de la tige est calculée selon l'indice de qualité de station choisi. À l'aide de cette valeur ainsi que de la hauteur du houppier et de la densité de tiges, le diamètre du houppier est estimé. Une fois la largeur du houppier déterminé, le dhp de la tige est calculé. À chaque fois qu'un phénomène (élagage, éclaircie, mortalité) vient modifier les dimensions du houppier, cela détermine immédiatement une nouvelle valeur de dhp. Ce changement instantané de la valeur du dhp est non réelle et cause une discontinuité dans l'évolution du dhp dans le temps. On contourne ce problème en faisant croître le dhp en utilisant la valeur de l'accroissement annuel en surface terrière de la tige plutôt qu'en utilisant la valeur du dhp définie par cette nouvelle situation. De cette façon, on évite de provoquer des changements brusques de dhp tout en conservant les mêmes accroissements théoriques obtenus par ces nouvelles situations.

2.1.1 Calcul de la hauteur

Dans un premier temps, nous avons utilisé l'équation de WOODS et MILLER (1996) pour générer une hauteur de tige pour chacune des années de la simulation selon la qualité de station définie dans le scénario. Cette équation est la suivante :

$$H = 1,3 + 14,428658 * SI^{0,476382} * (1 - e^{(-0,008147 * Age)})^{(2,873143 * SI^{-0,342765})}$$

où SI = indice de qualité de station (hauteur [m] à partir du dhp à 50 ans [âge au dhp])

Age = âge (année) à 1,3 m du sol

Une correction à la valeur du SI est apportée afin que cet indice corresponde parfaitement à la hauteur de référence à 50 ans (WOODS et MILLER 1996).

L'utilisation de cette équation nécessite l'usage de l'âge à 1,3 m du sol, soit au dhp. Pour estimer le temps que la tige prend pour croître jusqu'à 1,3 m de hauteur, nous avons supposé que le plant avait 30 cm de hauteur au moment de la mise en terre; pour atteindre 1,3 m, il devra croître de 1 m. Nous avons utilisé l'équation précédente pour déterminer le nombre d'année requis pour faire croître la tige de 1 m mais à partir de 1,3 m, soit de 1,3 à 2,3 m. Une fois ce nombre d'année déterminé, il est multiplié par un facteur

de 1,5 (fixé arbitrairement) afin de tenir compte du choc de plantation ainsi que du taux de croissance en hauteur plus faible de 0,3 à 1,3 m comparativement à celui calculé de 1,3 à 2,3 m.

2.1.2 Calcul du dhp théorique en croissance libre

Une fois que la hauteur est calculée, nous avons utilisé l'équation de SEYMOUR et SMITH (1987) pour générer un rayon de houppier maximal théorique en l'absence de compétition en fonction de la longueur du houppier et de la hauteur totale. L'équation est la suivante :

$$CR_{max} = 0,6027*CL - 0,009988*CL^2 + 0,00006024*H*CL^2 \quad (R^2 = 0,63)$$

où CR_{max} = rayon du houppier maximal théorique (pi)

CL = longueur du houppier vivant (pi)

H = hauteur totale (pi)

La longueur du houppier vivant est calculée en soustrayant de la hauteur totale, la hauteur élaguée naturellement ou artificiellement.

Avec ce rayon du houppier maximal théorique, nous avons calculé un dhp théorique en utilisant l'équation suivante de SEYMOUR et SMITH (1987):

$$DHP = 0,1367*CPA^{0,2786}*H^{0,7003} \quad (R^2 = 0,92)$$

où DHP = diamètre à 4,5 pi du sol (po)

CPA = superficie de la projection du houppier au sol en supposant un houppier circulaire (pi²)

H = hauteur totale (pi)

Comme la hauteur du dhp en système anglais ne correspond pas exactement à celle en système métrique (1,37 m au lieu de 1,30 m), la conversion de la valeur du dhp à 4,5 pi à celle du dhp à 1,30 m a été effectuée à l'aide du facteur de correction défini par ALEMDAG et HONER (1977) pour le pin blanc :

$$dhp_{4,5 \text{ pi}} (\text{cm}) = dhp_{1,3 \text{ m}} (\text{cm}) * (1 - 0,0436495 * 0,184) \quad (R^2 = 0,996)$$

2.1.3 Calcul du nombre maximal de tiges en croissance libre

Le nombre maximal de tiges à l'hectare pouvant croître sans compétition au niveau de l'expansion du houppier est calculé en divisant la superficie d'un hectare par la superficie de la projection du houppier d'une tige en supposant que cette projection soit circulaire.

2.1.4 Corrections du dhp théorique

2.1.4.1 Correction pour la croissance sous couvert

Il est souvent souhaitable de faire croître le pin blanc sous un couvert partiel jusqu'à ce qu'il atteigne environ 6 m de hauteur afin de minimiser les dommages causés par le charançon du pin blanc. En simulant cette pratique, il faut apporter un correctif au dhp théorique jusqu'à l'année où le couvert est complètement enlevé. En effet, le dhp théorique calculé est celui d'une tige qui croît en pleine lumière. Avec un couvert partiel, la croissance en hauteur variera peu mais la croissance du dhp sera moindre. Donc, un facteur de correction est introduit afin de diminuer cette croissance. Ce facteur est simplement appliqué comme une proportion de la croissance théorique et la valeur est fixée arbitrairement par l'utilisateur. C'est un paramètre que l'on doit définir pour l'ensemble des scénarios.

2.1.4.2 Correction pour la densité

Lorsqu'on se trouve en situation de libre croissance, c'est-à-dire lorsque le nombre de tiges est inférieur au nombre de tiges maximum théorique calculé, la valeur du dhp est celle du dhp théorique calculé. Mais lorsque le nombre de tiges dépasse ce seuil maximum, on n'est plus en situation de libre croissance et on ne peut plus utiliser les valeurs théoriques du dhp ni leurs accroissements. Il faut alors calculer un nouveau dhp à partir de la superficie de la projection du houppier et de la hauteur en utilisant les équations de SEYMOUR et SMITH (1987) présentées au point 2.1.2. Comme on n'est plus en situation de libre croissance, le diamètre du houppier n'augmente plus et reste constant dans le temps tant que le nombre de tiges ne change pas. Ce diamètre est égal à celui juste avant qu'on délaisse la libre croissance; il n'y a que la hauteur qui continue d'augmenter avec le temps.

2.1.5 Les élagages

Lors d'un élagage, la longueur du houppier vivant est raccourcie. L'élagage intervient donc dans les calculs en venant diminuer temporairement la longueur du houppier, ce qui indirectement influence la

largeur du houppier. Cela induit un changement sur la valeur du dhp et le nombre théorique maximal de tiges.

2.1.6 Les éclaircies

Lors d'une éclaircie, la densité de tiges résiduelles diminue, ce qui procure de l'espace additionnel pour la croissance du houppier. Ainsi, l'éclaircie est prise en compte dans les calculs en permettant au houppier d'augmenter sa largeur dans le temps lorsque la densité des tiges avant éclaircie a dépassé le nombre maximal de tiges permettant une libre croissance. Ce changement de la largeur du houppier modifie donc la valeur du dhp.

2.1.7 La mortalité

Deux types de mortalité ont été introduits dans les calculs. L'un, que l'on nomme mortalité aléatoire, est la mortalité d'une tige sans raison précise. L'autre, que l'on nomme mortalité par autoéclaircie, constitue la mortalité causée par une densité de tiges trop élevée. Cette dernière fait partie des calculs mais risque de ne jamais se manifester à cause de la courte durée des scénarios de même que les densités élevées que cela suppose ($> 50 \text{ m}^2/\text{ha}$).

2.1.7.1 La mortalité aléatoire

La mortalité aléatoire se calcule simplement comme une proportion de tiges sur pied qui meurent annuellement et pour laquelle la valeur est fixée arbitrairement par l'utilisateur. C'est un paramètre que l'on doit définir pour l'ensemble des scénarios.

2.1.7.2 La mortalité par autoéclaircie

La mortalité par autoéclaircie intervient dans le modèle lorsque la densité de tiges dépasse un certain seuil de surface terrière pour un dhp moyen donné. Cette mortalité s'intensifie au fur et à mesure que l'on se rapproche d'une surface terrière maximale possible. L'équation suivante de SMITH et WOODS (1997) pour le début de la mortalité a été utilisée :

$$\ln(\text{volume}) = 10,740797 - 1,730491 * \ln(\text{densité})$$

La relation suivante a été obtenue en utilisant la surface terrière au lieu du volume :

$$ST_{\text{seuil}} = 755,2217 * D^{-0,46214}$$

où ST_{seuil} = Surface terrière à partir de laquelle la mortalité par autoéclaircie débute (m^2/ha)

D = densité (nbre de tiges /ha)

Il faut aussi définir une surface terrière que le peuplement ne peut dépasser. SMITH et WOODS (1997) ont défini un seuil de production biologique maximal mais les valeurs semblent trop élevées. Par exemple, la surface terrière maximale pour 400 tiges/ha est de 110 m^2/ha . Nous avons donc préféré fixer arbitrairement cette valeur qui se situe à 70 m^2/ha dans nos simulations. Le calcul de la mortalité par autoéclaircie débute dès que la surface terrière du peuplement dépasse la surface terrière seuil de début de mortalité. Cette mortalité progresse au carré de la différence entre la surface terrière du peuplement et la surface terrière maximale possible. Cette surface terrière annuelle en mortalité permet de calculer le nombre de tiges mortes et elle est soustraite de l'accroissement brut annuel en surface terrière. La surface terrière nette résultante permet de calculer le dhp des tiges résiduelles en divisant sa valeur par le nombre de tiges. La perte de tiges par mortalité ne vient pas influencer la croissance du dhp des tiges en créant plus d'espace pour les houppiers comme pour le cas de mortalité aléatoire. Nous estimons qu'à cette densité, l'étroit et court houppier réagit faiblement à cet espace libéré et n'a pratiquement pas d'influence sur l'accroissement du dhp.

2.2 Le calcul du défilement de la tige

Afin de bien cerner l'influence de la densité (nombre de tiges à l'hectare) sur le volume des tiges individuelles, et en particulier sur le volume de bois d'œuvre du tronçon élagué, il nous est apparu important de tenir compte du défilement des tiges. Pour ce faire, nous nous sommes référés aux travaux de GEVORKIANTZ et HOSLEY (1929) où des relations simples entre les dimensions du houppier et le défilement de la tige ont été définies pour le pin blanc dans des plantations de 60 ans et moins.

Les étapes du calcul du défilement sont les suivantes :

1. Détermination de l'indice de houppier;
2. Calcul de la proportion de fût sans branche vivante;
3. Détermination de la classe de forme de la tige;
4. Calcul du défilement.

2.2.1 Détermination de l'indice de houppier

L'indice de houppier (*crown index*) est une variable nécessaire pour connaître la classe de forme. Il est déterminé par le dhp et la largeur du houppier, variables qui ont déjà été calculées. Dans la publication de GEVORKIANTZ et HOSLEY (1929), un tableau présente les valeurs de l'indice de houppier en fonction du dhp et de la largeur du houppier. Plutôt que d'utiliser le tableau, nous avons choisi de définir des équations entre le diamètre du houppier et l'indice de houppier pour chacune des valeurs de dhp du tableau (1 à 20 po). Ces relations étaient linéaires et les coefficients de corrélations (R^2) obtenus étaient supérieurs à 0,99. Pour les valeurs de dhp intermédiaires, une interpolation linéaire est effectuée entre la valeur de l'indice de houppier inférieur et supérieur. Par exemple, pour trouver l'indice de houppier d'un dhp de 5,8 po, l'indice de houppier est calculé pour des valeurs de dhp de 5 et 6 po; puis, une interpolation linéaire est effectuée entre ces deux valeurs de l'indice pour connaître la valeur correspondante de l'indice de houppier.

2.2.2 Calcul de la longueur de fût sans branche vivante

Le calcul de la proportion de fût sans branche vivante est effectué en utilisant l'équation définie par SEYMOUR et SMITH (1987) entre la longueur du houppier vivant et la largeur du houppier ainsi que la hauteur totale de la tige :

$$CL = [-b + (b^2 + 4aCR)^{0.5}]/2a \quad \text{avec } a = 0,00006024 \cdot H - 0,009988 \quad \text{et } b = 0,6027$$

où CL = longueur du houppier vivant (pi)

CR = rayon de houppier (pi)

H = hauteur totale (pi)

La longueur de fût sans branche vivante est calculée en soustrayant la longueur du houppier vivant de la hauteur totale de la tige. La proportion de fût sans branche vivante est calculée en divisant la hauteur totale par la longueur de fût sans branche vivante.

2.2.3 Détermination de la classe de forme de la tige

La classe de forme est un indice utilisé pour connaître le défilement d'une tige. Dans le cas présent, il correspond au rapport entre la valeur du diamètre sans écorce à la mi-distance entre 4,5 pi du sol et l'extrémité de la tige et celle du diamètre sans écorce à 4,5 pi du sol. Dans la publication de GEVORKIANTZ et HOSLEY (1929), un tableau présente les valeurs de la classe de forme en fonction de la proportion de la

longueur de fût sans branche vivante et de l'indice de houppier. Plutôt que d'utiliser le tableau, nous avons choisi de définir des équations entre la longueur de fût sans branche vivante et la classe de forme pour chacune des valeurs d'indice de houppier (de 6 à 20, par saut de 2 unités). Des équations polynomiales du second degré ont été utilisées et les coefficients de corrélation (R^2) obtenus étaient presque tous supérieurs à 0,99. Pour les valeurs intermédiaires d'indice de houppier, une interpolation linéaire est effectuée entre les valeurs de la classe de forme inférieure et supérieure. Par exemple, pour trouver la classe de forme pour un indice de houppier de 7, la classe de forme est calculée en utilisant les équations définies pour des valeurs de 6 et de 8; puis, une interpolation linéaire est effectuée entre ces deux valeurs de classe de forme pour déterminer la valeur correspondante de la classe de forme.

En procédant de cette façon pour calculer la classe de forme, c'est-à-dire en calculant une proportion de fût sans branche vivante, cela amène des imprécisions dans le temps. Premièrement, à chaque fois qu'un élagage a lieu, la proportion de fût sans branche vivante est modifiée instantanément et cela entraîne un changement brusque de la classe de forme, ce qui n'est pas réaliste. Pour contourner le problème, nous faisons progresser arbitrairement la classe de forme de une unité annuellement lors d'un élagage jusqu'à ce qu'elle rattrape avec le temps la valeur calculée. Deuxièmement, lorsque la densité de tiges est telle que l'on évolue d'une situation de libre croissance à une situation pour laquelle le houppier ne peut plus s'élargir, le calcul de la proportion de fût sans branche vivante induit un changement trop rapide et ne tient pas compte du fait que plusieurs années sont nécessaires avant que la branche vivante la plus basse meure et ainsi de suite pour les autres branches adjacentes. De sorte qu'on se retrouve avec une évolution de la proportion de fût sans branche vivante qui est imprécise et qui, à l'usage, a démontré des valeurs un peu trop élevées avec le temps. Afin d'ajuster les valeurs de la classe de forme dans le temps, nous avons utilisé une deuxième méthode pour estimer la classe de forme. Nous avons donc utilisé les relations de BEDELL (1948) entre la classe de forme et le dhp, l'âge et la hauteur totale de la tige. Contrairement à la méthode précédente, ces relations sont statiques et ne tiennent pas compte de la particularité des événements passés qui ont modelé le diamètre de la tige. Cependant, leur utilisation est pertinente lorsque la tige évolue depuis un certain temps dans des conditions peu changeantes, ce qui est le cas avec le temps dans nos simulations. Ainsi, les valeurs de la classe de forme de cette deuxième méthode sont substituées aux valeurs de la classe de forme calculées par la première méthode lorsque ces dernières deviennent plus élevées que celles calculées par la deuxième méthode.

Pour calculer le classe de forme suivant la deuxième méthode, plutôt que d'utiliser le tableau présenté dans BEDELL (1948), nous avons choisi de définir des équations qui déterminent la classe de forme à partir du dhp et ce, pour chacune des combinaisons d'âge et de hauteur du tableau (âges variant de 25 à 100 ans, par pas de 25 ans; hauteurs variant de 20 à 110 pi, par pas de 10 pi). Des équations polynomiales du second degré ont été générées et les coefficients de corrélation R^2 obtenus étaient tous

supérieurs à 0,99. Pour les valeurs intermédiaires d'âge et de hauteur, une double interpolation linéaire est effectuée sur les valeurs de classe de forme immédiatement supérieures et inférieures déterminées par les équations.

3.2.4 Calcul du défilement

Le défilement d'une tige permet de déduire le diamètre en tout point le long du fût et vice-versa, de connaître à quelle hauteur sur le fût se trouve un diamètre donné. Il sert à connaître, entre autres, la hauteur du bois d'œuvre et du bois à pâte de même que le diamètre au fin bout de la bille élaguée afin d'en calculer le volume.

Le calcul du défilement est effectué en utilisant les valeurs présentées sous forme de tableau dans la publication de GEVORKIANTZ et HOSLEY (1929). Ainsi, le diamètre sans écorce (en proportion du dhp sans écorce) est présenté en fonction de la distance le long de la tige (proportion de la distance en dixième entre 4,5 pi du sol et l'extrémité de la tige) pour des classes de forme allant de 35 à 85. Plutôt que d'utiliser le tableau, nous avons choisi de définir des équations entre la classe de forme et le diamètre sans écorce pour chacune des distances relatives le long du fût (de 0,1 à 0,9). Des équations polynomiales du troisième degré ont été utilisées et les coefficients de corrélations R^2 obtenus étaient tous supérieurs à 0,99. Pour les valeurs intermédiaires de distance relative, une interpolation linéaire est effectuée entre les valeurs de distance relative calculées par les équations pour des distances relatives immédiatement inférieures et supérieures.

Le diamètre sans écorce à 4,5 pi du sol a été estimé en utilisant le facteur de conversion de HONER et ALEMDAG (1972) :

$$\text{dhp sans écorce (po)} = 0,131 + 0,911 * \text{dhp avec écorce (po)} \quad (R^2 = 0,997)$$

2.3 Le calcul des volumes de bois de sciage et de bois à pâte de la tige

Les étapes de la procédure de calcul des volumes de bois sont les suivantes :

1. Calcul du volume (pi^3) d'une tige au-dessus de 4,5 pi du sol;
2. Calcul du volume (pi^3) d'une tige de 0,5 à 4,5 pi du sol;
3. Détermination des longueurs de bois d'œuvre et de bois à pâte d'une tige;
4. Calcul du volume (pi^3) de bois d'œuvre avec et sans nœud ainsi que de bois à pâte d'une tige;

5. Calcul du volume (pmp) du bois d'œuvre sans nœud d'une tige;
6. Transformation des valeurs en m³ et à l'hectare.

2.3.1 Calcul du volume (pi³) d'une tige au-dessus de 4,5 pi du sol

Le volume de la tige au-dessus de 4,5 pi du sol a été calculée en utilisant la méthode de GEVORKIANTZ et HOSLEY (1929) qui tient compte de la classe de forme de la tige. Pour effectuer ce calcul, on doit déterminer le coefficient de forme de la tige. Ce coefficient de forme permet de déterminer le volume d'un solide de révolution comme une proportion du volume d'un cylindre défini par le même rayon et la même longueur que le solide de révolution. En fait, il est le rapport entre ces deux volumes. Par exemple, un cône correspond au tiers du volume d'un cylindre et un parabololoïde à la moitié : ainsi leurs coefficients de forme sont respectivement de 0,333 et de 0,5. Ainsi, lorsque le coefficient de forme d'un solide de révolution est connu, son volume est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$V = f * S * L$$

où f = coefficient de forme

S = aire de la base du solide (pi²)

L = longueur du solide (pi)

Dans notre cas, S est la surface terrière sans écorce de la tige à 4,5 pi du sol et L est la hauteur de la tige à partir de 4,5 pi du sol.

Pour déterminer le coefficient de forme, nous avons utilisé deux équations faisant intervenir des paramètres différents et nous avons utilisé la moyenne des deux valeurs obtenues comme valeur du coefficient de forme. Cela afin de générer une valeur la plus près possible de la réalité quoique la différence entre ces deux valeurs demeure toujours faible (quelques unités tout au plus).

La première équation est la suivante :

$$f = 0,580q^2 - 0,005d + 0,0001h + 0,225$$

où f = coefficient de forme

q = classe de forme

d = dhp sans écorce à 4,5 pi du sol (po)

h = hauteur totale (pi)

L'erreur-type est de $\pm 0,02$ unités de coefficient de forme.

La deuxième équation utilisée est la suivante :

$$f = 0,453q^2 + 0,065L + 0,214$$

où f = coefficient de forme

q = classe de forme

L = proportion de la longueur du fût sans branche vivante par rapport à la hauteur totale (en décimale)

L'erreur-type est de $\pm 0,14$ unités de coefficient de forme.

2.3.2 Calcul du volume (π^3) d'une tige de 0,5 à 4,5 pi du sol

Le volume de la portion de la tige située de 0,5 à 4,5 pi a été calculé en utilisant la formule de Smalian :

$$V = (A_1 + A_2) / 2L$$

où V = volume du tronçon

A_1 = aire à une des extrémités du tronçon

A_2 = aire à l'autre extrémité du tronçon

L = longueur du tronçon

Dans le présent contexte, le tronçon a comme première extrémité le dhp sans écorce. L'autre extrémité correspond au diamètre de souche sans écorce. Le diamètre de souche sans écorce est calculé à l'aide de l'équation suivante tirée de ALEMDAG et HONER (1973) :

$$DSib = 0,014 + 0,916DHPob + 0,188DHPob * \ln(5,5 / (SH + 1)) \quad (R^2 = 0,982)$$

où $DSib$ = diamètre de souche sans écorce (po)

$DHPob$ = diamètre avec écorce à 4,5 pi du sol (po)

SH = hauteur de la souche à partir du sol (pi)

La hauteur de souche doit être définie pour l'ensemble des scénarios. Elle a été fixée à 0,5 pi (15 cm) dans nos simulations.

2.3.3 Détermination des longueurs de bois d'œuvre et de bois à pâte d'une tige

Les longueurs de bois d'œuvre et de bois à pâte d'une tige sont calculées en déterminant la hauteur à laquelle se situe le diamètre minimum de référence de chacun des types de bois. Pour une bille de sciage de pin blanc, le diamètre minimum sans écorce au fin bout est fixé à 19,1 cm et pour le bois à pâte, ce diamètre est fixé à 8 cm. Ces valeurs sont modifiables par l'utilisateur. À l'aide du défilement déjà défini, la hauteur correspondante de chacun de ces diamètres est calculée annuellement. Quant à la partie du fût qui est élaguée, sa hauteur est fixée par la hauteur d'élagage. La croissance du diamètre sans écorce à la hauteur d'élagage de chacun des élagages est suivie dans le temps en utilisant le défilement pour le calculer.

La longueur minimum d'une bille de sciage destinée à la production de planches sans nœud de la catégorie Select est fixée à 10,5 pi, soit 10,0 pi pour les planches et 0,5 pi de surlongueur. Cela correspond à une hauteur minimum de 11,0 pi en admettant une hauteur de souche de 0,5 pi. Nous avons choisi une longueur minimum de 10 pi au lieu de 8 pi car la norme de classement des planches (NELMA 2006) mentionne que la proportion de planches plus courtes que 10 pi dans un chargement de bois Select est limitée à 20 % de son volume. Pour ce qui est d'une bille de sciage destinée à la production de planches avec nœuds de la catégorie Commun, la longueur minimum de la bille est fixée à 8,5 pi, soit 8,0 pi pour les planches et 0,5 pi de surlongueur. Cela correspond à une hauteur minimum de 9,0 pi en admettant une hauteur de souche 0,5 pi. Pour ce qui est d'une bille de bois à pâte, la longueur minimum est fixée à 4,0 pi, ce qui correspond à une hauteur minimum de 4,5 pi en admettant une hauteur de souche de 0,5 pi. Tous ces paramètres doivent être définis pour l'ensemble des scénarios.

Voici les principales étapes du calcul des longueurs et des diamètres des tronçons de bois d'œuvre et de bois à pâte d'une tige :

1. Calcul annuel de la hauteur du diamètre sans écorce minimum d'utilisation pour le bois de sciage et le bois à pâte;
2. Calcul annuel du diamètre sans écorce à la hauteur de chacun des élagages;
3. Détermination, à chaque année, de la présence ou non d'au moins une bille destinée au sciage dans la portion élaguée du fût en fonction des critères de bois Select et/ou Commun. Le cas échéant, la longueur du tronçon ainsi que le diamètre sans écorce aux deux extrémités de ce tronçon sont calculés;
4. Détermination, à chaque année, de la présence ou non d'au moins une bille destinée au sciage dans la portion non élaguée du fût en fonction des critères de bois Commun. Le cas échéant, la

longueur du tronçon ainsi que le diamètre sans écorce aux deux extrémités de ce tronçon sont calculés;

5. Détermination, à chaque année, de la présence ou non d'au moins une bille de bois à pâte en fonction des critères définis antérieurement. Le cas échéant, la longueur du tronçon ainsi que le diamètre sans écorce aux deux extrémités de ce tronçon sont calculés.

En ce qui concerne le tronçon élagué de la tige, on distingue deux portions : la portion centrale qui n'a pas été élaguée et qui comporte des noeuds et la portion externe élaguée qui ne comporte pas de nœud. La portion centrale produit un volume de bois de sciage avec nœuds ou de bois à pâte selon que la dimension de cette portion centrale satisfait les critères minimum de ces produits. La portion externe permet de calculer le volume de bois sans nœud issu du traitement d'élagage. Pour chacun des élagages, une portion centrale de dimension différente est générée et cette portion centrale est considérée comme un cylindre. Pour le tronçon généré par le premier élagage, le diamètre du cylindre central est le dhp sans écorce à l'année de l'élagage car on suppose que le fût est naturellement élagué jusqu'à 4,5 pi. Pour le deuxième tronçon, c'est le diamètre sans écorce à la hauteur du premier élagage à l'année du deuxième élagage qui est utilisé.

2.3.4 Calcul du volume (π^3) de bois d'œuvre avec et sans nœud ainsi que de bois à pâte d'une tige

Une fois que les longueurs et les diamètres aux extrémités des différents tronçons ont été définis, le volume de ces différentes portions est calculé en utilisant la formule de Smalian. Voici les étapes du calcul :

1. Calcul du volume non marchand de la tige afin de connaître le volume marchand de la tige;
2. Calcul du volume de sciage sans nœud;
3. Calcul du volume de bois à pâte;
4. Calcul du volume de sciage avec nœuds.

Avec la formule de Smalian, plus un tronçon est court, meilleure est l'estimation de son volume. Lorsque le scénario utilisé comporte deux élagages, le calcul du volume de la portion élaguée se fait pour chacun des tronçons de ces deux élagages pour plus de justesse dans l'estimation du volume. De même, pour la portion de bois de sciage avec nœuds et du bois à pâte, la méthode de Smalian est utilisée pour calculer le tronçon le plus court des deux et le volume de l'autre tronçon est déduit par soustraction du volume marchand de la tige.

2.3.5 Calcul du volume (pmp) de bois d'œuvre sans nœud d'une tige

Le volume du bois d'œuvre sans nœud en pmp est calculé de la même façon qu'en m³, soit en soustrayant du volume total (pmp) de la bille élaguée, le cylindre central non élagué (pmp). Le calcul du volume en pmp a été effectué en employant la règle internationale ¼. La règle de Roy, qui est généralement utilisée au Québec, est une approximation de la règle internationale ¼.

La formule générale de GROSENBAUGH (1952) (dans FREESE 1973) a été utilisée :

$$V = 0,0498LD^2 - 0,1607LD + 0,0498L^2DT + 0,0166L^3T^2 - 0,0804L^2T - 0,1992LDT - 0,0996L^2T^2 + 0,3214LT + 0,1328 LT^2$$

où V = volume en pmp

L = longueur de la bille (pi)

D = diamètre sans écorce au fin bout (pi)

T = le défilement (taper)

Le défilement est défini comme la diminution en diamètre (po) par pied de longueur. Le défilement du tronçon élagué, correspondant au premier élagage, est calculé entre le fin bout et le dhp plutôt qu'entre le fin bout et la souche afin de ne pas exagérer le défilement. Pour le second tronçon élagué, le défilement a été calculé en tenant compte de toute sa longueur.

2.3.6 Transformation du volume en m³ et à l'hectare

Les volumes d'une tige, calculés en pi³, sont transformés en m³ en multipliant leurs valeurs par 0,3048 m³. Le volume d'une tige est multiplié par le nombre de tiges à l'hectare pour obtenir le volume à l'hectare.

3. Résultats

Un exemple de scénario est présenté à l'annexe 1. La qualité de station est fixée à 20. Deux élagages sont exécutés : le premier à 21 ans jusqu'à 3,4 m de hauteur et le second 10 ans plus tard jusqu'à 5,2 m. On définit que les plants seront plantés sous un couvert partiel et qu'au moment où le couvert sera enlevé, le nombre de plants sera de 800 à l'hectare. Deux éclaircies sont exécutées à partir d'un âge donné : la première à 30 ans pour laisser 600 tiges/ha et la seconde à 45 ans pour ne laisser que 400 tiges/ha. Voilà un exemple de scénario qui montre les variables sylvicoles à définir. Pour l'éclaircie comme pour l'élagage, on peut aussi choisir d'intervenir lorsque les tiges ont atteint une hauteur donnée

plutôt qu'un âge donné. Une autre option possible aurait été de choisir un scénario d'éclaircie pour lequel les houppiers sont constamment maintenus dans une situation de croissance libre tout en conservant le maximum de tiges sur pied; le nombre de tiges résiduelles après éclaircie se calcule automatiquement en fonction de l'âge ou de la hauteur au moment des éclaircies.

À ces variables sylvicoles, il faut aussi définir des paramètres qui interviennent dans les calculs et qui, en principe, une fois définis, ne changeront pas d'un scénario à l'autre. Ainsi, on suppose que le couvert partiel sera enlevé lorsque les plants auront 6 m de hauteur. À ce moment, on suppose qu'ils auront 70 % de la hauteur du houppier et que le diamètre de la tige sera de 80 % de celui d'un plant qui aurait poussé en pleine lumière. On fixe la surface terrière maximale possible à 70 m²/ha et on statue que la mortalité aléatoire annuelle sera de 0,15 % du nombre de tiges vivantes. En ce qui concerne le calcul du volume de bois de sciage et de bois à pâte, la longueur minimale des planches sans nœud est fixée à 10,0 pi, celle des planches avec nœuds à 8,0 pi, celle de la bille de bois à pâte à 4,0 pi, la surlongueur des billes de sciage à 0,5 pi, la hauteur de souche à 15,0 cm et les diamètres sans écorce minimum du bois de sciage et du bois à pâte à respectivement 19,1 cm et 8,0 cm.

Les résultats de croissance sont affichés dans un tableau à tous les 5 ans à partir du moment où le couvert partiel a été retiré. On y retrouve l'évolution de la croissance en hauteur et en diamètre des tiges, du nombre de tiges vivantes et mortes et de la surface terrière, de même que les volumes et les dimensions de la bille élaguée. D'autres informations sont présentées à la suite du tableau. En ce qui concerne les élagages, l'âge de l'intervention, le dhp des tiges ainsi que le nombre de verticilles à élaguer sont présentés afin d'évaluer le coût du traitement. On y trouve aussi le nombre de tiges enlevées à chacune des éclaircies de même que les volumes récupérés lors de ces éclaircies afin de mieux quantifier les coûts et les revenus de ces éclaircies.

4. Discussion

L'ensemble des calculs sont basés sur des relations mathématiques que nous n'avons pas personnellement définies. Le calcul de la croissance en diamètre est théorique. Nous n'avons pu vérifier les résultats obtenus faute de données. Ces relations sont issues de travaux effectués pour la plupart dans le nord-est des États-Unis sauf pour la croissance en hauteur dont les données ont été prises dans l'est du Canada. Ces relations diffèrent possiblement pour le territoire du Québec. D'autre part, plusieurs conditions actuelles ne sont pas les mêmes que celles à l'origine de ces relations comme l'utilisation de plants génétiquement améliorés et de plants de fortes dimensions de même que la présence d'une concentration plus élevée de gaz carbonique dans l'atmosphère. Ces aspects pourraient induire une meilleure croissance que ce que le présent calcul donne.

Les calculs se font sur une tige et cette tige représente les caractéristiques moyennes de toutes les tiges. En fait, toutes les tiges sont considérées comme identiques et partagent exactement les mêmes caractéristiques dendrométriques. Cela ne représente pas la réalité surtout lorsque les tiges ne sont pas maintenues dans une situation de libre croissance mais exercent une certaine compétition entre elles. Il s'instaure alors un gradient plus ou moins important dans le diamètre des tiges. Le fait de reconnaître toutes les tiges comme ayant exactement les mêmes caractéristiques dendrométriques fausse la justesse des résultats, en particulier celui du volume marchand qui intègre à la fois la croissance en diamètre, en hauteur de même que le défilement. De plus, un scénario pour lequel seulement une proportion des tiges seraient élaguées n'est pas bien évalué par le modèle actuel qui calcule une croissance identique pour l'ensemble des tiges plutôt que de différencier la croissance selon qu'une proportion des tiges est élaguée ou non.

4.1 Croissance du diamètre de la tige moyenne

Peu de données sont disponibles sur la croissance en diamètre du pin blanc dans la littérature scientifique, en particulier si l'on désire prévoir cette croissance à de faibles densités (< 1000 tiges/ha) lorsque les tiges sont relativement jeunes. Aussi, les données de croissance et de production du pin blanc de la plupart des plantations effectuées dans le passé sont souvent entachées des pertes de croissance causées par le charançon. Comme nous voulions une flexibilité dans le calcul de la croissance en diamètre du pin blanc en fonction de la densité, de l'indice de qualité de la station et tenir compte du défilement de la tige, nous avons choisi une approche théorique de la croissance du pin blanc basée sur la longueur et le diamètre du houppier. Deux équations ont été utilisées. Celle reliant le dhp au diamètre du houppier et à la hauteur de la tige a un coefficient de corrélation de 0,92. Cependant, la seconde équation mettant en relation le diamètre du houppier avec la longueur du houppier et la hauteur de la tige présente un coefficient de corrélation de 0,63. Cette faible corrélation peut entraîner des écarts significatifs par rapport à la réalité et il faut en être conscient dans les résultats de croissance en diamètre obtenus selon différents scénarios.

Afin de minimiser les dommages causés par le charançon du pin blanc, les scénarios sont basés sur le principe d'un reboisement sous un couvert partiel. Ce couvert est enlevé lorsque les pins blancs ont atteint une hauteur où le charançon ne cause pratiquement plus de dommages, soit vers 6 m de hauteur. Si l'on a pris soin de reboiser un nombre plus élevé de plants que la densité souhaitée après l'enlèvement du couvert partiel, on peut supposer que les tiges résiduelles, après avoir été éclaircies, seront celles qui n'auront pas subi de pertes de croissance en hauteur causées par le charançon. Cependant, en croissant sous couvert, elles auront subi une diminution de la longueur du houppier vivant de même qu'une

diminution de la croissance en diamètre à cause de la moins grande intensité de lumière. Ces deux facteurs n'ont pas été modélisés mais sont corrigés de façon arbitraire en fixant une proportion d'atténuation par rapport aux valeurs obtenues par les équations. Ces facteurs pourront être mieux estimés lorsque des données de croissance sous couvert partiel seront disponibles.

Comme mentionné précédemment, on suppose que toutes les tiges possèdent exactement les mêmes caractéristiques et qu'aucun gradient du dhp des tiges n'est pris en compte. Cette façon de calculer peut avoir comme conséquence de diminuer la croissance réelle du peuplement lorsque des éclaircies sont pratiquées. En effet, lors des éclaircies, il est préférable d'enlever les tiges les moins vigoureuses et les plus petites afin de laisser l'espace aux dominantes et aux plus vigoureuses. L'éclaircie ainsi pratiquée a pour effet d'augmenter le diamètre moyen des tiges résiduelles par rapport au diamètre moyen avant éclaircie, ce qui n'est pas pris en compte dans les présents calculs. Pour ce faire, il aurait fallu tracer une courbe de distribution des diamètres et définir un prélèvement par classe de diamètre.

Un élément de calcul souvent difficile à modéliser est la mortalité. Nous avons scindé la mortalité en deux parties, soit la mortalité par autoéclaircie et la mortalité aléatoire. La première est modélisée en fixant toutefois arbitrairement une surface terrière maximale. Quant à la mortalité aléatoire, elle n'est pas modélisée mais fixée arbitrairement. Nous croyons qu'il est préférable de faire intervenir une certaine mortalité aléatoire plutôt que de présumer qu'aucune mortalité ne se produise.

4.2 Calcul du volume de la tige moyenne

Le calcul du volume utilise plusieurs relations définies dans GEVORKIANTZ et HOSLEY (1929). Leur étude a porté sur des peuplements de 60 ans et moins. C'est pourquoi il est souhaitable de restreindre l'analyse de la rentabilité de l'élagage sur une période ne dépassant pas 60 ans car plus on s'éloignera de cet âge, plus l'incertitude croîtra dans les calculs.

Nous avons voulu tenir compte du défilement de la tige pour estimer le mieux possible le volume de la tige. Nous avons utilisé deux méthodes afin d'estimer le plus justement le défilement. L'une se base sur la longueur du houppier vivant et la relation mathématique pour définir cette longueur est faible. Toutefois, avec l'utilisation d'une deuxième méthode basée sur le dhp, la hauteur et l'âge, nous croyons que nous estimons assez fidèlement le défilement de la tige.

Le calcul du volume en pmp n'est présenté que pour la portion du fût élaguée car ce calcul exige d'avoir des tronçons d'une longueur maximum de 16 pi et que pour la longueur du bois de sciage avec nœuds, cette longueur est facilement dépassée avec le temps. Nous aurions pu aussi générer une série de

tronçons de longueurs voulues en utilisant le défilement de la tige et ainsi calculer le volume en pmp et en m³ avec une meilleure précision. Cela aurait exigé un effort de calcul supplémentaire que nous réservons pour une version ultérieure.

4.3 Calcul de la rentabilité

Le calcul de la rentabilité de scénarios d'élagage nécessitera d'ajouter les coûts d'autres interventions non explicitées au présent calcul notamment :

1. Coupe partielle pour ouvrir le couvert d'un peuplement existant;
2. Préparation de terrain avant reboisement laquelle éliminera le plus possible les tiges du sous-bois autres que le pin;
3. Nombre de plants reboisés de pin blanc. Prévoir environ 30 % plus de plants que le nombre souhaité lorsque le couvert partiel sera totalement enlevé. Cela afin d'anticiper la mortalité par la rouille vésiculeuse du pin blanc, la perte lors de l'exécution de la coupe des tiges du couvert et d'avoir la possibilité de sélectionner les meilleures tiges d'avenir lors de l'éclaircie précommerciale;
4. Reboisement des plants;
5. Dégagement mécanique des plants de pin blanc de la végétation concurrente environ 3 ans après le reboisement;
6. Coupe totale du couvert partiel lorsque les plants de pin blanc auront atteint 6 m de hauteur;
7. Éclaircie précommerciale immédiatement après la coupe totale. Enlever les tiges endommagées par le charançon du pin blanc et conserver le nombre voulu de tiges en sélectionnant les meilleures tiges et en les espaçant régulièrement.

En ce qui concerne les élagages, nous avons calculé le nombre de verticilles à élaguer afin de mieux estimer le coût de ces interventions. Toutefois, la connaissance de la grosseur des branches auraient été un élément pertinent pour une meilleure estimation du coût. Quant aux éclaircies, le nombre de tiges enlevées de même que les volumes prélevés sont calculés afin d'estimer les coûts et les bénéfices de ces opérations.

La valeur du bois de sciage sans nœud peut se calculer de façon assez précise en lui associant le prix de la classe de qualité Select. Par contre, celle du bois de sciage avec nœuds cause un problème car il est difficile de définir les volumes par classe de qualité de planche. La principale difficulté est celle reliée à la grosseur, à la quantité ainsi qu'à la qualité de nœuds. En effet, avec un scénario de faible densité, la croissance élevée en diamètre entraînera l'obtention d'un volume imposant de bois de sciage sans nœud de grande valeur; par contre, la qualité des planches de la portion de bois de sciage avec nœuds sera

fortement déclassée à cause de la présence de gros nœuds. Avec un scénario à haute densité, un élagage naturel s'effectuera avec le temps et cela produira des nœuds « noirs » ou « loose », ce qui déclassera la qualité du bois de sciage au plus bas niveau. La proportion de ces types de nœud ainsi que leur grosseur ne sont pas modélisés. La proportion de chacune des qualités de planche obtenues selon différents scénarios devra être estimée dans le calcul de la valeur du bois de sciage avec nœuds. Nous envisageons de modéliser la croissance des nœuds et d'utiliser un logiciel de sciage virtuel afin de mieux quantifier la proportion en volume des différentes classes de qualité de bois de sciage avec nœuds.

Références bibliographiques

ALEMDAG, I.S. et T.G. HONER, 1973. *Relationships between breast-height and stump diameters for eleven tree species from eastern and central Canada*. Canadian Forestry Service, Forest Management Institute. Information report FMR-X-49. 60 p.

ALEMDAG, I.S. et T.G. HONER, 1977. *Metric relationships between breast-height and stump diameters for eleven tree species from eastern and central Canada*. Canadian Forestry Service, Forest Management Institute. Information report FMR-X-49M. 62 p.

BEDDELL, G.H.D., 1948. *Form-class of white pine and jack pine as affected by diameter, height and age*. Canada Department of Mines and Resources; Mines, Forests and Scientific Services Branch, Dominion Forest Service. Silvicultural Research Note No. 89. 8 p.

FREESE, F. 1973. A collection of log rules. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-01. 65 p.

GEVORKIANTZ, S.R. et N.W. HOSLEY, 1929. *Form and development of white pine stands in relation to growing space: a preliminary study with form-class volume tables of natural and planted stands in Central New England*. Harvard Forest Bulletin No. 13. 83 p.

HONER, T.G. et I.S. ALEMDAG, 1972. *Equations for estimating inside and outside bark diameters at breast height of eleven tree species from eastern and central Canada*. Canadian Forestry Service, Forest Management Institute. Information Report FMR-X-48. 11 p.

NELMA 2006. *Eastern white pine board grades*. Dans *Standard grading rules for northeastern lumber*. The Northeastern Lumber Manufacturers Association. Section 3. 12 p.
[<http://www.nelma.org/Page-10.html>]

SEYMOUR, R.S. et D.M. SMITH, 1987. *A new stocking guide formulation applied to eastern white pine*. For. Sci. 33 : 469-484.

SMITH, D.J. et M.E. WOODS, 1997. *Red pine and white pine density management diagrams for Ontario*. Ontario Ministry of Natural Resources, Southcentral Sciences Section. Technical Report No. 48. 31 p.

WOODS, M.E. et R.J. MILLER, 1996. *Red pine and white pine site index curves and tables for south central region*. Ontario Ministry of Natural Resources, South/Central Sciences Section, Science Development and Transfer Branch, Science and Information Resources Division, North Bay. Technical note No. 2. 11 p.

Annexe 1.

Âge _{totale} (depuis plantation)	HT (m)	Hauteur élaguée (m)	Nbre tiges vivantes (/ha)	DHPq (cm)	ST (m ² /ha)	Mortalité cumulée (nbre tiges / ha)
16	6,2	-	800	9,1	5,3	0
20	7,8	-	795	11,4	8,3	5
25	9,8	3,4	789	14,0	12,3	11
30	11,7	3,4	600	16,2	12,6	15
35	13,5	5,2	596	18,6	16,5	20
40	15,3	5,2	591	20,8	20,3	24
45	17,1	5,2	400	22,7	16,5	28
50	18,7	5,2	397	25,0	19,8	31
55	20,3	5,2	394	27,1	23,1	34
60	21,9	5,2	391	29,0	26,3	37
65	23,3	5,2	388	30,9	29,5	40
70	24,8	5,2	385	32,6	32,6	43
75	26,2	5,2	382	34,2	35,7	46
80	27,5	5,2	380	35,7	38,6	48
85	28,8	5,2	377	37,2	41,5	51
90	30,0	5,2	374	38,6	44,4	54
95	31,2	5,2	371	39,9	47,1	57
100	32,3	5,2	368	41,1	49,7	60

	Sciage sans nœud	Sciage avec nœuds	Pâte
Volume MARCHAND (m ³ /ha)	Volume de bois d'œuvre sans nœud (m ³ /ha)	Volume de bois d'œuvre avec nœuds (m ³ /ha)	Volume de bois à pâte (m ³ /ha)
10	-	-	10
26	-	-	26
52	-	-	52
66	-	-	66
103	-	-	103
147	-	-	147
131	38	13	80
171	63	24	84
216	78	81	56
263	93	115	55
312	108	165	39
363	123	202	38
418	137	244	37
472	151	285	36
528	164	327	36
584	177	370	36
640	190	414	36
697	202	459	36

Indice de qualité de station

20

Hauteur (m) à 50 ans dhp

	Hauteur d'élagage (m)	Hauteur (m)	Âge total (année)	dhp (cm)	Nombre de verticilles élagués à partir du DHP
Élagage 1	3,4	8,2	21	12,1	6
Élagage 2	5,2	12,1	31	16,9	10

Scénario de CHOIX de DENSITÉ

Éclaircies pratiquées lorsque les tiges ont atteint un âge donné

	Nbre tiges résiduelles /ha	Âge total	Nbre de tiges enlevées /ha	Hauteur (m)
Départ	800	16		6,2
Éclaircie 1	600	30	185	11,7
Éclaircie 1	400	45	188	17,1

	VOLUME MARCHAND (m ³ /ha)	VOLUME de bois d'œuvre sans nœud (m ³ /ha)	VOLUME de bois d'œuvre avec nœuds (m ³ /ha)	VOLUME de bois à pâte (m ³ /ha)	VOLUME de bois d'œuvre sans nœud (PMP/ha)
Éclaircie 1	20,4	0,0	0,0	20,4	0,0
Éclaircie 1	61,4	17,8	6,2	37,4	3379,2

Paramètres de calcul

6	m	Hauteur des tiges lorsque dégagées du couvert dominant
0,70		Proportion de la longueur du houppier (sous couvert)
0,80		Croissance en diamètre sous couvert p/r à pleine lumière
70,0	m ² /ha	Surface terrière maximale possible
0,0015		Mortalité aléatoire annuelle (proportion du NB de tiges vivantes)
4	pi	Longueur minimale pour bois à pâte
10	pi	Longueur de planche minimale sans nœud
8	pi	Longueur de planche minimale avec nœud
0,5	pi	Surlongueur de la bille de bois d'œuvre
15	cm	Hauteur de souche
19,1	cm	Diamètre sans écorce minimum pour bois d'œuvre
8	cm	Diamètre sans écorce minimum pour bois à pâte