

*L'évolution de la qualité des tiges :
une évaluation régionale*

Rapport présenté par :

Éric Forget, ing. f., M. Sc.
Frédéric Doyon, ing. f., Ph.D.
Philippe Nolet, B. Sc., M. Sc

Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue



À

Forêt Québec

U. G. 72

et

Sylvio Brunet et Fils

Juin 2001

Remerciements

Nous tenons à remercier le Ministère des Ressources naturelles pour le financement de ce projet par le biais de son Programme de mise en valeur de ressources du milieu forestier (PMVRMF) Volet I. Des remerciements vont également à Sylvio Brunet et Fils pour leur appui au projet ainsi qu'à Paul Lachance et André Laurin pour leurs commentaires au cours du projet.

Résumé

L'évolution de la qualité des tiges : une évaluation régionale

Éric Forget¹, Frédéric Doyon¹ et Philippe Nolet¹

¹IQAFF, 88, rue Principale, St-André-Avellin, Québec, J0V 1W0

Peu est connu de l'évolution de la qualité des tiges d'essences feuillues au Québec malgré l'importance de ce facteur sur le potentiel économique des peuplements. Cette étude a comme objectif de commencer à combler cette lacune en développant un modèle d'évaluation de la qualité des tiges feuillues à l'échelle régionale pour l'Outaouais.

Des modèles d'évolution de la mortalité et de la qualité des tiges ont été développés à l'aide d'analyses par régressions logistiques polythétiques pour l'érable à sucre et le bouleau jaune. Parmi les variables testées pour la mortalité, la qualité en début de période, le DHP en début de période ainsi que le nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures se sont avérées significatives pour l'érable à sucre. Seule cette dernière variable a été trouvée significative pour le bouleau jaune. Pour la mortalité, la qualité en début de période, le DHP en début de période ainsi que le gain en DHP entre les mesures expliquent le mieux la qualité en fin de période.

De façon globale, la mortalité de l'érable à sucre diminue avec l'augmentation du diamètre mais augmente avec une période entre les remesures plus longue. Pour le bouleau jaune, seule la période entre les remesures influence la mortalité. Les modèles démontrent une corrélation de la qualité des tiges en fin de période avec 1) la qualité initiale et 2) avec le DHP initial des tiges. L'influence positive ou négative de la croissance en DHP sur la qualité dépend de l'essence et de la qualité initiale. Des différences importantes ont été notées entre les probabilités exprimées par ces modèles et la matrice de transition du Manuel d'aménagement (Québec, 1998) pour différentes classes de diamètre. Afin de tester l'importance de ces différences sur le calcul de la possibilité forestière, une simulation de croissance sur 20 ans a été effectuée pour une strate d'érablière ERFT B2 Vin. Pour l'érable à sucre et le bouleau jaune, les volumes estimés par Sylva II après 20 ans étaient supérieurs pour la classe de qualité C et inférieurs pour la classe de qualité A comparativement aux régressions. Pour le bouleau jaune, une différence est aussi obtenue pour les tiges de qualité B alors que le volume estimé par Sylva II est supérieur à celui de la régression.

Bien qu'il soit difficile de connaître l'impact de ces différences sur l'évaluation de la possibilité forestière de feuillus de qualité, les résultats obtenus suggèrent que la matrice d'évolution de la qualité présentement utilisée est fort éloignée de ce qui est observée pour les feuillus de l'Outaouais.

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
1. INTRODUCTION.....	1
2. MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1 Bases de données.....	3
2.2 Analyses statistiques.....	4
2.3 Démonstration du modèle.....	5
2.4 Comparaison des résultats avec les tables du Manuel d'aménagement.....	5
2.5 Exemple d'implication de simulation de croissance.....	6
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	7
3.0.1 Nombre d'arbres témoin.....	7
3.1 <i>Érable à sucre</i>	7
3.1.1 Caractéristiques des variables indépendantes.....	7
3.1.2 Modèles de régression.....	8
a) Mortalité.....	8
b) Qualité.....	8
3.1.3 Démonstration du modèle.....	9
3.1.4 Comparaison des modèles de régression avec la matrice de transition du MRN.....	11
3.1.5 Comparaison des modèles de régression avec Sylva II.....	11
3.2 <i>Bouleau jaune</i>	14
3.2.1 Caractéristiques des variables indépendantes.....	14
3.2.2 Modèles de régression.....	14
a) Mortalité.....	14
b) Qualité.....	15
3.2.3 Démonstration du modèle.....	16
3.2.4 Comparaison des modèles de régression avec la matrice de transition du MRN.....	18
3.2.5 Comparaison des modèles de régression avec Sylva II.....	18
3.3 <i>Outil de prédiction</i>	21
4. CONCLUSION.....	23
RÉFÉRENCES.....	25
ANNEXE 1 – DIRECTIVES D'UTILISATION DE LA MACRO EXCEL.....	26
ANNEXE 2 – MATRICE DE TRANSITION DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT (TABLEAU 3).....	27
ANNEXE 3 – MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER : LES TAUX DE PASSAGE (FIGURE 2).....	28

Liste des tableaux

Tableau 1 – Nombre de tiges par essence par classe de qualité initiale	7
Tableau 2 – Valeurs moyennes, écarts-types et valeurs minimales et maximales des variables indépendantes pour l'érable à sucre.	8
Tableau 3 – Statistiques des modèles de régression logistique et statistiques des paramètres pour la mortalité et la qualité de l'érable à sucre.....	9
Tableau 4 – Comparaison du modèle d'évolution à la matrice de transition du Manuel d'aménagement pour l'érable à sucre.....	12
Tableau 5 – Valeurs moyennes, écarts-types et valeurs minimales et maximales des variables indépendantes pour le bouleau jaune.	14
Tableau 6 –Statistiques des modèles de régression logistique et statistiques des paramètres pour la mortalité et la qualité du bouleau jaune.....	15
Tableau 7 – Comparaison du modèle d'évolution à la matrice de transition du Manuel d'aménagement pour le bouleau jaune	19
Tableau 8 – Exemple de résultats produits par le modèle de prédiction pour l'évolution de la qualité et la mortalité réunis.....	22

Liste des Figures

Figure 1 – Probabilité d’obtention d’une qualité finale lors de la remesure en fonction de la qualité et du DHP lors de la première mesure avec une croissance et une période fixes de 5 cm sur 10 ans pour l’érable à sucre.....	10
Figure 2 - Comparaison de l’estimation du volume par classes de qualité de la strate d’érable par Sylva II et la méthode des régressions après 20 ans pour l’érable à sucre.....	13
Figure 3 – Probabilité d’obtention d’une qualité finale lors de la remesure en fonction de la qualité initiale et du DHP lors de la première mesure avec une croissance et une période fixes de 5 cm sur 10 ans pour le bouleau jaune.....	17

1. Introduction

La tendance mondiale en matière de sylviculture n'est plus à la quantité, mais à la qualité (Hammons & Marshall 1994 ; Zeide 2001). La très grande demande de bois de feuillus de qualité souligne l'importance de ce type de produit. La qualité des tiges détermine leur potentiel pour la production de bois de sciage et par le fait même, leur valeur marchande. Ainsi, la production de belles tiges est de mise pour assurer l'approvisionnement des industries fabricant des produits à forte valeur ajoutée. Une planification conséquente de l'évolution de la qualité des tiges exige que celle-ci soit bien simulée lors de la confection des plans d'aménagement.

Le modèle de simulation Sylva II considère la croissance et la qualité des tiges feuillues, mais l'accent est mis sur la croissance des tiges. Par exemple, la majorité des annexes du manuel d'aménagement du Québec (Québec 1998) sont consacrées aux matrices des taux de passages qui permettent de simuler la croissance par zone d'accroissement par essence dans Sylva II. En comparaison, l'évolution de la qualité des tiges n'occupe que trois pages et est évaluée par essence pour l'ensemble du Québec. Lors de travaux récents en acérico-foresterie en Basse-Mauricie, nous nous sommes aperçus du manque flagrant de connaissances relativement à l'évolution de la vigueur et de la qualité des tiges des essences feuillues (Nolet et al. 2000). Le manque de connaissances au Québec sur ce sujet pourrait expliquer le peu d'effort investi dans les simulations pour la qualité dans Sylva II.

Les taux de croissance des tiges, les défauts qui affectent la qualité d'une tige ainsi que le besoin d'intervenir avant qu'une tige soit déclassée peuvent varier d'une région à une autre. En effet, au même titre que la croissance, l'évolution de la qualité, pour une essence donnée, va dépendre du climat, des sols et des éléments pathogènes que l'on trouve régionalement. Un modèle d'évolution de la qualité des tiges développé au niveau régional est donc beaucoup plus approprié.

La matrice de transition pour la qualité décrite dans le Manuel d'aménagement forestier et utilisé dans Sylva II a donc comme faiblesse d'avoir été développé à l'échelle provinciale. Autre caractéristique, elle a été construite à partir d'une image fixe de la forêt. C'est-à-dire que l'évolution de la qualité a été déduite à partir des données d'inventaire à un temps donné (2^{ème}

inventaire décennal). L'approche utilisée dans la présente étude consiste plutôt à étudier l'évolution de la qualité des tiges dans le temps et à essayer de prédire cette évolution en fonction des différentes caractéristiques des tiges, le tout, réalisé à l'échelle régionale.

Les objectifs de la présente étude sont donc de :

- Développer une méthodologie permettant d'étudier l'évolution de la qualité des tiges ;
- Bâtir un modèle d'évolution de la qualité des tiges d'essences feuillues pour la région de l'Outaouais ;
- Comparer ce modèle d'évolution avec la matrice décrite dans le Manuel d'aménagement forestier ;
- Évaluer les implications en termes de calcul de possibilité.

2. Méthodologie

Les données d'inventaire des parcelles permanentes (PEP) de l'Outaouais ont été utilisées afin de développer un modèle d'évolution de la qualité des tiges. En effet, puisque certaines des tiges de ces placettes sont remesurées périodiquement, il est possible d'obtenir les probabilités de passage d'une classe de qualité à une autre pour la période de temps entre les différents inventaires. Seuls les arbres inventoriés en Outaouais ont été considérés puisque le modèle recherché doit répondre aux caractéristiques régionales.

2.1 Bases de données

La première étape consiste à lier les bases de données des différents inventaires décennaux afin de réunir l'information sur des arbres pris individuellement. De cette immense base de données, sont retenus seulement les arbres d'essences feuillues pour lesquels une remesure est disponible. Pour ces arbres, l'information extraite consiste en :

- l'essence ;
- la classe de qualité de la tige en début de période ;
- la classe de qualité en fin de période ;
- le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) en début de période ;
- le DHP en fin de période ;
- l'âge de l'arbre en début de période ;
- l'âge de l'arbre en fin de période ;
- l'état (mort ou vivant) en fin de période.

Deux bases de données ont par la suite été créées. La première comprend tous les arbres vivants lors de la première mesure et dont une remesure est disponible, que l'arbre soit mort ou vivant lors de la remesure. Cette base de données sert à évaluer le taux de mortalité. Une deuxième base de données comprend seulement les arbres vivants initialement et toujours vivants lors de la remesure. Cette base de données permet d'évaluer le taux de passage d'une classe de qualité à une autre. Il est nécessaire de garder séparées ces deux bases de données afin de permettre l'identification, à l'aide d'outils statistiques, des facteurs influençant la mortalité et ceux influençant la qualité des tiges.

2.2 Analyses statistiques

Dans un premier temps, nous avons voulu évaluer la probabilité de mortalité d'une tige en fonction de ses caractéristiques au moment de la première prise de mesures. Pour ce faire, la régression logistique multiple¹ a été utilisée. Les calculs ont été réalisés grâce à la Macro SPSS Mlogist de Hendricks (1998) faisant appel à la procédure CoxReg de SPSS 8.0. Les variables dépendantes (ou explicatives) étaient les suivantes : 1) le nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures (période) ; 2) la qualité en début de période ; 3) le DHP en début de période ; 4) la croissance moyenne annuelle du DHP pour la période. Le gain en surface terrière entre les deux prises de mesures ainsi que la croissance DHP entre les deux prises de mesures ne peuvent être intégrés à l'analyse puisque le diamètre final des arbres morts n'est pas disponible.

Dans un deuxième temps, nous avons tenté d'expliquer la probabilité qu'une tige passe d'une qualité X à une qualité Y. Puisque la variable dépendante est une variable catégorique (la qualité prend différentes valeurs : A, B, C, D ou non-classée), la régression logistique polythétique multiple a été utilisée. Le pouvoir prédictif des variables explicatives précédemment mentionnées a été testé.

Le pouvoir prédictif du modèle pour les régressions logistiques peut être évalué à l'aide du log du ratio de vraisemblance (-2LL). Le ratio du -2LL expliqué sur le -2LL total exprime la proportion de la déviance de la variable dépendante expliquée par les variables significatives. Pour les statistiques des paramètres, le Rao's score est un indicateur de la force de la relation entre la variable indépendante testée et la variable dépendante. Plus la valeur est éloignée de 0, plus la relation est forte.

Avec les résultats des analyses statistiques, il est possible de développer un modèle qui permet de prédire, à l'aide des variables indépendantes les plus explicatives, la probabilité qu'un évènement se produise. Autrement dit, on peut trouver une formule mathématique qui prédit, à l'aide des

¹ La régression est une technique largement utilisée en statistique et qui sert à estimer la relation mathématique entre une ou plusieurs variables explicatives et une variable dépendante. Une régression logistique est utilisée lorsque la variable dépendante est catégorique, c'est-à-dire non continue (par exemple des classes de qualité). Lorsque plus d'une variable explicative sont incluses au modèle, on parle alors de régression logistique multiple. Et dans le cas où la variable dépendante a plus de deux catégories, on l'appelle polythétique.

caractéristiques de l'arbre en début de période (essence, qualité au départ, DHP, etc.), la probabilité de mortalité ou la probabilité de passage d'une classe de qualité à une autre. Ensuite, ces modèles peuvent être jumelés afin d'intégrer la mortalité à même le modèle d'évolution de la qualité. Ces modèles permettent donc de calculer la probabilité qu'une tige meurt, qu'elle reste dans la catégorie des moins de 24 cm ou quelle devienne de classe de qualité A, B, C ou D. Pour faciliter leurs utilisation, les modèles prédictifs ont été incorporés à l'intérieur du logiciel Microsoft Excel à l'aide d'une fonction MACRO.

2.3 Démonstration du modèle

Les analyses statistiques permettent d'évaluer la probabilité d'évolution d'une tige vers les différentes classes de qualité. Afin de donner un aperçu général des résultats produits par la régression, la probabilité d'obtenir chacune des qualités finales a été calculée, et ce, pour chacune des 5 qualités initiales et pour l'étendue des DHP initiaux possibles. Pour ce faire, les valeurs de gain en DHP pendant la période ainsi que de durée de la période ont été laissées constantes à 5 cm et 10 ans respectivement. Le diamètre à hauteur de poitrine maximum a été fixé arbitrairement à 60 cm.

2.4 Comparaison des résultats avec les tables du Manuel d'aménagement

La matrice de l'évolution des classes de qualité des tiges pour les essences feuillues du Québec provenant du Manuel d'aménagement forestier – documents d'annexes (Annexe 2) montre la progression de la qualité des tiges par essence et par classe de diamètre. Elle est à la base du calcul de qualité des tiges feuillues dans Sylva II. Elle utilise les classes de diamètre de 23 cm ou moins, de 23.1 cm à 33 cm, de 33.1 cm à 40 cm et de 40.1 et plus. Selon le Manuel, les probabilités de passage ont été obtenues à partir des données du deuxième programme décennal d'inventaire (Québec 1998). Les valeurs exprimées représentent la probabilité de passage d'une tige d'une catégorie à une autre, par exemple de 23 cm (non-classée) à une tige de 23.1 cm (qualité C ou D). En effet, puisqu'il s'agit d'une approche statique, "le déplacement des tiges dans les classes de qualité s'effectue au cours de leur évolution lorsque les diamètres minimaux sont atteints" (Québec 1998).

Les résultats d'évolution de la qualité des tiges de la matrice du MRN sont donc obtenus par classes de diamètre alors que la régression logistique produit des résultats de manière continue

pour n'importe quel DHP de chacune des classes. Cette différence de méthodologie rend la comparaison difficile. Afin de permettre la comparaison la plus juste possible des résultats des régressions avec ceux de la matrice, il a été décidé d'introduire dans la régression logistique les valeurs de DHP correspondant à la valeur moyenne de classes de diamètre de la matrice qui sont de 23 cm ou moins, de 23.1 cm à 33 cm, de 33.1 cm à 40 cm et de 40.1 et plus. Puisqu'une croissance en diamètre fixe doit être employée, il a été décidé de débiter avec un DHP de 19 cm et d'utiliser une croissance de 6 cm par période. Les valeurs de diamètre utilisées dans la régression logistique sont donc de 19 cm pour la classe de 23 cm et moins, de 25 cm et 31 cm pour la classe de 23.1 cm à 33 cm, de 37 cm pour la classe de 33.1 cm à 40 cm et finalement de 43 cm pour la classe de 40.1 cm et plus. Des périodes de 10 ans ont été utilisées. Puisque le modèle de transition du Manuel d'aménagement n'inclut pas la mortalité, le modèle de régression d'évolution de la qualité uniquement a été utilisé (mortalité exclue).

2.5 Exemple d'implication de simulation de croissance

Nous avons voulu vérifier dans quelle mesure les résultats obtenus à partir de notre méthodologie peuvent avoir une incidence sur le calcul de possibilité d'un territoire donné. Puisque Sylva II est un logiciel donc le code est compilé et donc inaccessible, il n'est pas possible d'aller intégrer directement nos résultats dans les simulations de Sylva II.

Ainsi, nous avons, pour fins de comparaison, utilisé une strate du territoire de la Forêt de l'Aigle pour laquelle le calcul de possibilité a déjà été effectué. À partir des tables référence.dbf et résultat.dbf produites par le modèle d'accroissement de Sylva II, nous avons reconstruit la croissance en diamètre (taux de passage) sur 20 ans et comparé cela à l'évolution de la qualité selon nos modèles pour le bouleau jaune et l'érable à sucre. Les simulations de croissance dans Sylva II ont été faites avec les paramètres suivants : érablière (ERFT B2 Vin); avec mortalité ; zone d'accroissement 21 ; période de 20 ans.

Étant donné que le modèle des régressions est plus juste en utilisant une période de 10 ans plutôt que de 20 ans, nous avons appliqué notre modèle d'évolution de la qualité sur deux périodes de 10 ans. Les résultats du modèle ont par la suite été comparés avec ceux obtenus par Sylva II.

3. Résultats et discussion

3.0.1 Nombre d'arbres témoin

Le lien fait entre les différentes bases de données d'inventaire des PEP nous a permis d'identifier les arbres ayant été mesurés à plus d'une reprise. Le tableau 1 indique ce nombre de tiges pour chacun des 4 essences ayant le plus grand nombre de tiges. Ce dénombrement est divisé par classe de qualité. Les tiges non classées sont celles de 23 cm de diamètre ou moins.

Tableau 1 – Nombre de tiges par essence par classe de qualité initiale

	Érable à sucre	Bouleau jaune	Peupliers *	Érable rouge
Qualité A	63	8	7	4
Qualité B	120	31	15	9
Qualité C	576	133	79	64
Qualité D	131	37	22	29
Non classées	12101	3307	4046	7172

* Peupliers : sont réunis dans cette catégorie le peuplier faux-tremble, peuplier à grandes-dents et le peuplier baumier.

Étant donné le nombre restreint d'arbres de qualité A, B, C et D, les analyses statistiques ont été effectuées seulement sur l'érable à sucre et le bouleau jaune. Un nombre élevé d'arbres d'érable rouge et de peuplier sont disponibles, mais la majorité des arbres présentent un diamètre de moins de 23 cm, ce qui nous empêche d'effectuer des analyses statistiques valables pour l'évolution de la qualité.

3.1 Érable à sucre

3.1.1 Caractéristiques des variables indépendantes

Nous avons, dans un premier temps, voulu connaître les caractéristiques descriptives des variables indépendantes pour chaque espèce. Cela permet de connaître dans quel intervalle, pour chacune des variables indépendantes, le modèle est le plus précis. Par exemple, pour l'érable à sucre, le nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures des arbres ayant servis à construire le modèle est de 12 ans (Tableau 2). On ne peut donc pas s'attendre à ce que le mo-

dèle soit aussi précis si on utilise comme intrant une période de 20 ans. Aussi, le DHP maximal en début de période des arbres étant de 75 cm, les probabilités calculées pour des diamètres près de cette valeur maximale seraient donc peu fiables.

Tableau 2 – Valeurs moyennes, écarts-types et valeurs minimales et maximales des variables indépendantes pour l'érable à sucre.

Variables indépendantes	Érable à sucre			
	Moyenne	Écart-type	Minimale	Maximale
DHP en début de période (cm)	16.0	6.5	9.1	75
Gain en DHP entre les deux périodes (cm)	2.6	2.3	0	24.4
Gain en surface terrière entre les deux prises de mesures (cm ²)	0.75	0.78	0	12.33
Croissance en DHP annuelle (cm)	2.23	1.51	0	11.8
Nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures	11.7	5.6	4	26

3.1.2 Modèles de régression

a) Mortalité

L'analyse de régression logistique a permis de vérifier que les variables qualité en début de période et DHP en début de période ainsi que le nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures ont un effet significatif sur la probabilité de mortalité des tiges d'érable à sucre. De façon globale, la mortalité diminue avec l'augmentation des diamètres mais augmente avec une augmentation de la période entre les remesures. Aussi, le gain en diamètre entre les périodes n'affecte pas significativement le taux de mortalité. Les 3 variables significatives contribuent équitablement au modèle puisque leur Rao's score sont similaires (Tableau 3). Une très faible proportion (2%) du -2ll de départ est expliqué par ces trois variables ce qui indique que le taux de mortalité est faiblement modifié par ces trois variables.

b) Qualité

Pour ce qui est de la qualité, les variables significatives pour la mortalité le sont encore une fois, mais s'ajoute à ces dernières le gain en DHP et le gain en surface terrière entre les deux périodes. De façon générale, la qualité moyenne des tiges s'améliore avec l'augmentation du DHP initial

(Figure 1). Pour ce qui est de la qualité en fonction de la croissance en diamètre, les résultats obtenus sont les suivants : Pour les tiges de qualité initiale A, une augmentation de la croissance en DHP favorise les tiges de qualité B au détriment des tiges de qualité A. Pour celles de qualité initiale B, l'augmentation de la croissance augmente la probabilité d'obtenir des tiges de qualité B au détriment des autres classes de qualité. Et finalement, pour les tiges de qualité initiale C et D, une augmentation de la croissance améliore les chances d'obtenir des tiges de qualité A et B au détriment de classes de qualité C et D. Le pouvoir prédictif du modèle est élevé puisqu'une bonne proportion de la déviance est expliquée par ces variables, soit 80% du $-2LL$ de départ.

Tableau 3 – Statistiques des modèles de régression logistique et statistiques des paramètres pour la mortalité et la qualité de l'érable à sucre

Variabiles indépendantes testées		Mortalité	Qualité
Qualité en début de période	Sign.	.0000	.0000
	<i>Rao's Score</i>	.0724	.1682
DHP en début de période	Sign.	.0000	.0000
	<i>Rao's Score</i>	.0928	.1835
Gain en DHP entre les deux périodes	Sign.	N/A	.0000
	<i>Rao's Score</i>		.1824
Gain en surface terrière entre les deux prises de mesures	Sign.	N/A	.0510
	<i>Rao's Score</i>		
Croissance en DHP annuelle	Sign.	N/A	>0.1
	<i>Rao's Score</i>		
Nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures	Sign.	.0000	.0038
	<i>Rao's Score</i>	-.0928	.0213
% du log du ratio de vraisemblance expliqué par les variables indépendantes		2%	80%

>0.1 : non significative ; Gras : inclu dans le modèle prédictif.

3.1.3 Démonstration du modèle

Les résultats de la démonstration du modèle en utilisant des paramètres fixes sont montrés sous forme graphique à la Figure 1. On remarque que pour chacun des états initiaux, la qualité moyenne des tiges s'améliore avec l'augmentation du DHP initial. Aussi, les résultats montrent une diminution du taux de mortalité en fonction de l'augmentation du DHP des tiges. On remarque également que la majorité des tiges qui passent la barre des 23 cm deviennent des tiges de qualité C.

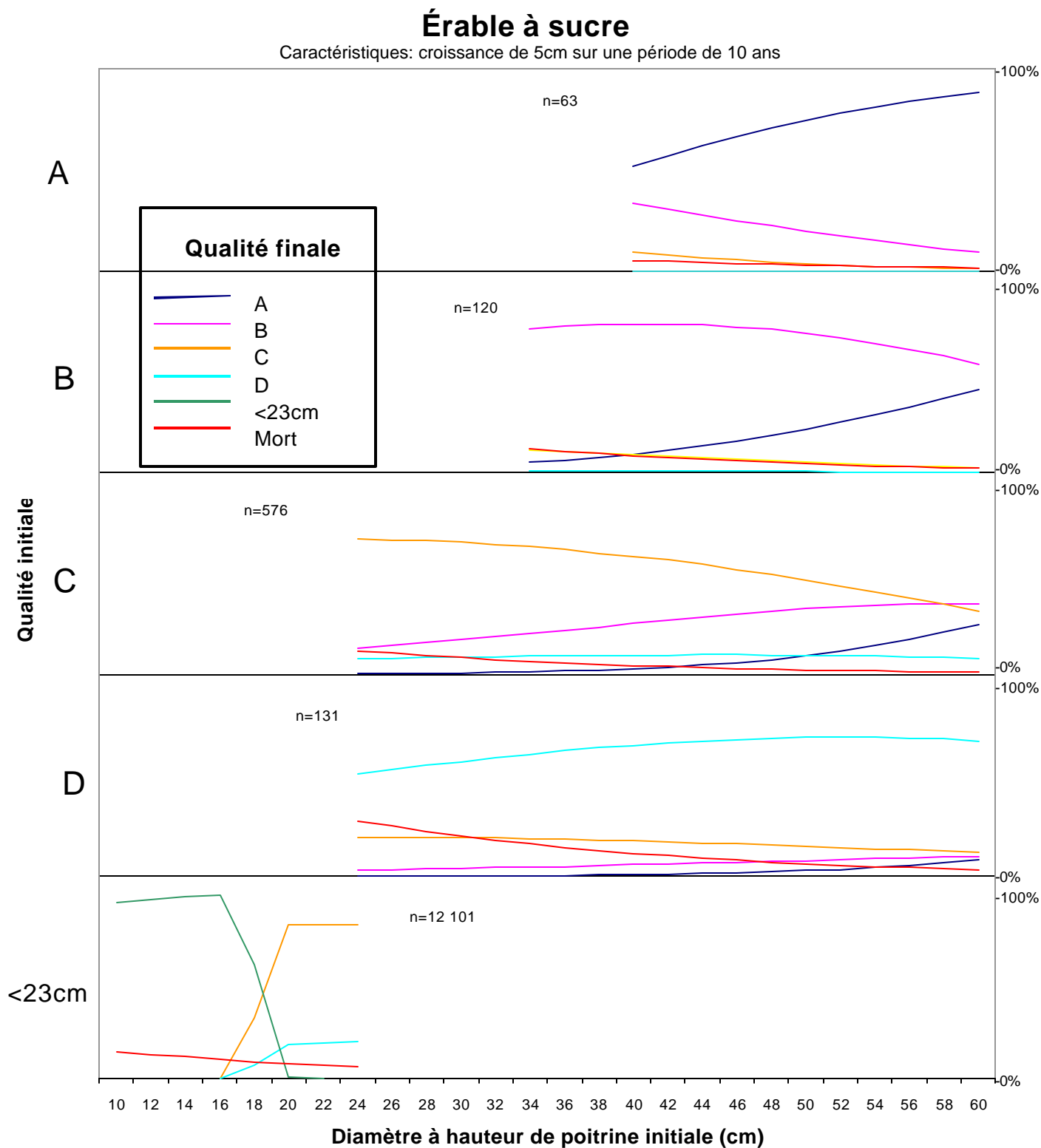


Figure 1 – Probabilité d’obtention d’une qualité finale lors de la remesure en fonction de la qualité et du DHP lors de la première mesure avec une croissance et une période fixes de 5 cm sur 10 ans pour l’érable à sucre.

3.1.4 Comparaison des modèles de régression avec la matrice de transition du MRN

Pour l'évolution des tiges non-classées vers des diamètres de 23 à 33 cm, les probabilités de passage vers la classe C et la classe D s'apparentent pour les deux méthodes (Tableau 4). En effet, la matrice de transition montre un taux de passage de 77 % vers la qualité C et un taux de 23 % vers la classe D comparativement à 78 % et 22 % pour la méthode des régressions. Par contre, des taux de passage très différents sont obtenus lorsque l'on compare les deux méthodes pour les autres classes de diamètre. Par exemple, le taux de passage des classes de qualité C de 23 cm à 33 cm vers des tiges de qualité D de 33 à 39 cm obtenu par la matrice de transition est de 55% alors que la régression donne un taux de passage de seulement 25 %. Aussi, alors que la matrice ne permet pas aux tiges de qualité C de cette classe de diamètre de passer à une classe de qualité D, la régression en indique 9% qui suivent ce cheminement. De la même manière, la matrice de transition montre que l'ensemble des tiges de qualité D et de diamètre de 33 à 39 cm restent de qualité D alors que la régression indique 8 % de ces tiges deviennent de qualité B et 20 % de qualité C. **En dépit des contraintes relatives à la comparaison des méthodes expliquées dans la section méthodologie, cette comparaison permet d'affirmer que des différences importantes existent entre les résultats obtenus par les deux méthodes pour l'évolution de la qualité des tiges d'érable à sucre.**

3.1.5 Comparaison des modèles de régression avec Sylva II

Les résultats de la comparaison des estimations de volume par classes de qualité montrent une différence importante pour les arbres de qualité initiale A et C. En effet, du volume initial de 4578 mètres cubes (m^3) pour les tiges initiales de qualité A, Sylva II estime le volume des tiges de qualité A après une période de 20 ans à 5735 m^3 alors que la méthode de la régression arrive à 10886 m^3 . À l'inverse, pour un volume de départ de 37 431 m^3 pour les arbres de qualité C, le volume estimé par Sylva II pour les tiges de qualité C après 20 ans s'élève à 41 875 m^3 alors que la méthode des régressions arrive à 35 040 m^3 . Pour les classes de qualité de départ B et D, les différences entre les deux méthodes sont beaucoup moindres.

Tableau 4 – Comparaison du modèle d'évolution à la matrice de transition du Manuel d'aménagement pour l'érable à sucre

Méthode	De: À:	<23 cm		Classes de Diamètre	Tiges C			Tiges D			Classes de diamètre	Tiges B				Tige C				Tiges D		
		C	D		B	C	D	B	C	D		A	B	C	D	A	B	C	D	B	C	D
		%	%		%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Matrice de transition	de non-classées à [23,33] cm	77	23	de [23,33] cm à [33,39] cm	55	45	-	-	22	78	de [33,39] cm à 39 et plus	57	43	-	-	-	25	75	-	-	0	100
Régressions Période 10 ans Croissance de 6 cm / période	de 19 cm à 25 cm de 19 cm à 31cm	82	18	de 31 cm à 37 cm	25	66	9	7	23	70	de 37 cm	7	84	8	1	2	30	59	9	8	20	72

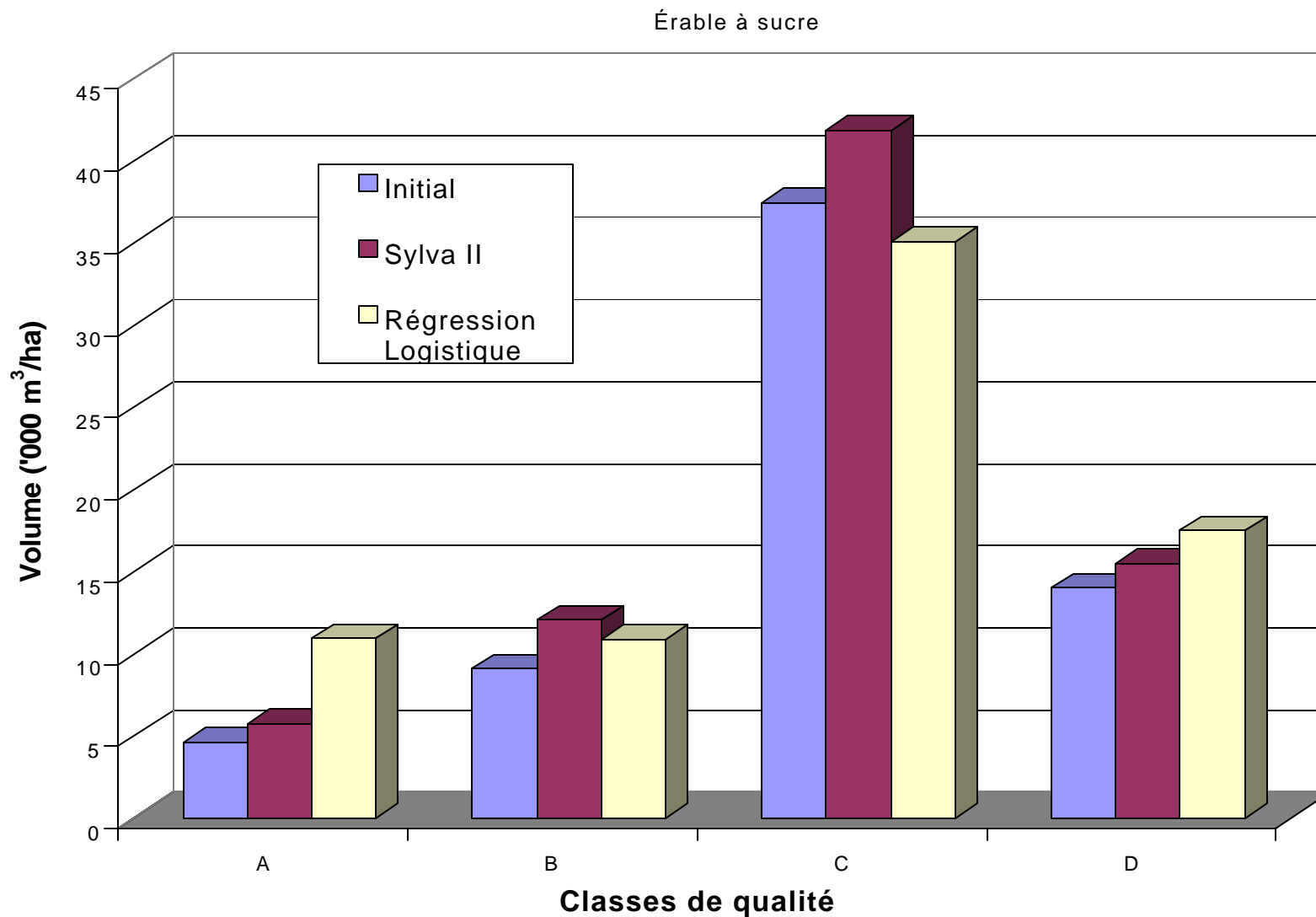


Figure 2 - Comparaison de l'estimation du volume par classes de qualité de la strate d'érablière par Sylva II et la méthode des régressions après 20 ans pour l'érable à sucre.

3.2 Bouleau jaune

3.2.1 Caractéristiques des variables indépendantes

Le calcul des moyennes, écarts-types, et valeurs minimales et maximales a été effectué afin d'évaluer la distribution des différentes variables indépendantes pour le bouleau jaune. Tout comme pour l'érable à sucre, ces résultats (Tableau 5) permettent de connaître dans quel intervalle, pour chacune des variables indépendantes, le modèle est le plus précis. Pour le bouleau jaune, la moyenne des années écoulées entre les prises de mesures est de près de 13 ans et la croissance diamètre annuelle moyenne pour le bouleau jaune est légèrement supérieur à ce qu'on a obtenu pour l'érable à sucre. Le diamètre maximal en début de période est de 77 cm. Il est important de garder en mémoire ces résultats afin de restreindre l'utilisation des résultats à un certain intervalle où un assez grand nombre des données ont servi aux calculs.

Tableau 5 – Valeurs moyennes, écarts-types et valeurs minimales et maximales des variables indépendantes pour le bouleau jaune.

Variables indépendantes	Bouleau jaune			
	Moyenne	Écart-type	Minimale	Maximale
DHP en début de période (cm)	16.3	6.4	9.1	77
Gain en DHP entre les deux périodes (cm)	3.4	2.8	0	21.7
Gain en surface terrière entre les deux prises de mesures (cm ²)	36.3	24.6	0	370
Croissance en DHP annuelle (cm)	2.63	1.65	0	21.7
Nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures	12.9	6.2	4	26

3.2.2 Modèles de régression

a) Mortalité

L'analyse de régression logistique a permis de constater que seul le nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures a un effet significatif sur la probabilité de mortalité des tiges de bouleau jaune (Tableau 6). Aussi, le Rao's score de cette variable est relativement près de 0, indiquant une relation assez faible entre cette variable et la mortalité de bouleau jaune. La proportion du $-2ll$ expliqué sur le $-2ll$ total est également très faible, ce qui indique que seulement

une faible proportion de la mortalité est expliquée par cette régression. Ainsi, on peut affirmer que la probabilité qu'une tige de bouleau jaune meurt augmente avec l'augmentation de la période entre les mesures. Avec une période de 13 ans entre les mesures, la probabilité qu'une tige de bouleau jaune meurt reste constante à 10.6 %.

b) Qualité

Pour ce qui est de la qualité, les variables significatives sont les suivantes : qualité en début de période, DHP en début de période ainsi que le gain DHP entre les deux périodes. Ces trois variables réduisent de 78% le log du ratio de vraisemblance total. Aussi, le Rao's score indique que le DHP initial (.2197) explique le plus de la variabilité, suivi de la variable du gain en diamètre pendant la période (.1697) et finalement par la qualité initiale de la tige (.1132).

Tableau 6 – Statistiques des modèles de régression logistique et statistiques des paramètres pour la mortalité et la qualité du bouleau jaune

Variabiles indépendantes testées		Mortalité	Qualité
Qualité en début de période	Sign. <i>Rao's Score</i>	>0.1	.0000 .1132
DHP en début de période	Sign. <i>Rao's Score</i>	>0.1	.0000 .2197
Gain en DHP entre les deux périodes	Sign. <i>Rao's Score</i>	N/A	.0000 .1697
Gain en surface terrière entre les deux prises de mesures	Sign. <i>Rao's Score</i>	N/A	>0.1
Croissance en DHP annuelle	Sign. <i>Rao's Score</i>	N/A	>0.1
Nombre d'années écoulées entre les deux prises de mesures	Sign. <i>Rao's Score</i>	.0019 -.0533	>0.1
% du log du ratio de vraisemblance expliqué par les variables indépendantes		3%	78%

>0.1 : non significative ; Gras : inclu dans le modèle prédictif.

De façon générale, la qualité moyenne des tiges s'améliore avec l'augmentation du DHP initial (Figure 1). Pour ce qui est de la qualité en fonction de la croissance en diamètre, les résultats obtenus sont les suivants : pour les tiges de qualité initiale A, une augmentation de la croissance en DHP change que très peu la probabilité d'obtenir les différentes classes de qualité. Pour

celles de qualité initiale B et C, l'augmentation de la croissance augmente la probabilité d'obtenir des tiges de qualité B au détriment des classes de qualité C et D. Et finalement, pour les tiges de qualité initiale D, une augmentation de la croissance améliore les chances d'obtenir des tiges de qualité C au détriment de la classe de qualité D.

3.2.3 Démonstration du modèle

Tout comme pour l'érable à sucre, on remarque que pour chacun des états initiaux, la qualité moyenne des tiges s'améliore avec l'augmentation du DHP initial (Figure 3). Les résultats pour la qualité initiale A sont moins fiables à cause du faible nombre de tiges ayant servi à créer la régression (8 tiges seulement). Aussi, la mortalité du bouleau jaune demeure constante puisqu'elle a été trouvée significative en fonction de la période seulement et que la période est laissée constante. On y remarque également que la majorité des tiges qui passent la barre des 23 cm deviennent des tiges de qualité C.

Bouleau jaune

Caractéristiques: croissance de 5cm sur une période de 10 ans

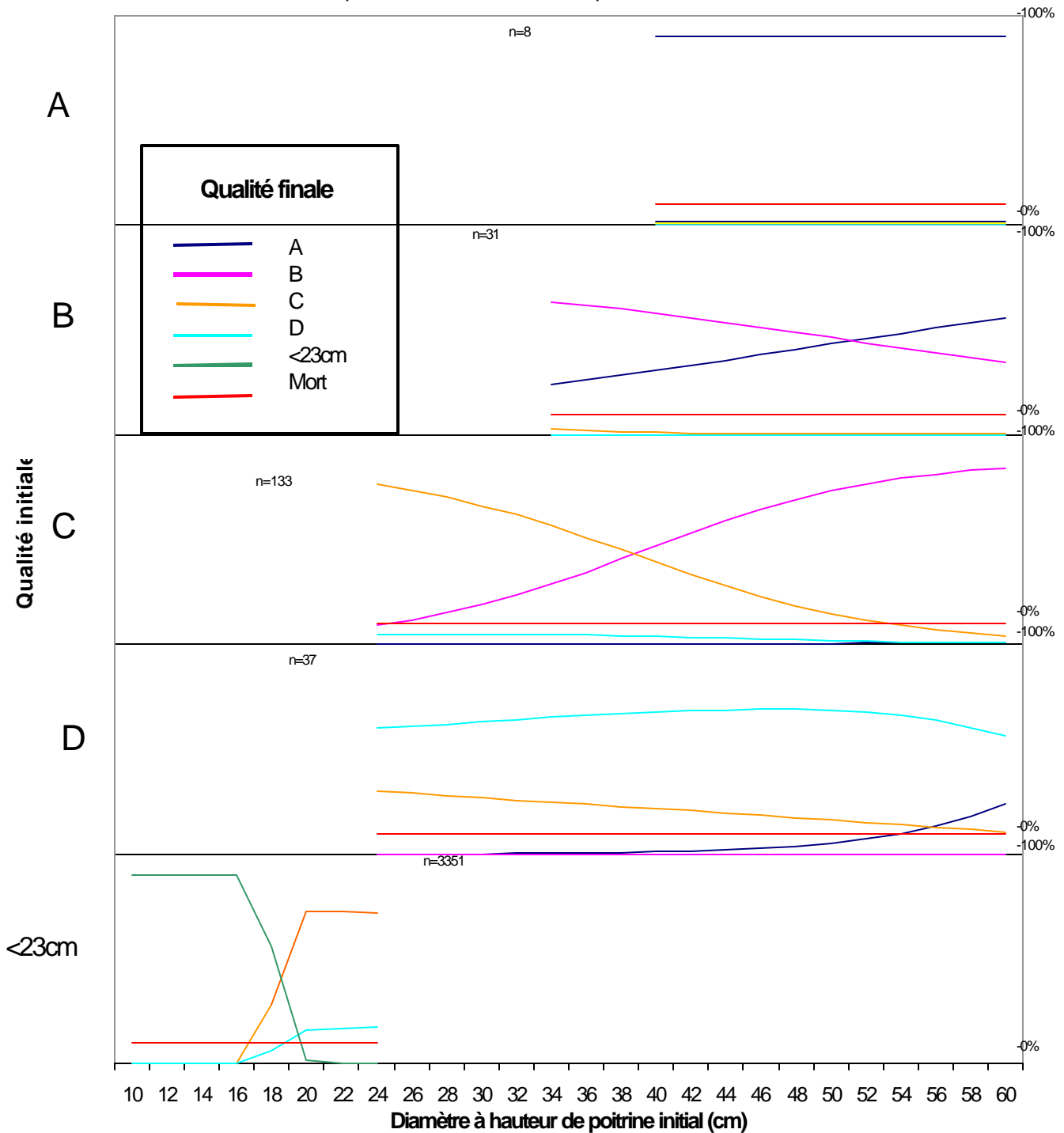


Figure 3 – Probabilité d’obtention d’une qualité finale lors de la remesure en fonction de la qualité initiale et du DHP lors de la première mesure avec une croissance et une période fixes de 5 cm sur 10 ans pour le bouleau jaune.

3.2.4 Comparaison des modèles de régression avec la matrice de transition du MRN

Pour les tiges non-classées qui évoluent vers des diamètres de 23 à 33 cm, les probabilités de passage vers la classe C et la classe D sont semblables pour les deux méthodes (Tableau 7). Cependant, des taux de passage très différents sont obtenus lorsque l'on compare les diamètres initiaux de plus de 23 cm. Par exemple, le taux de passage des tiges de 23 cm à 33 cm de qualité C vers des tiges de 33 à 39 cm de qualité B obtenu par la matrice de transition est de 54%, alors que la régression donne un taux de passage de seulement 31 %. Aussi, alors que la matrice ne permet pas aux tiges de qualité C de cette classe de diamètre de passer à une classe de qualité D, la régression en indique 4% qui suivent ce cheminement. De la même manière, la matrice de transition montre que l'ensemble des tiges de qualité D et de diamètre de 33 à 39 cm restent de qualité D alors que la régression indique 1 % de ces tiges deviennent de qualité B et 27 % de qualité C. Donc, non seulement la comparaison des taux de passage entre les deux méthodes montre des différences importantes, mais la méthode des régressions permet également de suivre le cheminement des tiges dont la qualité diminue. Cet aspect est ignoré par la matrice de transition.

3.2.5 Comparaison des modèles de régression avec Sylva II

Les tiges de qualité initiale A avaient initialement un volume de 253 mètres cubes (m^3). Le volume après une période de 20 ans pour cette classe de qualité est estimé à 354 m^3 selon Sylva II, et à 880 m^3 selon la méthode des régressions. Pour les arbres de qualité B (volume de départ était de 1190 m^3), le volume estimé par Sylva II est de 1461 m^3 alors que la méthode des régressions arrive à 902 m^3 . Le volume de la classe de qualité C après 20 ans est estimé à 4106 m^3 par Sylva II alors que la régression l'estime à 3364 m^3 . Pour le volume de qualité D après 20 ans, la différence entre les deux méthodes est moindre.

Donc, pour un même volume de bouleau jaune après 20 ans, il existe des différences importantes dans la quantité de volume prédit par classes de qualité entre les deux méthodes. Ces résultats remettent en question la précision des simulations provenant de Sylva II pour ce qui est de la qualité du bouleau jaune.

Tableau 7 – Comparaison du modèle d'évolution à la matrice de transition du Manuel d'aménagement pour le bouleau jaune

	De: À:	<23 cm		Classes de diamètre	Tiges C			Tiges D			Classes de diamètre	Tiges B				Tige C				Tiges D		
		C	D		B	C	D	B	C	D		A	B	C	D	A	B	C	D	B	C	D
		%	%		%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Matrice de transition de non-classées à [23 à 33] cm		79	21	de 23 à 33 cm	54	46	-	-	19	81	de 33 à 39 cm	56	44	-	-	-	5	95	-	-	0	100
Régressions Période 10 ans Croissance de 6 cm / période	de 19 cm à 25 cm de 19 cm à 31 cm	83	17	de 31 cm à 37 cm	31	64	4	0	30	69	de 37 cm à 43 cm	30	68	2	0	0	48	48	4	1	27	72

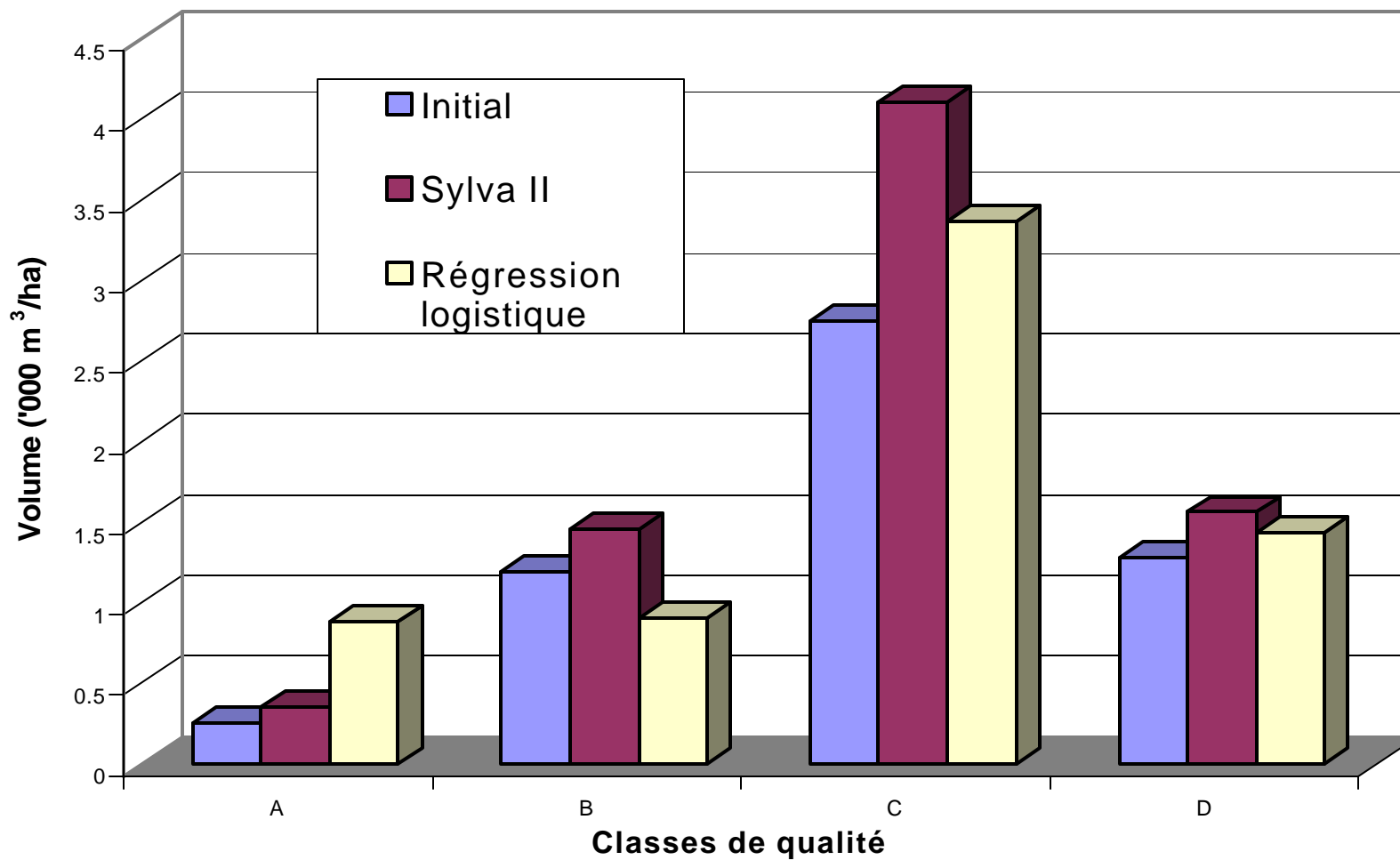


Figure 4 - Comparaison de l'estimation du volume par classes de qualité par Sylva II et la méthode de régression après 20 ans pour le bouleau jaune.

3.3 Outil de prédiction

Le modèle reconstruit à partir des résultats statistiques produits par la régression logistique est complexe. Afin de rendre conviviale l'utilisation de ce modèle, celui-ci a été incorporé à une feuille EXCEL et programmé à l'aide d'une fonction MACRO. En spécifiant comme intrant l'essence, la qualité initiale, le DHP initial, la période entre les remesures ainsi que la croissance en DHP pour la période, une probabilité d'obtenir les différents états finaux est calculée. Par exemple, la formule permettant de retrouver la probabilité qu'une tige d'érable à sucre ou de bouleau jaune soit morte ou vivante à la fin de la période s'exprime ainsi :

$$\text{Prob (mort)} = \frac{\exp(\text{B-général}) * \exp(\text{B-qualité initiale}) * \exp(\text{B-période}) * \exp(\text{B-DHP})}{\exp(\text{B-général}) * \exp(\text{B-qualité initiale}) * \exp(\text{B-période}) * \exp(\text{B-DHP}) + 1}$$

$$\text{Prob (vivant)} = \frac{1}{\exp(\text{B-général}) * \exp(\text{B-qualité initiale}) * \exp(\text{B-période}) * \exp(\text{B-DHP}) + 1}$$

Pour l'érable à sucre, le cas où la qualité initiale est C, la période de 10 ans et le DHP initial de 40 cm, la probabilité que l'arbre soit mort en fin de période est :

$$\text{Prob (mort)} = \frac{\exp(0,5947) * \exp(0,2186) * \exp(-0,0436) * \exp(0,0068)}{\exp(0,5947) * \exp(0,2186) * \exp(-0,0436) * \exp(0,0068) + 1} = 5.1 \%$$

$$\text{Prob (vivant)} = \frac{1}{\exp(0,5947) * \exp(0,2186) * \exp(-0,0436) * \exp(0,0068) + 1} = 94.9 \%$$

Les instructions relatives à l'utilisation du modèle de prédiction pour l'érable à sucre et le bouleau jaune sont incluses à l'annexe 1. Un exemple est présenté au Tableau 8.

Tableau 8 – Exemple de résultats produits par le modèle de prédiction pour l'évolution de la qualité et la mortalité réunis

Essence	Qualité initiale	DHP (mm)	Période entre les mesures (années)	Croissance en DHP pour période (mm)	État final					
					Qualité				<23cm	MORT
					A	B	C	D		
ERS	A	400	10	50	51,8%	33,5%	9,5%	0,0%	0,0%	5,1%
BOJ	A	450	10	50	90,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,9%
ERS	A	500	10	50	74,5%	19,4%	3,4%	0,0%	0,0%	2,7%
ERS	C	370	10	50	2,0%	22,6%	61,0%	9,3%	0,0%	5,2%
BOJ	C	420	10	50	0,2%	53,1%	33,4%	3,4%	0,0%	9,9%
ERS	D	520	10	50	3,4%	8,2%	14,2%	68,9%	0,0%	5,3%
BOJ	E	95	10	50	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	90,1%	9,9%
ERS	E	210	10	50	0,2%	0,2%	75,9%	16,9%	0,0%	6,8%
ERS	A	600	10	50	88,3%	9,3%	1,0%	0,0%	0,0%	1,4%
ERS	C	650	10	50	36,7%	32,9%	23,2%	6,5%	0,0%	0,8%
BOJ	E	128	10	50	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	90,1%	9,9%
ERS	A	680	10	50	94,1%	4,8%	0,4%	0,0%	0,0%	0,8%
ERS	C	356	10	50	1,6%	21,5%	62,0%	9,1%	0,0%	5,7%
BOJ	E	150	10	50	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	90,1%	9,9%
ERS	E	215	10	50	0,2%	0,2%	75,9%	17,1%	0,0%	6,5%
BOJ	B	356	10	50	25,7%	62,0%	2,3%	0,1%	0,0%	9,9%
BOJ	A	452	10	50	90,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,9%
ERS	E	114	10	50	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	87,8%	12,2%
BOJ	C	235	10	50	0,0%	8,7%	76,8%	4,6%	0,0%	9,9%
ERS	E	97	10	50	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	86,5%	13,5%

Pour l'exemple du tableau 8, une tige d'érable à sucre de qualité A, avec un diamètre de 40 cm (400mm) et une croissance de 5 cm (50mm) par période de 10 ans, aura, après 10 ans, 5,1% de probabilité d'être morte. Aussi, elle possède 51,8% de probabilité de rester de qualité A, 33,5% de devenir de qualité B et 9,5% de devenir de qualité C.

Bien évidemment, les résultats produits par le modèle sont directement fonction des données ayant servies à calculer les régressions. Aussi, bien que le modèle soit en mesure de fournir des probabilités pour une tige avec un DHP initial, une période ou une croissance de n'importe quelle valeur, il est essentiel de limiter l'utilisation de la régression à des valeurs comprises à l'intérieur de l'étendue de variation des données utilisées dans la présente étude.

4. Conclusion

Cette étude aura permis de développer une méthodologie pour étudier l'évolution de la qualité des tiges basée sur une puissante méthode statistique : la régression logistique polythétique. Cette méthode a comme avantage d'utiliser des données réelles d'évolution des tiges provenant des placettes permanentes et, quoique cette étude n'utilisait que de données provenant de l'Outaouais, la méthodologie pourrait être réutilisée ailleurs au Québec.

Le nombre limité d'arbres d'essences feuillues de gros diamètres présents dans les placettes permanentes aura été un facteur limitatif pour cette étude. En effet, cette limitation nous 1) a empêché de développer des matrices d'évolution pour l'ensemble des essences feuillues commerciales, 2) a augmenté l'incertitude au niveau des résultats obtenus, particulièrement en ce qui concerne les grosses tiges, 3) nous a empêché de vérifier à quel DHP la qualité moyenne commencerait à diminuer et la mortalité à augmenter et 3) nous a également empêché de tester différents facteurs écologiques pouvant influencer l'évolution des tiges. Une matrice d'évolution de la qualité pour les autres essences pourrait cependant être développée à partir de données provenant de d'autres régions du Québec. De plus, la méthodologie utilisée a comme avantage de permettre le transfert des résultats dans un logiciel de simulation de croissance des tiges tel JABOWA III (Botkin 1993) ou Sortie (Pacala et *al.* 1994). Également, bien qu'il soit présentement impossible de le faire, ces résultats pourraient éventuellement être intégrés à un logiciel comme Sylva II.

De manière générale, la proportion du log du ratio de vraisemblance expliquée par les variables testées est beaucoup plus importante pour la qualité que pour la mortalité. Ce résultat est en partie dû à l'impossibilité d'utiliser les variables impliquant le DHP final dans les analyses statistiques portant sur la mortalité, puisque ces mesures ne sont pas disponibles pour les arbres morts (voir section méthodologie).

Des différences importantes ont été trouvées entre les résultats obtenus à l'aide de la régression et la matrice de transition ainsi qu'avec les simulations de Sylva II. Cependant, il ne faut pas oublier que les méthodes ne sont pas aisément comparables et que des valeurs moyennes de diamètres ont été utilisées dans la méthode de régression afin de pouvoir comparer cette méthode à la matrice de transition. Aussi, la matrice de transition ne tient pas compte directement du

facteur temps, alors que la période est un intrant dans les calculs faits avec la régression. Bien qu'il soit difficile d'évaluer l'ampleur des ces différences ainsi que leur impact sur les prévisions de volume de bois feuillu au Québec pour les prochaines décennies, le manque de connaissance de l'évolution de la qualité des tiges est flagrant. Et pour le bois feuillu, une mauvaise évaluation des qualités disponibles augmente le risque de ne pas respecter le principe de durabilité (ou rendement soutenu).

Les travaux entrepris par l'IQAFF dans cette étude permettront éventuellement d'effectuer des calculs de la possibilité qui refléteront de façon plus réaliste la disponibilité future du volume feuillu de qualité au niveau régionale. Une meilleure connaissance de l'évolution de la qualité des tiges par essence pourrait également avoir des impacts positifs indirects, par exemple en permettant d'adapter la période de rotation au besoin d'intervenir en fonction de l'évolution des tiges d'un peuplement.

Cette étude démontre qu'il existe une très grande incertitude quant à l'évolution de la qualité établie dans les différents calculs de possibilité effectués dans les nombreuses aires communes de la région et même de la province. Il est pour le moment impossible de spécifier si ces calculs de possibilité ont sous-estimé ou surestimé la production de bois d'œuvre. Mais cette étude démontre que nous n'avons aucune raison de croire que ces calculs de possibilité sont justes !

Références

- Botkin, D. 1993. Forests dynamics. An ecological model. Oxford, Oxford University Press. 309p.
- Hammons, E. J. et H. G. W. Marshall. 1994. A world review of strategic silvicultural planning processes that have a potentiel for application to British Columbia. Canada-British Columbia partnership agreement on forest resource development : FRDA II. ISSN 0835-0752, FRDA Report 223. 35p.
- Hendricks, J. 1998. MLOGIST MACRO version 1.2.
- Nolet P., F.Doyon, M. Doyon, J. Nolet, R. Pouliot. 2000. Analyse économique de la compatibilité des activités forestières et acéricoles sur territoire public. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. 30 pages.
- Pacala, S. W., C. D. Canham, J. A. Silander et R. K. Kobe. 1994. Sapling growth as a function of resources in a north temperate forest. Canadian Journal of Forest Research 24: 2172-2183.
- Zeide B. 2001. Thinning and growth : a full turn around. Journal of Forestry. pp. 20-25.
- Québec. 1998. Manuel d'aménagement forestier. Documents d'annexes.
- SPSS Inc. 1997. Version 8.0 for Windows

Annexe 1 – Directives d'utilisation de la Macro Excel

Essences

Les tiges de bouleau jaune et d'érable à sucre sont les seules essences dont la qualité peut être prédite par une macro. Le manque de données disponibles provenant des placettes permanentes explique cette limitation. L'abréviation BOJ doit être utilisée pour le bouleau jaune et ERS pour l'érable à sucre. L'abréviation doit être inscrite en lettres majuscules dans la colonne B.

Qualité initiale

La qualité initiale des tiges doit être inscrite en majuscule dans la colonne C. La lettre E doit être utilisée pour désigner les tiges de moins de 23 cm.

Diamètre initial et période entre les mesures

Le diamètre initial doit être inscrit dans la colonne D. Les diamètres sont en millimètres. Seuls des diamètres de plus de 90mm doivent être utilisés. La période entre les mesures doit être inscrite dans la colonne E.

Croissance

La croissance en diamètre doit être inscrite dans la colonne F. Cette valeur est la croissance en diamètre évaluée en millimètres.

État final

A :	Classe de qualité A
B :	Classe de qualité B
C :	Classe de qualité C
D :	Classe de qualité D
<23cm :	Diamètre à hauteur de poitrine plus petit que 23 cm
Mort :	Arbres morts

Activation de la macro

Autant de données peuvent être entrées que l'on le désire. Ensuite, il suffit d'appuyer simultanément sur les touches 'CTRL' et 'A' pour voir les résultats mis à jour.

Il est important de garder en tête que la précision du modèle dépend directement du nombre de tiges ayant servi à construire le modèle.

Annexe 2 – Matrice de transition du Manuel d'aménagement (Tableau 3)**Tableau 3**

Évolution des classes de qualité des tiges pour les essences feuillues du Québec

Essences feuillues du Québec		Évolution des classes de qualité pour chaque classe de DHP retenue (%) ¹											
Nom vernaculaire	Code	23,1 à 33,0 cm		33,1 à 39,0 cm				39,1 cm et plus					
		Tiges C	Tiges D	Tiges C		Tiges D		Tiges B		Tiges C		Tiges D	
				vers B	reste C	vers C	reste D	vers A	reste B	vers B	reste C	vers C	reste D
Noyer, Caryers, Ormes, Cerisier	AUF	84	16	39*	61*	13	87	18	82	0	100	0	100
Bouleau à feuilles de peuplier	BOG	93	7	40	60	5	95	63	37	15	85	0	100
Bouleau à papier	BOP	78	22	51	49	5	95	63	37	15	85	0	100
Bouleau jaune	BOJ	79	21	54	46	19	81	56	44	5	95	0	100
Chênes	CHN	90	10	65	35	20	80	67	33	3	97	0	100
Érables argenté, noir, rouge	ERO	64	36	39	61	19	81	84	16	37	63	0	100
Érable à sucre	ERS	77 ₂₄	23 ₁₆	55 ₃₃	45 ₅₁	22 ₂₃	78 ₆₁	57 ₄	43 ₉₁	25 ₅₂	75 ₄₀	0 ₁₈	100 ₆
Frênes d'Amérique, de Pennsylvanie	FRE	94	6	97	3	0	100	100	0	11	89	0	100
Frêne noir	FRN	88	12	66	34	0	100	83	17	0	100	0	100
Hêtre à grandes feuilles	HEG	47	53	23	77	8	92	45	55	8	92	0	100
Ostryer de Virginie	OSV	47	53	23	77	8	92	45	55	8	92	0	100
Peuplier baumier	PEB	82	18	65	35	22	78	47	53	0	100	0	100
Peupliers hybrides	PEH	73	27	53	47	30	70	100	0	31	69	0	100
Peuplier faux-tremble	PET	77	23	53	47	13	87	61	39	5	95	0	100
Peupliers à grandes dents, deltoïdes	PEU	73	27	53	47	30	70	100	0	31	69	0	100
Tilleul d'Amérique	TIL	93	7	88	12	86	14	71	29	0	100	0	100

¹ L'évolution de la qualité correspond à l'état actuel de la forêt pour l'ensemble du Québec. La grille de classification des tiges établie par le Service des inventaires forestiers pour le deuxième programme décennal d'inventaire a été utilisée.

* À titre d'exemple, dans la classe de diamètre de 23,1 à 33,0 cm, il y a 84 % des tiges qui sont actuellement classées dans la qualité C. Lorsque les tiges atteindront la classe de diamètre 33,1 à 39,0 cm, 39 % des tiges évolueront vers la qualité B et le reste continuera à évoluer dans la même classe de qualité.

Annexe 3 – Manuel d'aménagement forestier : les taux de passage (Figure 2)

