

*GUIDE DES OUTILS D'AIDE À L'UTILISATION  
DU LOGICIEL PATCHWORKS POUR LA PLANIFICATION  
FORESTIÈRE EN FORÊT FEUILLUE*

Rapport produit et rédigé par :



Éric Forget, Ing. f., M.Sc.  
Frédéric Doyon, Ing.f., Ph. D.  
Daniel Bouffard, M.Sc.  
Régis Pouliot

Projet financé par :

**Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation**



Octobre 2005

## **REMERCIEMENTS**

Ce guide a été réalisé grâce à l'appui financier du ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation du Québec, de Lauzon Ressources Forestières et de Fairmont Kenauk.

## TABLE DES MATIÈRES

Remerciements .....	2
Table des matières.....	3
Liste des tableaux .....	4
Liste des figures .....	5
Introduction .....	6
Le cheminement de l'information vers le logiciel patchworks .....	8
Cohorte - La modélisation de la croissance des peuplements inéquiennes .....	9
Le modèle conceptuel de Cohorte .....	10
Le module de croissance dans Cohorte .....	12
La mortalité dans Cohorte .....	13
L'évolution de la qualité dans Cohorte .....	16
Le recrutement dans Cohorte.....	17
La création de la banque de gaules.....	17
L'utilisation du logiciel Cohorte .....	18
L'outil Rassembleur .....	21
L'outil Créateur de courbes de croissance.....	22
L'outil Créateur de courbes d'attributs .....	26
L'outil Créateur de fichiers XML.....	26
Conclusion .....	29
Références.....	30

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Corrélation entre le logarithme de la croissance et l'indice de compétition utilisé pour chacune des espèces dans Cohorte.....	13
Tableau 2. Paramètres k et m de l'équation $\ln(\text{CROISSANCE}+1) = k + m * \text{COMPÉTITION}$ pour chaque espèce.....	14
Tableau 3. Paramètres k et m de l'équation $\ln(\text{CROISSANCE}+1) = k + m * \text{COMPÉTITION}$ pour chacun des deux groupes de vigueur par espèce.....	15
Tableau 4. Paramètres de la constante et de l'effet du diamètre ( $b_1$ ) de l'équation de probabilité de mortalité pour chacune des quatre espèces modélisées.....	15
Tableau 5. Paramètres de l'effet de la croissance ( $b_2$ ) de l'équation de probabilité de mortalité pour chacune des quatre espèces modélisées.....	16
Tableau 6. Paramètres de l'effet de la réduction de la surface terrière ( $b_3$ ) de l'équation de probabilité de mortalité pour chacune des quatre espèces modélisées.....	16
Tableau 7. Liste des espèces utilisant les mêmes paramètres qu'une des 4 espèces modélisées pour la fonction de la mortalité.....	16
Tableau 8. Exemple d'un tableau synthèse des résultats de simulation dans Cohorte pour différents niveaux de surface terrière d'une série d'aménagement.....	24
Tableau 9. Surface terrière par quinquennal (en jaune) et le nombre d'années nécessaire pour atteindre une surface terrière donnée (en bleu).....	25
Tableau 10. Exemples de types d'attributs utilisés avec le logiciel Patchworks.....	27

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma du cheminement de l'information vers le logiciel de planification forestière spatialement explicite Patchworks. ....	8
Figure 2. Représentation du modèle conceptuel de Cohorte.....	11
Figure 3. Exemple de la fenêtre d'ouverture du logiciel Cohorte.....	18
Figure 4. Exemple d'une feuille de paramétrisation des régimes d'éclaircies.....	20
Figure 5. Exemple d'une table de mortalité produite par Cohorte pour un scénario de simulation. ....	22
Figure 6. Exemple d'une table de statistiques produite par Cohorte pour un scénario de simulation.....	22
Figure 7. Exemple de la fenêtre d'ouverture du programme appelé « Rassembleur ».....	23
Figure 8. Représentation visuelle des résultats de simulation dans Cohorte de différents niveaux de surface terrière d'une série d'aménagement. ....	24
Figure 9. Représentation visuelle de la construction par étape de la courbe de croissance en surface terrière d'une série d'aménagement en fonction du temps. ....	25
Figure 10. Exemples de courbes d'attributs utilisées avec le logiciel Patchworks.....	26
Figure 11. Exemples d'une courbe d'attribut en format XML prête à être utilisée par le logiciel Patchworks. ....	28

## INTRODUCTION

Au cours de la dernière décennie, l'importance capitale de la répartition spatiale et de l'optimisation dans la planification forestière pour intégrer l'ensemble des valeurs bio-socio-économiques selon les principes de la gestion durable a été démontrée (Doyon 2002 ab; 2003). Grâce à de nouveaux outils de planification forestière tel que le logiciel Patchworks (Spatial Planning Systems Inc.), il est maintenant possible de faire le suivi de cibles de nature biologique, sociale et économique à même les calculs de la possibilité forestière. Ainsi, pour chaque cible prédéterminée, un objectif et des valeurs limites (minimum et maximum) peuvent être fixés ce qui permet de contraindre l'espace solutionnable du problème d'aménagement posé afin de s'assurer que, dans la mesure du possible, les différentes cibles soient atteintes. De la même manière, l'intégration de paramètres économiques comme le profit ou les revenus de bois est possible, et d'autant plus intéressant, que sa conceptualisation pose des défis majeurs. Ceci est particulièrement vrai dans le contexte des forêts feuillues et mélangées pour les raisons suivantes : 1) la relation entre le volume et la valeur des bois n'est pas aussi simple et directe que pour les essences résineuses (Groupe OptiVert 2004b), et 2) l'incorporation de la dimension de la qualité à l'échelle de l'aménagement nécessite de considérer les modalités d'intervention effectuées à l'échelle de l'arbre. Dans le contexte où la liste des valeurs forestières à protéger s'allonge et que le nombre et les intérêts des utilisateurs augmentent, le fait d'intégrer ces considérations au niveau stratégique a pour avantage d'éviter d'avoir à solutionner les conflits à la pièce au niveau opérationnel, prolongeant ainsi la durée de vie du plan d'aménagement forestier.

Le logiciel de planification forestière spatialement explicite Patchworks, outil dit de 3<sup>ème</sup> génération (ou pseudo-intelligent), utilise des algorithmes heuristiques d'optimisation permettant l'évaluation de problèmes mathématiquement complexe. Ce logiciel permet donc de modéliser conjointement une grande variété d'objectifs, de nature spatiale ou non, grâce à sa formulation de programmation par buts. Les fonctions d'optimisation de Patchworks se servent d'objectifs et de seuils pour différents indicateurs (investissements, coûts, distribution de la taille des coupes, habitats, etc.) et se font conjointement sur l'allocation des surfaces traitées et sur l'architecture du réseau routier.

La capacité de Patchworks à intégrer des paramètres comme les coûts de construction et d'entretien des chemins ou la distance entre l'assiette de coupe et l'usine permet de rendre le calcul de la possibilité forestière beaucoup plus réaliste. Grâce à ce logiciel, il est également possible de prédire les effets sur la possibilité forestière de l'implantation de nouveaux systèmes d'aménagement (Groupe OptiVert 2004a). Évidemment, la spatialisation rend aussi possible l'utilisation d'indices de qualité d'habitat comme indicateurs de l'effet à long terme de différents scénarios sur certaines espèces fauniques ou sur la biodiversité. Enfin, le logiciel Patchworks permet de travailler non seulement à trouver une solution acceptable mais il rend également possible l'identification d'une solution qui maximise l'atteinte des cibles fixées. Selon les objectifs et seuils définis par l'utilisateur, le logiciel Patchworks procède à une planification des interventions dans le temps et dans l'espace et tente de solutionner le problème multi objectifs présenté en minimisant la non atteinte des objectifs. Pour chaque intervention planifiée, le logiciel ajuste les paramètres d'évolution de l'ensemble du territoire et continue la recherche d'une solution optimale la plus près possible des objectifs fixés. L'utilisateur peut intervenir à tout moment pour modifier certains paramètres. On peut ainsi évaluer la sensibilité d'indicateurs par rapport à certaines modalités. À titre d'exemple, l'effet sur la possibilité forestière de l'application d'une cible qui assurerait le maintien d'une superficie minimale en vieilles forêts peut être évaluée.

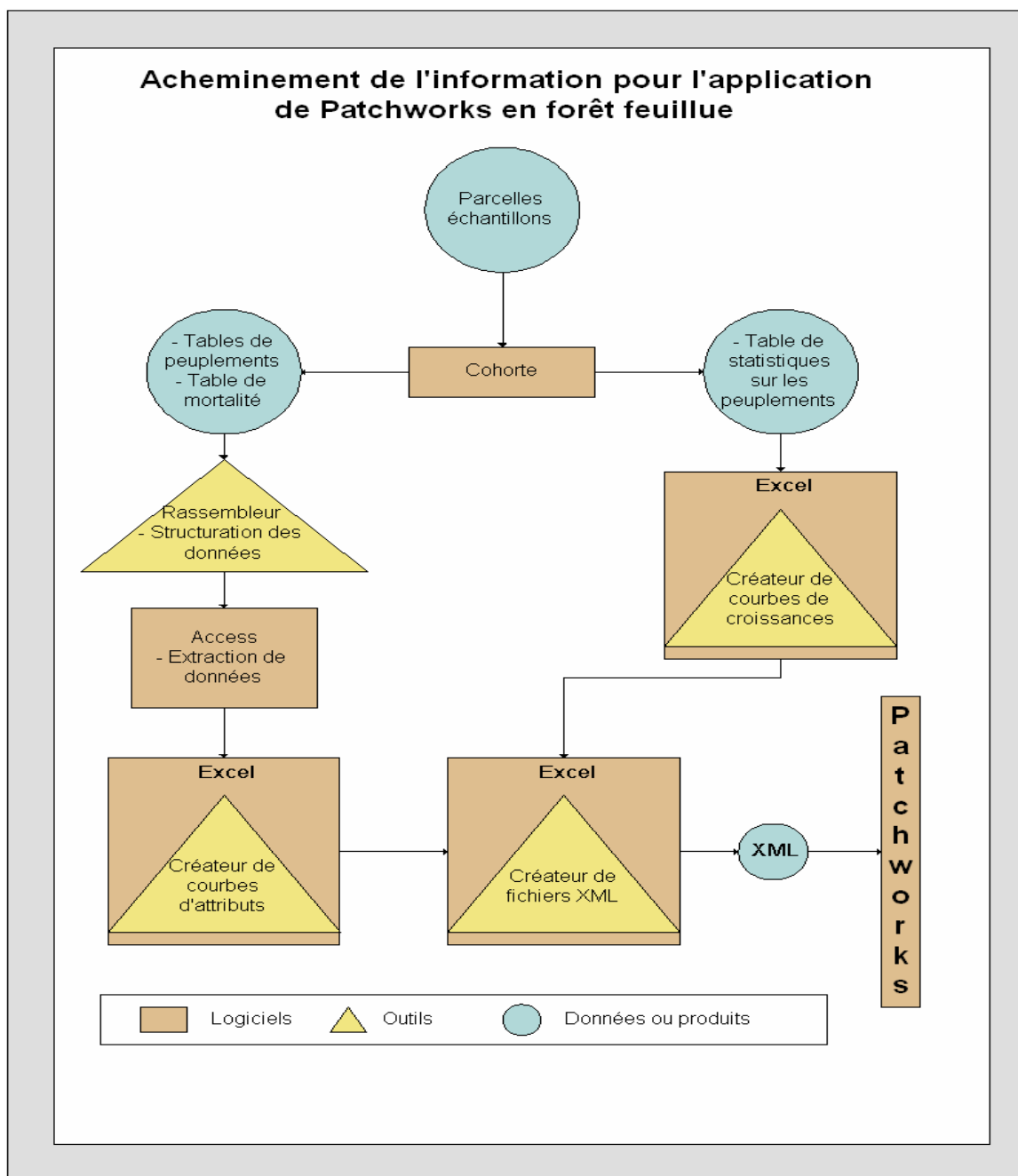
L'utilisation du logiciel Patchworks en forêt résineuse est assez courante. Les compagnies forestières Tembec et Domtar en Ontario, Louisiana Pacific au Manitoba et Millar Western

Forest Products en Alberta en font actuellement usage. Ce logiciel de planification forestière a également été mis à contribution lors des travaux de la Commission Coulombe dans le cadre d'une étude technique sur la spatialisation des inventaires forestiers. Ce projet aura permis de développer une méthodologie permettant l'utilisation du logiciel Patchworks dans le contexte de la forêt feuillue. Cette méthodologie permet de bâtir des courbes de croissance et des attributs de développement durable pour la forêt inéquienne et de les intégrer dans le logiciel Patchworks. Cet avancement technologique est une première au Canada.

Le présent document se veut donc un guide sur l'acheminement de l'information pour l'application du logiciel de planification forestière Patchworks dans un contexte de forêt feuillue au Québec. On y retrouve une description détaillée des différentes étapes élaborées par l'équipe de chercheurs de l'IQAFF. Ce guide permettra de comprendre la méthodologie et de pouvoir utiliser les outils développés dans le cadre de ce projet.

## LE CHEMINEMENT DE L'INFORMATION VERS LE LOGICIEL PATCHWORKS

Les différents types d'inventaire menés par le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs (parcelles échantillons permanentes) et les compagnies forestières procurent l'information de base nécessaire au fonctionnement du logiciel de planification forestière spatialement explicite Patchworks. Toutefois, cette information peut être utilisée par Patchworks uniquement après avoir cheminée au travers d'une série d'étapes, illustrées à la figure 1, adaptées à la structure inéquienne des forêts feuillues et mixtes du Québec.



**Figure 1. Schéma du cheminement de l'information vers le logiciel de planification forestière spatialement explicite Patchworks.**



## **Cohorte - La modélisation de la croissance des peuplements inéquiennes**

L'utilisation croissante des modèles en foresterie pour prédire la réponse des peuplements suite à l'application de traitements sylvicoles démontre l'importance de ces outils (Ek et al. 1988 ; Burkhardt 1990 ; Messier et al. 2000) et de leur rôle pour la démonstration de la durabilité des stratégies d'aménagement proposées (Kimmins 1990 ; Messier et al. 2003). Historiquement, une majorité de ces modèles ont été développés à partir de données empiriques de croissance traduites en tables de rendement (Plonski 1974 – modèle par courbe), et ce pour des peuplements équiennes. Cependant, cette approche est peu convenable pour les peuplements inéquiennes puisque l'âge du peuplement, variable centrale à tous les modèles empiriques en système équienne, ne s'applique pas pour caractériser les peuplements inéquiennes.

Avec le développement des technologies de l'information, on a vu depuis 30 ans plusieurs nouveaux modèles apparaître s'appuyant plutôt sur les processus dynamiques de développement des forêts (Messier et al. 2000). Avec ces modèles basés sur les cohortes, la croissance du peuplement repose donc sur des processus de dynamique de populations dont en autres la croissance et la mortalité des tiges, la compétition entre elles, la régénération, plutôt que sur des observations empiriques des volumes d'un type de forêt, à différents âges et sur une qualité de site donnée. Cette approche permet alors de considérer plus facilement l'effet de la densité, de la mixité en espèces, de la structure (irrégulière / multi étagée), de la succession, des perturbations naturelles et des changements environnementaux sans avoir à reconstruire une nouvelle courbe pour chaque changement de ces conditions. Un modèle par cohorte permet alors de raffiner précisément la nature du traitement de coupe partielle en modifiant les différents régimes de martelage pour le prélèvement et d'en évaluer la réponse. Avec ces types de modèle, les caractéristiques de peuplements lors de la simulation sont obtenues par agglomération de la liste des arbres qui composent l'unité de simulation.

Dans un contexte où la diversité compositionnelle et structurale des peuplements des forêts feuillues mixtes québécoises, combinée à la complexité des traitements sylvicoles (coupes partielles avec différents régimes de martelage) qui y sont réalisés, font en sorte que les outils classiques de calcul de la possibilité forestière (modèles par courbes, tables de rendement) ne répondent que très mal aux besoins des aménagistes de cette forêt. Afin de mieux répondre à ces besoins, le Gouvernement du Québec a développé, à l'intérieur du logiciel Sylva, un module distinct utilisant un modèle d'accroissement par taux (MAT, taux d'accroissement en volume dans Sylva I remplacé par des taux de passage dans Sylva II). Dans ce module, les hypothèses de croissance s'appliquent non plus au peuplement en entier mais à des cohortes de tiges discriminées sur la base de l'espèce, de la taille et de la qualité. Toutefois, différentes évaluations du modèle d'accroissement par taux utilisé dans Sylva II (Auger et al. 2004 ; Doyon 2004) ont démontré que cet outil comporte des lacunes majeures quant à sa capacité pour évaluer la réponse des peuplements aux traitements de coupes partielles et par conséquent, la possibilité forestière. De plus, la nature inutilement complexe du modèle rend son fonctionnement opaque et son évaluation difficile.

Face à ce constat, un modèle de croissance appelé Cohorte a été élaboré en 2004 par l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue (Doyon et al. 2005). Ce nouveau modèle de croissance et d'évolution de la qualité adapté à l'application de coupes partielles se devait de respecter les caractéristiques citées par Auger et al. (2004) et Doyon (2004) :

- ✍ Être dynamique et rétroactif en rendant par exemple la croissance et la mortalité dépendante de la surface terrière et de la position sociale des tiges;
- ✍ Permettre l'utilisation d'indice de qualité de station (IQS) pour définir les taux de croissance et de mortalité;

- ✍ Représenter l'évolution de la qualité par des probabilités de transitions qui sont empiriquement validées et dépendantes de la croissance des tiges;
- ✍ Représenter le recrutement par des processus dynamiques;
- ✍ Être adapté aux données d'inventaires telles qu'elles sont prises actuellement ;
- ✍ Être transparent;
- ✍ Être flexible dans sa calibration en permettant un ajustement sur une base empirique.

### ***Le modèle conceptuel de Cohorte***

Cohorte est un modèle processuel d'arbre individuel (individual tree-based), indépendant de la distance entre les arbres, tout comme Prognosis (Stage 1973), NE-TWIGS (Teak et al. 1996) et JABOWA (Botkin 1993). Ce type de modèle est caractérisé par le fait que le devenir de chaque arbre est évalué à chaque pas - ces arbres représentant en fait une cohorte d'arbres ayant tous les mêmes caractéristiques. Dans Cohorte, on reconnaît deux types de tiges qui forment le peuplement, soit les tiges marchandes avec plus de 9.1 cm au diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et les gaules (1.1 à 9.0 cm au DHP) (Figure 2). L'unité de simulation est donc composée d'une liste d'arbres caractérisée par l'espèce, le diamètre, la vigueur, la qualité, ainsi que le nombre de tiges à l'hectare de la cohorte que cet arbre représente. Pour les gaules, la vigueur et la qualité ne sont pas exigées.

Les relations qui font évoluées les arbres s'avèrent indépendantes de la position spatiale des tiges. Cependant, elles tiennent compte de la position sociale (structure verticale) de chaque arbre (Figure 2). Ainsi, la première étape que le logiciel Cohorte effectue consiste à évaluer la position sociale de chaque arbre de la liste et d'en dériver un indice de compétition qui peut être différent d'une espèce à une autre. L'indice de compétition permet alors de calculer la croissance de chaque arbre en fonction de l'espèce et de sa vigueur selon une équation dont les paramètres ont été établis à partir des parcelles-échantillons permanentes. La valeur prédite est alors une valeur de croissance exprimée en diamètre (mm) pour une période de 5 ans.

À la séquence suivante, Cohorte évalue la mortalité et l'évolution de la vigueur. Pour la mortalité, une équation logistique est déterminée pour chaque espèce, tout comme dans NE-TWIGS (Hilt and Teck 1989). Cette équation est dépendante de l'espèce, du DHP et de la croissance de la tige (Figure 2). Elle a été calibrée à partir des parcelles-échantillons permanentes pour 4 espèces. Le module de mortalité est flexible et permet d'ajouter d'autres paramètres pouvant changer les probabilités de mortalité. Par exemple, il serait possible d'inclure l'effet d'un choc traitement sur la mortalité. Dans Cohorte, la vigueur est dynamique, et par conséquent peut changer dans le temps pour un arbre donné. Cohorte reconnaît deux classes de vigueur : les arbres vigoureux et les arbres non-vigoureux. La notion de vigueur utilisée dans Cohorte est celle décrite par Schütz (1984) qui exprime le potentiel de croissance de la tige, souvent associé au niveau de déploiement de la cime d'un arbre. À chaque pas de simulation, les arbres vigoureux ont une probabilité d'être déclassé non-vigoureux selon la même probabilité qu'ils ont de mourir. La même équation logistique de mortalité dépendante de l'espèce, du DHP et de la croissance de la tige est donc appliquée (Figure 12). Pour le moment, Cohorte ne permet pas à des tiges non-vigoureuses de devenir vigoureuses. Quoique cette probabilité existe, les tiges non-vigoureuses ont plutôt tendance à se maintenir ou encore mourir.

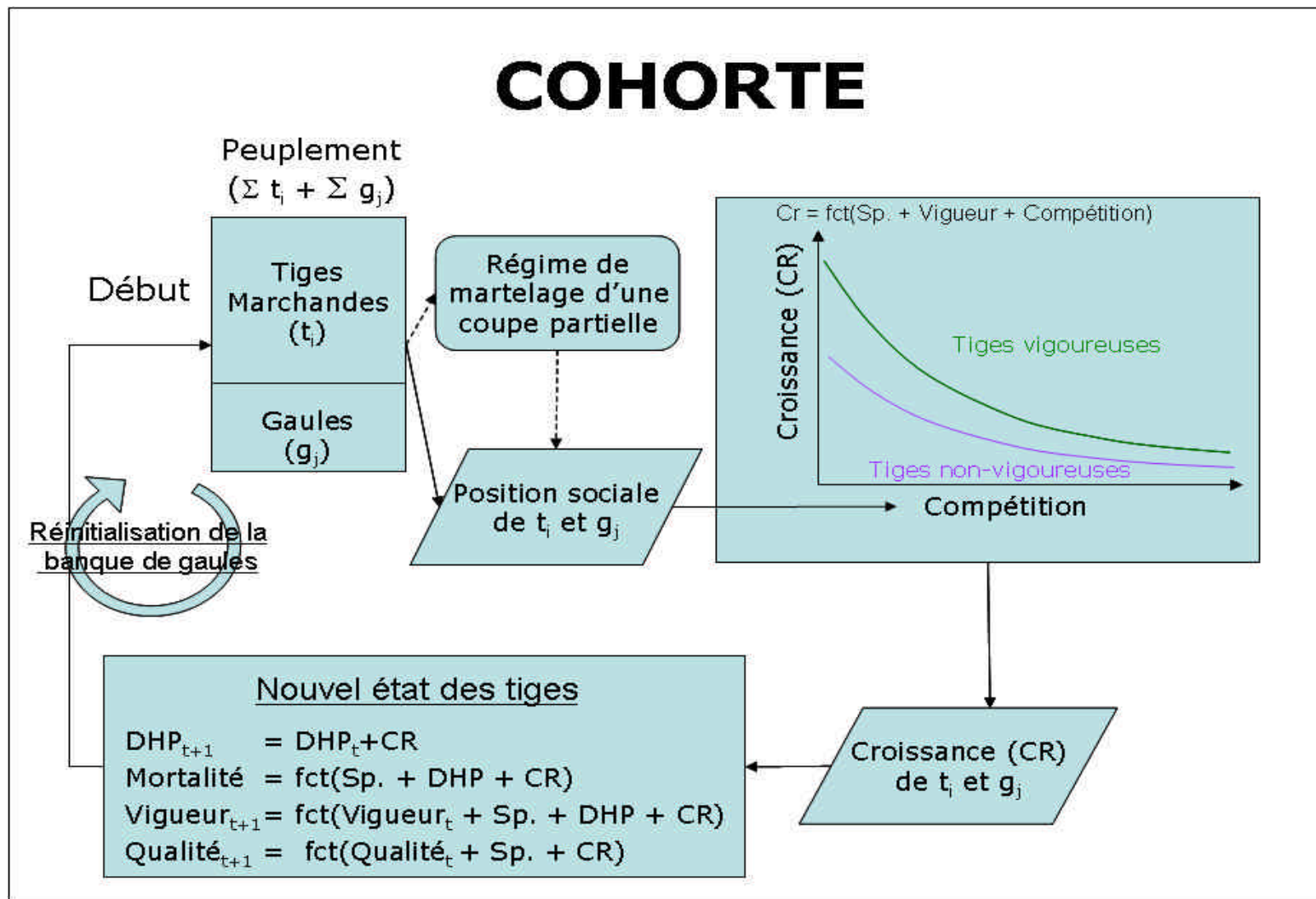


Figure 2. Représentation du modèle conceptuel de Cohorte.

La qualité de la tige est aussi un élément dynamique dans Cohorte. L'évolution de la qualité utilise des fonctions de probabilités de transitions calculées à partir des parcelles-échantillons permanentes. Ces fonctions tiennent compte de l'espèce, de la taille des tiges et de leur croissance (Figure 2). Le changement de qualité est évalué à tous les décennaux.

Le recrutement s'opère par l'accession des gaules aux tailles dites marchandes. Ainsi, les mêmes règles de croissance utilisées pour les tiges marchandes sont appliquées aux gaules. La vigueur des gaules devenant marchandes est attribuée en proportion de la vigueur existante dans la banque de perches - 9.1 à 23.0 cm au DHP - pour la même espèce. Le regarnissage de la banque de gaules n'est pas processuel mais mécanique et ce, en attendant le développement d'un module de micro-succession. La banque de gaules est considérée comme perpétuellement regarnie à son état initial à chaque quinquennal. Par cette approche, le recrutement suivra donc la dynamique propre aux conditions de la banque initiale de gaules. Par ailleurs, la banque de gaule est ajustable en cours de route si l'utilisateur veut en changer la dynamique.

L'application d'un régime de martelage d'une coupe partielle élimine des arbres, tout comme le ferait la mortalité, réduisant ainsi la compétition subie par les arbres résiduels (Figure 2). En réponse aux ouvertures ainsi créées, la réduction de la compétition peut se faire de façon asymétrique, favorisant ainsi plutôt la croissance de certains arbres au détriment d'autres. Cette dernière fonctionnalité de Cohorte permet l'évaluation de coupes partielles avec dégagement spécifique des arbres d'avenir.

### **Le module de croissance dans Cohorte**

Le module de croissance dans Cohorte utilise différents indices visant à représenter la compétition subie par un arbre pour prédire la croissance. Le premier de ces indices de compétition, et le plus simple, est la surface terrière totale (Tableau 1). Pour cet indice de compétition, la position sociale de l'arbre importe peu. Le second indice de compétition considère la surface terrière des arbres qui sont de DHP supérieur ou égal à celui de l'arbre évalué (Tableau 1). Le dernier indice de compétition, en plus de considérer les arbres qui sont de DHP supérieur ou égal à celui de l'arbre évalué, comptabilise les arbres dont le DHP est jusqu'à 25% plus petit que le DHP de l'arbre évalué (Tableau 1).

Pour identifier lequel de ces trois indices de compétition allait être utilisé pour chacune des espèces, nous avons corrélé le logarithme naturel de la croissance avec chaque indice de compétition (Tableau 1). Le modèle de prédiction de la croissance générale pour chacune des espèces a alors été développé en utilisant l'indice de compétition sélectionné. L'équation utilisée en est une de forme exponentielle négative (Figure 2 et équation 1).

$$\text{Équation 1 : } \textit{Croissance} = e^{(k - m * \textit{COMPÉTITION})}$$

Deux équations de croissance sont utilisées par espèce selon la vigueur des arbres (Figure 1). Pour obtenir ces deux équations, nous avons calculé une première équation générale qui passe au centre du nuage de points. Cette équation générale a été déterminée par régression linéaire pour toutes les espèces en utilisant le logarithme naturel de la croissance additionné de la valeur 1 pour éviter les  $\ln(0)$  et ce, afin d'obtenir les paramètres  $k$  et  $m$  de l'équation 1 (Tableau 2). Une fois cette étape complétée, les points présentant un comportement de croissance supérieur à la moyenne, soit les points disposés au-dessus de la courbe de régression, ont été distingués de ceux situés au dessous de la courbe. Cette approche a été utilisée pour distinguer les arbres vigoureux des arbres non-vigoureux compte tenu que la vigueur des tiges n'était pas noté dans les parcelles-échantillons permanentes. Une analyse de régression linéaire a alors été réalisée pour chaque espèce pour déterminer les paramètres de régression de chacun des deux groupes de vigueur (Tableau 3). Ces paramètres de croissance sont ajustables à partir de données empiriques

provenant de carottes prélevées chez des arbres de différentes conditions de compétition. À partir de ces données, la courbe de croissance peut être ajustée à l'aide d'un facteur d'ajustement qui modifie les paramètres  $k$  et  $m$ . Cette flexibilité du module de croissance peut également s'appliquer à la notion d'indice de qualité de station.

**Tableau 1. Corrélation entre le logarithme de la croissance et l'indice de compétition utilisé pour chacune des espèces dans Cohorte**

Espèce	n	Corrélations			Indice utilisé dans Cohorte
		STT*	STS*	STS+25*	
Bouleau à papier	34 708	-.315	-.303	-.330	STS+25
Bouleau jaune	10 599	-.263	-.185	-.195	STT
Cerisier tardif	384	-.345	-.401	-.401	STS
Chêne rouge	1 854	-.154	-.368	-.354	STS
Épinette blanche	8 710	-.354	-.393	-.399	STS+25
Épinette noire	75 390	-.143	-.104	-.142	STT
Épinette rouge	3 393	-.280	-.440	-.431	STS
Érable à sucre	23 757	-.263	-.340	-.334	STS
Érable rouge	18 846	-.142	-.221	-.208	STS
Frêne d'Amérique	526	-.081	-.274	-.211	STS
Frêne noir	1 382	-.074	-.091	-.096	STS+25
Hêtre à grandes feuilles	4 144	-.210	-.363	-.339	STS
Mélèze laricin	893	-.100	-.266	-.195	STS
Noyer cendré	18	-.495	-.162	-.080	STT
Orme d'Amérique	250	-.144	-.205	-.218	STS+25
Ostryer de Virginie	1 158	-.245	-.311	-.288	STS
Peuplier à grandes dents	2 641	-.224	-.387	-.383	STS
Peuplier baumier	523	-.208	-.386	-.339	STS
Peuplier faux-tremble	14 621	-.292	-.388	-.403	STS+25
Pin blanc	2 313	-.367	-.543	-.519	STS
Pin gris	13 021	-.181	-.329	-.286	STS
Pin rouge	368	-.362	-.435	-.314	STS
Pruche du Canada	2 626	-.210	-.375	-.341	STS
Sapin baumier	55 867	-.273	-.287	-.308	STS+25
Saules	621	-.391	-.396	-.408	STS+25
Thuya de l'Est	9 200	-.259	-.311	-.309	STS
Tilleul d'Amérique	992	-.115	-.192	-.174	STS

\*STT = Surface terrière totale; STS = Surface terrière supérieure; STS+25 = Surface terrière supérieure et 25% inférieure.

### **La mortalité dans Cohorte**

Dans Cohorte, la mortalité est une fonction de probabilité ajustée selon la croissance, le DHP et le pourcentage de réduction de la surface terrière lors de l'application d'une coupe. Pour obtenir cette équation de probabilité, nous avons utilisée l'analyse de régression logistique. Les paramètres estimés par la régression permettent de construire une fonction de probabilité conditionnelle aux variables incluses dans le modèle. Pour obtenir la probabilité qu'un arbre meurt, on utilise l'équation suivante (Équation 2) :

$$\text{Équation 2 : } \text{Prob (mort)} = 1/(1+ e^{-(k+b1 \cdot \text{CROISSANCE}+b2 \cdot \text{DNP}+b3 \cdot \% \text{RÉDUCTION DE LA ST})})$$

**Tableau 2. Paramètres k et m de l'équation  $\ln(\text{CROISSANCE}+1) = k + m * \text{COMPÉTITION}$  pour chaque espèce**

Espèces	n	Paramètres*		Statistiques*	
		k	m	F	R <sup>2</sup>
Bouleau jaune	10 599	1.5496	-0.0165	789.46	0.069
Épinette noire	75 390	0.7571	-0.0063	1575.44	0.020
Noyer cendré	18	2.0570	-0.0223	5.19	0.245
Cerisier tardif	384	1.6427	-0.0299	73.27	0.161
Chêne rouge	1 854	1.4058	-0.0197	290.78	0.136
Épinette rouge	3 393	1.3419	-0.0231	813.28	0.193
Érable à sucre	23 757	1.4387	-0.0204	3098.04	0.115
Érable rouge	18 846	1.3148	-0.0134	963.15	0.049
Frêne d'Amérique	526	1.5531	-0.0154	42.63	0.075
Hêtre à grandes feuilles	4 144	1.4835	-0.0188	629.90	0.132
Mélèze laricin	893	1.2380	-0.0204	68.55	0.071
Ostryer de Virginie	1 158	0.9453	-0.0190	123.38	0.096
Peuplier à grandes dents	2 641	1.6133	-0.0226	464.71	0.150
Peuplier baumier	523	1.5674	-0.0192	190.98	0.149
Pin blanc	2 313	1.7978	-0.0326	964.87	0.295
Pin gris	13 021	0.9352	-0.0202	1579.28	0.108
Pin rouge	368	1.4915	-0.0231	85.48	0.189
Pruche du Canada	2 626	1.3956	-0.0143	429.93	0.141
Thuya de l'Est	9 200	1.2432	-0.0121	982.84	0.097
Tilleul d'Amérique	992	1.2465	-0.0131	37.69	0.037
Bouleau à papier	34 708	1.1934	-0.0187	4228.46	0.109
Épinette blanche	8 710	1.4999	-0.0222	1645.40	0.159
Frêne noir	1 382	1.0217	-0.0052	12.84	0.009
Orme d'Amérique	250	1.6241	-0.0146	12.33	0.047
Peuplier faux-tremble	14 621	1.5901	-0.0240	2830.22	0.162
Saules	621	1.2948	-0.0232	123.72	0.167
Sapin baumier	55 867	1.2806	-0.0151	5872.14	0.095

\* Tous les modèles de régression et les paramètres sont statistiquement significatifs.

Les paramètres  $b_1$ ,  $b_2$  et  $b_3$  de la fonction de probabilité ont été évalués dans SPSS par régression logistique (SPSS 1988). À ce stade-ci du développement de Cohorte, les paramètres de la fonction de la mortalité n'ont été estimés que pour le bouleau jaune, le chêne rouge, l'érable à sucre et le hêtre (Tableaux 4, 5 et 6). Pour les autres essences, les mêmes paramètres associés à une de ces 4 espèces leurs ont été attribués (Tableau 7). Pour évaluer la probabilité de mourir d'un arbre, il faut donc connaître son espèce, son diamètre, sa croissance et le pourcentage de réduction de la surface terrière due à une perturbation. Une fois que Cohorte a calculé la probabilité de mortalité pour chaque arbre qui compose la liste d'arbres de l'unité de simulation, le nombre de tiges est alors réduit en conséquence.

**Tableau 3. Paramètres k et m de l'équation  $\ln(\text{CROISSANCE}+1) = k + m * \text{COMPÉTITION}$  pour chacun des deux groupes de vigueur par espèce**

Espèces	n	Paramètres			
		Vigoureux (v)		Non-vigoureux (nv)	
		$k_v$	$m_v$	$k_{nv}$	$m_{nv}$
Bouleau jaune	10 599	1.8878	-0.0160	1.1277	-0.0158
Épinette noire	75 390	1.1937	-0.0110	0.3825	-0.0035
Noyer cendré	18	2.2620	-0.0212	1.8039	-0.0289
Cerisier tardif	384	1.9921	-0.0283	1.2035	-0.0233
Chêne rouge	1 854	1.6273	-0.0153	1.1540	-0.0204
Épinette rouge	3 393	1.6329	-0.0205	0.9581	-0.0212
Érable à sucre	23 757	1.7854	-0.0196	1.0252	-0.0188
Érable rouge	18 846	1.2954	-0.0130	1.2685	-0.0125
Frêne d'Amérique	526	1.8696	-0.0107	1.1483	-0.0147
Hêtre à grandes feuilles	4 144	2.0000	-0.0157	1.3000	-0.0186
Mélèze laricin	893	1.6884	-0.0243	0.6937	-0.0126
Ostryer de Virginie	1 158	1.3117	-0.0208	0.5724	-0.0155
Peuplier à grandes dents	2 641	1.9418	-0.0205	1.1735	-0.0173
Peuplier baumier	523	1.8723	-0.0184	1.2966	-0.0235
Pin blanc	2 313	2.1036	-0.0274	1.3404	-0.0319
Pin gris	13 021	1.3159	-0.0235	0.5318	-0.0149
Pin rouge	368	1.8159	-0.0198	1.0393	-0.0226
Pruche du Canada	2 626	1.6745	-0.0125	1.0699	-0.0155
Thuya de l'Est	9 200	1.5189	-0.0111	0.9021	-0.0119
Tilleul d'Amérique	992	1.2954	-0.0130	1.2685	-0.0125
Bouleau à papier	34 708	1.5421	-0.0192	0.7715	-0.0148
Épinette blanche	8 710	1.4119	-0.0193	1.3608	-0.0217
Frêne noir	1 382	1.4266	-0.0082	0.6453	-0.0031
Orme d'Amérique	250	2.0063	-0.0117	1.2060	-0.0197
Peuplier faux-tremble	14 621	1.9280	-0.0229	1.1762	-0.0219
Saules	621	1.6393	-0.0232	0.9122	-0.0204
Sapin baumier	55 867	1.1487	-0.0140	1.1252	-0.0133

\* Tous les modèles de régression et les paramètres sont statistiquement significatifs sauf pour la croissance du noyer cendré non-vigoureux.

**Tableau 4. Paramètres de la constante et de l'effet du diamètre ( $b_1$ ) de l'équation de probabilité de mortalité pour chacune des quatre espèces modélisées**

Espèces	k	Paramètre $b_1$ pour l'effet du diamètre (cm)						
		0_10	10_20	20_30	30_40	40_50	50_60	60_+
ERS	-2.18	-0.42	-0.42	-0.52	-0.52	0	0	0
CHR	-1.96	-1.23	-1.23	-0.52	-0.52	0	0	0
BOJ	-1.76	-0.81	-0.81	-0.44	-0.44	-0.43	-0.43	0
HEG	-1.63	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	0	0	0

**Tableau 5. Paramètres de l'effet de la croissance ( $b_2$ ) de l'équation de probabilité de mortalité pour chacune des quatre espèces modélisées**

Espèces	Croissance (mm/an)					
	0_1	1_2	2_3	3_4	4_5	5_+
ERS	1.54	0.57	0.57	0	0	0
CHR	1.54	0.57	0.57	0	0	0
BOJ	1.69	0.92	0.92	0.5	0	0
HEG	1.54	0.46	0.46	0.46	0.46	0

**Tableau 6. Paramètres de l'effet de la réduction de la surface terrière ( $b_3$ ) de l'équation de probabilité de mortalité pour chacune des quatre espèces modélisées**

Espèces	Pourcentage de réduction de la surface terrière (%)						
	0_10	10_20	20_30	30_40	40_50	50_60	60_+
ERS	-0.51	-0.74	-0.74	-0.22	-0.22	0	0
CHR	1.75	1.75	-0.74	-0.22	-0.22	0	0
BOJ	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	0
HEG	-0.51	-0.74	-0.74	-0.22	-0.22	0	0

**Tableau 7. Liste des espèces utilisant les mêmes paramètres qu'une des 4 espèces modélisées pour la fonction de la mortalité**

Espèces modélisées	Espèces non-modélisées									
ERS	ORA	SAL	PRP	SAB	FRN	MEL	PIG			
CHR	THO	EPB	EPR	PIB	PEG	PEB	PIR	PRU	TIL	
BOJ	BOP	FRA								
HEG	EPN	CET	PET	ERR	OSV					

### **L'évolution de la qualité dans Cohorte**

Ce qui rend surtout Cohorte différent des modèles tels que NE-TWIGS, JABOWA et Prognosis consiste dans la capacité de ce logiciel de simuler l'évolution de la qualité des tiges dynamiquement. Cette fonction est primordiale pour la sylviculture des feuillus nobles puisque la qualité est un facteur tout aussi important, sinon encore plus important que le volume. Le fait de simuler l'évolution de la qualité permet d'estimer les compromis sylvicoles de différents régimes de martelage qui distingueraient le potentiel d'augmentation de valeur de chaque cohorte.

Pour introduire l'évolution de la qualité dans Cohorte, nous avons développé à partir de données empiriques des modèles de probabilités de transitions entre les différentes classes de qualité présentement utilisées au Québec (Forget et al. 2001) et ce, à partir de modèles de régression logistique polythétique (SPSS 1988). Pour l'instant, les équations ont été développées uniquement pour l'érable à sucre et le bouleau jaune. Les modèles de ces deux



espèces montrent que le changement de qualité dépend de la qualité initiale, du diamètre initial et de la croissance (Forget et al. 2001). Pour les autres espèces qui n'ont pas encore été modélisées, Cohorte emploie les probabilités de transitions utilisées par le MAT, telle que décrites dans l'annexe 2 du Manuel d'Aménagement Forestier (Gouvernement du Québec 1998).

L'évolution de la qualité dans Cohorte s'effectue à tous les 10 ans. Pour chaque arbre de la liste d'arbres de l'unité de simulation, les probabilités de transitions sont alors établies à partir des caractéristiques d'espèce, de taille et de croissance. Par la suite, un nombre aléatoire est tiré lequel détermine quelle transition est alors utilisée. Au quinquennal suivant, l'arbre aura donc la nouvelle qualité identifiée par la probabilité de transition. Cohorte est donc un modèle stochastique en ce qui concerne la qualité. Ainsi, il devient impossible de reproduire une simulation même si toutes les caractéristiques sont exactement similaires. L'avantage d'une approche comme celle-ci est qu'il est possible de déterminer un intervalle de confiance sur la qualité du peuplement en effectuant plusieurs fois une même simulation. Par ailleurs, Cohorte possède une fonctionnalité lui permettant d'effectuer plusieurs fois une même simulation et d'en extraire des statistiques.

### ***Le recrutement dans Cohorte***

Le recrutement dans Cohorte s'effectue par l'atteinte des tailles marchandes par les gaules puisqu'elles sont assujetties aux mêmes règles de croissance et de mortalité que les tiges de plus de 23 cm au DHP. Avant la simulation d'un quinquennal, les gaules sont redistribuées en groupe de 4 mm ce qui correspond à 5 groupes par classe de 2 cm de diamètre. À chaque quinquennal, les modules de croissance et de mortalité sont appliqués aux gaules de la même façon qu'ils le sont pour les tiges marchandes. Les gaules qui accèdent à la zone du diamètre marchand sont alors cumulées dans la liste d'arbres marchands pour le reste de la simulation. Lorsqu'une gaulle atteint la zone du diamètre marchand, elle se divise alors en deux cohortes de vigueur différente et ce, en proportion de la vigueur existant dans la banque de perches (9.1 à 23.0 cm au DHP) pour la même espèce. La qualité sera attribuée aux recrues en fonction des paramètres de transitions de la qualité lorsqu'elles seront de taille à être classifiées selon cet aspect (23.1 cm et + au DHP).

Au quinquennal suivant, la table de peuplements des gaules est de nouveau utilisée dans son état initial, sans qu'il y ait eu de réduction du nombre de gaules. En procédant de la sorte, on pose comme prémisse que la banque de gaules caractérisée en début de simulation représente un état dynamiquement stable de la micro-succession et qu'elle se maintiendra à perpétuité dans les mêmes caractéristiques. Toutefois, les caractéristiques de croissance et de mortalité des gaules changeront puisque ces processus sont dépendants de la structure du peuplement. Cependant, il est possible de changer la banque de gaules durant une simulation en la partitionnant en deux périodes, la seconde démarrant avec l'état final de la première période. Il devient alors possible de changer la banque de gaules entre les deux périodes.

### ***La création de la banque de gaules***

Trois cas peuvent subvenir lorsqu'un utilisateur veut effectuer une simulation : 1) l'utilisateur n'a aucune donnée sur les gaules dans ses inventaires ; 2) l'utilisateur a dans ses inventaires les gaules incluses sous forme de stocking par espèces et par classes de diamètre ; 3) l'utilisateur a dans ses inventaires les gaules incluses sous forme de dénombrement par espèces et par classes de diamètre. Afin que Cohorte puisse procéder avec le module de recrutement, un pré-traitement des données est nécessaire dans les deux premiers cas. Celui-ci vise à rendre la table des gaules sous la même forme que celles des tiges marchandes, soit sous forme de dénombrement par espèces et par classes de diamètre (Voir Doyon et al. 2005).

## L'utilisation du logiciel Cohorte

Cohorte a été programmé pour qu'il soit facile d'utilisation, étant à la fois flexible et transparent. Ce logiciel utilise à la base comme objet de simulation une liste d'arbres – table de peuplements - représentant chacun une cohorte de tiges ayant exactement les mêmes caractéristiques. Chaque ligne est donc une cohorte caractérisée par l'espèce, le diamètre, la vigueur, la qualité et le nombre de tiges à l'hectare qui composent cette cohorte. Cette liste d'arbres constitue l'unité de simulation.

L'utilisateur a le choix d'entrer directement cette liste d'arbres à partir d'un fichier d'une base de données « .dbf » (Figure 3 – A), ou bien de la générer à partir de parcelles d'inventaires à rayon fixe (11.28) ou mesurées à l'aide d'un prisme de facteur 2 (Figure 3 – B). Dans le cas des parcelles à rayon fixe, l'utilisateur sélectionne une table « .dbf » qui contient l'information relative à la création de la liste d'arbres. À l'ouverture du logiciel, il y a une fenêtre où apparaît un menu qui sert à définir l'unité de simulation (Figure 3 – C). On y trouve un choix de champs représentant les caractéristiques des cohortes de l'unité de simulation. Ces cases servent à identifier le nom des champs utilisés, ou susceptibles dans un avenir rapproché d'être utilisés par le logiciel. Ces 9 champs sont : le numéro de parcelle - pour les tables se référant à des données de parcelles de 11.28 m de rayon ou au prisme -, l'espèce, le dhp, la qualité, la vigueur, le nombre de tige à l'hectare, la hauteur, la cime et finalement, le champ MSCR (priorité de récolte selon le guide d'interprétation des défauts indicateurs de carie des arbres) pour une utilisation ultérieure. À noter que le logiciel permet la sélection de l'unité (centimètre ou millimètre) dans laquelle le diamètre est exprimé (Figure 3 – D).

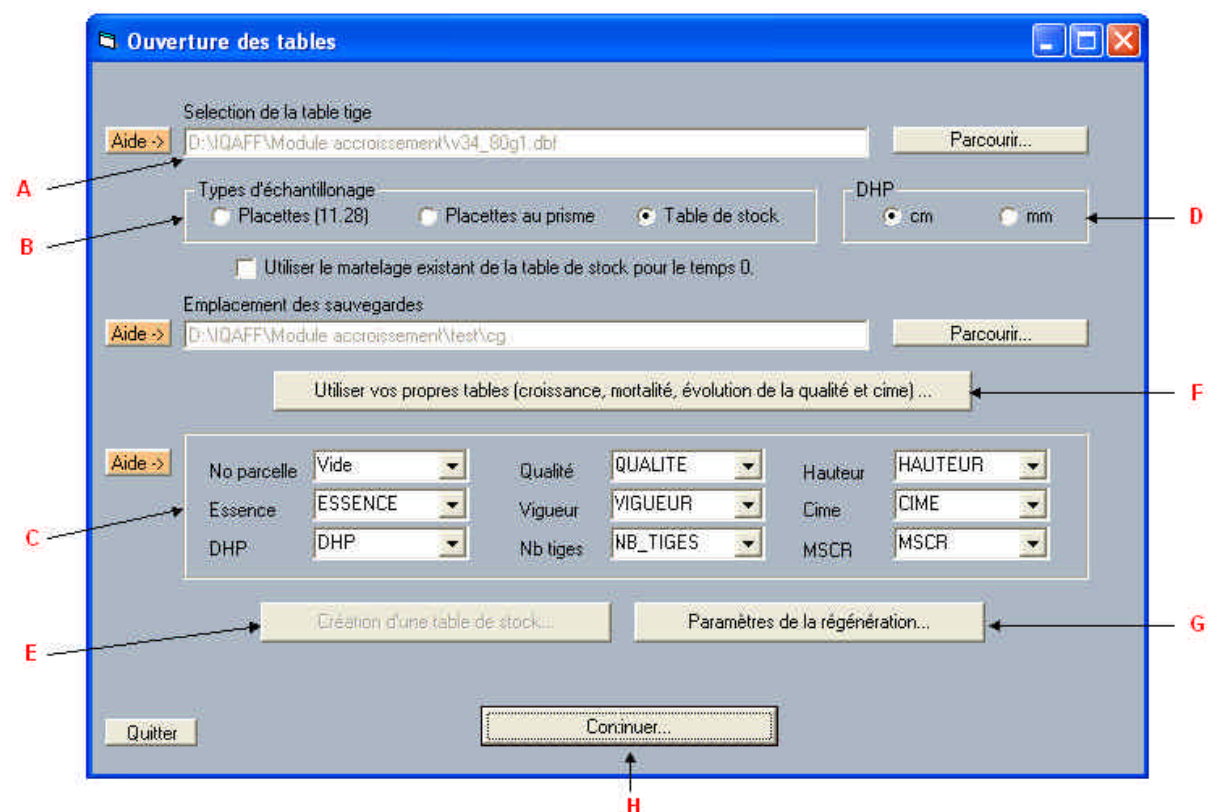


Figure 3. Exemple de la fenêtre d'ouverture du logiciel Cohorte.

Après avoir bien identifié les champs, l'utilisateur, dans le cas d'un fichier de parcelles, sélectionne celles qui formeront l'unité de simulation. Pour procéder à la sélection des parcelles qui formeront la liste d'arbres, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton « Création d'une table de stock... » (Figure 3 – E). L'ouverture de cette fenêtre offre donc à l'utilisateur la possibilité de sélectionner des placettes qui serviront à la création de la liste d'arbres. Par la suite, il est possible d'enregistrer cette dernière de façon permanente pour l'utiliser comme table de départ dans d'autres simulations. Si la liste d'arbres n'est pas enregistrée, elle ne sera accessible seulement que pour la simulation courante.

Une fois l'unité de simulation générée, il est possible de visualiser *a priori* la structure de la liste d'arbres et ce, en fonction de la densité ou de la surface terrière, et d'obtenir des statistiques telles que le nombre de placettes et la surface terrière moyenne avec son écart-type.

Par défaut, Cohorte possède ses propres tables de paramètres de croissance, de mortalité, d'évolution de la qualité, de cime, de tarif de cubage, etc. Pour certaines tables, il est possible de définir leur emplacement, et donc de choisir celles qui seront utilisées en remplacement des tables par défauts. Ces modifications sont accessibles avec le bouton identifier « Utiliser vos propres tables (croissance, mortalité, évolution de la qualité et cime)... » (Figure 3 – F). Toujours à partir de la fenêtre d'ouverture, l'utilisateur définit l'étendue de l'horizon de simulation. Cette étendue doit correspondre à un multiple de 5 puisque les simulations sont effectuées sur des périodes de 5 ans à partir du temps zéro.

La fenêtre de départ sert aussi à identifier les paramètres pour la gestion de la banque de gaules. Un menu permet de définir l'emplacement des tables et la sélection des champs qui caractériseront la banque de gaules, ce dernier étant accessible à l'aide du bouton « Paramètres de régénérations... » (Figure 3 – G). Avant de partir une simulation, il faut informer le logiciel de l'existence ou non de données sur les gaules. Le cas échéant, il faut indiquer l'emplacement du fichier et le nom des champs qui seront utilisés pour identifier l'information nécessaire à la construction de la table des gaules. Il faut aussi mentionner si l'information correspond à un dénombrement ou à un stocking.

Une fois que les informations nécessaires à la création de la banque des gaules sont connues et enregistrées, l'utilisateur peut passer à la fenêtre de simulation en appuyant sur le bouton « Continuer... » (Figure 3 – H) de la fenêtre de démarrage. Cette action fera ouvrir une nouvelle fenêtre dans laquelle il lui est permis de définir un traitement d'éclaircie et de suivre en continu l'évolution de l'unité de simulation.

À l'ouverture de la fenêtre « Paramétrisation des éclaircies » (Figure 4), l'utilisateur voit tout d'abord, au centre de cette page, l'indicateur du temps de simulation écoulé lorsqu'une simulation est démarrée (indicateur à 0 à l'ouverture) (Figure 4 – I). Dans cette fenêtre, lors de la simulation, la table de stock sera affichée à tous les 5 ans (si désiré) (Figure 4 – J) et pourra être consultée. L'horizon de simulation utilisé doit être un multiple de 5.

Avant de commencer une simulation, il est possible de déterminer les années où il y aura des éclaircies. En y identifiant les moments auxquels il y aura un traitement, le logiciel offre la possibilité d'introduire jusqu'à huit éclaircies sur l'horizon de la simulation (Figure 4 – K). À ces moments précis, la simulation est alors arrêtée et il devient possible de faire des interventions sur la table des arbres. Les cases en haut de la fenêtre permettent d'inscrire ces moments (multiple de 5) pour arrêter la simulation. Sous chacune de ces 8 cases, se trouve un bouton à cocher qui permet de faire arrêter la simulation même s'il n'y a pas de traitements prévus. À côté de ce dernier, un autre bouton permet de donner accès à une table de résultats sur le bois d'œuvre à ce moment (Figure 4 – L). Comme l'évolution de la qualité est une fonction stochastique, on doit identifier le nombre de simulation désiré pour le calcul des résultats sur le bois d'œuvre (Figure 4 – M). Évidemment, plus le nombre de

simulations sera élevé, plus le traitement sera long. La table de résultats sur le bois d'œuvre présente, par espèce, la surface terrière en fonction de chaque classe de qualité (A, B, C, D) ou de groupes de qualité (A et B, A et B et C). La deuxième colonne représente la moyenne de la surface terrière pour chaque qualité ou groupe de qualité. Ces résultats sont aussi présentés pour toutes les espèces confondues.

**Table de données (Table 1):**

ESSENCE	DHP	VIGUEUR	QUALITE	ST	NB TIGES	M_POS	M_NEG	COMP_AV	COMP_A
TIL	40	3	D	0.0201	0.16	0	0	5.53	
TIL	42	1	A	0.01939	0.14	0	0	4.62	
TIL	44	1	B	0.01976	0.13	0	0	3.77	
TIL	44	1	C	0.01976	0.13	0	0	3.77	
TIL	44	3	E	0.01976	0.13	0	0	3.77	
TIL	48	3	A	0.0199	0.11	0	0	2.54	
TIL	52	1	E	0.01911	0.09	0	0	1.56	
TIL	56	3	E	0.0197	0.08	0	0	0.95	

**Table de statistiques (Table 2):**

Statistique	Valeur	Unité
Accroissement brut en ST	0	m² / ha
Accroissement net en ST	0	m² / ha
Mortalité en ST	0	m² / ha
Recrutement en ST	0	m² / ha
Variation du volume	0	m³ / ha
Surface terrière avant martelage	26.35	m² / ha
Surface terrière après martelage	26.35	m² / ha
Surface terrière récoltée	0	m² / ha
Diminution en %	0	%
Diminution en volume	0	m³ / ha

Figure 4. Exemple d'une feuille de paramétrisation des régimes d'éclaircies.

En ce qui concerne les traitements, présentement, les tiges à marteler négativement et positivement sont identifiées manuellement. Pour ce faire, il faut inscrire dans la table de stock visible à l'écran, et ce pour chaque ligne, le pourcentage des tiges qui seront martelées. La colonne « *m\_neg* » (Figure 4 – N) permet d'inscrire des valeurs relatives au martelage négatif alors que la colonne « *m\_pos* » (Figure 4 – O) offre la même opportunité pour le martelage positif. Un martelage négatif des tiges accumulera des unités qui seront alors disponibles pour un martelage positif. L'accumulation d'unités de dégagement est basée sur l'indice de compétition des tiges. Chaque tige possède une valeur de compétition avant martelage. Si une tige est martelée négativement, on recalcule la compétition de

chaque tige de la table de stock pour obtenir une compétition après martelage. Ainsi, quand des tiges sont martelées, il y a une diminution globale de la compétition. La différence entre la compétition avant martelage et la compétition après martelage donne les unités de dégagement disponibles pour le martelage positif. Toutes les tiges martelées positivement bénéficient de 80% de ces unités disponibles, alors que le 20% restant est réparti de façon équitable entre les autres tiges qui n'ont pas été martelées (bourrage). Ceci permet de tenir compte qu'une tige non martelée positivement bénéficiera quand même de l'effet de l'éclaircie. Il est possible d'observer les unités disponibles pour le dégagement. Pour mettre à jour les unités, il faut utiliser le bouton « Calculer les unités disponibles pour le dégagement » (Figure 4 - P). Ce dernier est accessible à tout moment lorsque la simulation est arrêtée à un quinquennal donné et qu'un traitement est requis. Dans le cas où la simulation serait arrêtée seulement pour des raisons d'affichage de la table, et qu'il n'y a aucun traitement de prévu, cette fonction de mise à jour des unités de dégagement n'est plus accessible.

En plus de l'affichage des unités de dégagement, il est possible de suivre dans cette fenêtre la surface terrière avant et après martelage, la surface terrière récoltée par le traitement, la diminution de la surface terrière exprimée en pourcentage et la diminution en volume après intervention (Figure 4 - Q). Cohorte affichera dans cette fenêtre les statistiques du dernier quinquennal soit : l'accroissement brut, l'accroissement net, la mortalité et le recrutement, tous en terme de surface terrière, ainsi que la variation du volume en mètre cube par hectare (Figure 4 - R). Lorsqu'il y a arrêt de la simulation pour effectuer un traitement, l'utilisateur peut à tout moment réinitialiser les colonnes de martelage à zéro et ce, grâce au bouton « Réinitialiser la table à l'année en cours » (Figure 4 - S). Cette fonctionnalité est utile si l'utilisateur s'est trompé durant le martelage et désire recommencer celui-ci.

Il sera possible, ultérieurement, de faire le martelage de la table de stock à l'aide de requêtes, plutôt que de le faire manuellement (Figure 4 - T). Un exemple de requête pourrait être de marteler avec une intensité de 30% tout en respectant la proportion des vigueurs 1 et 3. Cette fonctionnalité sera accessible sous peu.

Enfin, Cohorte produit pour chaque scénario de simulation trois bases de données « .dbf » qui contiennent respectivement des informations sur les tiges (non montrée dans ce document car surdimensionnée), la mortalité (Figure 5) et les caractéristiques générales du peuplement (Figure 6). La table sur la mortalité est archivée selon l'essence (Ess), le diamètre à hauteur de poitrine (Dhp), la vigueur (Vigueur), la qualité (Qualité) et le temps de la simulation (Temps). On retrouve également comme information dans cette table la surface terrière de la tige morte (St), sa croissance (Croiss) ainsi que sa probabilité de mortalité (Prob\_mort). L'accroissement, l'accroissement net, la mortalité et le recrutement, tous exprimés en surface terrière, composent la table de données sur les caractéristiques générales du peuplement (Figure 6).

## **L'outil Rassembleur**

L'outil appelé « Rassembleur » est un programme élaboré en Visual Basic qui permet de réunir et de structurer les informations relatives à plusieurs scénarios de simulation et ce, par type de sorties de Cohorte (mortalité - Mort, caractéristiques du peuplement - Statistique, informations sur les tiges - Total). La fenêtre d'ouverture de ce programme (Figure 7) nous permet de sélectionner à la fois les différents scénarios de simulations qui nous intéressent (Figure 7 - U) mais aussi la nature des sorties de Cohorte (Mort, Statistique et Total). Les tables de données résultantes sur la mortalité (Mort) et les tiges (Total) sont par la suite utilisées pour la création des courbes d'attributs, alors que la table sur les caractéristiques du peuplement (Statistique) sert à alimenter le Créateur de courbes de croissance. Toutefois, ce dernier peut être également alimenté directement par les sorties de Cohorte.

Essence	Dhp	Vigueur	Qualite	St	Croiss	Nb_tiges	Prob_mort	No_tiges	Temps
BOJ	12.0	1	A	0.00366	1.52	0.32402	0.0199	1	5
BOJ	16.0	2	A	0.00182	1.52	0.09085	0.0199	2	5
BOJ	16.0	1	A	0.00182	1.52	0.09085	0.0199	3	5
BOJ	18.0	4	A	0.01850	1.11	0.72706	0.2000	4	5
BOJ	18.0	1	A	0.00184	1.52	0.07260	0.0199	5	5
BOJ	20.0	1	A	0.00293	1.52	0.09327	0.0316	6	5
BOJ	22.0	4	A	0.00292	1.11	0.07705	0.0316	7	5
BOJ	24.0	1	A	0.00352	1.52	0.07798	0.0316	8	5
BOJ	28.0	1	A	0.00352	1.52	0.05726	0.0316	9	5
BOJ	28.0	3	A	0.00352	1.11	0.05726	0.0316	10	5
BOJ	30.0	1	A	0.00320	1.52	0.04533	0.0288	11	5
BOJ	32.0	2	A	0.00320	1.52	0.03983	0.0288	12	5
BOJ	32.0	1	A	0.00320	1.52	0.03983	0.0288	13	5
BOJ	36.0	4	A	0.02223	1.11	0.21848	0.2000	14	5

Figure 5. Exemple d'une table de mortalité produite par Cohorte pour un scénario de simulation.

Annee	Acc_st	Acc_st_net	Mort_st	Recru_st	Volume	St
0	0.00	0.00	0.00	0.00	131.75	15.73
5	2.13	1.66	0.47	0.42	152.39	17.39
10	2.17	1.63	0.54	0.33	159.44	19.02
15	2.16	1.56	0.60	0.24	176.46	20.58
20	2.18	1.52	0.66	0.20	192.24	22.10
25	2.18	1.44	0.74	0.15	206.47	23.54
30	2.18	1.38	0.80	0.13	220.12	24.92
35	2.17	1.29	0.88	0.12	233.44	26.21
40	2.16	1.21	0.95	0.11	243.48	27.42
45	2.13	1.11	1.02	0.09	258.98	28.53
50	2.10	1.03	1.07	0.08	269.91	29.56

Figure 6. Exemple d'une table de statistiques produite par Cohorte pour un scénario de simulation.

### L'outil Créateur de courbes de croissance

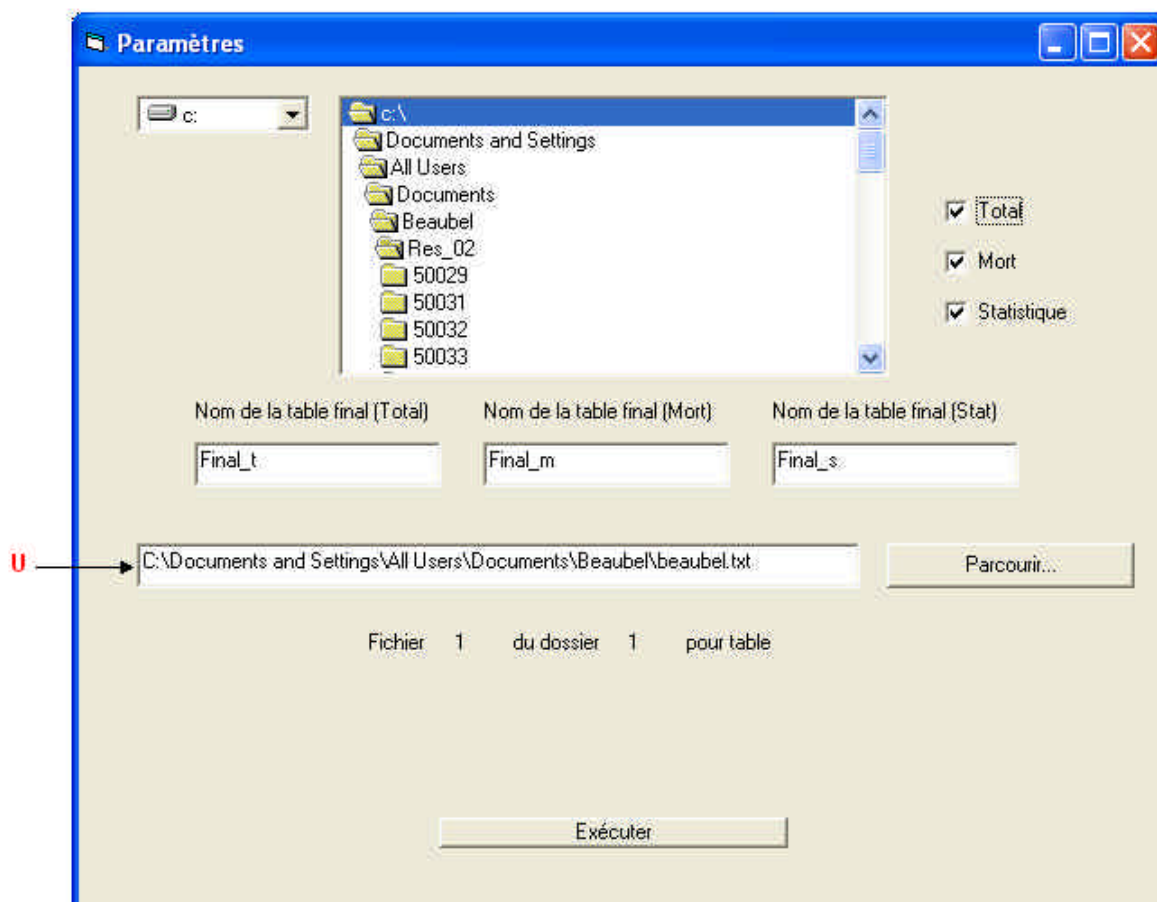
Le Créateur de courbes de croissance est un outil qui permet de créer pour un thème particulier, généralement une série d'aménagement, une courbe de croissance exprimée en terme de surface terrière en fonction du temps. Pour arriver à cette fin, les données provenant de la simulation sur 20 ans dans Cohorte des différents niveaux de surface terrière d'une série d'aménagement sont incorporées dans un chiffrier Excel (.xls) (Tableau 8). Les faisceaux de courbes correspondant à ces données peuvent être alors visualisés (Figure 7), permettant ainsi la détection et la correction d'irrégularités avant le passage aux étapes suivantes. Les différentes courbes de croissance ainsi produites par Cohorte sont alors raboutées en utilisant la procédure suivante :

- 1) La pente de la croissance sur 20 ans de la table de peuplement de départ ( $10 \text{ m}^2$ ) est estimée à l'aide d'une droite ;
- 2) L'année qui correspond à la surface terrière de la classe suivante ( $12 \text{ m}^2$ ) est calculée à l'aide de la valeur de la pente obtenue à l'étape 1 ;



- 3) Une nouvelle pente est alors trouvée pour ce début de courbe de croissance (10 et 12 m<sup>2</sup>) en utilisant les résultats de la simulation de ces deux tables de peuplement ;
- 4) À l'aide de cette nouvelle pente, les étapes 2 et 3 sont alors répétées pour chacune des nouvelles tables de peuplement existantes (14 m<sup>2</sup>, 16 m<sup>2</sup>, etc..) au niveau d'une série d'aménagement.

La courbe de croissance en surface terrière d'une série d'aménagement en fonction du temps est ainsi construite par l'ajout successive de portions de 2 m<sup>2</sup> (Figure 8).

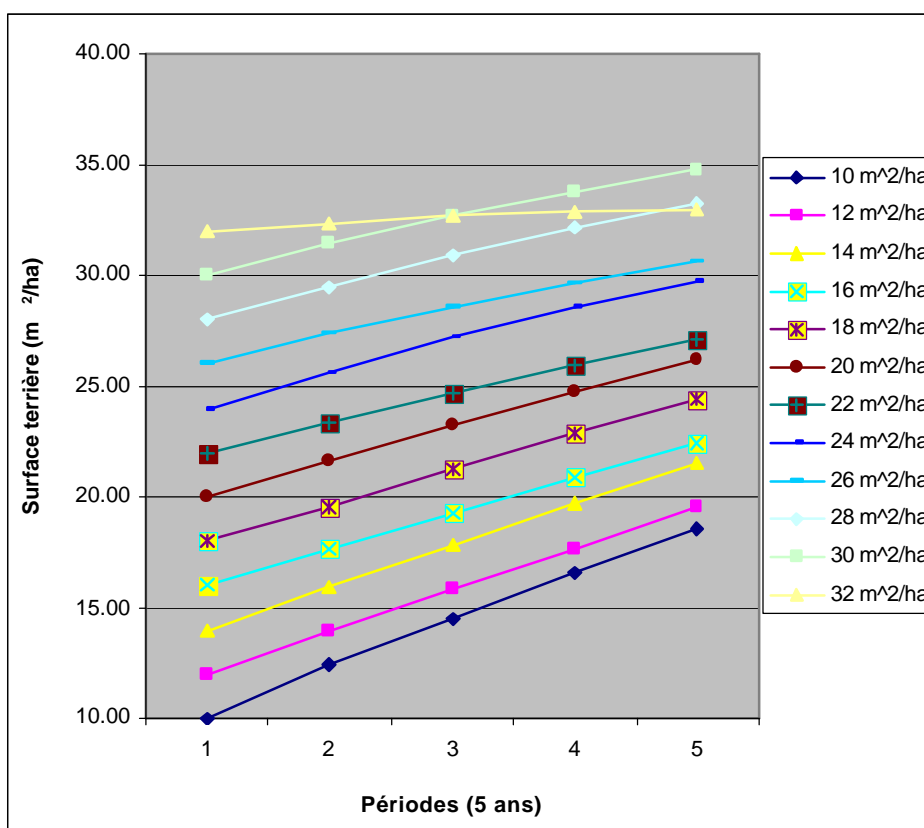


**Figure 7. Exemple de la fenêtre d'ouverture du programme appelé « Rassembleur ».**

Chaque valeur de temps calculée à l'étape numéro 2, pour une surface terrière donnée et servant à construire la courbe de croissance (Figure 9), est consignée au tableau 9 sous le terme « Années ». Les valeurs de la section en jaune de ce tableau correspondent donc au nombre d'années que prendra la strate ou le peuplement simulé pour passer d'une surface terrière de 10 à celle indiquée. Puisque le logiciel Patchworks fonctionne avec un pas de cinq ans, une valeur de surface terrière a dû être évaluée à partir de la même courbe et ce, à partir du temps zéro et pour chaque quinquennal subséquent. Ce calcul a été fait en considérant le taux de croissance entre chaque classe de 2m<sup>2</sup> de surface terrière.

**Tableau 8. Exemple d'un tableau synthèse des résultats de simulation dans Cohorte pour différents niveaux de surface terrière d'une série d'aménagement**

Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Périodes (années)				
	0	5	10	15	20
10	10.00	12.39	14.51	16.57	18.59
12	12.00	13.95	15.84	17.70	19.53
14	14.00	15.93	17.84	19.72	21.54
16	16.00	17.65	19.31	20.90	22.43
18	18.00	19.52	21.28	22.88	24.42
20	20.00	21.64	23.25	24.77	26.19
22	22.00	23.36	24.69	25.95	27.15
24	24.00	25.63	27.17	28.53	29.77
26	26.00	27.35	28.60	29.67	30.64
28	28.00	29.46	30.87	32.13	33.22
30	30.00	31.43	32.70	33.81	34.77
32	32.00	32.37	32.68	32.87	33.01
34	34.00	35.17	36.3	37.34	38.28



**Figure 8. Représentation visuelle des résultats de simulation dans Cohorte de différents niveaux de surface terrière d'une série d'aménagement.**



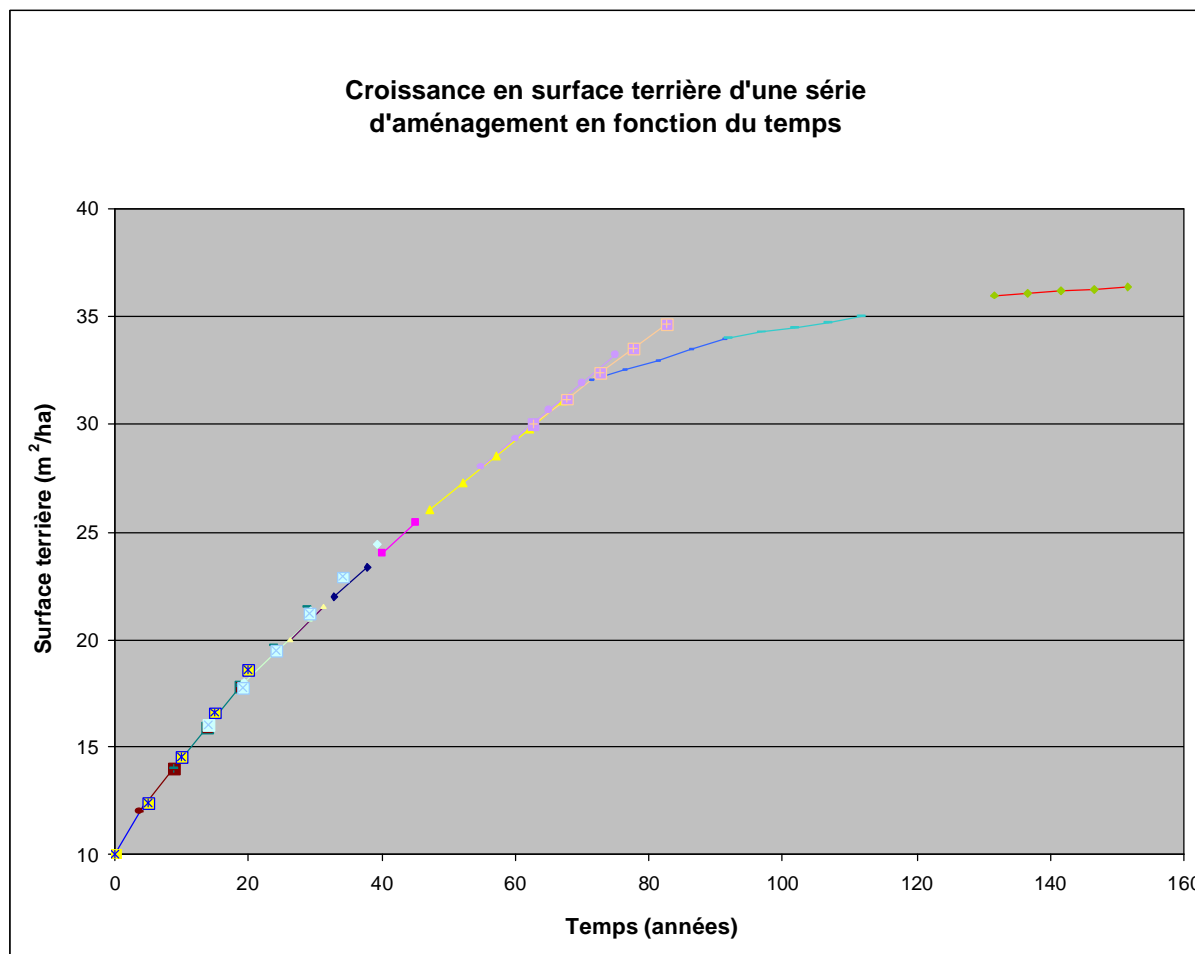


Figure 9. Représentation visuelle de la construction par étape de la courbe de croissance en surface terrière d'une série d'aménagement en fonction du temps.

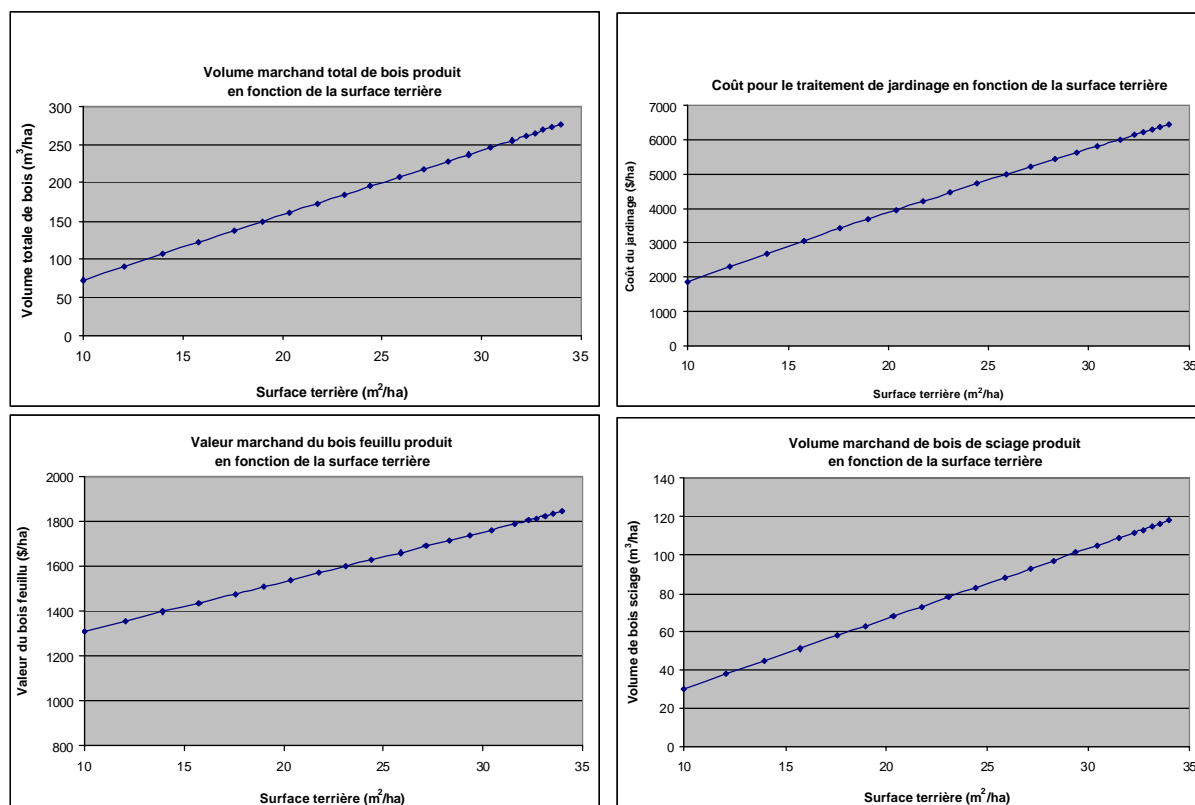
Tableau 9. Surface terrière par quinquennal (en jaune) et le nombre d'années nécessaire pour atteindre une surface terrière donnée (en bleu)

Pas	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
ST1*	10	12.5	14.4	16.3	18.2	19.6	21.1	22.6	24	25.4	26.7	28	29.3	30.4	31.3	32.1	32.4
ST2*	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34				
Années	0	3.75	8.9	14.1	19.4	26.2	32.8	40.1	47	55	62.6	74	103				
Pas	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	130	135	140	145	150	155
ST1	32.8	33.1	33.4	33.8	34	34.1	34.2	34.2	34.3	34.4	34.4	34.4	34.4	34.5	34.6	34.6	34.7
ST2																	
Années																	

\*Surface terrière (m<sup>2</sup>/ha)

## L'outil Créateur de courbes d'attributs

Les tables produites par le programme « Rassembleur » sur la mortalité et les caractéristiques des tiges sont acheminées dans un fichier Access où les données sont extraites de façon à produire différentes courbes de valeurs d'attributs (Figure 10). Le volume marchand total ou la valeur en bois de sciage sont des exemples d'attributs qui peuvent caractériser une série d'aménagement pour une surface terrière donnée (ou à un temps donné dans le logiciel Patchworks) (Figure 10). Il existe une multitude d'attributs dont certains exemples sont mentionnés au tableau 10.



**Figure 10. Exemples de courbes d'attributs utilisées avec le logiciel Patchworks.**

## L'outil Créateur de fichiers XML

La dernière étape pour que le logiciel Patchworks soit opérationnel consiste à y introduire les courbes d'attributs et les courbes de croissance, calculées pour les différentes séries d'aménagement, en format « .xml » (Extensible Markup Language). Un programme a donc été créé pour transformer dans ce format les différentes courbes d'attributs et de croissances. Un exemple d'entrée dans Patchworks d'un attribut pour une série d'aménagement, en l'occurrence le volume total, est illustré à la figure 11. L'ensemble des paramètres du modèle forestier que l'on veut introduire dans Patchworks est converti à ce format à l'aide de cet outil. Il est donc possible de produire rapidement un grand nombre de scénarios et de les comparer entre eux.

**Tableau 10. Exemples de types d'attributs utilisés avec le logiciel Patchworks**

Type	Famille	Description
En forêt	Vigueur	Surface terrière en tiges vigoureuses
En forêt	Vigueur	Surface terrière en tiges non vigoureuses
En forêt	Stade	Superficie par classe de surface terrière
En forêt	Structure	Surface terrière totale en tiges de 30 cm et plus
En forêt	Structure	Surface terrière totale en tiges de 50 cm et plus
En forêt	Structure	Superficie en séries équiennes
En forêt	Structure	Superficie en séries inéquiennes
En forêt	Structure	Diamètre moyen des tiges
En forêt	Volume	Volume sur pied total
En forêt	Volume	Volume sur pied de déroulage d'essences feuillues
En forêt	Volume	Volume sur pied de sciage d'essences feuillues
En forêt	Volume	Volume sur pied de pâte d'essences feuillues
En forêt	Volume	Volume sur pied de sciage d'essences résineuses
En forêt	Volume	Volume sur pied de pâte d'essences résineuses
En forêt	Valeur	Valeur totale sur pied de produits d'essences feuillues
En forêt	Valeur	Valeur totale sur pied de produits d'essences résineuses
En forêt	Mort	Volume de bois feuillu mourant annuellement
En forêt	Mort	Volume de bois résineux mourant annuellement
Produits	Vigueur	Superficie inéquienne traitée en peuplements vigoureux, moyen et non vigoureux
Produits	Stade	Superficie traitée par classe de surface terrière
Produits	Volume	Volume prélevé en déroulage d'essences feuillues
Produits	Volume	Volume prélevé en sciage d'essences feuillues
Produits	Volume	Volume prélevé en pâte d'essences feuillues
Produits	Volume	Volume prélevé en sciage d'essences résineuses
Produits	Volume	Volume prélevé en pâte d'essences résineuses
Produits	Valeur	Valeur prélevée de produits d'essences feuillues
Produits	Valeur	Valeur prélevée de produits d'essences résineuses
Produits	Coûts	Coût de construction de chemins
Produits	Coûts	Coût d'entretien de chemins
Produits	Coûts	Coût du transport de bois
Produits	Coûts	Coût d'abattage et de débusquage
Produits	-	Indice "Équivalent coupe totale"

```
<attribute label="%f.vol_Cohorte" cycle="false" factor="1" future="1">
<curve factor="1">
<point x="0" y="72.921" />
  <point x="5" y="93.9366" />
  <point x="10" y="110.3068" />
  <point x="15" y="126.4823" />
  <point x="20" y="142.1554" />
  <point x="25" y="154.4488" />
  <point x="30" y="167.1532" />
  <point x="35" y="179.4364" />
  <point x="40" y="191.003" />
  <point x="45" y="203.2311" />
  <point x="50" y="214.5347" />
  <point x="55" y="225.1968" />
  <point x="60" y="236.3005" />
  <point x="65" y="245.6134" />
  <point x="70" y="253.0173" />
  <point x="75" y="259.5236" />
  <point x="80" y="262.4392" />
  <point x="85" y="265.3549" />
  <point x="90" y="268.2706" />
  <point x="95" y="271.1862" />
  <point x="100" y="274.1019" />
  <point x="105" y="276.0814" />
  <point x="110" y="276.6566" />
  <point x="115" y="277.2318" />
  <point x="120" y="277.807" />
  <point x="125" y="278.3822" />
  <point x="130" y="278.9574" />
  <point x="135" y="279.5326" />
  <point x="140" y="280.1078" />
  <point x="145" y="280.683" />
  <point x="150" y="281.2582" />
  <point x="155" y="281.8334" />
  <point x="160" y="282.4086" />
  <point x="165" y="282.9838" />
  <point x="170" y="283.559" />
</curve>
</attribute>
```

**Figure 11. Exemples d'une courbe d'attribut en format XML prête à être utilisée par le logiciel Patchworks.**

## **CONCLUSION**

Ce guide des outils d'aide à l'utilisation de Patchworks permettra aux personnes intéressées d'utiliser ce logiciel dans le contexte de la forêt feuillue en convertissant les données provenant des placettes échantillons en des courbes de croissances et d'attributs. Ces courbes peuvent être par la suite introduites rapidement dans Patchworks. Il s'agit d'une méthodologie unique puisqu'elle permet d'introduire les sorties d'un simulateur de croissance à l'arbre près, adaptée à la forêt feuillue, dans un logiciel de planification forestière spatialement explicite conçu pour la forêt résineuse.

Cette nouvelle technologie ouvre les portes à une foresterie mieux adaptée aux besoins actuels et futurs puisqu'elle permettra de faire la démonstration de la durabilité des plans d'aménagement en forêt feuillue.

## RÉFÉRENCES

- Auger, I., F. Raulier et C.-H. Ung. 2004.** Erreur de prédiction associée au modèle de croissance « par taux ». Chapitre 6. Pages 125-158 *in* Rapport détaillé du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de la possibilité forestière. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche scientifique.
- Botkin, D.B. 1993.** Forest dynamics : An ecological model. Oxford University Press, Oxford and New York, 309 p.
- Burkhart, H. E. 1990.** Status and future of growth and yield models. Pages 409-414 *in* Proc. Symp. on state-of-the-art methodology of forest inventory. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep., PNW GTR-263.
- Doyon, F. 2002a.** Évaluation de différents régimes de répartition spatiale de coupes sur la biodiversité, le dérangement sonore et la rentabilité économique dans la Réserve faunique Rouge-Matawin. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 115 p.
- Doyon, F. 2002b.** Évaluation de différents régimes de répartition spatiale de coupes sur la rentabilité forestière et sur la connectivité des habitats dans l'aire commune 73-03. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 91 p.
- Doyon, F. 2003.** Synthèse du colloque sur la planification forestière. L'aménagement intégré des ressources en milieu forestier : concepts et outils. Université du Québec à Rimouski. 31 octobre et 1<sup>er</sup> novembre 2002. 46 p.
- Doyon, F. 2004.** Évaluation du modèle d'accroissement par taux de Sylva. II Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 31 p.
- Doyon, F., Nolet, P. et R. Pouliot. 2005.** COHORTE : un modèle de croissance et d'évolution de la qualité adapté à l'application de coupes partielles. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique. 50 p.
- Ek, A. R., S.R. Shifley et T.E. Burk. 1988.** Forest Growth Modelling and Prediction. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep., NC-120. 1149 p.
- Forget, É., F. Doyon et P. Nolet. 2001.** L'évolution de la qualité des tiges : une évaluation régionale. Rapport de l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. 35 p.
- Gouvernement du Québec. 1998.** Manuel d'aménagement forestier. Troisième édition. Documents d'annexe. Direction des programmes forestiers, ministère des Ressources naturelles.
- Groupe OptiVert inc. 2004a.** Étude sur la sensibilité des calculs de la possibilité forestière à rendement soutenu en relation avec certains intrants et hypothèses forestières. Volet III. Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. 42 p. et annexes.
- Groupe OptiVert inc. 2004b.** Étude sur la sensibilité des calculs de la possibilité forestière à rendement soutenu en relation avec certains intrants et hypothèses forestières. Volet IV. Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. 84 p. et annexes.
- Hilt, D. E. et R.M. Teck. 1989.** NE-TWIGS : an individual-tree growth and yield projection system for the northeastern United States. The Compiler 7: 10-16.
- Kimmins, J. P. 1990.** Modelling the sustainability of forest production and yield for a changing and uncertain future. Forestry Chronicle 66: 271-280.

- Messier, C., P. Bernier, E. Lo et D. Coates. 2000.** Le rôle et l'importance des modèles de simulation en foresterie pour le Québec. L'Aubelle, Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Mars-Juin, numéro 133.
- Messier, C., M.-J. Fortin, F. Smiegelow, F. Doyon, S. G. Cumming, J. P. Kimmins, B. Seely, C. Whelam, et J. Nelson. 2003.** Modelling tools to assess the sustainability of forest management scenarios. Pages 531-580 *in* Towards sustainable management of the boreal forest, P. J. Burton, C. Messier, D. W. Smith et W. L. Adamoviicz. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada.
- Plonski, W. L. 1974.** Normal yield tables (metric) for major species of Ontario. Ministry of Natural Resources, Division of forests, Toronto, Ontario. 40 p.
- Schütz, J.-P. 1984.** La sylviculture. Principes d'éducation des forêts. Collection Gérer son environnement. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lauzanne, Suisse. 243 p.
- SPSS. 1988.** Statistical Package for Social Science : SPSS-X User's Guide. Chicago, Illinois. 1072 p.
- Stage, A. R. 1973.** Prognosis model for stand development. USDA For. Serv., Res. Pap., INT-137. 32 p.
- Teak, R., M. Moeur et B. Eav. 1996.** Forecasting ecosystems with the forest vegetation simulator. J. For. 94:7-10.