

Utilité sylvicole de la modélisation fonctionnelle: Application aux érablières

F. Raulier ¹, C.-H. Ung ¹ et J. Bégin ²

¹ Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, 1055, Route du PEPS
Sainte-Foy, QC G1V 4C7

² Faculté de foresterie et géomatique, Université Laval, Ste-Foy, Québec, G1K 7P4

Résumé

Pourquoi modéliser la croissance forestière ? Pourquoi utiliser une approche fonctionnelle ? Quelle peut être l'utilité de la modélisation au moment de prescrire une intervention dans une érablière ? Ces questions sont abordées en présentant un modèle de croissance d'arbre basé sur le développement du houppier et calibré pour les érablières du Témiscouata (Bas-Saint-Laurent).

Introduction

Qu'est-ce que la modélisation ?

Un modèle se définit comme "ce qui sert d'objet d'imitation pour faire ou reproduire quelque chose" (Petit Robert 1989). Un modèle est donc une forme de représentation de la réalité et dans les sciences qui traitent de la vie comme la biologie ou l'écologie, c'est une forme de représentation imparfaite et limitée par notre degré actuel de connaissances.

Nous parlerons seulement des modèles de croissance forestière. D'une façon générale, les modèles de croissance sont des outils d'aide à la décision. Ils servent à simuler la croissance d'un objet élémentaire, qui peut être un certain type de forêt, un peuplement ou un arbre. Pour pouvoir les utiliser, il faut donc leur fournir des données de façon à caractériser l'objet élémentaire ainsi que les conditions dans lesquelles il grandit. Le modèle fournit en sortie les mêmes caractéristiques, mais projetées à la date voulue par l'utilisateur.

Pourquoi modéliser la croissance forestière ? Quelle est son utilité ?

Les modèles de croissance sont utilisés dans le cadre de la planification forestière, à trois échelles: la région, la forêt et le peuplement. Puisque les objectifs changent d'une échelle à l'autre, les modèles utilisés seront aussi différents et les données nécessaires à leur utilisation le seront également.

A l'échelle de la région, les modèles de croissance servent au calcul de la possibilité annuelle de coupe (Barette et al. 1996) ou aident à l'actualisation d'un réseau d'inventaire (Ung et al. 1997). A l'échelle de la forêt, ce sont des outils stratégiques qui aident à définir les objectifs d'aménagement, lors de l'élaboration du plan d'aménagement. L'exemple typique est celui de la table de production ou celle des taux d'accroissement du manuel d'aménagement forestier (Ressources naturelles du Québec 1992). A l'échelle du peuplement, par contre, les modèles de croissance sont des outils tactiques et aident à définir les interventions sylvicoles pour exécuter localement les plans de la stratégie d'aménagement choisie (Comment intervenir

dans le peuplement pour aboutir aux objectifs ? A quelle fréquence ? etc.). Seuls les modèles tactiques sont abordés ici.

Il est possible de classer différemment les modèles de croissance (e.g. Vanclay 1994) mais la distinction entre modèles de croissance stratégiques et tactiques (Duplat 1993) est importante d'un point de vue pratique, car elle conditionne la quantité d'information nécessaire pour pouvoir les utiliser:

- Les modèles stratégiques correspondent déjà à un type de peuplement donné soumis à une sylviculture bien définie. Ce sont pour la plupart des modèles qui travaillent à l'échelle du peuplement. Ils reflètent les peuplements et la sylviculture moyenne en cours dans leur région d'application. Un bon exemple pour l'érable à sucre est celui des tables de Carpentier (1995) pour les érablières pures et équiennes;
- Les modèles tactiques aident à choisir un type de sylviculture et peuvent en principe s'utiliser pour n'importe quel type de peuplement (tout venant). Ce sont des modèles qui travaillent à l'échelle de l'arbre. Les modèles tactiques sont donc définis à une échelle plus fine et requièrent plus de données. Nous y reviendrons plus loin.

Pourquoi parler de modélisation fonctionnelle ?

C'est en fait pour se distinguer des modèles empiriques. Les modèles empiriques sont descriptifs et tentent de reproduire le constat des effets d'une sylviculture observée ou de son absence sur la croissance en volume marchand. Ils sont élaborés en recherchant les meilleures relations entre les accroissements en hauteur, en surface terrière ou en volume de la tige et d'autres données récoltées qui peuvent servir à les expliquer (âge, diamètre, proportion de houppier, densité, etc.). Ce sont des modèles pratiques, efficaces, "vite faits et bien faits". Toutefois, leur utilité se limite à la région dans laquelle les données ont été récoltées, pour les peuplements qui subissent la sylviculture pratiquée dans la région de récolte des données.

Les modèles fonctionnels, quant à eux, sont explicatifs et sont axés sur une description au moins sommaire des processus physiologiques affectant la croissance. Ils tentent donc d'intégrer des connaissances physiologiques et écologiques. Mais attention, cette intégration est simplifiée pour atteindre un équilibre entre la complexité de la description et leur simplicité d'emploi (notamment au moment des mesures nécessaires et du contrôle de l'erreur). Les modèles fonctionnels restent donc en partie empiriques mais reposent sur les connaissances actuelles de l'écophysiologie forestière.

Les modèles empiriques deviennent inutilisables au moment de redéfinir une sylviculture permettant d'aboutir à des objectifs d'aménagement particuliers ou dans une situation de remise en question des pratiques sylvicoles et de changement des normes. Puisque les modèles fonctionnels sont basés sur une certaine compréhension de la croissance, on peut s'attendre à ce que leurs prévisions soient plus robustes et que leur champs d'application dépasse celui dans lequel ils ont été calibrés (Burkhart 1997).

Qui est-ce que ça intéresse ?

L'utilisateur potentiel d'un modèle de croissance tactique et fonctionnel doit avoir le temps et les moyens d'en apprécier l'utilité. Ceci exclut le petit propriétaire forestier mais pourra très

certainement intéresser les ingénieurs d'un groupement forestier ou d'une compagnie d'une certaine envergure.

En pratique et au Québec, leur utilisation n'est pas rentrée dans les moeurs. Il est bien possible que leurs élaborateurs n'aient pas mis suffisamment d'efforts pour en assurer la diffusion et que les utilisateurs potentiels n'aient pas encore pu apprécier leur utilité réelle. Pourtant, ces modèles en ont une. C'est l'objectif de la présente présentation.

Un exemple de modèle tactique et fonctionnel

A peu près 77% de la superficie des peuplements marchands du Groupement Forestier de l'Est du Lac Témiscouata (Bas-Saint-Laurent) sont occupés par des peuplements feuillus et mélangés à dominance feuillue. Au cours des 20 dernières années, plus de 8,000 hectares de travaux sylvicoles ont été réalisés. Alors qu'il existe une demande importante pour des billes de feuillus durs de qualité sciage et que la dimension et la qualité actuelles des tiges ne permet d'y répondre, le Groupement dispose de peu de connaissances sur l'effet réel des traitements sylvicoles, sur l'évolution et le rendement des peuplements, et ce de façon plus criante pour leur éducation (Giguère 1993). De telles questions peuvent être attaquées par la modélisation de la croissance (Raulier 1996).

La grande majorité de ces peuplements sont des érablières à hêtre et à bouleau jaune qui appartiennent à l'étage inférieur de la sapinière à bouleau jaune (Saucier et Grondin 1996). A la fois du fait de leur caractère marginal, puisque l'érable à sucre y atteint sa limite nord de dispersion géographique (Saucier et Grondin 1996), et également du fait de leur historique de coupe (Rochefort 1981), leur structure y est plutôt variable: leur distribution des diamètres est caractéristique d'un peuplement tantôt équiennne, tantôt inéquiennne, tantôt bi-étagé, etc. L'absence de structure de peuplement bien définie et le caractère naturellement mélangé justifiait dès le départ une modélisation de la croissance de l'arbre, et non pas du peuplement. De plus, seule une approche au niveau de l'arbre permet d'aborder de façon relativement fine l'impact des interventions sylvicoles (Burkhart 1987).

Une approche entièrement basée sur le houppier

Le modèle de croissance présenté ici est entièrement basé sur le développement du houppier. Cette approche, quoique très exigeante en quantité de données, offre plusieurs avantages importants:

- a. Le houppier supporte l'appareil photosynthétique de l'arbre. Son développement est limité d'une part par la présence physique des arbres voisins et aussi par la quantité de lumière mise à sa disposition. Il est donc plus facile d'analyser l'influence de la présence d'espèces et d'étages multiples;
- b. La mise en lumière est l'outil principal du gestionnaire lorsqu'il intervient dans ses peuplements;
- c. La dynamique de croissance et de remontée du houppier régit non seulement l'importance de l'allocation de la production totale à la tige mais aussi sa qualité (épaisseur des cernes, nodosité du bois).

Il est important de détailler un peu la morphologie du houppier (Fig. 1). A première vue, en forêt, le houppier d'un érable à sucre semble plutôt complexe, mais de façon simplifiée, trois types d'axes peuvent se distinguer: les axes structurants, intermédiaires et feuillés (Cluzeau 1992). Les axes structurants constituent la charpente du houppier et ce sont eux qui décrivent sa forme. Les axes intermédiaires remplissent son espace intérieur et supportent les axes feuillés. Seuls les axes structurants sont considérés ici.

Essentiellement trois processus contrôlent la forme du houppier: le contrôle apical, la gêne des couronnes et l'élagage naturel. L'élongation des branches décrivant la charpente du houppier est contrôlée par la dominance apicale (processus hormonal) et par le contrôle apical (avantage compétitif) exercés par l'axe principal (Leakey 1985). La présence physique des houppiers voisins limite ensuite par frottement mécanique leur développement. La forte diminution lumineuse en-dessous de la zone de contact des houppiers affaiblit la vigueur de ces branches qui finissent par s'élaguer. Le houppier peut donc se diviser en une partie supérieure exposée à la lumière directe du soleil (houppier de lumière) et une partie inférieure en contact partiel avec les houppiers voisins (houppier d'ombre - Burger 1939). C'est à la base du houppier de lumière que s'observe le rayon maximal du houppier (Fig. 1). Par ailleurs, cette même base correspond à l'extrémité supérieure de la zone de contact des couronnes.

Éléments principaux du modèle de croissance

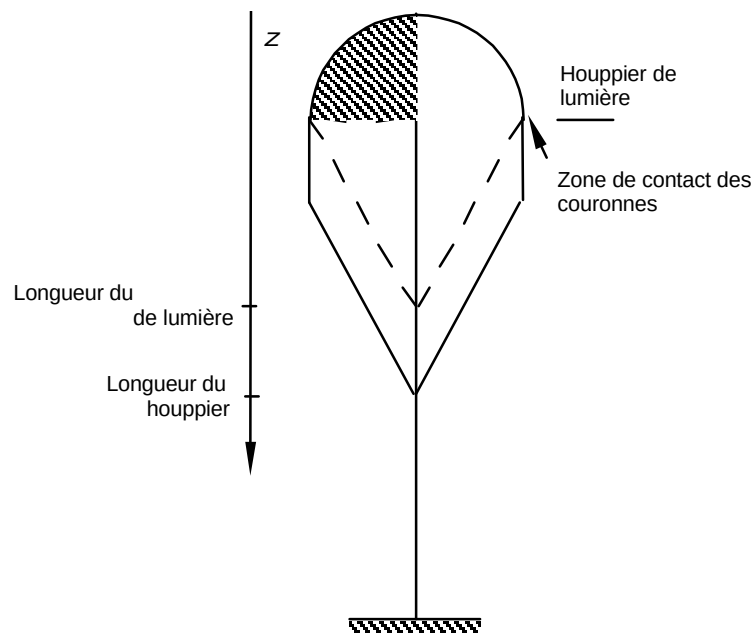


Figure 1: Morphologie sommaire du houppier

La productivité nette aérienne d'un arbre représente l'accroissement en biomasse de ses parties aériennes. Sa prise en compte nécessite une description au moins sommaire du cycle du carbone dans l'arbre (efficacité foliaire, allocation et sénescence). En assumant la constance au sein d'un peuplement forestier de divers facteurs environnementaux affectant la croissance (climat + éléments nutritifs + régime hydrique = fertilité stationnelle), trois variables sont essentielles pour caractériser la productivité aérienne nette d'un arbre: la disponibilité en lumière, la biomasse foliaire (photosynthèse nette) et le volume d'aubier de l'arbre (respiration aérienne). Biomasse foliaire et volume d'aubier ne sont pas mesurés en pratique. Il fallait donc établir un pont entre ces variables et des variables fortement corrélées avec celles mesurées en inventaire. La hauteur totale, le rayon et les positions de la base des houppiers d'ombre et de lumière sont quatre variables qui décrivent le houppier et qui permettent justement d'estimer de manière satisfaisante la biomasse foliaire et le volume d'aubier des branches et de la tige (Raulier 1997).

L'intégration du profil du houppier autour de l'axe vertical de l'arbre décrit l'enveloppe du houppier, dont la surface est en étroite corrélation avec la surface foliaire (Fig. 2, Raulier et Ung 1997a). Le lien entre le profil du houppier et le profil de l'aubier se situe dans la description de la relation entre la surface foliaire et la surface d'aubier, du profil vertical de la surface foliaire dans le houppier (Raulier et al. 1997) et sous le houppier, des considérations de résistance au vent.

La productivité nette aérienne représente la biomasse aérienne annuellement produite par l'arbre. Elle peut se décrire par l'interaction de deux processus antagonistes, la photosynthèse (biomasse foliaire) et la respiration (volume d'aubier). Dans le modèle de croissance présenté, son efficacité dépend à la fois des conditions stationnelles (indice de qualité de station) et de la lumière arrivant au feuillage de l'arbre (surface foliaire des arbres voisins) (Raulier et Ung 1997b).

Calibration et limites d'application

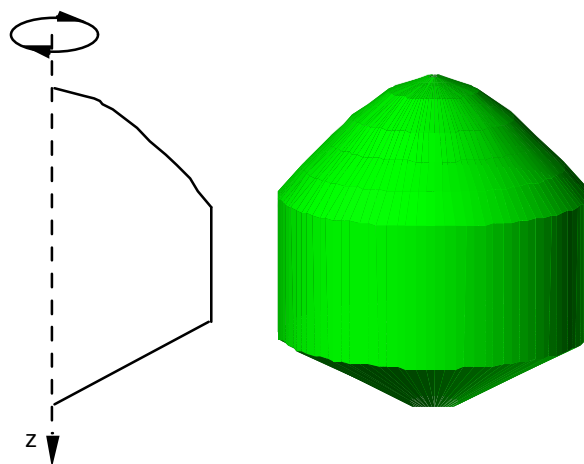


Figure 2: L'intégration du profil du houppier autour de l'axe vertical de l'arbre fournit la surface de l'enveloppe, qui est fortement liée à la surface foliaire du houppier.

Pour que le modèle de croissance puisse être utilisé, il faut le calibrer. L'information nécessaire à la calibration du modèle dépassait largement celle déjà disponible avec les données existantes dans le comté de Témiscouata. Quinze placettes temporaires avec abattage d'arbres ont donc été installées. Celles-ci ont été localisées aléatoirement dans les forêts publiques du territoire, à partir de l'inventaire du ministère des Ressources naturelles du Québec (Fig. 3). Il est important de noter que ces placettes ne subissent pas actuellement de programme d'éclaircie. Ces placettes sont réparties de façon quasi égale dans deux types communs d'érablières, l'érablière à bouleau jaune et celle à bouleau jaune et à hêtre. Elles reprennent également le spectre des âges et des diamètres rencontrés dans la région (5 gaulis, 5 perchis, 5 futaies) (Tableau 1).

Il est important de bien préciser les limites d'application du modèle à ne pas dépasser lors de son utilisation. Tout d'abord, le modèle a seulement été calibré pour l'érable à sucre, de façon à concentrer les efforts de la calibration pour caractériser sa croissance aux dépens de celle des autres essences présentes dans les érablières. Bien qu'il soit potentiellement destiné à être utilisé dans des peuplements mélangés, son utilisation reste encore conditionnée à sa calibration pour les autres essences des érablières du Témiscouata.

Tableau 1. Caractéristiques moyennes des érables à sucre échantillonnés.

	Moyenne	Amplitude
Nombre de peuplements échantillonnés	15	
Nombre d'arbres échantillonnés	115	
Age à 1.3 m (ans)	39	8 - 130
Diamètre à 1.3 m (cm)	10.6	1.3 - 41.8
Hauteur totale (m)	11.9	2.9 - 20.5
Proportion de houppier (%)	51	16 - 80
Hauteur relative (m m ⁻¹)	0.76	0.17 - 1.08
Indice de qualité de station (m à 50 ans à 1.3 m) *	16.9	13.3 - 20.4

* Carmean et al. (1981).

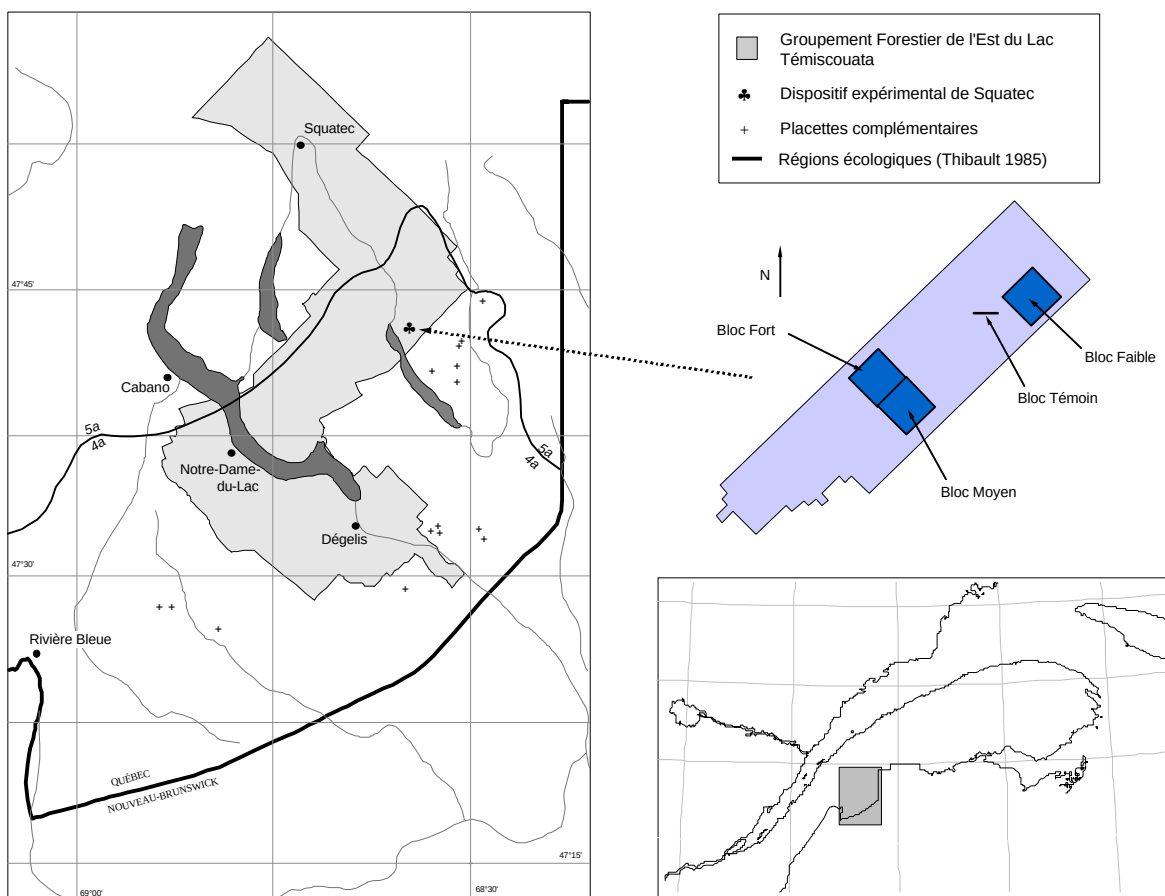


Figure 3: Localisation des placettes temporaires utilisées pour la calibration ainsi que du dispositif expérimental de Squatec.

Ensuite, aucune interaction entre la biomasse foliaire et la biomasse d'aubier n'a pu être détectée avec les données de calibration. Cette absence d'interaction empêche d'envisager la mortalité suite à la compétition ainsi que le phénomène de ralentissement de croissance normalement observable chez les arbres de grande taille. Deux raisons peuvent l'expliquer. En premier lieu, les érablières du Témiscouata sont jeunes en majorité, par leur historique de coupe: 95% des érables échantillonnés avaient moins de 25 cm au dhp. En second lieu, cette absence d'interaction peut s'observer lorsque le régime des températures est uniforme dans la région de calibration, ce qui est le cas pour le comté de Témiscouata (Hank Margolis, comm. pers., septembre 97). Ceci signifie que le modèle actuellement calibré risque de se comporter de façon inadéquate dans des peuplements pour lesquels le dhp moyen dépasse 25 cm et à long terme, surtout pour des peuplements de forte densité, par l'absence de considération de la mortalité inhérente à la compétition (Raulier 1997).

Quelles sont les données nécessaires pour l'utiliser ?

Le modèle requiert la prise de données qui sont rarement mesurées en pratique: il s'agit de la hauteur totale, du rayon et de la longueur du houppier. De plus, l'obstruction physique

entre les houppiers y joue un rôle central et la position cartographique des arbres est requise. Il faut donc être réellement motivé pour l'utiliser.

Peut-on avoir confiance dans les résultats des simulations ?

En fait, il faut toujours rester prudent avec les résultats fournis par un modèle de croissance et le tester jusqu'à ce qu'il soit mis à défaut. De cette façon, ses limites d'utilisation seront correctement caractérisées.

Le modèle de croissance a été évalué de nombreuses façons. En premier lieu, certaines limites ont déjà été définies dans les points précédents, du fait du type d'érablière rencontré au Témiscouata: éviter les peuplements à trop forte densité (mortalité naturelle), ne pas dépasser les 25 cm de dhp moyen et aussi se contenter pour l'instant d'érablières pures ou presque, quelle que soit leur structure.

En second lieu, le modèle a été calibré en respectant rigoureusement les conditions d'application des méthodes de régression, ce qui permet de tester correctement la signification statistique des paramètres, de calculer leur intervalle de confiance et de tester l'absence de biais des équations faisant partie du modèle (Raulier 1997). De plus, une démarche fonctionnelle permet de connaître *a priori* la valeur des paramètres et la discussion de leur sens, de leur grandeur et de leur signification représente une autre évaluation (Oderwald et Hans 1993), ce qui a été effectué pour les équations principales du modèle (Raulier 1997).

En troisième lieu, le choix des placettes ayant servi à la calibration du modèle a été fait en respectant les règles d'application de l'échantillonnage statistique. Ce choix assure au moins partiellement la représentativité dans l'échantillon des conditions de croissance de l'érable à sucre dans le comté de Témiscouata. Il s'agit évidemment d'un critère important d'évaluation (Vanclay 1994).

Un autre type d'évaluation consiste à vérifier si une analyse du "comportement" du modèle permet d'aboutir à des hypothèses reconnues en productivité forestière mais qui n'ont pas été utilisées lors de son élaboration (Oderwald et Hans 1993). Le modèle de croissance se comporte de façon tout à fait normale par rapport aux résultats publiés dans la littérature quant à la répartition de la biomasse aérienne entre le feuillage, les branches et le tronc, quant à l'allocation de la productivité nette aérienne aux mêmes compartiments et quant à l'évolution normale de la surface foliaire dans un peuplement fermé (Raulier 1997).

Finalement, le modèle ne contient aucune hypothèse *a priori* quant à la réaction des arbres à l'éclaircie. Une analyse de sensibilité du modèle a montré que la réaction immédiate à l'éclaircie y est avant tout expliquée par une augmentation de la masse de feuillage par unité de surface foliaire pour les arbres dominants et codominants (Raulier 1997). Une telle réaction est biologiquement plausible. La masse de feuillage par unité de surface foliaire dépend des conditions lumineuses observées durant le développement du feuillage (Goulet et Bellefleur 1986, St-Jacques et al. 1991). Cette dernière peut donc être directement altérée lorsque les conditions d'illumination sont changées par une éclaircie (Pothier et Margolis 1991).

Dispositif d'éclaircie de Squatec

Toutes les évaluations précédentes sont importantes à réaliser. Il n'en reste pas moins qu'une comparaison directe des résultats d'une simulation avec ceux observés sur le terrain reste le test de validation le plus convaincant.

Le modèle a donc été partiellement validé avec les données de quatre blocs d'éclaircie situés dans la même région d'étude. Faisant l'objet d'une entente entre le Service canadien de forêts et le Groupement Forestier de l'Est du Lac Témiscouata, le dispositif expérimental de Squatec (47°43'N 68°34'O) est une jeune futaie issue d'une coupe totale effectuée à la fin des années 30. Elle est essentiellement constituée d'érable à sucre de taille plus petite que celle des quelques hêtres et bouleaux jaunes rémanents.

Une éclaircie forte par le bas y a été pratiquée en 1987. Celle-ci a éliminé l'étage dominé du peuplement ainsi que la majorité des rémanents du peuplement antérieur. L'intensité de l'éclaircie a été différente pour quatre blocs de 2500 m² du dispositif (Fig. 3). Outre un bloc Témoin laissé intact, le prélèvement s'est élevé à 40% de la surface terrière marchande dans le bloc Faible, 50% dans le bloc Moyen et 60% dans le bloc Fort. Un effort soutenu de mesure a été réalisé dans ce dispositif. On dispose à la fois de la position cartographique des arbres, de la projection des houppiers, de la hauteur à la base du houppier de lumière, des hauteurs totales et des diamètres à 1,3 m.

Vu l'absence de répétition des traitements dans le dispositif, seule une appréciation visuelle peut être faite au niveau du peuplement. La Figure 4 ne montre aucune différence appréciable entre la surface terrière observée et prédite. Il faut souligner la légère différence entre les valeurs observées et prédites dans le bloc témoin. Cette différence ne pourra que s'accroître avec le temps. En effet, une mortalité relativement importante a été observée dans le bloc alors que celle-ci n'est pas prise en compte par le modèle de croissance.

Au niveau des arbres individuels, une comparaison a été effectuée pour les accroissements observés et prédits en surface terrière, hauteur totale et rayon moyen du houppier entre 1988 et 1996. Le Tableau 2 montre qu'à l'exception de l'accroissement en hauteur pour le bloc Témoin, aucun biais n'a en moyenne été mis en évidence dans la prédiction des trois accroissements (Raulier 1997).

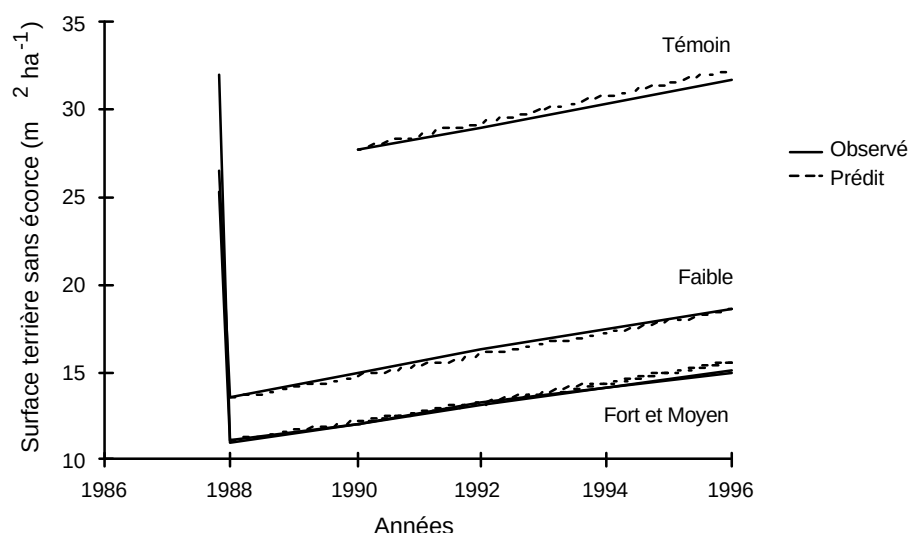


Figure 4: Evolution de la surface terrière sans écorce dans les 4 blocs du dispositif

Tableau 2. Comparaison entre les accroissements observés et prédits en 1996 dans les quatre blocs du dispositif d'éclaircie de Squatec. Nombre d'observations (n) et biais moyens. i_g , i_H and i_R correspondent aux accroissements en surface terrière, hauteur et rayon moyen quadratique du houppier ($\text{cm}^2 \text{an}^{-1}$ and m an^{-1}).

Bloc	n	Biais moyen		
		i_g	i_H	i_R
Fort	104	0.48	-0.05	0.01
Moyen	120	0.44	-0.00	0.01
Faible	138	-0.58	0.03	0.03
Témoin	49	-0.51	-0.11 *	-0.01

* Significatif au seuil de probabilité 0.0042.

Une telle validation montre le potentiel énorme de l'approche utilisée. Une modélisation consciencieuse a permis de fournir des résultats comparables à ceux d'un dispositif d'éclaircie d'une dizaine d'années, à un coût bien sûr nettement inférieur et à court terme. Rappelons en effet que la calibration du modèle a été faite dans des peuplements ne subissant pas de programme d'éclaircie. Un tel résultat permet de justifier l'effort à investir pour mesurer des données à la fois sur la position spatiale des arbres dans le peuplement et sur les caractéristiques du houppier.

Un exemple d'application: les érablières du Témiscouata et la production de bois

Le fait de considérer la productivité nette aérienne permet d'aborder le problème de son allocation entre la tige, les branches et le feuillage. D'une telle façon, l'effet d'une intervention sylvicole peut non seulement se juger en fonction de l'augmentation de la productivité de l'arbre, mais aussi en fonction d'un indice de récolte défini comme étant la proportion de biomasse aérienne située dans la tige.



Figure 5: Evolution de la répartition de la biomasse aérienne (a) et de la productivité nette aérienne (b) en fonction de la proportion de houppier

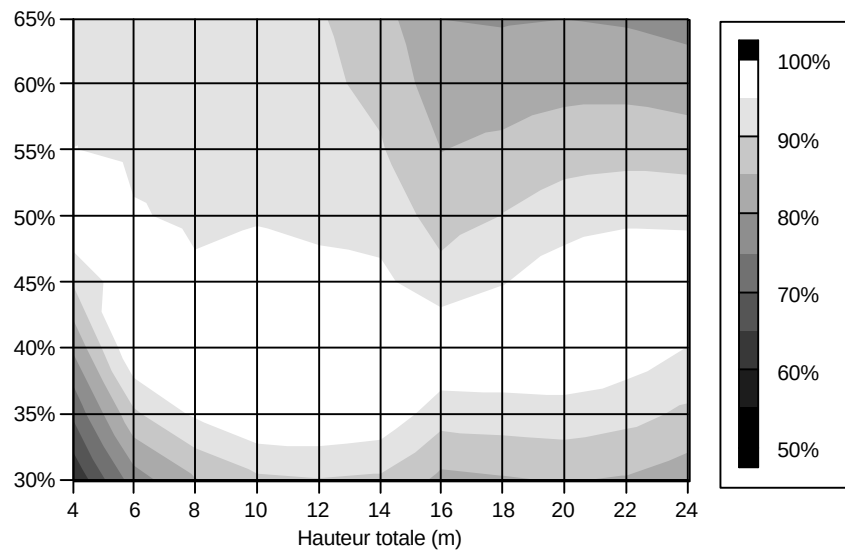


Figure 6: Existence d'un maximum de productivité à l'hectare alloué à la tige, en fonction de la proportion de houppier.

La répartition de la biomasse et l'allocation de la productivité nette aérienne sont particulièrement sensibles à la proportion de houppier (Fig. 5). Une augmentation de l'indice de récolte va de pair avec une plus faible proportion de biomasse dans les branches. Un plus petit houppier, relativement à la hauteur totale de l'arbre, aura également l'avantage de réduire le défilement de la tige et donc d'augmenter le rendement en sciage. La proportion de houppier dépend de la longueur du houppier qui résulte de l'élagage naturel, sur lequel l'éclaircie a un impact négatif.

Bien qu'un petit houppier augmente l'indice de récolte, il est également le reflet d'une productivité plus faible (moins de biomasse foliaire). Il est donc possible de rechercher un optimum entre un indice de récolte maximal et une productivité maximale du peuplement (Fig. 6). La situation présentée à la Figure 6 correspond à celle qui devrait s'observer dans des conditions moyennes de fertilité au Témiscouata (Tableau 1), pour un peuplement fermé, c'est-à-dire dans lequel les cimes des arbres se touchent entre elles. Dans ces conditions, cet optimum se situe entre 40 et 45% de proportion de houppier, dépendant de la hauteur totale des arbres.

Il faut remarquer que les peuplements échantillonnés pour le calibrage du modèle sont plutôt proches de cet optimum, puisque la proportion moyenne du houppier des arbres dominants et codominants est d'à peu près 50% (Tableau 1).

Perspectives et conclusions

Un modèle tactique de croissance forestière aide le gestionnaire à définir les interventions sylvicoles pour exécuter localement les plans de la stratégie d'aménagement qu'il s'est fixé. Une modélisation fonctionnelle s'axe vers la description des processus affectant la croissance. De cette façon, de tels modèles peuvent potentiellement être utilisés en dehors des situations qui ont été observées avec les données qui ont servi à le calibrer.

Un modèle de croissance fonctionnel a été élaboré pour les érablières du Témiscouata, entièrement axé sur le développement du houppier et en considérant le cycle aérien annuel du carbone dans l'arbre. Les variables fonctionnelles (biomasses d'aubier de la tige et des branches, biomasse foliaire) ont été exprimées en fonction de variables plus aisément mesurables sur le terrain (longueur et largeur du houppier, hauteur totale, position cartographique des arbres). Il est important de noter que le modèle de croissance a été calibré dans des placettes ne subissant pas de programmes d'éclaircie alors que les résultats de celui-ci ont été comparés à ceux d'un dispositif d'éclaircie, pour une gamme très vaste d'intensité d'intervention (de 0 à 60% de prélèvement). Ces résultats encouragent donc la poursuite de l'approche fonctionnelle.

Face à ces résultats, il faut donc se poser la question suivante: l'utilisation d'un modèle de croissance fonctionnel peut-elle pallier l'absence de dispositifs d'éclaircie ? Vaut-il la peine d'investir dans la calibration d'un modèle de croissance et de faire confiance dans ses résultats? Au gestionnaire d'y répondre.

L'installation de dispositifs d'éclaircie est longue et ardue, ceux-ci nécessitent un investissement à long terme alors qu'actuellement nous sommes en pleine phase de remise en question des pratiques sylvicoles (Canadian Standards Association 1997). Puisque le champs

de vision des modèles fonctionnels dépasse largement le cadre de la productivité en volume marchand (c'est impossible de faire autrement !), ceux-ci peuvent directement servir de source d'information pour d'autres critères de gestion. Cette approche fournit la biomasse sèche foliaire (litière), la biomasse aérienne, la biomasse ligneuse perdue par élagage. Le degré d'ouverture du couvert est simulé. Ce sont toutes des données qui peuvent servir d'information pour la prise en compte de critères de gestion autres que ceux de la productivité en volume marchand.

Une stratégie prudente et effective consisterait ainsi à ne donner qu'une demi-confiance aux résultats fournis par le modèle de croissance. Tout en restant dans le cadre rigide et défini par les normes d'intervention, il s'agirait de suivre consciencieusement la réaction des peuplements qui ont été traités selon la sylviculture définie avec l'aide du modèle de croissance et de la redéfinir au cas échéant.

Comment améliorer le modèle de croissance présenté ici ?

Trois lacunes essentielles restent à combler pour rendre le modèle en outil de gestion. D'abord, le modèle nécessite la prise de données qui sont rarement mesurées en pratique, c'est-à-dire la hauteur totale, le rayon et la longueur du houppier. Cette première lacune peut être comblée en effectuant des simulations et des exercices d'échantillonnage pour montrer jusqu'à quel point un sous-échantillon de mesures permet de pallier à ce problème. La deuxième lacune réside dans le rôle central que joue l'obstruction physique des houppiers dans le modèle de croissance et donc la position cartographique des arbres. Toutefois, ces deux premières lacunes disparaissent si l'utilisateur du modèle est prêt à investir une partie de son temps à effectuer ces mesures. Il faut donc qu'il soit réellement motivé. Cette présentation a fourni quelques éléments motivateurs et peut-être suffisamment persuasifs.

La troisième lacune concerne la prise en considération de la mortalité dans le modèle de croissance. Comme le modèle a été calibré dans les placettes temporaires et vu l'absence d'interaction entre la biomasse foliaire et la biomasse d'aubier, il n'a pas été possible d'en tenir compte. Le phénomène de mortalité peut être étudié dans les placettes permanentes dont les données courantes doivent être complétées par la prise de mesures sur le houppier et la position cartographique des arbres dans les placettes.

Remerciements

Nous remercions Jean-Baptiste Breton, Adrien Forgues, Yvon Gaudet, Roger Girard et Gérard Laroche qui nous ont assistés lors de la collecte des données sur le terrain. Ce travail a été réalisé grâce à l'appui technique et financier du Fonds spécial pour les opportunités de recherche en sciences et technologies (Service canadien des forêts), de la Forêt du Bas-Saint-Laurent, du Groupement forestier de l'Est du Lac Témiscouata et du ministère des Ressources naturelles du Québec.

Références

- Barette, Y., Gauthier, G. et Paquette, A. 1996. Aménagement de la forêt pour fins de production ligneuse. In: Manuel de foresterie. J.A. Bérard (Editeur). Presses de l'Université Laval, Québec, pp. 649-672.
- Burger, H. 1939. Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. VersWes., 21: 147-175.
- Burkhart, H.E. 1987. Data collection and modeling approaches for forest growth and yield prediction. In: Predicting forest growth and yield: current issues, future prospects. H.N. Chappell et D.A. Maguire (Editeurs). Contribution Number 58, College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, Washington, pp. 3-16.
- Burkhart, H.E. 1997. Development of empirical growth and yield models. In: Empirical and process-based models for forest tree and stand growth simulation. IUFRO 4.01. Workshop, 21-27/09/98, Oeiras, Portugal.
- Canadian Standards Association 1997. A sustainable forest management system: guidance document. Z808-96, Canadian Standards Association, Ottawa.
- Carmean, W.H., Hahn, J.T. et Jacobs, R.D. 1981. Site index curves for forest tree species in the Eastern United States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-128.
- Carpentier, J.-P. 1995. Production. In: L'érable à sucre. Caractéristiques, écologie et aménagement. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ressources naturelles du Québec et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'alimentation du Québec, Ste-Foy, Québec, pp. 275-293.
- Cluzeau, C. 1992. Analyse et modélisation de la croissance et du développement du système aérien du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) en peuplement, en perspective d'application à la sylviculture. Thèse de doctorat, Université de Nancy 1, Nancy.
- Duplat, P. 1993. Les modèles de croissance simples ne sont pas nuls mais ils ne répondent pas à tout. In: Les modèles de croissance forestière et leurs utilisations. C.-H. Ung (Editeur). Ressources Naturelles Canada, Ste-Foy, Québec, pp. 1-12.
- Giguère, R. 1993. Portrait des ressources, secteur Est-du-Lac. Groupement forestier de l'Est du Lac Témiscouata, rapport interne, Auclair, Québec, 18 p.
- Goulet, F. et Bellefleur, P. 1986. Leaf morphology plasticity in response to light environment in deciduous tree species and its implication on forest succession. Can. J. For. Res. 16: 1192-1195.
- Leakey, R. 1985. Prediction of branching habit in clonal *Triplochiton scleroxylon*. In: Crop physiology of forest trees. P.M.A. Tigersted, P. Puttonen et V. Koski (Editeurs), Helsinki University Press, Helsinki, pp. 71-80.
- Oderwald, R.G. et Hans, R.P. 1993. Corroborating models with model properties. For. Ecol. Manage., 62: 271-283.
- Pothier, D. et Margolis, A. 1991. Analysis of growth and light interception of balsam fir and white birch saplings following precommercial thinning. Ann. Sci. For., 48:123-132.
- Raulier, F. 1995. Etude de la croissance de l'érable à sucre dans la région du Bas-Saint-Laurent. Bulletin d'information de la Forêt Modèle du Bas-Saint-Laurent, 2(1): 10-11.

- Raulier, F. 1997. Modélisation fonctionnelle de la dynamique des forêts feuillues à prédominance d'érable à sucre (Comté de Témiscouata). Thèse de doctorat, Université Laval, Québec.
- Raulier, F. et Ung, C.-H. 1997a. Influence of shading on the relationship between leaf area and crown surface area in sugar maple stands. *Ecol. Mod.*, 104: 51-69.
- Raulier, F. et Ung, C.-H. 1997b. A structural growth model for sugar maple. In: Empirical and process-based models for forest tree and stand growth simulation. IUFRO 4.01. Workshop, 21-27/09/98, Oeiras, Portugal.
- Raulier, F., Ung, C.-H. et Bégin, J. 1997. Analytical estimation of branchwood volume in sugar maple, linked to branchiness. *Trees*, sous presse.
- Ressources naturelles du Québec 1992. Manuel d'aménagement forestier. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.
- Rochefort, B., 1981. Etude pédologique du comté de Témiscouata (Québec). Service de recherche en sols, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec.
- Saucier, J.-P. et Grondin, P. 1996. Domaine de la sapinière à bouleau jaune. In: Manuel de Foresterie. J.A. Bérard (Editeur). Presses de l'Université Laval, Québec, pp. 197-207.
- St-Jacques C., Labrecque M et Bellefleur P. 1991. Plasticity of leaf absorbance in some broadleaf tree seedlings. *Bot. Gaz.* 152: 195-202.
- Thibault, M. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 1 carte.
- Ung C.-H., Blais G., Larouche A. et Végiard S. 1997. Actualisation de l'inventaire forestier québécois. *Forestry Chronicle*, en révision.
- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests. CAB International, Oxon.