

MYRIAM DROUIN

**ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ DE LA COULEUR DU
BOIS DE BOULEAU À PAPIER (*BETULA PAPYRIFERA*
MARSH.) ET ANALYSE DE SON IMPACT SUR LA
QUALITÉ ET LA VALEUR DES SCIAGES**

Thèse présentée
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de doctorat en Sciences du bois
pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph. D.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DU BOIS ET DE LA FORÊT
FACULTÉ DE FORESTERIE DE GÉOGRAPHIE ET DE GÉOMATIQUE
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2010

Résumé

Le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) est une alternative intéressante aux espèces nobles traditionnellement utilisées par l'industrie du sciage des bois feuillus québécoise et canadienne. Sa transformation en produits d'apparence confère une importance à la couleur de son bois. Son bois d'aubier de couleur pâle et homogène contraste avec la présence d'un bois de cœur traumatique, d'un brun-rougeâtre plus foncé.

L'objectif principal de ce projet de doctorat était de déterminer la variabilité intra-spécifique de la coloration du bois de bouleau à papier, de mieux comprendre les sources de cette variabilité à l'échelle inter-arbre et intra-arbre, et de mesurer son impact sur la qualité et la valeur des sciages produits. L'objectif spécifique était de caractériser objectivement la couleur de l'aubier et du bois coloré en utilisant les valeurs colorimétriques $L^*a^*b^*$ et d'analyser l'effet de l'âge, du diamètre et de la vigueur des tiges ainsi que de la qualité et de la hauteur des billes sur ces valeurs colorimétriques et sur la proportion de bois coloré dans les planches. Un autre objectif spécifique était d'analyser l'impact de l'âge, du diamètre et de la vigueur des tiges sur les rendements en valeur et en qualité des sciages.

L'analyse colorimétrique des sciages de 122 tiges de bouleau à papier provenant de deux peuplements de la région des Hautes-Laurentides, a été rendue possible par l'utilisation d'un système de vision artificielle automatisé. Un total de 2284 sciages a été étudié.

En considérant l'ensemble de ces planches, une moyenne de 32.4 % de bois coloré par planche a été obtenue. Parmi les variables étudiées dans cette étude, seuls le diamètre et la vigueur des tiges ont eu un effet significatif sur la proportion de bois coloré. Les arbres ayant un plus fort diamètre ont produit les planches aux plus fortes proportions de bois coloré. L'âge n'a pas eu une influence assez forte pour être significative dans le modèle statistique. Les tiges les moins vigoureuses ont présenté une moyenne de 45,32 % de bois coloré par planche, celles de vigueur intermédiaire ont obtenu une moyenne de 30,78 % alors que les tiges les plus vigoureuses ont présenté en moyenne 15,47% de coloration. La qualité des billes ainsi que leur hauteur dans l'arbre n'ont pas eu d'impact significatif sur la proportion de bois coloré. Ces résultats suggèrent que des traitements sylvicoles favorisant

la rétention de tiges vigoureuses et des révolutions de récolte plus courtes permettraient d'éviter une trop grande proportion de bois coloré dans les sciages.

Des différences significatives entre les valeurs de $L^*a^*b^*$ du bois coloré et du bois clair ont été obtenues suite aux analyses colorimétriques. La luminosité (L^*) s'est avérée comme étant le meilleur indicateur de changement de la couleur du bois de bouleau à papier. Les valeurs colorimétriques ont été principalement affectées par l'âge et le diamètre des tiges ainsi que la position des billes dans l'arbre et la qualité des billes. Toutefois, l'impact de ces variables sur les paramètres $L^*a^*b^*$ n'a pas été constant et a varié d'un paramètre à l'autre.

Lorsque la valeur et la qualité des produits ont été analysées, de façon générale, des rendements en qualité NHLA assez faibles ont été obtenus : 60,3% de la superficie des sciages a été classée dans la classe de qualité No.2A Commun et dans les classes inférieures. Lorsque sélectionnées pour la couleur, la moitié de la superficie des planches étudiées a été classée dans la catégorie aubier, 4% des superficies ont été classées rouge alors que pour des superficies 28% l'aubier et le bois coloré étaient présents simultanément. L'impact de l'âge, du diamètre et de la vigueur de tiges sur la qualité et la valeur des planches a été analysé. Les résultats ont démontré que le diamètre des tiges a eu l'impact le plus important sur ces classements. Les tiges de dimensions plus fortes ont fourni des sciages de qualité supérieure et de plus grande valeur. La vigueur des tiges a eu un impact significatif sur la valeur des produits obtenus mais peu sur leur qualité. Les tiges les plus vigoureuses ont obtenu la plus grande valeur des planches avec une moyenne de 316.62 \$/m³. Les tiges de vigueur moyenne, classées S et C, ont obtenu des moyennes respectives de 218.28\$/m³ et 251.84 \$/m, alors que les tiges les moins vigoureuses ont présenté la plus faible moyenne soit 165.94\$/m³. L'âge des tiges a influencé dans le même sens que le diamètre ces classements valeur, mais pas aussi fortement. Ces résultats suggèrent que pour maximiser la valeur des sciages, il faudrait viser l'obtention de tiges de plus fort diamètre, possiblement par de plus longues révolutions.

L'analyse des effets aléatoires a permis de discerner la variabilité inter-planche comme étant la plus importante source de variation, elle a été suivie de la variabilité inter-arbre et dans une moindre mesure de la variabilité inter-bille. La variabilité inter-peuplement n'a eu aucun effet significatif.

Abstract

The availability of high quality hardwood timber has become critical for furniture and other appearance products industries over the past years. The broad distribution of paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.), as well as the good aesthetic and physical characteristics of its wood, make it an interesting alternative to the high-value species traditionally used by the Québec hardwood sawmilling industry. Its pale and homogeneous sapwood is appreciated for many indoor uses. However, paper birch grows a false heartwood, also called discolored wood or red heartwood, contrasting in coloration with the surrounding sapwood. This difference in shade is not appreciated by the appearance wood products industry where in general homogeneous color products are desired.

The main objective of this study is to define the limits of variability of paper birch wood color, to better understand its sources of variation, and to measure its impact on lumber products value and quality. More specifically, the aim of the research is to characterize objectively the color of its sapwood and discolored wood using $L^*a^*b^*$ values and to analyze the effects of tree age, diameter and vigor, as well as log height class and log quality, on these wood colorimetric values and on the proportion of discolored wood in boards. Another specific objective is to assess the impact of tree age, diameter and value on grade recovery, board color classification and lumber value.

Results are based on 122 paper birch trees harvested in two different stands, from which logs of sawing quality have been sawn into 2284 boards. Trees were classified according to the MSCR tree classification system. The colorimetric analysis was performed on board images acquired by an industrial scanner developed for the appearance products industry. An image processing software, developed for the scanner was used to view these digital images on which defects have been automatically detected, to process them and to collect colorimetric information. The software was used to measure the proportion of every board surface belonging to sapwood and discolored wood regions.

An average percentage area of 32.4 % of discolored wood on boards was obtained when considering all boards. Tree diameter and tree vigor significantly influenced the proportion of discolored wood in boards whereas the effect of tree age was not strong enough to have a significant influence in the model. Larger trees presented more board discoloration. Less vigorous trees showed a mean percentage area of 45.32 % compared to middle vigor classes and most vigorous trees which obtained a mean percentage area of 30.78% and 15.47 %, respectively. Neither log quality nor log height class had a significant effect on the proportion of discolored wood on the board surfaces. Results from this part of the study suggest shorter rotations as well as silvicultural treatments that can improve tree vigor to limit the presence of discolored wood in boards.

Colorimetric results showed significant differences between $L^*a^*b^*$ values when comparing sapwood and discolored wood. The luminosity (L^*) parameter appears as the best indicator of color changes in paper birch wood. These wood colorimetric values were mostly affected by tree age and tree diameter, but their effects on every colorimetric parameter were variable. Log quality and log height class also had a significant effect on some of the wood colorimetric variables, but once again their impact was variable which makes it hard to dress any clear general conclusions.

Regarding board quality and value, paper birches of this study yielded a high proportion of low-grade lumber according to the NHLA rules; 60.3% of the total board surface area belonged to #2A Common and lower quality categories. Results showed that tree diameter was the most important variable affecting these outputs. Larger trees were associated with higher board quality and higher lumber value per tree. Lumber value per tree was as well influenced by tree vigor but not by tree age. Most vigorous trees (R) produced higher board values with an average of 316.62 $\$/m^3$, middle vigor S and C classes showed averages of 218.28 $\$/m^3$ and 251.84 $\$/m^3$ while the less vigorous trees had the lowest average with 165.94 $\$/m^3$. When selected for color, 50% of the board surface area fell under the sap category, while 28% was classified as regular presenting simultaneously both colorations and finally only 4% of the board area was classified as red. It was found that the most important variable affecting board color distribution were tree vigor and tree diameter

whereas tree age had also a significant but lesser impact. In general, older, larger and less vigorous trees tended to present higher proportions of boards classified in the red category. Finally the results obtained in this study are favoring longer harvesting rotations in order to produce large trees that can be transformed in higher value and quality boards.

The analysis of the random effects throughout the study demonstrated that most of the total random variance of the dependent factors came mostly from the between board variation, but also from the between tree variation and to a lesser extent from the between log variations. No site effect was found to be significant.

Avant-Propos

Ce document est une thèse avec publications, il présente les résultats d'une recherche réalisée sous la supervision de Monsieur Robert Beauregard à titre de directeur de recherche et de Madame Isabelle Duchesne à titre de co-directrice. Le projet s'est déroulé au Centre de recherche sur le bois de l'Université Laval et chez FPInnovations-division Forintek. La variabilité de la coloration du bois de bouleau à papier et son impact sur la qualité et la valeur des sciages y ont été analysés.

Le présent document contient cinq chapitres principaux. Le chapitre I a pour but de présenter la problématique et de faire la revue de la littérature pertinente à l'étude. Le chapitre II résume la méthodologie employée. Les chapitres III, IV et V présentent les trois publications réalisées. Les références de ces publications sont les suivantes :

Article I:

Drouin M., R. Beauregard et I. Duchesne. 2009. *Between tree variability of wood color in paper birch (Betula papyrifera Marsh.) in Québec*. In Press Wood and Fiber Science 41(4).

Article II:

Drouin M., R. Beauregard et I. Duchesne. 2009. *Within tree variability of wood color in paper birch (Betula papyrifera Marsh.) in Québec*. Article soumis à Wood and Fiber Science.

Article III :

Drouin M., R. Beauregard et I. Duchesne. 2009. *Impact of paper birch (Betula papyrifera Marsh.) tree characteristics on lumber color, grade recovery and product value*. Article soumis à Forest Products Journal.

Les résultats de ces travaux ont été présentés sous forme d'affiche scientifique au *Congrès scientifique international sur la transformation des bois feuillus (ISCHP)*, à Québec les 24, 25 et 26 septembre 2007 et à la *Journée du Centre de recherche sur le bois* de l'Université Laval le 16 novembre 2007. Des présentations orales ont également été réalisées au colloque *Meublons l'avenir* dans le cadre du 75^{ème} *Congrès de l'Association francophone pour le savoir (ACFAS)* à Trois-Rivières le 8 mai 2007, ainsi qu'à Koli en Finlande du 8 au 14 juin 2006 dans le cadre d'une conférence de l'IUFRO: *Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software*. Finalement, les résultats ont été présentés oralement lors de la deuxième édition de l'ISCHP, cette fois à Paris les 28, 29 et 30 septembre 2009.

Ce projet de recherche a été rendu possible grâce à la participation financière de Développement Économique Canada (DEC) et du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune Québec (MRNFQ), de FPInnovations-Division Forintek, du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), via le programme BMPInnovation. Je tiens à remercier sincèrement ces organismes pour leur confiance et leur appui. Merci également au Centre de recherche industrielle du Québec pour l'appui technique.

J'aimerais également remercier mon directeur et ma co-directrice, Robert Beauregard et Isabelle Duchesne, de m'avoir donné la chance de réaliser un tel projet et de m'avoir guidé au cours de ces quatre années. Travailler avec vous deux a été un plaisir et un privilège. Merci Robert pour ta passion, pour tes connaissances, ta vitesse d'esprit et ton sens de l'humour. Merci Isabelle pour ton souci du détail, ton bon jugement, ta grande gentillesse et ton amitié. Mes remerciements s'étendent à Alexis Achim et à Alain Cloutier pour leur implication à différentes étapes du projet. Merci pour vos conseils judicieux et vos critiques constructives ainsi que pour votre gentillesse et votre passion envers votre profession. Je tiens également à remercier Pierre Blanchet et Urs Buehlman pour avoir accepté d'être membres du jury, vos commentaires ont été précieux et ont permis d'améliorer la qualité de la thèse.

J'aimerais aussi remercier Alain Thibeault de chez Canadel, François Godbout de chez Shermag et David Huard de la scierie Félix Huard pour m'avoir permis de visiter ces

entreprises et pour avoir répondu à mes interrogations. Votre contribution m'aura permis de bien saisir les diverses problématiques industrielles engendrées par la variabilité de la coloration du bois de bouleau à papier. Merci à Danny Lamirande de la Coopérative forestière des Hautes-Laurentides pour sa collaboration lors de la sélection des peuplements et lors des opérations de récolte et de transport. Mes remerciements s'étendent également à Christian Godbout, de la Direction de la recherche forestière au Ministère des Ressources naturelles et de la Faune Québec pour avoir partagé ses connaissances sur l'aménagement du bouleau à papier.

J'ai eu la chance de faire un séjour en Scandinavie lors de la troisième année de mon projet de recherche. J'aimerais remercier Erkki Verkasalo et Henrik Heräjärvi pour m'avoir accueillie pendant 3 mois au centre de recherche METLA, à Joensuu en Finlande. Thanks for your warm welcome and your extraordinary sense of humor. J'aimerais aussi remercier les gens de l'Université SLU à Uppsala en Suède pour m'avoir accueilli les trois mois suivants. Plus spécifiquement, j'aimerais remercier Mats Nylinder et Roland Hornfield. Thanks for sharing your passion of forestry with me and your nice country!

Un merci spécial à tous les membres du Centre de recherche sur le bois de l'Université Laval et à tous les employés de FPInnovations - division Forintek et du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) qui ont participé de près ou de loin à cette étude. Plus spécifiquement merci Francis Fournier pour m'avoir accueillie au sein de ton équipe chez Forintek ainsi qu'à Guylaine Bélanger, Colette Bourcier, Daniel Bourgeault, Benoit St-Pierre, Benoit Belleville, Guillaume Giroud, Francis Tanguay, Yves Giroux, Martin O'Connor et Philippe Gagné pour votre collaboration. Enfin un gros merci à ma famille et mes amis qui m'ont toujours encouragé à réaliser ce projet et qui ont vécu les joies de cette aventure avec moi.

À la famille Drouin pour son amour du bois.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	iv
Avant-Propos.....	vii
Table des matières.....	xi
Liste des tableaux.....	xiii
Liste des figures.....	xiv
Introduction.....	1
Chapitre 1. Revue de littérature.....	3
1.1 Le bouleau à papier.....	3
1.2 L'aménagement du bouleau à papier.....	5
1.3 Les propriétés et principales utilisations du bouleau à papier.....	9
1.4 Évaluation de la qualité des bois feuillus.....	11
1.5 La coloration du bois de bouleau à papier.....	14
1.6 La mesure de la couleur du bois.....	21
1.7 La colorimétrie.....	25
Chapitre 2. Matériel et méthodes.....	30
2.1 Récolte et préparation du matériel.....	30
2.2 Description du matériel à l'étude.....	32
2.3 Méthode d'analyse de la couleur.....	37
2.4 Méthode d'analyse de la valeur des sciages.....	43
2.5 Analyse statistique.....	44
Chapitre 3. Between tree variability of wood color in paper birch in Québec.....	46
3.1 Résumé.....	46
3.2 Abstract.....	46
3.3 Introduction.....	47
3.4 Material and Methods.....	50
3.4.1 Stand selection and tree classification.....	50
3.4.2 Colorimetric analysis on paper birch boards.....	52
3.4.3 Statistical analysis.....	53
3.5 Results.....	54
3.5.1 Proportion of discolored wood.....	54
3.5.2 Colorimetric analysis in the sapwood and the discolored regions.....	56
3.5.3 Analysis of random sources of variation.....	61
3.6 Discussion.....	62
3.7 Conclusion.....	67
Chapitre 4. Within tree variability of wood color in paper birch in Québec.....	69
4.1 Résumé.....	69
4.2 Abstract.....	69
4.3 Introduction.....	70
4.4 Material and methods.....	74
4.4.1 Material selection and preparation.....	74
4.4.2 Colorimetric analysis.....	77
4.4.3 Statistical analysis.....	77
4.5 Results and discussion.....	78

4.5.1 Proportion of discolored wood	78
4.5.2 Colorimetric observations.....	81
4.5.3 Random variations	84
4.6 Conclusion	85
Chapitre 5. Impact of paper birch tree characteristics on lumber color, grade recovery and lumber value.	87
5.1 Résumé.....	87
5.2 Abstract.....	87
5.3 Introduction.....	88
5.4 Material and methods.....	91
5.4.1 Material collection and preparation	91
5.4.2 Colorimetric analysis on paper birch boards	92
5.4.3 Lumber value	93
5.4.4 Statistical analysis.....	93
5.5 Results.....	94
5.5.1 Grade recovery.....	94
5.5.2 Selection for color.....	95
5.5.3 Lumber value	99
5.6 Discussion	101
5.7 Conclusion	103
Conclusion générale	105
Bibliographie.....	115
Annexe 1 : Programme de séchage utilisé	127
Annexe 2 : Qualités standard NHLA (NHLA 2007)	128
Annexe 3: Système de classification des billes (Petro et Calvert 1976).....	129
Annexe 4 : Système de classification des billes ABCDE (MRNFQ 2007b)	130
Annexe 5 : Paramètres généraux du logiciel CRIQTraitement.....	135
Annexe 6: Liste de prix des sciages (Hardwood Market Report Mars 2009).....	136
Annexe 7 : Résultats des analyses statistiques.....	137

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Classes de vigueur d'une tige de feuillu	7
Tableau 1.2 Classification MSCR (adapté de Boulet, 2005 et de Duchesne 2006)	8
Tableau 1.3 Prix du marché pour les sciages de bouleau à papier.....	14
Table 3.1 Comparison of the mean colorimetric values for the different board sections.....	57
Table 3.2 Effects of the three independent variables on the colorimetric parameters (Pr > F)	57
Table 3.3 Covariance parameter estimates for the percentage of discolored wood per board	61
Table 3.4 Covariance parameter estimates for sapwood and discolored wood colorimetric values	62
Table 4.1 Effects of the independent variables on the colorimetric parameters (Pr > F)....	78
Table 4.2 Value of standing paper birch timber in Québec for the fall 2008 quarter.....	79
Table 4.3 Covariance parameter estimates for the percentage of discolored wood per board	85
Table 4.4 Covariance parameter estimates for sapwood and discolored wood colorimetric values	85
Table 5.1 Paper birch lumber prices	90
Table 5.2. Lumber grade distribution when unselected for color.....	94

Liste des figures

Figure 1.1 Aire de distribution du bouleau à papier (source : USDA Forest Service 1990)	1
Figure 1.2 Volume marchand brut de bouleau à papier selon les régions administratives du Québec et selon les types de couvert forestiers (adapté de Godbout 2002)	1
Figure 1.3 Exemple de cœur rouge dans une tige de bouleau à papier (source I. Duchesne).	11
Figure 1.4. Identification des zones de qualité sur la découpe des billes (adapté de MRNF 2007b)	13
Figure 1.5 Étape du sciage des billes de bouleau à papier révélant les variations de coloration de son bois (source : I. Duchesne).	15
Figure 1.6 Les cellules nerveuses de la rétine: les cônes et les bâtonnets. Source : Breteau 2009.	1
Figure 1.7 Zones de sensibilité spectrale des trois types de cônes de la rétine. Source : Breteau 2009	1
Figure 1.8 Sensibilité spectrale de l'oeil humain moyen source: La vision des couleurs, Kléocolor 2009	28
Figure 1.9 Système de représentation de la couleur CIELab	29
Figure 2.1 Distribution de la vigueur des tiges à l'étude pour les deux peuplements	34
Figure 2.2 Distribution de l'âge des tiges à l'étude pour les deux peuplements	34
Figure 2.3 Distribution du diamètre des tiges à l'étude pour les deux peuplements	35
Figure 2.4 Distribution de la qualité des billes à l'étude pour les deux peuplements selon le système de Petro et Calvert (1976).	35
Figure 2.5 Distribution de la qualité des billes à l'étude pour les deux peuplements selon le système ABCDE du MRNFQ (2007b).	36
Figure 2.6 Distribution de la position des billes dans l'arbre pour les deux peuplements	36
Figure 2.7 Distribution de la qualité des sciages à l'étude selon le système NHLA (2007).	37
Figure 2.8 Scanner BoréalScan (source CRIQ)	37
Figure 2.9 Interface du logiciel de traitement des images où les défauts ont été identifiés	38
Figure 2.10 Exemple de segmentation en deux zones de coloration	40
Figure 2.11 Exemple montrant l'effet de la taille du filtre sur une segmentation à trois niveaux de coloration	42
Figure 2.12 Informations colorimétriques obtenues par le logiciel CRIQTraitement	43
Figure 3.1 Example of an image segmentation operated by the software CRIQTraitement. Discolored wood and sapwood regions were created based on the pixel color intensity.	1
Figure 3.2 Percentage areas of discolored wood in boards in relation to tree vigor classes (average and standard deviation). Different letters indicate significant differences between vigor classes	55
Figure 3.3 Percentage areas of discolored wood in boards in relation to tree diameter (DBH) (average and standard deviation)	55
Figure 3.4 Tree growth rate in relation to tree age and tree vigor classes	56
Figure 3.5 L*, a* and b* color parameter in relation to tree age (average and standard deviation) for sapwood and discolored wood regions	1

Figure 3.6 L*, a* and b* color parameter in relation to tree diameter (average and standard deviation) for sapwood and discolored wood regions.	1
Figure 3.7 Digital images of boards showing the relationships between discolored wood and character marks where most of the time, knots and wounds are found in discolored wood areas.	1
Figure 3.8 Percentage areas of discolored wood in boards in relation to tree age (average and standard deviation).....	65
Figure 3.9 Example of a difference in color homogeneity between sapwood and discolored wood regions. While sapwood is homogeneous in color, discolored wood presents different shades and creates a marble effect to the eye.....	66
Figure 4.1 Log height class distribution	76
Figure 4.2 Log quality distribution - (MRNFQ2007b).....	77
Figure 4.3 Relationship between tree vigor and log quality	80
Figure 4.4 Average percentage of discoloration per board in relation to log position in the tree	81
Figure 4.5 L*, a* and b* color parameter in relation to log height class (average and standard deviation).....	1
Figure 4.6 Wood redness (a*) in relation to log quality classes (average and standard deviation)	84
Figure 5.1 Distribution of the boards when classified for color, in each NHLA grade.....	96
Figure 5.2 Effect of tree age on board color classification.....	98
Figure 5.3 Effect of tree diameter on board color classification	98
Figure 5.4 Effect of tree vigor on board color classification	99
Figure 5.5 Lumber value per tree in relation to tree diameter (DBH).....	100
Figure 5.6 Lumber value per tree in relation to tree vigor (MSCR).....	100

Introduction

Le bois est une matière première qui évoque une multitude d'émotions à la vue et au toucher. Il est apprécié pour sa chaleur et son imparfaite beauté qui tirent leur source dans la présence irrégulière des différents éléments qui composent la structure du bois. Toutefois, l'hétérogénéité de la matière bois suscite des sentiments paradoxaux puisque les consommateurs favorisent souvent des produits au sein desquels les marques de caractères du bois sont présentes de façon limitée. Cette intolérance face à la diversité d'apparence du bois complique la tâche des fabricants de produits d'apparence en bois qui s'évertuent tout au long du processus de fabrication à améliorer l'homogénéité de cette matière première. De plus, même lorsque acceptées par les consommateurs, les marques de caractères du bois posent un certain défi à la production de masse puisqu'il devient difficile de reproduire un modèle unique en plusieurs exemplaires.

La couleur est un des attributs du bois qui influence grandement cette variabilité d'apparence. Le bois peut revêtir une multitude de teintes, que l'on compare différentes espèces forestières, le bois des arbres d'une même espèce ou le bois d'un même arbre. C'est le cas du bouleau à papier dont la coloration naturelle offre une vaste gamme de teintes possibles. Cette espèce, possède un bois d'aubier pâle et assez homogène qui est apprécié pour la fabrication d'une multitude de produits. Toutefois, les tiges de bouleau à papier produisent également un bois coloré d'un brun rougeâtre qui contraste avec le bois clair. Ce bois coloré, d'origine traumatique, aux teintes et à la forme variables, engendre la production de sciages hétérogènes en couleur.

D'un point de vue industriel cette variabilité dans la coloration du bois de bouleau à papier est habituellement perçue comme étant problématique. Pour les scieurs primaires d'une part, elle engendre des pertes monétaires puisque, lors du classement de la qualité, les sciages hétérogènes qui présentent un mélange d'aubier et de bois coloré, ont moins de valeur que les sciages présentant complètement l'une ou l'autre de ces deux colorations. D'autre part, plus loin dans la chaîne de transformation, cette variabilité dans la coloration du bois de bouleau à papier augmente le défi des industriels qui fabriquent des produits

d'apparence, tels les producteurs de meubles, à assembler des composantes homogènes pour créer un produit final de couleur uniforme. Ces industriels doivent donc dépenser temps et argent pour trier en différentes classes de couleur le bois acheté afin d'assembler des produits homogènes dans le but de rencontrer les goûts des consommateurs finaux.

L'objectif principal de ce projet de recherche est d'arriver à mieux cerner les limites de la variabilité intra-spécifique de la coloration du bois de bouleau à papier, de mieux comprendre les sources de cette variabilité à l'échelle de l'arbre (inter-arbre) et de la bille (intra-arbre), et de mesurer son impact sur la qualité et la valeur des sciages produits. Plus spécifiquement, la première publication vise à évaluer l'effet des caractéristiques des tiges sur la variabilité de la coloration du bois de bouleau à papier. L'impact de la vigueur, l'âge et la dimension des tiges sur la couleur du bois et le pourcentage de bois coloré dans les sciages y ont été étudiés. La seconde publication a pour objectif d'évaluer la variabilité de coloration intra-arbre. Pour ce faire, la hauteur des billes dans l'arbre ainsi que leur qualité ont été mesurées et leur impact sur la couleur du bois et le pourcentage de bois coloré dans les sciages a été évalué. Enfin, la dernière publication vise à évaluer l'influence des caractéristiques des tiges sur la qualité des sciages, leur classement couleur et leur valeur monétaire.

Enfin, ce projet permettra de suivre l'évolution de la qualité du bois de bouleau à papier de la forêt à l'usine, de par le classement des tiges, des billes et des planches, et de constater l'impact de la variation de la coloration sur ces classements. Le développement et la maîtrise de ces connaissances permettront une meilleure appropriation de cette matière première et favorisera une augmentation de son potentiel d'utilisation. En arrivant à mieux cerner les limites et les causes de la variabilité de coloration il sera possible de prendre de meilleures décisions sylvicoles afin de mieux contrôler sa présence.

Chapitre 1. Revue de littérature

1.1 Le bouleau à papier

De par sa localisation et de par la valeur de ses produits, la forêt feuillue québécoise et l'industrie qui en découle occupent une place économique importante dans la province. Toutefois, au cours des dernières années, l'accès à une matière première de qualité est devenu un enjeu majeur pour les utilisateurs de cette ressource. La demande croissante de l'industrie, pour laquelle la consommation de bois feuillus a plus que doublé dans les 20 dernières années (MRNFQ 2003). Par ailleurs, un aménagement peu respectueux du capital forestier dans les années 60 à 80 avec la coupe à diamètre limite, a rendu difficile l'approvisionnement en quantité et en qualité. Cette situation a engendré une augmentation des coûts. Pour faire face à cette difficulté des mesures ont été prises par le gouvernement et les industries au cours des années; des changements ont entre autres été apportés à l'aménagement des forêts feuillues en instaurant la coupe de jardinage (Bédard et al. 2007), les importations de billes feuillues ont augmenté (MRNFQ 2003) et un nouvel intérêt s'est développé pour les espèces alternatives.

Le bouleau à papier s'est imposé comme étant une alternative intéressante aux espèces nobles, les plus importantes étant l'érable à sucre et le bouleau jaune, traditionnellement utilisées par l'industrie du sciage des bois feuillus québécoise et canadienne. Il est distribué en volumes importants dans l'ensemble du pays et offre des caractéristiques physiques et esthétiques appréciées pour de multiples usages. Toutefois, longtemps considérée comme une espèce offrant un faible potentiel pour cette industrie, le bouleau à papier a été sous-utilisé pendant plusieurs années au Québec. Son utilisation désormais de plus en plus courante presse à développer des connaissances tant fondamentales qu'industrielles afin que l'on puisse l'aménager et transformer cette ressource à sa juste valeur.

Le bouleau à papier s'étend sur toute la partie septentrionale du continent Nord Américain (Figure 1.1). Adapté aux étés courts et aux hivers longs et rigoureux des climats froids, il pousse sur presque tous les types de sols et situations topographiques et il s'adapte à plusieurs régimes de précipitations (Safford et al. 1990). On le retrouve, soit en peuplements purs, soit en peuplements mélangés avec les espèces résineuses et feuillues de la forêt boréale et tempérée.

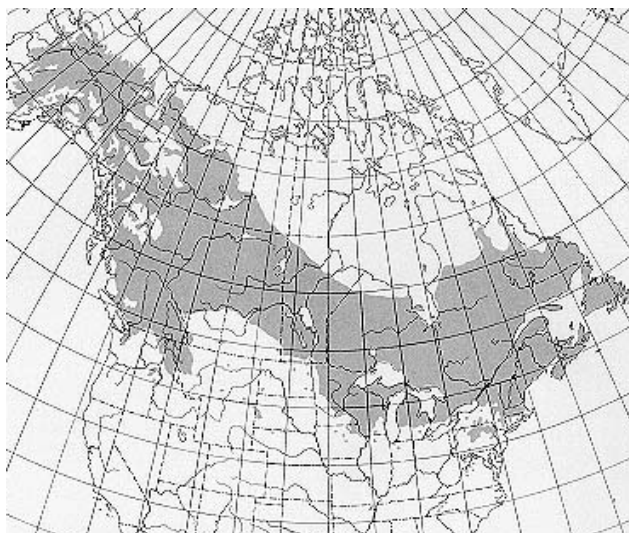


Figure 1.1 Aire de distribution du bouleau à papier (source : USDA Forest Service 1990)

Au Canada, le groupe des bouleaux constituent 20 % des volumes marchands bruts totaux des espèces feuillues (RNCAN 2001). Ils arrivent au deuxième rang avec un volume marchand brut de 1 284 000 000 m³, derrière le groupe des peupliers (3 802 000 000m³) et devant le groupe des érables (699 000 000m³). Le Québec détient 47,5% du volume des bouleaux canadiens, suivi de l'Ontario où se retrouve la majorité des volumes restants (33,4%) (RNCAN 2001). Au Québec, avec 10,8 % des volumes marchands bruts de la province inventoriés sur les forêts publiques productives (pentes de 0 % à 40 %), le bouleau à papier est considéré comme la plus importante espèce feuillue en termes de volume (MRNFQ 2007a).

La distribution du bouleau à papier selon les régions administratives du Québec est présentée à la Figure 1.2. Les plus grandes proportions de volumes marchands bruts se retrouvent dans les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, du Saguenay-Lac Saint-Jean, de la Côte-Nord, de la Mauricie et de l'Outaouais, soit sous couvert mélangé, résineux ou feuillus.

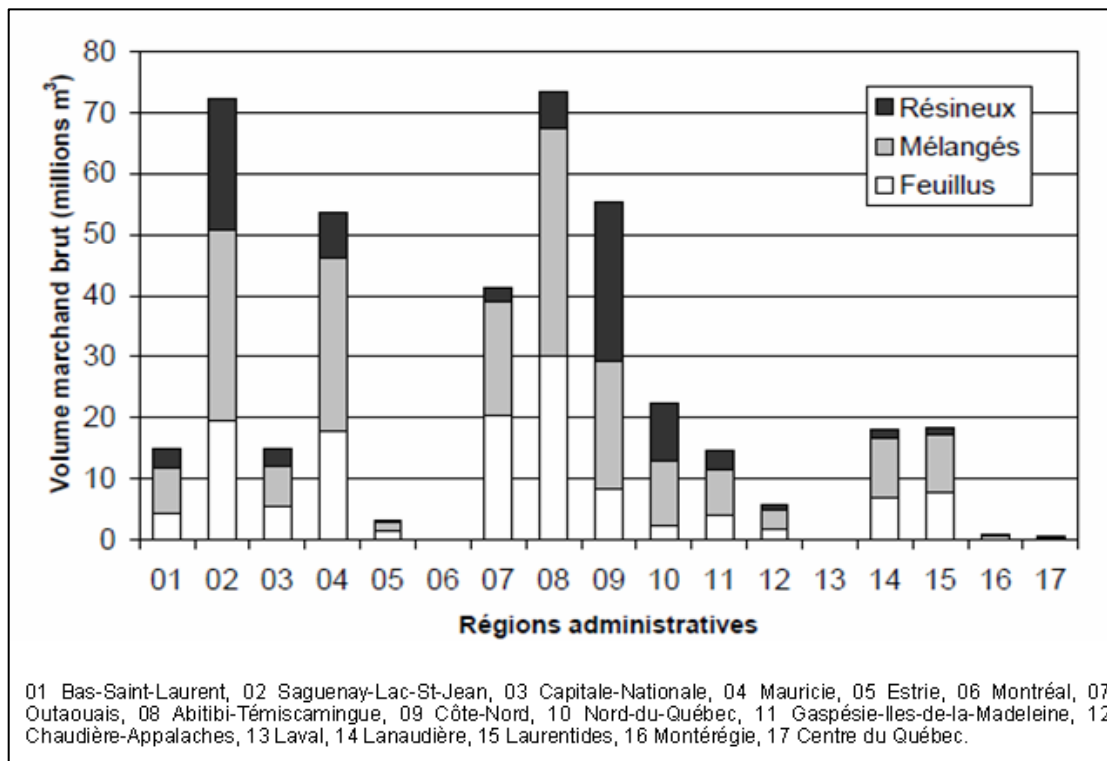


Figure 1.2 Volume marchand brut de bouleau à papier selon les régions administratives du Québec et selon les types de couvert forestiers (adapté de Godbout 2002)

1.2 L'aménagement du bouleau à papier

Historiquement, en forêt feuillue québécoise, les belles billes de bouleau à papier ont toujours trouvé preneurs, notamment pour le déroulage. Toutefois, de façon générale dans l'ensemble de la province cette espèce a longtemps été considérée comme étant de faible valeur par les industriels et a bien souvent été laissée sur pied sur les parterres de coupe (C. Godbout, communication personnelle, 10 mars 2009).

Le bouleau à papier, ainsi que le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) sont connus comme étant des espèces pionnières. Ces espèces de lumière sont les premières à coloniser suite à des perturbations du couvert forestier. On les retrouve en peuplements suite à des perturbations majeures telles les feux ou les coupes totales ou en tiges individuelles suite à de petites ouvertures du couvert dues à des perturbations plus mineures (Bédard et al. 2007).

En peuplement de structure équiennne le traitement sylvicole actuel le plus répandu pour récolter le bouleau à papier est la coupe de régénération au cours de laquelle l'ensemble des tiges marchandes sont récoltées (Godbout 2002). On la pratique dans les classes d'âge de 70 ans et plus (Godbout 2002). La nature pionnière du bouleau à papier et son abondante production de semences lui permettent de coloniser rapidement les sites suite à ce type de coupe (IQAFF, 1998). Lorsqu'au contraire la régénération du bouleau à papier n'est pas souhaitable la coupe avec protection de la régénération et des sols permet de réduire l'envahissement des parterres de coupe par les semis de bouleau à papier et par le fait même d'éviter la croissance de cette espèce, qui préfère s'établir dans les sites perturbés (IQAFF, 1998). La présence du bouleau à papier n'est effectivement pas toujours souhaitable en forêt boréale et surtout en peuplements mixtes, puisque les espèces qui l'accompagnent sont souvent de plus grande longévité ce qui rend difficile l'accessibilité de la ressource (Brière 1992). De plus, la sensibilité des tiges de bouleau à papier à la mort en cime (ou décadence du bouleau) et à la formation de bois coloré lorsque dégagées du peuplement environnant lors d'un traitement sylvicole intensifient la problématique de l'aménagement du bouleau en peuplements mixtes (Brière 1992) et rendent les coupes partielles plus risquées (Godbout 2002). La pratique de l'éclaircie commerciale du bouleau à papier au Québec n'est pas courante et les connaissances sur les impacts de ce traitement sur des peuplements de 60 ans et plus ne sont pas très développées (Godbout 2002). Toutefois, selon l'auteur ce traitement pourrait produire des résultats intéressants sur des stations dont le potentiel de croissance est élevé et selon des modalités adaptées; soit par exemple en limitant l'intensité de l'éclaircie ce qui aurait pour effet de réduire le passage de la machinerie.

En peuplements feuillus mixtes de structure inéquiennne, où le bouleau à papier est mélangé à d'autres espèces plus tolérantes à l'ombre, la coupe de jardinage est prescrite quand les caractéristiques du peuplement le permettent. Ce traitement sylvicole consiste en une récolte périodique d'arbres choisis individuellement ou par petits groupes dans un peuplement inéquiennne pour en récolter la production et l'amener à une structure inéquiennne régulière, tout en assurant les soins cultureux nécessaires aux arbres en croissance et l'installation de semis (Métro, 1975). Néanmoins, si l'on désire que le

bouleau à papier se régénère sous un système sylvicole de jardinage, des ouvertures suffisamment grandes doivent être faites pour permettre des apports de lumière au sol (IQAFF, 1998).

Le jardinage a vu le jour dans les années 1990 au Québec dans le but d'assainir les forêts feuillues qui avaient été écrémées au cours des années 60, 70 et 80 par les coupes à « diamètre limite » (Legault et al. 2004). Le jardinage, respectant les règles de l'art, est plus respectueux du capital forestier et permet de conserver la structure inéquienne du peuplement. La pratique du jardinage nécessite l'étape du martelage qui permet de sélectionner les arbres à récolter (ou à laisser sur pied) lors de chaque intervention. Concrètement, le martelage est la dernière étape du processus de planification d'une intervention forestière (Groupe Desfor, 2005). Dans les premières années du jardinage au Québec, le martelage était établi à partir du système de classification combinant la vigueur et la qualité des arbres; assignant les classes I, II, III et IV aux tiges (Bédard et Brassard 2002) (tableau 1.1).

Tableau 1.1 Classes de vigueur d'une tige de feuillu

Classe	définition
I	Feuillus vigoureux de qualité
II	Feuillus vigoureux défectueux
III	Feuillus faibles de qualité
IV	Feuillus faibles défectueux

Source : Bédard et Brassard 2002

Des travaux de recherche effectués par le MRNFQ ont toutefois révélé que les rendements obtenus suite aux coupes de jardinage effectuées en fonction de cette classification étaient plus bas que ce qui était attendu (Bédard et Brassard 2002). Cette diminution de l'accroissement annuel périodique des peuplements suite aux coupes de jardinage a été expliquée par des taux de mortalité élevés entre les traitements. Cette étude a donc fait ressortir l'importance du choix des tiges à marteler dans le but d'éviter cette mortalité. Afin d'obtenir les rendements prévus, il a paru souhaitable de prioriser à la récolte les tiges peu vigoureuses qui sont susceptibles de mourir avant la prochaine intervention.

Suite à ces résultats, le MRNFQ a mis sur pied un nouveau système de classification des tiges qui a été intégré au quatrième programme d'inventaire forestier décennal, le système MSCR. Cette nouvelle classification consiste à déterminer la vigueur des tiges sur pied en se basant sur l'identification des indices et défauts externes de l'arbre et à baser les priorités de récolte selon ce classement de la vigueur. Elle priorise la récolte des arbres les moins vigoureux afin de laisser sur pied un peuplement constitué de tiges plus saines, qui ont une plus grande espérance de vie (Boulet 2005). Le tableau 1.2 résume les caractéristiques des différentes classes du système MSCR. Les tiges classées M et S correspondent à un capital forestier en décroissance, alors que les tiges classées C et R correspondent à un capital forestier en croissance. Lors de leurs opérations de récolte, les industriels ont l'obligation de récolter en priorité les tiges en perdition (S) et improductives (M).

Tableau 1.2 Classification MSCR (adapté de Boulet, 2005 et de Duchesne 2006)

Capital forestier	Diagnostic	Priorité de récolte	Code de terrain
En perdition <i>Non growing stock</i>	Tige très défectueuse qui risque de se renverser, de se rompre ou mourir sur pied avant la prochaine récolte	1	M (mourir)
Improductif <i>Poor growing stock</i>	Tige défectueuse dont le volume marchand risque de diminuer (carie), mais dont la survie n'est pas compromise avant la prochaine récolte	2	S (survie)
En croissance <i>Acceptable growing stock</i>	Tige peu défectueuse (coloration de cœur ou carie latente), dont le volume marchand ne risque pas de se dégrader et qui peut être conservée jusqu'à la prochaine récolte	3	C (conserver)
En réserve <i>Premium growing stock</i>	Tige saine idéalement marquée pour rester, qui constitue le capital forestier de premier choix.	4	R (réserve)

L'impact du classement MSCR sur le rendement en volume et en valeur des produits a été évalué (Duchesne 2006). L'étude a démontré que les tiges les moins vigoureuses (M) ont produit un revenu total moyen par m³ de 99,09 \$/m³ comparativement à un revenu total de 163,08 \$/m³ pour les plus vigoureuses (R), et ce, lorsque les sciages n'étaient pas triés pour la couleur. Lorsque sélectionnés pour la couleur, les sciages provenant des tiges M et R ont

obtenus une valeur moyenne de 95,50 \$/m³ et 194,90 \$/m³ respectivement. Ces résultats démontrent que l'approvisionnement en bouleaux blancs en perdition (classés M) aura un impact direct et à la baisse sur les revenus des usines de sciage. En ce qui concerne les volumes, il a été trouvé qu'environ deux fois plus d'arbres en perdition (M) sont nécessaires pour produire 1000 pmp de sciage comparativement aux arbres productifs (R). L'instauration de ce système de classification, améliorera à long terme la qualité des peuplements feuillus mais a des impacts immédiats sur les profits des industries, en plus de générer beaucoup de matière première impropre au sciage.

Enfin, il a été suggéré que le système MSCR, bien que rigoureux pour prédire la mortalité et le potentiel de croissance des tiges individuelle, devrait intégrer d'autres critères, comme par exemple le potentiel du site, la valeur des billes et la position sociale des tiges afin de permettre aux ingénieurs forestiers de prendre des décisions sylvicoles plus éclairées (Nolet et al. 2007).

1.3 Les propriétés et principales utilisations du bouleau à papier

De taille intermédiaire, le bouleau à papier est un arbre qui atteint des diamètres moyens à hauteur de poitrine de 25 à 30 cm et une hauteur moyenne de 21 m (Hutnik et Cunningham 1965). Cette espèce de lumière a une croissance rapide et une durée de vie relativement courte; le bouleau à papier atteint sa maturité vers l'âge 60 - 75 ans et vit rarement au-delà de 140 -200 ans (Safford et al. 1990). Toutefois, plusieurs tiges de plus de 200 ans ont été recensées lors d'une étude dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest au Témiscamingue démontrant ainsi la potentialité de certaines tiges d'atteindre des âges élevés (Godbout 2008).

De façon générale, le faible diamètre des bouleaux à papier limite la valeur des tiges, le classement de qualité étant grandement basé sur le diamètre des billes (Petro et Calvert 1976, MRNF 2007b). De plus, les billes de bouleau à papier seraient moins rectilignes et contiendraient plus de nœuds que le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), ce qui contribueraient à réduire la qualité (Duchesne et Rancourt, 2005). Toutefois, selon Brière

(1992) les billes de bouleaux de petits diamètres présenteraient des qualités plus intéressantes (proportion moins élevée de pourriture de cœur et de vices de formes tels les coudes, courbures, etc), des défauts qui déclassent les billes de forts diamètres. Certains affirment également que comparativement à d'autres feuillus nord-américains, les tiges de bouleau à papier contiennent moins de pourriture et moins de roulures (Brière 1992).

Le bouleau à papier produit néanmoins un bois de très bonne qualité prisé pour de nombreux usages. Anatomiquement identique au bois de bouleau jaune mais de plus faible densité, avec une densité basale de $0,51 \text{ g/cm}^3$ (Jessome 1977), le bois de bouleau à papier est apprécié pour sa texture fine, son grain droit et uniforme, son bois d'aubier blanc-crème de couleur homogène, sa facilité d'usinage, sa bonne aptitude à la finition ainsi que pour son absence d'odeur (Brière 1992). Cette uniformité dans la texture est attribuable en partie au fait que le bouleau produit un bois à pores diffus dont les cellules tels les rayons et les pores sont difficilement perceptibles à l'œil nu. De plus, la faible différence d'apparence entre les zones de bois initial et final rend difficile le discernement des cernes annuels, ce qui contribue aussi à produire un bois au grain fin et uniforme.

Le bois de bouleau à papier est utilisé commercialement pour la production de sciages, le déroulage et pour les pâtes et papiers. Les caractéristiques propres au bois de bouleau à papier font de ses sciages un matériel de plus en plus prisé pour une deuxième transformation en produits d'apparence tels les meubles, armoires et lames de plancher. Sa couleur claire et son grain uniforme offrent un bon potentiel et procurent un avantage pour ces domaines de transformation. D'une part cette homogénéité du grain facilite l'agencement des composantes pour les produits d'apparence. De plus il offre des bonnes propriétés d'usinage et les vernis et teintures y adhèrent facilement (Brière 1992). Les manufacturiers l'utilisent amplement, mais en mélange avec le bouleau jaune, ce qui rend souvent difficile d'évaluer l'importance spécifique du bouleau à papier pour cette industrie. Enfin, la facilité de tournage de ce bois et son aspect inodore ont favorisé son utilisation depuis plusieurs années pour en faire des menus articles spécialisés (bobines, bâtonnets, ustensiles de cuisine, etc.).

Brière (1992) a souligné les trois principaux défauts d'apparence du bois de bouleau à papier; la présence d'un cœur rouge contrastant à l'aubier arrive en première position (Figure 1.3), suivie par la présence élevée de petits nœuds et les inclusions d'écorce. Un autre défaut du bois de bouleau à papier prend forme dans sa vulnérabilité à l'échauffement, un phénomène de détérioration du bois caractérisé par la formation de taches d'oxydation brunes et/ou décolorées au bout des billes (Shields et al. 1971). Cette réaction chimique avec l'oxygène et des champignons, provoquée lors de l'entreposage des billes, est maximale lorsque les billes sont récoltées en sève, soit entre les mois de mai et septembre. Les pertes importantes engendrées par l'échauffement du bois de bouleau à papier peuvent être réduites en transformant le bois dans des délais très courts suite à l'abattage des tiges ou en arrosant les billes afin de couper l'oxygène nécessaire à la formation de cette dégradation (Brière 1992).



Figure 1.3 Exemple de cœur rouge dans une tige de bouleau à papier (source I. Duchesne).

1.4 Évaluation de la qualité des bois feuillus

Dans un but de faciliter les transactions de bois, les gouvernements et industries ont mis sur pied des systèmes de classement de la qualité normalisés pour les billes et les planches. Tel

que discuté ci-dessus le système MSCR permet la vigueur des tiges feuillues au Québec. Toutefois, c'est la qualité des billes qui détermine les redevances que reçoit l'État pour tous les bois récoltés dans les forêts du domaine public par les titulaires de permis d'intervention. Le classement en qualité des billes feuillues est assuré par le système ABCDE qui fixe les caractéristiques minimales que doivent rencontrer les billes pour atteindre les différentes catégories (MRNF 2007b). Les dimensions, diamètre et longueur des billes, ainsi que leurs défauts (nœuds, courbures, trous, pourriture, fentes, etc.) sont les principaux critères utilisés pour déterminer les proportions de bois utilisables qui caractérisent chaque classe de qualité. La classe A est assignée aux billes de qualité supérieure et qui sont vouées au déroulage. Les classes B et C sont des classes intermédiaires et regroupent des billes vouées au sciage. Les billes qui ne rencontrent pas les caractéristiques minimales des classes A, B et C tombent dans la catégorie D et iront à la production de copeaux (pâtes et papiers). Enfin, la classe E correspond aux billes non-conventionnelles (billons) qui présentent des caractéristiques des classes supérieures mais qui sont trop courtes pour être classées B ou C.

Dans ce système le bois coloré a un impact sur la qualité des billes seulement s'il est à un stade où la pourriture est présente, à un stade intermédiaire (altération physique et chimique des fibres) ou avancé (ramollissement et effondrement des structures du bois). De plus, la pourriture diminue la qualité des sciages seulement si elle couvre une partie importante de la découpe des billes, c'est-à-dire qu'à la fois les zones internes et externes de qualité doivent être atteintes (Figure 1.4). La pourriture et/ou coloration qui affectent le centre ou seulement une des zones de qualité n'influencera pas le classement. Lorsque les deux faces aux extrémités des billes sont atteintes par une pourriture intermédiaire ou avancée, aucun débit utilisable ne peut être calculé et la bille est directement attribuée à la pâte (classe D). Si seulement une face est atteinte, le débit est mesuré en utilisant 1/6 de la longueur totale.

Ce système de classement provincial des billes (ABCDE) est basé sur un système de classement plus ancien développé par Petro et Calvert (1976). Ce dernier assigne une qualité aux billes destinées au sciage soit F1, F2 et F3 ; F1 étant la qualité supérieure. Une quatrième classe existe (F4) pour les billes non-conventionnelles (billons). Ce système est

également influencé par le diamètre et la longueur des billes, ainsi que le nombre de débits utilisables et leur longueur, mais également par la position de la bille dans l'arbre.

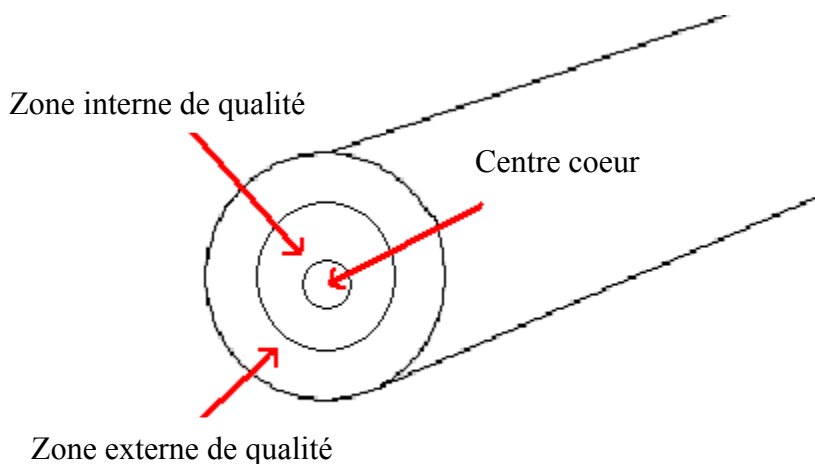


Figure 1.4. Identification des zones de qualité sur la découpe des billes (adapté de MRNF 2007b)

Concernant les sciages, le système de classement en qualité le plus commun pour évaluer le bouleau à papier et l'ensemble des sciages feuillus en Amérique du Nord est le système de la National Hardwood Lumber Association (NHLA) ; soit les Règles régissant le mesurage et l'inspection des bois durs (Rules for the Measurement and Inspection of Hardwood and Cypress (NHLA 2007)). Ce système propose une méthode standardisée pour les vendeurs et les acheteurs de sciages feuillus, pour spécifier la qualité des sciages et par la suite déterminer leur prix. Les bois feuillus étant souvent retransformés en produits d'apparence requérant des composantes de plus petites dimensions, les fondements de cette classification s'appuient sur la quantité de bois sans défauts compris dans les sciages, donc sur la proportion de matière utilisable pour un second débitage. Ces proportions sont appelées débits clairs ou débits sains et constituent l'unité de base de la classification NHLA. Le nombre de débit et leur dimension déterminent les différences entre chaque classe. Les classes les plus communes pour le bouleau sont FAS, FAS 1 face, Choix, No.1 Commun, No.2A Commun, No.3A Commun, No.2B Commun et No.3B Commun. Les dimensions minimales des débits pour chacune des classes de qualité déterminent les utilisations qui en seront faites. Les grades les plus élevés soit FAS, FAS 1 face, Choix, No.1 Commun, offrent des débits longs et clairs pour des usages tels les moulures et

grandes composantes de meubles alors que les grades inférieurs No.2A Commun, No.3A commun, No.2B Commun contiennent des débits de plus petites dimensions appropriés à des plus petites composantes de meubles, aux lames de plancher et aux armoires. Les planches classées No.3B Commun sont vouées aux usages industriels et les qualités inférieures à cette classe, à la construction de palettes.

Sous cette classification NHLA, le bouleau est normalement non sélectionné pour la couleur ce qui signifie que la couleur du bois n'influence pas l'évaluation de la qualité des sciages. Toutefois, deux classes supplémentaires peuvent être assignées aux sciages uniformes en couleur : les catégories rouge (red) et aubier (sap). Afin qu'une planche obtienne l'assignation rouge, chacun de ses débits clairs doivent avoir au moins une face incluse complètement dans le bois coloré alors que la désignation aubier est donnée aux planches dont au moins une face des débits clairs est incluse dans le bois d'aubier. Ces deux assignations viennent s'ajouter aux classes déjà établies ce qui signifie par exemple qu'une planche classée FAS, puisse prendre l'appellation FAS rouge ou FAS aubier si ses débits clairs sont homogènes en couleur. Ces deux catégories de couleur obtiennent des prix significativement plus élevés sur le marché que les planches régulières (tableau 1.3).

Tableau 1.3 Prix du marché pour les sciages de bouleau à papier

NHLA categories	REGULAR	RED	SAP
	US \$ / Mbf ^a		
FAS	1055	1360	1335
SEL	1035	1340	1315
#1C	650	955	930
#2A	415	720	695
#3A	285	590	565
pallet	225	–	–

Source : Hardwood Market Report, 2009

a : 4/4, Green, rough, random widths and lengths

1.5 La coloration du bois de bouleau à papier

Tel que mentionné ci-haut, un des principaux défis à l'utilisation du bois de bouleau à papier pour l'industrie des produits d'apparence est l'existence d'un bois coloré qui

engendre une variabilité de coloration dans les sciages et qui complique la fabrication de pièces homogènes (Figure 1.5). Cette coloration d'un brun foncé au brun rougeâtre contraste drastiquement avec l'aubier qui varie du blanc jaunâtre au brun léger et rougeâtre (Panshin et de Zeeuw 1980). Lapointe (2004) notait que « *l'observation d'une ligne de production de panneaux en bouleau blanc [à papier] sans finition permet de comprendre l'ampleur de la variabilité de la coloration naturelle et des contrastes de couleurs entre les baguettes débitées et collées sur chant* ».



Figure 1.5 Étape du sciage des billes de bouleau à papier révélant les variations de coloration de son bois (source : I. Duchesne).

La présence et l'importance de ce bois coloré chez le bouleau ont été rapportées plusieurs fois dans la littérature. On dénote toutefois une certaine incertitude quant à la nature et les causes de cette coloration. Cette ambiguïté se reflète dans les nombreuses appellations qui lui sont attribuées dans la littérature: bois de coeur traumatique, cœur rouge, bois coloré, *red heart*, *discoloured wood*, *affected wood*, *pathological heartwood*, *stained wood*, *wetwood* etc. (Shigo 1967, Shigo and Larson 1969, Shigo 1986, Shigo and Hillis 1973, Hallaksela and Niemisto 1998, Campbell and Davidson 1941, Allen 1996, Boulet 2005, Siegle 1967 and Basham 1991). La majorité de ces auteurs s'entendent toutefois sur le fait que le bois coloré du bouleau à papier n'est pas le résultat d'une duraminisation, ou formation de bois de cœur, normale mais serait plutôt de nature traumatique. Alors que pour plusieurs espèces forestières le duramen est le résultat d'un processus naturel et

interne déclenché à un certain âge cambial, le bois de cœur traumatique de certaines espèces feuillues nord-américaines telles le bouleau à papier, serait le résultat d'une série de processus provoqués suite à une blessure ou un stress de l'arbre.

Une association entre le cœur coloré du bois de bouleau à papier et un champignon ne causant pas la pourriture, *Torula ligniperda*, a été démontrée (Campbell and Davidson 1941), suggérant que ce champignon pourrait être une des causes de cette coloration foncée. Les auteurs ont noté que le cœur coloré était souvent présent dans les tiges présentant de la pourriture, ce qui leur a permis d'émettre l'hypothèse que la coloration foncée serait une étape dans le processus de dégradation. Sans confirmer l'association de *Torula ligniperda* avec le bois coloré du bouleau à papier, Siegle (1967) a néanmoins montré que le bois de cœur coloré est le résultat d'une oxydation enzymatique causée par l'entrée de champignons dans l'arbre après une blessure mécanique. L'auteur a également avancé l'hypothèse que le bois coloré serait une étape initiale à la pourriture.

Shigo, et ses collaborateurs, ont suggéré un patron décrivant la formation de bois coloré et de pourriture dans les espèces feuillues nord-américaines. Ce patron décrit dans une théorie assez complète la présence de bois coloré dans les tiges de bouleau à papier et des autres espèces feuillues (Shigo 1967, Shigo and Larson 1969, Shigo 1986, Shigo and Hillis 1973). L'idée que les branches cassées et les blessures aux tiges seraient des éléments déclencheurs de cette coloration est supportée par ces auteurs. Le bois coloré et la pourriture apparaîtraient en trois étapes suivant la blessure à l'arbre. La première étape correspond à la réponse de l'arbre à la blessure. À cette étape, une première coloration peut apparaître due à la production de composés phénoliques et à de l'oxydation causée par l'entrée d'air dans l'arbre. Aucun micro-organisme n'est impliqué à ce stade, seulement des processus chimiques. La deuxième étape correspond à l'invasion et au développement de bactéries et de champignons ne causant pas la pourriture dans le secteur blessé, ce qui engendre encore plus de coloration. Selon les auteurs, le secteur atteint présenterait des cellules plus humides, au pH plus élevé et un contenu minéral plus grand. Enfin, la formation de bois coloré peut inclure une troisième étape à laquelle des champignons causant la pourriture envahissent le secteur coloré et dégradent les structures du bois. À ce

dernier stade, les propriétés mécaniques du bois peuvent être affectées. Différents stades de coloration peuvent être présents dans une tige de bouleau à papier à un temps donné et à différentes localisations dans la tige. Cette transformation continue au sein de l'arbre rend difficile la séparation du bois coloré de la pourriture et complique l'analyse de la présence de bois coloré dans le bois de bouleau à papier.

Plusieurs auteurs ont mentionné le bois coloré (cœur rouge) comme étant un facteur important affectant le bois du bouleau à papier pour de nombreux usages. Selon Basham (1991), le bois coloré représenterait 70% du volume des défauts de cette espèce. Ce résultat a été obtenu en échantillonnant 936 tiges lors d'un sondage à l'échelle provinciale de l'Ontario. Dans cette étude, l'âge des arbres est apparu comme influençant de façon importante la présence du bois coloré, les tiges plus vieilles présentant un plus grand pourcentage de coloration et de pourriture. Campbell et Davidson (1941) ont rapporté un pourcentage considérable de coloration dans les tiges de bouleau à papier âgées de plus de 70 ans, tandis que les tiges plus vieilles que 50 ans avaient presque toute une présence de bois coloré, peu importe les conditions.

La proportion de bois coloré et de bois d'aubier chez le bouleau à papier a été caractérisée et mise en relation avec les caractéristiques du feuillage et de la cime des tiges (Giroud 2005, Giroud et al. 2008). Les résultats ont montré que la majorité du bois coloré chez cette espèce est située sous la base de la cime vivante. Vingt-sept pourcent des 150 tiges utilisées pour l'étude avaient une présence de bois coloré à hauteur de poitrine (130 cm). Giroud et al. 2008 ont observé que 78 % du volume des 18 tiges disséquées en disques correspondaient au bois d'aubier, 12% au bois coloré et enfin le dernier 10% était constitué d'écorce. De ces mêmes 18 tiges, toutes ont montré une présence de bois coloré. Le volume de bois coloré était être fortement corrélé à l'âge des arbres à hauteur de souche et aussi aux dimensions des tiges. La colonne de bois coloré a présenté un diamètre maximal à 9% de la hauteur totale de l'arbre pour ensuite diminuer en diamètre en montant dans l'arbre. Belleville et al. (2008) ont également étudié la dispersion et les sources d'initiation du cœur rouge chez le bouleau à papier et ont établi que la colonne de bois coloré augmentait en diamètre à partir de la hauteur de poitrine (1,3m) jusqu'à une hauteur de 3 à 4 mètres. Dans

plus de 77 % des portions de tiges analysées le bois coloré était relié à un défaut externe ; un résultat qui appuie la théorie de la nature traumatique du bois coloré.

Une étude similaire à ces dernières études a été réalisée en Finlande pour des bouleaux argentés (*Betula pendula* Roth) issus de plantations (Hallaksela and Niemisto 1998). Cette étude a démontré que le bois coloré était présent dans la quasi-totalité des bouleaux étudiés, soit sous la forme d'une colonne centrale ou en sections indépendantes périphériques au cœur de l'arbre. Ces colorations étaient toutefois limitées, la coloration centrale formait des zones de moins de 4 cm de diamètre alors que les zones de coloration plus périphériques avaient des diamètres de 9 à 11 mm. À l'instar des travaux de Giroud et al. (2008), la colonne de bois colorée la plus typique avait une forme fuselée, avec ou sans ramification. L'âge des tiges a semblé avoir un impact sur les proportions de bois coloré. Lorsque toutes les tiges étaient considérées (18-65 ans) le volume moyen de coloration par tige était de 1,6 dm³ alors que lorsque seulement les plus vieilles tiges étaient considérées (42-65 ans) cette moyenne montait à 3,2 dm³. Lorsque la fréquence des zones colorées périphériques a été répartie selon l'âge des tiges, il a été trouvé que ces zones étaient plus fréquentes dans la bille de pied pour les tiges du groupe 18-29 ans, dans la deuxième bille pour les tiges du groupe de 30 ans et dans les billes supérieures pour les tiges matures. Enfin, plus de la moitié de ces zones périphériques de coloration étaient situées dans les branches. Les auteurs ont mentionné les branches brisées et les microorganismes comme étant les raisons les plus communes expliquant la présence de bois coloré. Dans 83% des bouleaux échantillonnés, les zones de bois coloré étaient associées à des colonies de microbes.

Vu le lien direct des branches dans le processus de formation de la coloration traumatique, des études se sont penchées sur l'effet de l'élagage sur cette coloration. Schatz et al. (2008) ont comparé l'impact d'un sécateur versus l'impact d'une scie lors de l'élagage et ont trouvé que le sécateur introduisait moins de coloration. La scie en produisant une surface de coupe plus rugueuse offre une porte d'entrée plus facile aux microbes et bactéries. Ils ont également trouvé que, toute technique de coupe confondue, plus de coloration était induite lorsque le renflement de la branche et l'écorce de la tige étaient endommagés. Dans ces cas, la coloration semblait toujours se diriger vers la moelle. Dans le cas de branches

vivantes, il semble important d'élaguer seulement les branches plus petites de 20 cm afin de limiter la coloration. Rintala (1995) a également dressé la même conclusion mais en limitant l'élagage cette fois aux branches de 15 cm. L'influence de la grosseur des branches sur la production de bois coloré a également été discutée par Toole (1961) qui a aussi noté que la coloration et la pourriture étaient souvent associées aux larges branches dominantes pour la majorité des espèces feuillues du sud des États-Unis. Eisner et al. (2002) en sont venus à la même conclusion.

En Europe, la problématique du cœur coloré est présente chez plusieurs espèces feuillues dont notamment le hêtre (*Fagus sylvatica* L). Plusieurs recherches ont tenté d'expliquer sa présence et de décrire sa distribution (Sachsse 1991, Seeling 1998, Knoke 2002, Shengquan et al. 2005, Sorz et Hietz 2008, Wernsdörfer et al. 2005a, 2005b, 2006), et des résultats semblables à ceux obtenus pour le bouleau à papier et le bouleau argenté ont été trouvés.

La couleur et la variation de l'uniformité de couleur du bois de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) ont été analysés par Grekin (2007) en Finlande. Bien que non traumatique, le bois coloré du pin sylvestre, tout comme celui du bouleau, engendre une variabilité de coloration dans les planches qui constitue l'un des principaux défauts d'apparence de ce bois. Grekin a trouvé que la hauteur du bois dans l'arbre et la provenance géographique ont eu un effet significatif sur la couleur de l'aubier et du duramen chez le pin. Les variabilités inter-peuplements, inter-tiges et inter-planches ont été analysées comme sources de variation aléatoires et dans le cas de toutes les variables à l'étude la variabilité inter-planche (résiduelle) a été la source la plus importante de variation, suivie généralement par l'effet arbre et l'effet peuplement. Les paramètres colorimétriques CIE L*a*b* ont été déterminés pour les zones d'aubier et de bois coloré et, dans les trois cas, les moyennes étaient significativement différentes.

Bien que le bois coloré soit un défaut majeur du bouleau à papier et qu'il puisse engendrer une diminution de la valeur des sciages produits, il n'a pas nécessairement toujours une connotation négative pour les utilisateurs finaux. L'influence des marques de caractère du

bouleau, tel le bois coloré, sur les préférences des consommateurs a été évaluée (Donovan and Nicholls 2003, Lapointe 2004). Lapointe (2004) a montré que différents niveaux de marques de caractère sur des panneaux d'armoire de bouleau à papier ont engendré des différences dans la perception des consommateurs vis-à-vis ces produits d'apparence en bois. Les panneaux possédant le plus bas niveau de marque de caractère et peu de bois coloré ont été considérés comme les plus modernes et les plus attirants pour les répondants. D'un autre côté, Donovan et Nicholls (2003) ont montré au contraire que, pour des panneaux en bois de bouleau blanc d'Alaska, (*Betula papyrifera* var. *neoalaskana*), les consommateurs étaient prêts à payer un supplément pour des panneaux contenant des davantage de marques de caractère. Les marques de caractère telles les colorations foncées et les nœuds confèrent donc une certaine rusticité aux produits finaux et sont appréciées par une certaine gamme de consommateurs.

Enfin, un autre défi à l'utilisation du bois de bouleau à papier pour les fabricants de produits d'apparence se retrouve dans la variation de la coloration du bois d'aubier (A. Thibault, communication personnelle, 9 août 2006). Pâle et plus homogène en couleur que le bois coloré, le bois d'aubier peut toutefois prendre plusieurs teintes. Bien que faibles, ces légères différences de couleur sont notables lorsque des composantes provenant de pièces de bois différentes sont mises côte-à-côte. L'appariement des pièces devient donc problématique lorsque les produits sont vendus en fini clair.

En plus de ces variations naturelles de teintes du bois d'aubier, certaines étapes de la transformation du bois engendrent d'autres changements de couleur non désirables pour l'industrie. C'est le cas particulièrement pour l'étape du séchage et son impact sur la couleur du bois a été largement étudié. Dans le cas du bouleau à papier, les travaux de Fuentealba et al. (2007) et de Quaquarelli et al. (2008) visent à mieux comprendre les aspects chimiques du changement de couleur lors du séchage. En Europe, les effets du séchage sur la couleur du bouleau argenté (*Betula pendula* Roth) et du bouleau pubescent (*Betula pubescens* Ehrh.) ont été considérablement étudiés (Möttönen 2005, Möttönen et Luostarinen 2005, Mononen et al. 2002, Sundqvist 2002 and Luostarinen 2006a, b), cette étape de la transformation étant une des plus problématique pour l'industrie. Ces études ont

évalué l'effet de plusieurs paramètres (saison de récolte, temps d'entreposage, présence de phénols, région géographique, programme de séchage, type de séchage, etc.) afin de trouver la recette optimale pour minimiser ces changements de couleur. Pour le bouleau, le changement de coloration lors du séchage semble se présenter surtout au centre de la planche alors que la surface demeure claire et il met en cause notamment une transformation chimique des composés phénoliques présents dans le bois (Möttönen and Luostarinen 2005, Mononen et al. 2002).

1.6 La mesure de la couleur du bois

La couleur étant un attribut important pour plusieurs produits en bois (Fell 2004, Rancourt 2006, Jung and Kozak, 2008, Masuda 1992), la littérature scientifique présente un large éventail de travaux portant sur différents aspects de la couleur du bois pour de multiples espèces forestières autres que le bouleau à papier.

Certains de ces travaux étudient la couleur intrinsèque du bois et les différents facteurs qui l'influencent. L'effet de l'âge des tiges, du contenu en extractibles, des conditions du sol, du bagage génétique, de la provenance géographique, des modalités de récolte, des conditions et du taux de croissance sur la couleur du bois, ainsi que le lien entre cette couleur et la résistance à la pourriture ont été étudiés (Grekin 2007, Hiller et al. 1972, Klumpers et al. 1993, Rink 1987, Mosedale et al. 1996, Moslemi 1967, Wilcox et Piirto 1976, Gierlinger et al. 2004, Wilkins et Stamp 1990, Rappold et Smith 2004, Sotelo Montes et al. 2008, Maeglin et Nelson 1970). D'autres travaux ont porté plus précisément sur la couleur du duramen et sur les facteurs influençant sa formation et sa distribution dans les tiges (Albert et al. 1999, 2003, Bosshard 1968, Climent et al. 2002, 2003, Cordero et Kanninen 2003, Hazenberg et Yang 1991, Kärenlampi et Riekkinen 2003, Knoke 2002, Mörling et Valinger 1999, Seeling 1998, Wilkins 1991, Woeste 2002, Yanai et al. 2009, Yang et al. 1994, Yang et Hazenberg 1991a, 1991b). Ces travaux ont étudié entre autres l'impact de la sylviculture et des caractéristiques des tiges sur la proportion de duramen chez différentes espèces, feuillues et résineuses. Le développement de différents types de colorations autres que le duramen dans les tiges vivantes et l'implication des

microorganismes à l'origine de ces colorations ont été étudié à quelques reprises. Notons à titre d'exemple les travaux Blanchette (1979), Starck et al. (1984), Tattar (1971), Shields et al. (1971) Kreber et Byrne (1994, 1996) ainsi que Kreber (1994). Quelques recherches ont analysé l'effet de la dégradation climatique, de la photodégradation et du vieillissement sur la couleur du bois (Ayadi et al. 2003, Kishino et Nakano 2004, Mitsui et al. 2001, Mitsui 2004, 2006, Nzokou et Kamdem 2006, Pandey 2005, Tolvaj et Faix 1995).

À l'étape du séchage, l'humidité et la chaleur présentes dans les séchoirs, provoquent couramment des changements de couleur dans les sciages. Ces colorations, d'intensités variables selon l'espèce et selon le procédé utilisé, engendrent des baisses importantes de qualité. En conséquence l'impact de différentes méthodes de séchage sur la couleur du bois a été le sujet d'un grand nombre de publications scientifiques (Ananias et al. 2001, 2004, Bekhta et Niemz 2003, Burtin et al. 2000, Charrier et al. 1992, 2002, Dawson-Andoh et al. 2004, Dieste et Williamson 2002, Kärki et Möttönen 2004, Koch et Bauch 2000, Luostarinen 2006a, 2006b, Luostarinen et Luostarinen 2001, Luostarinen et Möttönen 2004, Luostarinen et al. 2000, 2002, McCurdy et al. 2003, 2005a, 2005b, McDonald et al. 2000, McMillen 1975, Mononen et al. 2002, Möttönen 2005, Negri et al. 2004, Pang et Li 2005, 2006, Riley et Sargent 2005, Sehlstedt-Persson 2003, Smith et Montoney 1999, Smith et Herdman 1996,1998, Stenudd 2001, 2002, 2004, 2006, Straze et al. 2003, Sundqvist 2002, Terziev et Boutelje 1998, Theander et al. 1993, Wiberg 1996, Yeo et Smith 2003, 2004).

Enfin, plusieurs études se sont penchées davantage sur l'aspect chimique de la couleur du bois ainsi que sur les composés et processus à l'origine des différents changements de couleur. L'importance des extractibles, surtout des composés phénoliques et des autres composés du bois tels la lignine sur la couleur du bois ont été étudiés par Burtin et al. 1998, Csonka et Németh 1998, Dehon et al. 2002, Dellus et al. 1997, Diouf et al. 2006, Fuentealba et al. 2007, Haluk et al. 1991, Hiltunen et al. 2004, Hrutfiord et al. 1985, Johansson et al. 2000, Kondo et Imamura 1985, Kondo et al. 1986, Mayer et al. 2006, Mitsunaga et al. 1987a, 1987b, Mononen et al. 2005, Pandey et Pitman. 2003, Pandey

2005, Quaquarelli et al. 2008, Sundqvist et Morén 2002, Sundqvist et al. 2006, Vanó et Németh1996.

Ces travaux mettent en évidence diverses applications de la mesure de la couleur du bois et surtout permettent de constater les multiples méthodes utilisées pour évaluer la couleur. Dans plusieurs de ces études, un appareil de mesure portatif tel le colorimètre était l'instrument de mesure de base et le système de représentation de la couleur CIELab était le plus utilisé (HunterLab 2008b). Les mesures au colorimètre étaient pour la plupart prises systématiquement sur les échantillons et des moyennes étaient calculées. Toutefois, les techniques instrumentales présentées dans ces travaux, en effectuant des mesures ponctuelles et aléatoires, permettent la quantification de la couleur de petites pièces de bois homogènes, mais ne conviennent pas nécessairement pour décrire la coloration des échantillons de plus grandes dimensions et plus hétérogènes. Ce matériel étant d'origine biologique, hétérogène et variable, il s'avère effectivement ardu de bien capturer la couleur globale du bois, cette dernière étant distribuée selon des patrons variables et ce à différentes échelles. De plus, l'apparence du bois est influencée, non pas seulement par la couleur mais aussi par le grain et par les autres marques de caractère qui sont également distribuées de façon plus ou moins aléatoire dans le bois.

Certains auteurs ont mentionné la nécessité de trouver une méthode objective pour quantifier la couleur du bois (Vienonen et al. 2002, Pugel et al. 1995, Beckwith 1979). Le niveau de technologie impliqué dans les activités de mesure de la couleur dans l'industrie de la deuxième transformation des bois feuillus dépend de la taille et du niveau de modernisation des entreprises. Alors que plusieurs des manufacturiers qui gèrent l'appariement des composantes régissent encore le classement des couleurs de façon manuelle et subjective (Rancourt 2006), c'est à-dire à l'œil humain, les systèmes de vision artificielle automatisés qui permettent l'automatisation du classement et du débitage des bois deviennent des pratiques de plus en plus courantes. Ces systèmes automatisés sont intéressants puisqu'ils permettent de mesurer la couleur de façon plus objective que le classement visuel. Ils tiennent compte de la distribution spatiale de la couleur et ils permettent un traitement des données et une prise de décision rapides.

Des travaux sur le potentiel de la colorimétrie (Nishino et al. 1998) et de l'utilisation du colorimètre comme technique d'amélioration de l'appariement des couleurs en usine ont été réalisés (Pugel et al. 1995, Phelps et al. 1994, Stokke et al. 1995). D'autres études ont porté sur le développement de systèmes de vision artificielle automatisés (Luzuriaga et Balaban 2002, Lu et al. 1997, Kline et al. 2000, 2003, Araman et al. 1992, Cumbo et al. 2001). Au Québec, le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) travaille également sur le développement de systèmes de vision automatisée pour l'industrie. Le système BoréalScan (Caron 2005), utilisé dans la présente étude, a été développé par les chercheurs du CRIQ pour les besoins d'une usine de fabrication de meubles. D'autres études ont porté sur l'amélioration de la détection et de la classification des attributs du bois pour ces systèmes de vision artificielle par différentes techniques d'analyse d'image et par le développement d'algorithmes (Liu et Furuno 2002, Niskanen et al. 2001, Lopez et al. 2005, Kauppinen et Silven 1996, Bond et al. 1998).

De plus en plus, les systèmes automatisés de traitement des images sont combinés à des logiciels d'optimisation qui permettent soit d'optimiser les opérations de débitage des usines ou simplement de faire des simulations pour évaluer l'impact de différents scénarios sur le rendement en matière et le rendement en valeur. Ils utilisent les images des planches numérisées par le scanner et génèrent une solution optimale de débitage en tenant compte des paramètres de production de l'usine et de l'ensemble du carnet de commande. Aux États-Unis, les chercheurs du USDA Forest Service ont développé les logiciels ROMI-RIP et ROMI-CROSS (Thomas 1996, 1998). Ces logiciels ont été conçus pour des procédés de délimitation et de tronçonnage en tête respectivement. Au Québec, le CRIQ a également développé un tel type de logiciel au sein du système BoréalScan : Opti2axes. Ce logiciel a été utilisé dans une étude visant à comparer l'optimisation selon le prix et selon le rendement matière dans les usines de débitage de composants de bois franc (Caron, 2003) et dans une étude qui avait pour but de le comparer aux systèmes de simulation ROMI-RIP et ROMI-CROSS (Bouffard, 2005). Clément et al. (2005, 2006) ont utilisé les deux logiciels américains (ROMI-RIP et ROMI-CROSS) pour étudier l'effet sur le rendement d'un sciage non-conventionnel de bouleau à papier et pour étudier l'impact d'accepter des

défauts de surface sur le rendement au débitage, pour différentes qualités de planches (reformuler). L'effet de l'acceptation de différentes catégories de défauts sur le rendement au débitage secondaire a été étudié par Buehlmann et al. (1998, 1999) par l'utilisation des logiciels ROMI-RIP et ROMI-CROSS. Ces études ont comparé les rendements obtenus pour différents niveaux d'acceptation de marques de caractères, pour des procédés de délignage en tête (Buehlmann et al. 1998) et de tronçonnage en tête (Buehlmann et al. 1999). Ils ont trouvé que l'acceptation des marques de caractères permettait une augmentation du rendement et que cette augmentation était dépendante de la dimension des marques acceptées, du type de marques, du carnet de commande, du mélange de grades et du fait qu'on les accepte sur une ou deux faces.

1.7 La colorimétrie

Outre les difficultés de mesure de la couleur du bois liées au caractère hétérogène de cette matière première, la nature même du concept de la couleur ajoute de la difficulté à l'évaluation de la coloration du bois. La couleur est effectivement une réalité difficilement mesurable puisqu'elle découle d'une réaction physico-chimique entre la lumière, la matière et l'œil humain. En d'autres mots, elle est le résultat de la perception par l'œil des différentes longueurs d'onde présentes dans la lumière reçue par la rétine. La couleur est donc une interprétation du cerveau, une réalité propre à chaque observateur; elle varie en fonction de la nature de la matière observée, de l'observateur et du type de lumière qui frappe cette matière (Opus 2009, La couleur : Wikipédia, 2009).

Afin de pouvoir interpréter rigoureusement la couleur, la colorimétrie est un outil essentiel. La science de la mesure de la couleur permet d'objectiver notre relation à la couleur; elle transforme les perceptions de l'œil en valeurs numériques, soit des coordonnées chromatiques associées à un système de couleur. Il existe, à l'échelle mondiale, une organisation d'autorité dans le domaine de l'éclairage et de la colorimétrie; la Commission internationale de l'éclairage (CIE). Cette organisation a établi les principaux standards de la colorimétrie moderne. Les premiers standards ont été établis en 1931, mais au fil des

années et des recherches, ils ont évolués et ont été adaptés aux technologies modernes (CIE 2009).

Ces fondements sont basés sur les principes de la vision humaine. L'œil humain n'est stimulé que par une toute petite portion du spectre électromagnétique comprise entre 400 et 700 nanomètres, qu'on appelle la lumière visible. La perception de la couleur par l'œil est rendue possible par la présence de deux types de photorécepteurs sur la rétine; les bâtonnets et les cônes (Figure 1.6). Les bâtonnets, sont sensibles à l'intensité lumineuse et sont responsables de la vision nocturne. Bien que les cônes soient également sensibles à l'intensité lumineuse, ils sont les grands responsables de la vision des couleurs. On retrouve trois types de cônes; les cônes L qui sont sensibles aux grandes longueurs d'ondes soit les couleurs rouges, les cônes M sensibles aux moyennes longueurs d'ondes soit les verts et les cônes S qui sont sensibles aux courtes longueurs d'ondes; soit les bleus (Figure 1.7) (Opus, 2009). Chacun des trois types de cônes ayant un spectre d'absorption spécifique, un rayonnement capté par l'œil sera à l'origine de trois réponses physiologiques différentes mais simultanées. C'est ce qu'on appelle le codage trivariant (ou trichromatisme) de la vision des couleurs qui est à la base de la colorimétrie. Les différents modèles de représentation des couleurs sont basés sur ces composantes trichromatiques ou sur des dérivés de ces composantes (Breteau 2009).

Afin de mesurer objectivement les couleurs et de comparer des couleurs observées sous différentes conditions, la CIE a établi des standards permettant la normalisation de l'observateur et de la lumière; l'observateur standard et les illuminants standards.

Les illuminants standards correspondent à des spectres électromagnétiques déterminés. La lumière et la couleur étant des concepts très étroitement liés, le même objet revêt des allures différentes lorsqu'éclairé par une lumière différente, puisque chaque lumière a un spectre d'émission qui lui est propre. Ce spectre est la proportion de chacune des longueurs d'onde de la couleur présentes dans cette lumière. Les premiers illuminants standards ont été établis par la CIE en 1931 : les illuminants A, B et C. Ils correspondent respectivement à une lumière incandescente moyenne, la lumière du soleil directe et la lumière moyenne du

jour. Aujourd'hui on utilise plutôt, le D50 (pour Daylight 50) qui vise à reproduire les caractéristiques d'une lumière du jour d'une température proche de 5 000 K, le D65 (6 500 K) ainsi que le D75 (7 500 K); le D65 étant l'illuminant le plus commun (HunterLab, 2008a).

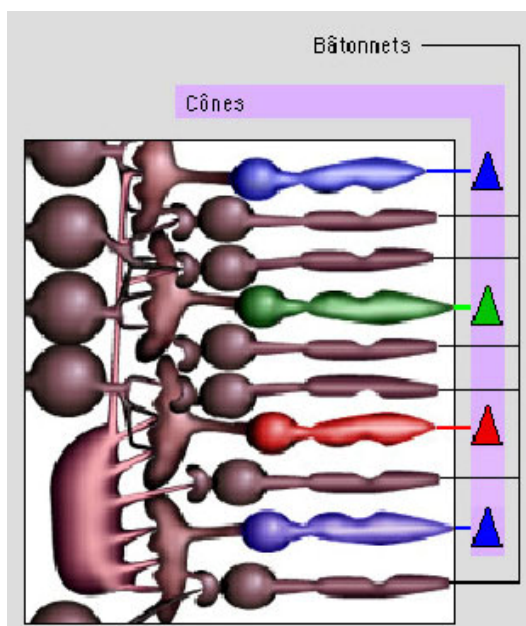


Figure 1.6 Les cellules nerveuses de la rétine: les cônes et les bâtonnets. Source : Breteau 2009.

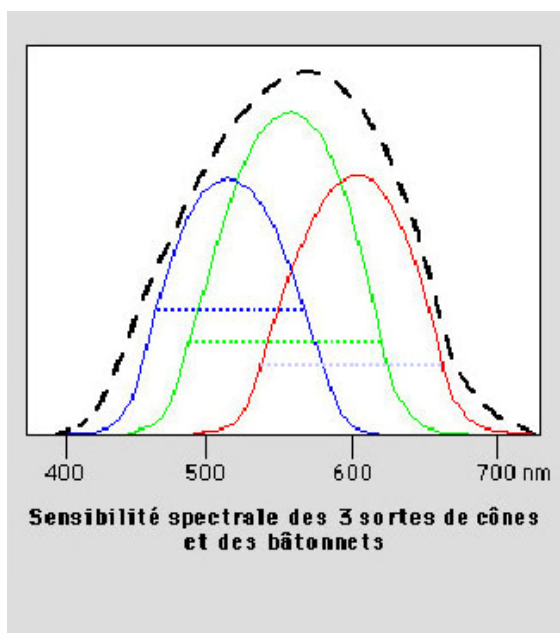


Figure 1.7 Zones de sensibilité spectrale des trois types de cônes de la rétine. Source : Breteau 2009

L'observateur standard quant à lui correspond aux fonctions colorimétriques d'un observateur moyen. Il a été établi en modélisant les résultats de plusieurs expériences réalisées avec des observateurs volontaires. La notion de l'observateur standard, a été représentée en 1931 sur un graphique déterminant la sensibilité spectrale de l'œil humain moyen (Figure 1.8). Cette fonction permet d'évaluer les composantes trichromatiques primaires telles qu'elles seraient perçues par cet observateur moyen (La vision des couleurs, Kléocolor, 2009).

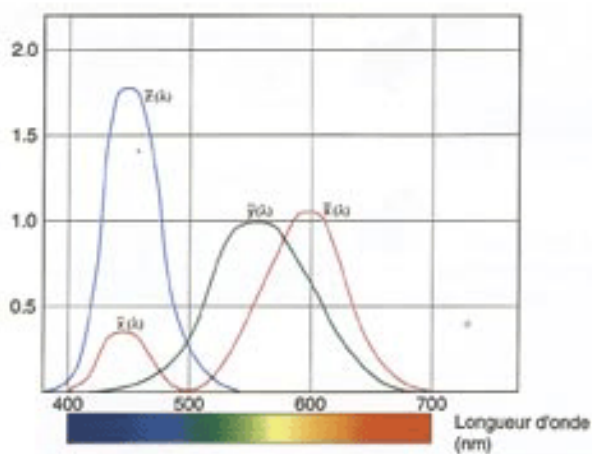


Figure 1.8 Sensibilité spectrale de l'œil humain moyen source: La vision des couleurs, Kléocolor 2009

Le système de représentation de la couleur le plus utilisé pour caractériser la surface des objets est le CIELab établi la Commission internationale de l'éclairage (HunterLab 2008b) (Figure 1.9). Ce système définit la couleur selon trois paramètres; la luminosité (L^*) qui varie de 0 à 100 unités, la position sur l'axe rouge-vert (a^*) et la position sur l'axe jaune-bleu (b^*). Ces axes a^* et b^* , à l'opposé de l'axe de la luminosité, n'ont pas de limites numériques spécifiques. Ces trois paramètres peuvent être intégrés dans une même mesure ΔE^* qui permet de quantifier des changements de couleurs ($\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$). Le ΔE^* minimal pouvant être perçu par l'œil humain varie selon la littérature consultée, il prend des valeurs telles 0,5 (Hiltunen 2002), 2 (Rancourt 2006) et 3 unités (Pugel et al. 1995).

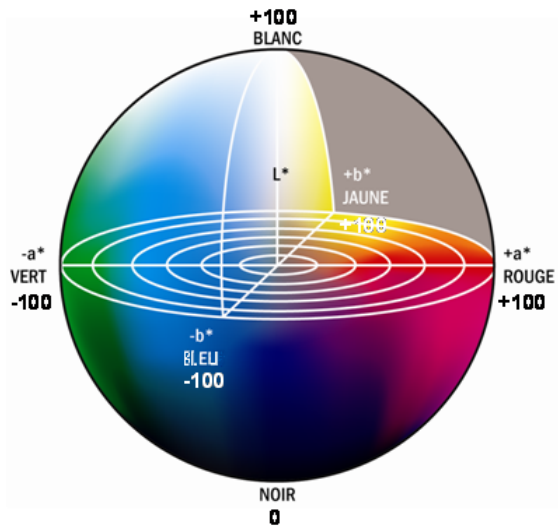


Figure 1.9 Système de représentation de la couleur CIELab

Chapitre 2. Matériel et méthodes

Considérant les différentes problématiques engendrées par les variations de coloration du bois de bouleau à papier pour l'industrie des produits d'apparence en bois, une tangente industrielle a été donnée à la méthodologie employée pour répondre aux objectifs de ce projet de recherche. D'une part, le matériel utilisé dans l'étude se voulait refléter le mieux possible la matière première utilisée par les fabricants de produits d'apparence en bois tels les fabricants de meuble. Les mesures colorimétriques ont donc été réalisées sur des sciages de bouleau à papier; les bois de qualité pâte n'ont pas été analysés. D'autre part, la méthodologie utilisée pour mesurer la couleur a favorisé l'emploi d'une technologie de plus en plus présente dans l'industrie, soit un scanner industriel automatisé. Enfin, la qualité des bois (tiges, billes et planches) a été analysée tout au long de l'étude par des systèmes de classification utilisés actuellement par l'industrie québécoise de transformation des bois feuillus.

2.1 Récolte et préparation du matériel

Le matériel de ce projet de recherche était composé de sciages de bouleau à papier provenant de tiges récoltées dans deux peuplements de la région des Hautes-Laurentides (N47°, W74°).

Un premier peuplement a été choisi à l'hiver 2005, dans lequel 100 tiges ont été sélectionnées en fonction du classement de la vigueur MSCR (Boulet 2005). L'abattage des tiges a eu lieu au mois de mars de la même année. Les tiges ont été laissées sur le site intactes, jusqu'au début de juin 2005, où elles ont été ébranchées, étêtées et transportées en longueur à la cour de l'usine de sciage. Un tronçonnage optimisé a été fait dans la cour par un spécialiste du MRNFQ selon les règles de classement Petro et Calvert (1976).

Suite tronçonnage, seules les billes de sciage ont été retenues pour l'étude. Ces billes ont été sciées en planches à la scierie Bois Feuillus de la Lièvre, à Sainte-Anne-du-Lac, au nord de Mont-Laurier en juin 2005. Les blocs de centre ont été refendus manuellement dans la cour de FPInnovations division Forintek avec une scierie mobile WoodMizer peu après.

Les planches produites ont été séchées en juillet 2005 similairement à ce qui est fait en industrie. Les séchoirs conventionnels de FPInnovations ont été utilisés pour sécher selon une formule douce (température sèche maximale de 60°C) qui visait à réduire les changements de couleurs du bois et les gerces (Normand 2004, Annexe 1). Les planches ont été séparées en paquets de 2,44 m (8 pieds) et moins et de plus de 2,44 m (8 pieds). Elles ont été séchées à une teneur en humidité finale d'environ 7,3%. Enfin, les planches ont été rabotées à la moulurière (Weining Unimat 23 EL) afin d'offrir une surface propre et fraîche pour la numérisation de la surface des planches et l'analyse de la couleur. Les planches ont été classées par un mesureur formé par la NHLA suite à leur arrivée chez FPInnovations à Québec selon les règles de classement de la NHLA (NHLA 2007, Annexe 2).

Le premier peuplement à l'étude étant constitué de tiges d'âge et de dimensions en moyenne élevés, il a paru souhaitable d'analyser un second peuplement afin de sonder la coloration du bois de bouleaux à papier plus jeunes, donc de plus petites dimensions, pour que l'étude couvre une plus grande étendue de données. Un autre peuplement a donc été sélectionné deux années plus tard soit en mai 2007. Afin de fixer le maximum de sources de variation possible, nous avons choisi de prendre un peuplement situé dans la même région géographique (à moins de 1 kilomètre du premier) et sur le même type écologique (MJ22 : Bétulaie jaune à sapin sur dépôt de texture moyenne mésique) (Gosselin 2002).

La sélection des arbres à l'étude et la prise des mesures sur les tiges ont été faites à la fin août 2007. Le classement MSCR des tiges sélectionnées a été réalisé à ce moment par le même spécialiste du MRNF qui avait classé les tiges du premier peuplement. La récolte des tiges a été réalisée au mois d'octobre suivant. Les 68 tiges récoltées ont été écimées et

ébranchées le jour de la récolte (4 octobre 2007). Elles ont par la suite été transportées en longueur à la scierie de l'École de foresterie de Duchesnay, à Sainte-Catherine de la Jacques-Cartier. À la mi-octobre, les tiges ont été tronçonnées dans la cour de Duchesnay, par le même spécialiste qui avait fait le tronçonnage des tiges du premier peuplement. Suite à cette opération, seules les billes de sciage ont été retenues. Le sciage s'est déroulé le 1er novembre 2007 à la scierie école de Duchesnay. Le séchage des planches, a eu lieu au début décembre 2007 toujours dans les séchoirs de FPInnovations, selon le même programme de séchage que pour le premier groupe. Les planches ont ensuite été rabotées à la moulurière (Weining Unimat 23 EL) afin d'uniformiser et nettoyer la surface des planches pour faciliter leur numérisation. Enfin les planches ont été classées selon les règles de la NHLA (2007) dans la cour de FPInnovations à Québec.

2.2 Description du matériel à l'étude

La présente section présente les caractéristiques mesurées du matériel à l'étude. Les distributions de la qualité des tiges, des billes et des sciages y sont présentées.

Des 100 tiges récoltées dans le premier peuplement 68 ont fourni des billes de sciages alors que des 68 tiges récoltées dans le deuxième peuplement 54 ont fourni des billes de sciages. La vigueur des tiges a été évaluée selon le système MSCR et la distribution des 122 tiges ayant produit des billes de sciage est illustrée à la Figure 2.1. Au total, 32% des tiges ont été classées M, 26% S, 22% C et 20% R. Cette distribution est relativement comparable pour chacune des classes de vigueur mais un surnombre de tiges de vigueur plus faible (M) est noté, surtout dans le premier peuplement.

L'âge des 122 tiges retenues pour la présente étude, mesuré à la souche, variait de 46 à 154 ans, avec une moyenne de 101 ans (Figure 2.2). Les tiges du peuplement 1 ont présenté une moyenne d'âge plus élevée, soit de 122 ans comparativement à 74 ans pour le deuxième peuplement, la majorité des arbres du premier peuplement étant plus vieux que 100 ans.

Le diamètre à hauteur de poitrine des arbres variait entre 24 à 66 cm avec une moyenne de 33 cm (Figure 2.3). Une fois de plus, le premier peuplement était constitué de tiges de plus forte dimension que le deuxième, avec des moyennes respectives de 36 et 29 cm.

Le taux de croissance des tiges a également été mesuré, même si cette variable n'a pas été retenue comme variable explicative dans les analyses. Ce taux de croissance variait de 0.20 to 0.72 cm/an, avec une moyenne de 0.37cm/an (0.31 cm/an pour le peuplement 1 et 0.44 cm/an pour le peuplement 2).

La qualité de ces billes a été évaluée selon deux systèmes de classification. Dans un premier temps les billes ont été classées avec le système de Petro et Calvert (1976) (Annexe 3) qui attribue les classes F1, F2, F3 et F4 (billon) aux billes de sciage. Cette première classification a permis de déterminer quelles billes étaient conservées pour l'étude, puisque les billes classées pâte suite à cette classification n'ont pas été retenues. Par la suite le système de classement provincial utilisé par le MRNFQ (2007b) (Annexe 4). qui attribue les classes ABCDE a permis de classifier à nouveau les billes. Même si ces deux systèmes de classification sont basés sur les mêmes principes, ils comportent de légères différences. Par exemple, certaines billes classées F3 ou F4 sous le système Petro et Calvert ont été classées pâtes sous le système ABCDE. Pour les fins de cette recherche, les billes des classes D et E ont été regroupées ensemble. Les distributions de la qualité des billes pour chacun de ces systèmes sont illustrées dans les figures suivantes (Figure 2.4 et Figure 2.5).

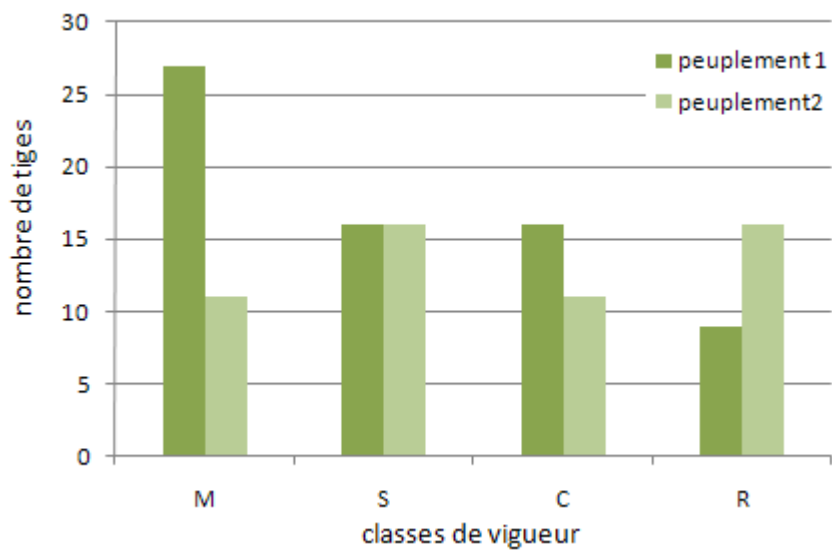


Figure 2.1 Distribution de la vigueur des tiges à l'étude pour les deux peuplements

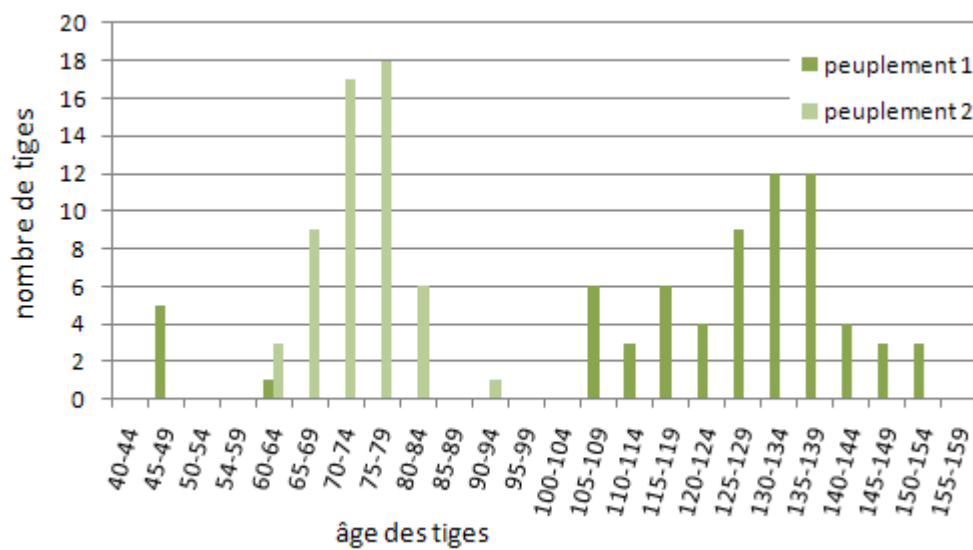


Figure 2.2 Distribution de l'âge des tiges à l'étude pour les deux peuplements

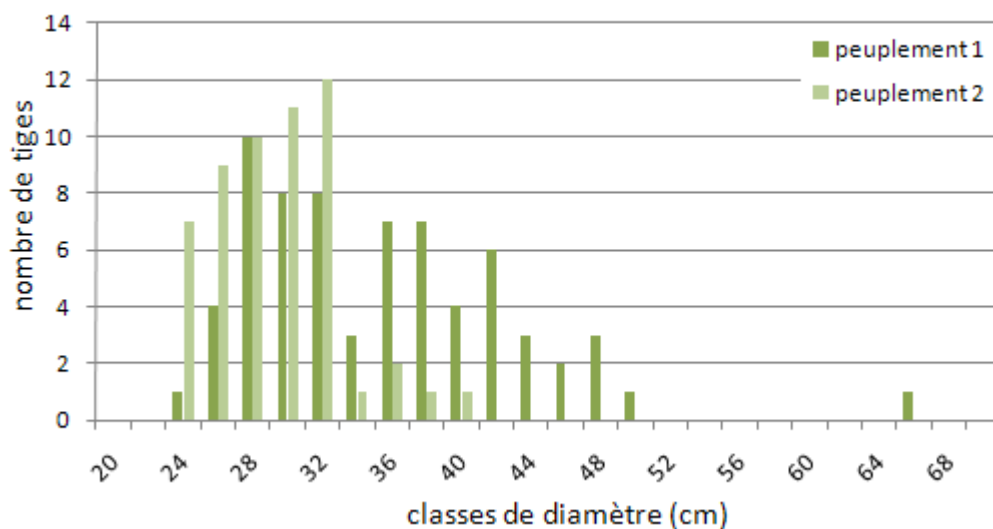


Figure 2.3 Distribution du diamètre des tiges à l'étude pour les deux peuplements

Concernant la position des billes dans les tiges, la majorité des billes étaient des billes de pied (49,3%), alors que 32,1% des billes occupaient la 2ème position, 14,9 % la troisième position, 3,3% la quatrième position et seulement 1 bille a atteint la 5ème position (Figure 2.6).

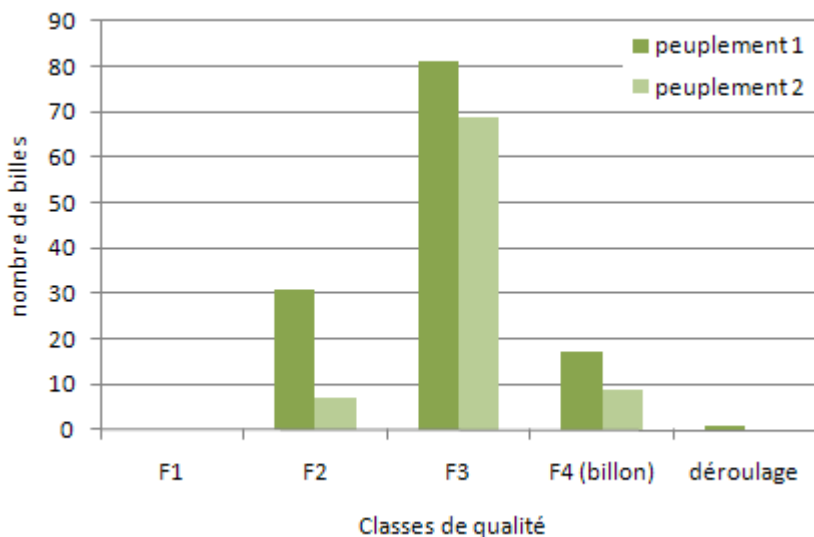


Figure 2.4 Distribution de la qualité des billes à l'étude pour les deux peuplements selon le système de Petro et Calvert (1976).

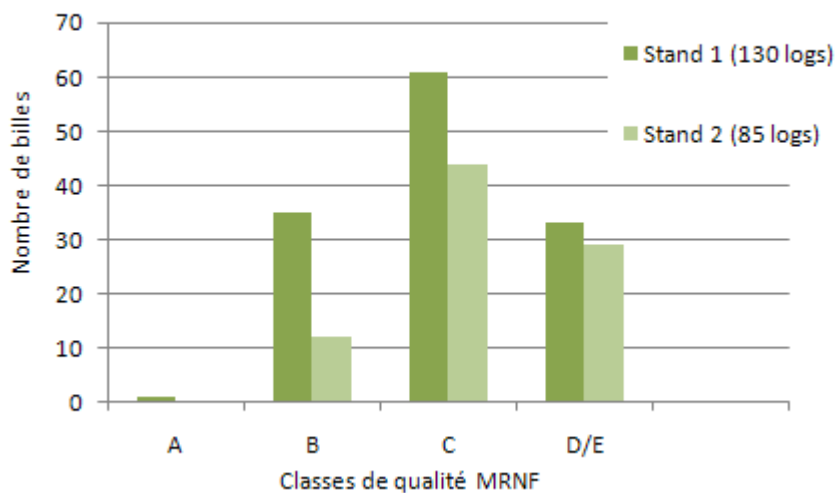


Figure 2.5 Distribution de la qualité des billes à l'étude pour les deux peuplements selon le système ABCDE du MRNFQ (2007b).

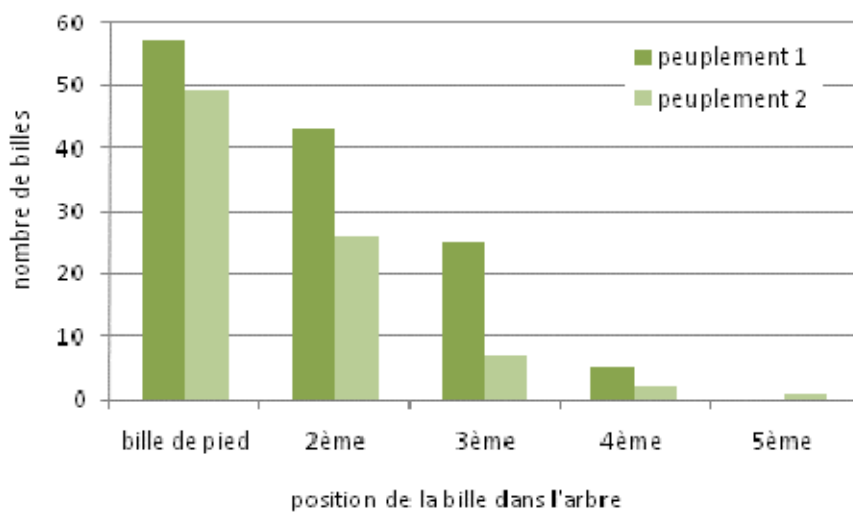


Figure 2.6 Distribution de la position des billes dans l'arbre pour les deux peuplements

Enfin les billes ont été sciées et 2284 planches ont été produites. Ces planches étaient de dimensions variables, allant de 1.22 à 3.66 m (4 à 12 pieds) en longueur et de 7.62 à 33.02 cm (3 à 13 pouces) en largeur. Les planches avaient une épaisseur de 4/4 (2,54 cm ou 1

pouce). Leur qualité a été évaluée selon les règles de classement NHLA (2007) (Figure 2.7). Aucune planche n'a atteint les qualités supérieures FAS et FAS-1 face, 14,8% des planches ont été classées Choix, 17,6% No.1 Commun, 21,7% No.2A Commun, 24,8% No.3A Commun et enfin 21,2% ont été classées No.3B Commun.

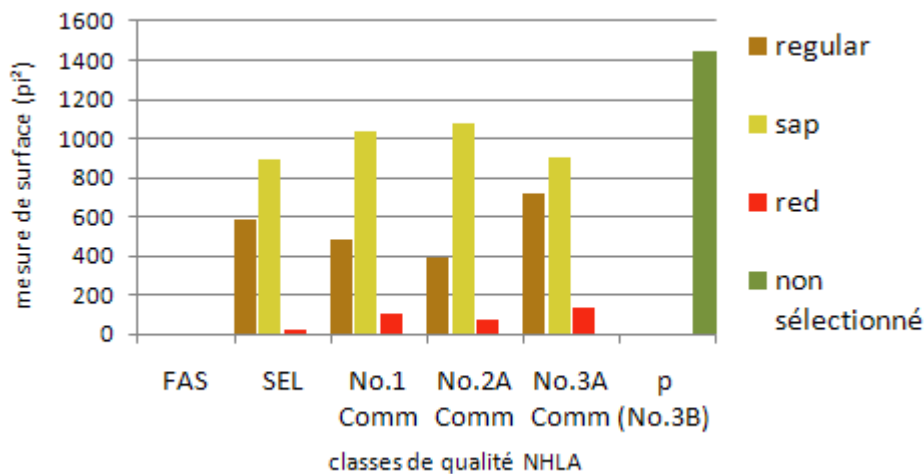


Figure 2.7 Distribution de la qualité des sciages à l'étude selon le système NHLA (2007).

2.3 Méthode d'analyse de la couleur

L'analyse colorimétrique des planches a été effectuée en utilisant un système de vision artificielle automatisé, le système BoréalScan conçu par le CRIQ pour l'industrie des produits d'apparence en bois (Figure 2.8). Ses paramètres sont adaptés aux caractéristiques des bois feuillus utilisés en industrie, tel le bouleau à papier.



Figure 2.8 Scanner BoréalScan (source CRIQ)

Le BoréalScan est un instrument qui permet la numérisation de la surface des planches. En intégrant les technologies de vision couleur et de profilométrie, ce scanner arrive à détecter automatiquement les différents éléments de surfaces (défauts) des planches analysées. Une fois les planches scannées, une banque de photos numériques du recto et du verso de chacune de ces planches a été obtenue pour analyser la couleur du bois. À chacune des images est associé un fichier qui contient la liste de tous les défauts retrouvés sur la planche.

Ces images et fichiers ont ensuite été pris en charge par un logiciel de traitement des images, CRIQTraitement (Figure 2.9). En plus de permettre la visualisation des images, le logiciel est utilisé pour traiter les images et obtenir l'information colorimétrique selon l'espace colorimétrique désiré.

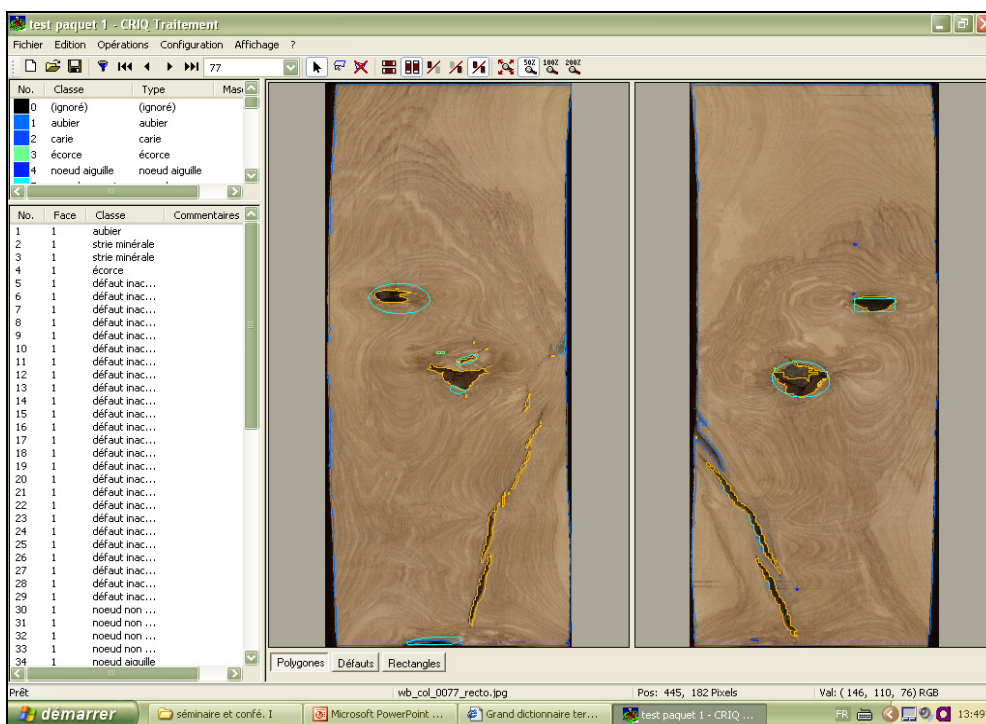


Figure 2.9 Interface du logiciel de traitement des images où les défauts ont été identifiés

Tel que mentionné ci-haut la majorité des études sur la couleur du bois ont fait utilisation d'un appareil portatif, tel le colorimètre, pour mesurer objectivement la couleur du bois. L'avantage d'utiliser le système (scanner-logiciel de traitement d'image) réside d'une part

dans le fait que cet instrument permet de mesurer la couleur sur l'ensemble de la planche, comparativement au colorimètre qui prend des mesures ponctuelles. Il permet également de faire des traitements d'images (telle la segmentation) donc d'obtenir une information spécialisée. D'autre part, comme cet appareil a été conçu pour un traitement industriel, l'analyse et l'obtention des résultats se font rapidement. De plus, la banque d'images reste accessible tout au long de l'étude et de nouvelles analyses peuvent se faire en cours de route.

Toutefois, l'analyse de la couleur du bois n'étant pas une tâche facile compte tenu du caractère hétérogène de cette matière première, des paramètres doivent être établis dans ce logiciel afin de déterminer quel niveau d'information est souhaitable. Le système scanner-logiciel permet de connaître la couleur de chaque pixel des images produites. Mais une telle précision n'est pas nécessairement désirable. À l'opposé, la mesure de la couleur moyenne de la planche obtenue en faisant la moyenne des pixels de toute la planche n'est pas forcément idéale non plus. Dans le cas de planches assez homogènes cette moyenne fournit une bonne indication de la couleur de la planche, mais lorsque la planche présente une coloration hétérogène ou qu'elle présente un mélange de bois coloré et d'aubier, cette mesure n'est pas représentative de la couleur perçue par l'œil humain. Elle constitue plutôt un indice qui permet de constater que la planche est différente d'une planche totalement contenue dans l'aubier ou dans le bois coloré. Dès lors, dans le cadre de cette étude, il a été choisi de caractériser la variabilité de la coloration du bois en segmentant les images en deux zones de coloration représentant le bois d'aubier et le bois coloré. De cette façon, il est possible de mesurer la couleur de chaque section (bois coloré et aubier) et ces moyennes colorimétriques sont donc fidèles à ce que l'œil perçoit réellement. La figure suivante donne un exemple d'une telle segmentation (Figure 2.10). Cette approche permet également la mesure des pourcentages de bois clair et foncé.

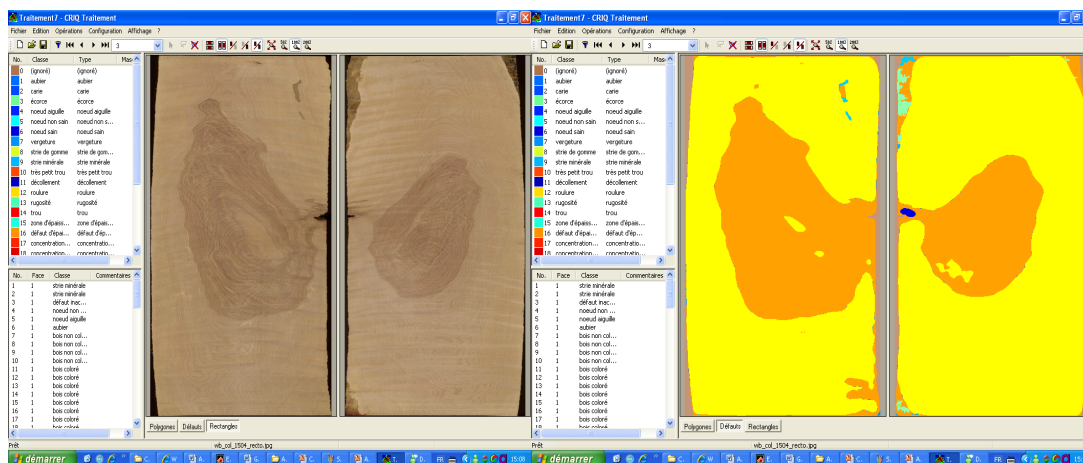


Figure 2.10 Exemple de segmentation en deux zones de coloration

Le logiciel effectue la segmentation des images en utilisant un filtre de détection qui mesure l'intensité lumineuse des pixels et les classe dans le bon groupe. Les limites de chaque classe ainsi que la taille du filtre doivent être spécifiés. La détermination du seuil d'intensité lumineuse pour la segmentation consistait à trouver l'intensité à la limite des zones de bois d'aubier et de bois coloré. Pour ce faire, plusieurs mesures d'intensité lumineuse ont été prises aléatoirement sur différentes zones de coloration sur plusieurs planches. Ces mesures ont été mises en graphique afin de trouver un point d'inflexion dans la courbe. Enfin des itérations manuelles ont été faites afin de tester la valeur ainsi obtenue et de choisir celle qui donnait les meilleurs résultats lors de la segmentation. Une intensité d'une valeur de 105 a ainsi été retenue. Dans le logiciel, la variable «intensité lumineuse» réfère au système colorimétrique RGB et est calculée de la façon suivante : $L = (.3R + .5G + .2B)$.

La taille du filtre de détection a également dû être déterminée avant de lancer la segmentation, et ce, selon l'effet désiré. Un filtre (ou masque) est un opérateur du domaine spatial qui agit directement sur chaque pixel de l'image qui permet de mettre en évidence certains aspects d'une image. Le filtre est représenté par une matrice incluant un pixel central, qui sera transformé, et les pixels voisins dont les valeurs sont utilisées pour modifier la valeur du pixel central. Le filtre utilisé par le logiciel est un filtre médian. Il calcule donc la valeur médiane des pixels avoisinants pour déterminer la valeur du pixel central. La taille de ce filtre est exprimée par le nombre de pixels qui le constituent, soit le

nombre de pixels avoisinants utilisés pour définir la nouvelle valeur du pixel central. La taille d'un filtre influence la taille des objets détectés. Plus sa taille est importante, moins le filtre est sensible aux fines transitions de valeurs des pixels. Comme le bois est un matériel hétérogène présentant beaucoup de fines variations, il s'avère plus pratique d'utiliser un filtre d'une certaine taille pour faire la segmentation. De plus, comme l'étude vise à analyser la variabilité de coloration dans un objectif d'utilisation industrielle, il semble souhaitable de reproduire des agglomérations de pixels assez grandes pour être considérées comme des défauts de coloration. Si on utilise un filtre très fin, de un, deux ou trois pixels carrés, chaque pixel différent de ses voisins sera segmenté alors que d'un point de vue pratique, une infime tache plus foncée ne nuira pas à l'apparence du bois. La Figure 2.11 illustre des exemples de résultats de segmentations faites avec des filtres de tailles différentes. Elle permet de constater qu'un filtre de 80 x 80 pixels offre une segmentation plus souhaitable qu'un filtre de 1x1 pixel qui donne un résultat beaucoup trop détaillé. Le but est d'en arriver à un niveau de précision comparable à celui de l'œil humain lorsqu'il observe la couleur du bois. Après avoir réalisé des essais préliminaires, un filtre d'une taille de 80 x 80 pixels a été choisi pour segmenter les planches du premier peuplement.

Toutefois, ce format n'avait pas pris en compte la forme rectangulaire des pixels formés par le scanner. Ces pixels étant cinq fois plus longs que larges, le filtre doit être également plus long que large; un filtre de 80 x 20 aurait donc dû être utilisé. Des analyses ont démontré que le fait d'utiliser un filtre de 80 x 80 pixels au lieu de 80 x 20 a produit une différence de moins de 1% dans les résultats de segmentation et compte tenu du nombre de planches analysées et il a donc été décidé de continuer avec ces résultats obtenus avec un filtre de 80 x 80 pour les planches du deuxième peuplement. Ainsi, toutes les planches de cette étude ont été segmentées avec un filtre de 80 x 80. Les paramètres généraux utilisés pour la segmentation sont présentés en Annexe 5.

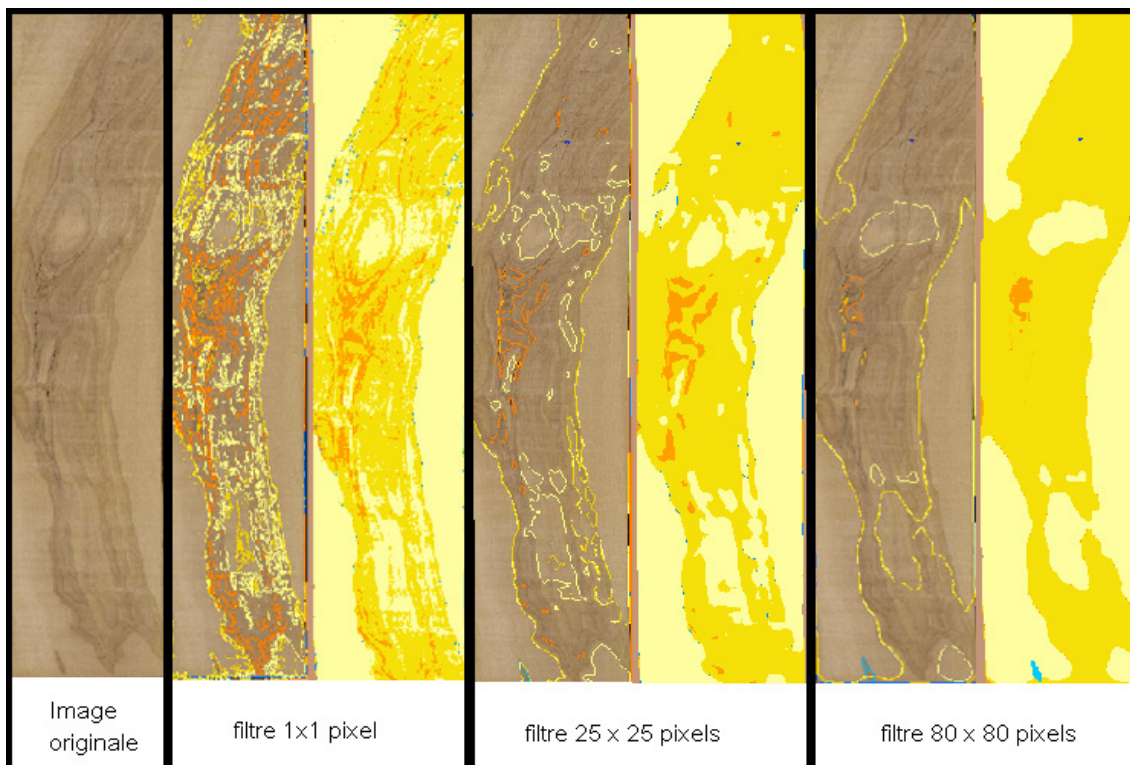


Figure 2.11 Exemple montrant l'effet de la taille du filtre sur une segmentation à trois niveaux de coloration

Suite à cette segmentation, le logiciel a été utilisé pour calculer le pourcentage de la superficie de la planche correspondant à chacune des zones créées (bois coloré et aubier), et déterminer la couleur moyenne de la planche, de la zone colorée et de la zone d'aubier. Le système CIEL*a*b* a été utilisé comme système colorimétrique de référence (figure 2.12, HunterLab 2008b). Les défauts de surface, tels les nœuds et les inclusions d'écorce, ont été exclus des mesures de la couleur du bois lorsque les analyses portaient sur les zones d'aubier et de bois coloré séparément. Toutefois, lorsque la mesure portait sur la planche entière la couleur des défauts de surface est incluse dans les valeurs moyennes de L*a*b*.

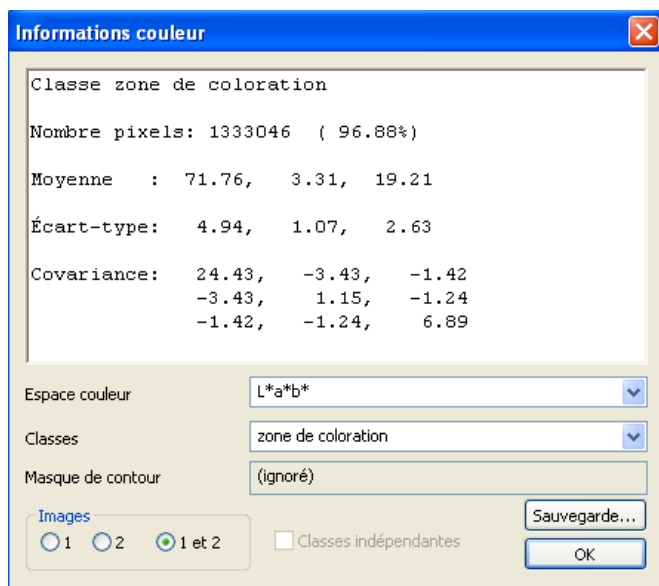


Figure 2.12 Informations colorimétriques obtenues par le logiciel CRIQTraitement

2.4 Méthode d'analyse de la valeur des sciages

Le dernier volet de ce projet de recherche a impliqué une analyse de la qualité et de la valeur des planches à l'étude. La valeur des sciages a été déterminée en se basant sur les prix du marché nord-américain pour les bois feuillus. Les prix ont été relevés sur le Hardwood Market report du 14 Mars 2009 qui assigne des prix pour chaque catégorie NHLA (Hardwood Market Report 2009) (Annexe 6). Cette liste de prix correspond aux prix réels du marché et elle est publiée à toutes les deux semaines. Les prix sont donnés en dollars américains par 1000 pmp. Ils ont été sélectionnés pour le bouleau dans la table « *Northern Hardwoods* » et s'appliquent à des planches de 2,54 cm d'épaisseur (4/4), de longueurs et largeurs variables, non-séchées (vertes) et non rabotées. Les prix pour les planches de catégorie palette (No.3B Commun) ont été pris sous la table « *pallet lumber* » pour du bois de largeurs variables.

Ces mêmes tables indiquent également les montants additionnels assignés aux sciages sélectionnés pour la couleur, c'est-à-dire des sciages classées aubier et rouge. Des primes

de 305\$/Mpmp et de 280\$/Mpmp ont été ajoutées au prix des planches classées rouge et aubier respectivement.

La valeur des sciages a été exprimée sur une base de valeur par arbre (US\$/m³). Cette variable a été calculée en additionnant la valeur de toutes les planches provenant d'un même arbre et en divisant cette somme par le volume total de ces mêmes planches.

2.5 Analyse statistique

Dans les deux premiers volets de l'étude, les variables expliquées, soit les valeurs colorimétriques et la proportion d'aubier/bois coloré ont été analysées statistiquement à l'aide du logiciel SAS software version 9.1 de Windows (SAS Institute 2003).

Dans une première analyse, des régressions multiples ont permis de comparer l'effet des trois variables explicatives se rapportant aux tiges: soit la vigueur, l'âge et le diamètre des tiges sur les variables expliquées. Dans un deuxième temps, un même type d'analyse a été répété dans le but d'évaluer cette fois l'impact des caractéristiques de billes soit la hauteur des billes dans l'arbre ainsi que la qualité des billes (systèmes Petro et ABCDE) sur ces mêmes variables expliquées.

Dans ces deux cas, un modèle mixte a été utilisé afin de prendre en considération les effets aléatoires associés au statut hiérarchique du modèle. En d'autres mots, le modèle mixte a permis de tenir compte du lien qui existe entre les paramètres colorimétriques des planches d'une même bille, d'un même arbre et d'un même peuplement.

Dans le cas de l'analyse de l'impact des caractéristiques des tiges sur la valeur des sciages obtenus par arbre la régression multiple a aussi été utilisée. Une fois de plus, un modèle mixte a été employé afin de prendre en considération le lien unissant les arbres d'un même peuplement.

Dans le cas des variables qualité des planches (NHLA) et couleur des planches (*red/regular/sap*), celles-ci étant des catégories, des régressions logistiques ont été réalisées pour valider les résultats obtenus. L'impact de l'âge, du diamètre et de la vigueur des tiges sur ces variables ont été évalués. Le fait que les variables aléatoires étaient une fois de plus prises en considération dans un modèle mixte n'a pas permis d'utiliser la régression logistique polynomiale. Une série de régressions logistiques individuelles ont plutôt été réalisées. Begg and Gray (1984) ont évalué l'impact d'utiliser plusieurs régressions logistiques individuelles au lieu des régressions logistiques polynomiales sur l'efficacité du modèle, et ils ont trouvé que les résultats étaient comparables puisque la perte d'efficacité était limitée. Une correction de Bonferroni a été utilisée dans le cas des comparaisons multiples liées aux différents niveaux de la vigueur des tiges (MSCR).

Les résultats de ces analyses sont présentés en Annexe 7.

Chapitre 3. Between tree variability of wood color in paper birch in Québec

3.1 Résumé

Cette étude avait pour but de cerner l'importance de la variabilité de la coloration du bois de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) et de déterminer les sources qui en sont responsables à l'échelle de l'arbre. L'âge, la dimension et la vigueur des arbres ont été étudiés comme variables affectant possiblement la couleur et la proportion de bois clair et de bois coloré dans les sciages. Pour ce faire un peu plus de 2250 planches provenant de 122 tiges de bouleau à papier a été analysé. Ces tiges provenaient de deux peuplements desquels seulement les billes de qualité sciage ont été considérées. Un scanner industriel a été utilisé afin de numériser les planches and d'obtenir l'information colorimétrique. Il a été trouvé qu'en moyenne, 32,4 % de bois coloré par planche a été obtenu. Cette proportion a été influencée significativement surtout par la vigueur des tiges et leur diamètre. Les tiges les moins vigoureuses ont obtenu en moyenne 45,32 % de coloration, comparativement à 30,78 % pour les tiges de vigueur moyennes et à 15,47 % pour les tiges les plus vigoureuses. Quant au diamètre, les tiges de dimension plus forte ont présenté plus de bois coloré dans leurs sciages. Ces résultats suggèrent que des révolutions plus courtes permettraient d'éviter une trop grande proportion de bois coloré dans les sciages. Les valeurs colorimétriques du bois d'aubier et du bois coloré ont été influencées jusqu'à un certain point par l'âge et le diamètre des tiges, mais leur effet sur les différentes valeurs de $L^*a^*b^*$ ont été variables. Enfin, l'analyse des effets aléatoires a permis de constater que la plus grande proportion de la variance aléatoire provenait de la variabilité inter-planche, suivi de la variabilité inter-tige et à une moindre importance de la variabilité inter-bille.

3.2 Abstract

Color variability of paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) wood at the tree level was examined in this paper. Tree age, dimension and vigor were expected to influence the proportion of discolored wood in paper birch boards; older, larger and less vigorous trees were assumed to produce boards with higher proportions of discolored wood. The color analysis was performed on approximately 2250 boards, produced from 122 paper birches harvested in two different stands, from which only logs of sawing quality have been sawn. An industrial scanner was used to digitize the boards and to obtain colorimetric information. Results show that tree diameter and tree vigor significantly influenced the proportion of discolored wood in boards whereas the effect of tree age was not strong enough to have a significant influence in the model. An averaged percentage area of 32.4 % of discolored wood on boards was obtained when considering all boards. Less vigorous trees showed a mean percentage area of 45.32 % while middle vigor class and the most vigorous trees obtained a mean percentage area of 30.78% and 15.47 %, respectively. These findings suggest that favoring shorter rotations would help producing trees with lower proportion of discolored wood. The colorimetric values were mostly affected by tree age and tree diameter, but their effects on every colorimetric parameter were variable. The analysis of the random effects demonstrated that most of the total random variance of the dependent factors came from the between board variation, from the between tree variation and to a lesser extent from the between log variation.

3.3 Introduction

Paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) is an interesting alternative to the high-value species traditionally used by the Québec hardwood sawmilling industry. It is broadly distributed in large volumes across Canada and it has appealing physical and appearance characteristics. In the manufacture of appearance products, wood color is undeniably an important attribute influencing the value of wood. The color of paper birch wood has a broad range of shades creating a number of design possibilities. Its light colored sapwood is suitable for many appearance products but it comes with a contrasting darker, brown-reddish discolored wood, also called red heart. This difference in coloration is not appreciated by the wood appearance products industry where homogeneously colored products are desired. In particular, the simultaneous presence of sapwood and discolored wood on boards makes it more challenging to match components and to apply finishing products.

The brown-reddish discoloration found in paper birch wood has been given different names in the literature: red heart, discolored wood, affected wood, pathological heartwood, stained wood, traumatic heartwood, wetwood etc. (Shigo 1967, Shigo and Larson 1969, Shigo 1986, 1967, Shigo and Hillis 1973, Hallaksela and Niemisto 1998, Campbell and Davidson 1941, Allen 1996, Boulet 2005, Siegle 1967 and Basham 1991). Most of these authors advance the theory that discolored wood, or red heart in paper birch, is not normal heartwood but is of traumatic origin. While in many tree species normal heartwood is linked to aging processes, traumatic heartwood results from processes associated with tree injuries and micro-organisms.

Shigo and colleagues suggested a pattern for discoloration and decay in living hardwood trees of North America that explains the presence of red heart in paper birch (Shigo 1967, 1986, Shigo and Larson 1969, Shigo and Hillis 1973). Broken branches, stem wounds or any other tree injury would be the triggering factors for wood discoloration. At this initial wound stage, a first discoloration may appear due to the production of phenolic compounds by the tree, which creates a protective barrier. Thereafter the wounded area

may be invaded by bacteria and non-decay fungi leading to more discoloration. Finally, wood-degrading (or decay) fungi may further increase the extent of wood discoloration. Different stages of discoloration may be present in a paper birch tree through time and in different locations of the tree. Some research has tried to explain how the presence of micro-organisms can induce discoloration in trees. An association between white birch red heart and a non-decay fungi *Torula ligniperda*, was found suggesting that this fungi could be one of the causes of red heart (Campbell and Davidson 1941). Without confirming the association of *Torula ligniperda* and red heart, Siegle (1967) nevertheless showed that red heart is the result of an enzymatic oxidation caused by fungi entering the tree after a mechanical injury. Campbell and Davidson (1941) noted that red heart was often present in trees showing decay, suggesting that this discoloration is formed at the early stage of the decay process, a hypothesis also advanced by Siegle (1967).

Many authors agree that this discoloration is an important character mark affecting paper birch wood for various utilizations. From a sample of 936 trees, based on a province wide survey in Ontario, Canada, discoloration represented 70% by volume of the defects in white birch (Basham 1991). Tree age appeared to be an important factor influencing the presence of red heart. Basham (1991) demonstrated that the volume of stain and decay rises with age while Campbell and Davidson (1941) reported considerable discoloration in trees older than 70 years. These last authors also noted that most trees over 50 years contained some discolored wood, regardless of stand conditions. In a study on the occurrence, proportion and distribution of paper birch heartwood (Giroud et al. 2008), the presence of red heart was also positively correlated with tree age at stump height. Twenty-seven percent of the 150 birches used for the study contained discolored wood at breast height. On a smaller sample of 18 birch trees, the volume of wood occupied by red heart was 13%. Belleville studied the distribution and sources of initiation of red heart in paper birch (Belleville et al. 2008). In more than 77% of the log pieces analyzed, the discoloration was initiated from an external defect which helps to confirm the traumatic nature of red heart. Their results also support the idea that red heart spreads downward in the stem; every new wound creates more discoloration that is added to the central column.

The study concluded that the presence of branch scars, dead branches, forks and callus on standing trees could help to predict the presence of red heart inside trees.

Hallaksela and Niemistö (1998) investigated the discoloration of stem wood in planted silver birches (*Betula pendula* Roth). Tree age was found to have an effect on the proportion of discolored wood; the average volume of discoloration in all sampled birches (18-65 years old) was 1.6 dm³ while it was 3.2 dm³ for the older trees (42-65 years old). Moreover, as the trees increased in age there was an increase in diameter of the discolored column around the pith. These authors also mentioned that broken (or dead) branches and invasions of micro-organisms were the most common reason for the presence of discoloration in birch trees. In 83% of the sampled birches, discoloration was associated with microbial colonization.

The color and color uniformity variation in Scots pine wood was evaluated (Grekin 2007). The results demonstrated significant differences in the wood colorimetric parameters CIEL*a*b* between trees and sites. Wood lightness was greatest in the northern stands evaluated. The colorimetric coordinates of sapwood and normal heartwood areas of the boards were also compared, and significant differences between the two zones were found for the three variables. Heartwood had lower luminosity (L*) and higher colorimetric values (a* and b*) meaning a darker, redder and more yellow wood than sapwood. The sources of variations affecting the total random variance of the L*, a* and b* values were presented by Grekin, comparing the between stand, between tree and residual covariance parameters. In all cases, the residual variation (between samples variation) was the highest source, followed generally by the between tree variation and by the between stand variation.

In the light of these findings, the present study addresses the following hypotheses. According to the theory of the traumatic nature of red heartwood, tree age and tree diameter are assumed to have an influence on the proportion of discolored wood; older and larger diameter paper birches are expected to produce more discoloration in the boards. Furthermore, less vigorous trees, showing more external defects, are expected to

produce boards showing higher proportions of discolored wood. The main objective of this study is to verify these hypotheses in order to better understand the sources of the variability of color in paper birch wood, keeping in mind its potential use as a raw material for appearance products. The specific objectives are to assess the expression of the discolored wood, to characterize objectively the color of its sapwood and discolored wood and to analyze the effects of three independent variables - tree age, tree diameter at breast height (DBH) and tree vigor - on the variability of these colorimetric parameters.

3.4 Material and Methods

3.4.1 Stand selection and tree classification

In the winter of 2005, 100 paper birch stems were selected in an overmature mixed stand located in the north of the Laurentian region (N47°, W74°) of the province of Québec, Canada. Stems were selected using the current classification system for tree vigor in Quebec in order to source an adequate number of trees in different vigor classes. Tree vigor was determined by the MSCR classification established by the Québec Ministry of Natural Resources and Wildlife (Boulet 2005). This classification is based upon external tree defects. Trees classified M (mourir), standing for non growing stock, and trees classified S (survie), standing for poor growing stock, correspond to the less vigorous trees. Classes C (conserver), standing for acceptable growing stock, and R (réserve), standing for premium growing stock, are assigned to the most vigorous trees and correspond to the growing forest capital. They include healthier trees with less wounds and defects. In this study, thirty-two percent (32%) of the trees used were classified as M, 26% as S, 22 % as C and 20% as R. The tree harvesting occurred at the end of March 2005 and trees were left in the forest with their branches intact until June 2005. No log-end stains due to oxidative reactions were observed on the birch logs. At the beginning of June, trees were cut into logs following an optimized slashing based on Petro and Calvert (1976) rules for log quality. A total of 261 logs were produced out of which 130 were of sawlog quality (F1, F2, F3 and short logs (F4)) and 131 logs were pulpwood. The saw

logs originated from sixty-eight trees and only those logs were retained for the present study. They were sawn into boards at a hardwood sawmill, using a sawing around pattern, in June 2005. The central blocks were resawn into boards on a “WoodMizer” portable sawmill shortly after. These sawing operations produced more than 1400 boards.

In the autumn of 2007, in order to analyze a larger range of tree ages, the same procedure was repeated on a younger stand located less than a kilometer away from first one and on the same ecological site type (MJ22 : Bétulaie jaune à sapin sur dépôt de texture moyenne mésique (Yellow birch-fir forest on loamy or mid texture and well drained soil)) (Gosselin 2002). In this second stand, 68 paper birch trees were selected. Following the same optimized slashing method (Petro and Calvert 1976), 85 saw logs (F1, F2, F3, F4) were obtained (from 54 different birches) while the other 101 logs produced were pulpwood. The saw logs were sawn at the beginning of November of this same year and more than 800 boards were produced. These boards in addition to the boards from the first stand constitute the research material used in this study; a total of 2284 boards was analyzed.

The age of the selected trees ranged from 46 to 154 years, with a mean of 101 years. The age distribution showed two age sub-distributions. Most of the trees coming from the first stand were older than 100 year with an average of 122 years whereas trees from the second stand were younger than 100 years with an average of 74 years. The diameter at breast height (DBH) ranged from 24 cm to 66 cm, with an average of 33 cm, both stands included. Again, larger trees were mostly found in the first stand while smaller ones in the second stand, with some overlap in the stand distributions. Tree growth rate ranged from 0.20 to 0.72 cm/year, with an average of 0.37cm/year (0.31 cm/year for stand 1 and 0.44 cm/year for stand 2). In summary, the first stand contained older and larger trees but of lower growth rate than the second stand. This first stand also had a higher number of less vigorous trees.

The board dimensions ranged from 1.22 to 3.66 meters (4 to 12 feet) in length and from 7.62 to 33.02 cm (3 to 13 inches) in width, and they had a fixed thickness of 4/4 (2,54 cm or 1 inch). All boards were dried by conventional kiln drying in the following month of

the sawing for both stands. A mild schedule with a maximal dry-bulb temperature of 140° F was used in order to limit color change and checks (Normand 2004). Boards were planed by a moulder (Weinig Unimat 23 EL) on both faces to get a fresh and clean surface just before scanning to study wood color.

3.4.2 Colorimetric analysis on paper birch boards

The colorimetric analysis was performed on board images acquired by an industrial scanner, BoréalScan, developed by the Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) for a wood furniture industry applications (Caron 2005). For each board two digital images were recorded, i.e. one on each face. Defects were automatically identified by the scanner. Image processing software, CRIQTraitement, developed for the scanner was used to view these images, to process them and to collect colorimetric information. The software first allowed for the segmentation of the board images into two different zones representing the sapwood and the discolored wood, based on the pixel color intensity. The limit between these two zones was set taking many color intensity measurements in each zone of coloration. These values were put on a graph and a threshold was set where a change in the slope between these zones was observed. Manual iterations finally helped to determine the optimal threshold within this slope changing section. A median filter of 80 x 80 pixels was employed to classify the different zones (image segmentation). Following this segmentation, a software was used to measure the proportion of every board surface belonging to sapwood and discolored wood. Figure 3.1 illustrates an example of image segmentation performed by the image analysis software.

For most of the boards, the segmentation method produced accurate results where the lines of the zones created followed the real geometry of the colored zones in boards. However, in the case of boards where the color transitions were not abrupt, the use of automatic image detection yielded less accurate results. This weakness of the method, however did not significantly affect the accuracy of the results as the percentage of board area not correctly classified was very low in comparison to the total surface area analyzed.

The mean color of each board, and each sapwood/discolored wood region, was determined using the software, based on the Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) $L^*a^*b^*$ color system. In this three-dimensional colorimetric space, the L^* coordinate indicates the luminosity of the color, on a scale from 0 [black] to 100 [white]. The a^* and b^* coordinates are chromatic values, they indicate the position of a pixel on the red-green axis (a^*), from -60 [green] to +60 [red] and on the blue-yellow axis (b^*), from -60 [blue] to +60 [yellow]. Wood character marks areas (e.g. knots, bark) detected by the scanner, were excluded from the colorimetric analysis. However, the average color per board included those character marks.

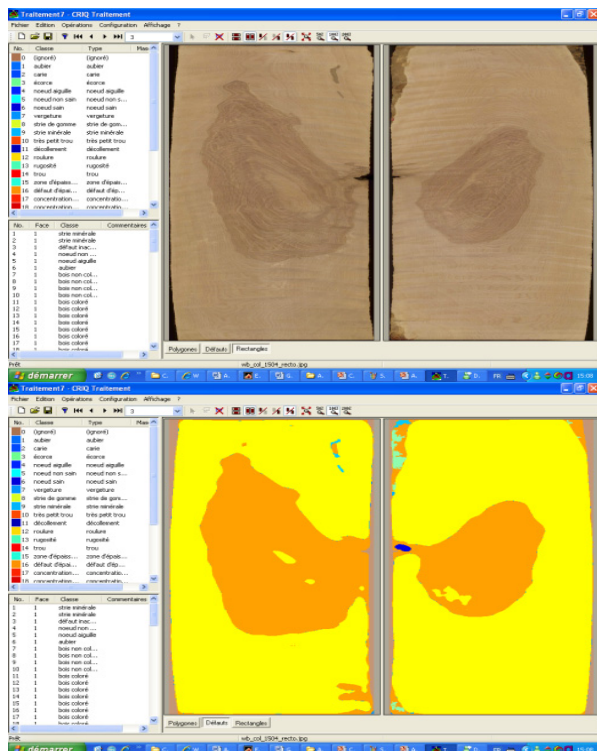


Figure 3.1 Example of an image segmentation operated by the software CRIQTraitement. Discolored wood and sapwood regions were created based on the pixel color intensity.

3.4.3 Statistical analysis

The colorimetric values ($L^*a^*b^*$) and the proportion of sapwood/discolored wood were analyzed statistically using the SAS software version 9.1 for Windows (SAS Institute

2003). Multiple regressions were used to test and model simultaneously the effects of three tree variables (tree age, diameter and vigor) on wood color parameters. The effect of tree growth rate was also considered, but not included in the statistical model because of its strong correlation with tree age. A mixed model procedure was used to take into consideration the random effects associated with the hierarchical model i.e. board, log, tree and stand associations. The significance threshold used to determine the significant variables was $\alpha = 0.05$. The statistical model used transformed data only for the proportion of discolored wood variable. For these data an arcsin square root transformation was used to normalize data.

3.5 Results

3.5.1 Proportion of discolored wood

Overall, 32.4 % of the surface of boards was discolored, with a standard deviation of 33.3 %. The latter is indicative of the high variability in color of the material evaluated. Boards were sawn either completely in sapwood, completely in discolored wood or they included both types of wood, in variable proportions. From the 122 trees that produced sawlogs, only twelve had little discoloration. Therefore, the presence of discolored wood in these stands is important because it occurred in almost every tree analyzed. However the proportion of discoloration within trees and within boards was very variable and there was still a majority of boards with the desired light color.

The statistically analysis showed that tree diameter and tree vigor (MSCR) had a significant effect on the proportion of discolored wood on board surfaces, but not tree age ($p = 0.0972$). Concerning tree vigor, the less vigorous trees (M class) with more external defects had a higher percentage area of discolored wood (45.32 %). Middle classes S and C showed mean discolored areas of 30.41 % and 31.15% respectively. In contrast, the percentage area of discolored wood in the most vigorous trees (R class) was only 15.47 % (Figure 3.2). A statistical significant difference was found between all the vigor classes

except between trees of the S and C classes. Tree diameter had a statistically significant effect on the proportion of discolored wood in boards (Figure 3.3). Results indicated that boards coming from large diameter trees had higher proportions of discolored wood. As mentioned above, tree age did not have a significant effect on discoloration.

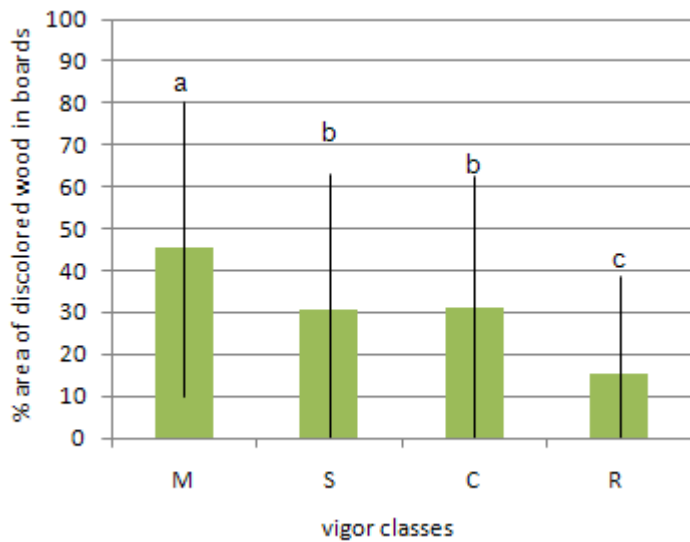


Figure 3.2 Percentage areas of discolored wood in boards in relation to tree vigor classes (average and standard deviation). Different letters indicate significant differences between vigor classes.

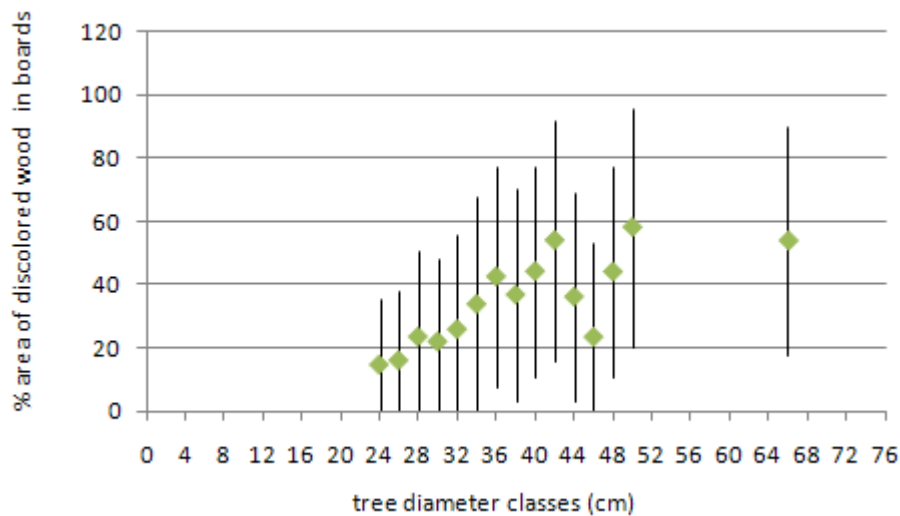


Figure 3.3 Percentage areas of discolored wood in boards in relation to tree diameter (DBH) (average and standard deviation).

When tree growth rates are plotted against tree age, a linear negative relationship can be observed; older trees had lower growth rates (Figure 3.4). Moreover, Figure 3.4 suggests that tree vigor has an influence on the distribution of growth rates. Less vigorous trees (M) tended to have lower growth rates (more dots present in the lower-right part of the graph), while the most vigorous trees (R) tended to have higher growth rates (more dots in the upper-left side of the graph).

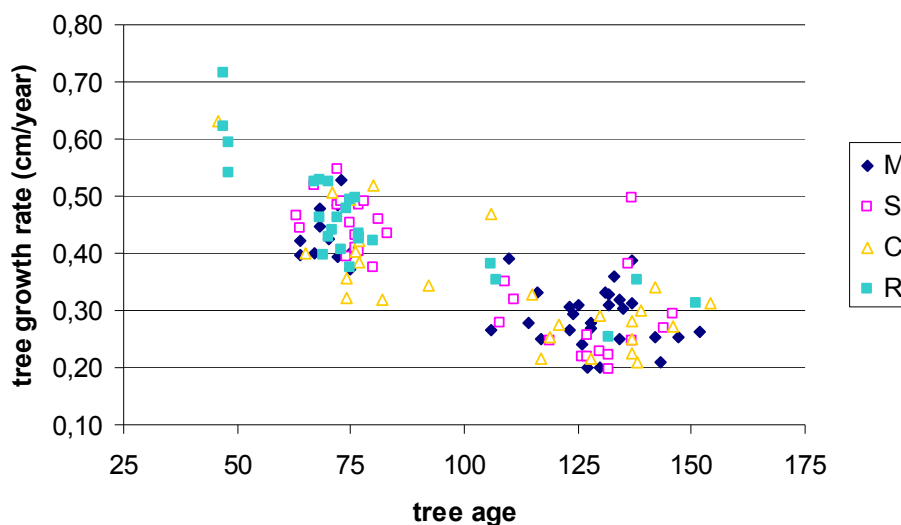


Figure 3.4 Tree growth rate in relation to tree age and tree vigor classes.

3.5.2 Colorimetric analysis in the sapwood and the discolored regions

Colorimetric values for all boards utilized in the study are presented in Table 3.1. The mean $L^*a^*b^*$ values are presented separately for the sapwood and the discolored wood regions. When comparing the colorimetric values of the sapwood and discolored wood zones, it can be noted that the transition between these zones is more abrupt for the luminosity values than for the chromatic values a^* and b^* . A difference of almost 10 units can be observed between the mean luminosities of the sapwood and the discolored wood while the chromatic values a^* and b^* show differences of less than 2 units between these zones.

The mean colorimetric values associated with sapwood and discolored wood zones have been compared using paired-sample t- tests (Table 3.1). For every L*, a* and b* value, the results show a significant difference between these zones.

Table 3.1 Comparison of the mean colorimetric values for the different board sections

SECTIONS	L*	a*	b*
Whole board	71.21 (4.03) ¹	3.59 (0.92)	19.38 (1.00)
Sapwood	73.89a ² (2.13)	3.09a (0.56)	19.09a (1.04)
Discolored wood	64.43b (5.32)	4.59b (1.02)	20.97b (2.56)

1- (standard deviation)

2- Different letters indicate that from a paired-sample t-test the value differs significantly at p = 0,001.

Table 3.1 also shows mean colorimetric values for whole boards. These results have to be viewed with caution. When boards are homogeneous in color, the mean color value obtained represents accurately what can be seen by the human eye. However, when boards are heterogeneous, with variable proportions and distribution of sapwood and discolored wood, the mean color value for the entire board becomes rather an index of coloration rather than a true image of reality.

The mean colorimetric values of sapwood and discolored wood were analyzed in relation to tree age, diameter and vigor to evaluate the potential influence of these parameters on the variability of paper birch wood color. The colorimetric variables, L*, a* and b* were analyzed separately in different multiple regression models and the results are presented in Table 3.2.

Table 3.2 Effects of the three independent variables on the colorimetric parameters (Pr > F)

variable	L* sapwood	a* sapwood	b* sapwood	L* discolored wood	a* discolored wood	b* discolored wood
Tree age	0.3121	0.0004*	0.0023*	0.0015*	0.0825	< 0.0001*
Tree diameter	0.0040*	0.0003*	< 0.0001*	0.3344	<0.0001*	0.0854
Tree vigor	0.3178	0.5062	0.4819	0.2909	0.7568	0.2375

* p < 0.05

Concerning sapwood, its luminosity was significantly influenced by tree diameter. Larger diameter trees had lower luminosity meaning that sapwood was darker in larger trees. Tree age and tree diameter had significant effects on the red color (a^*) of sapwood, both positively, indicating that older and larger trees have redder sapwood. The yellowness (b^*) of sapwood was also significantly influenced by tree age (negatively) and by tree diameter (positively) meaning that older trees have less yellow sapwood, while larger trees have more yellow sapwood. The luminosity of discolored wood significantly increased with age indicating that older trees had paler discolored wood. Tree diameter did not influence luminosity. In accordance with the results for sapwood, the red color (a^*) of discolored wood was positively influenced by tree diameter with larger trees having redder sapwood. This time, tree age did not influence the red color of discolored wood. Finally, the b^* values were significantly influenced only by tree age. Older trees had a discolored wood that was less yellow (Figures 4.5 and 4.6).

In summary, this study shows that wood color in the paper birch boards varies according to tree age and tree diameter but not for all $L^*a^*b^*$ values and not constantly. Moreover this variation is sometimes different for sapwood and discolored wood zones.

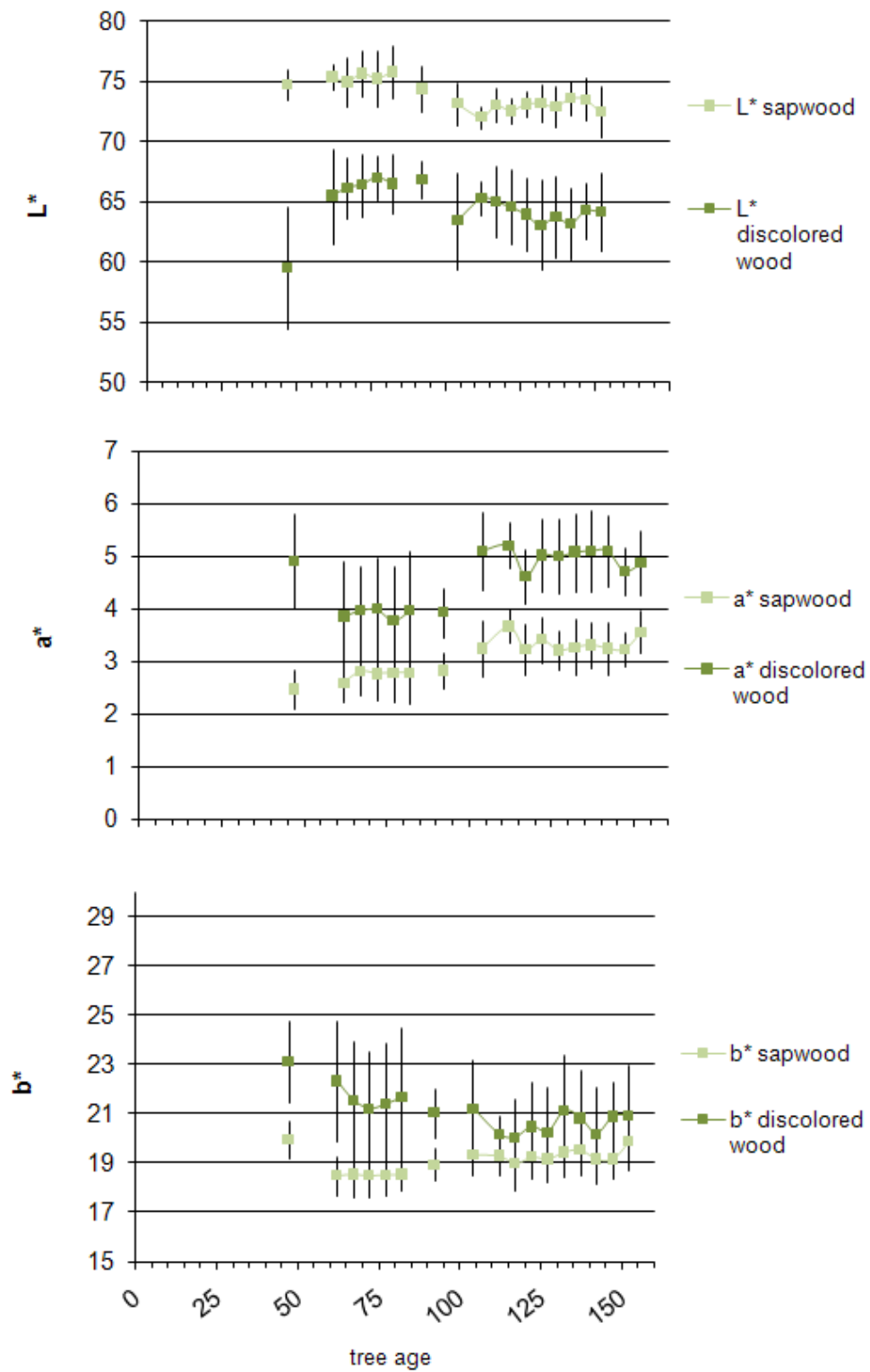


Figure 3.5 L*, a* and b* color parameter in relation to tree age (average and standard deviation) for sapwood and discolored wood regions

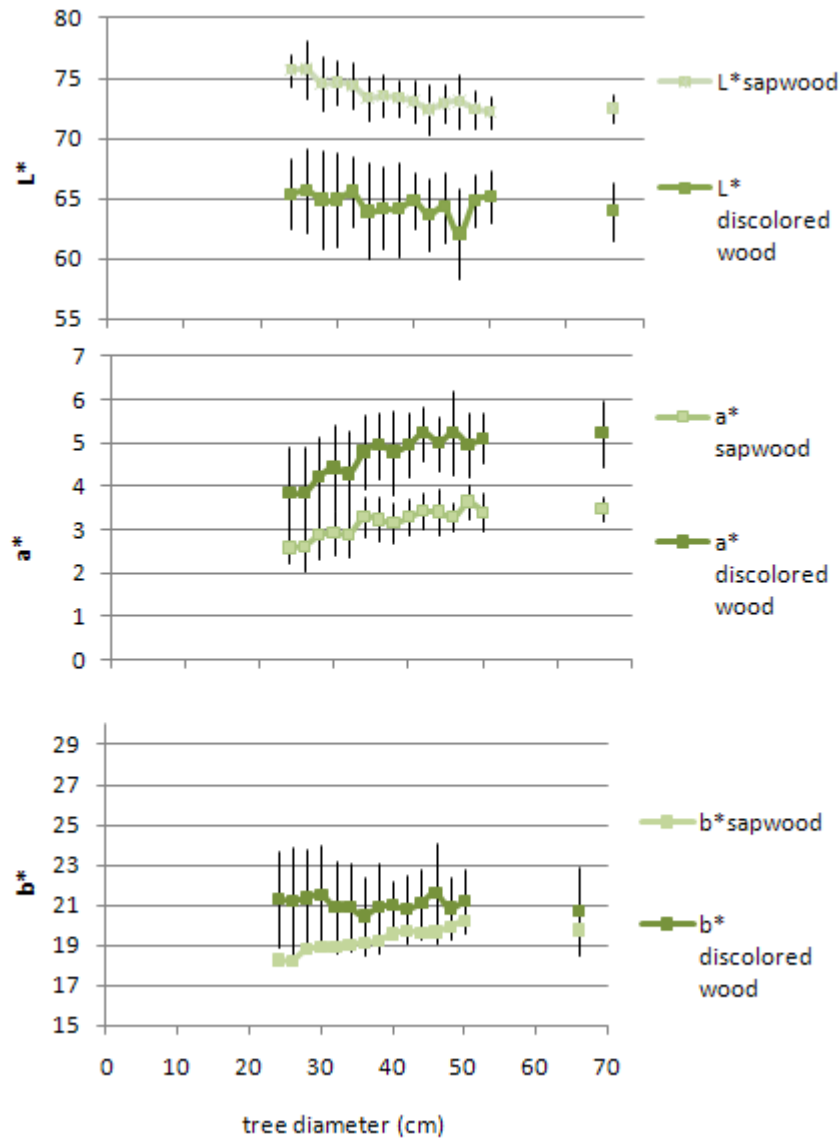


Figure 3.6 L*, a* and b* color parameter in relation to tree diameter (average and standard deviation) for sapwood and discolored wood regions.

3.5.3 Analysis of random sources of variation

The linear mixed model used to analyze data made it possible to identify not only the effect of the fixed (tree) factors on paper birch wood color, but also to assess the influence of the random effects associated with the hierarchical structure of the data (stand, tree, log and board associations). The relative influence of these random effects was measured by the statistical software SAS using the co-variance parameters information (Tables 3.3 and 3.4). These independent factors were regarded as random effects because only few levels of their variation were considered in the study.

For all variables evaluated (proportion of discoloration per board and L*a*b* sapwood and discolored wood values) the stand did not play a significant role in their variation. Tree on the other hand was an important factor and had significant effects on all the variables evaluated. The log effect was not as strong as the tree effect but the results demonstrated that it was significant for some variables evaluated. Nevertheless, when the total random variability is considered, the between boards variation (residual parameter) always had the highest score, a result which indicates that there is less variation in board color between the different logs, trees or stands compared to the variation between boards.

Table 3.3 Covariance parameter estimates for the percentage of discolored wood per board

Covariance parameters	Percentage of discolored wood		
	estimate	%	Pr > Z
stand	0.008926	5.78	0.2731
tree	0.02493	16.14	< 0.0001*
log	0	0	.
Residual	0.1206	78.08	< 0.0001*

* p < 0.05

Table 3.4 Covariance parameter estimates for sapwood and discolored wood colorimetric values

Covariance parameters	L* sapwood			a* sapwood			b* sapwood		
	estimate	%	Pr > Z	estimate	%	Pr > Z	estimate	%	Pr > Z
stand	0.9868	24.24	0.2543	0	0	.	0.6329	43.75	0.2441
tree	1.3830	33.98	< 0.0001*	0.1154	46.36	< 0.0001*	0.1824	12.61	< 0.0001*
log	0.0810	1.99	0.0148	0.001803	0.73	0.1949	0.1229	8.49	< 0.0001*
Residual	1.6197	39.79	< 0.0001*	0.1317	52.91	< 0.0001*	0.5086	35.15	< 0.0001*
	L* Discolored wood			a* Discolored wood			b* Discolored wood		
	estimate	%	Pr > Z	estimate	%	Pr > Z	estimate	%	Pr > Z
stand	12.7113	55.81	0.2422	0.5866	46.27	0.2418	0.2064	4.15	0.2738
tree	2.4269	10.66	< 0.0001*	0.06393	5.04	< 0.0001*	0.4651	9.34	< 0.0001*
log	0.4262	1.87	0.0060*	0.01885	1.49	0.0376*	0.02638	0.53	0.3207*
Residual	7.2113	31.66	< 0.0001*	0.5983	47.20	< 0.0001*	4.2794	85.98	< 0.0001*
* p < 0.05									

3.6 Discussion

The results concerning the proportion of discolored wood in paper birch stems partly meet the initial hypothesis. As expected, tree diameter and tree vigor (MSCR) had a significant influence on this proportion but tree age on the other hand was not strong enough to have a significant influence in the model.

Considering the tree vigor, the higher proportion of discolored wood obtained in less vigorous trees is coherent with the theory of the traumatic origin of paper birch heartwood. The MSCR classification is based on the presence of external defects on the tree. Less vigorous trees show more external defects which provide a way for pathogenic organisms to colonize wood and create discoloration. Our findings support the same hypothesis that discoloration of paper birch is caused by micro-organisms. As illustrated in Figure 3.7, most of the time the discolored board areas are linked to a knot. In stands where selection cutting is possible, mostly in southern mixed stands, the current provincial silvicultural strategy, consisting in the priority harvest of less vigorous hardwood trees (M and S) to improve stand quality, is expected to yield higher proportions of discolored wood in the hardwood supply. For the other stands, those harvested using clear cutting or derived methods, even though trees of all vigor are harvested, the MSCR classification can also help to predict the amount of discoloration found in hardwood supplies.

The pioneer and relatively short-lived nature of the paper birch species can help to understand why its wood presents a high frequency of discolored wood. In short-lived species, discoloration and decaying processes may be more rapid than that of long-lived species, and these trees are possibly more sensitive to wounding events and further attacks by micro-organisms. Even though broken branches are generally considered as the main route for microbial colonization and discoloration, other stem wounds such as mechanical damage are also associated with discoloration in the stem. In this study, paper birches came from mixed stands, where conifer trees had been harvested in the past while the birches were left standing. The mechanized partial harvest operations might have inflicted wounds on the birch boles and further discoloration. Therefore, special care to protect the residual trees during harvesting operations and other silvicultural treatments should be taken to limit the presence of discoloration in the ensuing boards.



Figure 3.7 Digital images of boards showing the relationships between discolored wood and character marks where most of the time, knots and wounds are found in discolored wood areas.

The analysis of the effect of tree diameter on the proportion of discolored wood in boards, determined that larger trees had more discoloration. As the tree diameter gets larger, so do

the branches. Therefore, they constitute larger openings that are harder and longer to close for the tree and easy to penetrate by air and microorganism. It can be hypothesized that growing conditions (high stand density) that increase self-pruning in young paper birch trees could be a solution to reduce the presence of discoloration in trees. If branches are dying when still relatively small, processes inducing discoloration might be limited (Eisner et al. 2002, Toole 1961).

Tree age did not have a significant effect on the proportion of red heart on paper birch boards. One could think that since tree diameter had a significant influence so would do tree age. And moreover that the chance trees encounter a wound stress causing discoloration would be higher as the trees get older but no significant influence of tree age was demonstrated using this statistical model. The probability value is however not very far from the significance level and, when the proportion of discoloration per board is plotted against tree age in a simple regression, there is a clear significant effect of tree age on the proportion of discoloration ($p = 0.0001$), Figure 3.8. This result suggests that tree age has an indirect effect on the proportion of discolored wood in paper birch boards. The significant effect of tree age in the simple regression is no longer significant in the multiple regression where the model corrects the variance for the presence of tree diameter. In other words, tree age has an indirect effect on the proportion of discolored wood in boards through tree diameter. The correlation between tree age and tree diameter was assessed by a multicollinearity test (Belsey et al. 1980) and these two variables were not found to be too highly correlated to be analyzed together in a mixed model.

In the literature tree age was often mentioned as an important parameter influencing the proportion of discolored wood in trees (Giroud et al. 2008 or Hallaksela and Niemistö 1998, Basham 1991, Campbell and Davidson 1941). The fact that the present study considered both parameters (age and diameter) in a multiple regression performed through a mixed model might explain the divergence in the results. Tree age can nevertheless be kept in mind as a noteworthy factor influencing the proportion of red heart in trees.

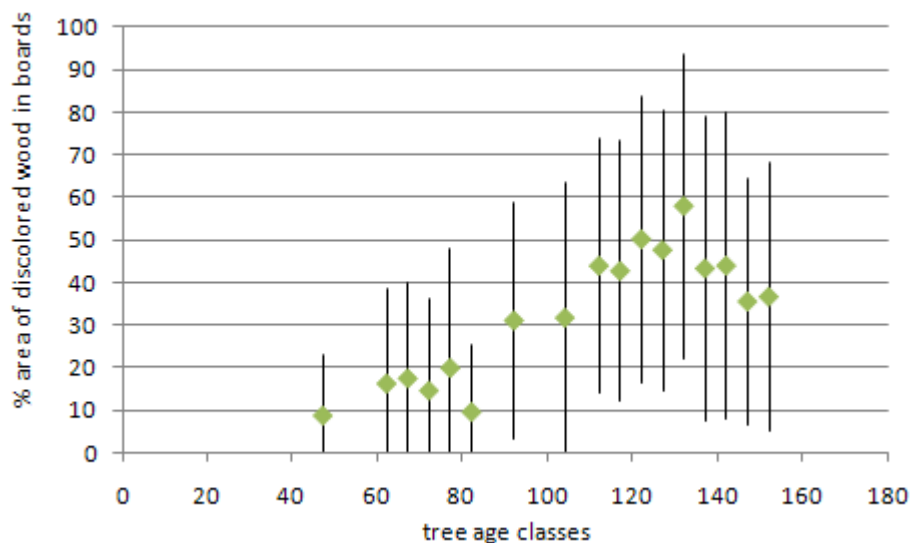


Figure 3.8 Percentage areas of discolored wood in boards in relation to tree age (average and standard deviation)

Our findings that tree diameter and to a lesser extent tree age influenced the proportion of discolored wood in boards, suggest that harvesting trees at a younger age or in shorter rotations will produce more homogeneously colored wood. In addition, the negative relationship between tree diametral growth rates and tree age where older trees tend to have smaller growth rates (Figure 3.4) is an important argument in favor of harvesting trees earlier in order to maintain good stand productivity.

Significant differences were found between L^* , a^* and b^* values of the sapwood and discolored wood zones (Table 3.1). Similar results were found for Scots pine wood by Grekin (2007) where there were also significant differences in color parameters between sapwood and heartwood, although heartwood is not traumatic in this species.

The greater difference of luminosity (L^*) between sapwood and discolored wood zones compared to the differences obtained for the chromatic values (a^* and b^*) highlights the importance of luminosity when characterizing the color of paper birch wood. The L^* values give a fair and quick representation of the different possible colorations that can be seen on the boards. The a^* and b^* values on the other hand do not vary much between the

different color zones and therefore are much less indicative of color changes. Consequently, this outcome can be useful in the field of machine vision systems for wood. For applications where it is important to discern sapwood and discolored wood zones, luminosity appears to be an interesting colorimetric parameter to utilize to achieve this discernment in the case of paper birch wood.

In Table 3.1, the standard deviation of the colorimetric values was larger for discolored wood zones compared to the sapwood zones. This can be explained by the fact that paper birch sapwood is usually pale and homogeneous in color, while its discolored wood shows a more heterogeneous coloration, with a higher variation in color and in the spatial distribution of these different shades (Figure 3.9).



Figure 3.9 Example of a difference in color homogeneity between sapwood and discolored wood regions. While sapwood is homogeneous in color, discolored wood presents different shades and creates a marble effect to the eye.

Overall, the most important variables affecting the colorimetric parameters were tree age and tree diameter. Tree vigor had no significant effect on any of the wood color parameters. In other words, a tree with more external defect might have more discolored wood, but the color of its sapwood and discolored wood is not different from that of trees

with fewer defects. On the other hand, tree age and diameter significantly affected wood color. But, as mentioned, the effect of tree age and tree diameter is not the same for every $L^*a^*b^*$ values. Alteration with time of the chemical compounds responsible for wood color could explain the effect of tree age on wood colorimetric parameters.

Finally, results regarding the variables considered as random factors in the statistical models are similar to what was proposed by Grekin (2007) for Scots pine wood color. In the study, the residual variation (between board) was always the most important parameter followed by the between tree variation and the between stand variation (Grekin 2007). In the present study, the residual variation was also responsible for the highest proportion of the total random variation. The between tree variation was like for Scots pine the second most important variable. Finally, contrarily to Grekin's findings, stand did not induce significant effect on any of the variables considered for paper birch material. This result was expected because the sites were not chosen to analyze the effect of geographic provenance but to increase the tree age range. Therefore, two very similar sites were selected.

3.7 Conclusion

This study shows that for the saw quality paper birch wood obtained from two stands in Québec, discolored wood had a considerable presence although sapwood was present in a higher proportion of the board area (67.6%). Tree age and tree diameter had a significant influence on the colorimetric parameters $L^*a^*b^*$ of the sapwood and discolored wood zones of paper birch wood, but their effect was variable among all those parameters. Tree diameter also influenced the proportion of discolored wood in the boards in addition to the tree vigor (MSCR), while tree age did not. When considering the total random variation, the main source of variation in this hierarchical data came from the residual term, meaning that the between board color variation was always the highest source of variation. The between tree variation was significant for all dependent variables considered and the

between log variation had to a lesser extent also a significant influence on some of these dependent variables.

The present study gives a general picture of paper birch wood color. Knowing more about the sources of variation of its wood coloration will help develop ways to control it. On the one hand silvicultural treatments that favor shorter rotations and self-pruning at young age appear as possible paths to limit the presence of discoloration in paper birch stems. On the other hand, the poor vigor state of the hardwood forests will continue to provide for some time wood with relatively high percentage of discolored wood.

Chapitre 4. Within tree variability of wood color in paper birch in Québec

4.1 Résumé

Les variations de coloration du bois de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) à l'échelle de la bille ont été étudiées dans cette étude. L'impact de la hauteur des billes dans l'arbre et de la qualité des billes sur la couleur du bois d'aubier et du bois coloré ainsi que sur la proportion de bois coloré dans les sciages a été analysé. Pour ce faire, 168 tiges de bouleau à papier ont été récoltées desquelles seules les billes de sciages ont été conservées et d'où on a tiré environ 2250 planches. Les résultats obtenus ont montré que ni la qualité des billes ni leur hauteur dans la tige n'ont influencé la proportion de bois coloré dans les sciages. Ces mêmes paramètres ont par contre influencé certaines valeurs colorimétriques du bois d'aubier et du bois coloré. La position de la bille dans l'arbre a eu un impact significatif sur la quantité de jaune du bois d'aubier et sur les quantités de rouge et la luminosité du bois coloré. La qualité des billes a quant à elle influencé seulement la quantité de rouge du bois d'aubier.

4.2 Abstract

Variations of the paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) wood color at the log level were examined in this paper. A total of 168 paper birch trees harvested from two different stands were used for the study, from which approximately 2250 boards were obtained using sawlogs and excluding pulp logs. The within tree variability was considered looking at the effect of log quality and log height class on board color. Results show that neither the log quality nor the log height class had a significant effect on the proportion of discolored wood on the surface of boards. These log parameters, however, had an effect on the wood colorimetric variables. Log position in the tree was found to significantly influence sapwood yellowness (b^*) as well as discolored wood luminosity (L^*) and redness (a^*). Log quality on the other hand significantly influenced only one colorimetric factor: sapwood redness (a^*).

4.3 Introduction

The lack of availability in quality high value hardwoods traditionally used by the Québec sawmilling industry induced a new interest in alternative, underutilized species such as paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) over the past few years. Paper birch is the first hardwood in terms of volume in the province of Quebec and it has wood characteristics that make it an attractive raw material for many uses. Its sapwood presents gentle anatomical features forming a homogeneous and pale wood that is appreciated for applications where visual quality is important. However the frequent occurrence of a red heart in paper birch trees results in the production of boards within which there is often a simultaneous presence of sapwood and discolored wood of a darker brown-reddish shade. This contrast in coloration reduces the value of the boards and creates a challenge for the manufacturers who want to produce homogeneously colored wood products.

The brown reddish discolored wood frequently found in paper birch trees is most often described in the literature, as traumatic heartwood (Shigo 1967, 1986, Shigo and Larson 1969, Shigo and Hillis 1973, Hallaksela and Niemistö 1998, Campbell and Davidson 1941, Allen 1996, Boulet 2005, Siegle 1967 and Basham 1991). According to most of these authors a succession of events involving abiotic and biotic factors, is responsible for this discoloration and a triggering event stressing the tree is needed for them to take place. Most of the time, broken branches and to a lesser extent stem wounds, seem to be the responsible agents for this stress. According to Shigo and collaborators, the sequence of events is the following. Firstly the injured area exposes wood cells to the external conditions and constitutes a way of entrance in the tree for air and micro-organisms. An initial discoloration appears in reaction to these injured cells; a chemical barrier is formed to create a protective zone to prevent infection in the tree. A second stage of the process might happen when bacteria and non-decay fungi invade this wounded area which may induce more discolorations. This part of the discoloration process can be explained by oxidation reactions catalyzed by the enzymes produced by the fungi (Campbell and

Davidson 1941; Siegle 1967). Finally the process might go to a third stage if decay fungi invade the area and degrade wood structures.

A previous part of this study confirmed that tree age, diameter, and vigor had some effect on paper birch wood color in general and on the proportion of traumatic heartwood in the boards (Drouin et al. 2009). Tree age and tree diameter were found to be the most important variables affecting paper birch wood colorimetric parameters while tree vigor and tree diameter were two significant variables controlling the percentage of discolored wood in boards. To summarize, larger diameter trees and less vigorous trees presented more discoloration within their boards. The effect of tree age and tree diameter was variable among the colorimetric parameters ($L^*a^*b^*$) for the sapwood and discolored wood zones. While this information about inter-tree variations helped to understand how the wood coloration is linked to the status of the trees and how it is induced in the tree, this second part of the study aims to improve our knowledge about the dispersion of the wood coloration within the tree. The present study examines the relationships between log characteristics and wood colorimetric parameters.

Some research already provided information about the dispersion of red heart in birch stems. A study on the distribution and sources of initiation of red heart in paper birch, found that the discoloration column increases in diameter from the breast height (1.3m) to a maximum diameter at 3 to 4 meters of height (Belleville et al. 2008). In more than 77% of the stem portions analyzed in this study, the discoloration was initiated from an external defect confirming the traumatic nature of red heart. The vertical distribution of red heartwood in paper birch was also studied by Giroud et al. (2008). It was found that for 18 paper birch stems red heartwood had a spindle shape for 14 trees and a conical shape for 4 trees.

The stem discoloration in planted silver birches (*Betula pendula* Roth.) was investigated by Hallaksela and Niemistö (1998). The results showed that discoloration was present in most of the birches sampled, either in a central column around the pith or in independent areas outside the pith. The most typical distributions of the discolored areas in the stem

had a spindle shape, with or without branch discolorations connected to it, with a maximum cross-sectional area when approaching 1 meter in height. The cross-sectional area of the pith discolorations had a diameter of less than 4 cm for most of the cases, while it was around 9 to 11 mm for the discolorations located outside the pith. More than half of those later discolorations were found in the branches, this supports the theory that broken branches would be a way of entrance of micro-organisms responsible for color changes in wood.

The color of Scots pine wood was studied and it was demonstrated that the sampling height within the tree had a significant influence on color of both heartwood and sapwood (Grekin 2007). When the log position in the tree increased in height, the wood presented higher luminosity values. Differing results were found in a study about the variation of the color parameters of European beech (*Fagus sylvatica*) (Shengquan et al. 2005). The color of bottom (4m) and top (9m) logs were compared and no significant differences were found for the peripheral sapwood.

Log quality, which is partly assessed by the presence of defects on the log surface and cross-cuts, is another interesting factor to analyze in relation to paper birch wood color, given that log quality determines the value of the wood traded from the public land in the province of Québec. Therefore, developing more knowledge about the distribution of wood color among the boards produced from different log quality classes becomes relevant.

In Québec, the log quality is determined according to a log grading system used by Québec Ministry of Natural Resources (MRNFQ 2007b) where the logs are classified either as A, B, C, D or E. In this classification the log dimensions (length and diameter) and log defects (knots, curves, holes, decay, splits, etc.) are the main criteria to identify the proportion of usable wood which determines the log quality. Class A is the highest quality class. It regroups logs that are large and without defects enough to be used by the veneer industry. Class B is a sawlog grade. It requires logs of the same dimensions as class A, but more defects are accepted and minimum size cuttings are defined. Class C is also a sawlog

grade regrouping logs that have smaller minimal dimensions than class B logs, smaller minimum size cuttings and can have more defects. Finally all logs that do not meet the minimal requirements of the A, B and C classes are classified in the D class that is for pulp production or can be retained as non conventional logs (short logs) in the class E. This provincial log grading system is based on an older classification system developed by Petro and Calvert (1976). This last system is based on three main classes for the sawing quality logs (F1, F2 and F3), a short log class (F4) and it does not have veneer or pulp quality logs. In order to assess sawlog quality, the Petro system is also based on the log diameter, log length, the number of clear cuttings and their length; but this system takes also into consideration the log position in the tree.

Discolored wood has an impact on the result of the log classification only when it is at a stage of decay. When evaluating the cross-cut sections, discoloration downgrades the logs only if the decay is at an intermediate stage (physical and chemical alteration of the fibers) or an advanced stage (softening and collapse of the wood structures). It must moreover cover an important part of the log cross-sectional area to be considered; meaning that both internal and external quality zones must be affected. Discoloration or decay limited to the central core or to only one quality zone does not affect the classification. When the two crosscut sections of the logs are affected by an advanced or intermediate stage of decay on two quality zones, no clear cutting can be calculated and the log is allocated the pulp grade. On the other hand if only one crosscut section is affected by important decay, the clear cutting is considered to be on 1/6th of the total log length.

This paper aims to assess the variation of coloration of paper birch wood as a raw material for the wood appearance products industry. After looking at the between tree color variability in a previous study (Drouin et al. 2009), the between log variation is now considered in order to get more information about within tree color variability. The objectives of the paper are to evaluate the effect of log quality and log height class on the percentage of discolored wood per board and on the colorimetric variables of paper birch sapwood and discolored wood.

According to the above presented information, the following hypotheses were set for this study. First, it is expected that the lower logs will present more discoloration than the upper logs given that previous studies found that the discolored column has a spindle shape in birch trees. Secondly, according to the theory of the traumatic nature of red heartwood, lower quality logs, which are believed to present more external defects, are expected to produce more discoloration in the boards.

4.4 Material and methods

4.4.1 Material selection and preparation

In order to evaluate the influence of the log related factors on the color of paper birch wood, the same material and methods used in the previous paper (Drouin et al. 2009) were utilized.

The 168 trees under study were collected in two different stands located in the north of the Laurentian region in the province of Québec. Tree selection was realized upon the MSCR classification (Boulet 2005). This classification established by the Québec Ministry of Natural Resources and Wildlife determines tree vigor based on external tree defects. Trees classified as M (*mourir*) standing for dying stock and S (*survie*) standing for surviving stock, correspond to the less vigorous trees. Trees classified as C (*conserver*), standing for growing stock, and R (*réserve*), standing for premium growing stock, are assigned to the most vigorous trees. These MSCR classes correspond to priorities for harvesting, M being the highest harvest priority.

From the first stand, harvested in March 2005, 100 paper birch stems were selected. The trees were left in the forest undelimited until June 2005 when they were cut into logs following an optimized slashing based on Petro and Calvert (1976) rules for log quality. A total of 130 saw logs and short logs (F2, F3 and F4) were obtained while 131 logs were pulpwood (P). The sawing quality logs, short logs and veneer logs originated from sixty-eight trees and only those logs were retained for the present study. They were sawn into

boards at a hardwood sawmill, in June 2005 and from this operation, more than 1400 boards were produced.

The same procedure was repeated in autumn 2007 for the second stand located less than a kilometer from the first stand, on the same ecological type (*MJ22 : Bétulaie jaune à sapin sur dépôt de texture moyenne mésique [Yellow birch with balsam fir site on average texture deposit and average drainage – in French]*) (Gosselin 2002)). From this second stand, 68 paper birch trees were selected in August 2007 and harvested at the beginning of October of the same year. Following the optimized slashing that occurred in mid-October, 84 sawing and short logs (F2,F3 and F4) and one veneer log were obtained (from 55 different birch trees) while the other 101 logs produced were pulpwood (P). The sawing quality logs were sawn at the beginning of November of this same year and more than 800 boards were produced.

The age of the sample trees of this study ranged between 46 and 154 years while their diameter ranged between 24 and 66 cm. Regarding tree vigor, thirty-two percent (32%) of the trees used were classified as M (*dying trees*), 26% as S (*surviving*), 22 % as C (*growing*) and 20% as R (*premium*).

The 215 logs obtained after slashing had an average length of 278 cm, ranging between 192 and 520 cm. The average log diameter at small end was 26 cm while it was 30 cm for the large end. Most of the logs were butt logs (49.3 %) while 32.1% were second logs, 14.9% were third logs, 3.3% were fourth logs and 0.5% were fifth logs (Figure 4.1).

When the log quality was assessed by the Petro classification system, the highest proportion of the logs (69.8 %) was of the lowest sawlog category (F3) while 17.7% of the logs were classified in the second quality sawlog category (F2). No log reached the highest sawlog quality (F1). Finally, 12.1 % of the logs were classified as short logs (F4).

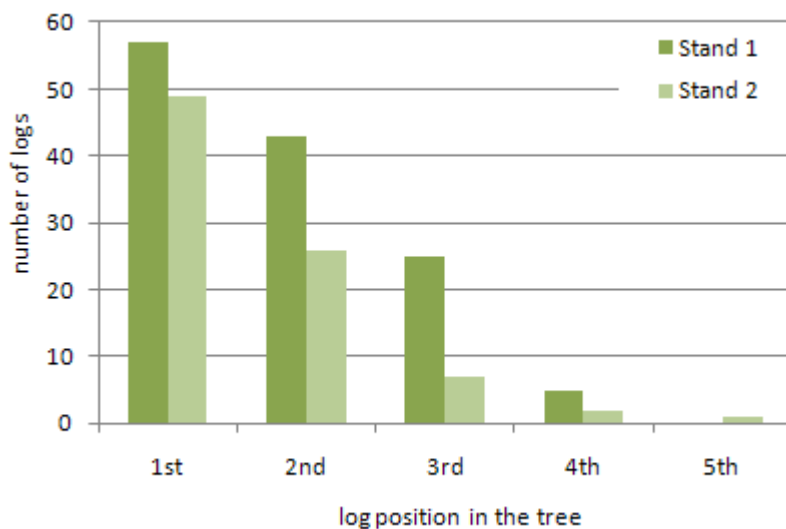


Figure 4.1 Log height class distribution

The log quality was afterward determined using the provincial classifications system (MRNFQ 2007b). According to this grading system, half of the logs (48.8 %) were classified in the lowest sawlog category (C), while 21.9% of the logs were classified in the higher quality sawlog category (B). Only 0.5 % of the logs were classified in the veneer quality category (A). Some of the logs classified in the lowest sawlog grade (F3) in the Petro classification were classified as pulp logs in this classification system. They were, for the sake of this study, included with short logs (E) and this category (D-E) represented 28.8% of the logs (Figure 4.2).

The boards produced after sawing these 215 logs constitute the research material of this study; a total 2284 boards were studied. Board dimensions were variable; ranging from 1.2 to 3.6 (4 to 12 feet) in length and from 7.62 to 33.02 cm (3 to 13 inches) in width, but they had a constant thickness of 4/4 (2,54 cm or 1 inch). All boards were dried in a conventional kiln drier in the following month of the sawing for both stands. A mild schedule with a maximal dry-bulb temperature of 140°F was used in order to limit color change and checks (Normand 2004). Finally boards were surfaced by a moulder (*Weinig Unimat 23 EL*) to get a fresh and clean surface to study wood color.

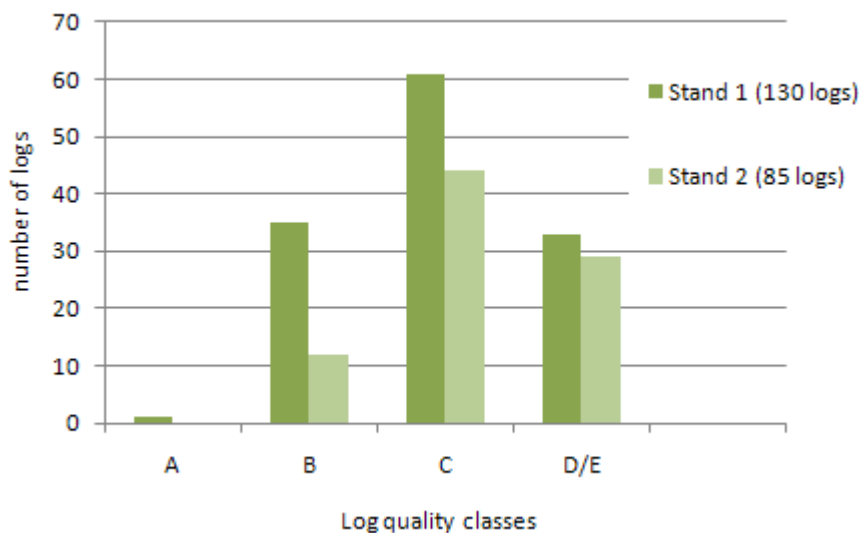


Figure 4.2 Log quality distribution - (MRNFQ2007b)

4.4.2 Colorimetric analysis

The colorimetric information for each board was collected using the BoréalScan (Caron 2005); an industrial scanner developed for the wood furniture industry by the CRIQ (*Québec's Industrial Research Center*). The complete methodology employed to obtain this information is described in Drouin et al. 2009. The percentage of discoloration per board and the colorimetric values of the sapwood and discolored wood zones were obtained through a segmentation of every image using a software developed for the scanner; *CRIQTraitement*.

The mean color of each board, and each sapwood/discolored wood region, was determined by the software, based on the CIE $L^*a^*b^*$ color system (HunterLab 2008b). In this three-dimensional colorimetric space, the L^* coordinate informs about the luminosity of the color evaluated, the a^* and b^* coordinates are chromatic values. They inform about the position of the object on the red-green axis (a^*) and the yellow-blue axis (b^*).

4.4.3 Statistical analysis

The colorimetric values ($L^*a^*b^*$) and the proportion of sapwood/discolored wood were analyzed statistically using the SAS software version 9.1 for Windows (SAS Institute 2003). A multiple regression model was used to test and model simultaneously the effects of the log quality and the log position in the tree on these dependent variables. The mixed model procedure was used to take into consideration the random effects associated with the hierarchical nature of the data set i.e. board, log, tree and stand associations. The significance threshold used in this study was $\alpha = 0.05$.

4.5 Results and discussion

4.5.1 Proportion of discolored wood

The effect of the log position and log quality on the proportion of discoloration in paper birch boards was considered. It was found through statistical analysis that neither the log quality nor the log position in the tree induced significant differences on the proportion of red heart in the boards analyzed. It can be noted that both log grading systems (Petro and Calvert 1976 and MRNFQ 2007b) have been evaluated in separate statistical mixed models and the conclusions were the same for both analyses (Table 4.1).

Table 4.1 Effects of the independent variables on the colorimetric parameters ($Pr > F$)

variable	L* sapwood	a* sapwood	b* sapwood	L* discolored wood	a* discolored wood	b* discolored wood	% of discolored wood
Log position	0.5817	0.6885	<.0001*	0.0016*	0.0021*	0.3522	0.1531
Log quality MRNF	0.5855	0.3317	0.1207	0.1344	0.0006*	0.2908	0.3583
Log quality Petro et Calvert	0.3317	0.8562	0.1232	0.1177	0.0004*	0.3428	0.3283

* Shows a significant effect of the independent variable on the dependant variable ($p < 0,05$)

It was hypothesized that log quality would affect the proportion of discoloration in the boards. This hypothesis was not confirmed by the statistical results. Therefore, according to the results of this research the choice of the logs based on quality classes should not

influence the extend of discoloration in paper birch boards. In other words, this study was not able to establish a clear link showing that boards coming from lower quality logs contain higher percentage of red heart. This outcome suggests that the proportion of discoloration in the logs was not the main factor degrading them or that the defects that degraded the logs were not related to large proportions of discoloration. Moreover, it is noteworthy to remember that there were only few high quality logs (veneer logs or F1 sawlog grade) in this study. It would be interesting to study more of these logs to determine if their subsequent boards present less discoloration.

The log quality directly affects forest royalties paid to the provincial government by the industries operating on Crown land for the wood harvested each year. Royalties are calculated considering the pricing zone and the log quality, and adjusted each quarter to the market prices (MRNFQ 2008). Table 4.2 presents the averaged prices for the 187 provincial pricing zones for paper birch standing volumes in fall 2008. It can be observed that the wood prices greatly vary among log qualities, especially for the veneer (A) class that is approximately 16 times higher than the highest sawing quality class (B). Between the two principal sawing quality classes B and C, a difference of 3.5 \$ per cubic meter exists. Therefore, given the results presented above, showing that a change in log quality does not induce significant changes in the proportion of discolored wood in the boards are of interest. Companies buying lower sawing quality logs do not have to expect higher proportion of discoloration in their raw material.

Table 4.2 Value of standing paper birch timber in Québec for the fall 2008 quarter

Paper birch quality classes	mean	max. \$/m ³	min.
A	28.6	75.5	21.9
B	4.5	19.8	3.2
C	0.5	5.4	0.2
D, E	0.2	0.2	0.2

Source : (MRNFQ 2008)

In order to get a deeper understanding about the wood quality evolution, the link between the tree vigor and the log quality has been analyzed (Figure 4.3). It can be seen on figure

4.3 where the proportion of logs of each quality is given for every tree vigor classes (MSCR classification), that there is no clear trend showing that the less vigorous trees produced logs of lower quality. On the contrary, the highest proportion of the higher quality sawlog (B) was found in the less vigorous tree category (M). These same trees also produced the highest proportion of the lowest quality logs (D-E) and the lowest proportion of the medium quality logs (C). These results are in accordance with the results presented in the previous paragraph, i.e. just as high quality logs did not guarantee to obtain less discoloration in the subsequently produced boards, the good quality of a tree, determined by the MSCR classification does not assure to obtain high quality logs after bucking. Once again, if more high quality logs were studied and if the pulp logs were kept in the process, we might have obtained different results.

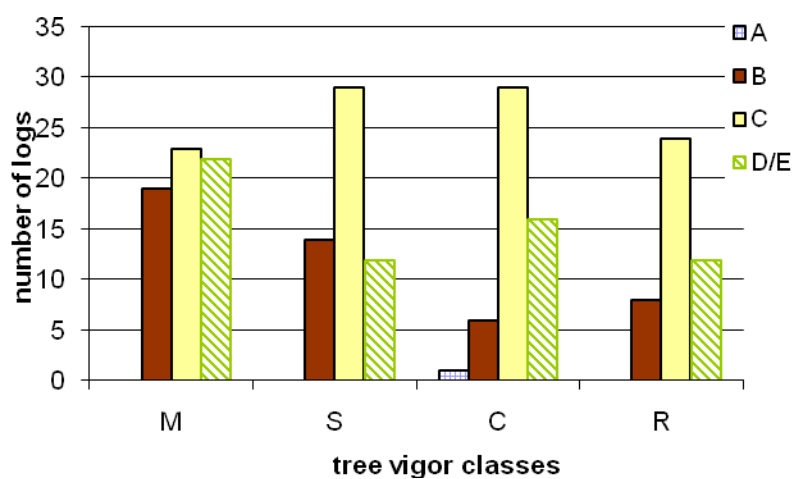


Figure 4.3 Relationship between tree vigor and log quality

The relationship between the proportion of discolored wood in paper birch boards and the log position in the tree was assessed, no significant effect was found. It was hypothesized that a relationship would exist between these variables because previous studies observing the distribution of the red heart in birch stems have found that this discoloration column does not have a perfect cylinder shape from the bottom to the top of the stem (Hallaksela and Niemistö 1998; Belleville et al. 2008; Giroud et al. 2008). Consequently according to their findings, there would have been more red heart in the butt logs where spindle shaped discoloration was at its maximal diameter. Nevertheless this hypothesis was not supported

by the results of the present study. However, when the proportion of discoloration per board is plotted against log height class in a graph, a certain trend can be observed where more discoloration is found in the second and third logs (Figure 4.4), positions that are closer to the tree crown where the discoloration processes are believed to start. Nevertheless, the large standard deviations related to these values masking our observations and prevent us from making any conclusions.

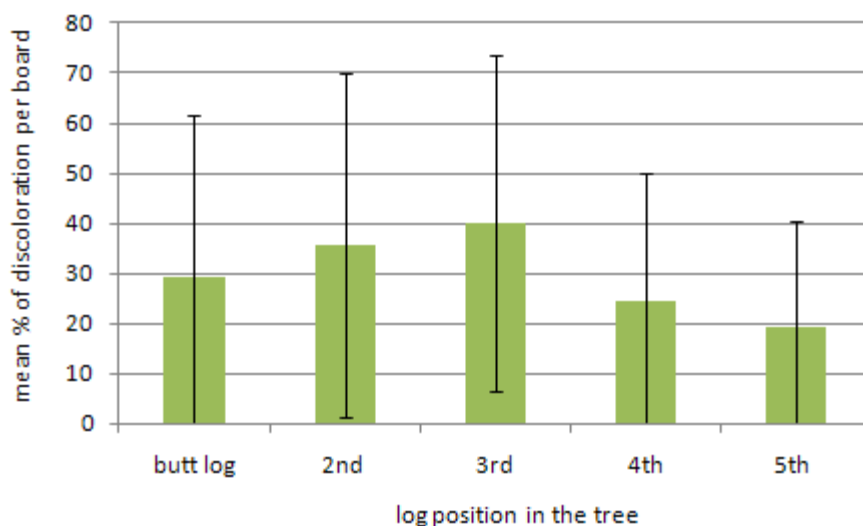


Figure 4.4 Average percentage of discoloration per board in relation to log position in the tree

4.5.2 Colorimetric observations

The effect of the log position and log quality (MRNFQ 2007b) on the board colorimetric parameters was furthermore evaluated. The results are summarized in table 4.1. It can be seen firstly that the color of the discolored wood areas was slightly more influenced by these log variables than the color of sapwood areas. Secondly, the log position influenced more colorimetric variables than the log quality in both systems (Petro and Calvert 1976, MRNFQ 2007b).

The log position in the tree had a significant effect on the sapwood yellowness (b^*). Significant differences were found between log positions 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-3, 2-5 and

3-5. The relation shows that when going up in the tree the paper birch wood gets more yellow (Figure 4.5). The luminosity (L^*) and redness (a^*) of sapwood was not influenced by the log height class. Similar results were obtained for beech wood (Shengquan et al. 2005) where no effect of the position in the tree on the colorimetric parameters was found. Conversely, for Scots pines, the luminosity of the wood raised when going higher in the tree (Grekin 2007).

The effect of the log position on the color parameters of the discolored wood zones was significant on the luminosity and the redness parameters. Significant differences were found between the first and second log positions and the first and the third positions for the luminosity values and for the redness values (Figure 4.5). According to the statistical results, the bottom log tends to have a higher luminosity and a lower redness than the second and third logs. Among discolored wood zones yellowness was not significantly affected by the log height class in the tree.

The differences between the log quality induced a significant difference on only one of the six colorimetric parameters considered: the redness (a^*) of the discolored wood, for both grading systems (Petro and Calvert 1976 and MRNFQ 2007b). In the provincial system (MRNFQ 2007b) the results show significant differences between the redness of the A and D log classes, the B and C classes, as well as between the B and D quality logs. In both cases the B quality logs presented a wood that was redder than the C and D classes (Figure 4.6). The data does not allow concluding to an important effect of log quality on the color of paper birch boards.

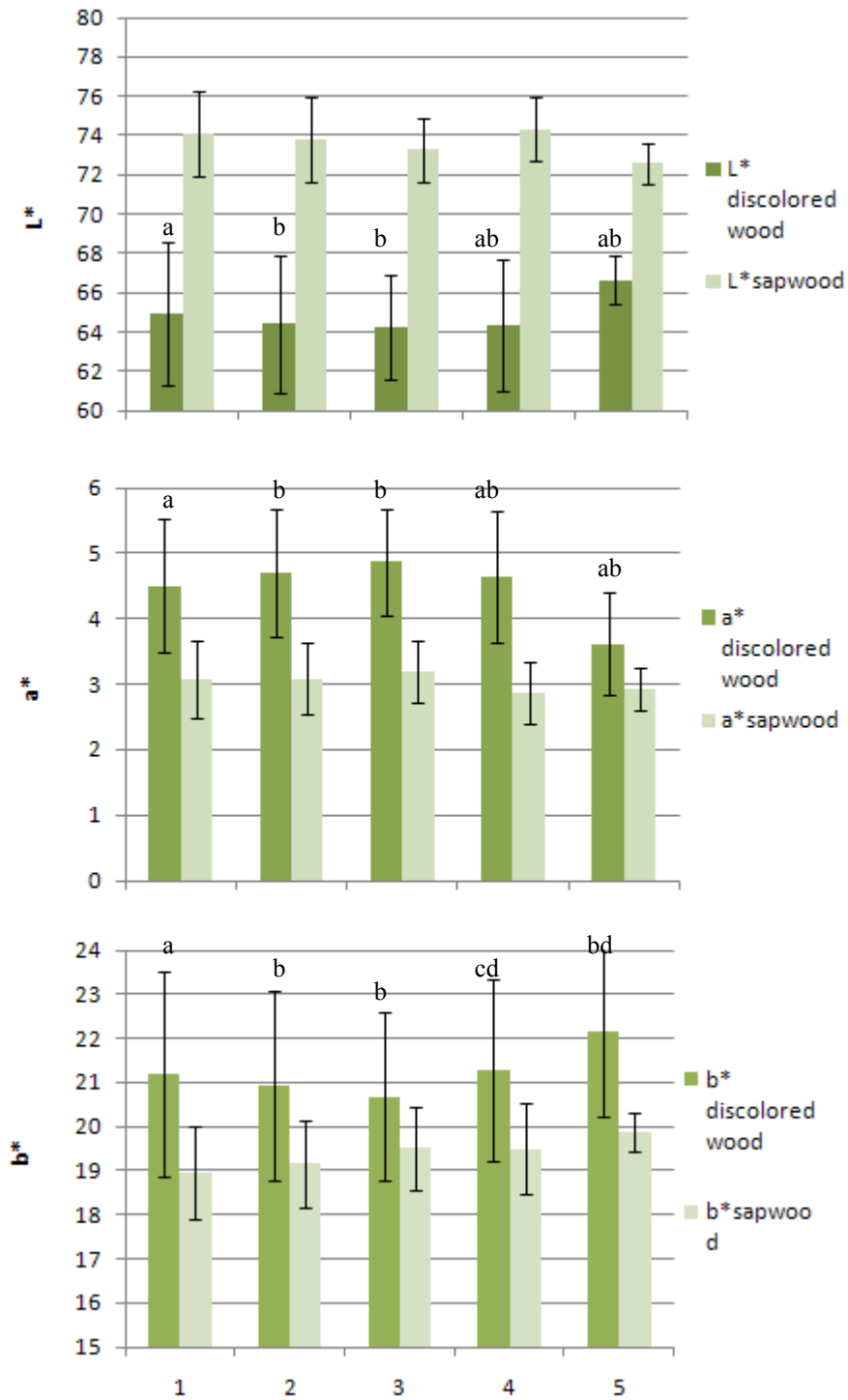


Figure 4.5 L*, a* and b* color parameter in relation to log height class (average and standard deviation)

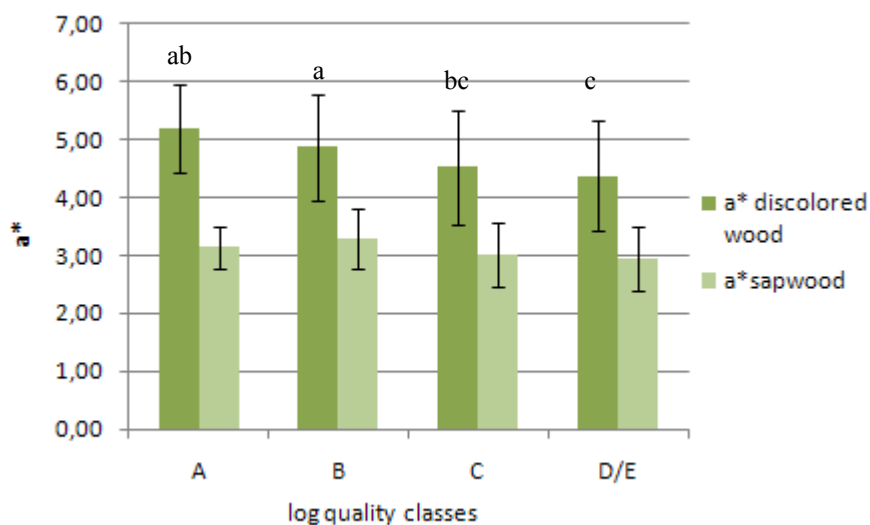


Figure 4.6 Wood redness (a^*) in relation to log quality classes (average and standard deviation)

4.5.3 Random variations

The hierarchical nature of the data set was taken into consideration in the model via the utilization of random effects. Through this procedure, the association between the boards, logs, trees and stand is considered in the distribution of the variance in the model. The between stand, between tree, between log and between board variations were measured through the covariate parameters where the between board variation corresponded to the residual term (Table 4.3 and 4.4). Based on the total random variation of the model, the most significant source of variation encountered was most of the time between the residual term and the tree effect. These results confirm that taking into account the random variables helped to specify the model and that the fixed effects considered had a significant contribution in the model. Moreover, the high percentages obtained for the residual term demonstrate that most of the measured variations come from the random variability that exists between boards. The fact that the between tree parameter was always significant expresses that there is an effect of the tree on the wood colorimetric variables evaluated. In other words, boards coming from the same tree share some similarities in their colorimetric information. The log effect was found to be significant only for the b^*

sapwood parameter while the stand effect did not play any significant role in explaining these color variations.

Table 4.3 Covariance parameter estimates for the percentage of discolored wood per board

Covariance parameters	Percentage of discolored wood		
	estimate	%	Pr > Z
stand	0.04450	22.05	0.2435
tree	0.03655	.	< 0.0001*
log	0	0	.
Residual	0.1208	59.84	< 0.0001*

* Shows a significant effect of the independent variable on the dependant variable ($p < 0.05$)

Table 4.4 Covariance parameter estimates for sapwood and discolored wood colorimetric values

Covariance parameters	L*			a*			b*		
	estimate	sapwood %	Pr > Z	estimate	sapwood %	Pr > Z	estimate	sapwood %	Pr > Z
stand	2.3825	42.35	0.2424	0.08307	22.52	0.2469	0.3450	29.13	0.2435
tree	1.5310	27.22	< 0.0001*	0.1526	41.37	< 0.0001*	0.2627	22.18	< 0.0001*
log	0.0926	1.65	0.0131	0.001486	0.40	0.2580	0.06807	5.75	< 0.0001*
Residual	1.6187	28.78	< 0.0001*	0.1317	35.70	< 0.0001*	0.5084	42.93	< 0.0001*

	L*			a*			b*		
	estimate	Discolored wood %	Pr > Z	estimate	Discolored wood %	Pr > Z	estimate	Discolored wood %	Pr > Z
stand	4.2485	28.14	0.2434	0.4974	42.29	0.2407	0.1078	2.12	0.2712
tree	3.4766	23.03	< 0.0001*	0.06607	5.62	< 0.0001*	0.6980	13.73	< 0.0001*
log	0.1540	1.02	0.1444	0.01465	1.25	0.0799	0	0	.
Residual	7.2169	47.80	< 0.0001*	0.5980	50.85	< 0.0001*	4.768	84.15	< 0.0001*

4.6 Conclusion

A previous study demonstrated how color of paper birch wood varies between the stems, where tree age, diameter and vigor were studied. In this present study, the variation at the log level was analyzed to discover how the log properties are linked to the differences in wood color. The log position in the tree and the log quality were assessed as possible variables influencing paper birch board coloration and the red heart distribution within these boards.

The results obtained lead to the conclusion that the log parameters evaluated had only a minor impact on the colorimetric characteristics of paper birch wood. It can be seen that neither the log position nor the log quality influenced significantly the percentage of

discoloration in the boards. Therefore, these results did not allow the validation of the research hypotheses. When considering the $L^*a^*b^*$ values of the sapwood and discolored wood zones, some of these values were significantly influenced by the log position and the log quality. Log position in the tree was found to significantly influence sapwood yellowness (b^*) as well as discolored wood luminosity (L^*) and redness (a^*). Log quality on the other hand significantly influenced only the sapwood redness (a^*). These variations being different among the sapwood and heartwood regions, it is hard to draw clear conclusions about the effect of the log position and log quality on paper birch wood color.

In practice, it can be said that according to these results, buying logs of different quality is unlikely to influence the proportion of red heart in the boards subsequently produced. In this study, sawing lower quality logs did not produce boards with more discoloration. On the other hand, it has to be remembered that, only the sawing quality material was retained in a first time following the log grading and only the usable boards were retained in a second time, following the board grading step. This was done with the objective of evaluating the presence of discolored wood and the variability of the colorimetric parameters of paper birch wood of industrial quality, in the context of birch utilization for appearance products. It can be hypothesized that if all the material was kept during all the steps, there would have been more discoloration in the board finally produced. Moreover, it would have been interesting to process more of high quality A logs to determine if logs, rejecting more severely external defects, would have produced boards with a higher proportion of sapwood.

Chapitre 5. Impact of paper birch tree characteristics on lumber color, grade recovery and lumber value.

5.1 Résumé

L'objectif principal de ce travail est de déterminer l'impact des caractéristiques des tiges de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) sur le rendement en qualité et en valeur des sciages. Les résultats ont porté sur l'analyse colorimétrique de 2284 planches issues de 168 tiges de bouleaux à papier, récoltés dans deux peuplements au Québec, Canada. Le diamètre des tiges a été la variable influençant le plus la qualité et la valeur des sciages. Les tiges de plus fort diamètre ont produit des sciages de plus grande valeur et de meilleure qualité tandis que la vigueur des tiges a semblé influencer plutôt la valeur des sciages. Les tiges les plus vigoureuses ont eu une valeur moyenne de 316.62 \$/m³, les tiges de vigueur moyenne, classées S et C, ont obtenu des moyennes respectives de 218.28\$/m³ et 251.84 \$/m, alors que les tiges les moins vigoureuses ont présenté la plus faible moyenne soit 165.94\$/m³. La qualité des sciages n'a pas été influencée par la vigueur des tiges et par leur âge; l'âge des tiges n'a également pas influencé la valeur des sciages. Lorsque sélectionnées pour la couleur, la majorité de la superficie des planches étudiées a été classée dans la catégorie aubier (50%), 4% des superficies ont été classées rouge alors que pour 28% des superficies l'aubier et le bois coloré étaient présents simultanément. Cette distribution de la couleur des sciages a été influencée significativement surtout par la vigueur des tiges et leur diamètre, alors que l'âge des tiges a eu un impact plus faible. De façon générale, les tiges de plus fort diamètre, moins vigoureuses et plus âgées ont présenté moins de planches classées *aubier* et plus de planches classées *rouge*. Enfin, les résultats de cette étude encouragent la pratique de traitements sylvicoles visant à produire des tiges de fort diamètre afin d'obtenir des sciages de hautes qualité et valeur.

5.2 Abstract

The aim of this research is to assess the impact of paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) tree characteristics on wood color variability, lumber grade recovery and value. Current results are based on 2284 paper birch boards coming from 168 trees harvested in two different stands in Québec, Canada. Results showed that tree diameter was the most important variable affecting board quality and value. Larger trees were associated with higher board quality and higher lumber value per tree. Lumber value per tree was as well influenced by tree vigor but not by tree age. Most vigorous trees produced higher board value with an average of 316.62 \$/m³, middle vigor classes showed average values of 218.28\$/m³ and 251.84 \$/m³ while the less vigorous trees had the lowest average with 165.94\$/m³. Board quality was not influenced by tree age and tree vigor. When selected for color, the majority of the board surface area fell under the *sap* category (50%), while 28 % were classified as *regular* presenting simultaneously both colorations and finally only 4% of the board area was classified as *red*. It was found that the most important variable affecting this board color distribution were mostly tree vigor and tree diameter whereas tree age had also a significant but lesser impact. In general, older, larger and less vigorous trees tend to present higher proportions of boards classified in the *red* category. Finally the results obtained in this study tend to support the practice of silvicultural treatments aiming to produce larger trees yielding higher value and quality boards.

5.3 Introduction

Paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) is nowadays becoming an interesting alternative to the high-value species traditionally transformed by the sawmilling industry in Québec (Canada). It is frequently used in association with yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) in several wood appearance product applications; its pale and homogeneous sapwood is suitable for many indoor uses. It tends to develop a darker brown-reddish discolored wood around the heart location that generates boards contrasting in coloration, a situation which is challenging when producing homogeneously colored wood products.

The brown-reddish discoloration found in paper birch wood is considered as a traumatic heartwood in the literature (Shigo 1967, 1986, Shigo and Larson 1969, Shigo and Hillis 1973, Hallaksela and Niemisto 1998, Campbell and Davidson 1941, Allen 1996, Boulet 2005, Siegle 1967 and Basham 1991). In opposition to normal heartwood that is related to aging processes, traumatic heartwood also called red heartwood or false heartwood, would be a result of processes associated with tree injuries, tree internal defense and the action of micro-organisms. Its importance in paper birch resource and products has been assessed by a number of authors. Basham (1991) found that discoloration represented 70% of the white birch volume of defects, sampling 936 trees in a province wide survey in Ontario, Canada. Giroud et al. (2008) reported that discolored wood corresponded to 13.3% of the tree merchantable volume; a proportion obtained measuring 18 paper birch trees. In a study where 12 paper birch stems were dissected into more than 200 smaller stem sections, Belleville et al. (2008) found that 98 % of those stem sections presented some discolored wood. Campbell and Davidson (1941) reported that most of paper birch trees older than 50 years presented some discoloration while they qualified this presence as considerable in trees older than 70 years. Finally, Brière (1992) mentioned red heartwood as the most important defect in paper birch for appearance products, small knots and bark inclusions being second and third in importance.

The link established between paper birch wood discolorations and tree defect pushes to analyze the relationship between tree vigor and wood color as well as lumber recovery. In

the province of Québec, tree selection has become the main silvicultural strategy to manage uneven hardwood stands. Under this system, a recent tree classification system is used to determine tree vigor based on external tree defects, the MSCR classification (Boulet 2005). Trees classified as M (*mourir*) standing for dying stock and S (*survie*) standing for surviving stock, correspond to the less vigorous trees. Trees classified as C (*conserver*), standing for growing stock, and R (*réserve*), standing for premium growing stock, are assigned to the most vigorous trees. These MSCR classes correspond to priorities for harvesting, M being the highest harvest priority. The impact of this new classification system (MSCR) on board recovery was assessed (Duchesne 2006) and it was found that it takes twice the number of dying trees (M) to produce 1000 board feet of lumber compared to the most vigorous trees (R). The total average revenue (sum of revenues from lumber, wood chips and sawdust) per net cubic meter (m^3) of stem (based on a stem volume without decay) was 90.99\$/ m^3 for the M trees and 163.08\$/ m^3 for the R trees, when boards were unselected for color. When selected for color, these values reached respectively 95.50 \$/ m^3 and 194.90\$/ m^3 . Consequently following these results revenues of sawmills are expected to decrease in the future due to their obligation to harvest less vigorous trees in priority, and this until hardwood stands recover some of their vitality.

Concerning board quality, as the majority of the hardwood lumber traded in North America is remanufactured into other products, paper birch lumber is commonly classified according to the National Hardwood Lumber Association rules (NHLA 2007). The most common grades for birch are FAS, FAS-One face, Select, No. 1 Common, No. 2A Common, No. 3A Common and No. 3B Common. All boards below these grades in the study are allocated for the pallet category. The minimal requirements determining these grades are linked upon the final end-use attributes. The higher grades, FAS, FAS-one-face and Selects, provide long clear pieces suitable for moulding, joinery and furniture pieces requiring long and wide cuttings. Lower grades such as No. 1 Common and No. 2A Common contain smaller cuttings appropriate for furniture components as well as for flooring and cabinets. The lowest grades are for industrial use. For all grades the minimal requirements are determined on the poor face of the board except for FAS-One face and Select where the better face must meet FAS requirements and the poor face must meet No. 1 Common requirements.

Under these grading rules birch is normally unselected for color, meaning that wood color is not considered in the quality assessment. However, homogeneously colored boards can be set aside for a premium price under the *red* and *sap* categories for most of the NHLA classes. For a board to get the *red* birch assignment, each of the cuttings must have one clear heartwood face of uniform dark color. Similarly, for *sap* birch, each of the cutting must have one clear sapwood face of white color. These two specific color based classes are sold at a higher price on the market (Table 5.1).

Table 5.1 Paper birch lumber prices

NHLA categories	REGULAR	RED	SAP
	US \$ / Mbf ^a		
FAS	1055	1360	1335
SEL	1035	1340	1315
#1C	650	955	930
#2A	415	720	695
#3A	285	590	565
#3B (pallet)	225	–	–

Source : Hardwood Market Report, March 14 2009
a : 4/4, Green, rough, random widths and lengths

Previous studies assessed the potential sources of variation of paper birch wood color at the tree level (Drouin et al. 2009a) and at the log level (Drouin et al. 2009b). It was found that tree diameter and tree vigor were the two most important variables affecting the proportion of discoloration in boards, while tree age, log height class and log quality did not significantly affect this proportion. Larger and less vigorous trees produced boards with higher amounts of discolored wood.

The objective of the present study is to establish the relationship between birch tree characteristics and lumber value per tree as well as grade recovery, including color selection. It draws a portrait of the value and quality of the paper birch wood products obtained from 122 trees harvested in Québec for the two previous studies.

5.4 Material and methods

5.4.1 Material collection and preparation

Paper birch stems were collected in two stands located north of the Laurentian region in the province of Québec, Canada (N47°, W74°). In the winter of 2005, 100 paper birch stems were selected in an overmature mixed stand. Two years later 68 stems were selected in a second stand of younger trees and located less than a kilometer away from the first one. Trees were selected upon the MSCR tree classification established by the Québec Ministry of Natural Resources and Wildlife (Boulet 2005) in order to get a fair distribution in each class. Thirty-two percent of the trees were classified as M (*dying*), 26% as S (*surviving*), 22% as C (*growing*) and 20% as R (*premium*).

Trees of the first stand were harvested at the end of March 2005, left in the forest with their branches intact until June 2005. Trees of the second stand were harvested and delimbed on site in October 2007. These full length trees were afterward cut into logs following optimized slashing based on Petro and Calvert (1976) rules for log quality. Including both stands, a total of 447 logs were produced out of which 215 were sawlogs and 232 were pulpwood. These logs originated from 68 of the 100 previously selected trees in the first stand and from 54 of the 68 selected trees in the second stand, while the remaining trees yielded only pulpwood logs.

For those 122 trees which produce sawlogs, the diameter at breast height (DBH) ranged from 24 cm to 66 cm, with an average of 33 cm for both stands. Tree ages ranged from 46 to 154 years, with a mean of 101 years. While most of the trees coming from the first stand were older than 100 year with an average of 122 years, trees of the second stand were younger than 100 years with an average of 74 years.

Log quality was assessed and measured under the provincial grading system (MRNFQ 2007b) for which logs are classified either as A for veneer logs, B and C for sawlogs, D for

pulp wood and E for short logs, and under a similar system; the Petro and Calvert (1976) for which sawlogs are classified as F1, F2 and F3 and short logs (F4).

These logs were sawn into boards in hardwood sawmills, using a sawing around pattern, in June 2005 for the first stand and in October 2007 for the second stand. In the first sawmill the central blocks were not transformed directly. They were resawn into boards on a “WoodMizer” portable sawmill shortly after. From those operations a total of 2284 usable paper birch boards were produced.

The produced boards had dimensions that ranged from 1.22 to 3.66 meters (4 to 12 feet) in length and from 7.6 to 33.0 cm (3 to 13 inches) in width with a constant thickness of 4/4 (2,54 cm or 1 inch). These boards were graded under the National Hardwood Lumber Association (NHLA) grading rules (NHLA 2007) prior to drying. In addition, selection for color was realized meaning the red and sap categories were assigned to homogeneously colored boards.

All boards were dried by conventional kiln drying in the following month of the sawing for both stands, according to a mild schedule that reached a maximal temperature of 140° F (Normand 2004). They were planed on both faces using a moulder (*Weinig Unimat 23 EL*) to get a fresh and clean surface before scanning to study wood color.

5.4.2 Colorimetric analysis on paper birch boards

The colorimetric analysis was performed on board images acquired by an industrial scanner developed by CRIQ (*Centre de recherche industrielle du Québec*) for appearance wood applications, the *BoréalScan* (Caron 2005). For each board, two digital images were recorded, i.e. one on each face. Defects were automatically identified by the scanner. An image processing software developed for the scanner, *CRIQTraitement*, was used to view these images, to process them and to assess the colorimetric information. The software

allowed for the segmentation of the board images into two different zones representing the white wood and the discolored wood, based on the pixel color intensity.

5.4.3 Lumber value

Board prices were determined using the Hardwood Market report price list of March 14th 2009 (Hardwood Market Report 2009) (Table 5.1) which assigns a price for each NHLA grade. The prices, in US dollars per 1000 board feet, were assigned from birch in the Northern Hardwood table, and represent FOB (Free on board) mill prices for boards of random widths and lengths, 4/4, green and rough. Prices for the No. 3B Common category (pallets) was obtain from this same report under the pallet lumber for the 4/4 random widths. Prices for color selection were used, meaning that additional values of 305\$/Mbf and 280\$/Mbf were added for boards classified as *red* and *sap*, respectively.

Lumber value was determined on a tree basis. The lumber value per tree is the sum of the total value of all boards of a tree over the volume of these boards and is expressed in US dollar per cubic meter (US\$/m³).

6.4.4 Statistical analysis

Results were analysed using the SAS software version 9.1 for Windows (SAS Institute 2003). In the case of lumber value per tree, a multiple regression model was used to test and model simultaneously the effect of tree age, diameter and vigor on this variable. A mixed model procedure was used to take into consideration the random effects associated with the hierarchical nature of the data: i.e. the associations between trees belonging to the same stands. In the case of the NHLA and *red/regular/sap* distributions, logistic regressions were used due to the categorical nature of these dependent variables. Again the effect of tree age, diameter and vigor were assessed. Random effects were also added in these models, to consider the associations between the boards belonging to the same logs, trees and stands. The fact that these random effects were included in the model did not

allow using polynomial (or polychotomous) logistic regressions. Therefore, many binary (or individual) logistic regressions were used to compare separately each level of the variation of the dependant variables. According to Begg and Gray (1984), using numerous binary logistic regressions does not take away too much efficiency from the model and results are comparable to a polynomial logistic regression including the same comparisons. A Bonferroni correction (Hochberg et Tamhane, 1987) was applied on the probability values when assessing the tree vigor effect because of the multiple comparisons done between each of the MSCR classes.

5.5 Results

5.5.1 Grade recovery

The NHLA grading results as a percentage of the 2284 boards evaluated are presented in Table 5.2 along with the percentage on a surface area basis, with no consideration for color. The surface area is expressed in terms of surface measure (SM), a unit which corresponds to the surface area of a board in square feet. The value is rounded to the closest whole number.

Table 5.2. Lumber grade distribution when unselected for color

NHLA grades	% of total number of boards	% of board surface measure (SM)
FAS	0	0
F1F	0	0
Select	14.8	19
#1 Common	17.6	21
#2A Common	21.7	20
#3A Common	24.8	22
#3B Common (pallet)	21.2	18

When the number of boards is considered, the higher board frequency are found in the lower NHLA grades while the grade distribution is more evenly distributed on a board surface basis, not considering that no FAS or F1F board was found in the sample. The No. 3A Common category obtained the highest percentage of boards and of SM. It was followed by the No. 2A Common, No. 3B Common, No. 1A Common and Select categories, in terms of number of boards, while by the No. 1 Common, No. 2A Common, Select and No. 3B Common categories in terms of SM.

The effects of the tree characteristics on the NHLA grade distribution were analyzed using individual logistic regressions (two by two comparisons between every NHLA grades). Owing to the numerous comparisons realized (10), the Bonferroni correction (Hochberg et Tamhane, 1987) was used to adjust the significance level and therefore reduce the chances to commit type I error. The significance level (0,05) was divided by 10; the number of comparisons realized. Consequently the new significance level was 0,005.

Results show that tree diameter is the most important variable affecting the NHLA grade distribution in this study. In paired comparison between NHLA grades, it was found that, as tree diameter increased, the chances that boards are being classified in the superior quality also increased. These probabilities obtained a statistical significance for the following pairs of classes: Select - No. 2A Common, Select - No. 3A Common, Select - pallet, No. 1A Common - No. 2A Common, No. 1A Common - No. 3A Common, as well as No. 1A Common - pallet. For each of these pairs, the superior NHLA quality was favored when the tree diameter increased.

5.5.2 Selection for color

The previous results are for unselected boards meaning wood color was not considered in the classification. When selected for color, the following distribution of SM proportions was observed: 50% of the boards surface area was classified in the *sap* category i.e. the

cutting units in these board are uniformly covered by the sapwood pale color, 28 % of the boards SM was classified in the *regular* category in which board surface presents a mix of sapwood and discolored wood while only 4 % of the board SM was classified in the *red* category where boards present cutting units covered by the red heartwood. Pallet quality boards (No. 3B Common) are never selected for color since their application does not require appearance quality standards; they represented 18% of the total SM.

Figure 5.1 shows the distribution of this color classification among the NHLA grades. It can be observed that the surface area classified as *sap* always represents the highest proportion of SM for each NHLA categories and it is fairly equally distributed among these categories. Board surface area classified as *red* represents by far the smallest proportion of the total SM and it is found mostly in the lower NHLA categories. The highest proportion of SM classified as *regular* is found in the No. 3A Common category, followed by the Select, No. 1 Common and No. 2A Common categories.

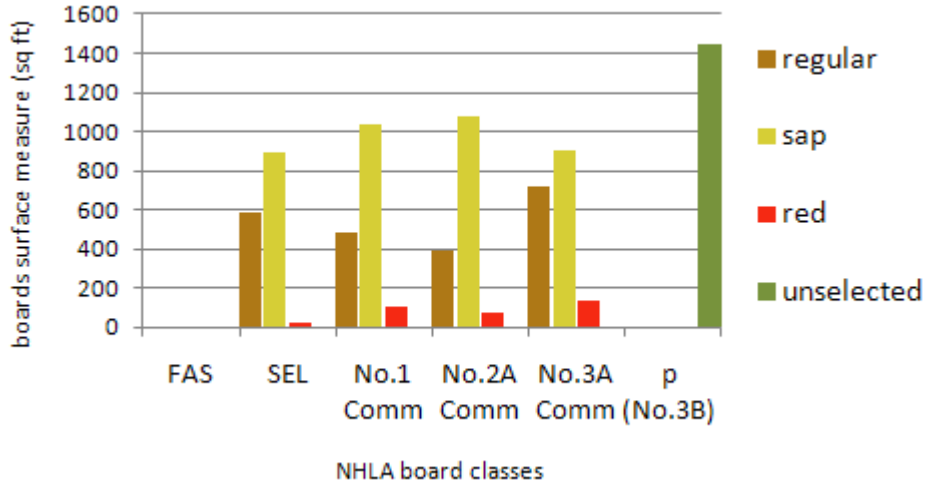


Figure 5.1 Distribution of the boards when classified for color, in each NHLA grade.

Logistic regressions were performed in order to determine which tree characteristics principally influenced this board color classification. Once again, owing to the numerous comparisons realized (3), the Bonferroni correction (reference) was used to and the new

significance level was 0,017. Results show that tree age, diameter and vigor all had significant impacts on the proportion of boards in these color classes, but not for every comparison.

When tree age increased, the probability to obtain sap boards instead of regular boards, decreased. In other words, older trees tend to produce fewer boards consisting entirely of white clear wood. This trend can be observed in Figure 5.2 presenting the descriptive statistics of the effect of tree age on the board color classification. It shows that the proportions of *red* and *regular* boards increase as trees get older while at the same time the proportion of *sap* board is decreasing.

Tree diameter significantly affected the probability to obtain *red* versus *regular* boards as well as *red* versus *sap* boards. In both cases, as tree diameter increased, the *red* category was favored meaning that larger trees produce more discolored wood. These trends are illustrated in Figure 5.3 where the proportion of *red* classified boards increases as the tree diameter increases.

Finally, the effect of tree vigor was significant on two comparisons (*red* vs. *sap* and *regular* vs. *sap*). In both cases, as the tree vigor increased the probability to get sap boards over red and regular boards also increased. Significant differences were found between the M and the R tree vigor classes, i.e. the least and the most vigorous trees, for both comparisons. Trees classified as M produced more of regular and *red* boards over *sap* boards compared to trees classified as R (Figure 5.4). In other words, the less vigorous trees produced less of clear white boards.



Figure 5.2 Effect of tree age on board color classification

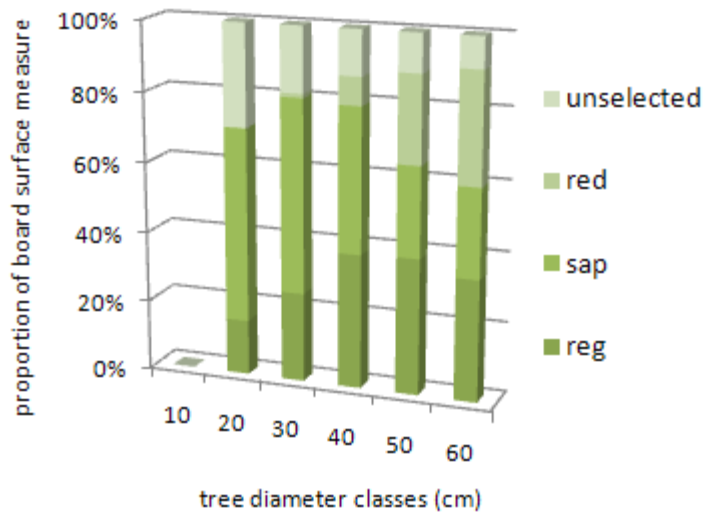


Figure 5.3 Effect of tree diameter on board color classification

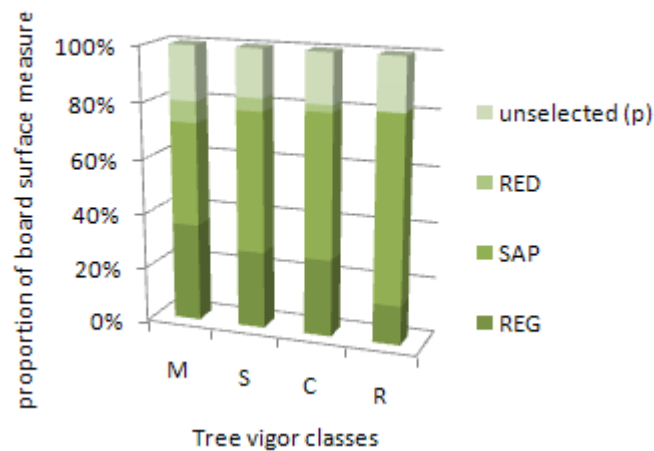


Figure 5.4 Effect of tree vigor on board color classification

5.5.3 Lumber value

Boards were allocated prices according to the Hardwood Market Report price list (Table 5.1 ,Hardwood Market Report 2009). When the total price obtained for all boards considered in the present study, was compared for boards selected for color and for unselected boards, it was found that selecting for color yielded a price premium of 18%.

Lumber value per tree was calculated. When all of the 122 trees of the study are considered, a mean value of 230.76 \$/m³ was obtained. The range of values was fairly large, from a minimum of 99.38 \$/m³ to a maximum of 412.62\$/m³, with a standard deviation of 58.49 \$/m³.

The effect of tree characteristics on the lumber value per tree was assessed. The statistical analysis showed that tree diameter and tree vigor had a significant effect on this variable, but not tree age ($p = 0.3122$). Larger diameter trees produced boards with a higher value per cubic meter (Figure 5.5). Regarding tree vigor, the most vigorous trees (R class) had an average intrinsic value of 316.62 \$/m³ when all boards were considered. Middle classes S and C showed averages of 218.28\$/m³ and 251.84 \$/m³ respectively. The less vigorous trees (M class) had the lowest average with 165.94\$/m³ (Figure 5.6). A significant

difference in the lumber value per tree was found for classes M and S only when the Bonferroni correction was applied. The random effect taking into account the variability associated to the stand was considered in the mixed model but was not found to be significant.

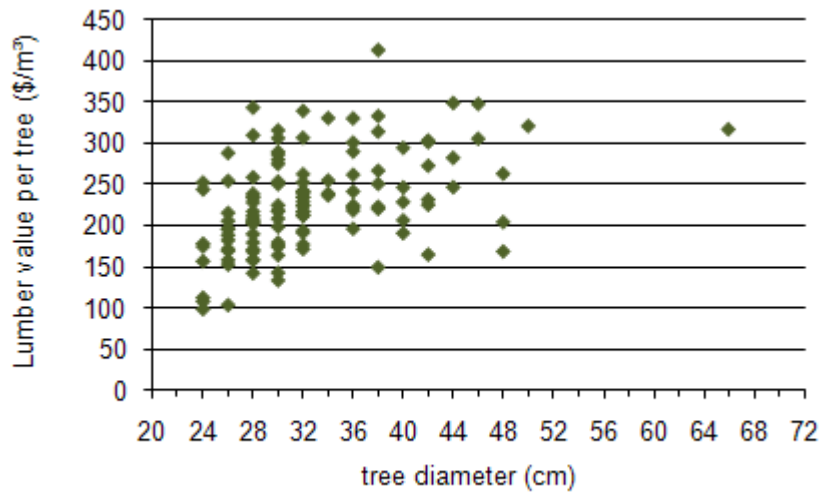


Figure 5.5 Lumber value per tree in relation to tree diameter (DBH)

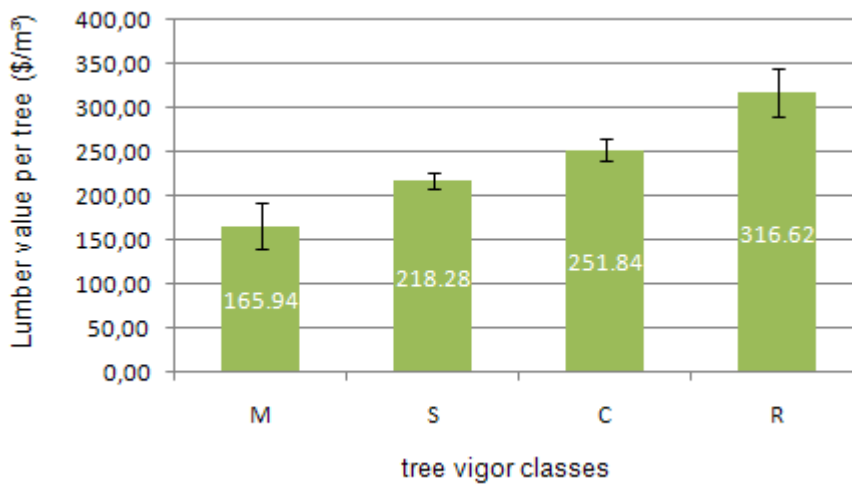


Figure 5.6 Lumber value per tree in relation to tree vigor (MSCR)

5.6 Discussion

The grade recovery results showed that the paper birches analyzed yielded a high proportion of low-grade lumber according to NHLA rules, with 60.3% of the total board surface area graded as No. 2A Common and lower. This situation is coherent with information carried in the literature for hardwoods in United States (Shepley et al. 2004, Smith et al. 2004, Cumbo et al. 2003, Wang et al. 2004). These studies examined the increasing proportion of low-grade hardwood lumber as well as the development of strategies to find better uses of these boards. Finding new markets for this lumber, as well as developing consumer acceptance for character marks, appear as solutions to obtain better use of low-grade hardwood lumber. Some of these authors suggest that the NHLA grading system might not be completely adapted to the different hardwood end-uses and developing house grades might be a way to overcome this difficulty.

Concerning the effects of tree characteristics on grade recovery, only tree diameter was found to have a significant effect. The fact that larger diameter trees produce higher quality boards can be explained by NHLA grading rule specifications for which the amount of cutting units per board is the main criteria for board classification. These rules are set as that higher quality grades are intended for a final product requiring long and wide pieces. Hence, larger trees produce larger boards in which it is easier to find the minimal cutting unit required for high quality standards. Tree age had a similar effect as tree diameter on grade recovery, but not as important. Older trees also showed higher probabilities to produce higher quality boards.

These results suggest that silvicultural treatments enhancing tree growth, such as partial cutting, would favor higher quality boards and therefore higher margins, mainly due to board size. These treatments should however be realized with precaution in order to limit stem wound or limb breakage inflictions, these wounds being known to induce discolored wood in paper birch stems. Waiting for longer harvesting rotation is another way to obtain larger and older trees that will produce higher quality boards. On the other hand, in the first part of this study, shorter rotations were suggested to limit the presence of red heartwood in

paper birch boards (Drouin et al. 2009a). Therefore a trade-off has to be made when taking silvicultural decisions to decide whether higher quality or paler wood is the most important. Tree vigor was expected to have a stronger influence on board quality while it did not affect individual logistic regression. The most important impact of tree vigor seems to be on the wood color. In a previous study Drouin et al. (2009a) found that the less vigorous trees i.e. trees presenting more external defects, produced boards with higher proportions of discoloration. In this study, tree vigor also had a significant impact on the board color classification; less vigorous trees favored regular and red boards over sap boards, meaning that more discoloration was found in boards coming from trees with more external defects.

Results concerning board selection for color showed that the most common category was the *sap* category, the white clear wood category. This result is consistent with what was established in the first part of this study where sapwood covered the highest proportion of the board surface (66.7%), when all boards were considered (Drouin et al. 2009a). Boards classified as *red* were infrequent and this scarcity is reflected on the market by their higher prices (Table 5.1). These high prices for red boards push to specify that discolored wood is not necessarily considered as undesirable by the appearance wood products industry. It is considered problematic when it is present simultaneously with sapwood on the same cutting areas like in boards classified as regular on which inconsistent patterns of sapwood and discolored wood appear. When using a raw material classified as *regular*, the creation of uniformly colored wood products consequently becomes a challenge. Boards classified as *red* present a uniform red coloration that favors the manufacture of homogeneously colored products, explaining the higher prices. However its scarcity makes it an interesting raw material but mostly for niche products. Finally, the major price difference between boards selected for color versus unselected allows saying that selecting for color enables recovering higher revenue and constitutes a real potential for added value.

The results obtained concerning the effect of tree age, diameter and vigor on the board selection for color were coherent with results from a previous study (Drouin et al. 2009a). This former study established that larger and less vigorous trees produced boards with higher proportions of discolored wood, the effect of tree age was similar but indirect,

through tree diameter. These same trees also produced higher proportions of boards classified as *red* and *regular* in opposition to *sap*.

Regarding the lumber value per tree variable, it was influenced mostly by tree diameter and tree vigor (MSCR), but not by tree age. Coherently with results concerning grade recovery, larger trees yielded higher lumber value per tree. Tree vigor that did not play an important role on the board quality under the NHLA distribution became a significant variable affecting the board value per tree when selected for color (Figure 5.4). This result strengthens the idea that the tree vigor impact on wood quality is principally on wood color. The more vigorous trees presented more boards classified as *sap* versus *regular* boards; therefore, higher values were obtained for these tree vigor classes. It could be thought that the fact that the less vigorous trees presented more *red* boards would have helped to increase the lumber value per tree, but the number of boards classified as *red* was too low to have a clear impact on the total lumber value per tree.

5.7 Conclusion

The objectives of this study were to determine grade recovery, board selection for color as well as lumber value for paper birch boards and to evaluate the effect of some tree characteristics on these variables.

The effect of tree characteristics on these lumber variables shows that tree diameter was the most important of the tree variables analyzed. Its influence on the grade recovery and on the lumber value per tree determined that, as trees diameter get larger the subsequently produced boards tend to reach higher qualities and values. Tree age influence was not as strong but had a certain impact, mainly board color and, in the same direction as tree diameter. Tree vigor mostly influenced board color and the lumber value per tree where most vigorous trees produced more sapwood and higher value boards. Overall, these results tend to support the practice of silvicultural treatments favoring the production of larger stems, through partial cuttings and, indirectly longer harvesting rotations; a solution to

produce higher value and quality boards. However it has to be remembered that this solution is also likely to increase the risk for wounds through time and to generate a more discolored wood in the boards. Consequently, the industrial production of homogeneously colored final products will be a challenge. Nevertheless, the outcomes concerning the importance of discolored wood and the high prices accorded to the *red* category suggest considering red heartwood as an asset from an economic perspective, but as a niche product considering its limited volume.

This study allowed drawing a general portrait of the value and quality of the sawn boards obtained from two paper birch stands in Québec. Better knowledge on the relationship between tree characteristics and the final product attributes will help to improve decisions in the field of silviculture and raw material acquirement for specific end-uses. As markets evolve over time, the key is to have better knowledge on the forest resource characteristics in order to use it the best possible way, and be able to select the trees that will be the most appropriate for the final targeted end-use, as wood quality always depends on the final utilization.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce projet de recherche était de définir les limites de variation de la couleur du bois de bouleau à papier et d'analyser l'impact des caractéristiques des tiges et des billes sur la couleur de son bois, sur la proportion de bois coloré dans les sciages obtenus ainsi que sur la qualité et la valeur de ces sciages. Ces objectifs ont permis de mieux comprendre l'origine de la variation de la couleur du bois de cette esp et de faire le suivi de l'impact de cette variation sur la qualité du bois, de la forêt à l'usine. À la lumière des résultats obtenus, plusieurs conclusions peuvent être tirées.

Dans un premier temps, il est possible d'affirmer que les sciages examinés dans cette étude ont présenté une grande variation dans la coloration de leur bois. L'analyse colorimétrique a présenté des différences significatives entre les valeurs du L^* , a^* et b^* de l'aubier et du bois coloré. Ce résultat a ainsi confirmé une différence réelle de teinte entre le bois de ces deux zones. Lorsque ces différences ont été observées plus rigoureusement, il a été possible de constater que la transition était plus abrupte pour les valeurs de luminosité (L^*) que pour les paramètres de couleur (a^* et b^*) entre ces zones. La composante L^* s'avère ainsi la plus utile pour décrire les changements de couleur dans le bois de bouleau à papier et si un seul paramètre devait être retenu pour caractériser les changements de couleur, le paramètre L^* serait le choix à faire. Stokke et al. (1995), ainsi que Fell (2004), en sont venus à la même conclusion, en évoquant la luminosité comme le paramètre qui varie le plus entre les différents changements de couleur et qui exprime le plus clairement les perceptions de l'œil humain. L'observation des écarts-types des valeurs moyennes de $L^*a^*b^*$ a permis de constater que les écarts-types associés aux valeurs de $L^*a^*b^*$ du bois coloré étaient toujours plus élevés que ceux des valeurs du bois d'aubier. Ce résultat exprime la plus grande homogénéité du bois d'aubier comparativement au bois coloré qui présente une coloration plus changeante donnant une apparence marbrée, qui est bien visible lorsqu'on observe les sciages à l'œil nu.

L'impact de la position et de la qualité des billes ainsi que de l'âge, du diamètre et de la vigueur des tiges sur ces paramètres colorimétriques a été analysé. Bien que certaines de ces variables aient eu une influence significative sur les valeurs de $L^*a^*b^*$, il est difficile de tirer des conclusions générales des résultats obtenus. À propos de l'influence des caractéristiques des billes, la position de la bille dans l'arbre a influencé significativement plus de paramètres colorimétriques que la qualité des billes. Il peut être dit en résumé que lorsque l'on monte en hauteur dans l'arbre, le bois d'aubier du bouleau à papier devient plus jaune alors que le bois coloré tend à être moins lumineux et plus rouge. La qualité des billes a influencé seulement un paramètre colorimétrique : soit le a^* du bois coloré qui tend plus vers le rouge pour les billes de meilleure qualité. Concernant l'influence des caractéristiques des tiges, la couleur du bois d'aubier a été influencée à la fois par le diamètre de l'arbre et l'âge de l'arbre mais pas nécessairement de la même manière. Les tiges de plus fort diamètre ont présenté un bois d'aubier moins lumineux (L^*), plus rouge (a^*) et plus jaune (b^*). D'un autre côté, les tiges plus âgées ont présenté un bois d'aubier également plus rouge, mais cette fois-ci moins jaune. Quant au bois coloré, une fois de plus l'âge et le diamètre des tiges ont eu des effets significatifs, mais sur moins de variables. L'âge a influencé la luminosité (L^*) et la teinte jaune (b^*) du bois coloré ; les tiges plus âgées ont présenté un bois plus lumineux et moins jaune. Le diamètre des tiges a influencé seulement la teinte rouge du bois coloré ; les tiges aux dimensions plus importantes ont présenté un bois coloré plus rouge. La vigueur des tiges n'a influencé aucun de ces paramètres colorimétriques. En somme, ces résultats ont indiqué que la couleur du bois de bouleau à papier varie légèrement selon les modalités des différentes variables explicatives observées dans cette étude, mais qu'il est difficile d'en tirer des tendances générales. Lorsqu'un de ces facteurs a eu un impact, ce n'était jamais sur tous les paramètres colorimétriques en même temps et ni dans le même sens.

Lorsque l'on s'attarde à la présence de bois coloré dans les sciages, les analyses ont démontré d'une part qu'en moyenne, 32,4% de la superficie des sciages était colorée. La distribution de cette proportion de bois coloré dans les planches a toutefois été très variable avec un écart-type de 33,3%. Plusieurs planches ne contenaient pas ou très peu de bois coloré, d'autres planches ont été entièrement sciées dans le bois coloré alors qu'un grand

nombre de planches présentent simultanément du bois coloré et du bois d'aubier à leur surface, en proportions variables. À l'échelle de l'arbre, la majorité des tiges de bouleau à papier analysées dans cette étude ont contenu du bois coloré, quoique parfois en très faibles quantités. Plus précisément, seulement 12 des 122 des tiges étudiées qui ont produit des sciages n'ont eu que des traces de bois coloré dans leur sciage. Il est donc possible d'affirmer que le bois coloré est présent de façon importante dans les tiges analysées dans le cadre de cette étude, mais le bois d'aubier de couleur désirable demeure toutefois présent en plus grandes proportions de la surface des sciages obtenus. Ce résultat a par contre été obtenu en analysant seulement les billes de sciages et non le bois de pâte dans lequel les proportions de bois coloré étaient possiblement plus importantes.

Le diamètre et la vigueur des tiges sont ressortis comme étant les deux variables ayant le plus d'influence sur la proportion de bois coloré dans les sciages. Les tiges de plus fort diamètre ont fourni des sciages contenant de plus grandes proportions de bois coloré. Quant à la vigueur des tiges, les tiges présentant plus de défauts externes, donc les tiges moins vigoureuses, ont fourni des planches contenant plus de bois coloré. Plus précisément, les tiges les moins vigoureuses (M) ont présenté un pourcentage moyen de 45.32 % de bois coloré, une moyenne plus élevée que celles des tiges de vigueur moyenne (S et C) 30.78% et des tiges les plus vigoureuses (R) 15.47 %. Ces résultats appuient la théorie du bois traumatique qui suggère que les défauts du bois sont des portes d'entrées pour la coloration. Bien que plus qualitative comme analyse, l'observation visuelle des images obtenues par le BoréalScan a permis d'appuyer cette conclusion puisque la majorité des défauts de surface des planches, dont la plupart sont des nœuds, étaient situées dans les zones de bois coloré. Ces observations suggèrent ainsi que ces ouvertures seraient impliquées dans la formation de bois coloré. En ce qui concerne l'âge des tiges, cette variable a eu une influence trop faible pour être significative dans ce modèle statistique. La qualité des billes et leur hauteur dans l'arbre n'ont pas influencé significativement le pourcentage de bois coloré dans les sciages.

La qualité et la valeur des sciages obtenus ont été évaluées dans le dernier volet de l'étude. Les sciages ont présenté, de façon générale, des rendements assez faibles en qualité. En

termes de nombre de planches, seulement 14,8% des planches étudiées ont atteint une qualité supérieure à la classe No. 1 Commun. Celles-ci se sont toutes situées dans la catégorie Choix, aucune n'ayant atteint les classes de qualité FAS et FAS-1-face. En terme de pourcentage de surface, c'est 19% de la superficie des sciages qui a atteint la catégorie Choix, 81% des superficies ayant été classées No.1 Commun et inférieur. La basse qualité des billes desquelles ces sciages provenaient peut expliquer en partie ces faibles rendements puisque la majorité d'entre elles étaient classées dans la plus basse catégorie de qualité des billes de sciages, soit F3. Au contraire, le lien entre la vigueur des tiges et la qualité des billes a été plus difficile à prédire. Les tiges ayant été sélectionnées en fonction de leur vigueur MSCR, un nombre de tige relativement égal était présent dans chaque classe de vigueur au début de l'étude. Toutefois, la distribution des billes obtenues suite au tronçonnage était inégale parmi les classes de qualité, la majorité d'entre elles ayant été classées dans les plus faibles qualités. Somme toute, le système de classement des tiges MSCR s'avère utile pour prédire la mortalité et le potentiel de croissance des tiges mais ne constitue pas un bon instrument pour prédire la qualité des billes qui en découlent et par le fait même la valeur monétaire des tiges. Pour en revenir à la qualité des sciages, les faibles rendements obtenus et les diverses utilisations possibles de ces sciages, portent à penser que des systèmes alternatifs de classement des planches (autre que NHLA) qui offriraient de meilleurs liens entre la qualité du bois et les besoins spécifiques des produits finaux seraient souhaitables. Plusieurs scieurs primaires ont déjà pris l'initiative d'établir leurs propres classes de qualité maison pour mieux répondre aux besoins spécifiques de leurs clients.

Lorsque sélectionnés selon la couleur la moitié de la superficie des planches étudiées a été classée dans la catégorie aubier, 4% des superficies ont été classées rouge alors que les 28% restant correspondaient à planches régulières présentant des superficies sur lesquelles l'aubier et le bois coloré étaient présents simultanément. Bien que les sciages classés rouge soient vendus à des prix supérieurs, ces résultats démontrent qu'ils ne correspondent qu'à une petite partie de la production, et ce même lorsque des billes d'assez basses qualités sont transformées. Dès lors, des stratégies d'aménagement forestier et de développement de produits favorisant cette catégorie de planche peuvent être intéressantes mais on doit garder

en tête que les produits qui en découlent doivent viser un marché de niche, la présence de ces sciages étant très limitée

La valeur des sciages par tige a été mesurée et a varié entre 99,38 \$/m³ et 412,62\$/m³, avec une moyenne de 230,76 \$/m³. Les résultats ont démontré que le diamètre des tiges est la variable qui a le plus influencé la qualité et la valeur des sciages. Les sciages provenant de tiges à fort diamètre avaient tendance à être classés dans les classes de qualité supérieures selon le classement NHLA et étaient de plus grande valeur. L'âge des tiges a influencé dans le même sens ces classements en valeur, mais pas aussi fortement que le diamètre. Quant à la vigueur des tiges, elle a eu un impact significatif sur la valeur des sciages obtenus mais pas sur la qualité. Les tiges les plus vigoureuses (R) ont obtenu la moyenne la plus élevée pour la valeur des planches avec une moyenne de 316,62 \$/m³. Les tiges de vigueur moyenne, classées S et C, ont obtenu des moyennes respectives de 218,28\$/m³ and 251,84 \$/m³, alors que les tiges les moins vigoureuses ont présenté la plus faible moyenne de valeur soit 165,94\$/m³. Des résultats similaires ont été trouvés par Duchesne (2006) qui a présenté les revenus moyens par m³ net de tige pour chacune des classes MSCR. L'impact du classement MSCR a été dans le même sens que dans la présente étude, c'est-à-dire que les tiges les plus vigoureuses (R) ont obtenues les revenus les plus élevés (163,08 \$/m³) alors que les tiges les moins vigoureuses ont obtenus les rendements les plus faibles (90,99\$/m³). Les écarts entre ces dernières valeurs et les valeurs de la présente étude s'expliquent d'une part par les valeurs utilisées dans l'équation; alors que dans le premier cas la valeur de tous les produits (sciage, copeaux, sciures et planures) a été utilisée, dans le deuxième seule la valeur des sciages l'a été. D'autre part, les listes de prix utilisées diffèrent également.

Comme il a été démontré que la vigueur des tiges n'a que très peu influencé la qualité des sciages, ces différences relatives entre les moyennes de valeurs pour les différentes classes de vigueur de tiges peuvent être expliquées par le fait que le classement MSCR influence plutôt la proportion de bois coloré dans ces sciages. De par les primes obtenues pour les sciages homogènes classés aubier, les arbres les plus vigoureux qui ont produit des planches au bois plus pâle et homogène, ont présenté les plus grandes valeurs moyennes.

Les tiges les moins vigoureuses ont quant à elles eu tendance à produire les plus grandes proportions de sciages classés rouges, donc ceux qui ont plus de valeur, mais en proportion trop faibles pour avoir un impact sur le rendement en valeur total.

L'approche statistique utilisée dans les analyses de ce projet a permis, en plus de considérer les effets fixes présentés ci-haut, de considérer aussi l'impact de certains effets aléatoires. La nature des données à l'étude poussait à considérer de tels effets puisque les variables réponses étaient observées à l'échelle de la planche, mais que cette évaluation était faite tenant compte du fait que les planches provenant d'une même bille, d'un même arbre ou d'un même peuplement. Les régressions multiples et les régressions logistiques réalisées dans le cadre de cette étude ont toutes considéré les effets aléatoires. En plus d'augmenter la précision du modèle, donc d'avoir des résultats plus certains pour les effets fixes, l'analyse des effets aléatoires a également permis de constater quelle source aléatoire était responsable de la plus grande partie de la variabilité. De façon générale, c'est la variabilité inter-planche (le terme résiduel) qui a le plus souvent présenté un effet significatif, suivie de la variabilité inter-arbre et enfin de la variabilité inter-bille. La variabilité inter-site n'a jamais été significative, les deux peuplements étant très similaires. Ces résultats indiquent que le fait que les planches proviennent d'un même arbre et surtout d'une même bille et d'un même site, n'ont pas eu trop d'influence sur leurs paramètres colorimétriques. Les plus grandes différences dans ces paramètres étaient observées lorsque l'on comparait deux planches qui n'avait pas nécessairement un lien bille, un lien arbre ou un lien site. Grekin (2007) dans son étude sur la variation de l'uniformité de la couleur du bois de pin sylvestre a également trouvé que les différences inter-planche représentaient les plus grandes sources de variabilité. Il a aussi trouvé que le site avait un effet significatif sur les paramètres se rapportant à la couleur étudiée. Dans la présente étude, l'utilisation de deux peuplements ne visait pas à conclure sur l'effet site mais bien d'obtenir un plus grand éventail d'âges de tige. Dû au nombre restreint de sites étudiés ainsi que leur proximité et similitude l'effet aléatoire lié au site n'a donc jamais été significatif. La mesure de la variabilité due aux sites nécessiterait de faire une autre étude en sélectionnant des sites contrastés.

Les résultats obtenus dans cette étude permettent d'orienter certaines stratégies sylvicoles. D'une part, si l'on souhaite limiter la proportion de bois coloré dans les sciages, il faut favoriser des révolutions plus courtes afin que les tiges n'atteignent pas des dimensions trop importantes puisque le pourcentage de bois coloré augmente avec le diamètre des tiges. Toute action qui à long terme améliorera la vigueur des peuplements aidera également à diminuer les quantités de bois coloré dans les sciages, qu'ils soient récoltés par jardinage ou par coupe de régénération. Le lien qui s'impose entre les branches cassées (et les nœuds) et la présence de bois coloré incite à croire que des conditions de croissances qui favoriseraient l'élagage naturel des branches en bas âge aiderait à diminuer les proportions de bois coloré dans les tiges. Si les branches meurent, sèchent et tombent lorsqu'elles sont encore assez petites, l'arbre arrivera à refermer plus rapidement la blessure ce qui limitera l'entrée d'air et de microorganismes.

Si d'autre part, on cherche plutôt à maximiser la qualité et la valeur des sciages, il semble que des révolutions plus longues aideraient à y parvenir puisque la dimension des tiges a été le facteur le plus influent sur ces rendements. Les tiges aux plus forts diamètres ont fourni des sciages de qualité et de valeur supérieures. Le système de classification NHLA étant basé sur la surface utilisable dans les planches pour une deuxième transformation, les tiges plus grosses ont fourni des sciages aux dimensions plus importantes donc qui atteignaient plus facilement les classes de qualités supérieures. Toutefois, ces mêmes tiges ont aussi fourni les sciages qui incluaient le plus de bois coloré.

La solution optimale d'un point de vue économique et opérationnel serait donc la production de sciages de dimensions importantes afin de fournir de hautes qualités NHLA, et à la fois sciés totalement dans l'aubier. En se basant sur les résultats obtenus dans cette étude, les tiges de forts diamètres et de grande vigueur doivent être favorisées dans les décisions sylvicoles pour obtenir le meilleur rendement en valeur. Toutefois, ces conditions semblent un peu paradoxales puisque de façon naturelle la dimension des tiges semble être corrélée négativement à leur vigueur, les tiges de plus fortes dimensions et plus âgées ayant développé plus de bois coloré au cours de leur vie de façon générale. Les diverses stratégies

sylvicoles servant à améliorer la vigueur des tiges et ainsi des peuplements devraient permettre à long terme de faire converger ces deux attributs.

En ce qui concerne la méthode employée au cours de l'étude, bien qu'elle ait présenté une amélioration face aux méthodes ponctuelles d'analyse de la couleur, elle présente toutefois certaines lacunes, notamment au niveau de la segmentation des images avec le logiciel. Premièrement une erreur a été commise en établissant les paramètres de la segmentation. Tel que mentionné dans la présentation des résultats, un filtre rectangulaire aurait dû être utilisé pour réaliser cette segmentation en deux zones de couleur alors qu'en réalité un filtre carré a été utilisé. La reprise de l'exercice avec un filtre rectangulaire permettrait donc des résultats légèrement plus précis. De plus, une fois réalisée, la segmentation n'est pas parfaite pour toutes les planches. Il a été difficile d'établir une limite de segmentation qui convienne aux paramètres de coloration de toutes les planches. Dans plusieurs cas, la ligne qui sépare le bois d'aubier du bois coloré ne passe pas exactement sur la ligne qui aurait été suivie si la segmentation avait été faite de façon manuelle. Toutefois, le pourcentage de surface mal zoné par rapport à la surface totale n'étant pas très important, la fiabilité des résultats ne semble pas compromise.

Enfin, à l'instar de tout projet de recherche, certaines contraintes de faisabilité et budgétaires ont imposé des limites à cette étude et ont possiblement affecté la qualité des résultats présentés dans ce document. Ces limitations de l'étude suscitent par conséquent quelques recommandations.

Tout d'abord, on peut noter certaines améliorations possibles quant au matériel utilisé. Bien qu'en général, le grand nombre de tiges utilisées ait permis d'obtenir un large échantillon de matériel offrant beaucoup de répétitions de planches, il aurait été intéressant d'échantillonner un plus grand nombre de tiges de plus jeune âge et conséquemment de plus petit diamètre afin de mieux comprendre le développement du bois coloré dès son apparition dans les tiges.

En second lieu, tel qu'attendu l'effet aléatoire lié au peuplement n'a pas été significatif dans cette étude; les deux peuplements ayant été choisis pour leur haute similitude et seulement pour couvrir une plus grande amplitude d'âge de tiges. Toutefois, afin de mieux saisir la variabilité de coloration intra-spécifique du bouleau à papier, il serait souhaitable d'étendre la recherche à plusieurs autres régions géographiques. Certains sont d'avis que le bois du bouleau à papier provenant du nord serait plus blanc que celui du sud. Étendre à d'autres régions géographiques permettrait donc de vérifier une telle hypothèse et d'avoir une meilleure idée de la variation géographique.

Dans le même ordre d'idée, il serait intéressant d'évaluer un plus grand nombre de billes de meilleure qualité pour pouvoir mieux saisir l'impact de la qualité des billes sur la couleur du bois. La majorité des billes à l'étude étaient de faible qualité donc les conclusions qui ont été dressées pourraient être biaisées.

Il apparaît également pertinent d'analyser plus en profondeur la variation des teintes dans le bois d'aulx plus spécifiquement. D'après certains industriels consultés en cours de projet, ces variations sont encore plus problématiques que la présence de bois coloré comme tel. Lorsqu'il y a présence de bois coloré, le bois est bien souvent utilisé dans des produits qui sont par la suite teints foncé ou opaque, pour cacher les variations de couleur. Le bois d'aulx quant à lui est conservé pour les produits au fini naturel, donc dans lesquels les infimes variations de coloration sont apparentes. Beaucoup de temps est donc nécessaire en usine afin d'arriver à trier les baguettes en groupes de couleur homogène pour limiter les contrastes.

D'un point de vue plus large, une autre avenue intéressante aurait été de sonder différents aspects de la mise en marché afin de mesurer l'acceptabilité des consommateurs face aux produits proposant de grandes variations de coloration. De la recherche en développement de produits pourrait aider à développer des modèles de meuble par exemple qui intègrent bien les différentes teintes du bois tout en arborant des styles qui ne soient pas nécessairement rustiques. Un travail de marketing pour augmenter l'acceptabilité d'un tel type de marque de caractère s'avère un autre moyen de pousser l'utilisation de produits

d'apparence en bois hétérogènes en couleur. La ferveur actuelle et croissante des consommateurs pour les produits environnementaux semblent être une veine à exploiter pour mousser la consommation de tels produits. En informant bien le consommateur que la production de produits qui incluent les marques de caractères du bois permet par exemple d'améliorer la qualité des forêts feuillues ainsi que de réduire la consommation de bois et les rejets en usine, on réussirait peut-être à associer des valeurs environnementales à l'achat de tels produits et permettre aux usines de transformation primaires et secondaires d'être plus rentables.

Enfin, bien que la portée des résultats de cette étude se limitent à des tiges de bouleau à papier qui étaient en moyenne assez âgées, de diamètres assez élevés et qui provenaient d'une région précise du Québec, ces résultats auront quand même permis de dresser un premier portrait de la variation de la coloration du bois de cette espèce sous ces conditions, de mieux comprendre les sources responsables de cette variation et de tester une nouvelle méthodologie d'analyse de la couleur.

Bibliographie

- Albert, L., T. Hofmann, Z.I. Nemeth, T. Retfalvi, J. Koloszar, S. Varga et I. Csepregi. 2003. Radial variation of total phenol content in beech (*Fagus sylvatica* L.) wood with and without red heartwood. *Werkstoff* 61(3): 227-230.
- Albert, L., Z.I. Nemeth, G. Halasz, J. Koloszar, S. Varga et L. Takacs. 1999. Radial variation of pH and buffer capacity in the red-heartwooded beech (*Fagus sylvatica* L.) wood. *Holz Als Roh- Und Werkstoff* 57(1): 75-76.
- Allen, E. 1996. Decay and wood utilization problems in red alder and paper birch. In Proceedings of Ecology and Management of B.C. Hardwoods Workshop, Richmond, B.C., December 1-2, 1993. Edited by P.G. Comeau, G.J. Harper, M.E. Blach, J.O. Boateng, and D.T. Keith. Ministry of Forests, Victoria, B.C. pp. 139-146.
- Ananias, R. A., R. Sarzosa, G. Janin, G. Bluskova et J. Gonçalez. 2004. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry: Part 2. Mesurement of kiln drying discoloration in Radiata Pine. *Maderas: Ciencia y Tecnologia* 5(2): 153 - 161.
- Ananias, R.A., J.P. Haluk, E. Mougel et A. Zoulalian. 2001. Discoloration du hêtre *Fagus sylvatica* lors d'un séchage convectif basse température. *Les Cahiers Scientifiques du Bois* 2: 15-30.
- Araman, P.A., D.L. Schmoltdt, T.-H.Cho, D. Zhu, R.W. Connors et D.E.Kline. 1992. Machine vision systems for processing hardwood lumber and logs. *AI Applications* 6(2):13-26.
- Ayadi, N., F. Lejeune, F. Charrier, B. Charrier et A. Merlin. 2003. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61: 221-226.
- Basham, J.T. 1991. Stem decay in living trees in Ontario's forests: a users' compendium and guide. For. Can., Ont. Region, Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. 0-x-408. 69 pp.
- Beckwith III J.R. 1979. Theory and Practice of Hardwood Color Measurement. *Wood Science* 11(3): 169-175.
- Bédard, S. et F. Brassard. 2002. Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 et 1996. Ministère des Ressources forestières du Québec, Direction de la recherche forestière et Direction des programmes forestiers. 15 p.
- Bédard, S., S. Meunier, M. Fortin, F. Guillemette et C. Godbout. 2007. La sylviculture des forêts de feuillus : une vision à long terme. Résumé d'une affiche présentée dans le cadre du Carrefour de la recherche forestière - La connaissance éloigne les préjugés. 19 et 20 septembre 2007. Québec, Canada. p. 1-6.
- Begg CB et R Gray. 1984. Calculation of Polychotomous Logistic Regression Parameters Using Individualized Regressions, *Biometrika*, 71(1):11-18.
- Bekhta, P. et P. Niemz. 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung* 57(5): 539-546.
- Belleville, B., A. Achim, et A. Cloutier. 2008. Analyse de la distribution et des sources d'initiation du cœur rouge à l'intérieur des tiges de bouleau à papier. Note de recherche N° 27. Centre de recherche sur le bois. Faculté de foresterie et de géomatique. Université Laval. 2 p.
- Belsey, D.A., E. Kuh, et R.E. Welsch. 1980. Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity. New York, USA. John Wiley & Sons. 292 pp.
- Blanchette, R.A. 1979. A study of progressive stages of discoloration and decay in *Malus* using scanning electron microscopy. *Canadian Journal of Forest Research* 9(4): 464-469.
- Bond, B.H., D.E. Kline et P.A. Araman. 1998. Characterization of defects in lumber using color, shape, and density information. Proceedings of the International Conference of Multisource-

- Multisensor information fusion Fusion '98, Las Vegas, Nevada, USA, CSREA Press. Vol 2 : 581-587.
- Bosshard, H. 1968. On the formation of facultatively colored heartwood in (trop. Species). *Wood Science and Technology* 2: 1-12.
- Bouffard, J.F. 2005. Comparaison des procédés de débitage secondaire selon une optimisation sur la surface et en valeur. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention grade de maître ès sciences (M.Sc.) Université Laval, Québec. 119 p.
- Boulet, B. 2005. Défauts externes et indices de la carie des arbres : guide d'interprétation. Québec, Canada, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 291p.
- Breteau, J.-M. 2009. « Colorimétrie ». Université du Maine. Mécanisme de base de la vision des couleurs (Anatomie de la rétine). [En ligne] http://prn1.univ-lemans.fr/data/application/bdd_opi/publisCours/OPI_fr_M07_C02/co/Contenu_02.html. (Page consultée le 25 juin 2009).
- Brière, J. 1992. Critères techniques d'utilisation du bouleau blanc. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention grade de maître ès sciences (M.Sc.), Université Laval, Québec. 108 p.
- Buehlmann, U., J.K. Wiedenbeck et D.E. Kline. 1998. Character-marked furniture : potential for lumber yield increase in rip-first rough mills. *Forest Product Journal*, 48(4): 43-50.
- Buehlmann, U., J.K. Wiedenbeck et D.E. Kline. 1999. Character-marked furniture: potential for lumber yield increase in crosscut-first rough mills. *Forest Product Journal*, 49(2): 65-72.
- Burtin, P., C. Jay-Allemand, J.P. Charpentier et G. Janin. 1998. Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J. nigra*, *J. regia* and hybrid *J. nigra* 23 x *J. regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. *Trees* 12: 258-264.
- Burtin, P., C. Jay-Allemand, J-P. Charpentier et G. Janin. 2000. Modifications of hybrid walnut (*Juglans nigra* 23 x *Juglans regia*) wood colour and phenolic composition under various steaming conditions. *Holzforschung* 54(1): 33-38.
- Campbell, W.A. et R.W. Davidson. 1941. Red heart of paper birch. *Journal of Forestry* 39(1): 63-65.
- Caron, M. 2003. Comparaison de l'optimisation selon le prix et selon le rendement matière dans les usines de débitage de composants de bois franc. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention grade de maître ès sciences (M.Sc.) Université Laval, Québec, 66p.
- Caron, M. 2005. BoréalScanTM : CRIQ's endline achievement in vision and process optimisation technologies. The 11th International Conference on Scanning Technology and Process Optimization for the Wood Industry (ScanTech), July 25-26, 2005, Las Vegas, NV, USA.
- Charrier, B., J.P. Haluk et G. Janin. 1992. Preventing of brown discoloration in European oakwood occurring during kiln drying by vacuum process: Colorimetric comparative study with a traditional process. *Holz als Roh- und Werkstoff* 50: 433-437.
- Charrier, B., F. Charrier, G. Janin, D.P. Kamdem, M. Irmouli et J. Gonzalez. 2002. Study of industrial boiling process on walnut colour: Experimental study under industrial conditions. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60: 259-264.
- CIE Commission internationale de l'éclairage (CIE). 2009. [En Ligne]. <http://www.cie.co.at> (Page consultée le 14 juillet 2009)
- Clément, C., R. Gazo, R. Beauregard et T. Lihra. 2005. Comparison of rough mill yield for white birch lumber between a conventional and a short-log sawmill. *Forest Products Journal* 55(3): 71-80.
- Clément, C., T. Lihra, R. Gazo et R. Beauregard. 2006. Maximizing lumber use: The effect of manufacturing defects on yield, a case study. *Forest Products Journal* 56(1): 60-65.

- Climent, J., M.R. Chambel, E. Perez, L. Gil, et J. Pardos. 2002. Relationship between heartwood radius and early radial growth, tree age, and climate in *Pinus canariensis*. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere 32(1): 103-111.
- Climent, J., M.R. Chambel, L. Gil et J.A. Pardos. 2003. Vertical heartwood variation patterns and prediction of heartwood volume in *Pinus canariensis* Sm. Forest Ecology and Management 174: 203-211.
- Commission internationale de l'éclairage (CIE). 2007. Joint ISO/CIE Standard: CIE Colorimetry Part 4: 1976 L*a*b* Colour Space. (ISO 11664-4:2008(E)/CIE S 014-4/E:2007).
- Cordero, L.D.P. et M. Kanninen. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. Silva Fennica 37(1): 45-54.
- Csonka, R. R. et K. Németh. 1998. Thermal behaviour of hardwood polyphenols. 5th European workshop of lignocellulosic and pulp, Sopron, Hungary. pp. 333-336.
- Cumbo D., R, Smith et P. Araman. 2003 Low grade hardwood lumber production, market and issues. Forest Products Journal 53(9): 17-23.
- Cumbo, D. W., S. A. Bowe, R.L. Smith et D.E. Kline. 2001. Scanning and Optimization Technology in the Hardwood Industry Management. Center for Forest Products Marketing and Management. Department of Wood Science and Forest Products. Blacksburg, VA, USA. March 2001. 22 pp.
- Dawson-Andoh, B. E., M. Wiemann, L. Matuana et J. Baumgras. 2004. Infrared and colorimetric characterization of discolored kiln-dried hard maple lumber. Forest Products Journal. 54(1): 53 - 57.
- Dehon, L., J. J. Macheix et M. Durand. 2002. Involvement of peroxidases in the formation of the brown coloration of heartwood in *Juglans nigra*. Journal of Experimental Botany 53(367): 303-311.
- Dellus, V., A. Scalbert et G. Janin. 1997. Polyphenols and colour of Douglas Fir heartwood. Holzforschung 51(4): 291-295.
- Dieste, A. et C. Williamson. 2002. Colour development in *Pinus radiata* D. Don under kiln-drying conditions. Department of Chemical & Process Engineering. Christchurch, University of Canterbury: 1-14.
- Diouf, P.-N., A. Merlin, et D. Perrin. 2006. Antioxidant properties of wood extracts and colour stability of woods. Annales des Sciences Forestières 63: 525–534.
- Donovan, G. et D. Nicholls. 2003. Consumer preferences and willingness to pay for character-marked cabinets from Alaska birch. Forest Products Journal. 53(11/12):pp.27-35.
- Drouin M, R. Beaugard R et I. Duchesne. 2009a. Between tree variability of wood color in paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.). Wood and Fiber Science 41(4): 333-345.
- Drouin M, R. Beaugard R et I. Duchesne. 2009b. Within tree variability of wood color in paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) in Québec. Article sous presse Wood and Fiber Science.
- Drouin M, R. Beaugard R et I. Duchesne. 2009c. Impact of paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) tree characteristics on lumber color, grade recovery and product value. Article soumis pour publication à la revue Forest Products Journal.
- Duchesne, I et V. Rancourt. 2005. Towards an Increased and Optimized Utilization of White Birch Across Canada – Literature Review and Recommendations for Future Research, Forintek Canada Corp, Project No. 685-4508. Value to Wood No. FCC 28, March 2005.48p.
- Duchesne, I. 2006. Maximiser la valeur du bouleau blanc par la sylviculture et l'utilisation optimale de la ressource - Impact de la classification "MSCR" sur le rendement en volume et en valeur des produits. Forintek Canada Corp, Report No. 3652. 45p.
- Eisner, N.J., E.F. Gilman et J.C. Grabosky. 2002. Branch morphology impacts compartmentalization of pruning wounds. Journal of Arboriculture 28(2): 99-105.

- Fell, D. 2004. Assessing preferences for wood characteristics in visual applications Value to wood program, Forintek Canada Corp : 47pp.
- Fuentealba, D., G. Giroud, A. Cloutier et T. Stevanovic. 2007. Phenolics distribution and its influence on the discoloration of paper birch wood. International Scientific Conference on Hardwood Processing. September 24-26, 2007. Québec City, Canada. 297-301.
- Gierlinger, N., D. Jacques, M. Grabner, R. Wimmer, M. Schwanninger, P. Rozenberg et L.E. Pâques. 2004. Colour of larch heartwood and relationship to extractives and brown-rot decay resistance, *Trees-Structure and Function*, 18(1):102-108.
- Giroud G, A. Cloutier et J. Alteyrac. 2008. Occurrence, proportion and vertical distribution of red heartwood in paper birch. *Can. J. For. Res.* 38(7): 1996–2002.
- Giroud, G. 2005. Caractérisation de la proportion de bois d'aubier et de duramen chez le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.). Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention grade de maître ès sciences (M.Sc.), Université Laval, Québec. 163p.
- Godbout, C. 2002. Le problème de l'éclaircie commerciale des bétulaies blanches de 60 ans et plus. *Revue de littérature*. Québec, QC, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Direction de la recherche forestière: 12p.
- Godbout, C. 2008. Longévité du bouleau à papier au Témiscamingue. Note de recherche forestière n° 133. Ministère des ressources naturelles et faune Québec. 10 p.
- Gosselin J. 2002. Guide de reconnaissance des types écologiques – Région écologique 4b - Coteaux du réservoir Cabonga – Région écologique 4c - Collines du Moyen-Saint-Maurice, Ressources naturelles et faune Québec, N° de publication : 2002-3030. 173 p.
- Grekin, M. 2007. Color and color uniformity variation of scots pine wood in the air-dry condition. *Wood Fiber Sci* 39(2): 279-290.
- Groupe Desfor. 2005. « Guide du martelage forêt-faune adapté aux forêts privées ». Réalisé dans le cadre du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet II. 31 mars 1995. 133p. [En ligne] http://www.afm.qc.ca/pdf-2007/Guide_martelage_F-F.pdf. (Page consultée le 9 janvier 2008)
- Hallaksela A.M. et P. Niemistö. 1998. Stem discoloration of planted silver birch. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13(2): 169-176.
- Haluk, J.P., F. Schloegel et M. Metche. 1991. Chimie de la couleur du bois: étude comparative des constituants polyphénoliques dans le chêne sain et le chêne coloré. *Holzforschung* 45: 437-444.
- Hardwood Market Report. 2009. Hardwood Market Report: Northern Hardwoods. March 14 2009. Memphis, Tennessee. USA. p.8.
- Hazenberg, G. et K. C. Yang. 1991. Sapwood heartwood width relationships with tree age in balsam fir. *IAWA Bulletin* 12(1): 95-99.
- Hiller, C.H., F. Freese et D.M. Smith. 1972. Relationships in black walnut heartwood between colour and other physical and anatomical characteristics. *Wood Fiber Sci* (4): 38–42.
- Hiltunen, E., T. T. Pakkanen et L. Alvila. 2004. Phenolic extractives from wood of birch (*Betula pendula*). *Holzforschung* 58(3): 326-329.
- Hiltunen, J. 2002. Accurate color measurement. Department of physics. University of Joensuu. Finland. 94 pp.
- Hochberg, Y., A.C. Tamhane. 1987. Multiple Comparison Procedures. John Wiley & Sons Inc., New York, USA. 450 pp.
- Hrutfiord, B. F., R. Luthi et K.K. Hanover. 1985. Color formation in Western hemlock. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 5(4): 451-460.
- HunterLab. 2008a. Equivalent white light sources and CIE illuminants. Application notes. Insight on color. Vol.17.No.5 : 1-5.

- HunterLab. 2008b. Application notes. CIELab Color Scale. Application notes. Insight on color. Vol 8. No. 7. : 1-4.
- Hutnik, R.J et F.E. Cunningham. 1965. Paper birch. Dans *Silvics of forest trees of the United States*. USDA, Agriculture Handbook No 271. Washington, D.C. p.93-98.
- Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF). 1998. Le bouleau à papier. 95 p.
- Janin, G. 1987. Mesure de la couleur du bois. Intérêt forestier et industriel. *Ann. Sci. For.*, Vol. 44 (4) : 455-472.
- Jessome A.P. 1977. Résistance et propriétés connexes des bois indigènes au Canada. Rapport technique de foresterie 21. Laboratoire des produits forestiers de l'Est, Ottawa, Ontario, Canada. 35 p.
- Johansson, C. I., J. N. Saddler et R.P. Beatson. 2000. Characterization of the polyphenolics related to the colour of western red cedar (*Thuja plicata* Donn) heartwood. *Holzforschung* 54(3): 246 - 254.
- Jung, B.W. et R.A. Kozak. 2008. Color testing of four Canadian wood species. *Forest Products Journal* 58(11): 84-86.
- Kärenlampi, P. P. et M. Riekkinen. 2003. Prediction of the heartwood content of pine logs. *Wood and Fiber Science* 35(1): 83-89.
- Kärki, T. et V. Möttönen. 2004. Preventing discolouration of Birch (*Betula pendula*, *B. pubescens*) in HT -drying. 5th Conference on Wood drying: Timber drying for value-added products 2: 239-244.
- Kauppinen H. et O. Silven. 1996. The Effect of Illumination Variations on Color-Based Wood Defect Classification. ICRP, vol. 3. 13th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'96) - Volume 3. Vienna, Austria. pp 828-832.
- Kishino, M. et T. Nakano. 2004. Artificial weathering of tropical woods. Part 2: Color change. *Holzforschung* 58: 558-565.
- Kline, D. E., C. Surak, et P.A. Araman. 2000. Evaluation of a Multi-Sensor Machine Vision System for Automated Hardwood Lumber Grading. 4th International Conference on Image Processing and Scanning of Wood, Mountain Lake, Virginia, USA. 75-87.
- Kline, D.E., C. Surak et P.A. Araman. 2003. Automated hardwood lumber grading utilizing a multiple sensor machine vision technology. *Computers and Electronics in Agriculture* 41: 139-155.
- Klumpers, J., G. Janin, M. Becker et G. Lévy. 1993. The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. *Annales des Sciences Forestières* 50(Suppl 1): 403s-409s.
- Knoke, T. 2002. Value of complete information on red heartwood formation in beech (*Fagus sylvatica*). *Silva Fennica* 36(4): 841-851.
- Koch G, Bauch J (2000) Discolouration in European beechwood (*Fagus sylvatica* L.) during storage and drying. In: Tamásy-Bánó M (ed) Proceedings of the 2nd COST E15 – workshop Quality drying of hardwood. Sopron, Hungary, 11–13 September 2000.
- Kondo, R. et H. Imamura. 1985. The Chemistry of the Color of Wood I. The phenolic components of hazenoki (*Rhus succedanea* L.) and their dyeing properties. *Mokuzai Gakkaishi* 31(11): 927-934.
- Kondo, R., T. Mitsunaga et I.Hiroyuki. 1986. The chemistry of the color of wood II. The effect of environmental factors on the coloration of murasakitagayasan (*Millettia* sp.) heartwood. *Mokuzai Gakkaishi* 32(6): 462-466.
- Kreber, B. 1994. Advances in the understanding of hemlock brownstain. *Material und Organismen* 28(1): 17-37.
- Kreber, B. et A. Byrne. 1994. Discolorations of hem-fir wood: A review of the mechanisms. *Forest Products Journal* 44(5): 35-42.

- Kreber, B. et A. Byrne. 1996. Production of brown stain in hemlock logs and lumber during storage. *Forest Products Journal* 46(4): 53-58.
- La couleur. Dans Wikipédia., l'encyclopédie libre. [En ligne], <http://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur> (Page consultée le 25 juin 2009).
- La vision des couleurs. Dans Kléokolor. Kléocolor Training. Partie I- Chapitre II La vision des couleurs. [En ligne] http://www.kleocolor.com/part1_chapitre2.php. (Page consultée le 14 juillet 2009).
- Lapointe, M. 2004. Évaluation de l'acceptabilité des marques de caractère du bouleau blanc dans la chaîne de distribution des produits d'apparence. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention grade de maître ès sciences (M.Sc.), Université Laval, Québec. 119 p.
- Legault, I., D. Blouin et G. Lessard. 2004. Document d'accompagnement pour le programme de mise à niveau de la formation des marteleurs. CERFO. 2004-8390. 209 p.
- Liu, J. et T. Furuno. 2002. The fractal estimation of wood color variation by the triangular prism surface area method. *Wood Science and Technology* 36: 385–397.
- Lopez, F., J. M. Valiente, R. Baldrich et M. Vanrell. 2005. Fast Surface Grading Using Color Statistics in the CIE Lab Space. *Pattern recognition and Image analysis*. S. B. Heidelberg. 3523/2005: 666-673.
- Lu, Q., S. Srikanteswara, W. King, T. Drayer, R. Conners, E. Kline et P. Araman. 1997. Machine Vision System for Color Sorting Wood Edge-Glued Panel Parts. 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation (Proceedings of the IECON '97). Volume 3 : 1460-1464.
- Luostarinen, K. 2006a. Effects of environmental and internal factors of trees and timber treatment on colour of dried birch (*Betula pendula*) wood. Faculty of Forestry. Dissertations Florestales 19. Joensuu, University of Joensuu Finland. 24pp.
- Luostarinen, K. 2006b. Relationship of selected cell characteristics and colour of silver birch wood after two different drying processes. *Wood Material Science and Engineering* 1(1): 21-28.
- Luostarinen, K. et J. Luostarinen 2001. Discolouration and deformations of birch parquet boards during conventional drying. *Wood Science and Technology* 35(6): 517-528.
- Luostarinen, K. et V. Möttönen. 2004. Effect of growing site, sampling date, wood location in trunk and drying method on concentration of soluble proanthocyanidins in *Betula pendula* wood, with special reference to wood colour. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(3): 234-240.
- Luostarinen, K., V. Möttönen, A. Asikainen et J. Luostarinen. 2002. Birch (*Betula pendula*) wood discolouration during drying. Effect of environmental factors and wood location in the trunk. *Holzforschung* 56(4): 348-354.
- Luostarinen, K., V. Möttönen, A. Asikainen, T. Lahtinen et Y. Tolonen. 2000. Birch (*Betula pendula*) wood discolouration during drying. In: Tamásy-Bánó M (ed) Proceedings of the 2nd COST E15 – workshop Quality drying of hardwood. Sopron, Hungary, 11–13 September 2000.
- Luzuriaga, D. A. et M. O. Balaban. 2002. Color Machine Vision System: An Alternative for Color Measurement. Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Iguacu Falls, Brazil. pp.93-100.
- Maeglin R.R. et N.D. Nelson. 1970. Surface Soil Properties of Black Walnut Sites in Relationship to Wood Color. *Soil Sci Soc Am J* 34:142-146.
- Masuda, M. 1992. Visual characteristics of wood and the psychological images. *Mokuzai Gakkaishi (Journal of the Japan Wood Research Society)* 38(12):1075–1081.
- Mayer, I., G. Koch et J. Pulse. 2006. Topochemical investigations of wood extractives and their influence on colour changes in American black cherry (*Prunus serotina* Borkh.). *Holzforschung* 60(6): 589-594.

- McCurdy, M., S. Pang, et R.B. Keey. 2003. Measurement of colour development in *Pinus radiata* sapwood boards during drying at various schedules. 8th International IUFRO Wood Drying Conference : Brasow, Romania, 24 - 29 August 2003. pp.445-449.
- McCurdy, M., S. Pang, et R.B. Keey. 2005a. Experimental determination of the effect of temperature and humidity on the development of colour in *Pinus radiata*. Brazilian Journal of Chemical Engineering 22(2): 173-179.
- McCurdy, M., S. Pang, et R.B. Keey. 2005b. Surface Colour Change in Wood during Drying Above and Below Fibre Saturation Point. 9th International IUFRO Wood Drying Conference : Nanjing, China; 21-26 August 2005. pp.304-307.
- McDonald, A.G., M. Fernandez, K. Bernhard et F. Laytner. 2000. The chemical nature of kiln brown stain in radiata pine. Holzforschung 54(1): 12 - 22.
- McMillen, J.M. 1975. Physical characteristics of seasoning discolorations in sugar maple sapwood. USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin USA. FPL 248: 33.
- Metro A. 1975. Terminologie forestière, dictionnaire forestier multilingue. Association française des eaux et forêts. Conseil international de la langue française. 432 p.
- Ministère des ressources naturelles et de la faune Québec (MRNFQ). 2003. Profil des produits forestiers deuxième transformation, Approvisionnement en bois massif pour l'industrie québécoise du meuble. Direction du développement de l'industrie.[En ligne] <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/ApprovBoismassifMeuble.pdf> (consulté le 9 janvier 2008).
- Ministère des ressources naturelles et de la faune Québec (MRNFQ). 2007a. Ressources et industries forestières – Édition complète 2007. [En ligne] <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp> (page consultée le 26 janvier 2008)
- Ministère des ressources naturelles et de la faune Québec (MRNFQ). 2007b. Méthodes de mesurage des bois "instructions". Exercice 2007-2008, Ministère des ressources naturelles et de la faune Québec, Direction de l'aménagement des forêts publiques et privées, Québec. 299p.
- Ministère des ressources naturelles et de la faune Québec (MRNFQ). 2008. Taux unitaires de la valeur marchande des bois sur pied des forêts du domaine de l'État par zone de tarification forestière pour la période du 1 octobre 2008 au 31 décembre 2008. [en ligne] <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/1-octobre-2008.pdf>(page consultée le 13 février 2009).
- Mitsui, K. 2004. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment Part 2. Effect of light-irradiation time and wavelength. Holz als Roh- und Werkstoff 62(1): 23-30.
- Mitsui, K. 2006. Changes in color of spruce by repetitive treatment of light-irradiation and heat treatment. Holz als Roh- und Werkstoff 64 (3): 243-244.
- Mitsui, K. et L. Tolvaj. 2005. Color changes in acetylated wood by the combined treatment of light and heat. Holz als Roh- und Werkstoff 63: 392-393.
- Mitsui, K., A. Murata, et L. Tolvaj. 2004. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment: Part 3. Monitoring by DRIFT spectroscopy. Holz als Roh- und Werkstoff 62:164-168.
- Mitsui, K., H. Takada, M. Sugiyama et R.Hasegawa. 2001. Changes in the Properties of Light-Irradiated Wood with Heat Treatment Part 1. Effect of Treatment Conditions on the Change in Color. Holzforschung 55(6):601-605.
- Mitsunaga, T., R. Kondo, et H. Imamura. 1987a. The Chemistry of the Color of Wood IV. The phenolic constituent contributes to the coloration of murasakitagayasan (*Millettia* sp.) heartwood. Mokuzai Gakkaishi 33(3): 239-245.
- Mitsunaga, T., R. Kondo et H. Imamura. 1987b. The Chemistry of the Color of Wood III. The isoflavonoids of the heartwood of mirasakitagayasan (*Millettia* sp.). Mokuzai Gakkaishi 33(3): 234-238.

- Mononen, K., A.-S. Jääskeläinen, T.T. Pakkanen et T. Vuorinen. 2005. Chemical changes in silver birch (*Betula pendula* Roth) wood caused by hydrogen peroxide bleaching and monitored by color measurement (CIELab) and UV-Vis, FTIR and UVR spectroscopy. *Holzforschung* 59: 381-388.
- Mononen, K., L. Alvila, et T.T. Pakkanen. 2002. CIEL*a*b* Measurements to determine the role of felling season, log storage and kiln drying on coloration of silver birch wood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17(2): 179 - 191.
- Mörling, T. et E. Valinger. 1999. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area and growth in Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(5): 462-469.
- Mosedale, J.R., B. Charrier et G. Janin. 1996. Genetic control of wood colour, density and heartwood ellagitannin concentration in European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). *Forestry* 69(2): 111-124.
- Moslemi, A. A. 1967. Quantitative color measurement for black walnut wood, Forest Service - US Department of Agriculture: 1-19.
- Möttönen, V. 2005. Variation of colour and selected physical and mechanical properties related to artificial drying of sawn silver birch (*Betula pendula* roth) timber from plantations. Faculty of Forestry. University of Joensuu, Finland. 51pp.
- Möttönen, V. et K. Luostarinen. 2005. Discolouration of sawn birch (*Betula pendula*) timber from plantation forests during drying: The role of proanthocyanidins (condensed tannins) in discolouration of birch wood. *Baltic For.* 11(1):13-20.
- National Hardwood Lumber Association (NHLA). 2007. Règles pour le mesurage et l'inspection des bois durs et le Code de vente de NHLA. National Hardwood Lumber Association. Janvier 2007. Memphis, TN. USA. 106 p.
- Negri, M., N. Gaeti, B. Tessadri et L. Valenti. 2004. Physical properties in wood during press-vacuum drying: Colour changes and other phenomena. 5th Conference on Wood Drying - Timber drying for value-added products, Athens, Greece. 10 pp.
- Nishino, Y., G. Janin, B. Chanson, P. Détienne, J. Gril et B. Thibaut. 1998. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. *Journal of Wood Science* 44(1): 3-8.
- Niskanen, M., O. Silvén et H. Kauppinen. 2001. Color and texture based wood inspection with non-supervised clustering. 12th Scandinavian Conference on Image Analysis, Bergen, Norway. 7pp.
- Nolet, P., H. Hartmann, D. Bouffard et F. Doyon. 2007. Predicted and observed sugar maple mortality in relation to site quality indicators. *North. J. Appl. For.* 24(4) : 258-264.
- Normand, D. 2004. Évaluation de stratégies de séchages de sciages de bouleaux blancs courts de qualité "régulier". Projet no. 3659. Forintek Canada Corp. 36pp.
- Nzokou, P. et D.P. Kamdem. 2006. Influence of wood extractives on the photo-discoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. *Color Research & Application* 31(5): 425-434.
- Outils pédagogiques utiles en science (Opus). 2009. «Résumé de la matière : La vision humaine». Chaire CRSNG/Alcan pour les femmes en sciences et génie au Québec, Université Laval. [en ligne]. <http://www2.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/15b.shtml>. (Page consulté le 14 juillet 2009)
- Pandey, K. K. 2005. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer Degradation and Stability* 87: 375-379.
- Pandey, K. K. et A.J. Pitman. 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* 52:151-160.
- Pang, S. et J. Li. 2005. Drying of *Pinus radiata* Sapwood in Oxygen-Free Medium for Bright Colour Wood. 9th International IUFRO Wood Drying Conference. p. 296-299.

- Pang, S. et J. Li. 2006. Use of a modified drying medium to prevent discolouration of radiata pine sapwood during kiln drying. *Maderas: Ciencia y Tecnologia* 8(1): 41-48.
- Panshin, A. J. et C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. Fourth edition, McGraw-Hill Book Co., New York, USA. 722 p.
- Petro F.J. et W.W. Calvert. 1976. La classification des billes de bois francs destinées au sciage. Ottawa, ON, Forintek Canada Corp. 66 p.
- Phelps, J. E., D. D. Stokke et A.D. Pugel. 1994. Color analysis of white oak, edge-glued furniture panel stock. *Forest Products Journal* 44(2): 35-38.
- Pugel, A. D., J. E. Phelps et D.D. Stokke. 1995. Improving visual color sorting of dimension stock. *Forest Products Journal* 45(11-12):57-60.
- Quaquarelli, M. T. Stevanovic et A. Cloutier. 2008. Note de recherche N° 25. Application de la microspectrophotométrie UV pour localiser la lignine et les polyphénols extractibles dans les parois cellulaires de *Betula papyrifera* et *Acer saccharum* Marsh. Centre de recherche sur le bois. Faculté de foresterie et de géomatique. Université Laval. 2 p.
- Rancourt, V. 2006. Application de la colorimétrie aux produits en bois d'apparence. Profil technologique – Valeur au bois. FPIInnovations. 4p.
- Rappold, P.M. et W.B. Smith. 2004. An investigation of the relationships between harvest season, log age, and drying schedule on the coloration of hard maple lumber. *Forest Products Journal* 54(12): 178-184.
- Ressources Naturelles Canada (RNCAN). 2001. « Inventaire forestier du Canada 2001 ». [En ligne]. <http://cfs.nrcan.gc.ca/soussite/canfi/data-summaries>. (Page consultée en décembre 2007)
- Riley, S. G. et R. Sargent. 2005. Proposed Quantitative Method for Assessing Kiln Brown Stain in Radiata Pine. 9th International IUFRO Wood Drying Conference. Vol.43: 300-303.
- Rink, G. 1987. Heartwood cColor and quantity variation in a young black walnut progeny test. *Wood and Fiber Science* 19(1): 93-100.
- Rintala, P. 1995. Rauduskoivun pystykarsintavikojen yhteys karsittavien oksien kokoon ja laatuun sekä karsintavuodenaikaan. Pro gradu -thesis. University of Joensuu, Faculty of Forestry. 105 p. (In Finnish)
- Sachsse, H. 1991. Heartwood types in beech. [German] Kerntypen der Rotbuche. *Forstarchiv* 62(6): 238-242.
- Safford, L.O., J.C. Bjorkbom et J.C. Zasada. 1990. *Betula Papyrifera* Marsh. – Paper Birch, pp. 158-171, dans R.M. Burns et B.H. Honkala. 1990. *Silvics of North America*, Vol. 2, *Hardwood*. USDA, Forest Service, Agriculture Handbook 654. Washington, DC. USA. 877 pp.
- SAS Institute. 2003. SAS version 9.1. Statistical software. Cary NC. USA. [En ligne]: <http://support.sas.com/91doc/docMainpage.jsp>. (Page consultée le 12 juillet 2008).
- Schatz, U., H. Heräjärvi, K. Kannisto et M. Rantatalo. 2008. Influence of Saw and Secateur Pruning on Stem Discolouration, Wound Cicatrisation and Diameter Growth of *Betula pendula*. *Silva Fennica* 42(2): 295-305.
- Seeling, U. 1998. Heartwood characteristics: its effect on wood utilization, illustrated with reference to beech (*Fagus sylvatica*) [German]. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 149(12): 991-1004.
- Sehlstedt-Persson, M. 2003. Colour responses to heat-treatment of extractives and sap from pine and spruce. . 8th International IUFRO Wood Drying Conference : Brasow, Romania, 24 - 29 August 2003. pp. 459-464.
- Shengquan L, C. Loup, J. Gril, O. Dumonceaud, A. Thibault, et B. Thibault. 2005 Studies on European beech (*Fagus sylvatica* L.). Part 1: Variations of wood colour parameters. *Ann. For. Sci.* 62: 625-632.
- Shepley B.P., Wiedenbeck et R.L. Smith. 2004. Opportunities for expanded and higher value utilization of No. 3A Common hardwood lumber. *Forest Products Journal* 54(9): 77-85.

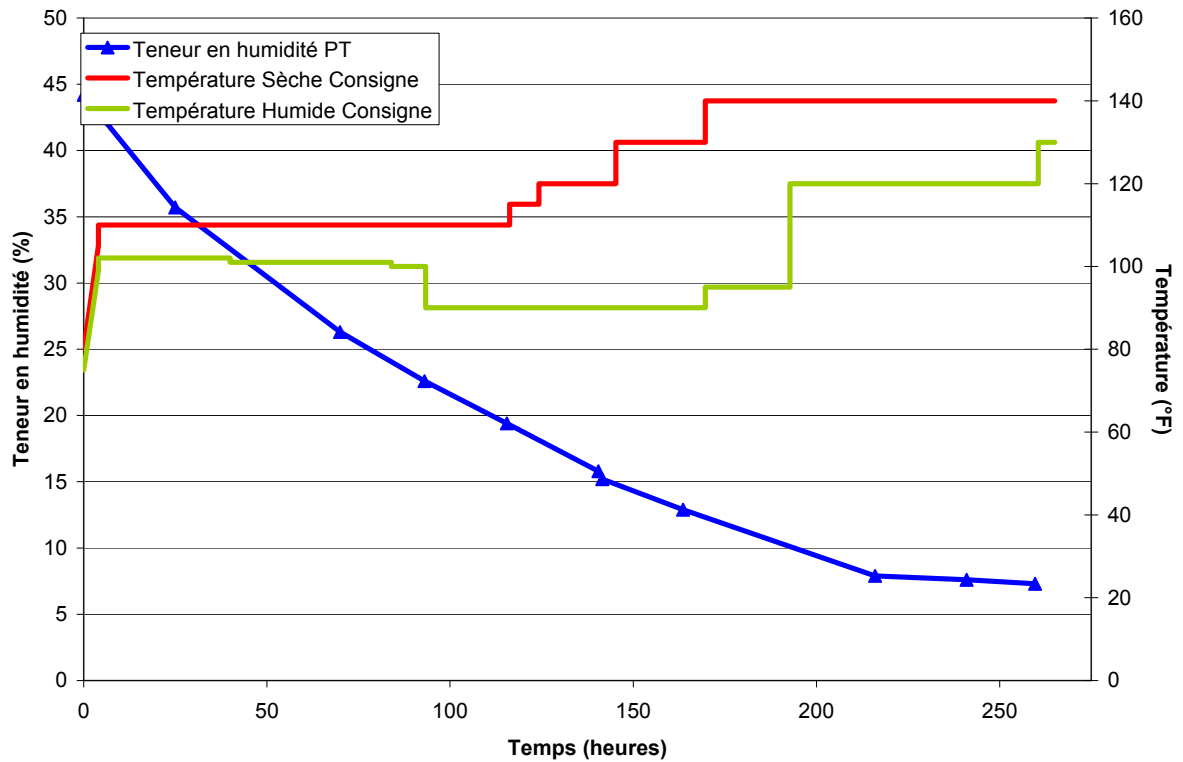
- Shields, J. K., W. Thornber et T.S. McKnight. 1971. How researchers are combatting eastern hardwood stain problem. *Canadian Forest Industries* 91: 49-51.
- Shigo A.L. et Ev.H. Larson. 1969. A photo guide to the patterns of discoloration and decay in living northern hardwood trees. Upper Darby, PA, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 100pp.
- Shigo A.L. et W.E. Hillis. 1973. Heartwood, Discolored Wood, and Microorganisms in Living Trees. *Annual Review of Phytopathology* 11: 197-222.
- Shigo, A.L. 1986. A new tree biology: facts, photos, and philosophies on trees and their problems and proper care. *Shigo and trees Associates*, Durham, NH. 132 pp.
- Shigo, A.L. 1967. Successions of organisms in discoloration and decay of wood. Vol. 2 Pages 237-299 in *International Review of Forestry Research*, eds. Romberger J.A. and Mikola P Academic Press, New York, London
- Siegle, H. 1967. Microbiological and biochemical aspects of heartwood stain in *Betula papyrifera* Marsh. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique* 45(2): 147-154.
- Smith RL, W. Pohle, P. Araman et D. Cumbo. 2004. Characterizing the adoption of low-grade hardwood lumber by the secondary wood processing industry. *Forest Products Journal* 54(12): 15-23.
- Smith, B., H. Yeo, P.M. Rappold, D.Herdman et D. Montoney. 2002. Wood color and stain control: 1-89.
- Smith, W.B. et D. Herdman. 1996. An investigation of board color and sticker stain in hard maple. 5th international IUFRO Wood Drying Conference, Québec, Canada, Forintek Canada Corp - Université Laval. 325-334.
- Smith, W.B. et D.E. Montoney. 1999. Wood color change and control during drying. Quality lumber drying in the pacific northwest - Vertical integration - Improved profit, September 30 - October 2, 1999. Madison, WI. USA. 111-118.
- Smith, W.B. et D.J. Herdman. 1998. Effects of kiln schedules and sticker variables on board color and sticker stain in hard maple. *Hardwood Symposium Proceedings, 26th Annual Hardwood Symposium - Technology and market information for the next millenium* May 6-9 1998, 121-133.
- Sorz, J et P. Hietz. 2008. Is oxygen involved in beech (*Fagus sylvatica*) red heartwood formation? *Trees* 22: 175-185.
- Sotelo Montes, C., R. Hernandez, J. Beaulieu et J.C. Weber. 2008. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *New Forests* 35: 57-73.
- Starck, M., J. Bauch et M.H. Simatupang. 1984. Characteristics of normal and discoloured wood of Ilomba (*Pycnanthus angolensis* Exell). *Wood Science and Technology* 18(4): 243-253.
- Stenudd, S. 2001. Colour Changes in Birch and Beech During Kiln Drying. 7th International IUFRO Wood Drying Conference, Tsukuba, Japan. pp. 41-46.
- Stenudd, S. 2002. On Colour Changes during Kiln Drying of Hardwood: with special reference to beech and birch. Department of Mechanical Engineering. Linköping, Sweden, Linköping University: 56pp.
- Stenudd, S. 2004. Color response in silver birch during kiln-drying. *Forest Products Journal* 54(6): 31-36.
- Stenudd, S. 2006. Internal Grey Discoloration in Beech. Submitted for journal publication: 51-58.
- Stokke, D.D., D. A. Pugel et E.J. Phelps. 1995. Variation in lightness of white oak dimension stock. *Forest Product Journal*. 45(10): 51-56.
- Straze, A., P. Oven, M. Zupancic et Z. Gorisek. 2003. Colour Changes of Ash-wood (*Fraxinus excelsior* L.) during Conventional Drying. 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, Romania, 24 - 29 August 2003. pp. 465-469.
- Sundqvist, B. 2002. Wood color control during kiln-drying. *Forest Products Journal* 52(2): 30-37.

- Sundqvist, B. et T. Morén. 2002. The influence of wood polymers and extractives on wood colour induced by hydrothermal treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60: 375-376.
- Sundqvist, B., O. Karlsson et U. Westermarck. 2006. Determination of formic-acid and acetic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness. *Wood Science and Technology* 40: 549-561.
- Tattar, T.A. 1971. Sequence of microorganisms and changes in constituents associated with discoloration and decay of sugar maples infected with *Fomes connatus*. *Phytopathology* 61(5): 556-558.
- Terziev, N. et J. Boutelje. 1998. Effect of felling time and kiln-drying on color and susceptibility of wood to mold and fungal stain during an above-ground field test. *Wood and Fiber Science* 30(4): 360-367.
- Theander, O., J. Bjurman, et J. Boutelje. 1993. Increase in the content of low-molecular carbohydrates at lumber surfaces during drying and correlations with nitrogen content, yellowing and mould growth. *Wood Science and Technology* 27: 381-389.
- Thomas, E. 1996. ROMI-RIP: an analysis tool for rip-first roughmill operations. *Forest Products Journal* 46(2): 57-60.
- Thomas, E. 1998. ROMI-CROSS: An analysis tool for crosscut-first roughmill operations. *Forest Products Journal* 48(2): 68-72.
- Tolvaj, L. et O. Faix. 1995. Artificial ageing of wood monitored by DRIFT spectroscopy and CIE L*a*b* Color Measurements 1. Effect of UV Light. *Holzforschung* 49: 397-404.
- Toole, E.R. 1961. Rot entrance through dead branches of southern hardwoods. *For. Sci.* 7:219-226.
- USDA Forest Service. 1990. «Paper Birch». *Silvics of North America. Volume 2 Hardwoods*. [En ligne] http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/volume_2/betula/papyrifera.htm . (Page consulté en janvier 2008).
- Vanó, V. et K. Németh. 1996. The application of spectro-colorimetry of hardwood flavonoids for the interpretation of colour changes of wood. 4th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, Stresa - Italy. pp. 157-161.
- Vienonen, P., A. Asikainen et J. Eronen. 2002. Color grading of beech parquet blocks by using spectral data. *Forest Products journal* Vol. 52, no.2.
- Wang Q, G. Shi et C.Chan-Halbrendt. 2004. Market potential for fine furniture manufactured from low-grade hardwood: evidence from a conjoint analysis in the Northeastern United-States. *Forest Products Journal* 54 (5): 19-25.
- Wernsdörfer, H., T. Constant, R. Mothe, M.A. Badia, G. Nepveu et U. Seeling. 2005a. Detailed analysis of the geometric relationship between external traits and the shape of red heartwood in beech trees (*Fagus sylvatica* L.). *Trees-Structure and Function* 19: 482-493.
- Wernsdörfer, H., G. Le Moguedec, T. Constant, R. Mothe, U. Seeling et G. Nepveu. 2005b. Approach to the estimation of red heart occurrence in *Fagus sylvatica* based on geometric relationships between branch scar development and knot dimensions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20(5): 448-455.
- Wernsdörfer, H., G. Le Moguedec, T. Constant, R.Mothe, U. Seeling et G. Nepveu. 2006. "Modelling of the shape of red heartwood in beech trees (*Fagus sylvatica* L.) based on external tree characteristics." *Annals of Forest Science* 63(8): 905-913.
- Wiberg, P. 1996. Colour changes of Scots pine and Norway spruce - A comparison between three different drying treatments. *Holz als Roh- und Werkstoff* 54: 349-354.
- Wilcox, W.W. et D.D. Piirto. 1976. Decay resistance in Redwood (*Sequoia sempervirens*) heartwood as related to color and extractives. *Wood and Fiber Science* 7(4): 240-244
- Wilkins A.P. et C.M. Stamp. 1990. Relationship between wood colour, silvicultural treatment and rate of growth in *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). *Wood Science Technology* 24: 297-304
- Wilkins, A. P. 1991. Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. *Wood Science and Technology* 25(6): 415-423.

- Woeste, K. E. 2002. Heartwood production in a 35-year-old black walnut progeny test. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 177–181.
- Yanai R.D., R.H. Germain, N.M. Anderson, T.A. Coates et A.K. Mishler. 2009. Heart Size of Sugar Maple Sawlogs across Six Northern States. *Journal of Forestry*. March 2009. 95-100.
- Yang, K. C. et G. Hazenberg. 1991a. Relationship between Tree Age and Sapwood Heartwood Width in *Populus tremuloides* Michx. *Wood and Fiber Science* 23(2): 247-252.
- Yang, K. C. et G. Hazenberg. 1991b. Sapwood and heartwood width relationship to tree age in *Pinus banksiana*. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestière* 21(4): 521-525.
- Yang, K.C., Y.S. Chen, C. Chiu et G. Hazenberg. 1994. Formation and vertical distribution of sapwood and heartwood in *Cryptomeria-Japonica* D Don. *Trees-Structure and Function* 9(1): 35-40.
- Yeo, H. et W. B. Smith. 2003. Effect of temperature and moisture content on the discoloration of hard maple lumber. 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, Romania, 24 - 29 August 2003. pp 455-458.
- Yeo, H. et W. B. Smith. 2004. Control of Interior darkening in hard maple. *Wood and Fiber Science* 36(3): 417-422.

Annexe 1 : Programme de séchage utilisé

Bouleau 4/4 8pieds et moins



	Date	Temps cumulé	Temps cumulé	Temps Étape	Température Sèche Consigne	Température Humide Consigne	Humidité équilibre
		(heures)	(jour)	(heures)	(°F)	(°F)	(°F)
Montée en Température	2005-06-23 13:00	4,0	0,17	4,0	105	99	15,4
	2005-06-23 17:00	40,0	1,67	36,0	110	102	13,7
	2005-06-25 05:00	84,0	3,50	44,0	110	101	12,9
	2005-06-27 01:00	93,3	3,89	9,3	110	100	12,2
	2005-06-27 10:20	116,3	4,84	22,9	110	90	7,7
	2005-06-28 09:15	124,3	5,18	8,0	115	90	6,5
	2005-06-28 17:15	145,3	6,05	21,0	120	90	5,5
	2005-06-29 14:15	169,7	7,07	24,4	130	90	4,1
	2005-06-30 14:40	192,8	8,03	23,1	140	95	3,6
	2005-07-01 13:45	260,5	10,85	67,8	140	120	8,1
Conditionnement	2005-07-04 09:30	265,0	11,04	4,5	140	130	12,2
Arrêt	2005-07-04 14:00						

Annexe 2 : Qualités standard NHLA (NHLA 2007)

	FAS	F1F	SELECT	#1 COM	#2A & 2B	#3A COM	#3B COM	FAS Limits	
Minimum Size Board	6" x 8'	Same as FAS for species being graded	4" x 6'	3" x 4'	3" x 4'	3" x 4'	3" x 4'	<p>Wane = SM in inches</p> <p>Prth = SM in inches</p> <p>Wane = 1/2 Length</p> <p>Knot = 1/3 SM</p>	<p>Wane in FAS 1 FACE</p> <p>FAS limitation applies to Better Face</p> <p>#1 Common side: 1/3 W or 1/2 L</p> <p>Widest wane added together; Length can be on both edges</p>
Minimum Size Cutting	4" x 5' 3" x 7'			4" x 2' 3" x 3'	3" x 2'	3" x 2'	Not less than 1-1/2" wide containing 36 sq. inches	<p>Wane = 1/2 Length</p> <p>Knot = 1/3 SM</p>	<p>Wane in Selects</p> <p>Pcs. 6" & Wider</p> <p>FAS limitation applies to Better Face.</p> <p>#1 Common side: 1/3 W or 1/2 L</p> <p>Widest wane added together. Length can be on both edges.</p>
Basic Yield	SM x 10 83-1/3%	Better Face to Grade FAS Poor Face to Grade #1 Common		SM x 8 66-2/3%	SM x 6 50%	SM x 4 33-1/3%	SM x 3 25%	<p>Warp = Entire board must be flat enough to S2S to S.S.T.</p> <p>Splits: Not to exceed 2 x SM or 12" whichever is greater</p>	<p>Pcs. 4" & 5" Wide</p> <p>1/3 W or 1/2 L applies to both faces.</p>
Formula to Determine Number of Cuts	$\frac{SM}{4}$ (4 max)			$\frac{SM+1}{3}$ (5 max)	$\frac{SM}{2}$ (7 max)	Unlimited	Unlimited	Unlimited	<p>Add widest wane together.</p> <p>Add total length of wane from both edges.</p>
SM Needed to Take Extra Cutting	6-15' SM			3-10' SM	2-7' SM				
Extra Yield Needed for Extra Cutting	SM x 11 91-2/3%			SM x 9 75%	SM x 8 66-2/3%				
Special Yields	97% Rule - 2 cuts full widths any length; Pcs. 6" & wider with 6-12' SM SM x 11 .64 for Yield	97% Rule - On Better Face	97% Rule - On Better Face 2' x 3' SM to be 100% clear or SM x 11 in one cutting	1' SM - 100% SM x 9	1' SM - SM x 8	#2A Com - Clear Cuttings #2B Com - Sound Cuttings	#2A Com on Better Face and reverse side of cuttings will also qualify for 3A Com		<p>NOTE: This chart summarizes the main requirements for the standard grades. For complete information, consult the appropriate section of the NHLA Rule Book.</p>

Annexe 3: Système de classification des billes (Petro et Calvert 1976)

Tableau 1. Normes de qualité des billes de sciage de bois feuillu

Facteurs de qualité		Classe de billes							
		Classe F-1			Classe F-2				Classe F-3
Position de la bille dans l'arbre		Billes de pied seulement	Billes de pied et autres		Billes de pied et autres				Billes de pied et autres
Diamètre minimal (en centimètres)		34 - 48 ¹	40 - 48	50 +	28 ²	30 +			20 +
Longueur nominale minimale (en mètres)		3,1 +			3,1 +	2,5 - 2,7	3,1 - 3,3	3,7 +	2,5 +
Débits clairs	Longueur (minimum) (en mètres)	2,1	1,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6
	Nombre (maximum)	2	2	2	2	2	2	3	Pas de limite
	Rendement (minimum) en %	83	83	83	67	75	67	67	50
Courbures et coudes (maximum)	Moins de 1/4 du petit bout en défauts sains	15%			30%				50%
	Plus de 1/4 du petit bout en défauts sains	10%			20%				35%
Rebuts, y compris les courbures et les coudes (maximum)		40% ³			50% ⁴				50%

Exceptions:

¹Frêne et tilleul d'Amérique de 30 cm de diamètre sous-écorce pour des billes de pied de classe F-1.

²Toutes les essences, billes de pied de 28 cm de classe F-2, si elles sont conformes aux normes de la classe F-1.

³Billes de classe F-1 sous tous autres rapports, 60% de rebuts permis pour la classe F-2.

⁴Billes de classe F-2 sous tous autres rapports, 60% de rebuts permis pour la classe F-3.

Annexe 4 : Système de classification des billes ABCDE (MRNFQ 2007b)

3.2.7 Qualité « A » : Essences feuillues

La norme de classification des billes de qualité « A » s'applique à toutes les billes de bouleau jaune, de bouleau blanc et de chêne mais est suspendue pour les autres essences feuillues (érable, cerisier, noyer, frêne, tilleul, orme et ostryer) (figure 49).

Particularités :

- Le plus petit diamètre de la bille détermine le diamètre à utiliser dans la colonne « Classe de diamètre au fin bout ».
- La profondeur d'un trou à la découpe se mesure en classes paires de 2 cm.
- Les défauts du tronc ne sont considérés que s'ils affectent le cylindre maximum.
- Le diamètre d'un nœud, d'une loupe et d'un broussin ne doit jamais excéder 8 cm.
- On ne considère pas les bosses ayant un ratio inférieur à 1 sur 12 comme défaut de tronc.
- On considère comme défaut le fil frisé (ondé) qui, dans ses ondulations en forme de vagues, en contient au moins une de plus de 6 millimètres d'amplitude. Ce défaut doit alors être confiné soit à 1 mètre linéaire s'il affecte plus d'une face, soit à une seule face, sans égard à la longueur affectée (figure 50).
- Le fil incliné se mesure en cm/m, sans tenir compte des décimales. Il est appliqué sur toute la grume.
- On considère que deux défauts sont en ligne quand la distance qui sépare leurs centres, mesurée perpendiculairement à l'axe longitudinal de la bille, n'excède pas 10 cm sur la longueur totale de la bille ou partie de bille évaluée.
- On considère comme un seul défaut les piqûres d'oiseaux que l'on peut regrouper sur une distance de 15 cm.

3.2.8 Qualité « B » : essences feuillues sauf les peupliers

Pour être classées de qualité « B », les billes de feuillus doivent respecter les normes reproduites à la figure 51. Le peuplier fait exception à cette règle.

Particularités :

- Pour la qualité « B », on détermine le diamètre de classification d'une découpe elliptique (méplat) ou irrégulière en se basant sur le diamètre moyen lorsque la différence entre le plus petit et le plus grand diamètre, mesurés à angle droit, est supérieur à une classe de 2 cm. Si cette différence est de 2 cm, on considère le plus petit diamètre.
- Pour le calcul de la proportion de la coloration du cœur de l'érable à sucre (70 %), la règle précédente s'applique mais exceptionnellement au fin bout réel de la bille. Le dernier tableau de l'annexe 3 facilite l'application de ce critère.
- La façon de calculer les déductions dues aux différents défauts est présentée au point 3.3.
- La façon de délimiter les débits est présentée au point 3.4

3.2.9 Qualité « C » : essences feuillues sauf les peupliers

Pour être classées de qualité « C », les billes de feuillus doivent respecter les normes reproduites à la figure 52. Le peuplier fait exception à cette règle.

Particularités :

- Méplat : pour la qualité « C », on détermine le diamètre de classification d'une découpe elliptique (méplat) ou irrégulière en se basant sur le diamètre moyen lorsque la différence entre le plus petit et le plus grand diamètres, mesurés à angle droit, est supérieur à une classe de 2 cm. Si cette différence est de 2 cm, on considère le plus petit diamètre.
- La façon de calculer les déductions dues aux différents défauts est présentée au point 3.3.
- La façon de délimiter les débits et est présentée au point 3.4.


3.2.10 Qualité « D » : essences feuillues sauf les peupliers

Les billes de feuillus qui ne respectent pas les normes de la qualité « C » sont classées dans la catégorie « D » à moins qu'elles ne soient retenues comme étant du sciage non conventionnel. Les billes de peupliers font exception à cette règle.

3.2.11 Qualité « E » : sciage non conventionnel

Le code de qualité « E » doit être utilisé pour distinguer les billes de sciage non conventionnel lorsqu'un volume de ce type est attribué à un titulaire et qu'elles sont mesurées en même temps ou sur un même site que d'autre bois de même essence et de qualité inférieure.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune Québec		Norme de classification de qualité « A » : essences feuillues		
Essences		Bouleau jaune, bouleau blanc et chêne		
Classe de longueur nominale minimale		2,50 m		
Classe minimale de diamètre au fin bout		28 cm		
		Classe de diamètre au fin bout	Défaut maximum admissible	
Courbure		28 cm 30 cm et plus	Aucune courbure n'est tolérée Flèche de 5 cm	
Courbure en « S » et coude		Toutes classes	Aucune n'est tolérée	
Défauts	Découpe	Roulure, carie, cadranure, fente, trou (profondeur maximale de 60 cm)	28 cm 30 à 34 cm 36 cm 38 cm 40 cm et plus	6 cm 8 cm 10 cm 12 cm } Si le défaut coïncide avec le centre de la découpe. Si le défaut est solide, on tolère 2 cm de plus.
		Roulure	38 cm et plus	Tolérée si elle n'affecte qu'une découpe et un quartier
		Vermoultures ou coloration indiquant la présence de vers	Toutes classes	Aucune n'est tolérée
		Méplat, fente d'abattage et de tronçonnage	28 à 34 cm 36 à 48 cm 50 à 64 cm 66 cm et plus	6 cm 8 cm 10 cm 12 cm } Différence entre le plus petit et le plus grand diamètre.
		Piqûres d'oiseaux	Toutes classes	2 inclusions d'écorce tolérées
	Tronc	Fil ondé (frisé)	Toutes classes	Longueur max. 1 m. si plus d'une face ou toute la longueur si sur une face
		Fil incliné	Toutes classes	Déviations tolérées : 10 cm
		Fente radiale externe	36 cm et plus	Fermée, longueur tolérée : 1,20 m
		Nœud, trou, broussin, loupe, bourrelet, piqûres d'oiseaux, bosse, frotture	28 cm	Aucun n'est toléré
			30 cm à 34 cm	1 défaut toléré
36 cm et plus	3 défauts sur une même face, dont 2 en ligne sont tolérés.			

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune Québec 		Norme de classification de qualité « B » : essences feuillues sauf les peupliers
Essences		Toutes les essences feuillues sauf les peupliers
Classe de longueur nominale minimale		2,50 m
Classe minimale de diamètre au fin bout		28 cm
Débits clairs	Longueur minimale	92 cm
	Longueur requise sur la face de classification	1,67 m
		Déduction maximale
Courbure et coude	Des défauts sains affectent moins du quart de la surface du fin bout	30 %
	Des défauts sains affectent le quart de la surface du fin bout et plus	20 %
Courbure et coude + défauts aux découpes + défauts au tronc		50 %
Dans le cas de l'érablé à sucre, la coloration au fin bout réel de la bille doit être inférieure à 70 % de son diamètre.		

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune Québec		Norme de classification de qualité « C » : essences feuillues sauf les peupliers			
Classe de longueur nominale minimale		2,50 m			
Classe minimale de diamètre au fin bout		20 cm			
Débits clairs	Longueur minimale	60 cm			
	Longueur requise sur la face de classification	1,25 m			
		Dédution maximale selon les classes de diamètre au fin bout			
		20-22 cm	24 cm	26 cm	28 cm et plus
Courbure et coude	Des défauts sains affectent moins du quart de la surface du fin bout	10 %	20 %	30 %	50 %
	Des défauts sains affectent le quart de la surface du fin bout	5 %	15 %	20 %	35 %
Courbure et coude + défauts aux découpes + défauts au tronc		10 %	20 %	30 %	50 %

Annexe 5 : Paramètres généraux du logiciel CRIQTraitement

Paramètres généraux [X]

Couleurs

Couleur défaut de bord : ...

Couleur fond d'écran : ...

Configuration de base

Lire Sauvegarder

Segmentation contour

Classe Seuil bois (L):

Seuils gradient:

Détection automatique

	Moyenne (L)	Ecart-type	Surface min.		Gradient minimal
Défauts foncés	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="(ignoré)"/>	<input type="text" value="5"/>
Coeur et minéral	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="1000"/>	<input type="text" value="(ignoré)"/>	
Clair	<input type="text" value="120"/>	<input type="text" value="10"/>			

Détecteur de niveau d'intensité

		L max
Intensité 1	<input type="text" value="(ignoré)"/>	<input type="text" value="105"/>
Intensité 2	<input type="text" value="(ignoré)"/>	<input type="text" value="1"/>
Intensité 3	<input type="text" value="(ignoré)"/>	<input type="text" value="0"/>

Cellule

Cellule X NB: Un chiffre négatif va forcer le logiciel à faire un filtre moyen, sinon c'est un filtre median.

Cellule Y

Configuration des images

Type d'image

Simplification maximale Inverser image du bas

Résolution fixée manuellement

Haut (x, y)

Bas (x, y)

OK Cancel

Annexe 6: Liste de prix des sciages (Hardwood Market Report Mars 2009)

8

NORTHERN HARDWOODS

3/14/09

ASH						SOFT MAPLE - SAP&BTR					
	FAS	SEL	#1C	#2A		FAS	SEL	#1C	#2A		
4/4	655	645	450	315		4/4	1160 - 1140 -	570	290		
5/4	665	655	480	330		5/4	1345 - 1325 -	780	405		
6/4	740	730	555	385		6/4	1410 - 1390 -	885	495		
8/4	805	795	620	375		8/4	1470 - 1450 -	965	530		
ASPEN						SOFT MAPLE - UNSELECTED					
	FAS	SEL	#1C	#2A	#2B	FAS	SEL	#1C	#2A	#2B	
4/4	685	670	390	245	200	4/4	960 - 940 -	515	270	210	
BASSWOOD						5/4	1055 - 1035 -	685	380	215	
	FAS	SEL	#1C	#2A	#2B	6/4	1135 - 1115 -	830	475	225	
4/4	605	670	350	205	195	8/4	1180 - 1160 -	895	510	230	
5/4	705	690	395	210	200	FAS&SEL ALONE ADD \$55					
6/4	820	805	470	240	210	RED OAK					
8/4	840	825	495	245	215		FAS	SEL	#1C	#2A&	#3A
9/4	880	865	565	270	---	4/4	800 - 780 -	530 -	430 -	280 -	
BEECH						5/4	950 - 930 -	665 -	500 -	360 -	
	FAS	SEL	#1C	#2A	#3A	6/4	1025 - 1005 -	775 -	535 -	415 -	
4/4	585	565	495	335	220	8/4	1055 - 1035 -	795 -	---	---	
5/4	595	575	505	340	220	FAS&SEL ALONE #2A ALONE					
6/4	635	615	540	355	230	4/4 & 5/4	ADD \$0	4/4	\$440 -		
8/4	655	635	555	360	230	6/4 & 8/4	ADD \$170				
FAS&SEL ALONE ADD \$115						WHITE OAK					
BIRCH							FAS	SEL	#1C	#2A	#3A
	FAS	SEL	#1C	#2A	#3A	4/4	940	920	510 -	360 -	260 -
4/4	1055	1035	650	415	285	5/4	960	940	545 -	410 -	310 -
5/4	1070	1050	695	450	320	6/4	990	970	625 -	---	---
6/4	1085	1065	775	460	330	FAS&SEL ALONE					
8/4	1110	1090	800	480	345	4/4	ADD \$20				
Red Birch Add .....\$305						5/4	ADD \$45				
Sap Birch Add. ....\$280						6/4	ADD \$80				
FAS&SEL ALONE ADD \$200						CANTS - MIXED - GREEN					
NORTHERN SOFT GREY ELM						4x4, 4x6	305 -	(280-350)			
	FAS	SEL	#1C	#2A	#2B	PALLET LBR - MIXED - GREEN					
4/4	635	620	420	235	210	4/4 x RW	225	(190-255)			
HARD MAPLE - #1&2 WHITE						5/4 x RW	250	(225-270)			
	FAS	SEL	#1C	#2A		6/4 x RW	260	(235-285)			
4/4	1430	1410	770 -	570		4/4 x SW	295	(260-305)			
5/4	1695 -	1675 -	990 -	---		5/4 x SW	315	(285-320)			
6/4	1865	1845	1150 -	---		6/4 x SW	320	(290-330)			
8/4	1925	1905	1250 -	---		TIES - 7x9 - MIXED - GREEN					
HARD MAPLE - UNSELECTED						NORTHERN - 8 1/2'					
	FAS	SEL	#1C	#2A	#3A	CROSSTIES (21.00-24.50) Per Pc.					
4/4	1240	1220	700 -	510	310	BOARD ROAD - MIXED - GREEN					
5/4	1370	1350	855 -	580	375	2x8	425 -	(390-470)			
6/4	1465	1445	1005 -	680	485						
8/4	1510	1490	1105 -	685	---						
Sap 1-Face In cuttings Add .....\$100											
FAS&SEL ALONE ADD \$0											

F. O. B. MILLS - NORTHERN AREA

Estimate of FOB Northern mill point average market prices for well manufactured Northern hardwoods in truckload and greater quantities. Stocks are random widths and lengths, green, rough, and graded in accordance with NHLA rules. Prices in US dollars per M'. Prices published in *Hardwood Market Report* are presented only as a guide. See statement on page one. ©2009 *Hardwood Market Report*

Annexe 7 : Résultats des analyses statistiques

IMPACT DE L'ÂGE, DE LA DIMENSION ET DE LA VIGUEUR DES TIGES SUR LES PARAMÈTRES COLORIMÉTRIQUES $L^*a^*b^*$ ET LA PROPORTION DE BOIS COLORÉ

EXEMPLE DE PROGRAMME SAS :

```

PROC IMPORT OUT= LECTURE
            DATAFILE= "C:\Documents and
Settings\drouinm\Desktop\deuxpeup.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
            sheet="feuille1";
GETNAMES=YES; MIXED=YES; SCANTEXT=YES; USEDATE=YES; SCANTIME=YES;
RUN;

data analyse;
set lecture;
bbsapwood = bsapwood +0;
run;

proc mixed COVTEST data =analyse;
class stand tree log mscr ;
model bbsapwood = age diameter mscr/ solution outp=stat1 outpm=stat2
vciry ddf=115, 115, 115;
random intercept / subject=stand;
random intercept / subject=tree(stand);
random intercept / subject=log(stand*tree);
lsmeans mscr/pdiff;
run;

proc univariate data=stat2 plot normal;
id stand tree log board;
var scaledresid;
histogram scaledresid/normal;
run;
options reset=all reset=global;
proc gplot data=stat2;
symbol1 v=dot cv=black;
plot scaledresid*pred/vref=0 lvref=2;
run; quit;

```

RÉSULTATS :

L* AUBIER**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.9868	1.4929	0.66	0.2543
Intercept	tree (stand)	1.3830	0.2085	6.63	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.08010	0.03682	2.18	0.0148
Residual		1.6197	0.05073	31.93	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	115	1.03	0.3121
diameter	1	115	8.62	0.0040
mscr	3	115	1.19	0.3178

a* AUBIER**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0	.	.	.
Intercept	tree (stand)	0.1154	0.01672	6.90	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.001803	0.002096	0.86	0.1949
Residual		0.1317	0.004111	32.03	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	115	13.47	0.0004
diameter	1	115	14.28	0.0003
mscr	3	115	0.78	0.5062

b* AUBIER**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.6329	0.9131	0.69	0.2441
Intercept	tree (stand)	0.1842	0.04044	4.55	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.1229	0.02510	4.90	<.0001
Residual		0.5086	0.01593	31.92	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	115	9.75	0.0023
diameter	1	115	22.79	<.0001
mscr	3	115	0.83	0.4819

L* BOIS COLORÉ**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	12.7113	18.1825	0.70	0.2422
Intercept	tree (stand)	2.4269	0.4444	5.46	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.4262	0.1698	2.51	0.0060
Residual		7.2113	0.2246	32.11	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	115	10.52	0.0015
diameter	1	115	0.94	0.3344
mscr	3	115	1.26	0.2909

a* BOIS COLORÉ**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.5866	0.8372	0.70	0.2418
Intercept	tree (stand)	0.06393	0.01605	3.98	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.01885	0.01060	1.78	0.0376
Residual		0.5983	0.01856	32.24	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	115	3.07	0.0825
diameter	1	115	16.71	<.0001
mscr	3	115	0.40	0.7568

b* BOIS COLORÉ

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.2064	0.3433	0.60	0.2738
Intercept	tree(stand)	0.4651	0.1061	4.38	<.0001
Intercept	log(stand*tree)	0.02638	0.05665	0.47	0.3207
Residual		4.2794	0.1327	32.24	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	115	25.28	<.0001
diameter	1	115	3.01	0.0854
mscr	3	115	1.43	0.2375

PROPORTION BOIS COLORÉ

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.008926	0.01479	0.60	0.2731
Intercept	tree (stand)	0.02493	0.004300	5.80	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0	.	.	.
Residual		0.1206	0.003667	32.89	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	Pr > F
age	1	115	0.0972
diameter	1	115	0.0053
mscr	3	115	< 0,0001

Differences of Least Squares Means

Effect	mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
mscr	1	2	0.1300	0.04432	115	2.93	0.0041
mscr	1	3	0.1521	0.04578	115	3.32	0.0012
mscr	1	4	0.2655	0.05074	115	5.23	<.0001
mscr	2	3	0.02211	0.04750	115	0.47	0.6424
mscr	2	4	0.1356	0.05015	115	2.70	0.0079
mscr	3	4	0.1135	0.05316	115	2.13	0.0349

IMPACT DE LA QUALITÉ DES BILLES ET DE LA POSITION DES BILLES DANS L'ARBRE SUR LES PARAMÈTRES COLORIMÉTRIQUES L*a*b* ET LA PROPORTION DE BOIS COLORÉ

EXEMPLE DE PROGRAMME SAS :

```
PROC IMPORT OUT= LECTURE
            DATAFILE= "C:\Documents and
Settings\drouinm\Desktop\deuxpeup.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
            sheet="feuille1";
GETNAMES=YES; MIXED=YES; SCANTEXT=YES; USEDATE=YES; SCANTIME=YES;
RUN;
```

```
data analyse;
set lecture;
bbdiscoloredwood = bdiscoloredwood +0;
run;
```

```
proc mixed COVTEST data =lecture ;
class stand tree log logposition petro ;
model bdiscoloredwood = petro logposition/ solution outp=stat1
outpm=stat2 vciry ddf= 87, 87;
random intercept / subject=stand;
random intercept / subject=tree(stand);
random intercept / subject=log(stand*tree);
lsmeans logposition petro/pdiff;
run;
```

```
proc univariate data=stat1 plot normal;
id stand tree log board;
var resid;
histogram resid/normal;
run;
options reset=all reset=global;
proc gplot data=stat1;
symbol1 v=dot cv=black;
plot resid*pred/vref=0 lvref=2;
run; quit;
```

RÉSULTATS SYSTÈME ABCDE MRNFQ (2007b) :

L* AUBIER

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	2.3825	3.4107	0.70	0.2424
Intercept	tree (stand)	1.5310	0.2320	6.60	<.0001

Intercept	log (stand*tree)	0.09260	0.04167	2.22	0.0131
Residual		1.6187	0.05067	31.94	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
abcd	3	87	0.65	0.5855
logposition	4	87	0.72	0.5817

a* AUBIER**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.08307	0.1214	0.68	0.2469
Intercept	tree (stand)	0.1526	0.02194	6.96	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.001486	0.002288	0.65	0.2580
Residual		0.1317	0.004115	32.02	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
abcd	3	87	0.49	0.6885
logposition	4	87	1.17	0.3317

b* AUBIER**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.3450	0.4964	0.70	0.2435
Intercept	tree(stand)	0.2627	0.04531	5.80	<.0001
Intercept	log(stand*tree)	0.06807	0.01793	3.80	<.0001
Residual		0.5084	0.01592	31.94	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
abcd	3	87	1.99	0.1207
logposition	4	87	11.87	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	logposition	abcd	logposition	abcd	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
logposition	1		2		-0.3174	0.06673	87	-4.76	<.0001
logposition	1		3		-0.5715	0.09695	87	-5.89	<.0001
logposition	1		4		-0.6480	0.1899	87	-3.41	0.0010
logposition	1		5		-1.4286	0.4159	87	-3.44	0.0009
logposition	2		3		-0.2540	0.08821	87	-2.88	0.0050
logposition	2		4		-0.3305	0.1840	87	-1.80	0.0759
logposition	2		5		-1.1112	0.4131	87	-2.69	0.0086
logposition	3		4		-0.07653	0.1863	87	-0.41	0.6823
logposition	3		5		-0.8571	0.4123	87	-2.08	0.0406
logposition	4		5		-0.7806	0.4391	87	-1.78	0.0789

L* BOIS COLORÉ**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	4.2485	6.1083	0.70	0.2434
Intercept	tree (stand)	3.4766	0.5768	6.03	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.1540	0.1452	1.06	0.1444
Residual		7.2169	0.2248	32.10	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
abcd	3	87	1.91	0.1344
logposition	4	87	4.76	0.0016

Differences of Least Squares Means

Effect	logposition	abcd	logposition	abcd	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
logposition	1		2		0.7599	0.1869	87	4.07	0.0001
logposition	1		3		0.7484	0.2764	87	2.71	0.0082
logposition	1		4		0.01748	0.5513	87	0.03	0.9748
logposition	1		5		0.2111	1.1740	87	0.18	0.8577
logposition	2		3		-0.01150	0.2452	87	-0.05	0.9627
logposition	2		4		-0.7424	0.5316	87	-1.40	0.1661
logposition	2		5		-0.5488	1.1643	87	-0.47	0.6386
logposition	3		4		-0.7309	0.5345	87	-1.37	0.1750
logposition	3		5		-0.5373	1.1602	87	-0.46	0.6444
logposition	4		5		0.1936	1.2376	87	0.16	0.8761

a* BOIS COLORÉ**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.4974	0.7063	0.70	0.2407
Intercept	tree (stand)	0.06607	0.01601	4.13	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.01465	0.01042	1.41	0.0799
Residual		0.5980	0.01854	32.25	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
abcd	3	87	6.32	0.0006
logposition	4	87	4.58	0.0021

Differences of Least Squares Means

Effect	logposition	abcd	logposition	abcd	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
logposition	1		2		-0.1849	0.04915	87	-3.76	0.0003
logposition	1		3		-0.2369	0.07143	87	-3.32	0.0013
logposition	1		4		-0.1919	0.1459	87	-1.32	0.1919
logposition	1		5		0.02780	0.3315	87	0.08	0.9334
logposition	2		3		-0.05205	0.06789	87	-0.77	0.4453
logposition	2		4		-0.00707	0.1438	87	-0.05	0.9609
logposition	2		5		0.2127	0.3306	87	0.64	0.5217
logposition	3		4		0.04498	0.1472	87	0.31	0.7608
logposition	3		5		0.2647	0.3310	87	0.80	0.4261
logposition	4		5		0.2197	0.3523	87	0.62	0.5344
abcd	1		2		0.3097	0.2912	87	1.06	0.2906
abcd	1		3		0.5264	0.2896	87	1.82	0.0726
abcd	1		4		0.6069	0.2955	87	2.05	0.0430
abcd	2		3		0.2168	0.06097	87	3.56	0.0006
abcd	2		4		0.2972	0.07910	87	3.76	0.0003
abcd	3		4		0.08042	0.06329	87	1.27	0.2072

b* BOIS COLORÉ

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.1078	0.1770	0.61	0.2712
Intercept	tree (stand)	0.6980	0.1354	5.16	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0	.	.	.
Residual		4.2768	0.1310	32.65	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
abcd	3	87	1.27	0.2908
logposition	4	87	1.12	0.3522

PROPORTION DE BOIS COLORÉ

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Standard Estimate	Z Error	Value	Pr Z
Intercept	stand	0.04450	0.06403	0.69	0.2435
Intercept	tree (stand)	0.03655	0.005836	6.26	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0	.	.	.
Residual		0.1208	0.003682	32.81	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
abcd	3	87	1.09	0.3583
logposition	4	87	1.72	0.1531

RÉSULTATS SYSTÈME PETRO (Petro and Calvert, 1996)

L* AUBIER

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	2.4108	3.4508	0.70	0.2424
Intercept	tree (stand)	1.5538	0.2298	6.76	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.08164	0.03873	2.11	0.0175
Residual		1.6196	0.05071	31.94	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
petro	3	87	1.16	0.3317
logposition	4	87	0.45	0.7733

a* AUBIER

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.08651	0.1263	0.68	0.2467
Intercept	tree (stand)	0.1569	0.02213	7.09	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.000937	0.002121	0.44	0.3293
Residual		0.1318	0.004117	32.02	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
petro	3	87	0.26	0.8562
logposition	4	87	1.90	0.1185

b* AUBIER**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.3485	0.5014	0.70	0.2435
Intercept	tree(stand)	0.2683	0.04540	5.91	<.0001
Intercept	log(stand*tree)	0.06344	0.01724	3.68	0.0001
Residual		0.5091	0.01594	31.94	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
petro	3	87	1.98	0.1232
logposition	4	87	10.22	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	logposition petro	logposition petro	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
logposition	1	2	-0.2884	0.06337	87	-4.55	<.0001
logposition	1	3	-0.5034	0.09418	87	-5.34	<.0001
logposition	1	4	-0.5485	0.1822	87	-3.01	0.0034
logposition	1	5	-1.2529	0.4099	87	-3.06	0.0030
logposition	2	3	-0.2150	0.08825	87	-2.44	0.0169
logposition	2	4	-0.2601	0.1780	87	-1.46	0.1476
logposition	2	5	-0.9645	0.4086	87	-2.36	0.0205
logposition	3	4	-0.04512	0.1794	87	-0.25	0.8021
logposition	3	5	-0.7495	0.4066	87	-1.84	0.0687
logposition	4	5	-0.7044	0.4327	87	-1.63	0.1072

L* BOIS COLORÉ**Covariance Parameter Estimates**

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	4.3428	6.2389	0.70	0.2432

Intercept	tree (stand)	3.3826	0.5517	6.13	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0.1644	0.1446	1.14	0.1278
Residual		7.2206	0.2250	32.09	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
petro	3	87	2.01	0.1177
logposition	4	87	5.58	0.0005

Differences of Least Squares Means

Effect	logposition	petro	Standard		Estimate	Error	DF	t Value	Pr > |t|
			logposition	petro					
logposition	1	2			0.7768	0.1800	87	4.31	<.0001
logposition	1	3			0.8276	0.2713	87	3.05	0.0030
logposition	1	4			-0.02184	0.5334	87	-0.04	0.9674
logposition	1	5			0.3069	1.1803	87	0.26	0.7955
logposition	2	3			0.05085	0.2502	87	0.20	0.8394
logposition	2	4			-0.7986	0.5195	87	-1.54	0.1279
logposition	2	5			-0.4699	1.1762	87	-0.40	0.6905
logposition	3	4			-0.8495	0.5223	87	-1.63	0.1075
logposition	3	5			-0.5208	1.1699	87	-0.45	0.6573
logposition	4	5			0.3287	1.2478	87	0.26	0.7928

a* BOIS COLORÉ

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.4908	0.6969	0.70	0.2406
Intercept	tree(stand)	0.06564	0.01584	4.14	<.0001
Intercept	log(stand*tree)	0.01317	0.01025	1.28	0.0996
Residual		0.5986	0.01857	32.23	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
petro	3	87	6.76	0.0004
logposition	4	87	4.11	0.0043

Differences of Least Squares Means

Effect	logposition	petro	Standard		Estimate	Error	DF	t Value	Pr > |t|
			logposition	petro					
logposition	1	2			-0.1702	0.04761	87	-3.58	0.0006

logposition	1	3	-0.2069	0.07108	87	-2.91	0.0046
logposition	1	4	-0.1274	0.1435	87	-0.89	0.3773
logposition	1	5	0.1556	0.3315	87	0.47	0.6400
logposition	2	3	-0.03664	0.06860	87	-0.53	0.5947
logposition	2	4	0.04284	0.1418	87	0.30	0.7633
logposition	2	5	0.3258	0.3310	87	0.98	0.3278
logposition	3	4	0.07948	0.1440	87	0.55	0.5825
logposition	3	5	0.3624	0.3301	87	1.10	0.2752
logposition	4	5	0.2830	0.3506	87	0.81	0.4218
petro	1	2	0.2613	0.06199	87	4.22	<.0001
petro	1	3	0.2702	0.09992	87	2.70	0.0082
petro	1	4	-0.2628	0.2886	87	-0.91	0.3650
petro	2	3	0.008853	0.08055	87	0.11	0.9127
petro	2	4	-0.5241	0.2858	87	-1.83	0.0701
petro	3	4	-0.5329	0.2973	87	-1.79	0.0765

b* BOIS COLORÉ

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.1053	0.1734	0.61	0.2719
Intercept	tree (stand)	0.6938	0.1344	5.16	<.0001
Intercept	log (stand*tree)	0	.	.	.
Residual		4.2786	0.1310	32.65	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
petro	3	87	1.13	0.3428
logposition	4	87	1.45	0.2252

PROPORTION DE BOIS COLORÉ

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Intercept	stand	0.04443	0.06393	0.69	0.2436
Intercept	tree(stand)	0.03679	0.005868	6.27	<.0001
Intercept	log(stand*tree)	2.1E-20	.	.	.
Residual		0.1208	0.003681	32.81	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
petro	3	87	1.16	0.3283
logposition	4	87	1.41	0.2371

IMPACT DE L'ÂGE, DE LA DIMENSION ET DE LA VIGUEUR DES TIGES SUR LA VALEUR DES PRODUITS (\$/m³)

PROGRAMME SAS :

```

PROC IMPORT OUT= LECTURE
  DATAFILE= "F:\Drouin.Myriam\statarbresas.xls" DBMS=EXCEL REPLACE;
  sheet="feuille1";
  GETNAMES=YES; MIXED=no; SCANTEXT=YES; USEDATE=YES; SCANTIME=YES;
RUN;

/*proc freq data=lecture;
  tables mscr ;
run;*/

data analyse;
set lecture;
log_value = log(value);
run;

proc mixed COVTEST data =analyse;
class stand tree mscr ;
model value = age dhp mscr/ solution outp=stat1 outpm=stat2 vciry ddf=115, 115, 115;
random intercept / subject=stand;
lsmeans mscr/pdiff;
run;

proc univariate data=stat2 plot normal;
id stand tree ;
var scaledresid;
histogram scaledresid/normal;
run;
goptions reset=all reset=global;
proc gplot data=stat2;
symbol1 v=dot cv=black;
plot scaledresid*pred/vref=0 lvref=2;
run; quit;

```

RÉSULTATS :

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr > Z
Intercept	Stand	0	.	.	.
Residual		2587.10	339.70	7.62	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	115	1.03	0.3122
dhp	1	115	17.13	<.0001
mscr	3	115	3.75	0.0130

IMPACT DE L'ÂGE, DE LA DIMENSION ET DE LA VIGUEUR DES TIGES SUR LE CLASSEMENT COULEUR DES PLANCHES

PROGRAMME SAS :

```

PROC IMPORT OUT= LECTURE
  DATAFILE= "E:\stat Myriam partie III\scs25mai09\statplanchesas.xls" DBMS=EXCEL REPLACE;
  sheet="feuille";
  GETNAMES=YES; MIXED=YES; SCANTEXT=YES; USEDATE=YES;
SCANTIME=YES;
RUN;

/*proc contents data=lecture ;
run;

proc print data = lecture;
title "donnees" ;
run; */

proc freq data=lecture;
tables couleur*mscr/nocol norow nopercnt;
run;

proc means data=lecture;
where mscr=4;
var age dhp;
run;

data ajout;
age = 107;
dhp = 38;
mscr=4;
couleur="red";
stand=1;
tree=64;
log = 112;
run;

data analyse;
set lecture ajout;
run;

ods output lsmeans=moy_red_reg;
proc glimmix data=analyse;
where couleur in ("red","reg");
class mscr stand tree log;
model couleur = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
nloptions maxiter=500;
run;

ods output lsmeans=moy_red_sap;
proc glimmix data=analyse;
where couleur in ("red","sap");
class mscr stand tree log;
model couleur = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
nloptions maxiter=500;
run;

```

```

ods output lsmeans=moy_red_uns;
proc glimmix data=analyse;
where couleur in ("red","unselected");
class mscr stand tree log;
model couleur = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
nloptions maxiter=500;
run;

proc glimmix data=analyse;
where couleur in ("reg","sap");
class mscr stand tree log;
model couleur = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
nloptions maxiter=500;
run;

proc glimmix data=analyse;
where couleur in ("reg","unselected");
class mscr stand tree log;
model couleur = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
nloptions maxiter=500;
run;

proc glimmix data=analyse;
where couleur in ("sap","unselected");
class mscr stand tree log;
model couleur = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
nloptions maxiter=500;
run;

```

RÉSULTATS :

The GLIMMIX Procedure: Response Profile red vs. reg :

Ordered Value	couleur	Total Frequency
1	red	84
2	reg	539

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that couleur ='red'.

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0.7437	1.9108
tree(Stand)	0.05137	0.2887
log(Stand*tree)	0.4513	0.3542

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-7.2617	1.7509	1	-4.15	0.1506
age		-0.01471	0.01425	459	-1.03	0.3025
dhp		0.1227	0.02405	459	5.10	<.0001
mscr	1	2.2106	1.0775	459	2.05	0.0408
mscr	2	1.2494	1.1189	459	1.12	0.2647
mscr	3	1.3204	1.1346	459	1.16	0.2451
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	459	1.07	0.3025
dhp	1	459	26.02	<.0001
mscr	3	459	3.23	0.0224

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-2.0940	0.7137	459	-2.93	0.0035	0.1097	0.06969
2	-3.0552	0.7738	459	-3.95	<.0001	0.04499	0.03325
3	-2.9842	0.7589	459	-3.93	<.0001	0.04814	0.03477
4	-4.3046	1.2585	459	-3.42	0.0007	0.01333	0.01655

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.9611	0.4675	459	2.06	0.0403
1	3	0.8902	0.4462	459	2.00	0.0466
1	4	2.2106	1.0775	459	2.05	0.0408
2	3	-0.07095	0.5678	459	-0.12	0.9006
2	4	1.2494	1.1189	459	1.12	0.2647
3	4	1.3204	1.1346	459	1.16	0.2451

The GLIMMIX Procedure: Response Profile red vs. sap :

Ordered Value	couleur	Total Frequency
1	red	84
2	sap	1159

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that couleur='red'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error	
Stand	0.7550	2.0164	.374
tree(Stand)	0.7676	0.5886	1.304
log(Stand*tree)	0.4772	0.4756	1.003

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-11.1082	2.0045	1	-5.54	0.1137
age		-0.00051	0.01531	1033	-0.03	0.9734
dhp		0.1436	0.03158	1033	4.55	<.0001
mscr	1	3.1941	1.1373	1033	2.81	0.0051
mscr	2	2.3872	1.1823	1033	2.02	0.0437
mscr	3	1.8514	1.2000	1033	1.54	0.1232
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	1033	0.00	0.9734
dhp	1	1033	20.67	<.0001
mscr	3	1033	4.04	0.0072

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-2.9278	0.7284	1033	-4.02	<.0001	0.05080	0.03512
2	-3.7348	0.7668	1033	-4.87	<.0001	0.02332	0.01747
3	-4.2706	0.8250	1033	-5.18	<.0001	0.01378	0.01121
4	-6.1219	1.2717	1033	-4.81	<.0001	0.002189	0.002778

The GLIMMIX Procedure

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.8070	0.5594	1033	1.44	0.1494
1	3	1.3428	0.5676	1033	2.37	0.0182
1	4	3.1941	1.1373	1033	2.81	0.0051
2	3	0.5358	0.6762	1033	0.79	0.4283
2	4	2.3872	1.1823	1033	2.02	0.0437
3	4	1.8514	1.2000	1033	1.54	0.1232

The GLIMMIX Procedure: Response Profile red vs. unselected :

Ordered Value	couleur	Total Frequency
1	red	84
2	unselected	479

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that couleur='red'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0	.
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0.5315	0.3307

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-10.0056	1.4432	1	-6.93	0.0912
age		0.01085	0.01041	366	1.04	0.2981
dhp		0.1278	0.02465	366	5.19	<.0001
mscr	1	2.2624	1.0698	366	2.11	0.0351
mscr	2	1.5354	1.1143	366	1.38	0.1691
mscr	3	1.3194	1.1270	366	1.17	0.2425
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	366	1.09	0.2981
dhp	1	366	26.89	<.0001
mscr	3	366	2.97	0.0320

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-1.9776	0.2751	366	-7.19	<.0001	0.1216	0.02938
2	-2.7046	0.4199	366	-6.44	<.0001	0.06270	0.02468
3	-2.9206	0.4516	366	-6.47	<.0001	0.05114	0.02191
4	-4.2400	1.0381	366	-4.08	<.0001	0.01420	0.01453

The GLIMMIX Procedure

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.7270	0.4788	366	1.52	0.1297
1	3	0.9431	0.4568	366	2.06	0.0397

1	4	2.2624	1.0698	366	2.11	0.0351
2	3	0.2161	0.5935	366	0.36	0.7160
2	4	1.5354	1.1143	366	1.38	0.1691
3	4	1.3194	1.1270	366	1.17	0.2425

The GLIMMIX Procedure: Response Profile reg vs. sap :

Ordered Value	couleur	Total Frequency
1	reg	539
2	sap	1159

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that couleur='reg'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error	
Stand	0	.	
tree(Stand)	0.4856	0.1409	3.446
log(Stand*tree)	0.08581	0.1019	.842

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-3.6668	0.4833	1	-7.59	0.0834
age		0.01412	0.003969	1482	3.56	0.0004
dhp		0.01942	0.01562	1482	1.24	0.2138
mscr	1	0.9783	0.2947	1482	3.32	0.0009
mscr	2	0.6257	0.2929	1482	2.14	0.0328
mscr	3	0.6108	0.3087	1482	1.98	0.0481
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	1482	12.66	0.0004
dhp	1	1482	1.55	0.2138
mscr	3	1482	3.70	0.0114

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-0.4904	0.1647	1482	-2.98	0.0030	0.3798	0.03880
2	-0.8430	0.1774	1482	-4.75	<.0001	0.3009	0.03733
3	-0.8580	0.1931	1482	-4.44	<.0001	0.2978	0.04038
4	-1.4687	0.2353	1482	-6.24	<.0001	0.1871	0.03579

The GLIMMIX Procedure

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.3526	0.2425	1482	1.45	0.1462
1	3	0.3675	0.2499	1482	1.47	0.1416
1	4	0.9783	0.2947	1482	3.32	0.0009
2	3	0.01495	0.2618	1482	0.06	0.9545
2	4	0.6257	0.2929	1482	2.14	0.0328
3	4	0.6108	0.3087	1482	1.98	0.0481

The GLIMMIX Procedure: Response Profile reg vs. unselected :

Ordered Value	couleur	Total Frequency
1	reg	539
2	unselected	479

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that couleur='reg'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error	
Stand	0	.	.
tree(Stand)	0.1792	0.1169	1.533
log(Stand*tree)	0.09245	0.1331	.695

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-2.5395	0.4238	1	-5.99	0.1053
age		0.01037	0.003646	806	2.84	0.0046
dhp		0.03344	0.01372	806	2.44	0.0150
mscr	1	0.2722	0.2669	806	1.02	0.3082
mscr	2	0.4244	0.2710	806	1.57	0.1177
mscr	3	0.3182	0.2837	806	1.12	0.2624
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	806	8.08	0.0046
dhp	1	806	5.94	0.0150
mscr	3	806	0.84	0.4748

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Error Mean	Error Mean
1	0.08790	0.1388	806	0.63	0.5269	0.5220	0.03465
2	0.2402	0.1646	806	1.46	0.1449	0.5598	0.04056
3	0.1339	0.1732	806	0.77	0.4396	0.5334	0.04309
4	-0.1843	0.2209	806	-0.83	0.4045	0.4541	0.05477

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.1523	0.2166	806	-0.70	0.4824
1	3	-0.04598	0.2202	806	-0.21	0.8346
1	4	0.2722	0.2669	806	1.02	0.3082
2	3	0.1063	0.2392	806	0.44	0.6569
2	4	0.4244	0.2710	806	1.57	0.1177
3	4	0.3182	0.2837	806	1.12	0.2624

The GLIMMIX Procedure: Response Profile sap vs. unselected :

Ordered Value	couleur	Total Frequency
1	sap	1159
2	unselected	479

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that couleur='sap'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0.1219	0.2052
tree(Stand)	0.1208	0.06644
log(Stand*tree)	0	.

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		0.3065	0.4696	1	0.65	0.6318
age		0.002905	0.003786	1425	0.77	0.4429
dhp		0.01780	0.01162	1425	1.53	0.1257
mscr	1	-0.6569	0.1965	1425	-3.34	0.0008
mscr	2	-0.1743	0.1972	1425	-0.88	0.3767
mscr	3	-0.2704	0.2063	1425	-1.31	0.1903
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	1425	0.59	0.4429
dhp	1	1425	2.35	0.1257
mscr	3	1425	4.42	0.0042

mscr Least Squares Means

Standard Error	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
----------------	------	----------	----------------	----	---------	---------	------	------

1	0.5573	0.2746	1425	2.03	0.0426	0.6358	0.06358
2	1.0398	0.2791	1425	3.73	0.0002	0.7388	0.05386
3	0.9438	0.2835	1425	3.33	0.0009	0.7199	0.05718
4	1.2142	0.2894	1425	4.20	<.0001	0.7710	0.05109

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.4825	0.1780	1425	-2.71	0.0068
1	3	-0.3865	0.1795	1425	-2.15	0.0314
1	4	-0.6569	0.1965	1425	-3.34	0.0008
2	3	0.09604	0.1908	1425	0.50	0.6148
2	4	-0.1743	0.1972	1425	-0.88	0.3767
3	4	-0.2704	0.2063	1425	-1.31	0.1903

IMPACT DE L'ÂGE, DE LA DIMENSION ET DE LA VIGUEUR DES TIGES SUR LA QUALITÉ DES PLANCHES (NHLA).

PROGRAMME SAS :

```

PROC IMPORT OUT= LECTURE
  DATAFILE= "F:\Drouin.Myriam\statplanchesas.xls" DBMS=EXCEL REPLACE;
  sheet="feuille1";
  GETNAMES=YES; MIXED=YES; SCANTEXT=YES; USEDATE=YES;
SCANTIME=YES;
RUN;

/*proc contents data=lecture ;
run;

proc print data = lecture;
title "donnees" ;
run;

proc freq data=lecture;
  tables couleur nhla mscr;
run;*/

ods output lsmeans=moy1s;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("s","1");
class mscr stand tree log;
model nhla(ref="s") = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy2s;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("s","2");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy3s;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("s","3");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moyps;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("s","p");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy12;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("1","2");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;

```

```

random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy13;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("1","3");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy1p;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("1","p");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy23;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("2","3");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy2p;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("2","p");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

ods output lsmeans=moy3p;
proc glimmix data=lecture;
where nhla in ("3","p");
class mscr stand tree log;
model nhla = age dhp mscr /dist=binary link=logit solution;
random stand tree(stand) log(tree*stand);
lsmeans mscr/ilink pdiff;
run;

```

RÉSULTATS:

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 1 vs. S :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	1	399
2	s	333

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='1'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0	.
tree(Stand)	0.2659	0.2327
log(Stand*tree)	0.1702	0.2293

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		0.7620	0.5473	1	1.39	0.3965
age		-0.00828	0.004586	562	-1.81	0.0715
dhp		0.001498	0.01632	562	0.09	0.9269
mscr	1	0.5988	0.3321	562	1.80	0.0719
mscr	2	0.2698	0.3130	562	0.86	0.3891
mscr	3	0.5556	0.3449	562	1.61	0.1078
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	562	3.26	0.0715
dhp	1	562	0.01	0.9269
mscr	3	562	1.32	0.2685

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	0.4578	0.1948	562	2.35	0.0191	0.6125	0.04623
2	0.1287	0.1981	562	0.65	0.5161	0.5321	0.04932
3	0.4145	0.2246	562	1.85	0.0654	0.6022	0.05380
4	-0.1411	0.2577	562	-0.55	0.5844	0.4648	0.06411

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.3291	0.2811	562	1.17	0.2423
1	3	0.04328	0.2922	562	0.15	0.8823
1	4	0.5988	0.3321	562	1.80	0.0719
2	3	-0.2858	0.2993	562	-0.95	0.3401
2	4	0.2698	0.3130	562	0.86	0.3891
3	4	0.5556	0.3449	562	1.61	0.1078

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 2 vs. S :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	2	490
2	s	333

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='2'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0	.
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0.6489	0.1798

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		3.2973	0.5344	1	6.17	0.1023
age		-0.01058	0.004553	625	-2.32	0.0204
dhp		-0.04784	0.01700	625	-2.82	0.0050
mscr	1	0.4567	0.3139	625	1.46	0.1461
mscr	2	-0.07668	0.2961	625	-0.26	0.7957
mscr	3	0.1167	0.3303	625	0.35	0.7240
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	625	5.40	0.0204
dhp	1	625	7.92	0.0050
mscr	3	625	1.37	0.2512

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	0.8469	0.1902	625	4.45	<.0001	0.6999	0.03994
2	0.3135	0.1930	625	1.62	0.1048	0.5777	0.04709
3	0.5068	0.2233	625	2.27	0.0236	0.6241	0.05239
4	0.3902	0.2337	625	1.67	0.0955	0.5963	0.05625

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.5334	0.2761	625	1.93	0.0538
1	3	0.3401	0.2870	625	1.18	0.2365
1	4	0.4567	0.3139	625	1.46	0.1461
2	3	-0.1933	0.2973	625	-0.65	0.5157
2	4	-0.07668	0.2961	625	-0.26	0.7957
3	4	0.1167	0.3303	625	0.35	0.7240

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 3 vs. S :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	3	559
2	s	333

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='3'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0.03610	0.1934
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	1.1610	0.2526

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		4.0955	0.6833	1	5.99	0.1052
age		-0.01287	0.005956	685	-2.16	0.0311
dhp		-0.06361	0.02007	685	-3.17	0.0016
mscr	1	0.5856	0.3566	685	1.64	0.1010
mscr	2	-0.05208	0.3420	685	-0.15	0.8790
mscr	3	0.5733	0.3667	685	1.56	0.1184
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	685	4.67	0.0311
dhp	1	685	10.05	0.0016
mscr	3	685	2.06	0.1046

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	1.0432	0.2604	685	4.01	<.0001	0.7395	0.05018
2	0.4055	0.2605	685	1.56	0.1200	0.6000	0.06251
3	1.0308	0.2790	685	3.70	0.0002	0.7371	0.05406
4	0.4575	0.2991	685	1.53	0.1266	0.6124	0.07100

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.6377	0.3161	685	2.02	0.0441
1	3	0.01233	0.3207	685	0.04	0.9693
1	4	0.5856	0.3566	685	1.64	0.1010
2	3	-0.6254	0.3295	685	-1.90	0.0582
2	4	-0.05208	0.3420	685	-0.15	0.8790
3	4	0.5733	0.3667	685	1.56	0.1184

The GLIMMIX Procedure: Response Profile P vs. S :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
---------------	------	-----------------

1	p	479
2	s	333

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='p'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0	.
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0.8694	0.2218

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		3.3379	0.5461	1	6.11	0.1032
age		-0.01107	0.004821	604	-2.30	0.0220
dhp		-0.05436	0.01752	604	-3.10	0.0020
mscr	1	0.7705	0.3348	604	2.30	0.0217
mscr	2	0.05772	0.3221	604	0.18	0.8578
mscr	3	0.5149	0.3510	604	1.47	0.1429
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	604	5.27	0.0220
dhp	1	604	9.63	0.0020
mscr	3	604	2.63	0.0492

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	0.9320	0.1992	604	4.68	<.0001	0.7175	0.04037
2	0.2192	0.2091	604	1.05	0.2948	0.5546	0.05165
3	0.6764	0.2302	604	2.94	0.0034	0.6629	0.05143
4	0.1615	0.2538	604	0.64	0.5247	0.5403	0.06303

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	0.7127	0.2926	604	2.44	0.0151
1	3	0.2556	0.2981	604	0.86	0.3915
1	4	0.7705	0.3348	604	2.30	0.0217
2	3	-0.4571	0.3130	604	-1.46	0.1447
2	4	0.05772	0.3221	604	0.18	0.8578
3	4	0.5149	0.3510	604	1.47	0.1429

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 1 vs. 2 :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	1	399
2	2	490

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='1'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0	.
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0.1291	0.1023

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-2.3636	0.3923	1	-6.03	0.1047
age		0.001708	0.003373	689	0.51	0.6129
dhp		0.04850	0.01267	689	3.83	0.0001
mscr	1	0.09452	0.2373	689	0.40	0.6905
mscr	2	0.3075	0.2275	689	1.35	0.1770
mscr	3	0.4296	0.2465	689	1.74	0.0818
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	689	0.26	0.6129
dhp	1	689	14.66	0.0001
mscr	3	689	1.51	0.2101

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-0.3342	0.1386	689	-2.41	0.0162	0.4172	0.03370
2	-0.1212	0.1461	689	-0.83	0.4069	0.4697	0.03639
3	0.000955	0.1623	689	0.01	0.9953	0.5002	0.04059
4	-0.4287	0.1800	689	-2.38	0.0175	0.3944	0.04300

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.2129	0.2048	689	-1.04	0.2988

1	3	-0.3351	0.2100	689	-1.60	0.1110
1	4	0.09452	0.2373	689	0.40	0.6905
2	3	-0.1222	0.2195	689	-0.56	0.5780
2	4	0.3075	0.2275	689	1.35	0.1770
3	4	0.4296	0.2465	689	1.74	0.0818

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 1 vs. 3 :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	1	399
2	3	559

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='1'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0.03836	0.1353
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0.5612	0.1612

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-3.1005	0.5576	1	-5.56	0.1133
age		0.004702	0.004890	748	0.96	0.3366
dhp		0.06158	0.01606	748	3.83	0.0001
mscr	1	-0.09529	0.2830	748	-0.34	0.7364
mscr	2	0.2598	0.2770	748	0.94	0.3486
mscr	3	-0.1054	0.2886	748	-0.37	0.7150
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	748	0.92	0.3366
dhp	1	748	14.70	0.0001
mscr	3	748	0.90	0.4392

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-0.5217	0.2198	748	-2.37	0.0179	0.3725	0.05138
2	-0.1666	0.2259	748	-0.74	0.4610	0.4584	0.05608
3	-0.5318	0.2325	748	-2.29	0.0224	0.3701	0.05419
4	-0.4264	0.2577	748	-1.65	0.0984	0.3950	0.06157

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.3551	0.2473	748	-1.44	0.1514
1	3	0.01014	0.2456	748	0.04	0.9671
1	4	-0.09529	0.2830	748	-0.34	0.7364
2	3	0.3652	0.2567	748	1.42	0.1552
2	4	0.2598	0.2770	748	0.94	0.3486
3	4	-0.1054	0.2886	748	-0.37	0.7150

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 1 vs. P :

Response Profile

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	1	399
2	p	479

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='1'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0	.
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0.3042	0.1344

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-2.4840	0.4160	1	-5.97	0.1056
age		0.003421	0.003664	667	0.93	0.3507
dhp		0.05435	0.01363	667	3.99	<.0001
mscr	1	-0.2754	0.2612	667	-1.05	0.2921
mscr	2	0.1545	0.2567	667	0.60	0.5476
mscr	3	-0.00011	0.2710	667	-0.00	0.9997
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	667	0.87	0.3507
dhp	1	667	15.91	<.0001
mscr	3	667	1.30	0.2730

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-0.4437	0.1482	667	-2.99	0.0029	0.3909	0.03529
2	-0.01376	0.1643	667	-0.08	0.9333	0.4966	0.04108
3	-0.1683	0.1722	667	-0.98	0.3286	0.4580	0.04274

4 -0.1682 0.2029 667 -0.83 0.4073 0.4580 0.05036

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.4299	0.2238	667	-1.92	0.0552
1	3	-0.2753	0.2236	667	-1.23	0.2187
1	4	-0.2754	0.2612	667	-1.05	0.2921
2	3	0.1546	0.2389	667	0.65	0.5179
2	4	0.1545	0.2567	667	0.60	0.5476
3	4	-0.00011	0.2710	667	-0.00	0.9997

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 2 vs. 3 :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	2	490
2	3	559

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='2'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0	.
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0.08852	0.08878

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-0.8731	0.3520	1	-2.48	0.2440
age		0.004848	0.003025	835	1.60	0.1094
dhp		0.01252	0.01284	835	0.98	0.3296
mscr	1	-0.2150	0.2003	835	-1.07	0.2834
mscr	2	-0.00007	0.1978	835	-0.00	0.9997
mscr	3	-0.5300	0.2115	835	-2.51	0.0124
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	835	2.57	0.1094
dhp	1	835	0.95	0.3296
mscr	3	835	2.96	0.0315

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	-0.1625	0.1225	835	-1.33	0.1849	0.4595	0.03042
2	0.05236	0.1332	835	0.39	0.6943	0.5131	0.03327

3	-0.4776	0.1438	835	-3.32	0.0009	0.3828	0.03396
4	0.05244	0.1490	835	0.35	0.7249	0.5131	0.03722

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.2149	0.1829	835	-1.18	0.2402
1	3	0.3150	0.1860	835	1.69	0.0907
1	4	-0.2150	0.2003	835	-1.07	0.2834
2	3	0.5299	0.1966	835	2.70	0.0072
2	4	-0.00007	0.1978	835	-0.00	0.9997
3	4	-0.5300	0.2115	835	-2.51	0.0124

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 2 vs. P :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	2	490
2	p	479

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='2'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0.08745	0.1646
tree(Stand)	0.04287	0.07413
log(Stand*tree)	0	.

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-0.6968	0.4694	1	-1.48	0.3774
age		0.006152	0.004143	754	1.49	0.1379
dhp		0.01026	0.01213	754	0.85	0.3977
mscr	1	-0.3795	0.2083	754	-1.82	0.0688
mscr	2	-0.1017	0.2077	754	-0.49	0.6247
mscr	3	-0.4221	0.2253	754	-1.87	0.0614
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	754	2.21	0.1379
dhp	1	754	0.72	0.3977
mscr	3	754	1.80	0.1456

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
------	----------	----------------	----	---------	---------	------	------

1	-0.07741	0.2431	754	-0.32	0.7502	0.4807	0.06068
2	0.2005	0.2503	754	0.80	0.4234	0.5499	0.06194
3	-0.1200	0.2591	754	-0.46	0.6434	0.4700	0.06454
4	0.3021	0.2652	754	1.14	0.2549	0.5750	0.06480

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.2779	0.1859	754	-1.49	0.1354
1	3	0.04257	0.1913	754	0.22	0.8240
1	4	-0.3795	0.2083	754	-1.82	0.0688
2	3	0.3204	0.2058	754	1.56	0.1200
2	4	-0.1017	0.2077	754	-0.49	0.6247
3	4	-0.4221	0.2253	754	-1.87	0.0614

The GLIMMIX Procedure: Response Profile 3 vs. P :

Ordered Value	nhla	Total Frequency
1	3	559
2	p	479

The GLIMMIX procedure is modeling the probability that nhla='3'.

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Estimate	Standard Error
Stand	0.1462	0.2395
tree(Stand)	0	.
log(Stand*tree)	0	.

Solutions for Fixed Effects

Effect	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept		-0.09545	0.4782	1	-0.20	0.8746
age		0.002248	0.003866	824	0.58	0.5610
dhp		0.003232	0.01158	824	0.28	0.7803
mscr	1	-0.1599	0.1913	824	-0.84	0.4034
mscr	2	-0.1093	0.1983	824	-0.55	0.5817
mscr	3	0.1153	0.2025	824	0.57	0.5693
mscr	4	0	.	.	.	.

Type III Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
age	1	824	0.34	0.5610
dhp	1	824	0.08	0.7803
mscr	3	824	0.98	0.3993

mscr Least Squares Means

mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|	Mean	Mean
1	0.08448	0.2928	824	0.29	0.7730	0.5211	0.07307
2	0.1351	0.3004	824	0.45	0.6530	0.5337	0.07476
3	0.3597	0.3006	824	1.20	0.2318	0.5890	0.07276
4	0.2444	0.3097	824	0.79	0.4303	0.5608	0.07629

Differences of mscr Least Squares Means

mscr	mscr	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
1	2	-0.05065	0.1734	824	-0.29	0.7703
1	3	-0.2752	0.1697	824	-1.62	0.1051
1	4	-0.1599	0.1913	824	-0.84	0.4034
2	3	-0.2246	0.1860	824	-1.21	0.2275
2	4	-0.1093	0.1983	824	-0.55	0.5817
3	4	0.1153	0.2025	824	0.57	0.5693

