

**PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU
FORESTIER**

Rapport final – volet 1 / MRN 42-13-03

**CRÉATION DE TABLES DE
RENDEMENT POUR LE
BOULEAU JAUNE**

Présenté à :

**Ministère des Ressources naturelles et de la
Faune du Québec**

Unité de gestion de Windigo et Gouin (42)

M. Kenny Walsh, ing.f.

Unité de gestion du Témiscamingue (81)

M. Daniel Soulières

Et

Compagnie Commonwealth Plywood Ltée

M. Christian Picard, ing.f.

Par :



**Centre collégial de transfert de technologie en
foresterie**

François Guillemette, ing.f., M.Sc.

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

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

JUILLET 2005

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET

- Compagnie Commonwealth Plywood Ltée
M. Christian Picard, ing.f.

PARTENAIRES DU PROJET

- **Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO)**
M. François Guillemette, ing.f., M.Sc.
M. Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
M. Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
M. Pascal Gauthier, ing.f.
M. Carl Thériault, tech. for.
M^{me} Julie Plante, tech. for.
- **Université Laval, Faculté de foresterie et de géomatique**
M. Jean Bégin, ing.f., D.Sc.
M. David Pothier, ing.f., Ph.D
- **Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec**
Unité de gestion de Windigo et Gouin (42)
M. Kenny Walsh, ing.f.

Unité de gestion de Témiscamingue (81)
M. Daniel Soulières, chef de l'UG.

TABLE DES MATIÈRES

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET	I
PARTENAIRES DU PROJET	I
LISTE DES FIGURES.....	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
REMERCIEMENTS.....	V
COMMENT CITER CE RAPPORT	V
RÉSUMÉ.....	VI
INTRODUCTION	1
BUTS DU PROJET	2
OBJECTIFS.....	3
1. MÉTHODOLOGIE.....	3
1.1. HYPOTHÈSES DE RECHERCHE	3
1.1.1. Indices de qualité de station	3
1.1.2. Volume.....	3
1.2. TERRITOIRE ET PLACETTES-ÉCHANTILLONS	4
1.3. TABLES DE RENDEMENT.....	9
1.4. VARIABLES À L'ÉTUDE.....	9
1.4.1. Hauteur.....	10
1.4.2. Indice de qualité de station.....	10
1.4.3. Volume marchand brut.....	12
1.4.4. Âge d'exploitabilité et rendement en produits.....	13
1.5. CHOIX D'UN MODÈLE DE PRÉDICTION DU VOLUME.....	13
1.6. PRÉCISION ET PERFORMANCE DU MODÈLE	14
1.7. ANALYSES STATISTIQUES.....	14
2. RÉSULTATS	15
2.1. DESCRIPTION DES PLACETTES-ÉCHANTILLONS.....	15
2.2. INDICES DE QUALITÉ DE STATION.....	17
2.2.1. Courbes de bouleau jaune par type écologique au Québec	17
2.2.2. Courbes du bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan.....	18
2.2.3. Courbes des feuillus tolérants en Ontario.....	19
2.2.4. Courbes du bouleau à papier au Québec	20
2.2.5. Choix d'un modèle.....	21
2.3. TABLES DE RENDEMENT.....	22
2.3.1. Bouleau jaune au Québec.....	22
2.3.2. Feuillus tolérants en Ontario	27
3. DISCUSSION.....	29

3.1.	INDICES DE QUALITÉ DE STATION.....	29
3.1.1.	<i>Bouleau jaune par type écologique au Québec</i>	29
3.1.2.	<i>Bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan</i>	29
3.1.3.	<i>Feuillus tolérants en Ontario</i>	30
3.1.4.	<i>Bouleau à papier au Québec</i>	31
3.2.	TABLES DE RENDEMENT.....	31
3.2.1.	<i>De 20 à 49 ans</i>	31
3.2.2.	<i>De 50 à 110 ans</i>	31
3.2.3.	<i>Plus de 110 ans</i>	32
3.2.4.	<i>Bouleau jaune vs feuillus tolérants de l'Ontario</i>	33
3.2.5.	<i>Applications au Québec</i>	34
3.3.	REMARQUE SUR LES BÉTULAIES À BOULEAU JAUNE.....	36
4.	RECOMMANDATIONS	37
4.1.	RECOMMANDATIONS SUR L'APPLICATION DES RÉSULTATS.....	37
4.1.1.	<i>Modèle du bouleau jaune</i>	37
4.1.2.	<i>Modèle des feuillus tolérants de l'Ontario</i>	37
4.2.	RECOMMANDATIONS SUR LA RECHERCHE.....	37
5.	CONCLUSION	39
	RÉFÉRENCES	40
	ANNEXE 1 TABLES DE RENDEMENT	43
	ANNEXE 2 IQS DES BOULEAUX BLANC ET JAUNE	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Localisation des placettes retenues en Mauricie et dans Portneuf.....	6
Figure 2.	Localisation des placettes retenues au Témiscamingue.....	7
Figure 3.	Distributions typiques des diamètres exprimées en termes de densité et de surface terrière des placettes de bouleau jaune équienne.....	8
Figure 4.	Distribution de fréquence des placettes par classe d'âge et par type écologique.....	15
Figure 5.	Relation entre la hauteur dominante et l'âge à 1 m par type écologique et la courbe d'indice de qualité de station sur MJ22.....	18
Figure 6.	Relation entre la hauteur et l'âge des tiges et des placettes versus les courbes d'indices de qualité de station pour le bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan.....	19
Figure 7.	Relation entre la hauteur moyenne et l'âge des placettes versus les courbes d'indices de qualité de station pour les feuillus tolérants en Ontario.....	20
Figure 8.	Comparaison des courbes et indices basés sur la hauteur moyenne versus la hauteur dominante des placettes.....	20
Figure 9.	Relation entre la hauteur dominante et l'âge des tiges de bouleau jaune versus les courbes d'indices de qualité de station pour le bouleau à papier.....	21

Figure 10.	Relation entre la hauteur dominante et l'âge du modèle d'indice de qualité de station retenu pour le bouleau jaune	22
Figure 11.	Volume marchand (DHP > 9,0 cm) brut et accroissement annuel moyen en fonction de l'âge ..	23
Figure 12.	Volume marchand brut et accroissement annuel moyen de bois d'œuvre de bouleau jaune en fonction de l'âge	24
Figure 13.	Volume marchand (DHP > 33,0 cm) brut et accroissement annuel moyen en fonction de l'âge	24
Figure 14.	Volume marchand brut et accroissement annuel moyen de bois d'œuvre de bouleau jaune de plus de 33,0 cm au DHP en fonction de l'âge.....	24
Figure 15.	Densité des tiges marchandes de toutes les essences et des tiges de bouleau jaune en fonction de l'âge.....	26
Figure 16.	Diamètre quadratique des tiges marchandes de toutes les essences et des tiges de bouleau jaune en fonction de l'âge	26
Figure 17.	Relation entre le volume et la surface terrière	27
Figure 18.	Comparaison des courbes de rendement des feuillus tolérants de l'Ontario avec le modèle pour le bouleau jaune selon respectivement des IQS de 19,5 et 16,5 m à 50 ans	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Fréquence des placettes retenues par région et par unité de compilation	4
Tableau 2.	Fréquence des placettes par dépôt de surface et classe de drainage	15
Tableau 3.	Étendue des principales caractéristiques dendrométriques des placettes retenues	16
Tableau 4.	Proportion des tiges de bouleau jaune par classe de qualité en fonction des groupes d'âge et des classes de diamètre	16
Tableau 5.	Proportion des tiges de bouleau jaune par classe de vigueur en fonction des groupes d'âge et des classes de diamètre	17
Tableau 6.	Valeurs des coefficients des équations de rendement en volume marchand par modèle d'indice de qualité de station	22
Tableau 7.	Valeurs des coefficients des équations	23
Tableau 8.	Matrice de l'âge d'exploitabilité du bouleau jaune.....	25
Tableau 9.	Comparaison des aspects les plus critiques des modèles de rendement des peuplements de bouleaux.....	35

REMERCIEMENTS

Le Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO) tient à remercier le ministère des Ressources naturelle et de la Faune du Québec dans le cadre du *Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier* (Volet 1) pour son soutien financier par l'entremise de M. Christian Picard de Commonwealth Plywood.

De plus, nos remerciements vont aussi aux nombreux organismes qui ont collaboré à l'identification de secteurs potentiels pouvant contenir des peuplements purs et équiennes de bouleau jaune, notamment : MRNF, Groupement forestier de Portneuf, Cogefor, Gérard Crête et Fils, Le Groupe Desfor (Mauricie), Commonwealth Plywood (Mauricie et Témiscamingue) et M. AntoninGuimond.

De même, nous remercions ceux qui ont contribué à la méthodologie ou à la mise en contexte des résultats, soit MM. Jean Bégin, David Pothier, Murray Woods et Serge Vézina.

Nos remerciements vont aussi au Cégep de Sainte-Foy pour sa contribution dans la préparation des échantillons d'âge des arbres.

Enfin, nous remercions M^{me} Anik Mimeault pour le traitement de texte et M^{me} Claire Roy pour la révision de ce rapport.

COMMENT CITER CE RAPPORT

Guillemette, F., G. Lessard et D. Blouin . 2005. Création de tables de rendement pour le bouleau jaune. Centre collégial de transfert de technologie en foresterie, Rapport du CERFO 2005-07. 47 p.

RÉSUMÉ

De l'avis de plusieurs, il existe un doute raisonnable que les tables de rendement présentement utilisées pour le bouleau jaune ne soient pas adéquates et adaptées à la réalité de cette espèce au Québec. En effet, elles sont calquées sur celles des feuillus tolérants de l'Ontario (Plonski, 1981). Le modèle de rendement des feuillus tolérants de l'Ontario a été élaboré d'après de nombreuses espèces dont l'autécologie est variable, particulièrement en terme de croissance, de tolérance à l'ombre et de longévité. La méthode d'élaboration des courbes employée par Plonski (1969, 1981) avait pour effet d'éliminer systématiquement les placettes qui étaient situées aux limites supérieures et inférieures des observations. Ainsi, si une espèce avait une croissance supérieure ou inférieure à l'ensemble des feuillus tolérants, les placettes où elle dominait pourraient avoir été rejetées.

Le projet visait donc à valider les tables actuelles et à amorcer la création de tables spécifiques au bouleau jaune par l'établissement de placettes-échantillons temporaires dans des peuplements purs et équiennes de bouleau jaune. Un inventaire de 63 placettes-échantillons temporaires a été réalisé dans des peuplements purs et équiennes de bouleau jaune de Portneuf, de la Mauricie et du Témiscamingue à l'automne 2003. Après vérification de la structure des peuplements à partir des études d'arbres, 45 placettes âgées entre 19 et 265 ans, répondaient aux critères pour élaborer des tables de rendement. Fait intéressant à noter, il existerait un climax édaphique pour des bétulaies à bouleau jaune sur les bas de pente rocailleux.

Des observations ont démontré que le bouleau jaune, tant au Québec qu'en Ontario, pouvait avoir une croissance en hauteur plus rapide que celle représentée par les courbes d'indices de qualité de station pour les feuillus tolérants de l'Ontario. De plus, les placettes temporaires n'ont pas permis de distinguer des qualités de station différentes par type écologique. La forme des courbes d'indices de qualité de station pour le bouleau jaune ressemblerait davantage à celle des courbes utilisées au Québec pour le bouleau à papier, une espèce parente.

Les 45 placettes-échantillons temporaires ont donc été séparées en deux qualités de station sur cette base, ce qui a permis de distinguer des rendements différents en fonction de l'âge. Sur les stations de meilleure qualité, l'accroissement en volume du bouleau jaune est plus rapide que celui des feuillus tolérants, réduisant ainsi l'âge d'exploitabilité. Quant aux stations de qualité moyenne, le rendement et l'âge d'exploitabilité obtenus d'après le modèle québécois sont davantage similaires à ceux du modèle des feuillus tolérants de l'Ontario. Cependant, des doutes ont été émis sur la capacité de maintenir un couvert fermé, pur et équiennes dans les peuplements de bouleau jaune après 110 à 145 ans, contrairement aux courbes des feuillus tolérants. En effet, il a été très difficile de trouver des peuplements fermés, purs et équiennes de plus de 110 à 145 ans selon la qualité de la station. Une des hypothèses soulevées est qu'une mortalité partielle aurait pour effet d'ouvrir le couvert, d'augmenter la proportion d'espèces tolérantes et d'affecter la structure du peuplement au point où il ne pouvait plus être échantillonné dans la présente étude.

Finalement, des recommandations ont été faites visant principalement les modalités d'application du modèle développé pour le bouleau jaune, des mises en garde face à l'utilisation du modèle des feuillus tolérants de l'Ontario et des améliorations à apporter au modèle de rendement du bouleau jaune proposé pour le Québec.

INTRODUCTION

L'amélioration des connaissances quant au rendement des sites forestiers constitue une préoccupation d'actualité. L'importance de ce champ de recherche s'explique aisément par le rôle clé des modèles de croissance (tables de rendement) dans la détermination de la possibilité forestière à rendement soutenu, l'un des points cruciaux du nouveau régime forestier. Cette problématique constituait également l'une des priorités du groupe d'action sur la forêt feuillue, soit de créer des tables de rendement pour les différentes essences feuillues et le pin par classe de site (MRN, 1998). Actuellement, le Conseil de la recherche forestière du Québec énonce clairement l'importance d'intégrer les variables écologiques aux modèles de simulation et la nécessité d'améliorer les courbes de rendement de certains peuplements (MRN, 2002a). Parmi ces derniers, on note les peuplements des forêts feuillues et mélangées, dans lesquels le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.) est une essence d'importance.

Le bouleau jaune représente une espèce majeure économiquement. En effet, 515 800 m³ sont attribués annuellement pour cette seule espèce, sans compter les volumes de bouleau jaune confondus dans le million de mètres cubes des appellations Érables+Bouleaux et Feuillus durs. D'ailleurs, 16,1 et 15,5 % de cette attribution se font dans les régions de la Mauricie et du Témiscamingue, respectivement (Charest, 2002). Le bouleau jaune a récemment été choisi arbre emblème du Québec, symbole économique, social et culturel. En plus d'être un des bois nobles les plus connus, il se distingue par la variété de ses usages et sa valeur commerciale potentiellement élevée, particulièrement pour le déroulage.

Actuellement, des efforts significatifs sont consentis pour maintenir, voire augmenter, la présence et la qualité de cette ressource dans nos peuplements forestiers, particulièrement en Mauricie et au Témiscamingue. Il a aussi été constaté que la régénération du bouleau jaune est plus faible que prévue dans plusieurs régions du Québec, notamment au Témiscamingue (MRN, 2002c). Une proportion considérable de bois à pâte feuillu y est retrouvée et il importe de maximiser la production de bois d'œuvre. Pour ce faire, on remarque l'utilisation grandissante de traitements sylvicoles comme le jardinage par trouées, la coupe par parquets ou par bandes et la coupe progressive favorisant l'établissement d'îlots et de peuplements purs et équiennes de bouleau jaune. L'évolution et les rendements de ces secteurs doivent par la suite être estimés, de manière à être intégrés lors du calcul de la possibilité forestière. On emploie alors des courbes de production, dans les deux modules de simulation du logiciel Sylva II, par peuplement ou par classe de diamètre (dans les scénarios d'évolution). D'autres logiciels que Sylva II utilisent de telles courbes, comme Forexpert (Louis-Jean Lussier), Fiber 3 (Solomon *et al.*, 1995), SilvaH (Marquis et Ernst, 1992), NE-Twigs (Belcher, 1992), Woodstock-Stanley et Patchwork pour ne nommer que ceux-là.

De l'avis de plusieurs, il existe un doute raisonnable que les tables de rendement présentement utilisées pour le bouleau jaune ne soient pas adéquates et adaptées à la réalité de cette espèce au Québec. En effet, elles sont calquées sur celles des feuillus tolérants de l'Ontario (Plonski, 1981¹). Plusieurs considérations inquiètent l'aménagiste qui utilise obligatoirement de telles courbes dans sa planification :

¹ Il existe trois éditions des tables de Plonski : 1960, 1974 et 1981. Sauf exception, seule l'édition la plus récente (1981) sera citée dans la présente étude.

- Le bouleau jaune est une essence peu tolérante à l'ombre (MRN, 1997) alors que les courbes de Plonski (1981) ont été élaborées à partir de nombreuses espèces à tolérance variée, tels que l'érable à sucre, l'érable rouge, le hêtre, le tilleul, le bouleau jaune, la pruche, etc. Il est donc justifié de s'interroger si des espèces d'autécologies si différentes possèdent réellement les mêmes rendements.
- Plonski (1960) lui-même, dans sa préface, mentionnait qu'idéalement les espèces auraient dû être séparées et qu'il n'a pu en être ainsi en raison des contraintes de temps et d'argent : « It is desirable to have yield tables for all of the forest tree species in Ontario, yet the task and cost involved, and most of all, the time limitations, do not warrant additional growth and yield studies at this time ».
- Ces courbes de Plonski (1981) sont anamorphiques et non polymorphiques. Or, il est reconnu que les courbes polymorphiques, i.e. présentant différentes formes selon les divers indices de qualité, sont plus représentatives de la réalité (Carman, 1978; OMNR, 1998).
- Des observations au Québec et en Ontario démontrent que les courbes d'indices de qualité de station pour les feuillus tolérants sous-estiment la hauteur en jeune âge.
- Une validation est toujours nécessaire lorsqu'on importe des résultats pris dans d'autres contextes écologiques, comme le mentionne le guide ontarien des feuillus tolérants (OMNR, 1998) : « A validation of the tools provided from other agencies (provinces and states) should be carried out in local areas before they are adopted ».

Il semble donc pertinent de valider l'application des tables de rendement pour les feuillus tolérants de l'Ontario (Plonski, 1981) au bouleau jaune au Québec. Contrairement à un mythe répandu, il existe des peuplements de bouleau jaune dans les divers domaines bioclimatiques du Québec. On les retrouve souvent sur de petites superficies pouvant atteindre quelques hectares. Ils sont souvent issus de perturbations naturelles ou anthropiques importantes comme les chablis, les feux, les anciennes coupes à diamètre limite ou les coupes à blanc totales ou par bandes.

De nombreux aménagistes de l'industrie et du MRNF ont indiqué l'intérêt important du développement de ces tables de rendement pour la simulation des strates à production de bouleau jaune et résineuse à bouleau jaune, qui seront de plus en plus nombreuses dans le futur, considérant les nouveaux types de traitements utilisés.

BUTS DU PROJET

- 1 - Contribuer au développement de tables de rendement plus précises pour les bétulaies jaunes, pour la simulation du bouleau jaune en peuplement pur ou comme essence compagne, selon les différentes qualités de station, en vue d'améliorer les intrants de simulation.
- 2 - Contribuer à la connaissance de la dynamique forestière et de la structure de ces peuplements.

OBJECTIFS

- 1 - Établir des courbes de rendement plus précises et réalistes pour le bouleau jaune pour les différentes qualités de sites où on le retrouve.
- 2 - Comparer les tables ainsi développées aux tables présentement utilisées lors des simulations (Plonski, 1981).

1. MÉTHODOLOGIE

1.1. HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Ce projet vise à vérifier les hypothèses suivantes :

1.1.1. Indices de qualité de station

1. Il existe des relations différentes entre la hauteur dominante et l'âge du bouleau jaune sur différents types écologiques au Québec.
2. Les courbes d'indices de qualité de station pour le bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan sont adéquates pour représenter l'évolution de la hauteur du bouleau jaune au Québec.
3. Les courbes d'indices de qualité de station pour les feuillus tolérants de l'Ontario sous-estiment l'évolution en hauteur du bouleau jaune au Québec.
4. Les courbes d'indice de qualité de station pour le bouleau à papier au Québec sont davantage applicables au bouleau jaune que celles des feuillus tolérants de l'Ontario.

1.1.2. Volume

5. Les courbes de volume pour les feuillus tolérants de l'Ontario sous-estiment le rendement du bouleau jaune au Québec.
6. L'âge d'exploitabilité absolue (plus de 9,0 cm au DHP) des tiges de bouleau jaune est le même que celui pour les feuillus tolérants en Ontario, soit de 85 à 95 ans selon la qualité de la station.
7. L'âge d'exploitabilité technique (plus de 23 cm ou plus de 33 cm) du bouleau jaune au Québec est de 130 ans, tel qu'évalué dans le Manuel d'aménagement forestier.

1.2. TERRITOIRE ET PLACETTES-ÉCHANTILLONS

Le territoire à l'étude couvre le Témiscamingue, la Mauricie et Portneuf (Figures 1 et 2) dans lequel on retrouve des secteurs composés de bouleau jaune et présentant soit des peuplements de structure équienne soit des îlots de structure équienne à l'intérieur de peuplements irréguliers. Les placettes ont été distribuées dans 6 unités de compilations réparties dans les sous-domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune de l'est (4 est) et de l'ouest (4 ouest), de l'érablière à bouleau jaune de l'est (3 est) et de l'ouest (3 ouest) (Tableau 1).

Tableau 1. Fréquence des placettes retenues par région et par unité de compilation

Région	Unité de compilation	Nombre de placettes	
		Etablies	Retenues
Portneuf	49R3	11	7
	56R3	6	2
	5872A	4	4
Mauricie	49R4	12	7
	565768	2	2
Témiscamingue	R8T1	28	23
	Total	63	45

Les bases de données des placettes-échantillons temporaires et permanentes du MRNF ont été consultées afin d'y identifier des placettes pures en bouleau jaune ($\geq 75\%$ de la surface terrière en bouleau jaune) qui pouvaient avoir une structure équienne ou régulière (MRNFP, 2003) et dont le couvert était suffisamment fermé (densité A ou B). Par la suite, une photo-interprétation fine des peuplements de bouleau jaune dans les environs de ces placettes a permis d'identifier plus précisément les secteurs à visiter. Des rencontres avec les intervenants locaux ont permis de confirmer ou d'infirmer la présence probable de peuplements purs et non perturbés² de bouleau jaune de structure équienne aux endroits ciblés. Afin de réduire les coûts de déplacements entre les placettes, la distance minimale entre deux placettes a été de 50 m.

Après une reconnaissance des secteurs ciblés, 62 placettes-échantillons temporaires (MRN, 2002b) ont été établies et une placette a été recrutée d'un autre projet du CERFO. Des études d'arbres ont été réalisées sur 4 bouleaux jaunes dominants ou codominants par placette afin de mesurer l'âge à 1 m et la hauteur totale. L'âge de ces tiges a été compté en laboratoire à l'aide d'une lunette binoculaire après avoir finement sablé puis mouillé les échantillons (Carmean, 1978).

Pour construire des courbes d'indice de qualité de station (IQS) pour différents feuillus durs, Carmean (1978) avait retenu une étendue maximale d'âge de 10 ans pour définir un peuplement à structure régulière. Dans le Manuel d'aménagement forestier, le MRNFP (2003) qualifie de structure régulière les peuplements dont « l'éventail des âges n'excède pas la moitié de l'âge d'exploitabilité de ou des essences principales ». Les placettes-échantillons, dont l'étendue des âges des 3 ou 4 arbres-études dominants ou codominants était d'au plus 45 ans, ont été considérées équiennes. Lorsque les mesures d'âge et la distribution des diamètres démontraient que le plus vieil arbre à l'étude était un vétéran, celui-ci n'a pas été considéré dans l'évaluation de la structure. Les

² À l'exception des peuplements jeunes qui pouvaient avoir pour origine une coupe totale.

45 placettes-échantillons retenues avaient aussi une surface terrière en vétérans inférieure à 25 % et une surface terrière de bouleau jaune d'au moins 75 %³.

Une sélection de 26 placettes répondant à des critères plus sévères d'évaluation de la structure équiennne (étendue des âge d'au plus 28 ans et absence de vétérans) ont été testées sur les modèles d'indices de qualité de station et de volume. En aucun cas, la dispersion du nuage de points était différente du modèle avec les critères initiaux. C'est pourquoi les placettes ayant des vétérans ont été retenues lorsque leur surface terrière représentait moins de 25 %. Les arbres études vétérans n'ont pas été utilisés pour calculer l'âge moyen de la placette.

C'est principalement l'âge des tiges de bouleau jaune, et non seulement la distribution des diamètres, qui a permis l'identification des placettes à structure équiennne. La structure diamétrale du bouleau jaune dans un peuplement équiennne peut prendre différentes formes en fonction de l'âge, mais ressemble généralement à une cloche qui s'aplatit et s'étale en vieillissant (Figure 3; Lorimer et Krug, 1983). De petites tiges d'essences tolérantes s'installent fréquemment sous ce couvert ce qui engendre une forte variabilité dans la structure diamétrale de ces placettes. La distribution diamétrale de l'ensemble des essences d'une placette avait donc fréquemment une allure plutôt uniforme, bimodale ou en J inversé plutôt qu'unimodale (Figure 3). Néanmoins, la surface terrière de ces placettes, et donc indirectement leur volume, était concentrée dans les bouleaux jaunes dominants et codominants qui forment le couvert équiennne.

Finalement, la précision des courbes d'indices de qualité de station aurait pu être améliorée en recrutant des arbres-études à partir de la base de données des placettes-échantillons du MRNF. Pour être recrutées, l'âge de ces bouleaux jaunes devait avoir été mesuré et les tiges devaient répondre à certains critères pour s'assurer qu'elles n'avaient pas été dominées et, qu'ainsi, elles représentaient la qualité de la station. Une analyse sommaire a démontré que trop peu de tiges pouvaient y être recrutées en ayant la certitude qu'elles avaient été libres de croître. Cette avenue a donc été rejetée.

³ Néanmoins, une placette a été retenue avec une surface terrière en bouleau jaune de 70 %, puisqu'à cette exception près, elle répondait parfaitement aux autres critères de sélection.

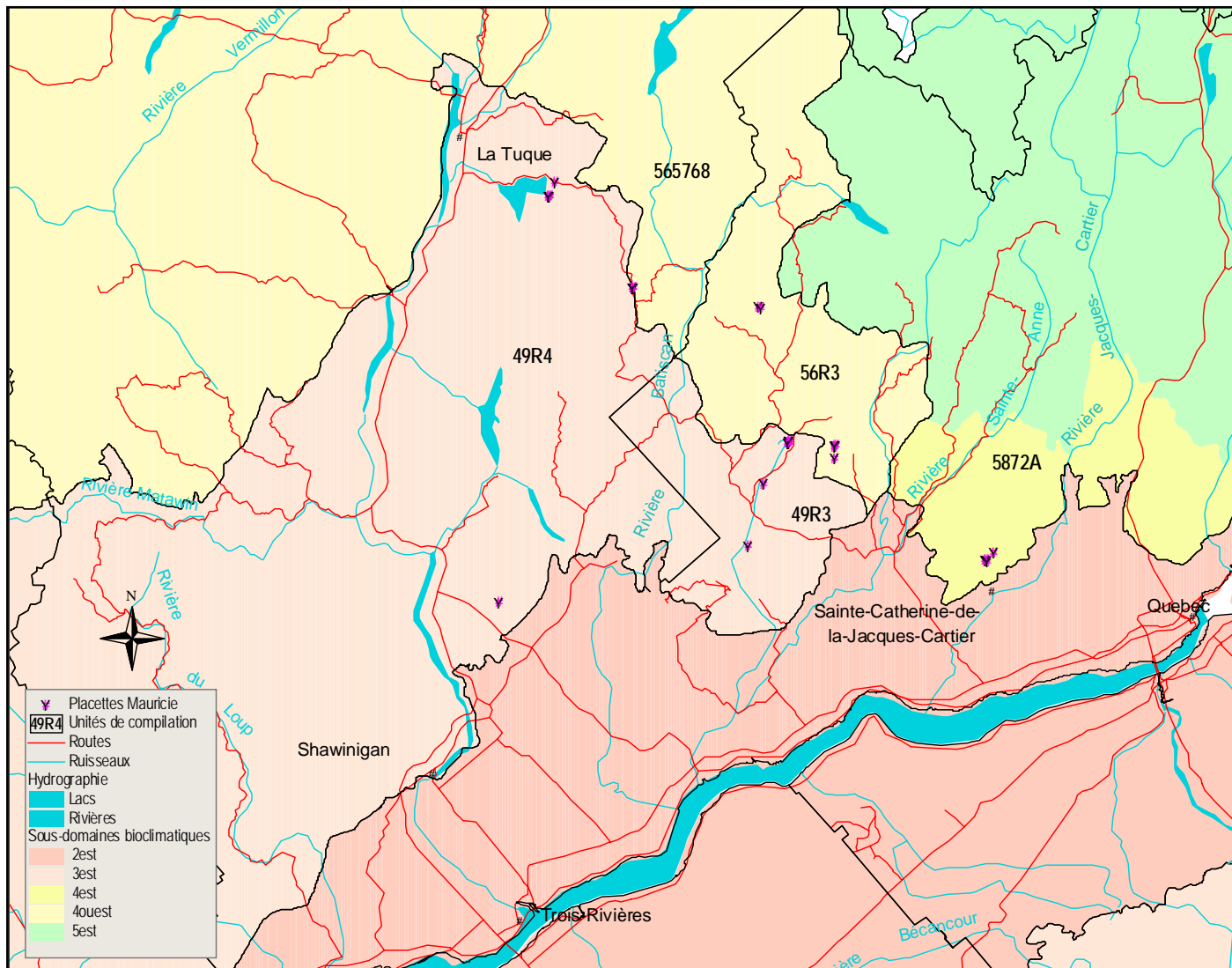


Figure 1. Localisation des placettes retenues en Mauricie et dans Portneuf

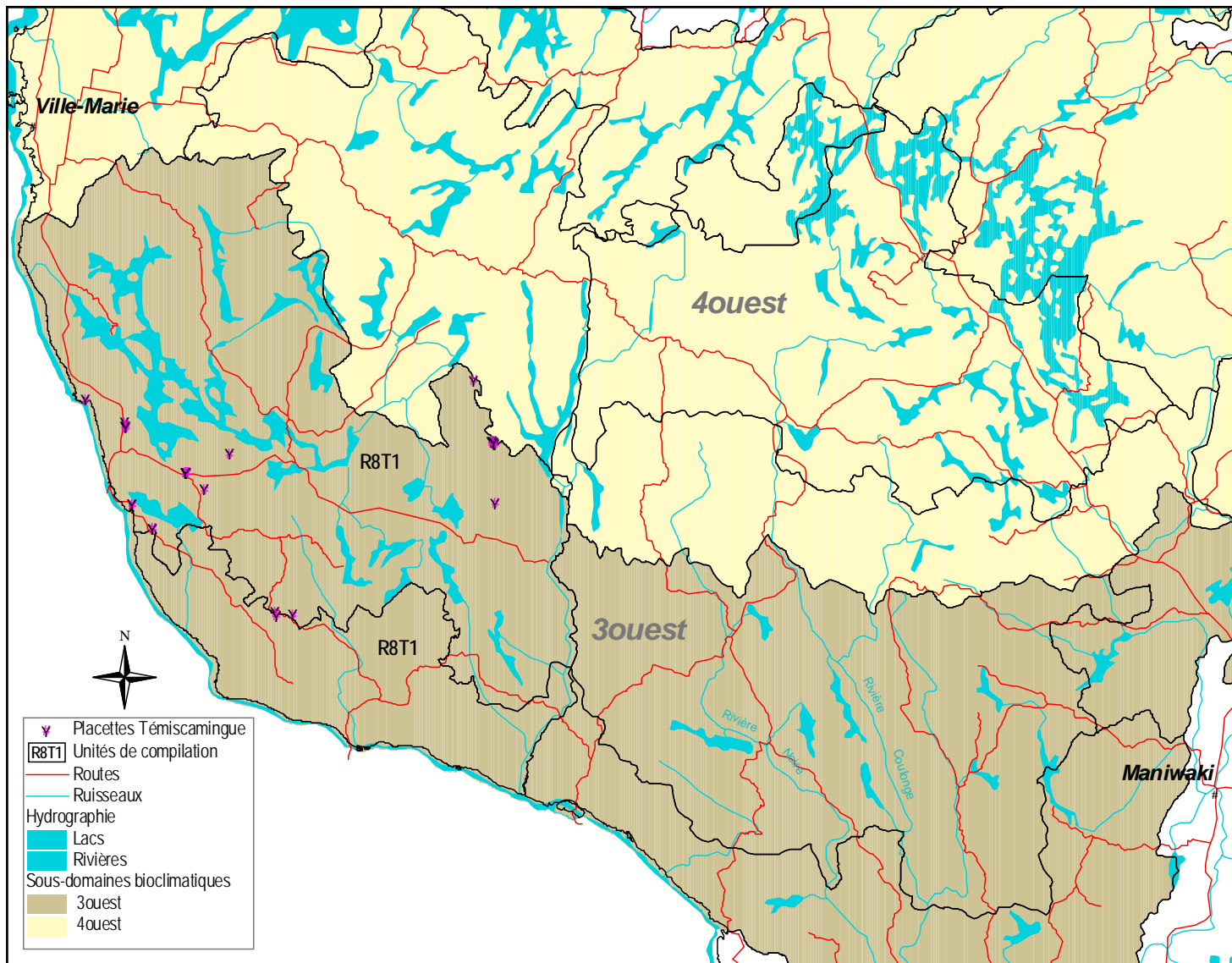


Figure 2. Localisation des placettes retenues au Témiscamingue

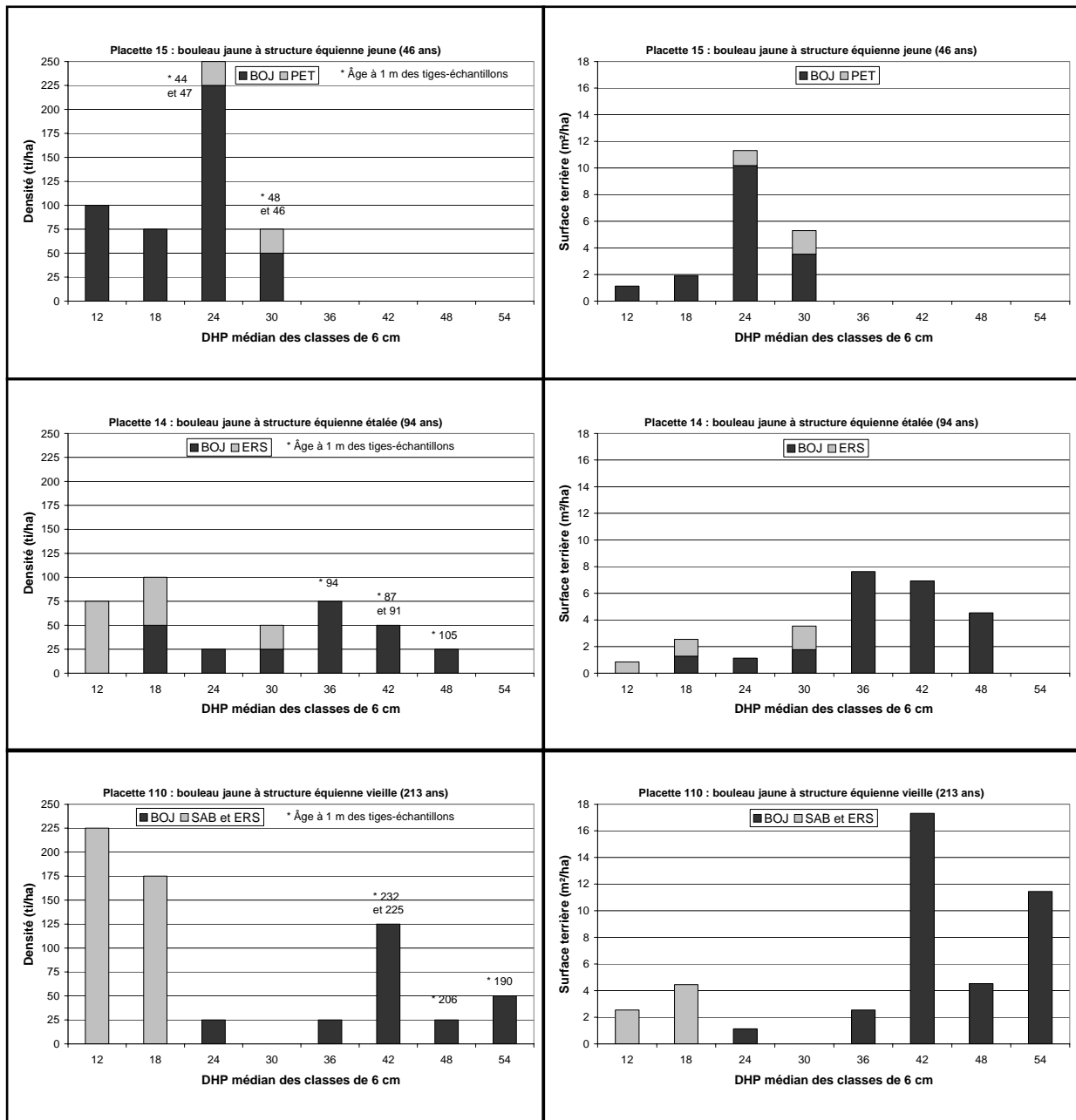


Figure 3. Distributions typiques des diamètres exprimées en terme de densité et de surface terrière des placettes de bouleau jaune équiennes

1.3. TABLES DE RENDEMENT

Les tables de rendement pour des peuplements à structure équiennne peuvent être dites normales ou empiriques (Barette *et al.*, 1996) bien que dans ce dernier cas, il serait plus approprié de les désigner en tant que tables de production pour des peuplements de densité moyenne (Avery et Burkhart, 1994 dans Pothier et Savard, 1998). Les tables normales représentent le volume de peuplements parfaitement stockés. Dans le cas des *Normal Yield Tables* de Plonski (1981), il est plutôt question de fermeture complète du couvert et d'une distribution régulière ou unimodale, des classes de diamètre (Plonski, 1969). Parmi les placettes répondant à ces deux critères, Plonski (1969) a calculé un rendement moyen. Ainsi, les tables *normales* de Plonski (1981) seraient des tables pour des peuplements de forte densité (le couvert est fermé), mais qui ne sont pas parfaitement stockés (< 100 %).

Les placettes retenues dans la présente étude répondaient à des critères semblables à ceux mentionnés précédemment pour Plonski (1969, 1981) en terme de fermeture du couvert, permettant ainsi le développement d'un modèle pour le bouleau jaune qui est comparable à celui de Plonski (1981). Le faible échantillonnage de la présente étude (45 placettes) n'a pas permis de distinguer des courbes différentes sur la base d'indices de densité relative différents, tel que réalisé par Pothier et Savard (1998). De plus, une telle distinction exige de construire un modèle d'évolution de la densité et de le valider avec des placettes permanentes (Pothier et Savard, 1998), ce qui était impossible pour le bouleau jaune.

Finalement, des doutes ont été soulevés sur la représentativité des 7 placettes âgées de plus de 200 ans. En effet, il a été difficile de trouver des peuplements équiennes et purs en bouleau jaune de plus de 110 ans. Les sept placettes âgées de plus de 200 ans provenaient d'un même secteur (Florio) au Témiscamingue et n'ont donc pas été retenues pour construire le modèle empirique. Néanmoins, elles sont présentées sur les graphiques à titre indicatif du potentiel des meilleurs sites, malgré l'abondance de carie de cœur qui y a été observée.

1.4. VARIABLES À L'ÉTUDE

L'intérêt premier de l'élaboration de tables de rendement est d'obtenir un modèle représentant le volume marchand brut (VMB) en fonction de l'âge (A) et de la qualité de la station (IQS). Cette dernière variable est généralement bien représentée avec la relation par essence entre la hauteur dominante (H_d), qui exprime mieux la croissance des peuplements que la hauteur moyenne (H_m), et l'âge (Rondeux, 1999). La relation entre le volume et l'âge permet ensuite de calculer l'accroissement annuel moyen (AAM) pour déterminer l'âge d'exploitabilité. Les considérations méthodologiques relatives à ces variables sont présentées aux sections 1.4.1 à 1.4.4.

Il était pertinent d'inclure dans les tables, des variables supplémentaires pour répondre à divers besoins des utilisateurs. La surface terrière marchande (G) est présentée, puisqu'elle est fréquemment utilisée pour estimer le volume. La densité (N) et le diamètre quadratique (DHPq) permettent aussi d'estimer la surface terrière et le volume. De plus, la densité permet de déterminer l'espacement recherché lors d'éclaircies. Le diamètre dominant (DHPd), c'est-à-dire le diamètre maximal moyen observé dans les placettes, est aussi présenté pour faire les liens avec des critères techniques de récolte. Finalement, la proportion du volume de bouleau jaune de qualité bois d'œuvre a été calculée pour faciliter la comparaison avec les hypothèses du Manuel d'aménagement forestier (MRNFP, 2003).

1.4.1. Hauteur

La hauteur dominante (Équation 1), telle que définie par Pothier et Savard (1998), est celle des 100 plus grosses⁴ tiges par hectare (4 par placette de 400 m²) évaluée d'après le diamètre et la hauteur moyenne des tiges-échantillons. Cette définition a été retenue pour comparer les données des placettes de bouleau jaune avec les courbes d'IQS pour le bouleau à papier de Pothier et Savard (1998) et pour construire des courbes d'IQS pour le bouleau jaune par type écologique (Section 1.4.2.).

Étant donné que les arbres-études ont été sélectionnés parmi les dominants et codominants, leur hauteur moyenne était toujours très semblable à la hauteur dominante. Néanmoins, Plonski (1981) avait utilisé la hauteur moyenne des tiges dominantes et codominantes de diamètre moyen afin de qualifier la qualité des stations pour les feuillus tolérants en Ontario. Cette définition de la hauteur moyenne a donc été utilisée pour comparer les données de la présente étude avec le modèle de Plonski (1981). La hauteur de la tige dominante ou codominante de diamètre moyen a été évaluée avec l'équation 1 en substituant le diamètre moyen (D_m) de tous les bouleaux jaunes de la placette à celui des 100 plus grosses tiges à l'hectare (D_{100}). Cette dernière définition de la hauteur moyenne donnait généralement une valeur légèrement inférieure à la moyenne des 4 tiges-échantillons.

$$H_d = 1,3 + \left[\frac{D_{100}}{\left(\frac{\bar{D}_i}{\bar{H}_i - 1,3} \right) + \beta_2 (D_{100} - \bar{D}_i)} \right] \quad (\text{Éq. 1})$$

- où
- H_d : hauteur dominante (m)
 - D_{100} : dhp moyen des 100 plus gros arbres par hectare de la placette i (cm)
 - \bar{H}_i : hauteur totale moyenne (arithmétique) des arbres-études de la placette i (m)
 - \bar{D}_i : dhp moyen (arithmétique) des arbres-études de la placette i (cm)
 - β_2 : coefficient de régression estimé à $0,0400 \pm 0,0054$ pour le bouleau jaune.

1.4.2. Indice de qualité de station

Les études de Carmean (1978; 1979ab) sur les IQS des feuillus⁵ dans le Nord du Wisconsin et du Michigan ont démontré que :

- les courbes d'IQS diffèrent de façon importante entre les espèces;
- la forme d'une courbe décrivant la hauteur en fonction de l'âge peut varier entre les IQS d'une même espèce (polymorphisme);
- pour un IQS d'une essence donnée, il peut exister des différences importantes dans la forme de la courbe selon la méthode de construction de la courbe et la région d'origine des données;
- la construction de courbes d'IQS devrait se faire à partir de méthodes d'analyse de tige, de mesures internodales ou d'observations sur des placettes permanentes.

⁴ Excluant les vétérans.

⁵ ERS, ERR, BOJ, HEG, TIA, ORA, FRA, FRN, CET, CHR, BOP, PET, PEG.

Ces trois méthodes de construction de courbes d'IQS n'étaient pas applicables au présent projet puisqu'il est impossible de réaliser des mesures internodales pour le bouleau jaune, que les placettes permanentes de bouleau jaune équienne sont rares et que le financement ne permettait pas la réalisation d'analyses de tiges en quantité suffisante.

Cependant, une quatrième méthode d'élaboration de courbes d'IQS était applicable. En effet, les études de Carmean (1978; 1979ab) n'ont pas évalué la possibilité d'élaborer des courbes différentes pour des stations forestières différentes. Or, Bégin *et al.* (1990) ont observé des relations hauteur-âge différentes par classe phytosociologique des érablières rouges, de même que Bélanger *et al.* (1995) pour le sapin baumier sur des types écologiques différents. Cette approche a donc été retenue pour développer des courbes décrivant la relation hauteur-âge par type écologique avec les données de bouleau jaune de la présente étude.

Finalement, les placettes temporaires ont permis de vérifier sommairement l'applicabilité des courbes de Carmean (1978) pour le bouleau jaune, de Plonski (1981) pour les feuillus tolérants et de Pothier et Savard (1998) pour le bouleau à papier. Le choix d'un modèle pour le bouleau jaune au Québec a d'abord été basé sur la capacité à distinguer des rendements significativement différents en volume par qualité de station, puis sur la qualité de l'ajustement du modèle au nuage de points (forme du nuage de points versus forme des courbes; Sit et Poulin-Costello, 1994).

1.4.2.1. COURBES DU BOULEAU JAUNE AU WISCONSIN ET AU MICHIGAN

Les observations dans les placettes de bouleau jaune ont été comparées aux courbes d'indice de qualité de station de Carmean (1978) pour le bouleau jaune dans le Nord du Wisconsin et du Michigan. En effet, ces courbes sont polymorphiques et elles ont été élaborées à partir d'analyse de tiges. Cependant, l'intérêt de comparer les données du bouleau jaune au Québec avec les courbes de Carmean (1978) est moindre que pour les courbes de Plonski (1981) puisqu'elles ne sont pas rattachées à des tables de rendement et qu'elles ont été construites seulement pour des tiges vigoureuses âgées entre 20 et 100 ans⁶.

Les indices de qualité de station de Carmean (1978) pour les 37 placettes de moins de 125 ans ont été calculés⁷ d'après la moyenne des indices de qualité de station de chaque étude d'arbre vigoureux de la placette. En absence d'études d'arbres vigoureux (3 placettes), les autres tiges ont été utilisées.

Pour les fins des autres analyses de cette étude, les sept courbes ont été regroupées en trois groupes de courbes afin d'avoir un échantillonnage suffisant par courbe. La qualité de station inférieure est représentée par les placettes qui ont un indice compris entre 12,2 et 15,1 m à 50 ans, la qualité de station moyenne par les placettes qui ont un indice compris entre 15,2 et 18,1 m à 50 ans et la qualité de station supérieure est représentée par les placettes ayant un indice compris entre 18,2 et 21,3 m à 50 ans, inclusivement.

⁶ Contrairement à ce qui est présenté dans les annexes de OMNR (1998) où les courbes ont été extrapolées de 0 à 20 ans et de 120 à 150 ans.

⁷ Estimation par extrapolation entre 100 et 123 ans.

1.4.2.2. COURBES DES FEUILLUS TOLÉRANTS EN ONTARIO

Il était aussi essentiel de comparer les données du bouleau jaune au Québec avec les courbes d'indice de qualité de station (IQS) de Plonski (1981) développées pour les feuillus tolérants de l'Ontario puisqu'elles sont présentement utilisées pour le bouleau jaune au Québec. Ces courbes ont été construites à partir d'observations de la hauteur des tiges dominantes et codominantes de diamètre moyen à un âge donné (Plonski, 1969). Les courbes de Plonski (1981) sont d'un intérêt élevé pour la présente étude étant donné qu'elles sont aussi rattachées à des tables de rendement qui couvrent une période allant jusqu'à 190 ans.

Trois années ont été soustraites à l'âge total des courbes de Plonski pour obtenir l'âge à 1 m, puisque Carmean (1978) avait calculé une période de quatre années entre l'âge total et l'âge à 1,30 m, ce qui a été corroboré par des observations dans des dispositifs expérimentaux en Mauricie (Guillemette *et al.*, 2003).

1.4.2.3. COURBES DU BOULEAU À PAPIER AU QUÉBEC

L'hypothèse que les courbes du bouleau à papier au Québec puissent bien représenter la relation entre la hauteur dominante et l'âge pour le bouleau jaune a aussi été vérifiée. Cette approche ne permet pas de régler les problèmes soulevés par Carmean (1978) et rapportés à la section 1.4.2, puisque les courbes du bouleau à papier ont été construites à partir de placettes temporaires (Pothier et Savard, 1998). Cependant, elles ont été construites à partir d'un plus grand nombre de placettes (784) que ce qui serait possible de réaliser pour l'instant avec le bouleau jaune (45 placettes). Ces courbes ont été construites à partir de tiges âgées entre 16 et 142 ans.

1.4.3. Volume marchand brut

Le tarif de cubage provincial de Perron (1985) a été appliqué pour calculer le volume des tiges d'après leur diamètre observé et leur hauteur évaluée avec les tarifs de cubage à 5 paramètres (LIN5) des unités de compilations du MRNF. La construction d'un tarif de cubage local spécifique au bouleau jaune dans cette étude aurait nécessité environ 150 tiges de plus (Blais *et al.*, 1996), ainsi qu'une meilleure distribution des tiges-échantillons dans les petits diamètres. De plus, les autres essences n'ont pas fait l'objet d'études d'arbres.

Le volume marchand brut calculé pour le bouleau jaune au Québec est obtenu pour des tiges de plus de 9 cm de diamètre à hauteur de poitrine. Le tarif de cubage de Perron (1985) permet de calculer le volume marchand brut sans écorce au-dessus de 15 cm (hauteur de souche) et jusqu'à un diamètre minimal d'utilisation de 9,1 cm dans les branches. Tandis que dans les tables de Plonski (1981) pour les feuillus tolérants de l'Ontario, le volume marchand brut (*gross merchantable volume*) serait celui des tiges de 7,1 cm et le diamètre minimal d'utilisation au fin bout serait le même (Murray Woods, *Growth and yield program leader* en Ontario, communication personnelle, 2004). Plonski (1981) présente aussi dans ses tables le volume total brut (*gross total volume*) qui représenterait le volume de toutes les tiges ayant plus de 1 cm de diamètre à hauteur de poitrine. De même, la surface terrière présentée dans Plonski (1981) serait celle de toutes les tiges ayant plus de 1 cm à hauteur de poitrine.

1.4.4. Âge d'exploitabilité et rendement en produits

Différents âges d'exploitabilité technique ont été obtenus en augmentant le diamètre minimal d'utilisation de 9,1 à 23,1 et 33,1 cm dans le calcul du volume marchand brut et, ainsi, en calculant l'accroissement des tiges de dimension sciage. De plus, la matrice provinciale de répartition par produits pour le bouleau jaune a été appliquée afin de déterminer les volumes par produits et d'en construire des courbes. Seules les 33 placettes âgées de moins de 200 ans qui n'avaient pas d'arbre vétéran ont été considérées pour calculer le volume marchand brut des tiges de plus de 23,0 cm, des tiges de plus 33,0 cm et des produits de bois d'œuvre afin d'éviter la sous-estimation de l'âge d'exploitabilité technique et la surestimation des rendements. En effet, la présence de gros vétérans dans des placettes jeunes avait pour effet d'augmenter considérablement ces volumes à des âges trop jeunes pour réellement produire des tiges d'aussi gros diamètre.

1.5. CHOIX D'UN MODÈLE DE PRÉDICTION DU VOLUME

Les modèles de Pothier et Savard (1998) et de Bégin *et al.* (1990) ont été considérés afin de sélectionner un modèle mathématique pour élaborer les tables de rendement du bouleau jaune.

Pothier et Savard (1998) ont développé un système d'équations qui nécessite une grande taille d'échantillonnage, mais qui permet d'intégrer toutes les variables dans un même système de quatre équations (Équations 2 à 5). L'estimation des paramètres (β_i) est faite de façon simultanée par la méthode des triples moindres carrés. Puisque la densité relative n'a pas été retenue pour les tables de rendement du bouleau jaune (Section 1.4), cette variable a été retirée des équations 2 à 5. Cependant, même en retirant cette variable, le nombre de paramètres à estimer était trop élevé par rapport à l'échantillonnage. Il est normalement recommandé d'avoir un minimum de 5 échantillons par paramètre à évaluer ($5 \times 18 = 90$), alors que seulement 45 placettes ont été réalisées. Néanmoins, la fonction mathématique de Bertalanffy-Richards décrivant la relation entre la hauteur dominante de la placette et l'âge moyen à 1 m dans Pothier et Savard (1998) a été retenue puisqu'elle s'ajustait bien aux données (Équation 6).

$$H_d = \beta_{10} + \beta_{11} IQS^{\beta_{12}} \left(1 - e^{-\beta_{13} A}\right)^{\beta_{14} IQS^{-\beta_{15}}} \quad (\text{Éq. 2})$$

$$DHP_q = \beta_{21} \beta_{22}^{H_d} A^{\beta_{23}} \quad (\text{Éq. 3})$$

$$G = \beta_{31} H_d^{\beta_{32}} \beta_{33}^{H_d} A^{\beta_{34}} e^{\beta_{36}/A} \quad (\text{Éq. 4})$$

$$VMB = \beta_{41} H_d^{\beta_{42}} G^{\beta_{43}} DHP_q^{\beta_{44}} \quad (\text{Éq. 5})$$

$$H_d = 1 + \beta_1 \left(1 - e^{-\beta_b A}\right) \quad (\text{Éq. 6})$$

Le modèle de Bégin *et al.* (1990) est plus simple, il requiert un échantillonnage moindre et représente l'évolution de chacune des variables dendrométriques étudiées au moyen d'un modèle exponentiel multivarié (Équation 7).

$$Y = e^{(\beta_1 + \beta_2 A g e^{-1} + \beta_i Q_i + \dots + \beta_n Q_n)} \quad (\text{Éq. 7})$$

où Y = la variable dendrométrique étudiée (VMB, H_d , G , N , etc.)

Age = l'âge moyen à hauteur de poitrine

Q_i à Q_n = variables binaires pour les classes de qualité de station

Le modèle mathématique de Bégin *et al.* (1990) s'ajustait moins bien aux données du bouleau jaune que les équations 6 et 8 pour la hauteur dominante et les autres variables, respectivement. Le modèle de Pothier et Savard (1998) (Équation 6) a donc été retenu pour la hauteur dominante, ainsi que l'équation 8 pour les autres variables.

$$Y = (\beta_0 + \beta_i Q_i + \dots + \beta_j Q_j) + (\beta_1 + \beta_k Q_k + \dots + \beta_n Q_n) \ln(\text{Age}) \quad (\text{Éq. 8})$$

où Y = la variable dendrométrique étudiée (VMB, G, N, DHP_q, etc.)
Age = l'âge moyen à 1 m
 Q_i à Q_n = variables binaires pour les classes de qualité de station

1.6. PRÉCISION ET PERFORMANCE DU MODÈLE

Étant donné la simplicité du modèle retenu (régression linéaire), le coefficient de détermination (R^2) a été retenu pour évaluer la précision du modèle. De plus, une comparaison graphique avec le modèle de Plonski (1981) a été effectuée.

En absence de placettes permanentes équiennes et pures en bouleau jaune, il n'était pas possible de comparer le rendement observé et prédit suite à un remesurage après un certain nombre d'années. De même, la rareté des placettes ne nous offrait pas la possibilité de réserver un certain nombre de placettes lors de l'élaboration du modèle pour ensuite les utiliser pour les comparer aux résultats du modèle.

1.7. ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS version 8.02. Les modèles linéaires ont été effectués avec la procédure des modèles linéaires généralisés GLM, alors que la procédure de régression non linéaire NLIN a été utilisée pour les modèles non linéaires. Les résultats sont présentés pour les courbes moyennes et les intervalles de confiance (IC) à 95 % de probabilité sur ces courbes. Les résultats ont été considérés significatifs (*) au niveau de probabilité de 95 % ($p < 0,0500$) et hautement significatifs (**) au niveau de probabilité de 99 % ($p < 0,0100$). L'analyse des résidus a démontré dans la plupart des cas une tendance à avoir des variances hétérogènes, mais l'ampleur de l'hétérogénéité n'était pas suffisante pour nécessiter une transformation des données.

2. RÉSULTATS

2.1. DESCRIPTION DES PLACETTES-ÉCHANTILLONS

Près de 60 % des 45 placettes retenues sont situées sur le type écologique MJ22 et elles sont assez bien distribuées entre les classes d'âge pour permettre l'élaboration d'une courbe d'indice de qualité de station pour ce type écologique (Figure 4). Par contre, l'échantillonnage est faible sur les autres types écologiques. À l'exception de trois placettes localisées sur des milieux de drainage subhydrique (MJ24 et MJ25), les placettes équiennes et pures en bouleau jaune ont été observées sur des dépôts de till mince à épais (> 25 cm), de texture moyenne et de drainage mésique (9 sur FE32, 7 sur MJ12 et 26 sur MJ22) (Tableau 2). De plus, la plupart des placettes étaient situées en milieu de pente, en bas de pente ou dans une dépression (proximité d'un ruisseau). En d'autres termes, les placettes équiennes et pures en bouleau jaune ont surtout été observées sur des stations avec drainage bon à modéré et où les risques de sécheresse sont faibles, car le bouleau jaune y est très sensible. Finalement, sept placettes ont plus de 200 ans, mais la majorité des placettes ont de 50 à 110 ans.

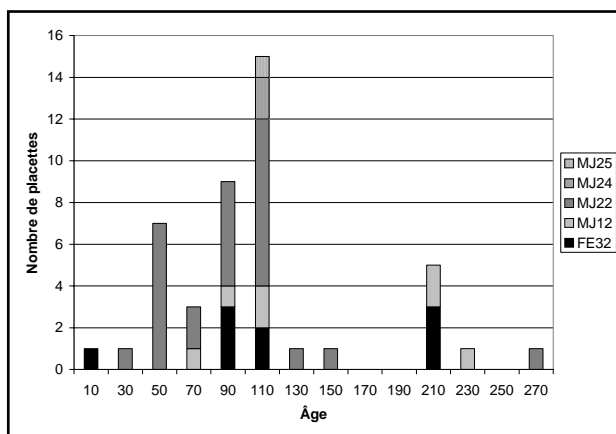


Figure 4. Distribution de fréquence des placettes par classe d'âge et par type écologique

Tableau 2. Fréquence des placettes par dépôt de surface et classe de drainage

Dépôt	Drainage			Total
	2 - Bon	3 - Modéré	4 - Imparfait	
1a – Till épais (> 1 m)	2		2	4
1aY – Till moyen (0,5 à 1 m)	13	4	1	18
1aM – Till mince (0,25 à 0,5 m)	21 ^a	2		23
Total	36	6	3	45

^a Dont une placette avec drainage oblique (*seepage*).

L'étendue des principales caractéristiques dendrométriques observées sur les tiges de diamètre marchand (>9,0 cm) est présentée au Tableau 3. L'importance de l'étendue des données de surface terrière et de volume marchand brut est principalement expliquée par la grande étendue des âges.

Tableau 3. Caractéristiques statistiques des variables dendrométriques des placettes retenues

		Minimum	Moyenne	Maximum
Âge	(années)	19	108	265
Surface terrière	(m ² /ha)	8,0	27,2	56,1
Surface terrière en bouleau jaune	(m ² /ha)	7,2	23,5	47,0
Surface terrière en bouleau jaune	(% du total)	70,0	88,5	100,0
Volume	(m ³ /ha)	29,8	228,7	538,5
Densité	(ti/ha)	200,0	446,0	850,0
DHP moyen quadratique	(cm)	11,8	28,5	40,4
Hauteur moyenne	(m)	13,1	20,2	25,0
Hauteur dominante	(m)	13,1	21,3	25,1

La qualité des tiges de bouleau jaune dans l'échantillonnage de la présente étude (Tableau 4) est beaucoup plus élevée que la moyenne provinciale présentée dans les annexes du Manuel d'aménagement forestier. La proportion de tiges de qualité A est deux fois plus élevée que la moyenne provinciale et très peu de tiges de qualité D ont été observées. Les peuplements dégradés par les perturbations humaines (ex. : coupe à diamètre limite) ou naturelles n'ont pas été échantillonnés, puisqu'ils ne répondaient pas aux critères de sélection.

Tableau 4. Proportion des tiges de bouleau jaune par classe de qualité en fonction des groupes d'âge et des classes de diamètre

Groupe d'âge	Classe de DHP	Proportion des tiges par classe de qualité (%)				Nombre de tiges ^a
		A	B	C	D	
34 à 66	24-32			94	6	48
	34-38		60	40	0	10
	40+	50	25	25	0	4
83 à 110	24-32			99	1	89
	34-38		80	18	2	51
	40+	52	26	15	7	46
208 à 265 ^b	24-32			100	0	2
	34-38		67	33	0	3
	40+	46	30	24	0	37
Moyenne provinciale ^c	24-32			79	21	
	34-38		43	40	17	
	40+	24	21	38	17	

^a D'après 11, 22 et 7 placettes pour les regroupements de placettes âgées de 34-66, 83-110 et 208-265 ans, respectivement. Ces regroupements ont été basés sur des ruptures dans la distribution de fréquence des placettes (Figure 4). Il n'y avait pas de différence par qualité de station.

^b La qualité des tiges est surestimée dans ce groupe d'âge car les critères d'évaluation ne tenaient pas compte des problèmes de carie de cœur.

^c Modèle d'évolution des classes de qualité des tiges de bouleau jaune présenté dans les annexes du Manuel d'aménagement forestier (2003).

La vigueur aussi est relativement élevée (Tableau 5) et les placettes se démarquent particulièrement avec une faible proportion de tiges de vigueur IV, c'est-à-dire non vigoureuses et sans potentiel de sciage. Les observations sur le terrain suggèrent que dans les peuplements dont le couvert est fermé, équienne et pur en bouleau jaune, l'auto-éclaircie naturelle aurait favorisé la survie des tiges vigoureuses au détriment des tiges peu vigoureuses. De plus, la densité élevée dans les peuplements dont le couvert est serré pourrait avoir favorisé la formation de troncs plus droits et élagués, donc des troncs de meilleure qualité pour le sciage ou le déroulage.

Tableau 5. Proportion des tiges de bouleau jaune par classe de vigueur en fonction des groupes d'âge et des classes de diamètre

Groupe d'âge	Classe de DHP	Proportion des tiges par classe de vigueur (%)				Nombre de tiges ^a
		I	II	III	IV	
34 à 66	10-22	77	6		17	130
	24-32	64	10	19	7	59
	34-38	31	0	46	23	13
	40+	25	0	50	25	4
83 à 110	10-22	54	23		23	69
	24-32	49	7	36	9	107
	34-38	40	4	51	5	55
	40+	29	0	59	12	51
208 à 265	10-22					0
	24-32	0	0	100	0	2
	34-38	0	0	50	50	6
	40+	17	0	54	29	52

^a D'après 11, 22 et 7 placettes pour les regroupements de placettes âgées de 34-66, 83-110 et 208-265 ans, respectivement. Ces regroupements ont été basés sur des ruptures dans la distribution de fréquence des placettes (Figure 4). Il n'y avait pas de différence par qualité de station.

2.2. INDICES DE QUALITÉ DE STATION

Les sections suivantes présentent les comparaisons entre les relations hauteur-âge dans les placettes et les 4 modèles d'indices de qualité de station discutés dans la méthodologie (*cf* Section 1.4.2.), soit :

- Les types écologiques (Inspiré de Bégin *et al.*, 1990);
- Le bouleau jaune au Michigan et au Wisconsin (Carmean, 1978);
- Les feuillus tolérants de l'Ontario (Plonski, 1981);
- Le bouleau à papier au Québec (Pothier et Savard, 1998).

Le choix d'un modèle a été effectué en fonction de la capacité à distinguer des rendements significativement différents et sur la qualité de l'ajustement du modèle avec le nuage de points.

2.2.1. Courbes de bouleau jaune par type écologique au Québec

Seul le type écologique MJ22 a été suffisamment échantillonné sur toute l'étendue des âges pour construire une courbe d'indice de qualité de station d'après la relation entre la hauteur dominante et l'âge à 1 m (Figure 5 et équation 9). La dispersion des observations autour de la courbe moyenne pour ce type écologique couvre toute l'étendue des observations de tous les types écologiques confondus. Quant aux autres types écologiques rencontrés, l'étendue des observations ne démontre pas de tendance à observer des qualités de station différentes pour des types écologiques différents.

La présence de drainage oblique (*seepage*) difficile à détecter par les équipes-terrain pourrait expliquer la difficulté d'observer un effet du type écologique sur l'IQS. La relation hauteur-âge a aussi été vérifiée par classe de drainage et de dépôt de surface sans donner de meilleurs résultats. Il n'est pas rare d'observer une grande variabilité des IQS sur un type écologique (Bélanger *et al.*, 1995).

$$H_d = 1 + 21,6397(1 - e^{-0,0316A}) \quad (\text{Éq. 9})$$

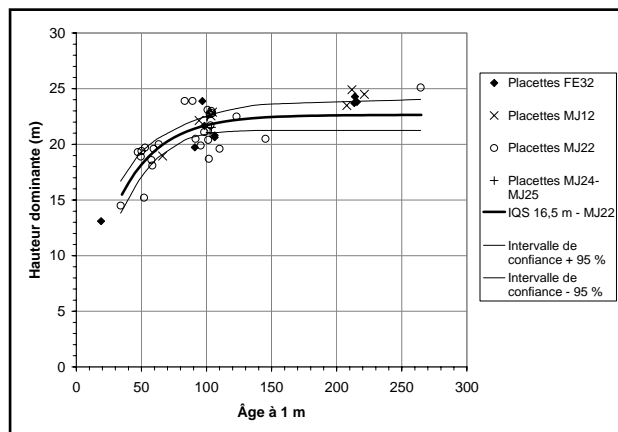


Figure 5. Relation entre la hauteur dominante et l'âge à 1 m par type écologique et la courbe d'indice de qualité de station sur MJ22

2.2.2. Courbes du bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan

Les courbes représentant les relations entre la hauteur et l'âge obtenues par analyse de tiges de bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan (Carmean, 1978) s'ajustent bien avec les hauteurs les plus élevées observées au Québec pour des tiges vigoureuses (Figure 6). Cependant, quelques hauteurs plus faibles que celles des courbes de Carmean ont été observées au Québec. Cette différence pourrait être due à la présence d'oppression juvénile pour ces tiges, alors que les courbes de Carmean (1978) ont été construites à partir de tiges vigoureuses qui n'avaient pas subi d'oppression juvénile.

La présence d'observations sur les trois courbes supérieures (21,3 à 24,4 m à 50 ans) suggère que les arbres pourraient atteindre une hauteur variant entre 28 et 30 m vers 100 ans. Or, sur les 253 études d'arbres réalisées dans les 63 placettes, aucun bouleau jaune de plus de 27,5 m n'a été observé. Les courbes de Carmean (1978) pourraient donc surestimer la qualité de station du bouleau jaune en jeune âge au Québec. Des analyses de tiges seraient nécessaires pour valider avec précision l'applicabilité des courbes de Carmean (1978) au Québec.

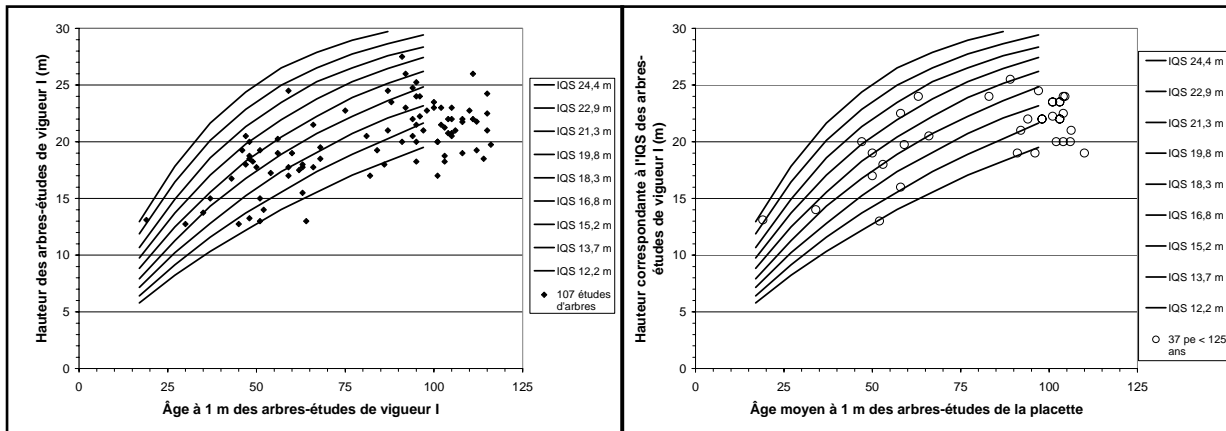


Figure 6. Relation entre la hauteur et l'âge des tiges et des placettes versus les courbes d'indices de qualité de station pour le bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan

2.2.3. Courbes des feuillus tolérants en Ontario

La hauteur moyenne de 5 des 45 placettes est supérieure à la limite supérieure de la courbe de 15 m à 50 ans de Plonski (1981) (Figure 7). L'écart entre la hauteur observée pour le bouleau jaune et la limite supérieure du modèle de Plonski semble plus important en jeune âge que vers une centaine d'années. Il faudrait donc des courbes représentant une croissance juvénile plus rapide en hauteur afin de mieux ajuster un modèle au nuage de points.

Il est important de noter que l'utilisation de la hauteur dominante dans les calculs de possibilité forestière, au lieu de la hauteur moyenne des tiges dominantes et codominantes de diamètre moyen, avec le modèle de Plonski (1981) peut entraîner une surestimation de la qualité de la station (Figure 8). Les points sur la figure 8 représentent la relation entre la hauteur dominante et l'âge par placette et la forme des points indique l'appartenance de la placette à une classe d'IQS calculée avec la hauteur moyenne comme dans Plonski (1981). Ainsi, il ressort que plusieurs placettes ayant un indice de 10 ou 13 m à 50 ans (forme du point) peuvent alors se retrouver avec un indice plus élevé (position par rapport aux courbes) lorsque l'indice est calculé d'après la hauteur dominante au lieu de la hauteur moyenne.

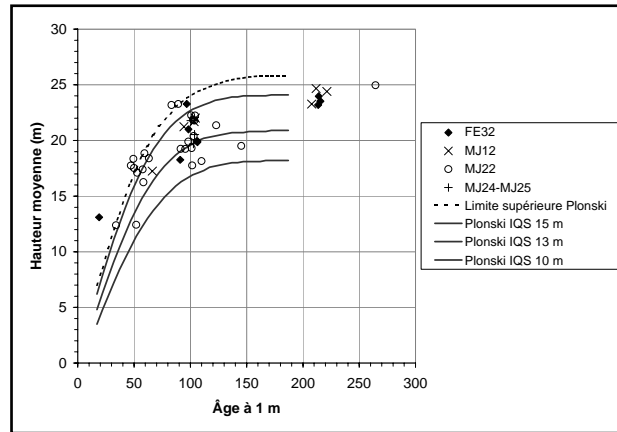


Figure 7. Relation entre la hauteur moyenne et l'âge des placettes versus les courbes d'indices de qualité de station pour les feuillus tolérants en Ontario

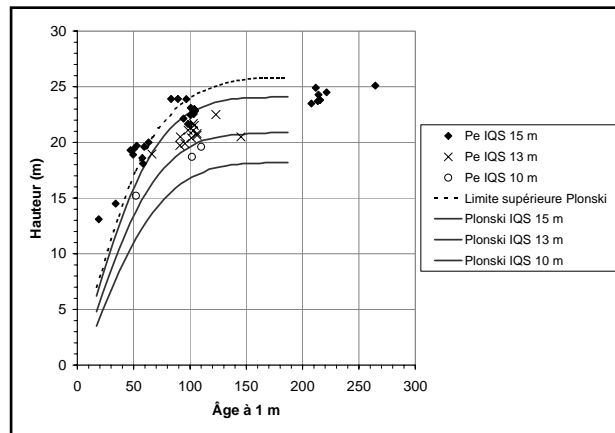


Figure 8. Comparaison des courbes et indices basés sur la hauteur moyenne versus la hauteur dominante des placettes

2.2.4. Courbes du bouleau à papier au Québec

Les relations entre la hauteur dominante et l'âge pour le bouleau à papier au Québec (Pothier et Savard, 1998) s'ajustent très bien avec le nuage de points des placettes de bouleau jaune (Figure 9). Cependant, l'étendue des courbes d'indices de qualité de station observées pour le bouleau jaune semble moins grande que pour le bouleau à papier. En effet, seules les trois courbes supérieures des quatre courbes de Pothier et Savard (1998) enveloppent le nuage de points. De plus, les 38 placettes âgées de moins de 150 ans sont situées à l'intérieur de ces trois courbes supérieures et seulement 10 d'entre elles sont plus près des courbes de 15 et 21 m à 50 ans que celle de 18 m à 50 ans.

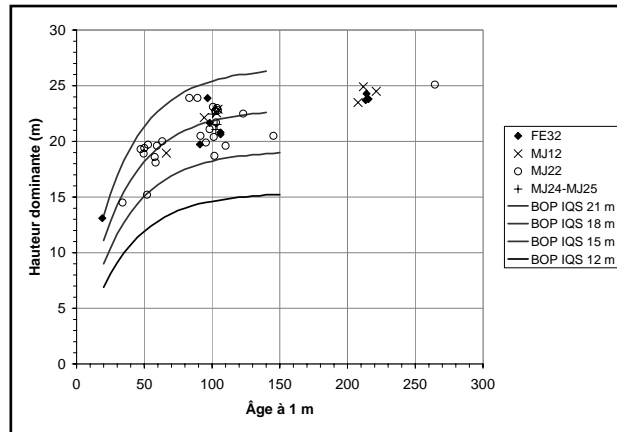


Figure 9. Relation entre la hauteur dominante et l'âge des tiges de bouleau jaune versus les courbes d'indices de qualité de station pour le bouleau à papier

Le modèle d'indice de qualité de station pour le bouleau à papier de Pothier et Savard (1998) permet de calculer un indice précis et non seulement une classe de qualité de station (Équation 10). Pour les fins de la présente étude, il est donc possible de rassembler des placettes autour de courbes moyennes différentes de celles présentées à 15, 18 ou 21 m par Pothier et Savard (1998). Pour mieux représenter les données du bouleau jaune, des courbes moyennes d'indices de qualité de station pour le bouleau à papier de 16,5 et 19,5 m à 50 ans ont donc été retenues pour l'analyse. L'utilisation de deux courbes d'indice de qualité de station représente un compromis entre préciser le rendement en volume et maintenir un échantillonnage adéquat sur chaque courbe.

$$H_d = 0,6761IQS^{1,038} \left(1 - e^{-0,02179A}\right)^{-1,396IQS^{-0,2554}} \quad (\text{Éq. 10})$$

2.2.5. Choix d'un modèle

Des courbes de rendement en volume ont été construites en utilisant les résultats de chacun des quatre modèles d'indices de qualité de station afin d'identifier leur capacité à distinguer des rendements significativement différents (Tableau 6). Le type écologique et les indices de qualité de station de Carmean (1978) n'ont pas eu d'effets significatifs ($p = 0,5750$ et $p = 0,1227$, respectivement) sur la relation entre le volume marchand brut et l'âge du bouleau jaune. Il n'a donc pas été possible de discriminer des stations de qualité différente sur la base des types écologiques, mais l'échantillonnage pouvait ne pas couvrir toutes les conditions de croissance du bouleau jaune. Les indices de qualité de station de Plonski (1981) pour les feuillus tolérants de l'Ontario et ceux de Pothier et Savard (1998) pour le bouleau à papier au Québec ont eu des effets significatifs ($p = 0,0238$ et $p = 0,0026$, respectivement) sur cette relation.

En attendant l'élaboration de courbes d'IQS à partir d'analyses de tiges de bouleau jaune au Québec, le modèle pour le bouleau à papier (Figure 10) a été retenu puisqu'il a un effet davantage significatif sur le volume et qu'il s'ajuste mieux aux données que celui des feuillus tolérants.

Tableau 6. Valeurs des coefficients des équations de rendement en volume marchand par modèle d'indice de qualité de station

Modèle d'indice de qualité de station	Coefficients de l'équation 8			R ²	Effet IQS $p > t $	Qualité de l'ajustement au nuage de points	
	β_0	Coefficient β_1 par IQS					
Types écologiques	-288,087	FE32	MJ12	MJ22	0,449	0,5750	Bonne
		108,366	114,43	103,996			
Bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan	-414,943	Supérieure	Moyenne	Inférieure	0,494	0,1227	Bonne, mais des doutes ont été soulevés
		145,556	142,217	132,978			
Feuillus tolérants de l'Ontario	-399,731	IQS 15 m	IQS 13 m		0,492	0,0238 *	Modérée, problèmes en jeune âge
		138,941	128,231				
Bouleau à papier au Québec	-351,795	IQS 19,5 m	IQS 16,5 m		0,540	0,0026 **	Très bonne
		130,599	116,786				

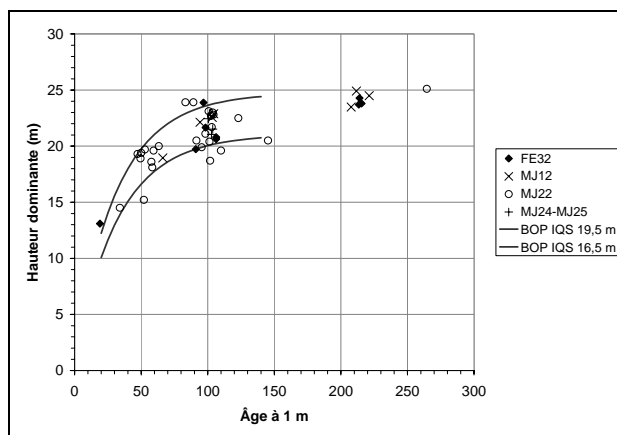


Figure 10. Relation entre la hauteur dominante et l'âge du modèle d'indice de qualité de station retenu pour le bouleau jaune

2.3. TABLES DE RENDEMENT

La comparaison des tables de rendement des feuillus tolérants de l'Ontario (Plonski, 1981) avec le bouleau jaune au Québec, a été effectuée en élaborant un modèle spécifique au bouleau jaune, puis en le comparant à celui des feuillus tolérants de l'Ontario.

2.3.1. Bouleau jaune au Québec

Les modèles de rendement en volume sont plus précis (R² près de 50 %) pour les volumes qui comprennent les plus petits diamètres de même que le volume de bois d'œuvre (Tableau 7 ; figures 11 à 14 ; annexe 1). Lorsque seules les tiges de plus gros diamètre sont considérées (DHP > 33 cm), alors la variabilité est plus grande entre les placettes âgées d'une centaine d'années et les coefficients de détermination sont plus faibles (près de 35 %). Malgré qu'il y ait seulement deux placettes âgées de moins de 45 ans, elles n'ont pas un poids élevé dans la détermination de cette

partie des courbes de rendement. En effet, les courbes de rendement des tiges de plus de 9 cm au DHP demeuraient très semblables lorsque l'une ou l'autre de ces placettes était retirée des calculs. De plus, elles n'ont pas été utilisées pour les courbes de volume de plus de 33,0 cm, puisqu'elles étaient trop jeunes pour avoir un volume de tiges aussi grosses.

Tableau 7. Valeurs des coefficients des équations

Variable indépendante	Unités	Coefficients de l'équation 8			R ²	Effet IQS $p > t $	
			IQS 19,5 m	IQS 16,5 m			
		β_0	β_1	β_1			
Toutes les tiges	DHPq	(cm)	-11,945	8,754	8,754	0,419	0,1585
	G	(m ² /ha)	-23,682	11,328	10,226	0,422	0,0221 *
	VMB, DHP > 9,0 cm	(m ³ /ha)	-351,795	130,599	116,786	0,540	0,0026 **
	VMB DHP > 23,0 cm	(m ³ /ha)	-479,247	154,724	139,834	0,429	0,0039 **
	VMB DHP > 33,0 cm	(m ³ /ha)	-637,177	175,032	161,023	0,364	0,0239 *
Bouleau jaune	N	(tiges/ha)	1381,610	-234,519	-234,519	0,457	0,7725
	DHPq	(cm)	-20,081	11,023	11,023	0,521	0,1314
	DHPd	(cm)	-28,073	15,952	14,869	0,576	0,0256 *
	VMB, DHP > 9,0 cm	(m ³ /ha)	-283,496	110,870	96,791	0,524	0,0009 **
	VMB bois d'œuvre	(m ³ /ha)	-244,098	79,742	71,210	0,521	0,0010 **
	VMB sciage	(m ³ /ha)	-188,317	63,389	56,691	0,520	0,0011 **
	VMB déroulage	(m ³ /ha)	-64,584	18,361	16,416	0,410	0,0032 **
	VMB bois d'œuvre > 33 cm	(m ³ /ha)	-310,860	86,827	78,823	0,352	0,0148 **

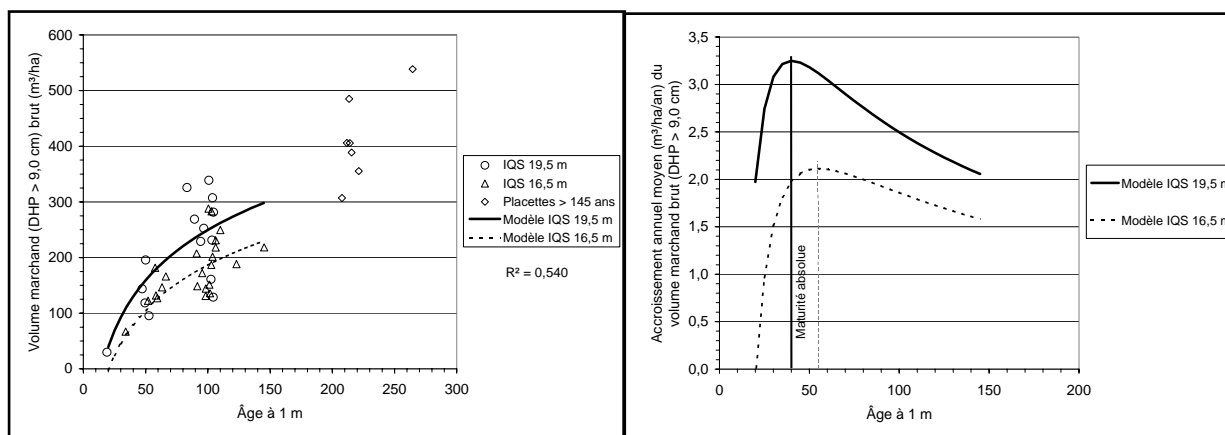


Figure 11. Volume marchand (DHP > 9,0 cm) brut et accroissement annuel moyen en fonction de l'âge

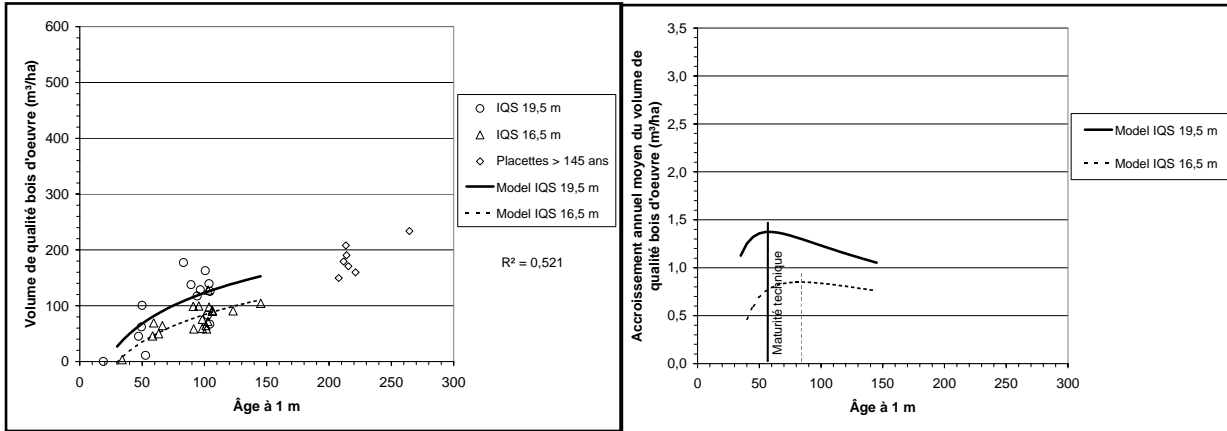


Figure 12. Volume marchand brut et accroissement annuel moyen de bois d'œuvre de bouleau jaune en fonction de l'âge

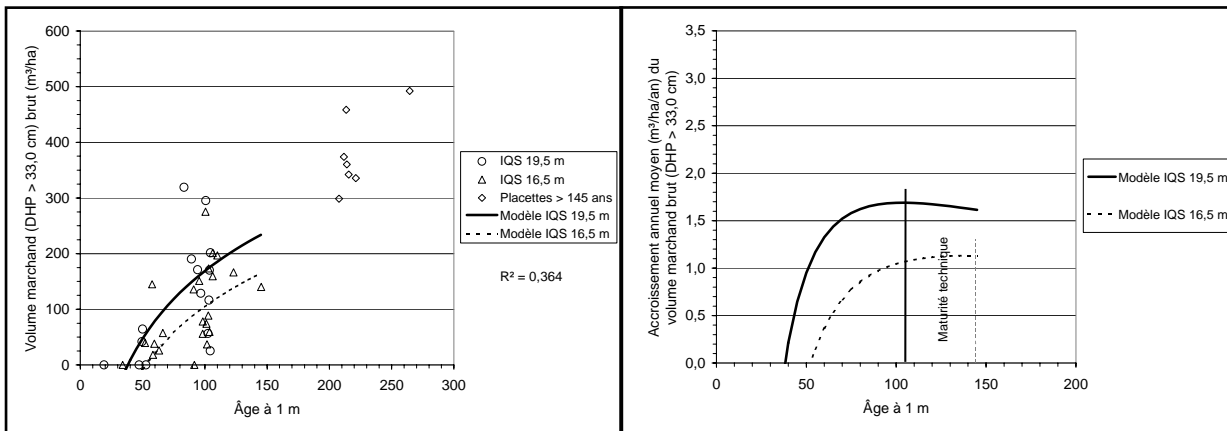


Figure 13. Volume marchand (DHP > 33,0 cm) brut et accroissement annuel moyen en fonction de l'âge

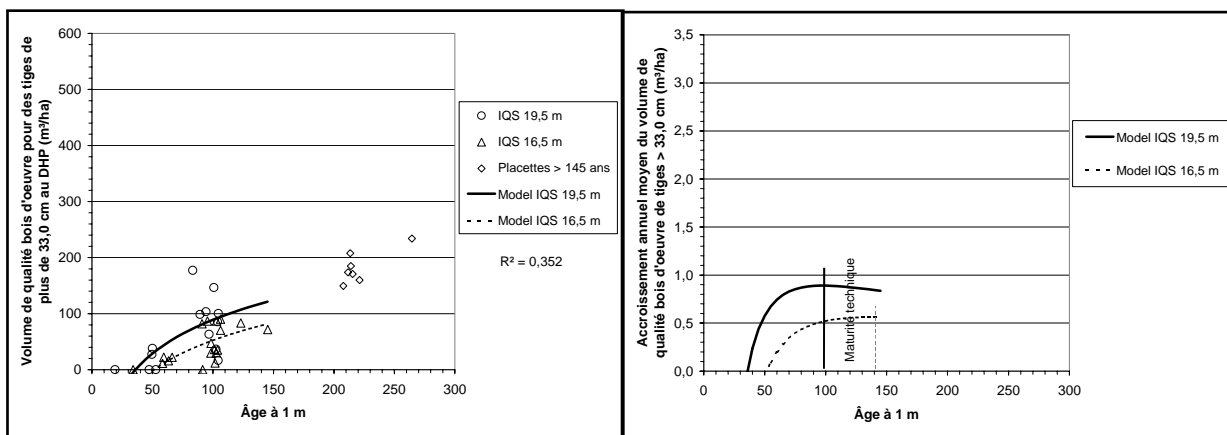


Figure 14. Volume marchand brut et accroissement annuel moyen de bois d'œuvre de bouleau jaune de plus de 33,0 cm au DHP en fonction de l'âge

À partir des modèles de rendement, une matrice d'âge d'exploitabilité du bouleau jaune est proposée en fonction d'objectifs de production (Tableau 8). L'âge d'exploitabilité absolue (tiges > 9,0 cm au DHP) est de 40 et 55 ans (à 1 m) pour les qualités de stations élevées (19,5 m à 50 ans) et moyennes (16,5 m à 50 ans), respectivement (Figure 11). L'âge d'exploitabilité du volume de bois d'œuvre pour des tiges de plus de 33 cm au DHP, tel que visé dans le Manuel d'aménagement forestier (Serge Vézina, communication personnelle, 2004), est de 101 et 143 ans à la souche pour les qualités de station meilleure et moyenne, respectivement. Seulement deux placettes entre 110 et 145 ans ont été observées sur la station de moyenne qualité, ce qui soulève des doutes sur la précision du modèle dans cette portion de la courbe où est calculé l'âge d'exploitabilité technique.

Tableau 8. Matrice de l'âge d'exploitabilité du bouleau jaune

Age	Qualité de station	Objectifs de production						
		Volume des tiges de DHP >			Volume de bouleau jaune			
		9,0 cm	23,0 cm	33,0 cm	Sciage	Œuvre	Déroutage	Œuvre > 33 cm
à 1 m								
	Meilleure - 19,5 m, 50 ans	40	60	104	53	58	92	98
	Moyenne - 16,5 m, 50 ans	55	84	142	75	84	140	140
à la souche								
	Meilleure - 19,5 m, 50 ans	43	63	107	56	61	95	101
	Moyenne - 16,5 m, 50 ans	58	87	145	78	87	143	143

Les figures 15 à 17 présentent d'autres statistiques descriptives qui peuvent servir à comparer le modèle proposé pour le bouleau jaune avec d'autres modèles ou des strates d'inventaire (Annexe 1). La densité moyenne des tiges marchandes est plutôt indépendante de l'âge passé 20 ans, mais celle du bouleau jaune démontre clairement l'auto-éclaircie du peuplement, puisque ce sont toutes des tiges dominantes et codominantes. En effet, sous le couvert fermé de ces placettes, il n'y avait pratiquement pas de tiges vivantes de bouleau jaune, seules 2 gaules ont été observées sous le couvert des 44 placettes âgées de 34 ans et plus. La densité marchande des placettes de bouleau jaune se situe entre 200 et 900 tiges/ha (moyenne = 450) entre 20 et 110 ans, mais la densité moyenne des tiges de bouleau jaune passe d'environ 700 à 300 tiges/ha sur cette même période suite à l'auto-éclaircie naturelle (Figure 15). Avec des densités moyenne et maximale de bouleau jaune à 100 ans de 300 et 400 tiges/ha, respectivement, il apparaît que les courbes moyennes représentent un stocking d'environ 75 %.

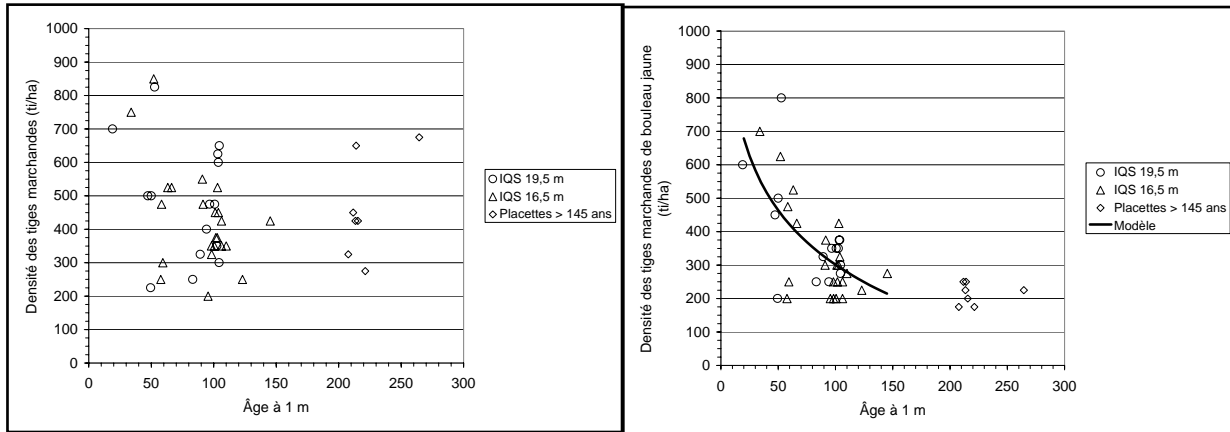


Figure 15. Densité des tiges marchandes de toutes les essences et des tiges de bouleau jaune en fonction de l'âge

Le diamètre quadratique de l'ensemble des tiges marchandes tend à plafonner passé une centaine d'années, alors que celui des tiges de bouleau jaune continue d'augmenter (Figure 16). Cette différence est causée par le recrutement sous couvert de nouvelles tiges marchandes d'essences tolérantes à l'ombre.

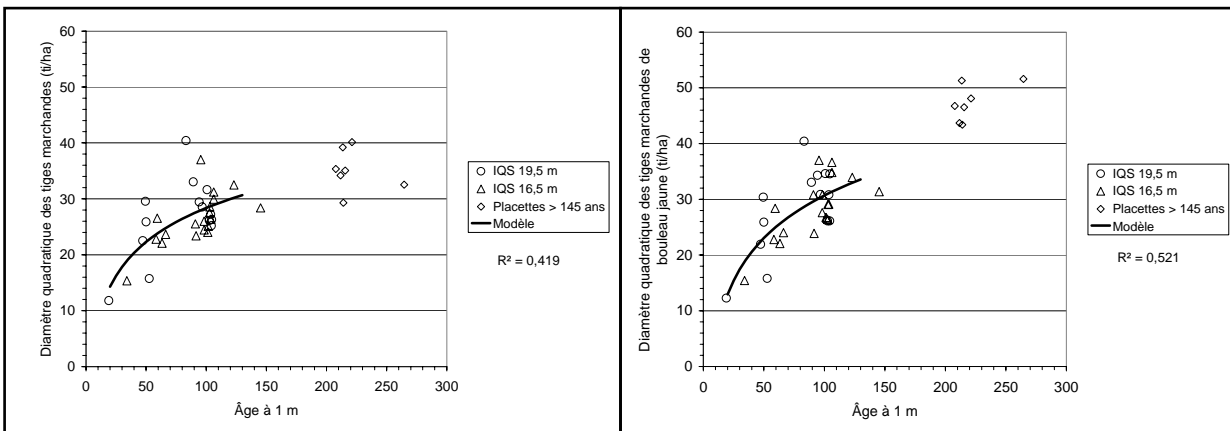


Figure 16. Diamètre quadratique des tiges marchandes de toutes les essences et des tiges de bouleau jaune en fonction de l'âge

Finalement, il existe une relation étroite entre la surface terrière et le volume du bouleau jaune et cette relation n'a pas été significativement différente ($p = 0,1564$) entre les deux qualités de station (Figure 17). Néanmoins, à surface terrière égale, le volume tend à être moindre pour la qualité de station moyenne (16,5 m à 50 ans).

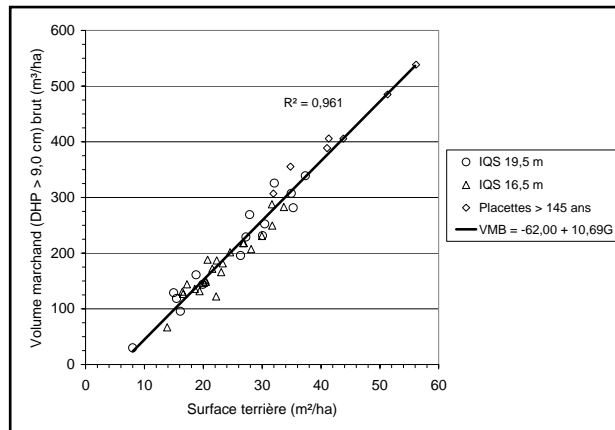


Figure 17. Relation entre le volume et la surface terrière

2.3.2. Feuillus tolérants en Ontario

Les courbes de volume de Plonski (1981) pour les feuillus tolérants (DHP > 7,0 cm) de l'Ontario sont situées en dessous de la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % de la courbe pour le bouleau jaune (DHP > 9,0 cm) de qualité de station 19,5 m à 50 ans (Figure 18). Néanmoins, ces deux courbes de meilleure qualité de station se rapprochent vers une centaine d'années. Il en est de même pour les courbes de moyenne qualité de station (13 m de Plonski et 16,5 m pour le bouleau jaune). De plus, en bas âge, les deux courbes supérieures de Plonski (1981) sont situées dans l'intervalle de confiance à 95 % de la courbe de 16,5 m pour le bouleau jaune. On ne peut donc pas affirmer que la courbe de station de moyenne qualité est significativement différente sur l'étendue des âges à l'étude, alors que c'est le cas pour la courbe de meilleure qualité de station jusqu'à près d'une centaine d'années.

Les écarts entre les deux modèles sont plus importants dans la détermination de l'âge d'exploitabilité absolue. En effet, le modèle pour le bouleau jaune prévoit l'exploitabilité absolue à 43 ans (âge à la souche) sur les stations de meilleure qualité, contre 85 ans pour Plonski (1981) (Tableau 8). La différence est aussi importante sur les stations de qualité moyenne, puisque l'exploitabilité absolue du bouleau jaune est de 55 ans, contre 90 ans pour les feuillus tolérants de l'Ontario. Ces écarts sont particulièrement attribuables aux différences de forme des courbes, puisque celles pour le bouleau jaune montent plus rapidement que celles des feuillus tolérants probablement à cause d'une croissance en hauteur plus rapide pour le bouleau jaune que pour les feuillus tolérants (Figure 7).

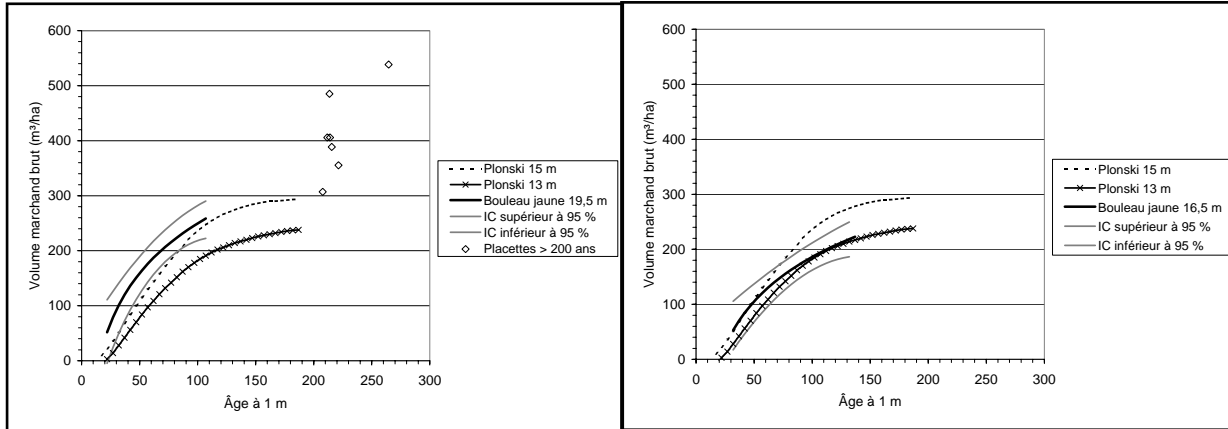


Figure 18. Comparaison des courbes de rendement des feuillus tolérants de l'Ontario avec le modèle pour le bouleau jaune selon respectivement des IQS de 19,5 et 16,5 m à 50 ans

3. DISCUSSION

3.1. INDICES DE QUALITÉ DE STATION

La littérature et les analyses effectuées d'après les placettes temporaires de bouleau jaune ont confirmé, qu'en absence de mesures à long terme sur des placettes permanentes, il est essentiel de réaliser des analyses de tiges pour bien identifier des stations de qualités différentes basées sur l'écologie et la relation entre la hauteur dominante et l'âge du bouleau jaune. En attendant la réalisation d'une telle étude, quatre modèles différents ont été testés et comparés pour le bouleau jaune.

3.1.1. Bouleau jaune par type écologique au Québec

Le type écologique n'a pas permis de distinguer des relations différentes entre la hauteur dominante et l'âge du bouleau jaune dans les placettes temporaires, contrairement à ce que Bégin *et al.* (1990) avaient observé pour l'érable rouge avec des associations phytosociologiques différentes dans la plaine de Drummondville. Ménard *et al.* (1999) ont observé en Mauricie des courbes différentes d'indices de qualité de station basées sur le type écologique pour le sapin baumier et l'épinette rouge. Il ne serait donc pas impossible d'observer des indices de qualité de station différents par type écologique pour le bouleau jaune en réalisant des analyses de tiges, ce qui est fortement recommandé d'après les travaux de Carmean (1978, 1979ab). Dans la sapinière à bouleau blanc de la Forêt Montmorency, Bélanger *et al.* (1995) n'ont pas eu besoin d'analyses de tiges pour observer des stations de qualités différentes par type écologique pour le sapin baumier. Cependant, ils ont couvert un gradient écologique plus varié que celui observé dans la présente étude pour le bouleau jaune (*cf* Section 2.1). En effet, le drainage oblique a été noté dans une seule placette de bouleau jaune et les dépôts étaient tous des tills (moraines) minces à épais avec un drainage bon et parfois modéré ou imparfait (Tableau 2). Alors que Bélanger *et al.* (1995) ont couvert de nombreux cas avec du drainage oblique, des classes de drainage variant entre bon et mauvais, ainsi que des dépôts morainiques, colluvionnés ou fluvio-glaciaires.

L'absence d'effet significatif du type écologique sur la relation entre la hauteur dominante et l'âge dans les placettes temporaires pourrait aussi être du à l'étendue relativement faible des hauteurs observées à un âge donné pour le bouleau jaune (Figure 5). En effet, la comparaison avec les courbes du bouleau à papier a démontré que les placettes à l'étude étaient situées à l'intérieur des courbes de 15 et 21 m à 50 ans (Figure 9). Il n'est pas impossible qu'il y ait du bouleau jaune sur des stations de qualité supérieure où inférieure à ces courbes, mais aucune des 45 placettes équiennes et pures s'y trouvait. Sur des stations où le bouleau jaune a une moins bonne croissance, il pourrait être très rare de l'observer en peuplements purs, puisque d'autres essences pourraient être plus compétitives. Ainsi, ces stations auraient été systématiquement évitées dans la présente étude.

3.1.2. Bouleau jaune au Wisconsin et au Michigan

L'application des indices de qualité de station de Carmean (1978) n'a pas permis de distinguer des relations différentes entre le volume et l'âge pour des stations de différentes qualités. Les courbes de Carmean (1978) ont été construites à partir d'analyses de tiges vigoureuses n'ayant pas subi d'oppression juvénile, ce sont donc des courbes potentielles applicables à des tiges et non pas à des

placettes. La qualité de la station pour une placette a été obtenue en calculant la moyenne des indices des arbres-études vigoureux de la placette, mais en supposant l'absence d'oppression juvénile puisqu'elle n'apparaissait pas importante sur les échantillons (carottes) prélevés. Ainsi, les indices de qualité de station pour les tiges d'une même placette auraient dû être semblables.

Or, la hauteur à un âge donné pouvait varier considérablement (jusqu'à 6 m) entre les tiges dominantes et codominantes d'une même placette équiennne, faisant varier l'indice de qualité de station entre les tiges. L'indice moyen ainsi obtenu pour une placette pouvait ne pas bien représenter la qualité de la station, d'où l'absence de corrélation avec le volume. Pour utiliser ces courbes pour le bouleau jaune au Québec, il aurait été préférable de sélectionner 3 à 4 tiges dominantes de vigueur I situées sur des microsites semblables (ex. : éviter les tiges situées sur des blocs erratiques) et qui ne montrent pas de signes d'oppression juvénile selon les directives de Carmean (1978).

3.1.3. Feuillus tolérants en Ontario

Les courbes d'indices de qualité de station pour les feuillus tolérants de l'Ontario (Plonski, 1981) sous-estiment la hauteur de certaines placettes de bouleau jaune au Québec. Ce constat est corroboré par celui du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario qui recommande d'éviter autant que possible l'utilisation des courbes de Plonski (1981) pour les feuillus tolérants (Murray Woods, *Growth and yield program leader* en Ontario, communication personnelle, 2004). Ces courbes ont été construites à partir de nombreuses espèces généralement retrouvées dans le domaine de l'érablière en Ontario, dont l'érable à sucre, l'érable rouge, le hêtre, le bouleau jaune, le tilleul, l'ostryer, l'orme, le frêne et même la pruche. De plus, ces courbes ne sont même pas recommandées au Québec pour déterminer la qualité de station de peuplements équiennes d'érable à sucre, une espèce très tolérante (MRNFP, 2003). Carpentier (1995 dans MRNFP, 2003) a élaboré pour l'érable à sucre au Québec une courbe plus élevée (18 m à 50 ans) que celles de Plonski (1981), indiquant que ces dernières ne couvrent pas toute l'étendue des qualités de station possibles pour l'érable à sucre, une espèce pourtant très présente dans les tables de Plonski (1981).

Les problèmes de représentativité des courbes d'indices de qualité de station de Plonski (1981), et leur moins bonne corrélation au volume marchand brut observé, pourraient être expliquées par trois aspects méthodologiques. Au lieu d'utiliser la hauteur dominante, qui est reconnue pour mieux exprimer la croissance des peuplements (Rondeux, 1999), c'est la hauteur moyenne des tiges dominantes et codominantes de diamètre moyen qui a été utilisée (Plonski, 1969). Or, la distribution diamétrale des tiges qui forment le couvert est souvent très étalée dans des peuplements équiennes d'essences tolérantes et peut même prendre une forme qui tend vers le J inversé (Lorimer et Krug, 1983). En conséquence, les courbes de relation hauteur-âge ainsi développées sont susceptibles de représenter davantage la hauteur des tiges codominantes dont le diamètre peut être beaucoup plus petit que celui des tiges dominantes. De plus, dans la construction des courbes de volume, Plonski (1969) affirme avoir systématiquement retiré les placettes dont le volume était supérieur ou inférieur à deux fois l'écart-type dans la classe d'âge. Les stations de meilleure et de moins bonne qualités ne seraient donc pas représentées par ces courbes. Ainsi, si une espèce peu représentée dans l'échantillonnage avait une croissance supérieure ou inférieure à l'ensemble des feuillus tolérants, alors les placettes où elle dominait pourraient avoir été rejetées. Enfin, le mélange d'espèces plus ou moins tolérantes à l'ombre pourrait causer une sous-estimation de la moyenne pour les espèces peu tolérantes comme le bouleau jaune qui ont une croissance en hauteur supérieure.

3.1.4. Bouleau à papier au Québec

La forme des courbes de Pothier et Savard (1998) pour la hauteur dominante du bouleau à papier en fonction de l'âge s'ajuste très bien avec les données de bouleau jaune. De plus, ces indices permettent de distinguer des courbes de volume significativement différentes par qualité de station, d'où la sélection de ce modèle d'indice de qualité de station.

Tant qu'à utiliser un modèle de qualité de station basé sur des placettes temporaires d'une autre essence que celle à l'étude, il aurait pu être préférable d'appliquer la méthode et le modèle mathématique de Pothier et Savard (1998) aux placettes de bouleau jaune et, ainsi, obtenir un modèle spécifique à cette essence. Cependant, le faible nombre de placettes de bouleau jaune, particulièrement dans des peuplements de moins de 50 ans, soulevait des doutes sur la précision obtenue par séparation du nuage de points à l'aide de la méthode par régression. De plus, il semblait peu probable que la forme du modèle pour le bouleau jaune diverge significativement de celle du bouleau à papier, ce qui a été confirmé (Annexe 2). D'ailleurs, il est raisonnable de croire que ces deux espèces de bouleaux ont une autécologie et une croissance davantage similaires que ce que peuvent avoir le bouleau jaune et les « feuillus tolérants » de Plonski (1981).

3.2. TABLES DE RENDEMENT

Les tables de rendement du bouleau jaune sont d'abord discutées selon trois portions déterminées par la précision du modèle (nombre de placettes) en fonction de l'âge. Par la suite, elles sont comparées aux tables des feuillus tolérants de l'Ontario et à l'utilisation qui en est faite au Québec.

3.2.1. De 20 à 49 ans

L'inventaire visait particulièrement à obtenir une courbe précise dans les âges visés par les scénarios d'aménagement du Manuel d'aménagement forestier pour la production prioritaire de bouleaux (BOU), soit entre 60 et 140 ans. C'est pourquoi seulement trois placettes âgées de moins de 50 ans ont été mesurées.

Cependant, l'accroissement plus rapide du bouleau jaune en jeune âge, par rapport aux courbes de référence des feuillus tolérants de l'Ontario, a eu pour effet de calculer des âges d'exploitabilité beaucoup plus jeunes que ceux attendus. En effet, l'exploitabilité absolue calculée pour les stations de meilleure et de moyenne qualités est de 43 et 58 ans, respectivement (Tableau 8). Il serait donc nécessaire d'augmenter l'échantillonnage entre 20 et 45 ans afin d'améliorer la précision du début de la courbe et ainsi, améliorer la précision sur l'âge d'exploitabilité absolue. Par contre, ces placettes très jeunes n'ont pas d'impact sur les courbes de rendement des tiges de gros diamètre (DHP > 33,0 cm) puisqu'elles n'en ont pas.

3.2.2. De 50 à 110 ans

Cette portion de la courbe est une des plus critiques pour la sylviculture et l'aménagement, puisqu'elle couvre la plupart des périodes d'exploitabilité et donc des périodes visées par les activités de récolte, tant en éclaircie commerciale qu'en coupe de régénération.

Malgré un échantillonnage plus élevé dans cette portion, le volume marchand brut demeure assez variable entre les placettes d'une même qualité de station à un âge donné (ex. : vers 100 ans) (Figure 11). Cette variabilité peut être en partie due à l'étendue des hauteurs couvertes par chaque courbe d'indice de qualité de station, mais elle est surtout due aux variations dans le stocking du peuplement. En effet, indépendamment de l'âge et de la qualité de la station, le volume est étroitement corrélé à la surface terrière (Figure 17). Il serait peu probable d'arriver à préciser le modèle de façon considérable dans cette portion de la courbe sans y inclure un modèle d'évolution de la densité. Or, retrouver des placettes permanentes de peuplements purs et équiennes dans le bouleau jaune demeure difficile.

Les volumes associés aux tiges de plus de 33,0 cm au DHP (marchand brut, bois d'œuvre de gros diamètre, déroulage) sont beaucoup plus variables que pour les autres classes de diamètre ou produits (Figures 11 à 14). Cette variabilité ne peut pas être expliquée par la présence d'arbres vétérans dans les placettes puisque celles ayant des vétérans ont été retirées de ces analyses par mesure de précaution. La variabilité du rendement en tiges de gros diamètre démontre qu'il y a un potentiel pour intervenir dans ces peuplements afin d'optimiser le rendement en produits recherchés. Par exemple, les neuf placettes âgées entre 83 et 105 ans sur la meilleure qualité de station ont des densités semblables, soit de 250 à 350 bouleaux jaunes à l'hectare. Cependant, le diamètre quadratique du bouleau jaune de sept de ces placettes (31 à 40 cm) est plus élevé que les deux autres (26 cm), d'où la présence d'un volume beaucoup plus élevé en tiges de gros diamètre (de 129 à 319 m³/ha vs de 25 à 57 m³/ha). Cette variabilité importante indique que d'autres facteurs non identifiés pourraient influencer le rendement en tiges de gros diamètre. Par exemple, à diamètre égal, les bouleaux jaunes dont l'écorce est brillante et lisse peuvent être jusqu'à quatre fois plus jeunes, et avoir une croissance décennale en diamètre jusqu'à trois fois plus élevée, que les tiges dont l'écorce est rugueuse (Clausen et Godman, 1969). Une meilleure connaissance des causes de ce phénomène permettrait d'expliquer une partie de la variabilité.

3.2.3. Plus de 110 ans

La rareté des observations de bouleau jaune entre 110 et 200 ans (2 placettes sur la qualité de station moyenne) ne permet pas de statuer avec certitude sur l'évolution des peuplements de bouleau jaune dans cet intervalle.

D'un côté, les sept placettes âgées de plus de 200 ans du secteur Florio au Témiscamingue suggèrent que la croissance moyenne du bouleau jaune serait sous-estimée par les deux modèles (Figure 11). Ce secteur offre une image du potentiel des peuplements équiennes de bouleau jaune sur les meilleurs sites, malgré que la carie de cœur était fortement répandue dans les peuplements de ce secteur. Cependant, il ne peut pas être représentatif de la moyenne puisqu'il était envisagé de le classer *écosystème forestier exceptionnel*.

De l'autre côté, la rareté des observations de peuplements purs et équiennes de bouleau jaune de plus de 110 ans soulève des interrogations sur la capacité de cette espèce à se maintenir en peuplements fermés, purs et équiennes passé 110 ans. La longévité de l'espèce est élevée (plus de 300 ans) et supérieure à celle du bouleau à papier (140 ans), mais elle ne garantit pas nécessairement la survie de suffisamment de tiges pour maintenir des peuplements fermés et purs en présence de perturbations naturelles (maladies, insectes, intempéries, etc.). La perte de vigueur (Tableau 5), pouvant être causée par des blessures, des maladies ou une oppression latérale

excessive, est susceptible d'engendrer une mortalité des tiges dominantes et codominantes de bouleau jaune. Lorsque les tiges résiduelles de bouleau jaune sont trop espacées pour refermer le couvert suite à cette perte, alors les essences tolérantes installées sous couvert (Figure 3) peuvent en profiter pour rejoindre les étages dominants du couvert. Le peuplement n'est plus pur et équienné, mais devient plutôt mélangé et irrégulier ou parfois même inéquienné. Dès lors, il ne pouvait pas être sélectionné pour établir des placettes temporaires dans le cadre du présent projet.

D'autres raisons peuvent expliquer la rareté des peuplements équiennés et purs en bouleau jaune de plus de 110 ans. Premièrement, bien qu'une grande superficie ait été couverte pour trouver les peuplements à l'étude, des régions entières n'ont pas été couvertes. Un inventaire plus exhaustif serait nécessaire pour compléter le portrait. Deuxièmement, l'origine de la plupart des peuplements naturels, purs et équiennés en bouleau jaune pourrait être due à des perturbations et des conditions dont la fréquence aurait varié dans le temps. Ainsi, si les régions à l'étude avaient été moins touchées par ces perturbations au 19^e siècle, alors la fréquence actuelle des peuplements âgés de 100 à 200 ans et purs en bouleau jaune serait moindre. Troisièmement, les secteurs visités étaient tous relativement accessibles par les chemins forestiers (< 1 km). Puisque les plus beaux peuplements sont généralement visés en premier par la récolte, s'il y avait de beaux peuplements de bouleau jaune très âgés (gros diamètre), alors ils peuvent avoir fait l'objet de coupes.

D'après le niveau actuel de connaissances sur la sénescence des peuplements purs et équiennés de bouleau jaune, il pourrait être désavantageux et risqué de l'aménager de façon extensive sur une révolution de plus de 110 ans, particulièrement sur les stations de meilleure qualité. Par contre, avec un régime intensif d'éclaircies commerciales (assainissement) où des suivis périodiques sont effectués, il ne serait pas impossible de viser une période de révolution de plus de 110 ans en prévoyant une coupe de régénération lorsque le peuplement montrera des signes de sénescence.

3.2.4. Bouleau jaune vs feuillus tolérants de l'Ontario

Jusqu'à une centaine d'années, l'accroissement en hauteur supérieur du bouleau jaune sur certains sites, par rapport à la courbe supérieure des feuillus tolérants de l'Ontario, explique l'observation d'un effet semblable sur le volume (Figures 7 et 18). En effet, sur la meilleure qualité de station, le bouleau jaune croît plus rapidement que les feuillus tolérants de Plonski (1981), mais la croissance est semblable sur la qualité de station moyenne. La méthode d'élaboration des courbes employée par Plonski (1969, 1981) avait pour effet d'éliminer systématiquement les placettes qui étaient situées aux limites supérieures et inférieures des observations. Ainsi, si une espèce peu représentée dans l'échantillonnage avait une croissance supérieure ou inférieure à l'ensemble des feuillus tolérants, alors les placettes où elle dominait pourraient avoir été rejetées.

Vers une centaine d'années, ces courbes de volume pour le bouleau jaune et pour les feuillus tolérants se rejoignent et semblent parallèles. À la lumière des connaissances actuelles, des doutes subsistent sur la capacité de maintenir entre 110 et 190 ans des peuplements équiennés et purs en bouleau jaune, contrairement à ce qu'indiquent les courbes des feuillus tolérants de l'Ontario. D'ailleurs, la proportion de tiges vigoureuses tend à diminuer de façon importante avec l'âge (Tableau 5).

3.2.5. Applications au Québec

Les tables de rendement pour les feuillus tolérants de l'Ontario, avec des ajustements basés sur des observations dans les strates matures de bouleaux, sont présentement utilisées au Québec pour simuler le rendement du bouleau jaune dans les superficies à structure équiennne (MRNFP, 2003). Ces superficies comprennent principalement les coupes de régénération, les trouées du jardinage, les parquets et l'éclaircie commerciale dans les productions prioritaires de bouleaux (BOU) et de peuplements mixtes de bouleaux et résineux (R-BOU (R) et R-BOU (F)). Il importe donc de comparer le modèle développé pour le bouleau jaune avec celui actuellement utilisé.

Six aspects importants des modèles de rendement peuvent avoir des effets majeurs sur le calcul de la possibilité forestière, soit : les objectifs de production, l'âge d'exploitabilité, le stocking, le rendement à maturité, la proportion de bois d'œuvre et la sénescence (Tableau 9). Les scénarios du Manuel d'aménagement forestier ont été basés sur l'objectif de produire de 40 à 50 % du volume en bois d'œuvre, surtout sur des tiges de 34 à 40 cm de diamètre (Serge Vézina, comm. pers., 2004). C'est sur la base de ces objectifs que sont comparés les modèles.

L'écart des âges d'exploitabilité est important sur les stations de bonne qualité. En effet, le bouleau jaune y pousse plus rapidement en hauteur et en volume que les feuillus tolérants de l'Ontario, d'où une exploitabilité technique de 100 ans au lieu de 130 ans dans le modèle du MRNF.

Par contre, les âges d'exploitabilité se ressemblent (130 vs 140 ans) sur la qualité de station moyenne, notamment si on tient compte que le modèle du bouleau jaune est peu précis passé 110 ans. De plus, cette courbe de rendement du modèle de bouleau jaune (IQS 16,5 m à 50 ans) est semblable à celle pour les stations de moyenne qualité des feuillus tolérants (IQS de 13 m à 50 ans) qui a servi à élaborer le modèle du MRNF.

Le modèle pour le bouleau jaune est basé sur un plein stocking de tiges marchandes (environ 450 tiges/ha), puisque la fermeture du couvert était un critère de sélection des placettes, tout comme ça l'était pour le modèle des feuillus tolérants en Ontario (Plonski, 1969); alors que le modèle du MRNF est basé sur un objectif de 80 % de stocking, dont la moitié est en bouleaux pour les peuplements à dominance de bouleaux.

En appliquant directement les objectifs de stocking du MRNF aux rendements prévus à 130 ans d'après le modèle de bouleau jaune (qui est très près des courbes de Plonski à cet âge, Figure 18), le rendement devrait être de 227 (80 % de 284 m³/ha à 130 ans) et de 174 m³/ha pour les stations de qualité meilleure et moyenne, respectivement. Or, le rendement prévu est respectivement de 150 et 125 m³/ha, soit l'équivalent d'un stocking d'environ 55 %. Selon M. Serge Vézina de la Direction des programmes forestiers au MRNF, ce rendement refléterait davantage celui observé présentement pour des strates de bouleaux près de l'âge d'exploitabilité. Ces strates de bouleau jaune au Québec sont souvent dégradées, elles ont donc un stocking faible, particulièrement en tiges de bouleau jaune de qualité.

Tableau 9. Comparaison des aspects les plus critiques des modèles de rendement des peuplements de bouleau

Aspects	Stations de meilleure qualité		Stations de moyenne qualité	
	MRNFP (2003) et Plonski (1981)	Modèle de la présente étude	MRNFP (2003) et Plonski (1981)	Modèle de la présente étude
Objectifs ^a	45 % bois d'œuvre, surtout 34-40 cm			
Âge d'exploitabilité	130	100	130	140
Stocking visé (placettes de 25 m ² , soit 400 tiges bien réparties par ha)	40 % de bouleaux (environ 160 tiges/ha) 80 % d'essences commerciales (environ 320 tiges feuillues par ha).	75 % de bouleau jaune (environ 300 tiges/ha) Environ 450 tiges commerciales par ha, soit près de 100 % de stocking	40 % de bouleaux (environ 160 tiges/ha) 80 % d'essences commerciales (environ 320 tiges feuillues par ha).	75 % de bouleau jaune (environ 225 tiges/ha) Environ 450 tiges commerciales par ha, soit près de 100 % de stocking
Rendement en volume > 9 cm	150 m ³ /ha 1,15 m ³ /ha/an 50 % du volume en bouleaux	250 m ³ /ha, 2,50 m ³ /ha/an 91 % du volume en bouleau jaune	125 m ³ /ha 0,96 m ³ /ha/an 48 % du volume en bouleaux	225 m ³ /ha, 1,61 m ³ /ha/an 87 % du volume en bouleau jaune
Rendement en bois d'œuvre	67,5 m ³ /ha (45 %) 0,52 m ³ /ha/an	123 m ³ /ha (49 %) 1,23 m ³ /ha/an 89 m ³ /ha (36 %) de tiges > 33 cm 0,89 m ³ /ha/an	56 m ³ /ha (45 %) 0,43 m ³ /ha/an	108 m ³ /ha (48 %) 0,77 m ³ /ha/an 79 m ³ /ha (35 %) de tiges > 33 cm 0,56 m ³ /ha/an
Âge de début de la sénescence	Aucune (> 190 ans)	Inconnue (> 110 ans)	Aucune (> 190 ans)	Inconnue (> 110-145 ans)

^a Objectifs d'une production prioritaire de bouleaux (BOU) dans une strate de retour à dominance de bouleaux selon un scénario de coupe de régénération.

La proportion du volume en bois d'œuvre est très semblable entre les deux modèles (45 vs 48-49 %). Cette similitude suggère que, malgré une qualité des tiges qui serait supérieure dans les placettes de la présente étude par rapport à la moyenne provinciale (Tableau 4), le modèle du MRNF pour les strates de retour de bouleaux serait basé sur une aussi bonne qualité de tiges qu'observé dans la présente étude.

Finalement, d'après les courbes des feuillus tolérants de l'Ontario, aucune sénescence n'est prévue sur la période couverte (190 ans). Or, des doutes ont été soulevés sur la capacité de maintenir, après 110 à 145 ans, le stocking de l'étage supérieur du couvert où se situe le bouleau jaune dans les peuplements à structure équienne. En fonction du niveau actuel des connaissances sur les peuplements équiennes de bouleau jaune, il pourrait donc être désavantageux ou risqué de viser des objectifs de production de bouleau jaune dont l'âge d'exploitabilité serait plus élevé que 110 ans.

3.3. REMARQUE SUR LES BÉTULAIES À BOULEAU JAUNE

La recherche de peuplements purs et équiennes en bouleau jaune dans cette étude a d'abord confirmé l'existence de ces peuplements, même s'ils sont rares et généralement petits. Ils ont été surtout rencontrés sur des sites en bas de pente, près d'un ruisseau ou dans une zone de ruissellement intermittent en surface associé avec du drainage oblique, sur des dépôts minces et souvent composés de gros blocs. Le bouleau jaune est d'ailleurs reconnu pour être adapté à une installation sur des blocs erratiques ou du bois mort en décomposition. Ce constat nous a amené à émettre l'hypothèse qu'il pourrait y avoir un climax édaphique pour le bouleau jaune sur de tels sites où le sapin et l'érable sont moins envahissants et où des perturbations importantes seraient susceptibles de régénérer des peuplements équiennes.

4. RECOMMANDATIONS

4.1. RECOMMANDATIONS SUR L'APPLICATION DES RÉSULTATS

4.1.1. Modèle du bouleau jaune

- Utiliser ce modèle dans les calculs de la possibilité forestière plutôt que celui pour les feuillus tolérants de l'Ontario.
- Utiliser avec discernement ces tables de rendement du bouleau jaune, particulièrement dans les régions, sur les stations ou dans les classes d'âges non visées ou sous-échantillonnées. Les données de la présente étude proviennent de Portneuf, de la Mauricie et du Témiscamingue sur des stations dont l'indice de qualité varie entre 15 et 21 m à 50 ans pour le bouleau jaune et dont l'intervalle d'âge le mieux représenté est de 50 à 110 ans.
- Prévoir, dans la planification du rendement des strates à structure équienne, qu'il y a une incertitude, et donc un risque, à simuler le maintien du stocking de bouleau jaune après 110 à 145 ans. Sur les stations de qualité moyenne, les objectifs de production pourraient être révisés à la baisse (bois d'œuvre de moins gros diamètre), mais avec une période de révolution plus courte que 130 ans.
- Inclure dans le Manuel d'aménagement forestier la possibilité de prévoir des scénarios de retour plus intensifs, pour les stations de meilleure qualité, avec un stocking élevé et un âge d'exploitabilité plus jeune. En effet, les bénéficiaires de CAAF devraient être encouragés à assurer un stocking très élevé dans les strates de retour afin de viser l'atteinte de rendements qui reflètent davantage le potentiel du bouleau jaune en peuplement équienne, plutôt que le retour à des strates dégradées.
- Exiger l'atteinte d'une densité et d'un coefficient de distribution élevés après coupe de régénération pour augmenter les probabilités d'obtenir à maturité un rendement comparable aux courbes du bouleau jaune. L'évaluation du coefficient de distribution devrait se faire sur des placettes d'une superficie plus près de 4 à 9 m² que de 25 m² afin d'avoir suffisamment de tiges pour gérer les risques et permettre par la suite au peuplement de s'auto-éclaircir (Figure 15). Ainsi, les peuplements pourront s'élaguer et s'éclaircir de façon à favoriser la survie de tiges vigoureuses qui ont souvent des troncs de qualité.

4.1.2. Modèle des feuillus tolérants de l'Ontario

- Pour les feuillus tolérants, utiliser la hauteur moyenne des tiges de diamètre moyen dans la détermination de la qualité de la station d'après le modèle de Plonski (1981). La hauteur dominante, telle que définie par Pothier et Savard (1998), peut surestimer la qualité de station lorsqu'elle est utilisée avec le modèle de Plonski (1981). Par contre, ce modèle ne permet pas de distinguer les stations de meilleure qualité.

4.2. RECOMMANDATIONS SUR LA RECHERCHE

- Réaliser de nouvelles placettes-échantillons temporaires de bouleau jaune pur et équienne de façon à atteindre une centaine de placettes mieux réparties dans toutes les classes d'âges (entre 20 et 150 ans) et dans toutes les régions concernées.

- Élaborer des courbes empiriques et potentielles d'indices de qualité de station pour le bouleau jaune d'après des mesures d'analyses de tiges sous différentes conditions écologiques. Par la suite, le modèle de rendement pourra être refait sur la base de ces courbes empiriques d'indices de qualité de station. De plus, un modèle mathématique plus raffiné pourra être utilisé.
- Réaliser une étude sur la sénescence du bouleau jaune.
- Poursuivre les études sur la dynamique des peuplements purs de bouleau jaune et sur l'hypothèse de climax édaphique.

5. CONCLUSION

Le modèle de rendement des feuillus tolérants de l'Ontario a été élaboré d'après de nombreuses espèces dont l'autécologie est variable, particulièrement en terme de croissance, de tolérance à l'ombre et de longévité. La méthode d'élaboration des courbes employée par Plonski (1969, 1981) avait pour effet d'éliminer systématiquement les placettes qui étaient situées aux limites supérieures et inférieures des observations. Si une espèce peu représentée dans l'échantillonnage avait une croissance supérieure ou inférieure à l'ensemble des feuillus tolérants, alors les placettes où elle dominait pourraient avoir été rejetées. Ainsi, ces courbes pourraient ne pas être représentatives d'espèces feuillues dont la croissance est largement supérieure ou inférieure à la moyenne des feuillus tolérants. Enfin, le mélange d'espèces plus ou moins tolérantes à l'ombre pourrait causer une sous-estimation de la moyenne pour les espèces peu tolérantes comme le bouleau jaune qui ont une croissance en hauteur supérieure.

Or, des observations ont démontré que le bouleau jaune, tant au Québec qu'en Ontario, pouvait avoir une croissance en hauteur plus rapide que celle représentée par les courbes d'indices de qualité de station pour les feuillus tolérants de l'Ontario. La forme des courbes d'IQS pour le bouleau jaune ressemblerait davantage à celle des courbes utilisées au Québec pour le bouleau à papier, une espèce parente. Celles-ci ont donc été retenues pour cette étude.

Les 45 placettes-échantillons temporaires ont été séparées en deux qualités de station sur cette base, ce qui a permis de distinguer des rendements différents en fonction de l'âge. Sur les stations de meilleure qualité, l'accroissement du bouleau jaune est plus rapide que celui des feuillus tolérants, réduisant ainsi l'âge d'exploitabilité. Quant aux stations de qualité moyenne, le rendement et l'âge d'exploitabilité sont davantage similaires entre les deux modèles. Cependant, des doutes ont été émis sur la capacité de maintenir un couvert fermé, pur et équienné dans les peuplements de bouleau jaune après 110 à 145 ans, contrairement aux courbes des feuillus tolérants. En effet, il a été très difficile de trouver des peuplements fermés, purs et équiennes de plus de 110 à 145 ans selon la qualité de la station. Une des hypothèses soulevées est qu'une mortalité partielle aurait pour effet d'ouvrir le couvert, d'augmenter la proportion d'espèces tolérantes et d'affecter la structure du peuplement au point où il ne pouvait plus être échantillonné dans la présente étude.

Finalement, des recommandations ont été émises visant principalement les modalités d'application du modèle, des mises en garde face à l'utilisation du modèle des feuillus tolérants de l'Ontario et des améliorations à apporter au modèle de rendement du bouleau jaune.

RÉFÉRENCES

- Barette, Y., G. Gauthier, A. Paquette, M. Ledoux et J. Paquet. 1996. Aménagement de la forêt pour fins de production ligneuse. Manuel de foresterie. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec et Les presses de l'Université Laval. Québec : 649-672.
- Bégin, J., L. Bélanger, J. Pfalzgraf et M. Pineau. 1990. Qualité de station et production dans les érablières rouges de la plaine de Drummondville, Québec. The Forestry Chronicle Août 1990 : 377-387.
- Bélanger, L., S. Paquette, S. Morel, J. Bégin, P. Meek, L. Bertrand, P. Beauchesne, S. Lemay et M. Pineau. 1995. Indices de qualité de station du sapin baumier dans le sous-domaine écologique de la sapinière à bouleau blanc humide. The Forestry Chronicle 71 (3) : 317-325.
- Belcher, D.M. 1992. TWIGS: the woodman's ideal growth projection system. In: Microcomputers, A New Tool for Foresters. Peurdue University. 70 p.
- Blais, L. et 14 collaborateurs. 1996. Inventaire forestier. Manuel de foresterie. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec et Les presses de l'Université Laval. Québec : 389-474.
- Carmean, W.H. 1978. Site index curves for northern hardwoods in Northern Wisconsin and Upper Michigan. North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Service, St-Paul, Minnesota. 16 p.
- Carmean, W.H. 1979a. A comparison of site index curves for northern hardwood species. North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Service, St-Paul, Minnesota. 11 p.
- Carmean, W.H. 1979b. Site index comparisons among northern hardwoods in Northern Wisconsin and Upper Michigan. North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Service, St-Paul, Minnesota. 17 p.
- Charest, G. 2002. Répertoire des bénéficiaires de CAAF (31 décembre). MRNQ, Direction de la gestion des stocks forestiers. Québec. 41 p. + 1 carte.
- Clausen, K.E. et R.M. Godman. 1969. Bark characteristics indicate age and growth of yellow birch. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Note NC-75. 3 p.
- Guillemette, F., D. Blouin, G. Lessard, et A. Patry. 2003. Installation de la régénération naturelle dans un peuplement mixte à dominance feuillue de la région de la Mauricie (Dispositif du lac Marcotte). Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO). Rapport 2003-02. 39 p.
- Husch, B., C.I. Miller, et T.W. Beers, 1972. Forest Mensuration. 2nd edition. The Ronald Press Companion. New York, 410 p.

- Lorimer, C.G. et A.G. Krug. 1983. Diameter distribution in even-aged stands of shade-tolerant and midtolerant tree species. *American Midland Naturalist*, 109(2) : 331-345.
- Marquis, D.A. et R.I. Ernst, 1992. User's guide to SILVAH. Forest Technical Report Ne-162. U.S. Department of Agriculture. Forest Service, Northeast Forest Experiment Station, Upper Darby, P.A. 1245 p.
- Ménard, B., S. Bédard et C. Lapointe. 1999. Identification du potentiel réel des sites (Indices de qualité de station) Aire commune 41-02. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Ste-Foy inc. (CERFO), Rapport 99-01.
- MRN. 1997. Plans généraux d'aménagement forestier. Orientation ministérielle # 4. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 5 p.
- MRN. 1998. Groupe d'action sur la forêt feuillue et le pin blanc, rapport d'activité 1998. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 13 p.
- MRN. 2002a. Action concertée, Fonds Nature et Technologies – Fonds forestier, Guide d'appel d'offres – 400. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 38 p.
- MRN. 2002b. Normes d'inventaire forestier, placettes-échantillons temporaires, peuplements de 7 m et plus de hauteur. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 194 p.
- MRN. 2002c. Rapport sur l'état des forêts québécoises 1995-1999. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la planification et des communications. Québec. 272 p.
- MRNFP, 2003. Manuel d'aménagement forestier, 4^e édition. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec, direction des Programmes forestiers, Québec.
- OMNR, 1998. A silvicultural guide for the tolerant hardwood forest in Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources. Queen's Printer for Ontario. Toronto. 500 p.
- Perron, J.Y. 1985. Tarif de cubage général : volume marchand brut. Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources, Service de l'inventaire forestier. 55 p.
- Plonski, W.L. 1960. Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen, white birch, tolerant hardwoods, white pine, and red pine for Ontario. Ontario department of lands and forests. 39 p.
- Plonski, W.L. 1969. Report on preparation of normal yield tables for Ontario. Ontario department of lands and forests, Timber branch. 88 p.
- Plonski, W.L. 1974. Normal yield tables for major species of Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources. 40 p.
- Plonski, W.L. 1981. Normal yield tables (metric) for major species of Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources. 40 p.

- Pothier, D. et F. Savard. 1998. Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, 1998. 183 p.
- Rondeux, J. 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les Presses agronomiques de Gembloux, Belgique. 522 p.
- Sit, V. et M. Poulin-Costello. 1994. Catalog of curves for curve fitting. Province of British Columbia, Ministry of Forests. Biometrics information, Handbook no. 4. 110 p.
- Solomon, D.S., D.A. Herman et W.B. Leak. 1995. FIBER 3.0: an ecological growth model for northeastern forest types. General Technical Report. 73 p.

ANNEXE 1 TABLES DE RENDEMENT

Tableau 1.1. Table de rendement empirique toutes essences dans des placettes de bouleau jaune – qualité de station 19,5 m à 50 ans

Age (à 1 m)	Tiges > 9,0 cm au DHP							Tiges > 24,0 cm		Tiges > 34,0 cm	
	DHPq (cm)	Surface terrière		Volume brut				Volume brut		Volume brut	
		Moy. (m ² /ha)	AAM (m ² /ha/an)	IC - 95 % (m ³ /ha)	Moy. (m ³ /ha)	IC + 95 % (m ³ /ha)	AAM (m ³ /ha/an)	Moy. (m ³ /ha)	AAM (m ³ /ha/an)	Moy. (m ³ /ha)	AAM (m ³ /ha/an)
20	14,3	10,3	0,51		39	104	1,97				
25	16,2	12,8	0,51	13	69	120	2,74	19	0,75		
30	17,8	14,8	0,49	40	92	135	3,08	47	1,57		
35	19,2	16,6	0,47	64	113	150	3,22	71	2,02		
40	20,3	18,1	0,45	85	130	164	3,25	92	2,29	8	0,21
45	21,4	19,4	0,43	104	145	177	3,23	110	2,44	29	0,65
50	22,3	20,6	0,41	121	159	190	3,18	126	2,52	48	0,95
55	23,1	21,7	0,39	137	172	202	3,12	141	2,56	64	1,17
60	23,9	22,7	0,38	151	183	213	3,05	154	2,57	79	1,32
65	24,6	23,6	0,36	164	193	224	2,98	167	2,56	93	1,44
70	25,2	24,4	0,35	176	203	234	2,90	178	2,54	106	1,52
75	25,9	25,2	0,34	186	212	244	2,83	189	2,52	119	1,58
80	26,4	26,0	0,32	195	220	253	2,76	199	2,48	130	1,62
85	26,9	26,6	0,31	202	228	261	2,69	208	2,45	140	1,65
90	27,4	27,3	0,30	209	236	269	2,62	217	2,41	150	1,67
95	27,9	27,9	0,29	214	243	276	2,56	225	2,37	160	1,68
100	28,4	28,5	0,28	218	250	282	2,50	233	2,33	169	1,69
105	28,8	29,0	0,28	222	256	288	2,44	241	2,29	177	1,69
110	29,2	29,6	0,27	224	262	293	2,38	248	2,25	186	1,69
115	29,6	30,1	0,26	225	268	298	2,33	255	2,22	193	1,68
120	30,0	30,6	0,25	225	273	302	2,28	261	2,18	201	1,67
125	30,3	31,0	0,25	223	279	306	2,23	268	2,14	208	1,66
130	30,7	31,5	0,24	221	284	308	2,18	274	2,11	215	1,65
135	31,0	31,9	0,24	218	289	311	2,14	280	2,07	221	1,64
140	31,3	32,3	0,23	214	294	312	2,10	285	2,04	228	1,63
145	31,6	32,7	0,23	208	298	313	2,06	291	2,01	234	1,61

[†] Les valeurs en *italique* indiquent les portions de la régression où l'échantillonnage et la précision sont faibles. Les valeurs soulignées et en caractères **gras** indiquent l'âge d'exploitabilité.

Tableau 1.2. Table de rendement empirique des tiges de bouleau jaune dans des placettes de bouleau jaune – qualité de station 19,5 m à 50 ans

Age (à 1m)	Hd (m)	Tiges > 9,0 cm au DHP				Volume brut											
		N (ti./ha)	DHPq (cm)	DHPd (cm)	Volume (m³/ha)	Bois d'œuvre					Bois d'œuvre > 33,0 cm			Sciage		Déroutage	
						IC - 95 % (m³/ha)	Moy. (m³/ha)	IC + 95 % (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)	% du volume	Moy. (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)	% du volume	Moy. (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)	Moy. (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)
20	12,2	679	12,9	19,7	49			20						2	0,08		
25	14,0	627	15,4	23,3	73		13	37	0,50	17				16	0,63		
30	15,6	584	17,4	26,2	94	4	27	50	0,90	29				27	0,91		
35	16,9	548	19,1	28,6	<u>111</u>	17	39	62	1,13	36				37	1,06	1	0,02
40	18,0	516	20,6	30,8	125	28	50	72	1,25	40	9	0,24	8	46	1,14	3	0,08
45	18,9	489	21,9	32,7	139	38	59	81	1,32	43	20	0,44	14	53	1,18	5	0,12
50	19,8	464	23,0	34,3	150	47	68	89	1,36	45	29	0,58	19	60	1,19	7	0,14
55	20,5	442	24,1	35,9	161	55	75	96	1,37	47	37	0,67	23	66	1,19	9	0,16
60	21,1	421	25,1	37,2	170	62	82	103	1,37	48	45	0,74	26	71	1,19	10	0,17
65	21,6	403	25,9	38,5	179	69	89	109	1,37	50	52	0,79	29	76	1,17	12	0,18
70	22,0	385	26,8	39,7	188	75	95	114	1,35	50	58	0,83	31	81	1,16	13	0,19
75	22,4	369	27,5	40,8	195	81	100	119	1,34	51	64	0,85	33	85	1,14	15	0,19
80	22,7	354	28,2	41,8	202	86	105	124	1,32	52	70	0,87	34	89	1,12	16	0,20
85	23,0	340	28,9	42,8	209	91	110	129	1,30	53	75	0,88	36	93	1,10	17	0,20
90	23,2	326	29,5	43,7	215	96	115	133	1,27	53	80	0,89	37	97	1,08	18	0,20
95	23,5	314	30,1	44,6	221	101	119	137	1,25	54	85	0,89	38	100	1,06	19	0,20
100	23,6	302	30,7	45,4	227	105	123	141	1,23	54	89	0,89	39	104	1,04	20	0,20
105	23,8	290	31,2	46,2	232	109	127	145	1,21	55	93	0,89	40	107	1,02	21	0,20
110	23,9	279	31,7	46,9	238	113	131	148	1,19	55	97	0,88	41	110	1,00	22	0,20
115	24,0	269	32,2	47,6	243	<i>117</i>	<i>134</i>	<i>152</i>	<i>1,17</i>	<i>55</i>	<i>101</i>	<i>0,88</i>	<i>42</i>	<i>112</i>	<i>0,98</i>	<i>22</i>	<i>0,19</i>
120	24,1	259	32,7	48,3	247	<i>121</i>	<i>138</i>	<i>155</i>	<i>1,15</i>	<i>56</i>	<i>105</i>	<i>0,87</i>	<i>42</i>	<i>115</i>	<i>0,96</i>	<i>23</i>	<i>0,19</i>
125	24,2	249	<i>33,1</i>	<i>48,9</i>	<i>252</i>	<i>124</i>	<i>141</i>	<i>158</i>	<i>1,13</i>	<i>56</i>	<i>108</i>	<i>0,87</i>	<i>43</i>	<i>118</i>	<i>0,94</i>	<i>24</i>	<i>0,19</i>
130	24,3	240	33,6	49,6	256	<i>127</i>	<i>144</i>	<i>161</i>	<i>1,11</i>	<i>56</i>	<i>112</i>	<i>0,86</i>	<i>44</i>	<i>120</i>	<i>0,92</i>	<i>25</i>	<i>0,19</i>
135	24,4	231	34,0	50,2	260	<i>130</i>	<i>147</i>	<i>164</i>	<i>1,09</i>	<i>56</i>	<i>115</i>	<i>0,85</i>	<i>44</i>	<i>123</i>	<i>0,91</i>	<i>25</i>	<i>0,19</i>
140	24,4	223	34,4	50,8	264	<i>133</i>	<i>150</i>	<i>166</i>	<i>1,07</i>	<i>57</i>	<i>118</i>	<i>0,84</i>	<i>45</i>	<i>125</i>	<i>0,89</i>	<i>26</i>	<i>0,19</i>
145	24,5	214	34,8	51,3	268	<i>136</i>	<i>153</i>	<i>169</i>	<i>1,05</i>	<i>57</i>	<i>121</i>	<i>0,84</i>	<i>45</i>	<i>127</i>	<i>0,88</i>	<i>27</i>	<i>0,18</i>

* Les valeurs en *italique* indiquent les portions de la régression où l'échantillonnage et la précision sont faibles. Les valeurs soulignées et en caractères **gras** indiquent l'âge d'exploitabilité.

Tableau 1.3. Table de rendement empirique toutes essences dans des placettes de bouleau jaune – qualité de station
16,5 m à 50 ans

Age	Tiges > 9,0 cm au DHP							Tiges > 24,0 cm		Tiges > 34,0 cm	
	DHPq	Surface terrière		Volume brut				Volume brut		Volume brut	
		Moy.	AAM	IC - 95 %	Moy.	IC + 95 %	AAM	Moy.	AAM	Moy.	AAM
(à 1 m)	(cm)	(m ² /ha)	(m ² /ha/an)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/an)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/an)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/an)
20	<i>14,3</i>	<i>7,0</i>	<i>0,35</i>				<i>83</i>				
25	<i>16,2</i>	<i>9,2</i>	<i>0,37</i>		<i>24</i>		<i>93</i>		<i>0,96</i>		
30	<i>17,8</i>	<i>11,1</i>	<i>0,37</i>	<i>11</i>	<i>45</i>	<i>102</i>	<i>1,51</i>				
35	<i>19,2</i>	<i>12,7</i>	<i>0,36</i>	<i>26</i>	<i>63</i>	<i>111</i>	<i>1,81</i>	<i>18</i>	<i>0,51</i>		
40	<i>20,3</i>	<i>14,0</i>	<i>0,35</i>	<i>41</i>	<i>79</i>	<i>120</i>	<i>1,98</i>	<i>37</i>	<i>0,91</i>		
45	<i>21,4</i>	<i>15,2</i>	<i>0,34</i>	<i>55</i>	<i>93</i>	<i>129</i>	<i>2,06</i>	<i>53</i>	<i>1,18</i>		
50	<i>22,3</i>	<i>16,3</i>	<i>0,33</i>	<i>68</i>	<i>105</i>	<i>137</i>	<i>2,10</i>	<i>68</i>	<i>1,36</i>		
55	<i>23,1</i>	<i>17,3</i>	<i>0,31</i>	<i>80</i>	<i>116</i>	<i>145</i>	<i>2,11</i>	<i>81</i>	<i>1,47</i>	<i>8</i>	<i>0,15</i>
60	<i>23,9</i>	<i>18,2</i>	<i>0,30</i>	<i>92</i>	<i>126</i>	<i>153</i>	<i>2,11</i>	<i>93</i>	<i>1,55</i>	<i>22</i>	<i>0,37</i>
65	<i>24,6</i>	<i>19,0</i>	<i>0,29</i>	<i>103</i>	<i>136</i>	<i>161</i>	<i>2,09</i>	<i>104</i>	<i>1,61</i>	<i>35</i>	<i>0,54</i>
70	<i>25,2</i>	<i>19,8</i>	<i>0,28</i>	<i>114</i>	<i>144</i>	<i>169</i>	<i>2,06</i>	<i>115</i>	<i>1,64</i>	<i>47</i>	<i>0,67</i>
75	<i>25,9</i>	<i>20,5</i>	<i>0,27</i>	<i>124</i>	<i>152</i>	<i>177</i>	<i>2,03</i>	<i>124</i>	<i>1,66</i>	<i>58</i>	<i>0,77</i>
80	<i>26,4</i>	<i>21,1</i>	<i>0,26</i>	<i>133</i>	<i>160</i>	<i>184</i>	<i>2,00</i>	<i>134</i>	<i>1,67</i>	<i>68</i>	<i>0,86</i>
85	<i>26,9</i>	<i>21,7</i>	<i>0,26</i>	<i>141</i>	<i>167</i>	<i>191</i>	<i>1,97</i>	<i>142</i>	<i>1,67</i>	<i>78</i>	<i>0,92</i>
90	<i>27,4</i>	<i>22,3</i>	<i>0,25</i>	<i>149</i>	<i>174</i>	<i>198</i>	<i>1,93</i>	<i>150</i>	<i>1,67</i>	<i>87</i>	<i>0,97</i>
95	<i>27,9</i>	<i>22,9</i>	<i>0,24</i>	<i>156</i>	<i>180</i>	<i>205</i>	<i>1,90</i>	<i>158</i>	<i>1,66</i>	<i>96</i>	<i>1,01</i>
100	<i>28,4</i>	<i>23,4</i>	<i>0,23</i>	<i>162</i>	<i>186</i>	<i>212</i>	<i>1,86</i>	<i>165</i>	<i>1,65</i>	<i>104</i>	<i>1,04</i>
105	<i>28,8</i>	<i>23,9</i>	<i>0,23</i>	<i>168</i>	<i>192</i>	<i>218</i>	<i>1,83</i>	<i>172</i>	<i>1,63</i>	<i>112</i>	<i>1,07</i>
110	<i>29,2</i>	<i>24,4</i>	<i>0,22</i>	<i>173</i>	<i>197</i>	<i>224</i>	<i>1,79</i>	<i>178</i>	<i>1,62</i>	<i>120</i>	<i>1,09</i>
115	<i>29,6</i>	<i>24,8</i>	<i>0,22</i>	<i>177</i>	<i>202</i>	<i>230</i>	<i>1,76</i>	<i>184</i>	<i>1,60</i>	<i>127</i>	<i>1,10</i>
120	<i>30,0</i>	<i>25,3</i>	<i>0,21</i>	<i>181</i>	<i>207</i>	<i>236</i>	<i>1,73</i>	<i>190</i>	<i>1,59</i>	<i>134</i>	<i>1,11</i>
125	<i>30,3</i>	<i>25,7</i>	<i>0,21</i>	<i>184</i>	<i>212</i>	<i>242</i>	<i>1,70</i>	<i>196</i>	<i>1,57</i>	<i>140</i>	<i>1,12</i>
130	<i>30,7</i>	<i>26,1</i>	<i>0,20</i>	<i>186</i>	<i>217</i>	<i>247</i>	<i>1,67</i>	<i>201</i>	<i>1,55</i>	<i>147</i>	<i>1,13</i>
135	<i>31,0</i>	<i>26,5</i>	<i>0,20</i>	<i>187</i>	<i>221</i>	<i>253</i>	<i>1,64</i>	<i>207</i>	<i>1,53</i>	<i>153</i>	<i>1,13</i>
140	<i>31,3</i>	<i>26,9</i>	<i>0,19</i>	<i>188</i>	<i>225</i>	<i>258</i>	<i>1,61</i>	<i>212</i>	<i>1,51</i>	<i>159</i>	<i>1,13</i>
145	<i>31,6</i>	<i>27,2</i>	<i>0,19</i>	<i>188</i>	<i>229</i>	<i>263</i>	<i>1,58</i>	<i>217</i>	<i>1,49</i>	<i>164</i>	<i>1,13</i>

[†] Les valeurs en *italique* indiquent les portions de la régression où l'échantillonnage et la précision sont faibles. Les valeurs soulignées et en caractères **gras** indiquent l'âge d'exploitabilité.

Tableau 1.4. Table de rendement empirique des tiges de bouleau jaune dans des placettes de bouleau jaune – qualité de station 16,5 m à 50 ans

Age (à 1m)	Hd (m)	Tiges > 9,0 cm au DHP				Volume brut												
		N (ti./ha)	DHPq (cm)	DHPd (cm)	Volume (m³/ha)	Bois d'œuvre					Bois d'œuvre > 33,0 cm			Sciage		Déroutage		
						IC - 95 % (m³/ha)	Moy. (m³/ha)	IC + 95 % (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)	% du volume	Moy. (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)	% du volume	Moy. (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)	Moy. (m³/ha)	AAM (m³/ha/an)	
20	10,1	679	12,9	16,5	6													
25	11,6	627	15,4	19,8	28													
30	13,0	584	17,4	22,5	46									5	0,15			
35	14,1	548	19,1	24,8	61		9	41	0,26	15				13	0,38			
40	15,1	516	20,6	26,8	74		19	46	0,46	25				21	0,52			
45	15,9	489	21,9	28,5	85	2	27	51	0,60	32				27	0,61			
50	16,6	464	23,0	30,1	95	10	34	55	0,69	36				33	0,67			
55	17,2	442	24,1	31,5	104	19	41	60	0,75	40	5	0,09	5	39	0,71	1	0,02	
60	17,8	421	25,1	32,8	113	26	47	64	0,79	42	12	0,20	11	44	0,73	3	0,04	
65	18,2	403	25,9	34,0	121	34	53	69	0,82	44	18	0,28	15	48	0,74	4	0,06	
70	18,6	385	26,8	35,1	128	40	58	73	0,83	46	24	0,34	19	53	0,75	5	0,07	
75	18,9	369	27,5	36,1	134	47	63	77	0,84	47	29	0,39	22	56	0,75	6	0,08	
80	19,2	354	28,2	37,1	141	52	68	81	0,85	48	35	0,43	25	60	0,75	7	0,09	
85	19,5	340	28,9	38,0	147	58	72	86	0,85	49	39	0,46	27	64	0,75	8	0,10	
90	19,7	326	29,5	38,8	152	63	76	90	0,85	50	44	0,49	29	67	0,74	9	0,10	
95	19,9	314	30,1	39,6	157	67	80	94	0,84	51	48	0,51	31	70	0,74	10	0,11	
100	20,0	302	30,7	40,4	162	71	84	98	0,84	52	52	0,52	32	73	0,73	11	0,11	
105	20,2	290	31,2	41,1	167	75	87	102	0,83	52	56	0,53	34	76	0,72	12	0,11	
110	20,3	279	31,7	41,8	171	78	91	105	0,82	53	60	0,54	35	78	0,71	12	0,11	
115	20,4	269	32,2	42,5	176	80	94	109	0,82	53	63	0,55	36	81	0,70	13	0,11	
120	20,5	259	32,7	43,1	180	82	97	113	0,81	54	67	0,55	37	83	0,69	14	0,12	
125	20,6	249	33,1	43,7	184	84	100	116	0,80	54	70	0,56	38	85	0,68	15	0,12	
130	20,6	240	33,6	44,3	188	85	103	120	0,79	55	73	0,56	39	88	0,67	15	0,12	
135	20,7	231	34,0	44,9	191	86	105	123	0,78	55	76	0,56	40	90	0,66	16	0,12	
140	20,7	223	34,4	45,4	195	86	108	127	0,77	55	79	0,56	40	92	0,66	16	0,12	
145	20,8	214	34,8	45,9	198	86	110	130	0,76	56	81	0,56	41	94	0,65	17	0,12	

* Les valeurs en *italique* indiquent les portions de la régression où l'échantillonnage et la précision sont faibles. Les valeurs soulignées et en caractères **gras** indiquent l'âge d'exploitabilité.

ANNEXE 2 IQS DES BOULEAUX BLANC ET JAUNE

En séparant le nuage de points de la relation entre la hauteur dominante et la hauteur moyenne du bouleau jaune, il est apparu que les modèles d'IQS étaient très similaires (Tableau 2.1). L'écart entre les deux ne serait attribuable qu'à un échantillonnage moindre pour le bouleau jaune.

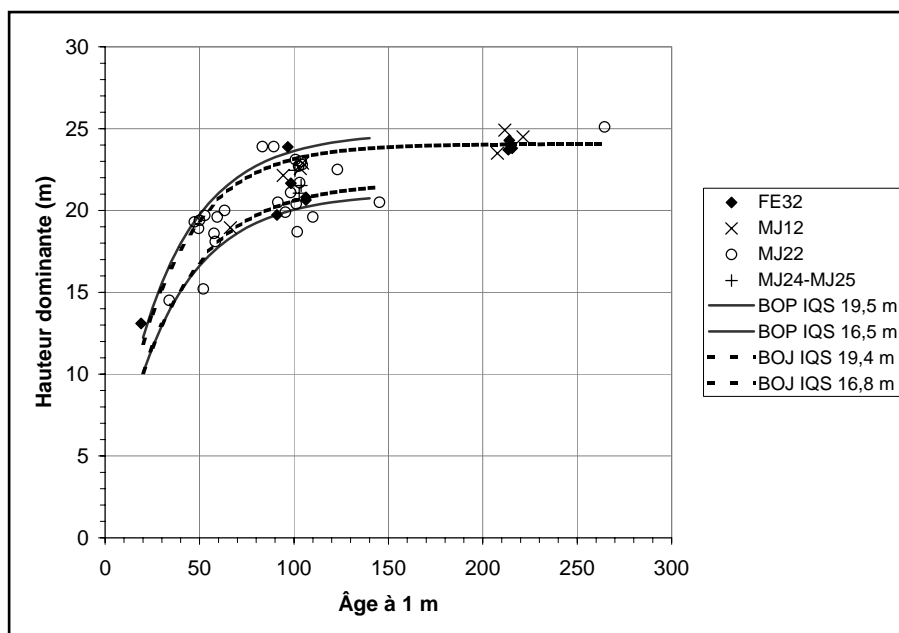


Figure 2.1 Comparaison des IQS pour le bouleau à papier et le bouleau jaune