Ressources naturelles Canada | Natural Resources Canada

SERVICE CANADIEN DES FORÊTS
CENTRE CANADIEN SUR LA FIBRE DE BOIS

Revue de l'état actuel des modèles de prédiction de la qualité du bois et des systèmes d'aide à la décision au Canada

Maurice Defo, Isabelle Duchesne et James Stewart

RAPPORT D'INFORMATION
FI-X-012

Septembre 2015

Centre canadien sur la fibre de bois
Concertation pour optimiser la valeur de la fibre de bois – des solutions pour le secteur forestier avec FPInnovations

Canada

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada 2016
Numéro de catalogue Fo148-1/12F-PDF
ISBN 978-0-660-04087-5
ISSN 1929-9680

Le Centre canadien sur la fibre de bois réunit des chercheurs du secteur forestier qui tentent d'élaborer des solutions responsables sur le plan environnemental pour les industries de la fibre de bois du secteur forestier canadien. Sa mission vise à constituer un savoir novateur pour accroître les débouchés économiques afin que le secteur forestier puisse tirer profit des fibres ligneuses canadiennes. Le Centre canadien sur la fibre de bois fonctionne au sein du Service canadien des forêts, mais sous l'égide du conseil d'administration de FPInnovations.

FPInnovations est le plus important institut de recherche forestière privé à but non lucratif du monde. Avec plus de 500 employés déployés à travers le Canada, FPInnovations regroupe les expertises de plusieurs instituts de recherche et de développement reconnus mondialement en une force plus grande et unique. Pour de plus amples renseignements, veuillez visiter : **FPInnovations.ca**.

Des renseignements sur les travaux du Centre canadien sur la fibre de bois sont disponibles sur le Web, à l'adresse : **rncan.gc.ca/forets/centres-recherche/ccfb/13458**. Pour télécharger ou commander des exemplaires supplémentaires de la présente publication, visitez le site Web « Publications du Service canadien des forêts » : **scf.rncan.gc.ca/publications**.

Table des matières

Résumé 1
1. Introduction 4
2. Méthode 5
3. Modèles de prédiction de la qualité du bois 7
3.1. Résultats de l'examen de la revue de littérature 7
3.1.1. Survol des modèles 7
3.1.2. Modèles par organisation 9
3.1.3. Essences d'arbres modélisées 10
3.1.4. Attributs de la qualité du bois modélisés 12
3.1.5. Échelle de modélisation et résolution des modèles 15
3.1.6. Approches de modélisation 16
3.2. Résultats de l'enquête par questionnaire 17
4. Simulateurs de croissance et de rendement 18
5. Systèmes d'aide à la décision (SAD) 23
6. Degré d'intégration des modèles 25
7. La boîte à outils du CCFB 29
7.1. Modèles achevés 29
7.2. Modèles en cours d'élaboration 32
7.3. Systèmes d'aide à la décision 33
8. Résumé de la séance de remue-méninges 37
8.1 Défis techniques et solutions possibles 37
8.1.1. Données 37
8.1.2. Modélisation 39
8.1.3. Développement de logiciels (SAD) 40
8.2. Défis organisationnels et solutions possibles 41
9. Conclusions et recommandations 43
10. Remerciements 47
11. Références bibliographiques 48

Annexes

A1. Questionnaire d'enquête sur la qualité du bois 59
A2. Questionnaire d'enquête sur les simulateurs de croissance et de rendement 63
A3. Questionnaire d'enquête sur les systèmes d'aide à la décision 69
A4. Liste des publications consultées portant sur la qualité du bois 75
A5. Liste des modèles et simulateurs de croissance et de rendement 85
A6. Liste des systèmes d'aide à la décision 89
A7. Programme de l'atelier 103
A8. Résultats de l'atelier – quatre questions 108

Question 1 : Que devrions-nous faire ou ne pas faire? 108
Question 2 : Quels sont les besoins actuels? 109
Question 3 : Quels sont les plus grands obstacles ou défis? 112
Question 4 : Qu'est-ce qui manque (lacunes) en vue de réaliser cette mission? 113
A9. Résultats de l'atelier – Arbres conceptuels 116
A10. Résultats de l'atelier – Notocollants 118

Résumé

Afin de bien choisir la fibre qui correspondra exactement à l'utilisation finale que l'on veut en faire et permettra de maximiser la valeur du produit, il importe de bien connaître la quantité et la qualité des ressources forestières. Il est tout aussi important de comprendre les effets de nos décisions en matière d'aménagement forestier sur la qualité du bois. Le secteur forestier canadien est-il conscient que la qualité de l'approvisionnement en bois pourrait changer en raison de la sylviculture intensive, des plantations à plus courte rotation et du changement climatique, et est-il prêt à y faire face? Quelles propriétés du bois seront les plus affectées? Pour répondre à ces questions et pour aider les intervenants à prendre les bonnes décisions en matière d'aménagement forestier au pays, il faut bien connaître les attributs de qualité de l'arbre et du bois, ainsi que les outils d'optimisation de la chaîne de valeur.

Ce projet avait pour but de promouvoir l'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois, mis au point par le Centre canadien sur la fibre de bois (CCFB) et d'autres organisations, aux simulateurs de croissance et de rendement ou aux outils d'optimisation de la chaîne de valeur afin que le secteur forestier et des produits de bois puissent tirer un maximum d'avantages de ces modèles. La démarche comportait trois volets : effectuer une revue de littérature sur les modèles de prédiction de la qualité du bois, sur les simulateurs de croissance et de rendement, et sur les systèmes d'aide à la décision afin de dresser un portrait clair de la situation au Canada; réaliser une enquête par questionnaire auprès des concepteurs de modèles afin d'évaluer le niveau d'intégration de leurs modèles; organiser un atelier national réunissant des spécialistes afin de discuter des défis liés à l'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois aux systèmes d'aide à la décision, et de réfléchir à une stratégie visant à surmonter ces défis.

La revue de littérature a révélé que le CCFB et d'autres organisations ont produit plus de 350 modèles visant à prédire un large éventail d'attributs de la qualité du bois de certaines essences commerciales importantes. La plupart des initiatives réalisées à ce jour concernaient le pin tordu latifolié, le sapin de Douglas et la pruche occidentale, dans les provinces de l'Ouest, ainsi que l'épinette noire, le pin gris, l'épinette blanche et le sapin baumier, dans les provinces de l'Est. Moins d'efforts ont été consacrés aux essences de feuillus. Ce sont principalement le défilement, la densité du bois, la branchaison/les nœuds et le module d'élasticité qui ont retenu l'attention relativement aux attributs. À partir des résultats découlant de cette analyse et de l'information recueillie lors de l'atelier, nous avons décelé six grandes lacunes et formulé des recommandations en vue de les corriger.

1. Il serait nécessaire d'améliorer la communication entre les concepteurs de modèles de prédiction de la qualité du bois et les concepteurs de simulateurs de croissance et de rendement, et d'outils d'aide à la décision. Les efforts déployés présentement ne sont pas coordonnés et les modèles sont développés à des échelles et ont recours à des données qui ne sont pas compatibles avec d'autres outils de planification et de projection.

2. De nombreux modèles de prédiction de la qualité du bois ont été conçus et publiés en tant qu'équations indépendantes, sans autre développement prévu. Pour qu'un modèle soit utile à la projection de la croissance ou à la prise de décision aux niveaux opérationnel, tactique ou stratégique, il doit être lié aux simulateurs de croissance et de rendement, ou aux systèmes d'aide à la décision.

3. La plupart des simulateurs de croissance et de rendement, et des systèmes d'aide à la décision au pays ont atteint un degré de maturité et de souplesse qui leur permet d'accepter les modèles de prédiction de la qualité du bois. Toutefois, il faudrait continuer à développer des modèles de prédiction de la qualité du bois robustes, précis, ouverts et validés sur lesquels on pourra appuyer les décisions en matière d'aménagement forestier et qui sont compatibles avec les échelles et les types de variables utilisés. Il serait nécessaire de constituer un programme national auquel prendraient part des chercheurs et des professionnels provenant de disciplines et de secteurs variés, afin de coordonner les activités de recherche et d'aider à définir les normes ou les pratiques exemplaires en matière d'échantillonnage, d'acquisition de données et de systèmes de diffusion de l'information.

4. Il est très important de comprendre les différences au niveau de la qualité du bois dans l'ensemble du paysage forestier pour l'aménagement et la planification (p. ex., pour adapter les procédés de fabrication à l'approvisionnement en fibres). Mis à part le réseau ForêtValeur (ForValueNet) et quelques projets réalisés récemment, comme le Projet d'inventaire de la fibre à Terre-Neuve-et-Labrador ou l'Indice de qualité du bois (IQB) du Québec, la recherche sur les modèles de prédiction de la qualité du bois est effectuée à petite échelle ou dans le cadre d'efforts fragmentaires. Une approche de modélisation intégrée à grande échelle, auxquels participeraient d'autres partenaires pour l'acquisition et la gestion des données, serait avantageuse pour les nouveaux travaux de recherche.

5. L'incidence économique est bien connue uniquement pour certains attributs de la qualité du bois. Il serait nécessaire de poursuivre la recherche et d'effectuer d'autres études de cas, en plus de procéder à une méta-analyse en vue de développer une application plus générale des résultats des études de cas individuelles. Ainsi, il serait possible de classer par ordre de priorité les attributs des forêts actuelles, de mieux prévoir ceux des forêts du futur et d'investir des ressources dans le but de produire les essences qui présentent les attributs souhaitables pour l'avenir; ces mesures conjuguées auraient probablement pour effet d'accroître la participation et l'intérêt des intervenants du milieu forestier à l'égard de l'évaluation et de la modélisation de la qualité du bois.

6. Le manque d'uniformité des procédures d'échantillonnage, l'incompatibilité entre les données en raison des différentes techniques ou des méthodes d'évaluation, et l'absence de normes rendent souvent difficile ou même impossible la comparaison entre les études. Pour cartographier les attributs de la qualité du bois à une échelle régionale ou nationale afin d'offrir une vue d'ensemble, il faudra se fier aux données provenant de plusieurs sources. Comme les données seront issues de différentes méthodes ou techniques, il faudrait développer des facteurs de conversion fiables.

Les recommandations des auteurs sont les suivantes :

Recommandation 1
Former une **équipe interne d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois** pour le CCFB et FPInnovations qui agira à titre de groupe consultatif national et qui réunira des spécialistes de plusieurs disciplines, notamment des programmeurs, des concepteurs de modèles, des chercheurs et des gestionnaires des deux organisations. L'équipe s'attaquerait aux enjeux susmentionnés, probablement en mettant sur pied des sous-comités et en invitant des spécialistes de l'extérieur à y participer. L'équipe aurait pour objectifs ce qui suit :

A1 : Formuler des recommandations au CCFB et à FPInnovations au sujet des priorités nationales en matière de modélisation.

A2 : Analyser les modèles de prédiction de la qualité du bois et les systèmes d'aide à la décision disponibles, et déterminer ceux à intégrer en fonction de la compatibilité, de leur importance pour le secteur forestier et de la faisabilité. L'intégration de ces modèles et de ces systèmes prendrait la forme d'un projet de démonstration.

A3 : Évaluer et établir des normes pour la mesure de la qualité du bois, et développer des facteurs de conversion lorsque plusieurs méthodes sont utilisées. Publier ces normes aux fins d'examen et d'adoption par d'autres organismes.

Recommandation 2

Améliorer les aspects économiques liés aux modèles de prédiction de la qualité du bois et à leur intégration dans le cadre du programme Modélisation et aide à la décision (MAD) de FPInnovations, en réalisant un plus grand nombre d'études de cas auxquelles participent des chercheurs, des économistes et des spécialistes des marchés pour diverses chaînes d'approvisionnement couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur du secteur forestier, afin de déterminer la valeur économique associée à des attributs sélectionnés. Le programme MAD aurait pour objectifs ce qui suit :

A4 : Examiner l'étendue et la représentation des études déjà menées sur la qualité du bois dans la chaîne d'approvisionnement, afin d'évaluer les options de généralisation des résultats révélés dans les études de cas par le truchement d'une méta-analyse et d'orienter les travaux futurs vers les aspects qui requièrent de l'information (par emplacement, essence et processeur).

Recommandation 3

Mettre sur pied un groupe de travail, un réseau ou une communauté de pratique à l'échelle nationale pour réunir les chercheurs et les intervenants du milieu forestier. L'équipe conjointe d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois de CCFB/FPInnovations jouerait un rôle de premier plan en établissant et en soutenant cette collaboration avec des partenaires externes (universités, gouvernements et secteur forestier). Ce groupe de travail aurait pour objectifs ce qui suit :

B1 : Créer une communauté de pratique en matière de qualité du bois pour favoriser le partage d'information et la coordination des efforts entre les organisations qui participent aux activités de recherche et de développement (R et D) sur la qualité du bois menées au Canada.

B2 : Analyser les modèles de prédiction de la qualité du bois et les systèmes d'aide à la décision offerts par d'autres organismes que le CCFB et FPInnovations, et désigner ceux qui pourraient faire partie du processus d'intégration.

B3 : Définir une vision commune, des normes et des pratiques exemplaires; concevoir un cadre conceptuel pour la modélisation et déterminer les variables principales à utiliser.

B4 : Élaborer une stratégie nationale visant les modèles de prédiction de la qualité du bois et leur intégration, et établir les partenariats nécessaires pour le faire; rechercher le financement approprié et mener à bien les activités.

1. Introduction

Une compréhension du processus de développement des attributs de la qualité du bois (AQB) des essences commerciales au Canada et de leurs variations est importante dans le contexte de l'optimisation de la chaîne de valeur forestière (récolte, tronçonnage, allocation des billes et transformation en produits) et de la planification de l'aménagement forestier à long terme. « *Dans le cadre d'un régime d'aménagement forestier axé sur la valeur, la meilleure stratégie économique pour atteindre l'objectif visant à maximiser les bénéfices nets (ou la différence entre la création de valeur et les coûts) consiste à favoriser les meilleurs débouchés en faisant correspondre les attributs de la fibre aux produits finaux qui utilisent le mieux la qualité de la fibre disponible.* » [Traduction] (Li, 2009). Pour ce faire, des modèles sont requis à chaque étape afin de prédire les propriétés des matières premières pertinentes, directement à partir de certaines variables d'entrée mesurables. Dans la planification à long terme de l'aménagement forestier, outre la sélection du matériel génétique au moment de la plantation, il est particulièrement intéressant de comprendre dans quelle mesure la qualité du bois peut subir l'influence des pratiques sylvicoles, et quels effets ces pratiques pourraient avoir sur le rendement économique de la forêt (Mäkelä et coll., 2010).

Au fil du temps, on a mis au point des modèles de croissance et de rendement (C et R), des simulateurs de C et R, et des systèmes d'aide à la décision (SAD) afin de faciliter les processus décisionnels dans la planification à long terme de l'aménagement forestier ou l'optimisation de la chaîne de valeur. Toutefois, dans la plupart des cas, le volume était le seul élément retenu. Le CCFB a été créé en 2006 et il s'est donné la mission de mettre en œuvre un savoir innovateur en vue d'accroître les possibilités économiques liées à la fibre de bois du secteur forestier du Canada. Au cours des années passées, en vertu d'un régime d'aménagement forestier axé sur la valeur, les efforts ont été dirigés vers la conception, par le CCFB ou d'autres instituts, de nouveaux outils d'évaluation et de modélisation de la qualité et de la valeur du bois.

Un modèle de prédiction de la qualité du bois se définit comme une équation ou un système d'équations qui relie les propriétés ou les attributs de la qualité du bois (AQB) à une certaine combinaison de variables mesurables, soit internes (p. ex., le nombre de cernes et la largeur du cerne) ou externes (p. ex., la dimension de l'arbre, son emplacement et le climat). Cette équation ou ce système peut être traduit en un code de programmation avec ou sans interface utilisateur. Bien qu'il est relativement simple de définir ce qu'est un modèle de prédiction de la qualité du bois, il est parfois plus difficile de faire la distinction entre un modèle de C et R, un simulateur de C et R et un SAD. Par souci de clarté, les auteurs ont adopté les définitions des éléments susmentionnés proposées par Garcia-Gonzalo et ses collaborateurs en 2012.

- **Modèle de croissance et de rendement :** Représentation dynamique de la forêt et de son comportement; par conséquent, un groupe d'équations qui décrit l'augmentation du diamètre et de la hauteur, le recrutement, la mortalité, etc., fait partie des modèles de croissance.
- **Simulateur de croissance et de rendement :** Outil informatique intégré qui, basé sur un ensemble de modèles forestiers, fait des prédictions à long terme sur l'état d'une forêt en vertu d'un certain scénario de conditions climatiques, de politiques de gestion ou d'aménagement forestier (p. ex., CAPSIS [Computer-Aided Projection Strategies In Silviculture, Dufour-Kowalski et coll., 2012], AMSIMOD [Application for the Management of Simulation MODels, Larocque et coll., 2014], FVS [Forest Vegetation Simulation, Hoover et Rebain, 2010] et TASS [Tree and Stand

Simulation, BC's Ministry of Forests, Lands and Natural Resources Operations, Di Lucca et coll., 2009]).

- **Système d'aide à la décision :** Plateforme logicielle qui aide à la prise de décisions concernant des systèmes compliqués, en intégrant une interface utilisateur, des outils de simulation, des règles expertes, les préférences des intervenants, la gestion d'une base de données et des algorithmes d'optimisation. Il arrive que l'optimisation ne soit pas comprise, et qu'elle soit remplacée par l'analyse de différents scénarios. En ce sens, un simulateur de C et R est en soi un SAD; cependant, dans ce rapport, les auteurs ont choisi de considérer séparément les simulateurs de C et R et les SAD.

Comme des efforts substantiels ont été requis pour concevoir des modèles de prédiction de la qualité du bois, et que le nombre de modèles produits ne cesse de croître, il devient important d'évaluer l'utilité et l'efficacité de ces modèles. Le présent projet avait pour but initial de promouvoir l'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois, mis au point par le CCFB et d'autres organisations, aux simulateurs de C et R ou aux outils d'optimisation de la chaîne de valeur afin que le secteur forestier et des produits du bois puissent tirer un maximum d'avantages de ces modèles.

Le projet a pour objectifs :

1) d'examiner les modèles existants conçus pour les essences canadiennes;
2) d'examiner les simulateurs de C et R existants utilisés présentement pour les essences canadiennes;
3) d'examiner les SAD utilisés présentement dans la chaîne de valeur forestière au Canada;
4) de déceler les lacunes sur le plan de l'information et du développement ainsi que les possibilités de créer et de relier les modèles, et d'améliorer les systèmes d'aide à la décision et les outils d'optimisation; et
5) de fournir de l'information et un cadre conceptuel afin d'appuyer les chercheurs du CCFB qui tentent d'intégrer leurs modèles de prédiction de la qualité du bois aux outils d'optimisation conçus par d'autres organisations.

2. Méthode

Le projet visait à répondre aux questions de recherche suivantes :

1) Combien d'études ont été consacrées aux modèles de prédiction de la qualité du bois des essences canadiennes?
2) Quels sont les simulateurs de C et R utilisés présentement pour la planification de l'aménagement forestier au Canada?
3) Quels sont les SAD utilisés présentement dans la chaîne de valeur forestière au Canada?
4) Quels sont les défis à surmonter avant de pouvoir intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois aux simulateurs de C et R ou aux SAD?
5) Que peut-on faire pour relever ces défis?

Question 1 : Modèles de prédiction de la qualité du bois

La première question touche plusieurs enjeux, notamment les essences et les attributs modélisés, les approches de modélisation, l'échelle de la modélisation et le degré de maturité des modèles (p. ex., s'ils sont déjà utilisés à des fins opérationnelles ou intégrés à un simulateur de C et R ou un SAD). Il n'a pas

été possible de trouver toute l'information concernant ces enjeux dans la littérature; par conséquent, les auteurs ont adopté deux approches : 1) la revue de la littérature; et 2) une enquête par questionnaire.

La revue de littérature avait pour but de trouver des articles publiés dans les revues spécialisées. On a consulté plusieurs bases de données pertinentes (CAB Abstracts, Agricola, AGRIS, Biological Abstracts, Scopus, etc.) en cherchant les termes « arbre », « tige », « bille » ou « bois » associés à « propriété », « caractéristique », « attribut » ou « qualité », et combinés aux termes « modèle* », « équation » ou « régression ». Afin de restreindre le nombre d'études, les auteurs ont filtré la recherche par région (c.-à-d. le Canada). À cette étape, les résultats affichaient encore un trop grand nombre d'articles dont la plupart n'étaient pas liés à la modélisation de la qualité du bois. Par conséquent, ils ont eu recours à la lecture des titres et des résumés afin d'éliminer les articles non pertinents. Une recherche manuelle dans les sections des travaux cités des articles trouvés par la recherche automatisée est venue compléter cette étape, en plus d'une recherche dans les articles et livres de synthèse sélectionnés (Zhang et Koubaa, 2008; Middleton et Zhang, 2009; Burgess et coll., 2011). À la fin de cette étape, 158 documents liés aux modèles de prédiction de la qualité du bois ont été retenus. Les auteurs sont convaincus d'avoir recensé la plupart des études sur la modélisation de la qualité du bois (à l'exclusion des études sur la génétique/génomique qui n'ont pas fait l'objet d'une recherche approfondie). Après avoir réuni toutes les publications, ils les ont examinées en détail afin de recueillir de l'information sur l'affiliation de l'auteur principal, l'année de publication, les essences et les attributs modélisés, la région visée par le modèle, la technique de modélisation, etc. Les modèles qui s'inscrivaient dans le cadre d'études génétiques/génomiques ont été conservés dans la base de données aux fins d'analyse préliminaire; toutefois, ils n'ont pas été pris en compte dans l'analyse finale.

Afin d'obtenir l'information non disponible dans la littérature, les auteurs ont préparé un questionnaire d'enquête (annexe A1) qu'ils ont distribué à des scientifiques et à des spécialistes travaillant dans le domaine de la modélisation de la qualité du bois, sélectionnés à partir des résultats de la revue de littérature, ou référés par des contacts personnels. Les réponses de l'enquête par questionnaire sur les modèles de prédiction de la qualité du bois ont été analysées séparément des résultats de la recherche documentaire.

Questions 2 et 3 : Simulateurs de C et R et SAD existants

En ce qui a trait aux simulateurs de C et R et aux SAD, une première recherche a été effectuée afin d'identifier les scientifiques et les spécialistes travaillant dans ce domaine. Certains d'entre eux avaient été désignés au préalable par les chercheurs du CCFB et de FPInnovations. Deux questionnaires, l'un concernant les simulateurs de C et R (annexe A2) et l'autre, les SAD (annexe A3), ont été préparés et distribués. Les versions définitives des questionnaires ont été élaborées à partir d'un document provisoire résumant les suggestions des chercheurs du CCFB et de FPInnovations concernant les problèmes et les défis à relever en vue de lier les modèles de prédiction des AQB aux simulateurs de C et R ou aux SAD. Les auteurs ont analysé et résumé les réponses obtenues.

Questions 4 et 5 : Analyse des lacunes et proposition de solutions

Il était déjà possible de dégager certaines observations et de formuler des recommandations à l'issue de l'analyse des résultats de la revue de la littérature et des réponses tirées du questionnaire d'enquête. Toutefois, dans le but de compléter cette étude préliminaire, on a organisé, en mars 2015, un atelier afin d'examiner plus en profondeur les problématiques qui nuisent à l'intégration des modèles de

prédiction de la qualité du bois aux modèles de C et R ou aux SAD. Les ateliers tenus à Victoria (Colombie-Britannique) et dans la ville de Québec (Québec) ont réuni 24 spécialistes de la Colombie-Britannique, de l'Alberta, de l'Ontario, du Québec et de Terre-Neuve-et-Labrador, qui ont participé aux présentations et aux séances de remue-méninges. Les ateliers ont permis au groupe de recueillir des idées et de proposer des pistes de solutions, qui sont présentées au chapitre 8 intitulé « Résumé de la séance de remue-méninges ». Le programme de l'atelier est reproduit à l'annexe A7.

3. Modèles de prédiction de la qualité du bois

3.1. Résultats de l'examen de la revue de littérature

3.1.1. Survol des modèles

Les auteurs ont d'abord examiné le nombre de publications au fil du temps en représentant le nombre d'articles par année (figure 1). La majorité des études sur la modélisation ont été réalisées au cours des deux dernières décennies, et on observe un regain d'intérêt au cours des dernières années. Avant 1995, peu d'études portaient sur la modélisation de la qualité du bois, par exemple, Heger (1974), Singh (1984, 1986), Yang et coll. (1986), Kozak (1988), Di Lucca (1989), Mitchell et coll. (1989), Hazenberg et Yang (1991a, b), et Hatton et Cook (1992). L'augmentation continue du nombre d'études depuis 2001 pourrait s'expliquer par la sensibilisation accrue à l'importance de la qualité du bois pour l'optimisation de la chaîne de valeur, par le développement de nouvelles technologies permettant l'évaluation rapide de la qualité du bois (données aériennes et terrestres LiDAR, SilviScan, outils acoustiques, etc.), et par la disponibilité des fonds. Cette sensibilisation s'est traduite par la mise en œuvre d'initiatives importantes, comme la création du CCFB, du réseau ForêtValeur (ForValueNet) et celle imminente du programme AWARE. Les auteurs prévoient que le nombre de publications continuera d'augmenter au cours des prochaines années.

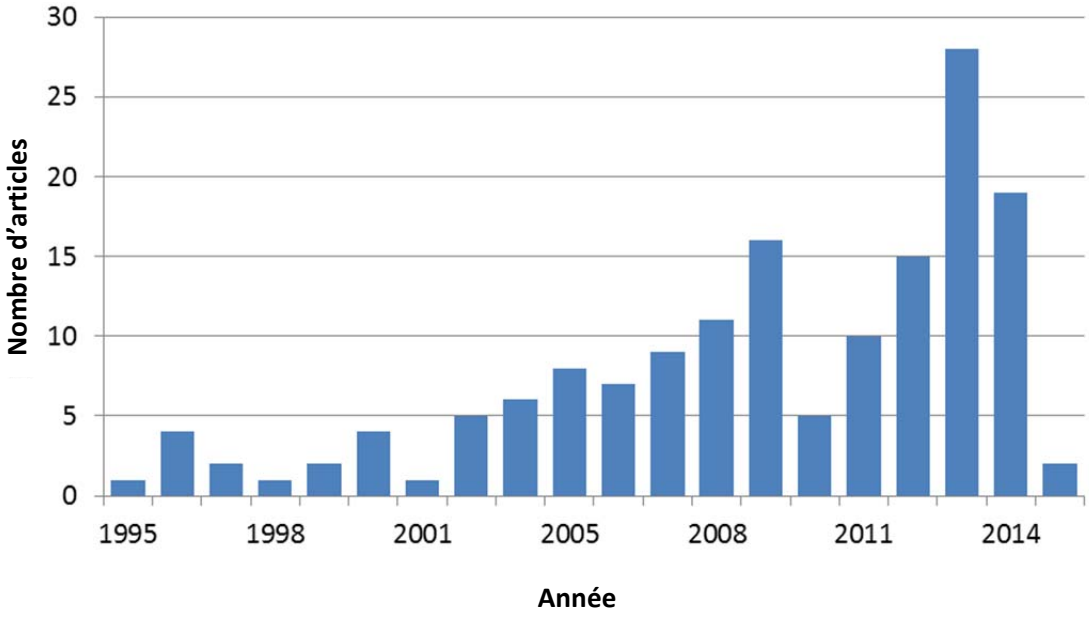


Figure 1. Nombre de publications relatives à la modélisation de la qualité du bois, en date de mars 2015.

Les auteurs souhaitaient également dégager les principaux thèmes de la recherche axée sur la modélisation de la qualité du bois. Pour ce faire, ils ont utilisé la version 1.6.0 de VOSviewer (Van Eck et

Waltman, 2010 et 2015) pour schématiser les occurrences des mots figurant dans les titres et les résumés des publications retenues ainsi que les rapports entre ces éléments. Le réseau obtenu est illustré à la figure 2. Pour chaque élément, la taille de la police et celle de la bulle dépendent de l'importance qu'il revêt. Les éléments ont également été regroupés.

Il semble que les activités de recherche aient été centrées sur trois grands axes, selon les principaux groupements (figure 2) : attributs de qualité de la fibre ou du bois sans défaut, attributs externes de qualité au niveau de l'arbre, de la tige ou de la bille, et génétique/génomique. Dans le groupement « Attributs de la fibre », des éléments comme la densité du bois, le module d'élasticité (MOE), le cerne et la transition revêtaient davantage d'importance, ce qui indique qu'un plus grand nombre d'études portaient sur ces sujets. Dans le groupement « Attributs externes », les termes valeur, hauteur de l'arbre, épinette, défilement, nœud et sciage revêtaient davantage d'importance, tandis que dans le groupement « Génétique/génomique », la croissance, la provenance et la famille étaient les sujets les plus souvent abordés. Cette analyse préalable donnait une indication de ce qui avait été fait dans différents laboratoires au pays.

En examinant les rapports entre les éléments (figure 2), il est manifeste qu'il existe moins de liens entre les éléments du groupement « Génétique/génomique » et ceux du groupement « Attributs de la fibre » qu'entre ceux des groupements « Attributs externes » et « Attributs de la fibre ». La plupart des travaux de recherche menés dans le domaine de la génétique/génomique étaient consacrés à la productivité et faisaient peu de cas des propriétés de la fibre. Cela peut s'expliquer par le fait que les études en génétique/génomique nécessitent généralement l'analyse d'un vaste échantillon, ce qui s'avérait trop dispendieux et trop lourd par le passé pour caractériser manuellement tous les échantillons. Ce n'est que récemment, avec le développement de technologies d'évaluation rapide et économique de la qualité de la fibre, comme SilviScan, ou de technologies d'essais non destructifs, qu'il a été possible de tenir compte des propriétés de la fibre dans les études en génétique/génomique. Le nombre de publications dans ce domaine devrait également augmenter à court terme.

Tel que mentionné précédemment, l'examen détaillé de toutes les publications a permis de retenir un nombre final de 158 articles et rapports qui abordaient la modélisation de la qualité du bois, y compris les études sur la génétique/génomique. Ces résultats sont présentés à l'annexe A4; on y indique l'essence et les attributs modélisés, l'échelle et la zone d'étude. Une liste distincte est reproduite au tableau 5 (section 7), indiquant les publications auxquelles a participé un chercheur du CCFB à titre de coauteur.

Parmi les 158 documents, 30 étaient des études en génétique/génomique et ils sont marqués d'un astérisque dans la liste (annexe A4). Ces 30 publications n'ont pas été retenues pour l'analyse en profondeur. Dans les 128 publications qui restaient et qui portaient sur la modélisation de la qualité du bois, on a recensé 379 modèles, selon la définition retenue du modèle, soit une équation ou un système d'équations décrivant un attribut donné pour une essence donnée dans une région donnée. Il convient de noter qu'un article pouvait traiter de plus d'un modèle. L'analyse suivante repose sur ces 379 modèles.

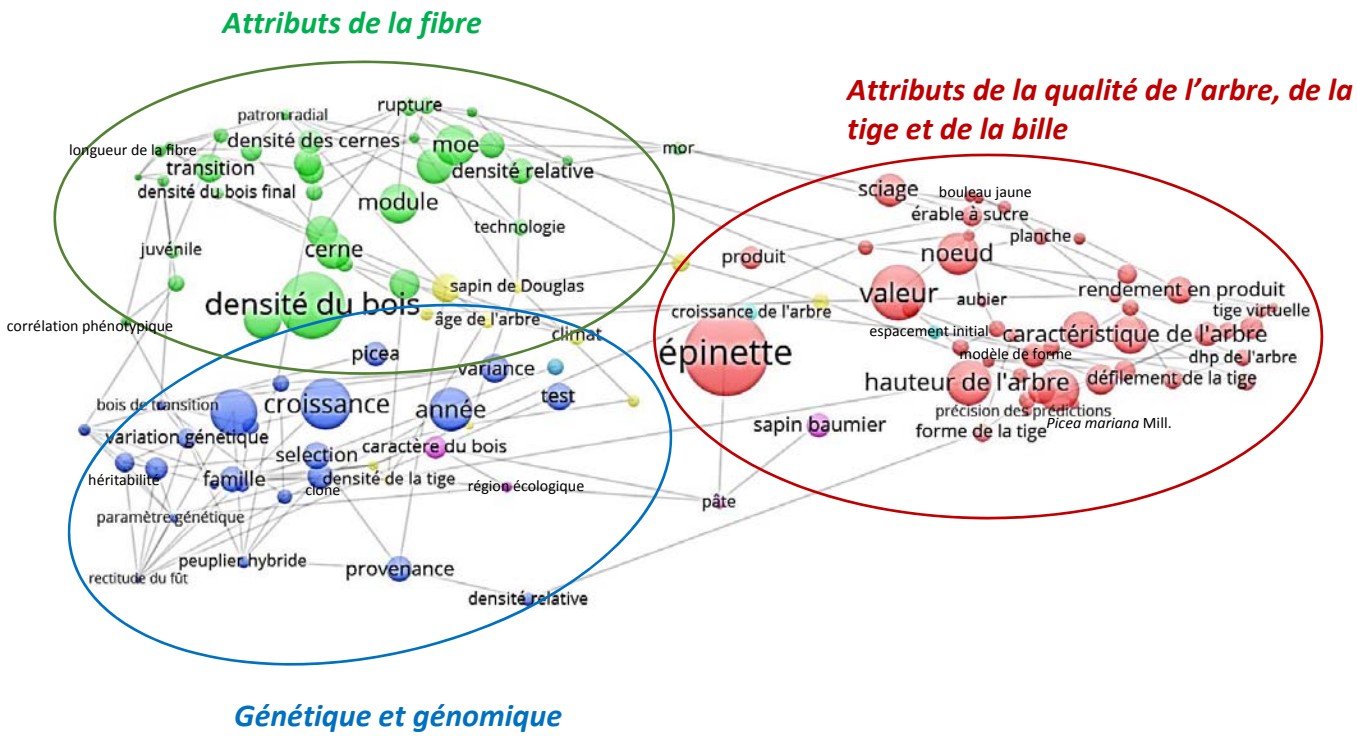


Figure 2. Thèmes de recherche axés sur la modélisation de la qualité du bois.

3.1.2. Modèles par organisation

La figure 3 présente le nombre de modèles produit par organisation. Seule l'affiliation de l'auteur principal a été prise en considération. Les chercheurs du Service canadien des forêts (SCF) et du CCFB ont été très actifs, avec un nombre total de 129 modèles, soit 50 et 79 respectivement. À l'examen de l'affiliation de tous les auteurs, on constate que les chercheurs du CCFB ont participé au développement de 148 modèles depuis 2006 (voir section 7).

Certains modèles remarquables sur les enjeux liés à la qualité du bois ont été mis au point par d'autres organisations. En ordre décroissant du nombre de modèles, mentionnons l'Université Laval (42), l'University of British Columbia (UBC, 35), FPInnovations[1] (31) et l'Université du Québec à Montréal (UQAM, 22). Les autres organisations indiquées à la figure 3, ainsi que celles qui ne figurent pas dans la liste, ont produit moins de 20 modèles au total. Le nom de certaines organisations de l'extérieur du Canada est également présent dans la figure 3 (University of Maine et NASA), puisque les auteurs ont pris en considération uniquement l'affiliation de l'auteur principal. Toutefois, les études visaient des essences canadiennes et étaient menées en collaboration avec d'autres organisations situées au Canada.

[1] Les documents produits par Forintek Canada Corp., l'Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC), l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (PAPRICAN) et FPInnovations ont été regroupés sous la bannière de FPInnovations.

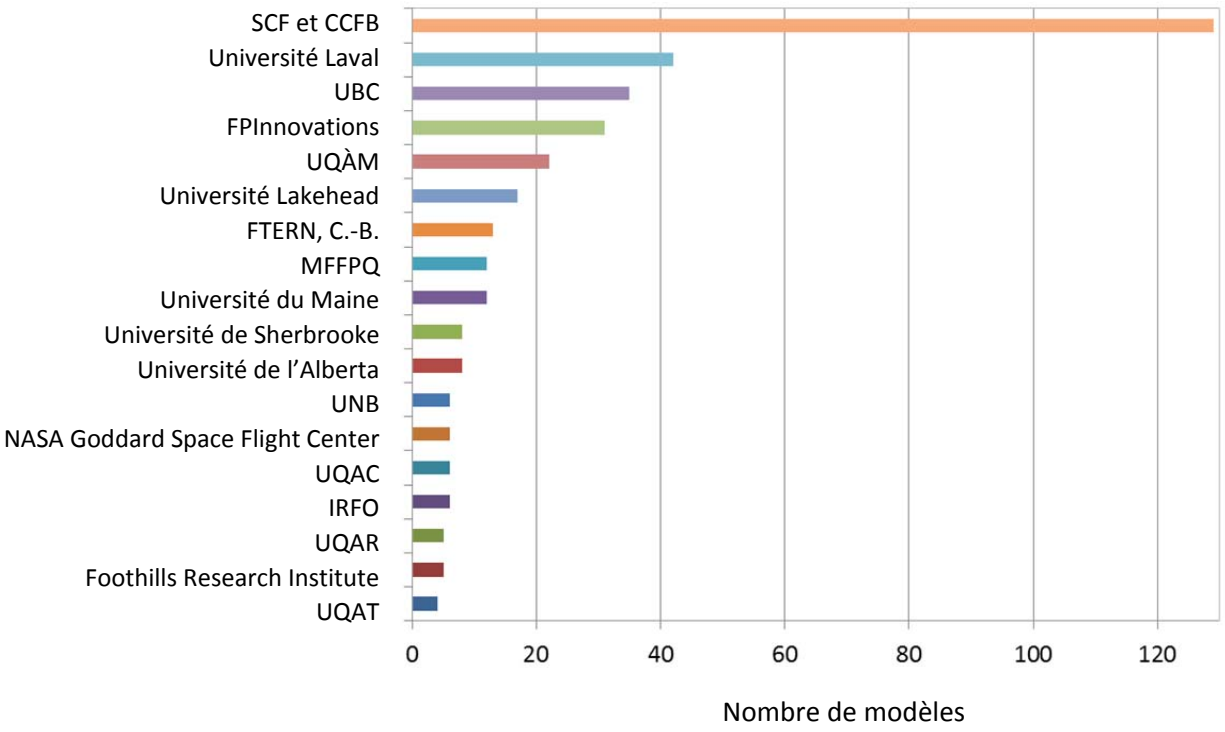


Figure 3. Modèles de prédiction des attributs de la qualité du bois par organisation. Seules les organisations qui ont développé au moins trois modèles sont représentées.

Il y a aussi lieu de mentionner qu'un bon nombre des modèles développés jusqu'à maintenant visait une petite région géographique ou reposait sur un échantillon très restreint et, par conséquent, leur application pratique pourrait s'en trouver limitée. Cela pourrait être attribuable à des restrictions budgétaires et à des contraintes de temps. Mentionnons certaines exceptions à cette applicabilité limitée, soit les modèles conçus pour prédire le défilement de la tige (Kozak, 1988; Ung et coll., 2013; Schneider et coll., 2013), les modèles de prédiction de la qualité du bois conçus pour être déployés dans TASS/SYLVER (Mitchell et coll., 1989; Goudie et Di Lucca, 2002; Goudie et Parish, 2010; Nemec et coll., 2010, 2012), et ceux développés pour l'épinette noire et le sapin baumier à Terre-Neuve-et-Labrador (Luther et coll., 2013; Lessard et coll., 2014).

3.1.3. Essences d'arbres modélisées

Les essences commerciales d'arbres n'ont pas toutes été soumises au même niveau d'étude. L'accent a été mis sur certaines essences, parfois avec quelques répétitions. Les essences étudiées ont été choisies en fonction de leur importance commerciale. La figure 4 indique que l'épinette noire, le pin gris, le sapin baumier, l'épinette blanche, le pin tordu latifolié, le sapin de Douglas et le peuplier faux-tremble sont les espèces les plus visées par la modélisation. D'autres essences ont également retenu l'attention, mais dans une moindre mesure. À l'examen des résultats par province ou territoire, tels qu'illustrés à la figure 5, on constate que les efforts déployés dans les provinces de l'Ouest visaient le pin tordu latifolié, le sapin de Douglas et la pruche occidentale, alors que ceux des provinces de l'Est visaient l'épinette noire, le pin gris, l'épinette blanche et le sapin baumier. La figure 5 illustre également que moins d'efforts ont été consacrés aux essences de feuillus, bien que l'on constate un intérêt croissant dans l'Est

pour ces essences, particulièrement au Québec avec le peuplier faux-tremble, l'érable à sucre et le bouleau jaune.

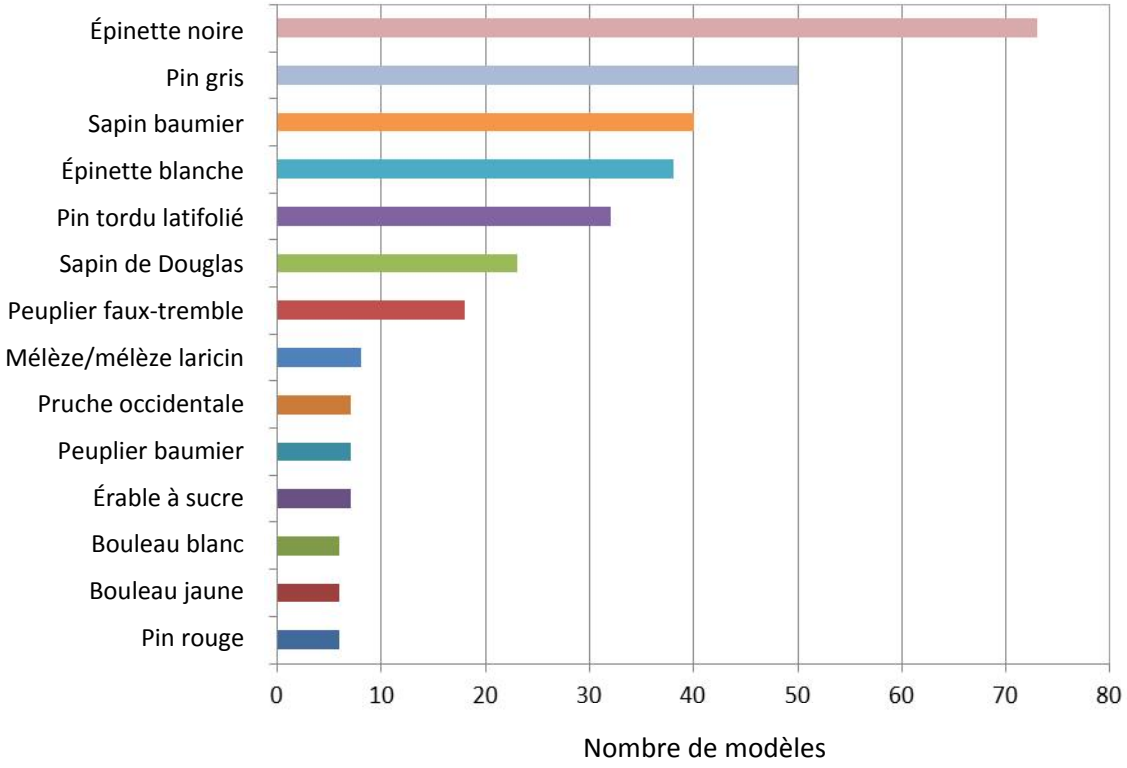


Figure 4. Nombre de modèles de prédiction de la qualité du bois produit, par essence. Seules les essences pour lesquelles au moins cinq modèles ont été développés sont représentées.

Figure 5. Essences (feuillus/résineux) faisant le plus souvent l'objet d'une modélisation, par province.

3.1.4. Attributs de la qualité du bois modélisés

Les attributs les plus souvent modélisés sont les suivants : défilement, densité du bois, branchaison/nœuds, MOE, rendement en valeur des produits (valeur de la tige, classe de qualité des sciages ou valeur monétaire, qualité des copeaux, etc.) (figure 6). En combinant les essences et les attributs, tel qu'illustré à la figure 7, il est évident que l'attention a été centrée sur les propriétés qui ont une incidence sur le volume, sur le rendement des sciages (forme de la tige) et sur la classe de qualité ou sur la valeur des sciages (branchaison/nœuds, densité du bois, MOE, module de rupture [MOR]), ou directement sur le rendement en valeur des produits des essences importantes (épinette noire, pin gris, épinette blanche, sapin baumier, pin tordu latifolié et sapin de Douglas). Le défilement de la tige a été modélisé pour presque toutes les essences commerciales; toutefois, les modèles de défilement ont été inclus à la figure 7 uniquement lorsqu'au moins un autre attribut était également modélisé, afin d'éviter qu'un trop grand nombre d'essences visées uniquement par un modèle ne viennent gonfler les chiffres.

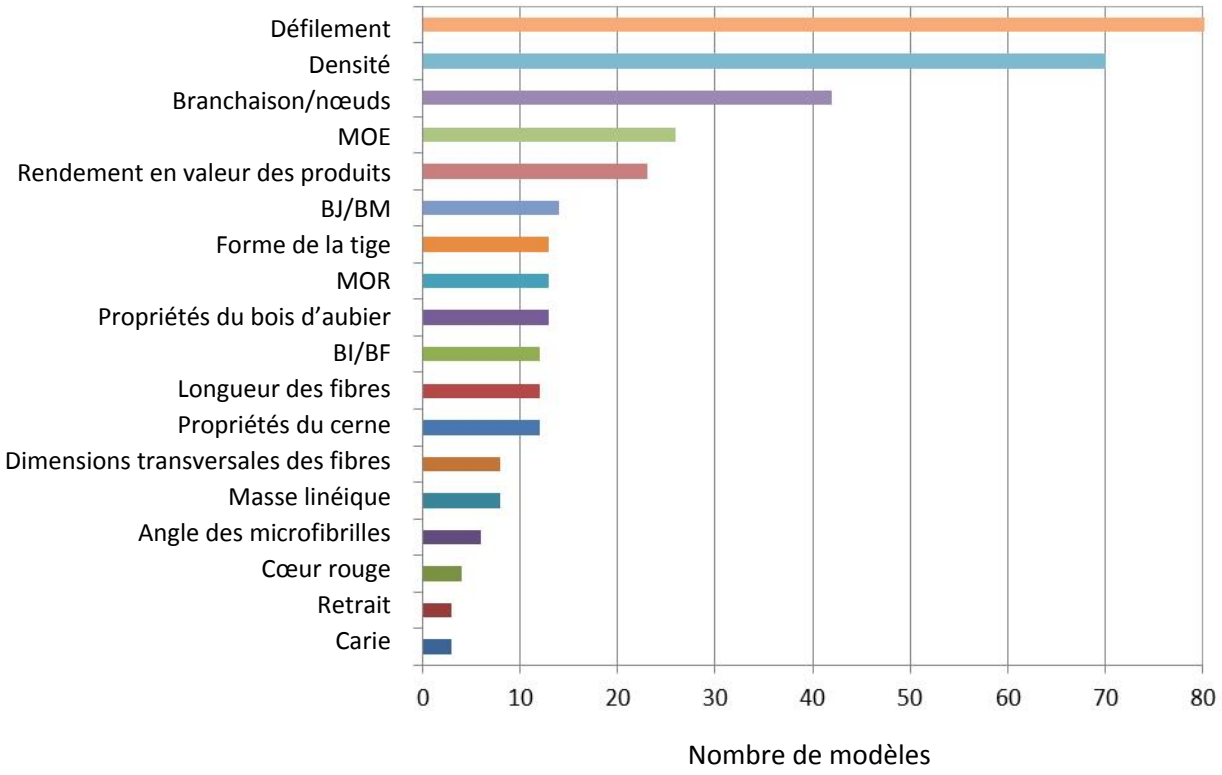


Figure 6. Nombre de modèles produits pour différents attributs de qualité. Seuls les attributs pour lesquels au moins deux modèles ont été développés sont représentés. BJ/BM : bois juvénile/bois mature; BI/BF : bois initial/bois final;

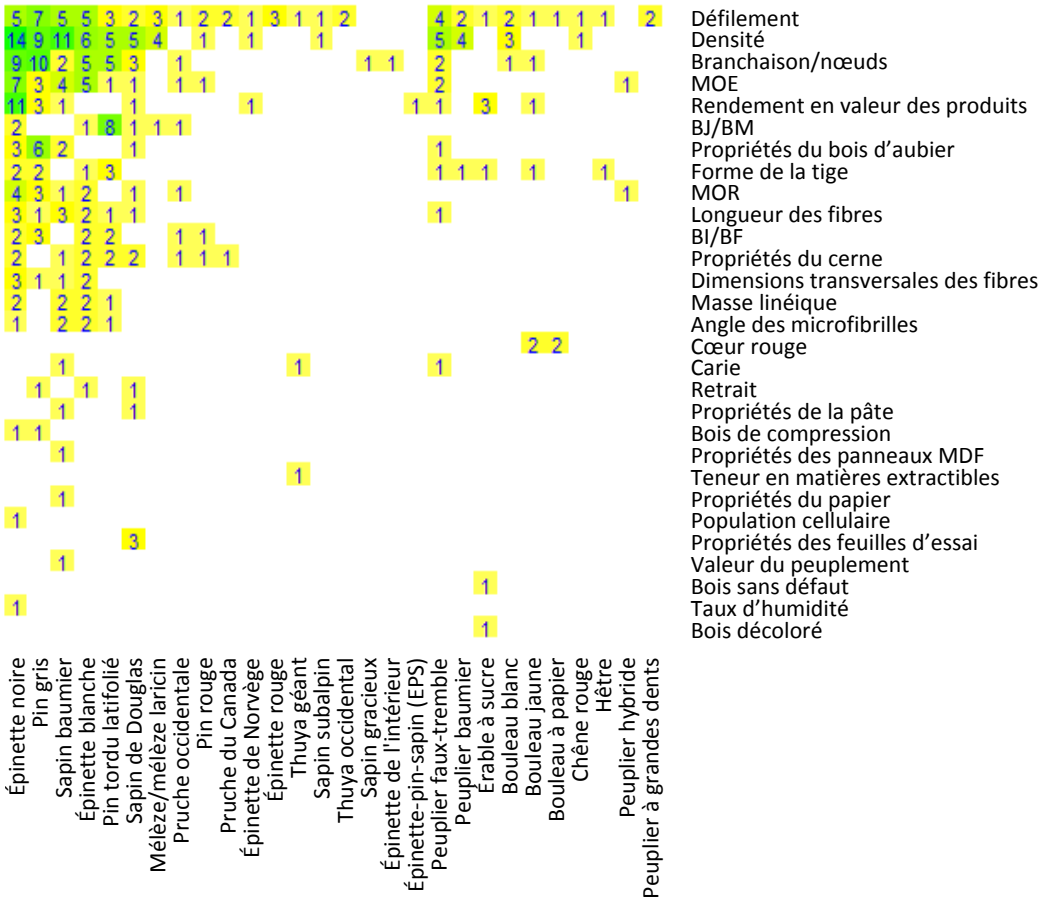


Figure 7. Nombre de modèles de prédiction de la qualité du bois par essence (essences groupées selon leur appartenance aux feuillus ou aux résineux) et par attribut de qualité; BJ/BM : bois juvénile/bois mature; BI/BF : bois initial/bois final; MDF : panneau de fibres à densité moyenne. Les modèles de défilement n'ont été inclus que lorsqu'il y avait au moins un autre attribut modélisé.

Techniquement, c'est-à-dire sur le plan de la performance des produits, les attributs de qualité du bois (AQB) pertinents sont relativement bien connus par rapport à leurs utilisations finales principales (sciages, matériaux composites, pâtes et papiers). Cependant, d'un point de vue économique, les effets de nombreux AQB demeurent inconnus ou peuvent soulever certaines questions. Comment arriver à traduire ces attributs de qualité en valeur monétaire? Il est difficile de répondre à cette question sans qu'une étude consacrée au sujet menée par des chercheurs et des professionnels n'ait pas couvert l'ensemble de la chaîne de valeur forestière, de la forêt au marché. Une telle étude pourrait contribuer à classer par ordre de priorité les attributs à modéliser, et elle susciterait probablement un regain de participation des intervenants et de leur intérêt à l'égard de l'évaluation et de la modélisation de la qualité du bois.

3.1.5. Échelle de modélisation et résolution des modèles

L'échelle est un facteur important à considérer lorsque l'on tente d'intégrer un modèle de prédiction de la qualité du bois à un simulateur de croissance et de rendement ou à un SAD. En fait, bien qu'il puisse s'avérer facile d'appliquer à grande échelle un modèle (p. ex., du cerne au disque, ou de l'arbre au peuplement), l'inverse, soit d'appliquer le modèle à une échelle réduite, est un processus complexe qui commande des méthodes spéciales, comme une approche de désagrégation ou une approche avec contraintes (Weiskittel et coll., 2011; Hevia et coll., 2015). Par conséquent, il pourrait être difficile d'intégrer des modèles de prédiction de la qualité du bois à certains simulateurs de C et R ou SAD, selon l'échelle de ces derniers (arbre, classe de dimension ou peuplement). La figure 8 démontre que la plupart des modèles de prédiction des attributs internes de qualité du bois sont conçus à l'échelle de l'arbre ou du cerne. Quelques modèles ont été développés pour prédire les attributs du bois à différentes positions verticales de la tige, ainsi qu'à l'échelle de la placette. Durant la préparation des données pour la figure 8, tous les attributs externes de la qualité (p. ex., le défilement, la forme de la tige et la branchaison) ont été exclus puisqu'ils se situent presque tous au niveau de l'arbre.

Il est important de comprendre la variation de la qualité du bois en fonction du paysage afin de pouvoir répondre aux questions relatives à la gestion et à la planification. Des initiatives comme le projet d'inventaire de la fibre à Terre-Neuve-et-Labrador ou l'Indice de qualité du bois (IQB) du Québec, qui visent à évaluer la qualité du bois à une très vaste échelle spatiale avec une procédure d'échantillonnage et d'analyse des échantillons uniforme, procurent une base solide pour l'optimisation de la chaîne de valeur forestière (sélection du peuplement/bloc de coupe, allocation des billes, optimisation des procédés et activités de marketing). De plus, comme l'ont déclaré van Leeuwen et ses collaborateurs (2011), la collecte à grande échelle des données sur la qualité du bois dans le cadre d'un large éventail de peuplements et de conditions de site facilite la recherche sur la modélisation statistique et la prédiction des propriétés de la fibre à partir de mesures à l'échelle de l'arbre, du peuplement et du site découlant des données géospatiales ou recueillies au moyen de la télédétection. On dénombre plusieurs études portant sur l'évaluation de la qualité du bois, mais le manque d'uniformité des procédures d'échantillonnage, l'incompatibilité entre les données en raison de l'utilisation de différentes techniques ou méthodes d'évaluation, et l'absence de normes ne permettent pas toujours de comparer et de cartographier les AQB à une échelle régionale ou nationale pour obtenir une vue d'ensemble. Seule une étude approfondie à laquelle participeraient tous les intervenants pourrait produire des résultats qui profiteraient à la recherche et au secteur forestier.

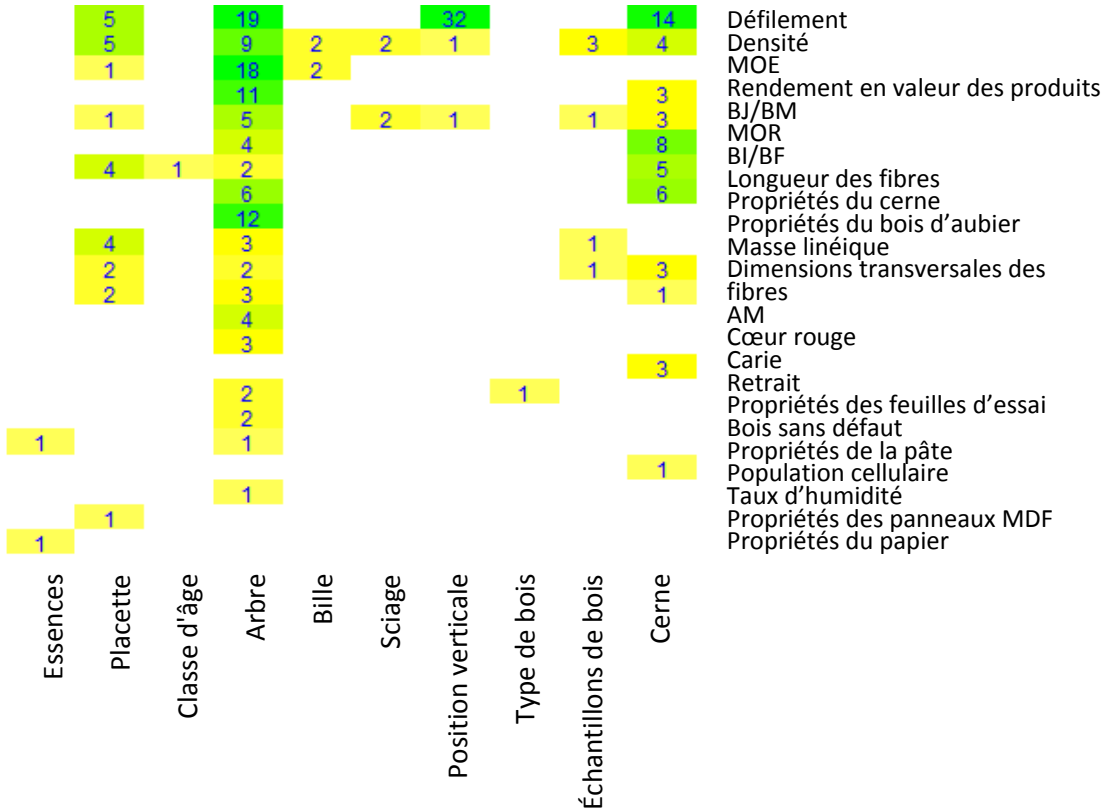


Figure 8. Nombre de modèles de prédiction de la qualité du bois, par attribut interne de qualité et par échelle.

3.1.6. Approches de modélisation

Dans la littérature, on recense plusieurs approches qui ont servi à modéliser la qualité du bois. Les auteurs les ont regroupées en quatre catégories, adaptées selon les classifications suggérées par Zhang (2009) et Mäkelä et ses collaborateurs (2010).

1) Modèle classique ou empirique/statistique

Selon cette approche, les AQB sont prédits à partir de caractéristiques mesurées à l'échelle de la tige, du peuplement ou du site, au moyen d'équations ajustées aux données. Le développement de ces modèles est relativement simple, mais leur application se limite au peuplement ou à la région où les échantillons ont été recueillis.

2) Modèle fondé sur la physique

À l'instar du modèle empirique/statistique, le modèle fondé sur la physique prédit les propriétés internes du bois en fonction d'autres propriétés internes. À titre d'exemple, une propriété mécanique peut être modélisée en fonction de la densité du bois et de l'angle des microfibrilles.

3) Modèle de croissance structurelle-qualité

Ce modèle est conçu de façon dynamique à mesure que l'arbre se développe dans un simulateur de croissance, en faisant le suivi de plusieurs propriétés structurelles (développement du houppier, croissance du diamètre, formation du bois juvénile, croissance des branches, etc.).

4) Modèle basé sur les processus ou modèle physiologique

Ce modèle prend en considération les aspects physiologiques de la formation du bois et la mesure selon laquelle ils sont influencés par des facteurs environnementaux et la disponibilité des hydrates de carbone. Ce modèle sert à modéliser les AQB liés au développement du houppier, comme le bois d'aubier, les nœuds, le bois juvénile, etc. Les modèles basés sur les processus peuvent être appliqués à différents sites, mais ils nécessitent généralement un plus grand nombre de variables d'entrée, comme les paramètres physiologiques, qui sont parfois difficiles à obtenir. En outre, cette technique n'en est qu'à ses débuts.

Tel que l'illustre la figure 9, la plupart des modèles de prédiction de la qualité du bois conçu jusqu'à présent sont de type empirique, ce qui signifie qu'ils ne peuvent être appliqués qu'à des peuplements qui présentent les mêmes caractéristiques que ceux qui ont servi à étalonner les modèles. De plus, ils n'aident pas à comprendre les processus fondamentaux qui touchent les propriétés du bois à différentes échelles. Ce n'est que tout récemment qu'on a tenté de concevoir des modèles basés sur les processus (Schneider et coll., 2011).

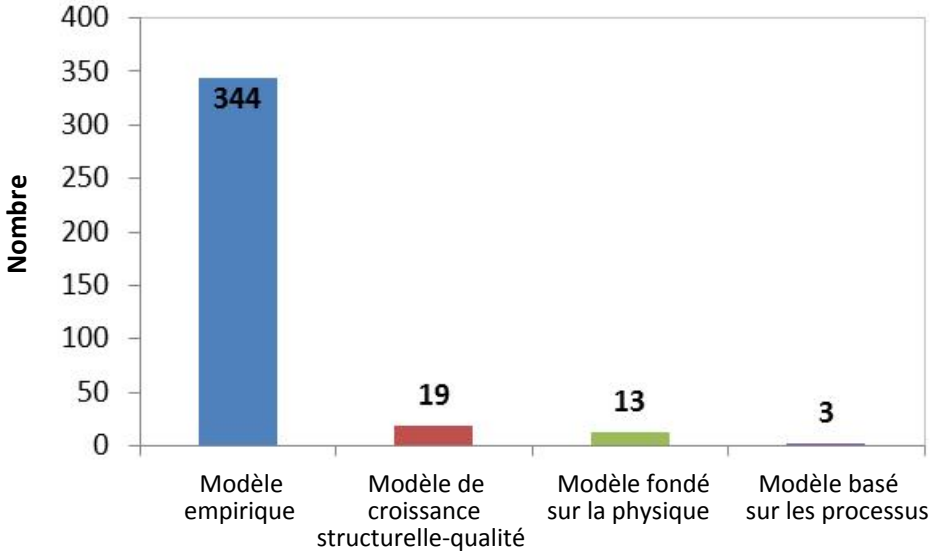


Figure 9. Nombre de modèles recensés selon la technique de modélisation.

3.2. Résultats de l'enquête par questionnaire

L'un des objectifs de ce projet consistait à évaluer la situation des modèles conçus jusqu'à présent pour prédire la qualité du bois. En particulier, les auteurs cherchaient à déterminer si les modèles sont utilisés dans les simulateurs de C et R ou les SAD afin de prédire la qualité future du bois pour la planification de

l'aménagement forestier ou l'optimisation de la chaîne de valeur. Les questionnaires ont été envoyés à 19 chercheurs, et 12y ont répondu. De ce nombre, il a été possible de recueillir de l'information concernant 143 modèles. La figure 10 illustre que, parmi les 143 modèles recensés, seuls 30 sont utilisés à des fins opérationnelles et 15 sont prêts à être utilisés. La plupart des modèles ne sont que de simples équations, sans autre développement prévu ou sans exploration de liens potentiels avec une plateforme opérationnelle. Cela est bien compréhensible puisque la plupart des modèles de prédiction de la qualité du bois ont été conçus récemment. Il y a également un « fossé » entre les chercheurs travaillant dans le domaine de la modélisation de la qualité du bois et ceux qui travaillent dans les domaines de la simulation de la C et R et du développement de SAD.

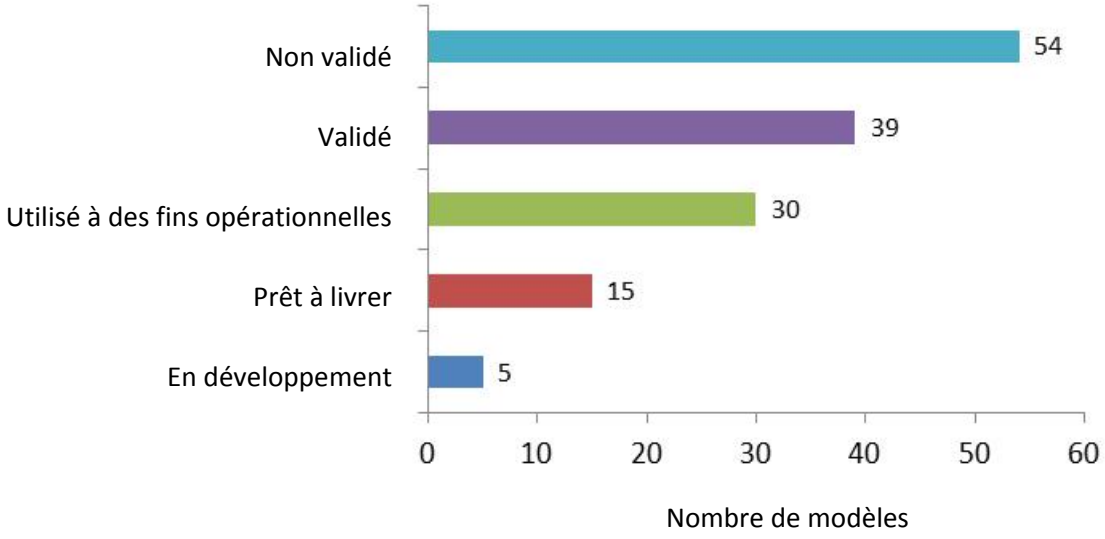


Figure 10. Situation relative aux modèles mentionnés dans les réponses au questionnaire.

4. Simulateurs de croissance et de rendement

Le tableau 1 dresse la liste des simulateurs de C et R examinés dans le cadre de ce projet. Le lecteur trouvera davantage de renseignements à ce sujet à l'annexe A5. Chaque province ou territoire a mis au point ses propres simulateurs de C et R, avec des modèles de croissance adaptés aux essences qui poussent dans ses forêts. Presque toutes les essences commerciales ont fait l'objet d'une simulation. Le simulateur TASS a été conçu par le BC's Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations. Pour leur part, les simulateurs Prognosis-BC et FVS-Ontario sont des adaptations du simulateur Forest Vegetation Simulator (FVS) du United States Forest Service; ce dernier a été paramétré en fonction des conditions de croissance et des essences importantes que l'on trouve dans différentes régions géographiques (Hoover et Rebain, 2010). Quelques simulateurs ont été mis au point par des universités pour fins de recherches (Siplab, Scube et TAG) ou sont utilisés par l'industrie ou les gouvernements (MGM, TRIPLEX et COHORTE). Le modèle de peuplement ouvert (Open Stand Model) est un simulateur de croissance et de rendement sur lequel travaille une entreprise de Fredericton, au Nouveau-Brunswick. Selon son développeur, Chris Hennigar, Ph. D., le modèle est utilisé par le Growth and Yield Unit (GYU) du Nouveau-Brunswick et prend la forme d'une plateforme générique à partir de laquelle on peut mettre en œuvre n'importe quel modèle de croissance. AMSIMOD est une plateforme mise au point par le Service canadien des forêts (Larocque et coll., 2014) pour exécuter le modèle de C et R basé sur les processus appelé « Zelig-CFS » (Larocque et coll., 2011).

Bien que cela ne soit pas indiqué explicitement au tableau 1, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) du Québec utilise actuellement CAPSIS (Computer-Aided Projection Strategies In Silviculture) pour exécuter ses modèles de croissance et de rendement. CAPSIS est une plateforme ouverte, générique et modulaire mise au point en France dans le but de faciliter la mise en œuvre, l'exécution et la visualisation des modèles de croissance des forêts (Dufour-Kowalski et coll., 2012).

Tableau 1. Liste des simulateurs de croissance et de rendement utilisés présentement au Canada.

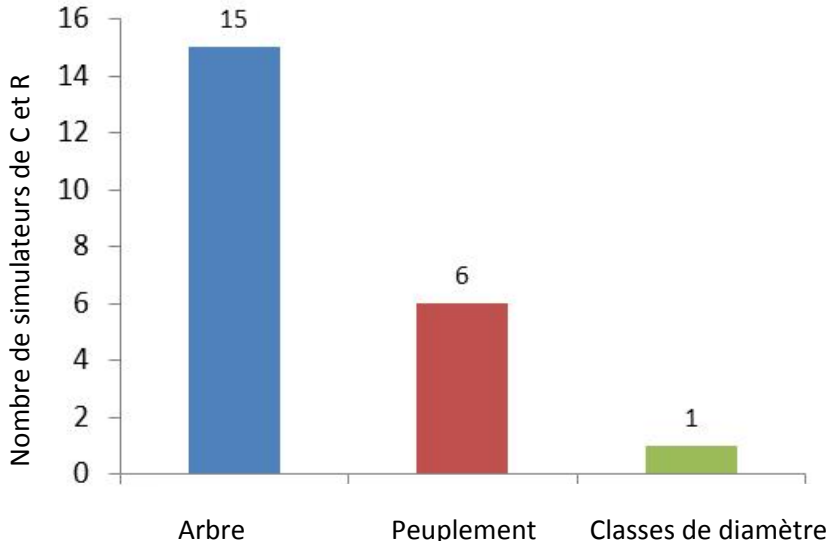
Nom	Organisation	Type de modèle	Pouvoir de résolution	Maturité	Essences
GYPSY	ESRD, Alberta	Empirique	Peuplement	Utilisé	Épinette blanche, tremble, pin tordu latifolié et épinette noire
Sortie-ND	FTERN, C.-B.	Hybride	Arbre	Utilisé	Espèces du nord-ouest de la C.-B.
TASS	FTERN, C.-B.	Hybride	Arbre	Utilisé	Tous les principaux conifères de la C.-B., tremble et aulne
Prognosis-BC	ESSA, UBC et FTERN, C.-B.	Empirique	Arbre	Utilisé	Diverses essences de la C.-B.
STAMAN	GYU, N.-B.	Empirique	Classes de diamètre	Utilisé	Toutes les essences principales du N.-B.
Modèle de C et R, N.-É.	Ministère des Ressources naturelles (MRN), N.-É.	Empirique	Peuplement	Utilisé	Résineux et feuillus de la N.-É.
MIST	Ministère des Richesses naturelles (MRN), Ontario	Empirique	Arbre	Utilisé	Toutes les essences principales de l'Ontario
FVS-Ontario	MRN, Ontario	Empirique	Arbre	En préparation	Toutes les essences principales de l'Ontario
CroirePlant	MFFP, Québec	Empirique	Peuplement	Utilisé	Épinette blanche (de plantation)
SaMARE	MFFP, Québec	Empirique	Arbre	Utilisé	Érable à sucre, érable rouge, bouleau jaune, hêtre à grandes feuilles, sapin baumier, autres espèces de feuillus et de résineux
Artémis	MFFP, Québec	Empirique	Arbre	Utilisé	Toutes les essences principales de feuillus et de résineux du Québec
Natura	MFFP, Québec	Empirique	Peuplement	Utilisé	Feuillus et résineux du Québec
AMSIMOD	SCF	Basé sur les processus	Arbre	Utilisé	Diverses essences de feuillus et de résineux
IVY	CCFB	Hybride	Arbre	En préparation	Épinette noire, pin gris, peuplier faux-tremble et éventuellement d'autres essences
MGM	University of Alberta	Hybride	Arbre	Utilisé	Épinette blanche, tremble, pin tordu latifolié, pin gris des peuplements purs/mixtes
Siplab	University of Northern British Columbia (UNBC)	Basé sur les processus	Arbre	Universitaire	Générique

Nom	Organisation	Type de modèle	Pouvoir de résolution	Maturité	Essences
Scube	UNBC	Hybride	Peuplement	Universitaire	Épinettes de l'intérieur de la C.-B. (*P. glauca*, *P. engelmannii* et hybrides)
TAG	UNBC	Hybride	Peuplement	Universitaire	Tremble des peuplements équiennes dominés par le tremble en Alberta, en C.-B., en Saskatchewan et au Manitoba
TRIPLEX	UQAM	Basé sur les processus	Arbre	Utilisé	Pin gris, épinette noire, épinette blanche et tremble
PipeQual	Université du Québec à Rimouski (UQAR)	Hybride	Arbre	En préparation	Pin gris, épinette noire, épinette blanche
COHORTE	Université du Québec en Outaouais (UQO), Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF)	Empirique	Arbre	Utilisé	En majorité des feuillus et quelques résineux du Québec et du N.-B.
Modèle de peuplement ouvert	Forus Research	Empirique	Arbre	En préparation	Plateforme générique

Code de couleur : Orange = État (provincial ou fédéral); noir = université; rouge = entreprise privée.

La plupart des simulateurs permettent de simuler individuellement la croissance des arbres, alors que d'autres ne peuvent servir qu'à l'échelle du peuplement (figure 11a). Pratiquement tous les efforts de modélisation ont été consacrés au développement de modèles empiriques (figure 11b), qui offrent l'avantage d'être moins compliqués à utiliser et plus conviviaux pour les aménagistes forestiers et les décideurs qui s'intéressent aux questions liées à l'aménagement forestier (Bravo et coll., 2012). Le développement de ce type de modèles est également plus facile puisqu'ils utilisent les types de données recueillies dans le cadre des inventaires (Larocque, 2008). Les modèles basés sur les processus (p. ex., TRIPLEX) peuvent donner des prévisions plus fidèles dans des conditions environnementales qui évoluent rapidement, mais ils requièrent un plus grand nombre de paramètres, des données d'étalonnage substantielles et une durée de simulation plus longue (Porté et Bartelink, 2002; Bravo et coll., 2012). D'autres modèles (MGM, PipeQual) sont de forme hybride, conjuguant à la fois le modèle empirique et basé sur les processus.

a)



b)

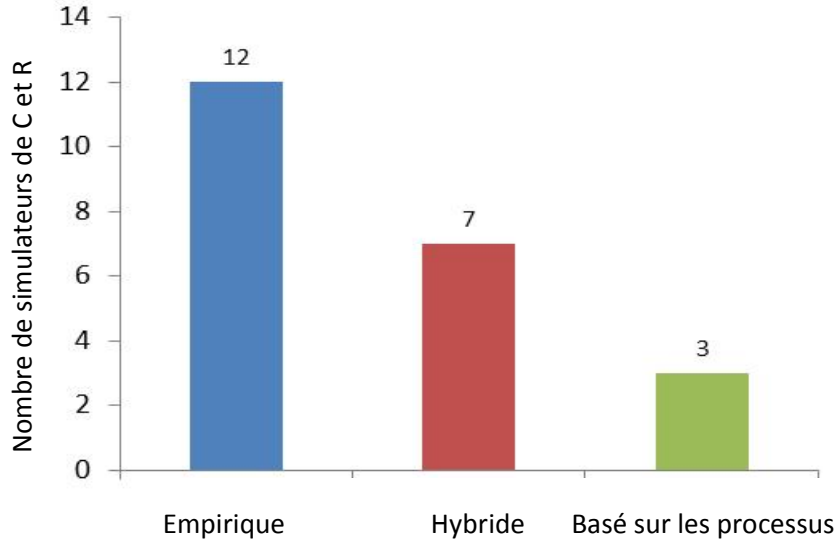


Figure 11. Simulateurs de croissance et de rendement catégorisés selon a) leur pouvoir de résolution et b) la technique de modélisation.

5. Systèmes d'aide à la décision (SAD)

Le tableau 2 et la figure 12 présentent certaines caractéristiques des SAD étudiés dans le cadre de ce projet. L'annexe A6 présente une courte description de ces SAD.

Dans le tableau 2, les SAD sont classés en fonction du niveau de décision, du plus élevé au plus bas, par code de couleur selon le type d'organisation. Les systèmes BIOLLEY, CROPLANNER et MSVFL (modèle de simulation de la valeur de la fibre ligneuse) ont été mis au point par le CCFB. Outre le CCFB, d'autres organisations ont conçu des SAD, notamment FPInnovations (Optitek, Maxtour, NCCRUISE, FPAlloc, MillFlow, LogWorth et MillPlan), le gouvernement de la Colombie-Britannique (SYLVER), des entreprises privées (Woodstock, WOODMAN, FOREXPERT et Patchworks) et des universités (SilviLab et LogiLab). De nombreux SAD conçus par FPInnovations ont été fusionnés pour former la plateforme appelée FPInterface. La majorité des SAD visés par le projet peuvent être appliqués à une plus vaste échelle spatiale (à l'échelle de la région, de la forêt ou du peuplement), alors que d'autres ne peuvent être appliqués qu'à l'échelle du peuplement, de l'arbre ou de la bille. Ils sont presque tous suffisamment génériques pour supporter l'ajout de n'importe quel modèle de croissance et de rendement. Les seules exceptions sont les systèmes BIOLLEY, conçus pour les peuplements de feuillus du Québec et de l'Ontario, et CROPLANNER, conçu pour les peuplements d'épinettes noires et de pins gris de l'Ontario. Bien que SYLVER ait été mis au point pour les essences de la Colombie-Britannique, le système peut être adapté à d'autres essences qui poussent dans les autres provinces et territoires.

Parmi les SAD étudiés, seuls SYLVER, conçu par le gouvernement de la Colombie-Britannique, et SilviLab en combinaison avec LogiLab, deux outils mis au point par le consortium de recherche FORAC de l'Université Laval, couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur (figure 12). Les autres SAD sont soit consacrés à la prise de décisions stratégiques dans le cadre de la planification de l'aménagement forestier (Patchworks, FOREXPERT, Woodstock, CROPLANNER et BIOLLEY), à la prise de décisions opérationnelles pour l'allocation du bois, ou la maximisation et la logistique de la conversion des produits (outils conçus par FPInnovations, Remsoft planification opérationnelle/tactique et MSVFL). Bien que le système Optitek ait été conçu aux fins d'optimisation des sciages à la scierie, il peut servir à simuler le rendement en produits du sciage à partir des données d'inventaire forestier ou des résultats obtenus au moyen des simulateurs de C et R.

Tableau 2. Liste des systèmes d'aide à la décision étudiés.

Nom du SAD	Organisation	Niveau de décision	Particularité
ForestPlan	FPInnovations	Régional/forêt/peuplement	Générique
Woodstock	Remsoft Inc.	Régional/forêt/peuplement	Générique
Remsoft planification opérationnelle/tactique	Remsoft Inc.	Régional/forêt/peuplement	Générique
Patchworks	Spatial Planning Systems	Régional/forêt/peuplement	Générique
SilviLab	Université Laval	Régional/forêt/peuplement	Générique
LogiLab	Université Laval	Régional/forêt/peuplement	Générique
Maxtour	FPInnovations	Régional/forêt/peuplement/bille	Générique
IGMap	FPInnovations	Forêt/peuplement	Générique
SYLVER	FTERN, C.-B.	Forêt/peuplement/arbre/bille	Essences de la C.-B.
FOREXPERT	WSP Canada Inc.	Forêt/peuplement/arbre/bille	Générique
WOODMAN	Halco Software Ltd.	Forêt/arbre	Générique
NCCruise	FPInnovations	Peuplement/arbre/bille	Générique
BIOLLEY	CCFB	Peuplement	Feuillus, Ontario et Québec
MSVFL	CCFB	Peuplement	Générique
CROPLANNER	CCFB	Classes de diamètre	Épinette noire et pin gris, Ontario
FPAlloc	FPInnovations	Peuplement	Générique
Optitek	FPInnovations	Arbre/bille	Générique
MillFlow	FPInnovations	Bille	Générique
LogWorth	FPInnovations	Bille	Générique
MillPlan	FPInnovations	Quart de travail à la scierie	Générique

Code de couleur : Vert = FPInnovations; rouge = entreprise privée; orange = État (fédéral ou provincial); noir = université.

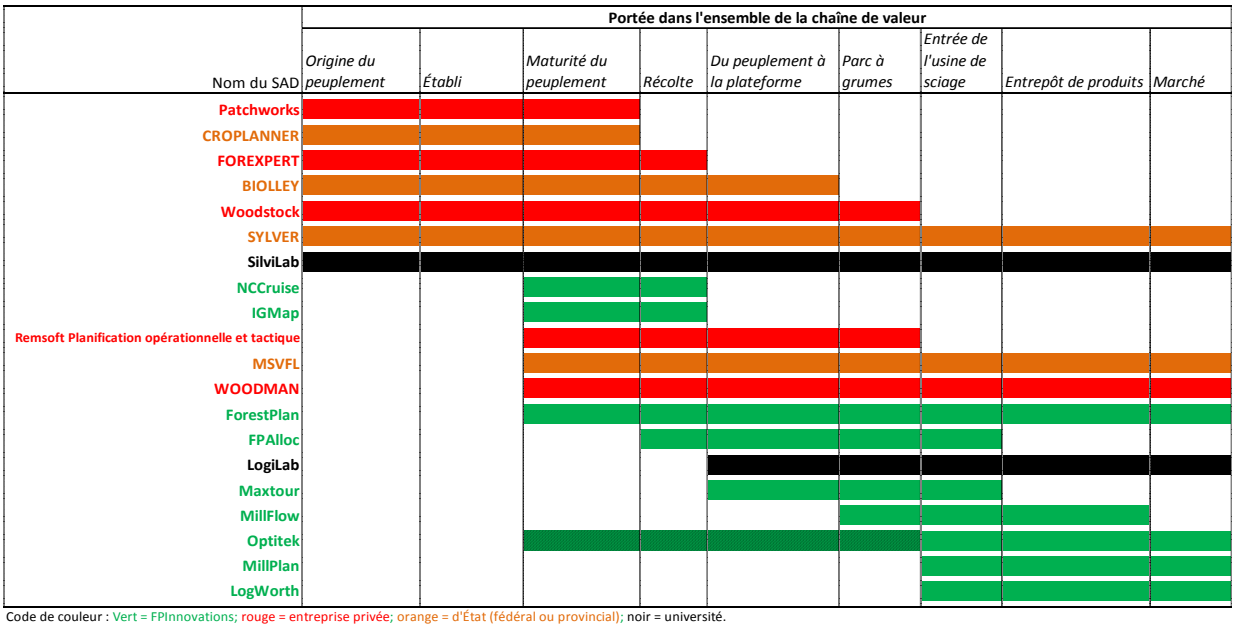


Figure 12. Portée des SAD dans la chaîne de valeur.

Bien d'autres SAD ont été développés par des entreprises privées, mais ils n'ont pas été étudiés dans le cadre de ce projet faute de temps. L'organisme Canadian Forests a dressé une liste de certains de ces outils qu'il a publiée sur son site Web (http://www.canadian-forests.com/software.html). De même, les auteurs n'ont pas fait le tour de tous les outils utilisés par les gouvernements provinciaux dans le cadre de leurs processus décisionnels en matière de planification d'aménagement forestier. L'un de ces outils, le modèle d'aménagement forestier stratégique ou SFMM (Strategic Forest Management Model), est un modèle de prédiction forestière non spatial utilisé par le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario qui permet à l'utilisateur de mieux comprendre le développement d'une forêt au fil des années, et d'explorer différentes stratégies d'aménagement forestier et de compromis (http://www.aimms.com/ontario/).

6. Degré d'intégration des modèles

À partir des réponses au questionnaire sur les modèles de prédiction des AQB, les auteurs ont dénombré 143 modèles. Présentement, parmi ces modèles, 74 (52 %) ne sont pas intégrés à un simulateur de C et R ou à un SAD (figure 13). Ils sont publiés dans la littérature scientifique sans mention d'un développement éventuel. Parmi les 69 modèles déclarés intégrés à un simulateur de C et R ou à un SAD, 28 (20 %) font partie de TASS/SYLVER, les autres étant distribués comme suit : CAPSIS (17 %), MGM (5 %), Optitek (3 %), PipeQual (2 %) et CROPLANNER (1 %). Tel que mentionné précédemment, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec utilise CAPSIS pour exécuter ses modèles de croissance et de rendement qui comprennent des modules de défilement. Les modèles de densité, de MOE et de nœuds conçus à l'Université Laval (Duchateau et coll., 2013; Kuprevicius et coll., 2013; Torquato et coll., 2014; et Xiang et coll., 2014a, b), connus sous l'appellation QuEST sont aussi intégrés à CAPSIS.

Il convient de noter que ces résultats d'enquête sur la qualité du bois ne représentent sans doute pas la réalité, puisque les 143 modèles dénombrés dans les questionnaires ne forment qu'un sous-ensemble des 379 modèles recensés par l'analyse de la littérature (à l'exclusion des modèles de génétique/génomique). Il faut aussi ajouter que les développeurs de modèles, travaillant dans les universités ou d'autres instituts de recherche, ne savent pas nécessairement quels seront les utilisateurs de leurs modèles après la publication dans les revues scientifiques (ils n'ont pas de système de suivi). Néanmoins, il est possible de déduire, des résultats de l'enquête, que l'état d'avancement de l'intégration des modèles est relativement faible.

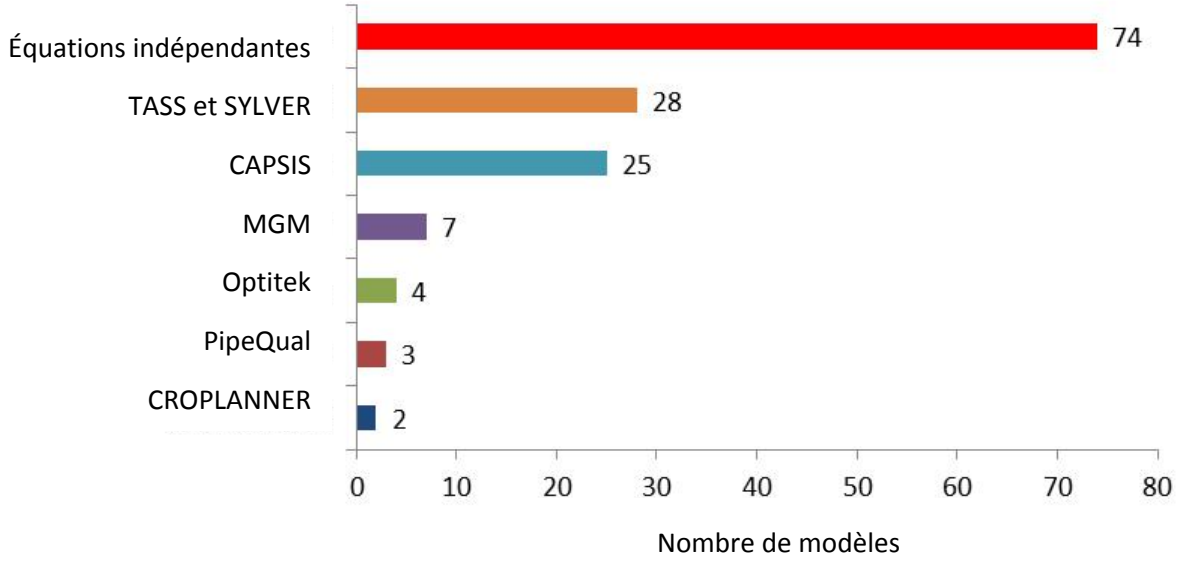


Figure 13. Nombre des modèles de prédiction de la qualité du bois qui ont été intégrés à un simulateur de C et R ou à un SAD (déduit des réponses au questionnaire).

Les tableaux 3 et 4 indiquent ceux, parmi les simulateurs de C et R et les SAD étudiés, qui ont intégré au moins un attribut de qualité. Bien que certains simulateurs de C et R tiennent compte d'un attribut externe de qualité (défilement, branchaison et qualité de la tige) ou d'un attribut interne de la qualité du bois (densité du bois, MOE, bois d'aubier, longueur de la fibre, etc.), bon nombre d'entre eux ne s'intéressent qu'au volume. Tous les SAD fédéraux ou provinciaux prennent en compte au moins le défilement de la tige, et les attributs internes de qualité du bois sont intégrés à SYLVER et à CROPLANNER. Certains des SAD de FPInnovations prennent en considération un attribut de qualité (Optitek, NCCruise et LogWorth), à l'instar d'autres ensembles commerciaux (WOODMAN).

Plusieurs simulateurs de C et R et SAD n'intègrent aucun attribut de qualité du bois ou de la tige, ce qui pose un réel problème puisque la valeur du bois sur pied d'un peuplement et des produits qui en seront issus dépend de la forme de la tige et de la qualité de la fibre interne, autant que de la taille de l'arbre et du volume. Comme l'a mentionné Briggs (2010), les modèles de planification qui n'intègrent que les prédictions sur la croissance et le rendement produites par des modèles de croissance risquent de fournir des données qui conduiront à des analyses erronées et à de moins bonnes décisions.

Ce manque d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois aux simulateurs de C et R et aux SAD peut s'expliquer par plusieurs raisons : la sous-estimation de l'importance de la qualité du bois, le manque d'information sur les produits développés par les chercheurs, et le manque de ressources financières et de personnel qualifié. Certaines parties prenantes n'ont pas encore pris conscience de l'importance de la qualité du bois pour la planification à court ou à long terme; par conséquent, elles ne voient pas la nécessité d'en tenir compte et de l'intégrer à leurs modèles. Même s'ils sont pleinement conscients de cette importance, les développeurs de simulateurs de C et R ou de SAD ne connaissent pas toujours l'existence des modèles de prédiction de la qualité du bois ou, à l'inverse, les concepteurs de tels modèles ne connaissent pas grand-chose sur les simulateurs de C et R ou les SAD. Si les deux groupes continuent à travailler sans communiquer, on ne peut s'attendre qu'à une amélioration limitée. Par ailleurs, même si parfois le partage d'information est adéquat entre les intervenants, le manque de ressources (humaines et financières) risque de nuire aux efforts visant à rendre compatibles les modèles

de prédiction de la qualité du bois et les simulateurs de C et R ou les SAD, surtout si cela ne faisait pas partie intégrante du plan à l'origine du projet. SYLVER est un bon exemple de plateforme intégrée. Elle comprend à la fois des modèles de croissance et de qualité du bois, et bénéficie d'une longue tradition de collaboration. La plateforme a également bénéficié de la vision stratégique des chercheurs qui ont participé à son développement et de l'appui solide du gouvernement de la Colombie-Britannique.

Tableau 3. Simulateurs de croissance et de rendement avec intégration avérée ou possible d'un modèle de prédiction d'un ou de plusieurs attributs de qualité de la tige ou du bois.

Nom	Organisation	Pouvoir de résolution	Type de modèle	Intervalle de temps	Attribut(s) de qualité de la tige	Attribut(s) de qualité du bois
TASS	FTERN, C.-B.	Arbre	Hybride	Annuel	Branchaison, défilement	DB, MOE, AM, LF, BJ, BA, LC
MGM	University of Alberta	Arbre	Hybride	Annuel	Défilement	DB, BJ, MOE, LF
PipeQual	UQAR	Arbre	Hybride	Annuel	Défilement	Bois d'aubier
IVY	CCFB	Arbre	Hybride	Annuel	Nœuds	Bois sans défaut, LC
SaMARE	MFFP, Québec	Arbre	Empirique	5 ans	Volume par classe de qualité des billes	
Artémis	MFFP, Québec	Arbre	Empirique	10 ans	Défilement, volume par classe de qualité des billes	
COHORTE	UQO, IQAFF	Arbre	Empirique	Annuel	Branchaison, QT, défauts	
Modèle de peuplement ouvert	Forus Research	Arbre	Empirique	Annuel	Défilement, forme de la tige	
MIST	MRN, Ontario	Arbre	Empirique	?	Défilement	
TRIPLEX	UQAM	Arbre	Basé sur les processus	Journalier		DB
GYPSY	ESRD, Alberta	Peuplement	Empirique	Annuel		
CroirePlant	MFFP, Québec	Peuplement	Empirique	Annuel		
Natura	MFFP, Québec	Peuplement	Empirique	10 ans		
STAMAN	MRN, N.-B.	Classes de diamètre	Empirique	5 ans		
Modèle de C et R, N.-É.	MRN, N.-É.	Peuplement	Empirique	5 ans		
Scube	UNBC	Peuplement	Hybride	N'importe quel		
TAG	UNBC	Peuplement	Hybride	N'importe quel		

Nom	Organisation	Pouvoir de résolution	Type de modèle	Intervalle de temps	Attribut(s) de qualité de la tige	Attribut(s) de qualité du bois
FVS-Ontario	MRN, Ontario	Arbre	Empirique	Annuel/défini par l'utilisateur		
Prognosis-BC	ESSA, UBC et FTERN, C.-B.	Arbre	Empirique	Annuel/défini par l'utilisateur		
AMSIMOD	SCF	Arbre	Basé sur les processus	Annuel		
Sortie-ND	FTERN, C.-B.	Arbre	Hybride	Annuel		
Siplab	UNBC	Arbre	Basé sur les processus	Ne dépends pas du temps		

Code de couleur : Orange = État (provincial ou fédéral); rouge = entreprise privée; noir = université.
DB : Densité du bois; LC : largeur des cernes; BA : bois d'aubier; BJ : bois juvénile; LF : longueur de la fibre; MOE : module d'élasticité; AM : angle des microfibrilles. QT : Qualité de la tige; QB : Qualité du bois.

Tableau 4. Systèmes d'aide à la décision avec intégration avérée ou possible d'un modèle de prédiction d'un ou de plusieurs attributs de qualité de la tige ou du bois.

Nom	Niveau de décision	Attribut(s) de qualité de la tige	Attribut(s) de qualité du bois	Pouvoir de résolution de la QB
SYLVER	Forêt/peuplement/arbre/bille	Branchaison, défilement	DB, BA, BJ, PC	Arbre
CROPLANNER	Classes de diamètre	Défilement, branchaison	DB	Peuplement
BIOLLEY	Peuplement	Forme de l'arbre		
MSVFL	Peuplement	Défilement		
Optitek	Tige/bille	Défilement, forme de l'arbre, nœuds	DB, MOE, BA, BJ	Bille
NCCruise	Peuplement/bloc de récolte/tige/bille	Défilement, forme de l'arbre, nœuds	DF	Arbre
IGMap	Forêt/peuplement	Défilement, forme de l'arbre, nœuds	DF	Arbre
LogWorth	Bille	Défilement		
WOODMAN	Forêt/arbre	Défilement, forme de l'arbre, nœuds	DB, BA, BJ, MOE, AM, DF	Arbre/bille
SilviLab	Régional/forêt/peuplement	Branchaison		
LogiLab	Régional/forêt/peuplement			
Maxtour	Régional/forêt/peuplement/bille			
FPAlloc	Peuplement			

Nom	Niveau de décision	Attribut(s) de qualité de la tige	Attribut(s) de qualité du bois	Pouvoir de résolution de la QB
MillFlow	Bille			
MillPlan	Quart de travail à la scierie			
ForestPlan	Régional/forêt/peuplement			
Woodstock	Régional/forêt/peuplement			
Remsoft planification opérationnelle/tactique	Régional/forêt/peuplement			
Patchworks	Régional/forêt/peuplement			
FOREXPERT	Forêt/peuplement/arbre/bille			

Code de couleur : Vert = FPInnovations; rouge = entreprise privée; orange = État (fédéral ou provincial); noir = université.
DB : Densité du bois; BA : bois d'aubier; BJ : bois juvénile; PC : propriétés chimiques; DF : dimensions des fibres; MOE : module d'élasticité; AM : angle des microfibrilles. QT : Qualité de la tige; QB : attribut de qualité du bois.

7. La boîte à outils du CCFB : Un recueil de modèles et de systèmes d'aide à la décision liés à la qualité du bois

Les auteurs ont obtenu des renseignements sur les activités de modélisation de la qualité du bois menées par les chercheurs du CCFB de deux façons. Premièrement, ils ont recensé les modèles conçus et publiés en date de mars 2015 dans le cadre d'une revue de littérature. Deuxièmement, ils ont obtenu des renseignements sur les travaux en cours en communiquant directement avec les chercheurs du CCFB. La section suivante présente la boîte à outils formée des modèles de prédiction de la qualité du bois et des produits logiciels connexes auxquels ont participé les chercheurs du CCFB.

7.1. Modèles achevés

Les chercheurs du CCFB ont collaboré avec des organisations de recherche extérieures dans le cadre de leurs travaux portant sur la modélisation de la qualité du bois. Voici les principaux organismes de recherche avec lesquels ils ont collaboré : Foothills Research Institute, NASA, Université Nipissing, Université Laval, Université de Sherbrooke, Université du Québec à Montréal, Université du Québec à Rimouski et Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Des partenaires de l'industrie ont également joué un rôle important dans cette collaboration, notamment : West Fraser Hinton Wood Products (Alberta), Tembec (Ontario) et Corner Brook Pulp and Paper (Terre-Neuve-et-Labrador). Les recherches ont également bénéficié de la collaboration avec les gouvernements provinciaux (Colombie-Britannique, Alberta, Ontario, Québec, Nouveau-Brunswick et Terre-Neuve-et-Labrador).

Sans surprise, les principales essences commerciales (épinette noire et épinette blanche, sapin baumier, pin gris et pin tordu latifolié) ont été les plus visées par les efforts de modélisation. Certains travaux ont également porté sur le sapin de Douglas, le peuplier faux-tremble, le bouleau blanc et le bouleau jaune. Les espèces d'arbres à feuilles caduques sont sous-représentées dans la recherche, ce qui indique l'importance économique énorme que revêtent les conifères dans le paysage canadien.

Les efforts en matière de modélisation du CCFB ont été consacrés à 17 attributs de la qualité du bois, pour la plupart internes (figure 14). L'exception concerne la caractéristique externe de branchaison ou les nœuds, qui ont retenu la plus grande attention parmi le vaste éventail d'essences. La densité du bois (ou densité relative) et le MOE ont été au cœur de presque tous les efforts de modélisation (16 et

15 modèles, respectivement). Beaucoup moins d'efforts ont été consacrés aux autres attributs. Il convient de noter que des modèles de défilement à l'échelle nationale et régionale (non indiqués à la figure 14) ont été mis au point par Ung et ses collaborateurs (2013); toutefois, ils semblent opérer à une échelle beaucoup trop grande pour pouvoir être appliqués à l'évaluation de la qualité du bois à l'échelle du peuplement.

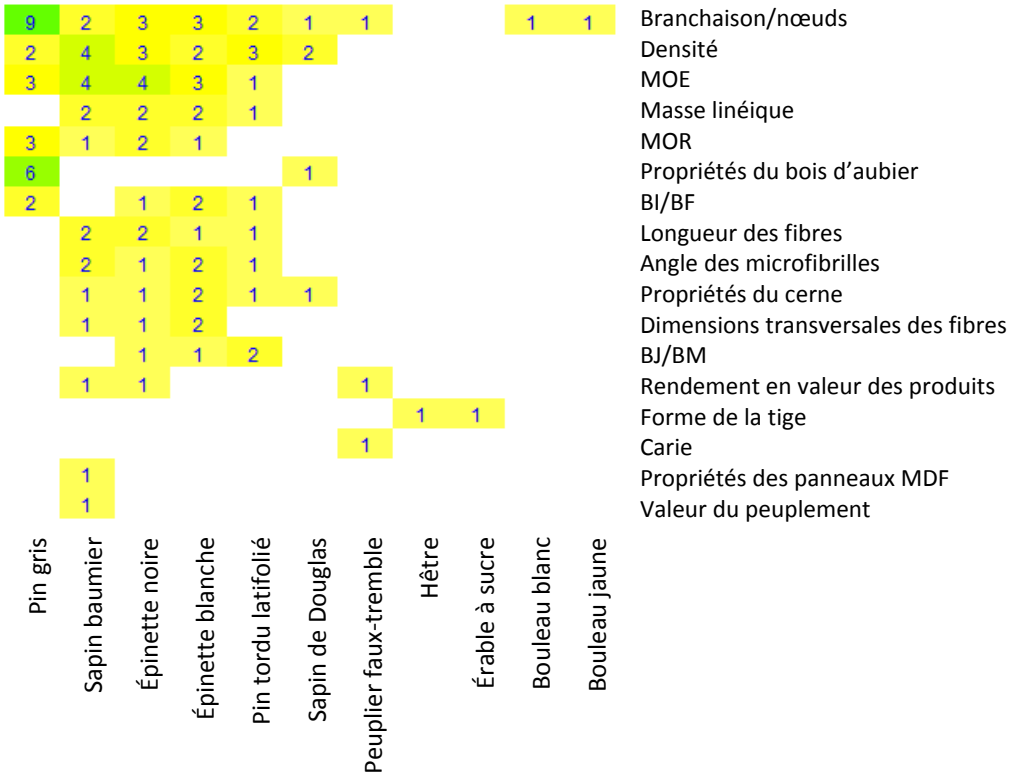


Figure 14. Nombre de modèles publiés par les chercheurs du CCFB, organisés par essence et attribut de qualité du bois. MOE : module d'élasticité; MOR : module de rupture; BI/BF : caractéristiques du bois initial/bois final; BJ/BM : proportion de bois juvénile/bois mature. Les modèles de défilement ont été exclus afin d'éviter qu'un trop grand nombre d'essences visées uniquement par un modèle ne viennent gonfler les chiffres.

Des 113 modèles (excluant les modèles de défilement) mis au point par les chercheurs du CCFB et leurs collègues, 48 ont utilisé l'arbre individuel comme niveau de résolution unitaire, alors que 26 modèles ont misé sur des échelles plus vastes (p. ex., le peuplement ou la placette, figure 15). L'échelle du modèle correspond au niveau de résolution de l'instrument de télédétection et à d'autres données d'inventaire qui servent de variables explicatives pour le développement de modèles. Pour les situations où des données à échelle fine étaient disponibles, 20 modèles ont été développés avec un niveau de résolution permettant de décrire la distribution des AQB à l'intérieur des arbres, la plupart allant même jusqu'au cerne annuel de l'arbre. Certains de ces modèles comprennent également un élément permettant de décrire la distribution verticale des attributs dans la tige.

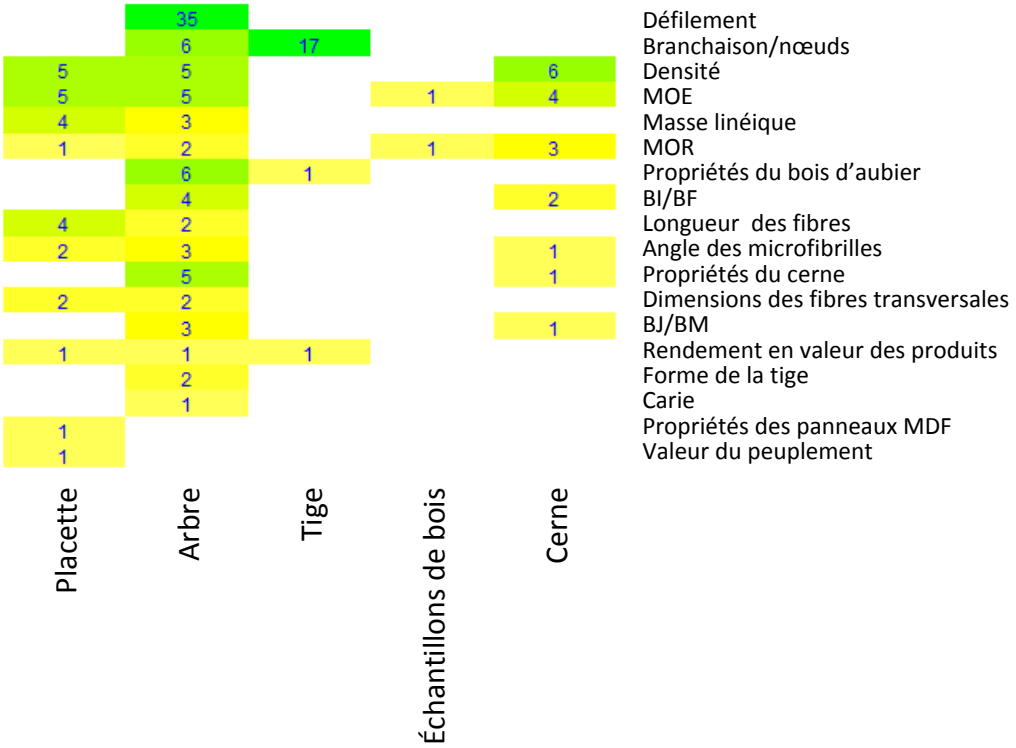


Figure 15. Nombre de modèles publiés par les chercheurs du CCFB, organisés par niveau de résolution et attribut de qualité du bois.

Les données servant d'intrant à ces modèles proviennent de plusieurs sources. À l'échelle du peuplement ou de la placette, les données proviennent des inventaires forestiers déjà dressés ou d'instruments de télédétection (généralement des données aériennes LiDAR). Les modèles à l'échelle de l'arbre utilisent les caractéristiques des arbres et du peuplement relevées lors d'observations au sol. Les modèles de prédiction des attributs dans l'arbre (y compris au niveau des cernes) exigent un échantillonnage approfondi ou la saisie de séries de données longitudinales comme intrant. Ces données peuvent provenir d'échantillons de disques ou de carottes de sondage, de la mesure dendrométrique périodique de placettes d'échantillonnage permanentes et de données climatiques à long terme. Les estimations de mesure annuelle issues des modèles de croissance et de rendement peuvent être une autre source de données d'entrée.

Un article de synthèse sur les relations entre les houppiers et les AQB, et leur relation avec l'inventaire forestier amélioré a été publié récemment (Groot et coll., 2015). Cet article couvre certains des travaux de modélisation de la qualité du bois effectués par le CCFB, ainsi que des travaux connexes menés par le Service canadien des forêts et d'autres organisations.

7.2. Modèles en cours d'élaboration

En mars 2015, les réponses au questionnaire d'enquête faisaient état de certains travaux de modélisation qui n'avaient pas encore été publiés, notamment :

1) *Density in balsam fir and black spruce* (Groot et Luther, 2015) (sous presse)[2]
2) *Models of sapwood area vertical distribution in lodgepole pine and western hemlock in western Canada* (Cruikshank, Cameron, Groot et Stewart, 2015) (sous presse)[3]
3) *Ring density of lodgepole pine as derived from models for earlywood density, latewood density and latewood proportion* (Sattler, Finlay et Stewart, 2015) (sous presse)[4]
4) *Models of wood mechanical properties (MOE and MOR) for sugar maple and yellow birch grown in New Brunswick* (Duchesne, Vincent, Wang, Ung et Swift) (sous presse)[5]
5) *Modelling of lumber stiffness (MOE) and strength (MOR) in black spruce* (Power, Franceschini, Schneider, Duchesne et Berninger) (manuscrit à l'étape de révision)
6) *Density in balsam fir and white spruce* (Groot et Cortini) (manuscrit à l'étape de révision)
7) *Quantifying the maximum variation in wood density attributable to climate in lodgepole pine* (Finlay, Sattler et Stewart) (manuscrit à l'étape de révision)
8) *IVY prediction of ring width in black spruce, jack pine and aspen* (Groot) (manuscrit à l'étape de préparation)
9) *Models of ring-level MOE and MFA in lodgepole pine* (Peng et Stewart) (manuscrit à l'étape de préparation)
10) *Evaluation of existing and new models for pith to bark MOE in white spruce* (Sattler et Stewart) (manuscrit à l'étape de préparation)
11) *Density in black spruce and jack pine* (Newton) : On vient d'accepter de publier dans *Forests* des sous-modèles pour estimer les effets de la valeur génétique ajoutée et les réponses à l'éclaircie, ainsi que l'évaluation écologique; le manuscrit du modèle de prédiction des effets sur la hauteur liés à la densité a été soumis à un examen par les pairs; le manuscrit portant sur le développement de variantes permettant de tenir compte des changements éventuels des conditions de croissance est en préparation et on a entrepris l'analyse de validation empirique tout comme le développement d'une variante pour le pin rouge.
12) *Modelling annual ring mean wood density in white spruce* (Peng, Sattler et Stewart) (à l'étape d'analyse)
13) *A universal algorithm to determine the transition from juvenile to mature wood for the pith-to-bark trend in any wood quality attribute* (Finlay et Stewart), non publié et intégré au logiciel WQ4MGM (voir la prochaine section).

---

[2] Publié en date du 1er septembre 2015. A. Groot et J.E. Luther, « Hierarchical analysis of black spruce and balsam fir wood density in Newfoundland ». *Revue canadienne de recherche forestière* (2015), 45(7): 805-816, 10.1139/cjfr-2015-0064.

[3] Publié en date du 1er septembre 2015. M.G. Cruickshank, I.R. Cameron, A. Groot, J.D. Stewart, et J.W. Goudie, « Models of the vertical distribution of sapwood area for Lodgepole Pine and Western Hemlock in western Canada » *Forest Science* (2015), doi:10.5849/forsi. 14-206.

[4] Publié en date du 1er septembre 2015. D.F. Sattler, C. Finlay, et J.D. Stewart, « Annual ring density for lodgepole pine as derived from models for earlywood density, latewood density and latewood proportion », *Forestry* (2015), doi:10.1093/forestry/cpv030.

[5] Accepté en date du 1er septembre 2015. I. Duchesne, M. Vincent, X. Wang, C.-H. Ung, et D.E. Swift, « Wood mechanical properties and discoloured heartwood proportion in sugar maple and yellow birch grown in New Brunswick ». Compte rendu d'une conférence de l'International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP), tenue du 14 au 17 septembre 2015, dans la ville de Québec, au Canada.

La plupart de ces modèles affichent un niveau de résolution à l'échelle des cernes. Le modèle de densité de Newton a un niveau de résolution allant jusqu'aux classes de diamètre.

7.3. Systèmes d'aide à la décision

Le CCFB a également mis au point des programmes qui portent sur la qualité du bois et qui pourraient être utilisés pour appuyer la prise de décisions à des fins de gestion opérationnelle en foresterie ou, en y apportant quelques modifications, être utilisés en conjonction avec les modèles décrits ci-dessus.

MSVFL (modèle de simulation de la valeur de la fibre ligneuse)

Le simulateur de la valeur de la fibre ligneuse est un modèle de simulation auquel sont intégrés l'inventaire et les attributs des fibres, la chaîne d'approvisionnement (intrants) et les choix et la valeur des produits (extrants), et qui a recours aux données des inventaires forestiers pour générer des profils de produits et leurs valeurs sur les marchés. Ce modèle permet aux utilisateurs de déterminer la valeur économique associée aux prescriptions d'aménagement et les préférences en matière de produits afin d'évaluer la meilleure utilisation des sources de fibres. Le programme MSVFL a été conçu pour être intégré au programme d'optimisation de la chaîne de valeur de FPInnovations.

WQ4MGM

Le logiciel *Wood Quality for Mixedwood Growth Module* (WQ4MGM) comprend deux modules. Le module FibreAttributes calcule les attributs des fibres à l'échelle des cernes, à partir d'un fichier .csv contenant le nombre de cernes et leur largeur, et il produit un fichier .csv indiquant les valeurs prévues des attributs des fibres. Les utilisateurs peuvent choisir de fournir le fichier des paramètres précisant les valeurs des paramètres utilisés dans chaque modèle. Sans fichier des paramètres, le module FibreAttributes.exe utilise des valeurs par défaut. Présentement, FibreAttributes.exe ne fournit que des estimations à l'échelle des cernes pour l'angle des microfibrilles et le module d'élasticité du pin tordu latifolié; les modèles pour prédire la densité du bois du pin tordu latifolié, et pour prédire la densité, l'angle des microfibrilles et le module d'élasticité du bois de l'épinette blanche sont en développement. Les travaux se poursuivent en vue de développer et d'intégrer des modèles pour prédire la masse linéique et le périmètre des fibres pour les deux essences susmentionnées. La construction modulaire du logiciel est faite pour favoriser éventuellement l'intégration des modèles portant sur n'importe quelle essence ou caractéristique de la qualité du bois à l'échelle des cernes. Le deuxième module, TransitionPoints, calcule le point de transition du bois juvénile au bois mature pour tout profil d'attributs de fibres produit par le module FibreAttributes.

BIOLLEY

BIOLLEY est un modèle d'optimisation à l'échelle du peuplement conçu pour aider les sylviculteurs et les aménagistes forestiers à choisir les arbres à couper afin de maximiser les revenus de manière durable dans le contexte de coupe partielle dans un régime sylvicole inéquienne. L'accent est mis sur les aspects économiques à court et à long terme des coupes, de la régénération et des soins culturaux à l'échelle du peuplement. Le modèle a été conçu à l'origine pour l'application du système sylvicole de jardinage, et visait à réaliser des revenus nets durables sur plusieurs cycles de coupe.

On modélise la croissance, la survie des arbres et les changements sur le plan des classes de qualité et de risque à l'aide d'une matrice de transition étalonnée en fonction de placettes permanentes situées dans des peuplements aménagés au Québec et en Ontario. On modélise le recrutement des arbres à l'aide d'une version modifiée du modèle de recrutement Artemis-2009. On modélise les rendements par classe de qualité de billes et la valeur sur les marchés au moyen des matrices de tronçonnage fournies par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, et des tableaux de prix actuels disponibles sur Internet. On modélise les coûts de la récolte à l'aide des fonctions de coûts génériques mises au point par FPInnovations.

La version actuelle est conçue pour permettre aux chercheurs de créer et de mettre à l'essai de nouvelles stratégies de traitement qui serviront de guide pour les aménagistes forestiers. Le modèle qui prend la forme d'un tableur peut être adapté à d'autres régimes inéquiennes, ou servir à intégrer des indicateurs et des objectifs écologiques, en conjonction avec la production de bois.

CROPLANNER

Les activités de modélisation en cours comprennent le développement de modèles de réponse aux effets de l'éclaircie et de la génétique, l'évaluation de la validité biologique du modèle sous-jacent et le développement d'une variante du modèle structurel de gestion de la densité de peuplements pour le pin rouge. Les prochaines activités consisteront en la mise à l'essai empirique sur le plan de la précision des estimations de rendement, la conversion des codes, la documentation et le compte rendu de l'examen par les pairs. En attendant son acceptation par l'organisme de réglementation provincial, c.-à-d. le ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (MRNFO), en vue d'être utilisée dans le système de planification forestière du MRNFO, la version de ce prototype de modèle empirique non validé devra être peaufinée et évaluée (avec les changements de modèles s'y rattachant, le cas échéant); il faudra également fournir une documentation complète (c.-à-d. une monographie) ainsi que des articles à l'appui qui auront été soumis à l'examen par les pairs, et la recherche de programmation, y compris le développement, la traduction et la mise à l'essai des codes machine. Les restrictions liées au modèle comprennent l'approche allométrique axée sur le rendement utilisée; les données d'étalonnage utilisant presque uniquement des types de peuplement d'origine naturelle et comptant un nombre limité de données provenant de peuplements matures éclaircis; le manque de paramètres d'évaluation et de documentation. La communauté des utilisateurs régie par le MRNFO connaît bien cette technique de modélisation (diagrammes de gestion de la densité de peuplement) et il est prévu que le MRNFO utilise éventuellement le SAD dans son système de planification de l'aménagement forestier, si les conditions préalables sont remplies. On a adopté une approche participative, ouverte aux représentants des organismes de réglementation (MRNFO) qui régissent le déploiement des modèles d'aide à la décision à des fins de planification opérationnelle de l'aménagement forestier. Ils participent au projet depuis les débuts en fournissant des suggestions et des conseils. La priorité consistait également à assurer le fondement scientifique et la transparence de l'approche de modélisation, comme en fait foi l'important dossier de publications (Newton, 2009 et 2012).

Tableau 5. Liste des publications portant sur la qualité du bois auxquelles a pris part un chercheur du CCFB à titre d'auteur principal ou de coauteur

Auteurs du CCFB	Organisation participante	Essences	Attributs de la qualité du bois	Échelle	Citation
Beaulieu	SCF	Épinette blanche	Densité, MOE, MOR, nœuds	Famille/ provenance/ site	Beaulieu et coll., 2006*
Beaulieu	Université Laval	Épinette blanche	AM, MOE	Arbre	Lenz et coll., 2013*
Beaulieu	Université Laval	Épinette blanche	Densité, MOE, AM, DTF	Cerne	Lenz et coll., 2011*
Beaulieu	Université Laval	Épinette blanche	Densité, BI/BF, masse linéique, DTF, AM, MOE, propriétés des cernes	Arbre	Lenz et coll., 2012
Beaulieu	UQAT	Épinette blanche	BJ/BM	Cerne	Mvolo et coll., 2015
Beaulieu, Clément	CCFB	Épinette blanche	Densité, AM, MOE, DTF	Arbre	Beaulieu et coll., 2014*
Beaulieu, Clément, Deslauriers	CCFB	Épinette blanche	Densité, AM, MOE, masse linéique, largeur des cernes, BI/BF, DTF	Famille	Beaulieu et coll., 2011b*
Beaulieu, Ung, Swift	UQAM	Pin gris	Branchaison/nœuds	Arbre	Beaulieu et coll., 2011a
Cortini, Groot, Duchesne	CCFB	Sapin baumier	Densité, MOE, AM	Arbre	Cortini et coll., 2014
Cortini, Groot, Filipescu	CCFB	Épinette noire, sapin baumier, épinette blanche, pin tordu latifolié	Propriétés des cernes	Arbre	Cortini et coll., 2013
Cruikshank, Filipescu	CCFB	Sapin de Douglas	Bois d'aubier	Tige	Cruickshank et Filipescu, 2012
Deslauriers, Ung, Beaulieu	Université Laval	Épinette blanche	Densité, BI/BF, masse linéique, longueur des fibres, DTF, AM, MOE	Arbre	Lenz et coll., 2014
Duchesne	Université Laval	Épinette noire	Rendement en valeur des produits	Tige	Barrette et coll., 2012
Duchesne	Université Laval	Épinette noire	MOE, MOR	Échantillons dans l'arbre	Torquato et coll., 2014
Duchesne	Université Laval	Épinette blanche, pin gris	MOE, MOR	Arbre	Vincent et Duchesne, 2014
Duchesne, Pitt	CCFB	Sapin baumier	Densité, MOE, MOR, rendement en valeur des produits, propriétés des panneaux MDF (liaison, MOE, MOR, etc.)	Placette/peu plement	Duchesne et coll., 2013
Filipescu, Koppenaal, Mitchell	CCFB	Sapin de Douglas	Densité, propriétés des cernes	Cerne	Filipescu et coll., 2014
Groot	CCFB	Sapin baumier, épinette noire, sapin de Douglas, pin gris, pin tordu latifolié, peuplier faux-tremble,	Branchaison/nœuds	Arbre	Groot et Schneider, 2011

Auteurs du CCFB	Organisation participante	Essences	Attributs de la qualité du bois	Échelle	Citation
		bouleau blanc, épinette blanche, bouleau jaune			
Groot, Pitt	Université Nipissing	Épinette noire	Densité, BI/BF	Arbre/ écosite	Pokharel et coll., 2014
Luther	Université de Sherbrooke	Épinette noire, sapin baumier	Densité, masse linéique, longueur des fibres, MOE	Placette/peu plement	Lessard et coll., 2014
Luther, Côté	CCFB	Épinette noire, sapin baumier	Densité, masse linéique, longueur des fibres, DTF, AM, MOE	Placette/peu plement	Luther et coll., 2013
Newton	CCFB	Pin gris	Forme de la tige	Arbre	Newton et Sharma, 2008
Park	UBC	Sapin de Douglas	Densité, largeur des cernes, BI/BF	Arbre	Krakowski et coll., 2005*
Park	CCFB	Épinette blanche	Densité, BI/BF, longueur des fibres, AM	Arbre/clone	Park et coll., 2012*
Pitt, Lanteigne, Hoepting	CCFB	Sapin baumier	Valeur du peuplement	Placette/peu plement	Pitt et coll., 2013
Stewart	NASA, UBC, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	Pin tordu latifolié	Densité, masse linéique, longueur des fibres, AM, MOE, branchaison/nœuds	Arbre/site	Hilker et coll., 2013
Stewart	Foothills Research Institute	Pin tordu latifolié	Densité	Cerne/arbre	Peng et Stewart, 2013
Stewart	Foothills Research Institute	Pin tordu latifolié	BJ/BM basé sur l'AM	Arbre/site	Wang et Stewart, 2012
Stewart	Foothills Research Institute	Pin tordu latifolié	BJ/BM basé sur le MOE	Arbre	Wang et Stewart, 2013
Swift, Lussier	UQAM	Pin gris	Densité, BI/BF, MOE, MOR	Cerne	Schneider et coll., 2008a
Ung	Université Laval	Épinette noire	MOE, MOR	Cerne	Alteyrac et coll., 2006
Ung	Université Laval	Épinette noire, pin gris	Branchaison/ nœuds	Arbre	Duchateau et coll., 2013
Ung	Université Laval	Épinette noire	BJ/BM	Arbre	Giroud et coll., 2014
Ung	CCFB	Diverses essences au Canada	Défilement	Arbre	Ung et coll., 2013
Ung, Swift	UQAM	Pin gris	Branchaison/nœuds, bois d'aubier	Arbre	Schneider et coll., 2008c
Ung, Swift	UQAR	Pin gris	Bois d'aubier	Arbre	Schneider et coll., 2011

* : Études en génétique/génomique
BI/BF : Propriétés du bois initial/bois final; BJ/BM : Propriétés du bois juvénile/bois mature; TH : Taux d'humidité; MOE : Module d'élasticité; AM : Angle des microfibrilles; MOR : Module de rupture; DTF : Dimensions transversales des fibres

8. Résumé de la séance de remue-méninges

En complément de la revue de littérature sur les modèles de prédiction de la qualité du bois, les simulateurs de croissance et de rendement, les SAD, et aux enquêtes par questionnaire, le CCFB a organisé en mars 2015 un atelier intitulé « Planification stratégique en vue d'intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois aux systèmes d'aide à la décision ». L'atelier avait pour objectif de réunir les chercheurs qui travaillent dans le domaine de la modélisation de la qualité du bois et les développeurs de systèmes d'aide à la décision liés à la chaîne de valeur forestière. Dans le cadre de l'atelier, les participants ont fait le point sur la situation des modèles de prédiction de la qualité du bois et des systèmes d'aide à la décision qui sont utilisés au Canada (voir le programme de l'atelier reproduit à l'annexe A7). Ils ont également discuté des possibilités et des défis à surmonter avant de pouvoir intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois aux SAD à des fins opérationnelles, et réfléchi à un plan stratégique dans le but de favoriser cette intégration. D'une façon générale, l'atelier avait pour but de répondre aux questions quatre et cinq du chapitre intitulé Méthode :

1) Quels sont les défis à surmonter avant de pouvoir intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois aux simulateurs de C et R ou aux SAD?
2) Que peut-on faire pour relever ces défis?

Pour tenter d'orienter les discussions durant l'atelier, les organisateurs ont proposé la vision suivante : « Le secteur forestier canadien a recours aux données sur la qualité du bois afin d'optimiser l'utilisation des ressources forestières ».

En règle générale, inévitablement et heureusement dans le cadre de tout bon atelier, une foule de bonnes idées émergent, et cet atelier n'a pas fait exception à la règle. Pour en témoigner, toutes les idées exprimées lors de l'atelier ont été reproduites aux annexes A8, A9 et A10. Cependant, dans le résumé des discussions menées lors de l'atelier, seules les idées liées à la modélisation de la qualité du bois et à l'intégration des modèles aux systèmes d'aide à la décision ont été retenues.

8.1 Défis techniques et solutions possibles

8.1.1. Données

Incompatibilité des modèles et manque d'uniformité dans les méthodes – Pour réussir l'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois déjà conçus et à venir aux plateformes des SAD, il faudra que tous ces outils aient adopté le même langage. Cela signifie qu'ils doivent non seulement utiliser les mêmes variables pour les intrants et les extrants, mais aussi que ces variables doivent avoir le même sens (p. ex., avoir une définition normalisée et respecter les mêmes protocoles pour l'acquisition des données). Certaines différences sont attribuables aux différentes techniques de mesure (p. ex., valeur du module d'élasticité statique par opposition à dynamique) ou à la manière dont elles sont définies (p. ex., ligne de démarcation entre le bois initial et le bois final). Non seulement les chercheurs doivent développer une approche uniforme à l'acquisition de données, mais la communauté des scientifiques doit également harmoniser ses définitions et ses normes avec celles du secteur, afin de s'assurer que les produits finaux sont utiles sur le plan opérationnel.

Acquisition des données d'entrée – Un volume important de données est nécessaire pour développer des modèles statistiquement solides et les valider en fonction de toute une gamme de conditions. Par

rapport à la dendrométrie traditionnelle, l'acquisition des données sur les AQB est exigeante tant financièrement que sur le plan de la main-d'œuvre, ce qui fait qu'il est parfois difficile de réunir le financement pour l'acquisition des quantités de données requises. Bien qu'on ait constaté une augmentation des efforts de modélisation de la qualité du bois au cours des derniers dix ans, il manque encore des données pour couvrir l'ensemble des AQB pour toutes les essences commerciales du Canada.

Les modèles de prédiction des AQB utilisent souvent les variables des inventaires forestiers comme variables explicatives. Par conséquent, ces modèles reposent sur la disponibilité des données d'inventaire de qualité supérieure. Présentement, le principal obstacle qui nous empêche de recourir aux inventaires forestiers classiques est que le cycle d'inventaire a généralement une durée de 10 ans ou plus, et il est souvent irrégulier. Par conséquent, les données risquent souvent de ne pas être à jour et de ne pas être le reflet des conditions actuelles du peuplement, particulièrement lorsqu'un événement perturbant important est survenu depuis l'acquisition des données par télédétection. Les progrès technologiques récents en matière de télédétection, comme LiDAR, aideront à diminuer les coûts associés à l'acquisition et au traitement des données d'inventaire, tout en produisant des données à plus grande échelle d'une plus grande précision. De plus, la télédétection permettra de raccourcir les cycles d'inventaire.

Il s'avère également difficile d'estimer les propriétés du bois qui découlent des conditions de croissance et des caractéristiques des arbres qui existaient autrefois en observant les conditions actuelles des arbres et du peuplement. La modélisation des AQB au niveau des cernes exige d'obtenir des données à l'échelle des cernes ou d'une échelle temporelle annuelle sur la croissance des arbres et les conditions de croissance. De telles données nécessaires au développement des modèles peuvent provenir des études de reconstitutions de peuplements, de l'analyse des tiges et des données climatiques. Lorsqu'on a recours aux modèles de prédiction des AQB pour estimer les propriétés de l'inventaire forestier actuel, de telles données longitudinales peuvent être obtenues des carottes prélevées dans les arbres sélectionnés afin d'acquérir un dossier de croissance annuelle (le nombre de cernes et leur largeur, et la distance par rapport à la moelle étant souvent utilisés comme variables explicatives dans les modèles). Ces méthodes procurent des données de qualité supérieure, mais elles ont le désavantage d'être laborieuses et coûteuses.

Les technologies d'essais non destructifs offrent une solution de rechange à l'échantillonnage destructeur des AQB, bien qu'elles aient leurs limites. Les outils qui reposent sur la vitesse acoustique, la résistance mécanique et la spectrométrie infrarouge peuvent être utilisés pour estimer la densité du bois, sa rigidité et d'autres propriétés, mais cette méthode implique quand même que d'autres propriétés doivent être déduites de leurs relations avec des variables mesurables. En outre, les technologies d'essais non destructifs entraînent des erreurs de mesure plutôt importantes comparativement à la mesure directe des échantillons.

Il est possible d'adopter une approche moins intensive lorsque les données longitudinales proviennent de la mesure dendrométrique périodique au fil du développement du peuplement. Même si le coût global demeure élevé, il peut être réparti sur une plus longue période et permettre de réaliser plusieurs objectifs. Le résultat offre une résolution moindre par rapport à celle que procurent les carottes de sondage, mais elle convient aux fins industrielles. Cette approche procure également une meilleure vue d'ensemble des processus en œuvre dans le peuplement (p. ex., les changements sur le plan de la mortalité et de la densité) par rapport à la reconstitution rétrospective à partir de carottes.

Gestion des données – Vu la forte demande et la valeur de ces jeux de données sur les AQB, leur utilité peut être maximisée en mettant ces données à la disposition de l'ensemble de la communauté de modélisation. Des initiatives comme TreeSource (une base de données nationale sur la qualité du bois[6]) et le Catalogue des travaux de recherche à long terme (CTRLT) peuvent s'avérer des outils utiles pour la normalisation et la communication des jeux de données. Les initiatives antérieures en vue de mettre en place un centre d'échange des données dans le cadre du projet de réseau ForêtValeur (ForValueNet) se sont butées à plusieurs défis; il avait été difficile de réunir les ressources financières nécessaires à la structuration et à la gestion des bases de données. Le financement a été affecté en grande majorité à la rémunération d'étudiants des cycles supérieurs et à la formation de personnel hautement qualifié, plutôt qu'au développement de l'infrastructure de la base de données. Sans une gestion adéquate, le risque de perdre des jeux de données précieux est très élevé, particulièrement lorsque les étudiants nouvellement diplômés quittent le giron de l'université. Par conséquent, les initiatives gouvernementales en vue de gérer les bases de données semblent être la meilleure solution pour garantir l'accès à long terme aux données.

8.1.2. Modélisation

Où doit-on concentrer les efforts en matière de modélisation des AQB? Les efforts consacrés au développement obtiennent un rendement maximal lorsque les modèles sont conçus pour être facilement adaptés aux différentes plateformes, aux différentes régions et, dans la mesure du possible, aux différentes essences. On constate un manque apparent de personnel hautement qualifié en mesure de comprendre et d'exécuter des modèles plus élaborés (qui évaluent les comportements distinctifs). Bien qu'une telle expertise soit présente dans les organisations de recherche, elle fait souvent défaut dans les organismes provinciaux ou les sociétés forestières. Un instrument modulaire prêt à l'emploi faciliterait les échanges. Les chercheurs pourraient s'inspirer des modèles existants et il serait facile de partager les connaissances entre les développeurs, et d'informer les utilisateurs quant au fonctionnement des modèles. Cependant, il faut bien reconnaître que les modèles généraux (universels) ne seraient pas la solution à toutes les situations; il sera parfois nécessaire de développer des modèles particuliers pour répondre à des besoins particuliers.

Une autre approche consisterait à adapter ou à remplacer les modèles régionaux par des modèles plus génériques avec un paramétrage régional. Il faudrait alors intégrer des variables comme les écosites, les conditions climatiques et celles qui règnent dans les peuplements pour tenir compte des différences entre les diverses régions forestières. La plupart des études et des modèles de prédiction des AQB reposent sur des peuplements issus de feux de forêt. Pour être en mesure d'appliquer les connaissances en matière d'AQB à la planification de nouvelles forêts, il faut valider les modèles à partir de peuplements après récolte dans lesquels la croissance des arbres et le développement du peuplement ne reflètent pas nécessairement ceux observés dans les forêts issues de feux.

Les modèles de prédiction des AQB qui seront intégrés aux simulateurs de C et R ou aux SAD doivent utiliser des intrants qui peuvent être fournis par ces derniers programmes, et vice versa. Il faut donc utiliser les mêmes variables, ou des variables qui peuvent facilement être converties pour convenir aux modèles. Les variables doivent également être exprimées à la même échelle, temporelle et spatiale. À titre d'exemple, l'accroissement en surface terrière (AST) à l'échelle du peuplement ne peut remplacer

[6] TreeSource est accessible sur Internet à l'adresse https://treesource.rncan.gc.ca/fr/.

la surface du cerne annuel, à moins que cet attribut s'accompagne d'une indication de la distribution de l'AST parmi les arbres qui forment le peuplement.

La modélisation à l'échelle du cerne annuel procure les données les plus précises, et c'est à cette échelle que les processus environnementaux et biologiques interagissent pour produire les bois. Toutefois, la modélisation à une telle échelle n'est pas toujours pratique ni rentable. Il serait utile de déterminer l'échelle à laquelle le coût associé à la modélisation des AQB est compensé par la valeur plus élevée qu'entraîne l'utilisation des données dans la chaîne de valeur.

Il conviendrait également de se pencher sur la mise à l'essai de nouvelles sources d'information (p. ex., la télédétection, les technologies d'essais non destructifs et les relevés climatiques à long terme) qui pourraient servir de variables explicatives dans les modèles, ou qui permettraient la localisation (étalonnage des sites) des modèles régionaux.

Quelles essences et quels AQB seraient les plus profitables au secteur forestier? Il est important que la communauté de la modélisation tire un maximum d'avantages de ses efforts en axant justement ses efforts sur les essences, les conditions et les échelles qui auront les meilleures répercussions sur les opérations; pour ce faire, elle doit travailler en collaboration avec les spécialistes des inventaires forestiers. Jusqu'à présent, presque tous les efforts ont été centrés sur les résineux, mais il serait probablement avantageux de modéliser les propriétés des feuillus de grande valeur sur le marché (p. ex., l'érable à sucre et le bouleau jaune). À court et à moyen terme, les efforts devraient être axés sur les essences et les propriétés du bois qui ont le plus d'incidence sur la valeur des produits (la demande sur les marchés), même s'il est difficile de prévoir les besoins du marché à long terme. Au Canada, par le passé, on considérait le tremble comme étant une plante nuisible, mais, avec les progrès technologiques, l'espèce est devenue la source principale d'approvisionnement pour les usines qui fabriquent des panneaux de copeaux orientés (OSB). Le bois de compression n'a pas été modélisé, mais il y a de la demande en ce sens dans l'industrie, qui exprime aussi sa préoccupation à l'égard de la modélisation des nœuds et des gerces, surtout depuis que le pin tordu latifolié a été détruit par le dendroctone du pin ponderosa (DPP). Avec l'émergence de la bioéconomie, de nouveaux éléments en bois (p. ex., des matières extractibles) pourraient ajouter une plus grande valeur. Au final, une forme d'évaluation des risques serait nécessaire afin de décider où centrer stratégiquement les efforts. Toutefois, comme l'avenir est incertain, la communauté de la modélisation devrait travailler à maintenir la diversité des fibres, et éviter de s'intéresser uniquement à des solutions à court terme visant à régler des problèmes immédiats.

8.1.3 Développement de logiciels (SAD)

Les SAD devraient fonctionner à des échelles chronologiques similaires à celles des modèles de prédiction des AQB, afin de prédire l'évolution des ressources forestières et des fibres dans le temps. Dans une certaine mesure, ces systèmes devront adapter leurs intrants et leurs extrants pour favoriser l'intégration des modèles de prédiction des AQB. Il serait tout de même judicieux de promouvoir l'utilisation d'une plateforme d'intégration commune (p. ex., CAPSIS et AMSIMOD) dans le but de lier les modèles de prédiction des AQB, les simulateurs de C et R et les SAD.

Pour favoriser la circulation des données en temps réel (ou presque) dans l'ensemble de la chaîne de valeur, il faut ouvrir la porte au large éventail de dispositifs numériques pouvant héberger les divers modèles et plateformes. Ces dispositifs comprennent des postes de travail pris en charge par des serveurs, des ordinateurs portables, des tablettes et des téléphones intelligents, ainsi que certains

appareils exclusifs spécialisés. Tous ces dispositifs doivent être en mesure de transmettre aisément les données, dès que les dénominateurs communs auront été établis. Pour ce faire, il faudra déterminer un moyen simple permettant de transférer les données à partir d'un programme logiciel stocké dans un format particulier et de les convertir dans un autre format pour les utiliser dans un deuxième logiciel. Cela sera possible au moyen d'un logiciel de conversion ou en adoptant un format qui convient aux logiciels utilisés. Dans le but de faciliter l'intégration, il faudrait privilégier la collaboration avec les concepteurs de SAD dans le but de mettre au point un protocole ou une plateforme qui permettra l'interconnectivité entre les futurs outils et modèles.

La majorité des modèles de prédiction de la qualité du bois fonctionne à l'échelle de l'arbre individuel ou même des cernes de croissance individuels. Il serait nécessaire de développer ou d'adapter les simulateurs de C et R et les SAD afin qu'ils puissent également fonctionner à cette échelle.

Il ne sera pas possible de tirer le meilleur parti de la modélisation des AQB présents dans les arbres et dans les peuplements à moins d'arriver à repérer, à trier et à faire le suivi du bois de grande valeur, et de pouvoir le diriger vers la ligne de transformation appropriée. Pour ce faire, il faut arriver à relier la mesure, la modélisation et la planification de la qualité du bois à d'autres aspects des activités d'exploitation forestière (p. ex., aux programmes de tronçonnage, à l'optimisation du transport des billes et à la gestion des parcs à grumes).

Enfin, l'efficacité et la valeur des SAD qui intègrent les modèles de prédiction de la qualité du bois doivent être démontrées par la validation de principe et des études de cas.

8.2 Défis organisationnels et solutions possibles

En plus des défis sur les plans techniques et scientifiques, les chercheurs doivent également surmonter des défis liés à la communication, à la coordination, à la gestion, au financement et à la formation. Il n'existe aucune forme de leadership au sein de ce groupe à l'échelle nationale pouvant diriger ou coordonner les efforts de recherche et de développement. L'absence de coordination entre les groupes de recherche mène à une approche fragmentée et à l'inefficacité qui en résulte. Il importe que les chercheurs se tiennent informés de ce qui est fait dans les autres régions et disciplines afin d'éviter le travail en double en ayant deux groupes qui développent des modèles pour les mêmes essences et les mêmes AQB.

À l'heure actuelle, les travaux en matière de modélisation de la qualité du bois sont représentés par un trop grand nombre de voix. Ce groupe souffre de l'absence d'un centre d'échange des données et d'un mécanisme de communication qui lui permettrait d'exprimer les préoccupations régionales et de les porter à l'échelle nationale. Des actions collectives et coordonnées seraient nécessaires, ce qui pourrait inclure l'établissement d'une communauté de pratique ou d'un réseau de recherche. Il serait aussi nécessaire de créer un catalogue ouvert des outils afin de partager les progrès réalisés dans ce domaine.

Les chercheurs et les développeurs d'applications doivent communiquer plus efficacement avec les intervenants du secteur forestier et les gouvernements dans le but de les aider à comprendre les défis auxquels ils sont confrontés et de les informer au sujet des solutions qui sont mises en œuvre. Une interaction participative en continu entre les provinces, le secteur forestier et la communauté des chercheurs dès le début du projet nous assurerait que la recherche est orientée dans la bonne direction, et que les solutions sont acceptables pour les organismes de réglementation, et qu'elles seront

appropriées et applicables par l'industrie forestière dès leur mise en marché. Tant qu'il y aura peu de demandes provenant du secteur forestier pour des données sur la qualité du bois, on souffrira d'un appui limité pour de tels travaux sur le plan financier et de l'absence d'un soutien moral. Par conséquent, il serait nécessaire de concevoir un plan de communication assorti d'une approche et de messages coordonnés, en plus d'établir des relations réciproques avec le secteur forestier et les gouvernements, et d'identifier les premiers utilisateurs de ces données.

Les auteurs ont identifié les lacunes en matière de communication qui englobe les organismes responsables des normes et des codes (p. ex., la Commission nationale de classification des sciages [CNCS]). Les données sur les AQB doivent être harmonisées avec les normes de classification pour atteindre la valeur effective des produits du bois. L'harmonisation des définitions et des normes liées aux attributs de qualité à l'échelle nationale est une étape nécessaire pour faciliter la communication, définir une vision collective et orienter stratégiquement les travaux de recherche. La représentation et la compréhension communes des attributs de qualité seraient utiles, puisqu'elles faciliteraient le développement des modèles, leur mise en œuvre et leur distribution auprès des utilisateurs et décideurs. De plus, la mise en place d'un cadre commun faciliterait la comparaison entre les diverses méthodes de modélisation et les divers modèles offerts au pays.

Pour réaliser des progrès importants, il faudra sécuriser un financement stable et à long terme et conserver les capacités en recherche (le personnel hautement qualifié dans les organisations de recherche). Le manque de patience des organismes de financement et de gestion, et des partenaires industriels mettra en péril ces travaux de recherche; par conséquent, il faut déployer des efforts pour s'assurer qu'ils reconnaissent l'importance de cette recherche et le temps qu'il faut y consacrer en vue d'obtenir des résultats. Le réseau ForêtValeur (ForValueNet) a été le premier effort « national » d'intégration des données sur la croissance et la qualité du bois aux décisions liées à l'aménagement forestier, et ce n'est qu'après cinq ans d'existence (2008-2013) que des progrès importants ont été réalisés. Pourtant, le programme n'a pas été renouvelé et, depuis la dissolution du réseau en mars 2013, aucun effort concerté n'a été fait afin de poursuivre dans cette voie. Il existe un réel besoin de mettre au point un tel programme à l'échelle du pays et de promouvoir davantage les réalisations accomplies. Le CCFB, en collaboration avec FPInnovations, le secteur forestier et certaines grandes universités, pourrait diriger la mise en place de cette proposition collective et militer pour un financement durable. La plupart des simulateurs de C et R et des SAD au pays sont suffisamment matures et souples pour intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois. Il suffit de mettre au point des modèles de prédiction solides, précis, ouverts, et de les valider. En procédant ainsi et avec des ressources suffisantes, les modèles de prédiction de la qualité du bois pourront être intégrés avec succès aux simulateurs de C et R ou aux SAD pour le bien du secteur forestier.

On constate des lacunes évidentes sur le plan de la formation dans bon nombre de disciplines liées à la productivité des peuplements et à la qualité du bois, et à leurs relations avec l'aménagement forestier. Ces lacunes font en sorte qu'il est difficile pour le secteur forestier de mettre en œuvre les outils développés en raison du manque de personnel doté des compétences techniques nécessaires pour apprendre le fonctionnement des outils. Une meilleure formation du personnel dans du secteur forestier ainsi que des programmes d'éducation permanente contribueraient à favoriser l'adoption des modèles et des outils.

9. Conclusions et recommandations

Ce projet avait pour but de favoriser l'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois, mis au point par le CCFB et d'autres organisations, aux simulateurs de croissance et de rendement ou aux outils d'optimisation de la chaîne de valeur afin que le secteur forestier et des produits du bois puissent tirer un maximum d'avantages de ces modèles. La démarche comportait trois volets : Une revue de la littérature sur les modèles de prédiction de la qualité du bois, sur les simulateurs de croissance et de rendement, et sur les systèmes d'aide à la décision afin de dresser un portrait clair de la situation au Canada; Une enquête par questionnaire auprès des concepteurs de modèles afin d'évaluer le niveau d'intégration de leurs modèles; Un atelier national réunissant des spécialistes afin de discuter des défis liés à l'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois aux systèmes d'aide à la décision, et de réfléchir à une stratégie visant à surmonter ces défis.

La revue de littérature a révélé que le CCFB et d'autres organisations ont produit plus de 350 modèles visant à prédire un large éventail d'attributs de la qualité du bois de certaines essences commerciales importantes pour l'économie du pays. En somme, les travaux menés dans les provinces de l'Ouest visaient le pin tordu latifolié, le sapin de Douglas et la pruche occidentale, alors que ceux menés dans les provinces de l'Est visaient l'épinette noire, le pin gris, l'épinette blanche et le sapin baumier. Moins d'efforts ont été consacrés aux essences de feuillus. Relativement aux attributs, ce sont principalement le défilement, la densité du bois, la branchaison/les nœuds et le module d'élasticité qui ont retenu l'attention. Malgré la quantité des modèles de prédiction de la qualité du bois développés, il semble, après l'analyse des réponses au questionnaire, que seulement 48 % de ces modèles aient été intégrés à un simulateur de C et R ou à un SAD. Dans le présent rapport, les auteurs ont cerné un certain nombre d'enjeux auxquels il faudrait s'attaquer si l'on veut faire des progrès dans le but d'intégrer pleinement les données sur la qualité du bois aux outils d'inventaire et de planification utilisés par le secteur forestier. Dans la section ci-dessous, les auteurs ont résumé les besoins, proposé des mesures et déterminé les objectifs à atteindre.

Identification des enjeux importants, des défis à relever et des lacunes à corriger

1. Communication entre les développeurs, les concepteurs de modèles et les intervenants – Il est nécessaire d'améliorer la communication entre les concepteurs de modèles de prédiction de la qualité du bois et les développeurs de simulateurs de C et R et de SAD. La multiplicité actuelle des projets non coordonnés dans une même région et au même moment est un obstacle important à l'adoption et à l'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois dans les activités d'exploitation forestière. Les travaux de modélisation sont souvent perdus et gaspillés à travers les efforts indépendants visant les mêmes essences et attributs, notamment lorsque les modèles utilisent des échelles et des données non compatibles avec les outils courants de planification et de prédiction.

2. Tirer parti des outils et des modèles existants de prédiction de la qualité du bois – Plus de 350 modèles ont été développés au cours des années passées. Toutefois, seulement la moitié d'entre eux sont intégrés à des simulateurs de C et R ou à des SAD qui sont utilisés à des fins de prédiction de la croissance ou de prise de décisions au niveau opérationnel, tactique ou stratégique. Dans bien des cas, les modèles ont été conçus et publiés en tant qu'équations indépendantes, sans autre développement prévu.

3. Coordination d'un programme de recherche éventuel sur la modélisation de la qualité du bois – Les projets de recherche en cours dans ce domaine au pays n'ont pas été conçus pour répondre adéquatement aux besoins du secteur forestier. En raison du manque de financement et des contraintes de temps, des études ont souvent été confinées à des sites expérimentaux relativement restreints, éparpillés ici et là. Par conséquent, bien des modèles demeurent à l'état embryonnaire. La plupart des simulateurs de croissance et de rendement, et des systèmes d'aide à la décision au pays ont atteint un degré de maturité et de souplesse qui permet d'accepter les modèles de prédiction de la qualité du bois; toutefois, il faut continuer à développer des modèles de prédiction de la qualité du bois qui sont solides, précis, ouverts et validés sur lesquels pourront s'appuyer les décisions en matière d'aménagement forestier et qui sont compatibles avec les échelles et les types de variables utilisés. Les modèles de prédiction de la qualité du bois à l'échelle des cernes sont les plus faciles à intégrer aux simulateurs de croissance, tandis que ceux à l'échelle de l'arbre et du peuplement, surtout les modèles qui portent sur les attributs externes, sont compatibles avec les systèmes d'aide à la décision et les outils d'inventaires utilisés à des fins opérationnelles.

Le secteur forestier a besoin d'un programme national pour succéder au réseau ForêtValeur (ForValueNet), et qui serait dirigé par un comité scientifique/technique réunissant des chercheurs et des professionnels issus de plusieurs disciplines et secteurs de l'industrie forestière. Un tel programme aurait pour fonction d'offrir une vision commune aux objectifs de recherche, et d'aider à définir des normes ou des pratiques exemplaires en matière d'échantillonnage, d'acquisition de données et de systèmes de diffusion de l'information. Il serait profitable pour cette activité coordonnée de concevoir un cadre conceptuel commun pour la modélisation; de déterminer les principales variables à utiliser lors du développement et de l'application des modèles; de faciliter leur développement, leur mise en œuvre et leur diffusion auprès des utilisateurs et des décideurs. En outre, un cadre commun faciliterait la comparaison entre les diverses méthodes de modélisation et les divers modèles offerts au pays.

4. Variabilité géographique des propriétés du bois – Présentement, toutes les essences commerciales et tous les AQB ne sont pas soumis au même niveau d'étude. Il est très important de comprendre les différences sur le plan de la qualité du bois dans l'ensemble du paysage forestier aux fins d'aménagement et de planification (p. ex., pour adapter les procédés de fabrication à l'approvisionnement en fibres). Des initiatives comme le projet d'inventaire de la fibre à Terre-Neuve-et-Labrador ou l'Indice de qualité du bois (IQB) du Québec procurent une base solide pour l'optimisation de la chaîne de valeur forestière (sélection du peuplement/bloc de coupe, allocation des billes, optimisation des procédés, activités de marketing). De plus, la collecte à grande échelle des données sur la qualité du bois dans le cadre d'un large éventail de peuplements et de conditions de site facilite la recherche sur la modélisation statistique et la prédiction des propriétés de la fibre à partir de mesures à l'échelle de l'arbre, du peuplement et du site découlant des données géospatiales ou recueillies au moyen de la télédétection (van Leeuwen et coll., 2011).

À l'exception de l'initiative ForêtValeur (ForValueNet), une approche fragmentée relativement à la modélisation, menée en grande partie individuellement par des groupes de recherche indépendants, est ce qui caractérise la majorité des travaux réalisés à ce jour. Toutes les nouvelles initiatives devraient viser une approche de modélisation intégrée à grande échelle. Il faudrait éviter de réaliser des projets à petite échelle dans le but d'améliorer l'efficacité et d'éviter les travaux menés inutilement en double. Un aspect important consisterait à former des partenariats avec les chercheurs du réseau AWARE, et à tirer parti de leurs travaux au moyen des technologies de pointe dans le but de fournir des données d'inventaire qui serviraient à inspirer le développement de modèles de prédiction de la qualité du bois. Il serait aussi possible de s'appuyer sur les travaux déjà réalisés par FPInnovations et de tirer parti des

nouvelles technologies d'évaluation, comme SilviScan, et des outils qui reposent sur la vitesse acoustique et l'infrarouge proche (NIR) pour favoriser des projets de recherche de plus grande envergure. En collaborant avec les chercheurs de l'Inventaire forestier national (IFN) de Ressources naturelles Canada (RNCan), et en tirant des leçons de leur expérience de coordination des données et des efforts entre de nombreuses organisations et provinces et territoires, cela aiderait les chercheurs à mieux exploiter les données d'inventaire forestier afin de cartographier les AQB à la grandeur du pays. Les données recueillies dans le cadre de cette mesure pourraient être mises à la disposition de la communauté par le truchement d'initiatives comme TreeSource.

5. Valeur économique des attributs du bois – Bien que l'incidence économique de certains AQB soit bien connue pour certains produits, pour de nombreux autres, cette valeur demeure inconnue ou difficile à quantifier. FPInnovations s'est penché sur cette question en produisant notamment des études de cas pour différents clients. La solution pourrait être de mener une méta-analyse afin de développer une application plus générique des résultats de ces études de cas individuelles. Ainsi, il serait possible de classer par ordre de priorité les attributs des forêts actuelles, de mieux prévoir ceux des forêts du futur et d'investir des ressources dans le but de produire les essences qui présentent les attributs souhaitables pour l'avenir; ces mesures conjuguées auraient probablement pour effet d'accroître la participation des parties prenantes et leur intérêt à l'égard de l'évaluation et de la modélisation de la qualité du bois.

6. Normalisation des techniques d'évaluation – Il existe plusieurs études portant sur la qualité du bois; cependant, le manque d'uniformité dans les procédures d'échantillonnage, l'incompatibilité entre les données en raison du recours à différentes techniques ou méthodes d'évaluation, et l'absence de normes rendent souvent difficile ou même impossible la comparaison entre les études. Pour cartographier les attributs de la qualité du bois à l'échelle régionale ou nationale afin d'offrir une vue d'ensemble, il faudra se fier aux données de plusieurs sources. Lorsque les données sont issues de différentes méthodes ou techniques, il devrait exister un moyen de fournir des facteurs de conversion fiables (p. ex., entre les mesures statiques et dynamiques du MOE).

Recommandations pour les mesures à prendre

A. CCFB et FPInnovations

Les auteurs recommandent de former une **équipe interne d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois** pour le CCFB et FPInnovations qui agira à titre de groupe consultatif national, et réunira des spécialistes de plusieurs disciplines, notamment des programmeurs, des concepteurs de modèles, des chercheurs et des gestionnaires des deux organisations. L'équipe s'attaquerait aux enjeux susmentionnés, probablement en mettant sur pied des sous-comités et en invitant des spécialistes de l'extérieur à y participer. Elle coordonnerait les initiatives de recherche, ferait la promotion du partage d'information au sein des communautés de développement de modèles et de conception d'outils, et veillerait à ce que les efforts de recherche en cours et à venir répondent aux besoins les plus importants et aient une plus grande portée (lacune 1).

L'équipe évaluerait les options disponibles permettant d'intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois aux plateformes déjà en place dans FPInterface (lacune 2). À cette fin, il faudrait créer un espace de collaboration où se réuniraient les développeurs de SAD et les concepteurs de modèles de prédiction de la qualité du bois pour partager leur expertise et apprendre à connaître les contraintes et les besoins des autres. En outre, les concepteurs de modèles des deux organisations pourraient planifier ensemble

et adapter leurs approches pour garantir à l'avenir la compatibilité entre les différents modules. Il serait judicieux d'établir un programme centralisé de développement des modèles afin d'éviter les travaux en double.

Le groupe de travail évaluerait et attribuerait une note aux protocoles d'échantillonnage et aux techniques d'évaluation dans le but d'harmoniser les procédures à utiliser au sein du CCFB et de FPInnovations (lacune 6). Cette mesure pourrait également permettre d'élaborer des normes ou des lignes directrices qui serviraient de modèle à suivre et qui pourraient être adoptées dans la communauté dans l'intérêt de la recherche et du secteur forestier.

Objectifs de l'équipe d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois :

A1 : Formuler des recommandations au CCFB et à FPInnovations au sujet des priorités nationales en matière de modélisation.

A2 : Effectuer une enquête sur les modèles de prédiction de la qualité du bois et les SAD disponibles, et déterminer ceux à intégrer en fonction de la compatibilité, de leur importance pour le secteur forestier et de la faisabilité; l'intégration de ces modèles et de ces systèmes prendrait la forme d'un projet de démonstration.

A3 : Évaluer et établir des normes pour la mesure de la qualité du bois, et développer des facteurs de conversion lorsque plusieurs méthodes sont utilisées. Publier ces normes aux fins d'examen et d'adoption par d'autres organismes.

D'autres études de cas seront réalisées dans le cadre du programme Modélisation et aide à la décision (MAD) de FPInnovations; ces études, auxquelles participeront des chercheurs et des professionnels (p. ex., des économistes et des spécialistes des marchés pour diverses chaînes d'approvisionnement) couvriront l'ensemble de la chaîne de valeur du secteur forestier, afin de déterminer la valeur économique associée à des attributs sélectionnés (lacune 5). Le choix quant aux études de cas à mener s'appuiera sur les délibérations et les constatations de l'équipe d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois.

Objectif visé par le programme MAD de FPInnovations :

A4 : Examiner l'étendue et la représentation des études déjà menées sur la qualité du bois dans la chaîne d'approvisionnement, afin d'évaluer les options de généralisation des résultats révélés dans les études de cas par le truchement d'une méta-analyse, et d'orienter les travaux futurs vers les aspects qui requièrent immédiatement de l'information (par emplacement, essence et processeur).

B. Groupe de travail national sur la R et D en matière de qualité du bois

L'équipe conjointe d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois de CCFB/FPInnovations évaluera également les options de collaboration avec des partenaires externes des universités, des gouvernements et du secteur forestier. L'établissement d'un réseau ou d'une communauté de pratique à l'échelle nationale pour réunir les chercheurs et les parties prenantes contribuera à la promotion du partage d'information relativement aux efforts de modélisation de la qualité du bois et au développement de simulateurs de C et R et de SAD (lacune 1). On s'attend à ce que ce groupe plus important crée une communication franche avec le programme MAD de FPInnovations, en collaborant à la conception d'outils de stockage de données numériques pour la chaîne d'approvisionnement et de valeur, un récepteur important des travaux menés sur les modèles de prédiction de la qualité du bois et de C et R.

Ce groupe plus important, en collaboration et avec l'appui de l'équipe d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois, sera en mesure de créer un programme national de modélisation et d'intégration de la qualité du bois qui bénéficierait d'un financement durable, avec la participation du CCFB, de FPInnovations, des universités, du personnel du secteur forestier et des provinces. Le programme de recherche serait dirigé par un comité scientifique/technique réunissant des chercheurs et des professionnels de plusieurs disciplines et secteurs de l'industrie (lacune 3). Dans le cadre de ses activités de communication et de coordination, le groupe pourrait élaborer une stratégie nationale d'échantillonnage qui aiderait à relever la gamme complète des différences géographiques sur le plan des propriétés de qualité du bois d'importantes essences canadiennes (lacune 4). En prenant comme modèle et plateforme d'essai les activités de l'équipe d'intégration des modèles de prédiction de la qualité du bois, il sera possible de repérer et de mettre à l'essai les méthodes d'intégration des modèles de qualité du bois aux SAD les plus prometteuses (lacune 2).

Objectifs du groupe de travail :

B1 : Créer une communauté de pratique en matière de qualité du bois pour favoriser le partage d'information et la coordination des efforts entre les organisations qui participent aux activités de recherche et de développement (R et D) menées au Canada sur la qualité du bois.

B2 : Enquêter sur les modèles de prédiction de la qualité du bois et sur les SAD offerts par d'autres organismes que le CCFB et FPInnovations, et désigner ceux qui pourraient faire partie du processus d'intégration.

B3 : Définir une vision commune, des normes et des pratiques exemplaires; concevoir un cadre conceptuel pour la modélisation, et déterminer les variables principales à utiliser. (Cet objectif ne pourra être réalisé qu'après avoir atteint l'objectif A2).

B4 : Élaborer une stratégie nationale visant les modèles de prédiction de la qualité du bois et leur intégration, et établir les partenariats nécessaires pour le faire; rechercher le financement approprié et mener à bien les activités.

10. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Caroline Gosselin et Geneviève Dumas, qui ont compilé une bibliographie des publications du CCFB portant sur la qualité du bois, ainsi que toutes les personnes qui ont pris le temps de répondre aux questionnaires envoyés dans le but de recueillir de l'information sur les modèles de prédiction des AQB, les simulateurs de C et R et les SAD utilisés présentement au Canada.

Les auteurs souhaitent également remercier Solange Nadeau et Morgan Cranny qui ont animé l'atelier national, et Jean-Martin Lussier, Caroline Gosselin, Solange Nadeau et Morgan Cranny pour leur aide dans la planification et l'organisation de l'atelier.

Les auteurs tiennent à exprimer toute leur reconnaissance aux spécialistes suivants pour leur disponibilité et leur contribution précieuse à l'atelier national : Alexis Achim, Sébastien Clément, Alain Cloutier, Guillaume Giroud, Art Groot, Guy Larocque, Patrick Lenz, Dave Lepage, Joan Luther, Derek Sattler (Centre de foresterie des Laurentides, Québec) et Francesco Cortini, Mike Cruikshank, Mario DiLucca, Cosmin Filipescu, Jim Goudie, Antoine Lalumière, Chao Li, Joel Mortyn (Centre de foresterie du Pacifique, Victoria).

11. Références bibliographiques

Achim, A.; Paradis, N.; Carter, P. and Hernández, R.E. 2011. Using acoustic sensors to improve the efficiency of the forest value chain in Canada: a case study with laminated veneer lumber. Sensors 11(6):5716-5728.

Adams, G.W. and Morgenstern, E.K. 1991. Multiple-trait selection in jack pine. Can. J. For. Res. 21(4):439-445.

Alteyrac, J.; Cloutier, A.; Ung, C. and Zhang, S. 2006. Mechanical properties in relation to selected wood characteristics of black spruce. Wood Fiber Sci. 38(2):229-237.

Angers, V.A.; Bergeron, Y. and Drapeau, P. 2012. Morphological attributes and snag classification of four North American boreal tree species: relationships with time since death and wood density. For. Ecol. Manage. 263:138-147.

Ballard, L.A. and Long, J.N. 1988. Influence of stand density on log quality of lodgepole pine. Can. J. For. Res. 18(7):911-916.

Bankowski, J. 1994. Effect of growing space on wood density in jack pine. M.Sc.F. Thesis, University of Toronto, Ontario, Canada.

Baral, S.K.; Schneider, R.; Pothier, D. and Berninger, F. 2013. Predicting sugar maple (*Acer saccharum*) discoloured wood characteristics. Can. J. For. Res. 43(7):649-657.

Barrett, J.D. and Kellogg, R.M. 1989. Strength and stiffness of dimension lumber. p. 50-58 in Second growth Douglas-fir: Its management and conversion for value. A report of the Douglas-fir Task Force. Edited by R.M. Kellogg. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC. Spec. Publ. No. SP-32.

Barrette, J.; Pothier, D.; Auty, D.; Achim, A.; Duchesne, I. and Gélinas, N. 2012. Lumber recovery and value of dead and sound black spruce trees grown in the North Shore region of Québec. Ann. For. Sci. 69(5):603-615.

Basham, J.T. 1986. Biological factors influencing stem deterioration rates and salvage planning in balsam fir killed after defoliation by spruce budworm. Can. J. For. Res. 16(6):1217-1229.

Beaulieu, E.; Schneider, R.; Berninger, F.; Ung, C.-H. and Swift, D.E. 2011a. Modeling jack pine branch characteristics in Eastern Canada. For. Ecol. Manage. 262:1748-1757.

Beaulieu, J.; Doerksen, T.; Boyle, B.; Clément, S.; Deslauriers, M.; Beauseigle, S.; Blais, S.; Poulin, P.-L.; Lenz, P.; Caron, S.; Rigault, P.; Bicho, P.; Bousquet, J. and MacKay, J. 2011b. Association genetics of wood physical traits in the conifer white spruce and relationships with gene expression. Genetics 188(1):197-214.

Beaulieu, J.; Doerksen, T.; Clément, S.; MacKay, J. and Bousquet, J. 2014. Accuracy of genomic selection models in a large population of open-pollinated families in white spruce. Heredity 113:343-352.

Beaulieu, J.; Zhang, S.Y.; Yu, Q. and Rainville, A. 2006. Comparison between genetic and environmental influences on lumber bending properties in young white spruce. Wood Fiber Sci. 38(3):553-564.

Belleville, B.; Cloutier, A. and Achim, A. 2011. Detection of red heartwood in paper birch (*Betula papyrifera*) using external stem characteristics. Can. J. For. Res. 41(7):1491-1499.

Benjamin, J. 2006. Assessing lumber grade recovery improvement potential of black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) by modelling knot characteristics. Ph.D. Thesis. University of New Brunswick (Canada). 187p.

Benjamin J.; Weiskittel A.; Kershaw Jr. J.; Chui Y. and Zhang S.Y. 2009. External knot size and frequency in black spruce trees from an initial spacing trial in Thunder Bay, Ontario. For. Chron. 85(4):618-624.

Blouin, D.; Beaulieu, J.; Daoust, G. and Poliquin, J. 1994. Wood quality of Norway spruce grown in plantations in Quebec. Wood Fiber Sci. 26(3):342-353.

Bravo, F.; Alvarez, J.G. and Del Rio, M. 2012. Growth and yield models in Spain: historical overview, contemporary examples and perspectives. Instituto Universitario de Investigation en Gestion

Forestal Sostenable (Universidad de Valladolid-INIA) and Unidad de Gestion Forestal Sostenable (Universidad de Santiago de Compostela). Retrieved from http://sostenable.palencia.uva.es/document/gfs/publications/Libros/2011_GrowthYield_Spain.pdf

Briggs, D. 2010. Enhancing forest value productivity through fiber quality. J. For. 108(4):174-182.

Brown, J.P. and Sendak, P.E. 2006. Association of ring shake in eastern hemlock with tree attributes. For. Prod. J. 50(2):31-36.

Burgess, D.M.; MacAfee, K.; Wetzel, S., and Wang, B.S.P. 2011. Annotated Bibliography of Eastern White (*Pinus strobus* L.) and Red Pine (*P. resinosa* Ait.) 1960–2007. Canadian Wood Fibre Centre.

Corriveau, A.; Beaulieu, J. and Daoust, G. 1991. Heritability and genetic correlations of wood characters of upper Ottawa Valley white spruce [*Picea glauca*] populations grown in Quebec. For. Chron. 67(6):698-705.

Cortini, F.; Groot, A.; Tong, Q. and Duchesne I. 2014. Ring-level models for predicting wood and fibre properties of *Abies balsamea*. Wood Sci. Technol. 48(6):1181-1196.

Cortini, F.; Groot, A. and Filipescu, C.N. 2013. Models of the longitudinal distribution of ring area as a function of tree and stand attributes for four major Canadian conifers. Ann. For. Sci. 70(6):637-648.

Cruickshank, M.G. and Filipescu, C.N. 2012. Allometries of coarse tree, stem, and crown measures in Douglas-fir are altered by *Armillaria* root disease. Botany 90(8):711-721.

Di Lucca, C.M. 1989. Juvenile - mature wood transition. p. 23-38 in Second growth Douglas-fir: Its management and conversion for value. A report of the Douglas-fir Task Force. Edited by R.M. Kellogg. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC, Spec. Publ. No. SP-32.

Di Lucca, C.M.; Goudie, J.W. and Stearns-Smith, S.C. 2009. TASS III: A new generation growth and yield prediction model for complex stands in British Columbia. BC Min. For. Res. Prog., XIII World Forestry Congress, Buenos Aires, Argentina

Duchateau, E.; Longuetaud, F.; Mothe, F.; Ung, C-H.; Auty, D. and Achim, A. 2013. Modelling knot morphology as a function of external tree and branch attributes. Can. J. For. Res. 43(3):266-277.

Duchesne, I.; Pitt, D.G. and Tanguay, F. 2013. Effects of precommercial thinning on the forest value chain in northwestern New Brunswick: Part 4 - lumber production, quality and value. For. Chron. 89(4):474-489.

Dufour-Kowalski, S.; Courbaud, B.; Dreyfus, P.; Meredieu, C. and de Coligny, D. 2012. Capsis: an open software framework and community for forest growth modelling. Ann. For. Sci. 69(2):221-233.

Filipescu, C.N.; Lowell, E.C.; Koppenaal, R. and Mitchell, A.K. 2014. Modeling regional and climatic variation of wood density and ring width in intensively managed Douglas-fir. Can. J. For. Res. 44(3): 220-229.

Fortin, M.; Guillemette, F. and Bédard, S. 2009. Predicting volumes by log grades in standing sugar maple and yellow birch trees in southern Quebec, Canada. Can. J. For. Res. 39(10):1928-1938.

Fujiwara, S. and Yang, K.C. 2000. The relationship between cell length and ring width and circumferential growth rate in five Canadian species. IAWA J, 21(3):335-345.

Gagné, L.-V.; Genet, A.; Weiskittel, A. and Achim, A. 2013. Assessing the potential stem growth and quality of yellow birch prior to restoration: A case study in Eastern Canada. Forests 4(4):766-785.

Garcia-Gonzalo, J.; Borges, J.G.; Tomé, M.; Palma, J.; Zubizarreta, A. and Soares, P. 2012. Integrating growth and yield models in decision support systems at different spatial levels. COST FP0603 Final meeting. Forest models for research and decision support in sustainable forest management. Pierroton (Bordeaux), France.

Gartner, B.L.; North, E.M.; Johnson, G.R. and Singleton, R. 2002. Effects of live crown on vertical patterns of wood density and growth in Douglas-fir. Can. J. For. Res. 32(3):439-447.

Genet, A.; Auty, D.; Achim, A.; Bernier, M.; Pothier, D. and Cogliastro, A. 2013. Consequences of faster growth for wood density in northern red oak (*Quercus rubra* Liebl.). Forestry 86(1):99-110.

Giroud, G.; Cloutier, A. and Alteyrac, J. 2008. Occurrence, proportion, and vertical distribution of red heartwood in paper birch. Can. J. For. Res. 38(7):1996-2002.

Giroud, G.; Defo, M.; Bégin, J. and Ung, C.-H. 2014. Application of near infrared spectroscopy to determine the juvenile-mature wood transition in black spruce. Forest Prod. J. 65(3-4):129-138.

Goudie, J.W. and Di Lucca, C.M. 2002. Modelling the relationship between crown morphology and wood characteristics of coastal western hemlock in British Columbia. In: G. Nepveu (Ed.), Proceedins 4th Workshop on Connection between forest resources and wood quality through modelling approaches and simulation software. Nancy, France.

Goudie, J.W. and Parish, R. 2010. Modelling the impact of silviculture treatments on the wood quality of interior spruce. Final report on Project No. Y081078. BC Min. For. Range Res. Knowl. Manage. Br.

Groot, A. and Schneider, R. 2011. Predicting maximum branch diameter from crown dimensions, stand characteristics and tree species. For. Chron. 87(4):542-551.

Groot, A.; Cortini, F. and Wulder, M.A. 2015. Crown-fibre attribute relationships for enhanced forest inventory: Progress and prospects. For. Chron. 91(3):266-279.

Hamm, E.A. 1989. Fibre length. p. 44-49 in Second growth Douglas-fir: Its management and conversion for value. A report of the Douglas-fir Task Force. Edited by R.M. Kellogg. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC, Spec. Publ. No. SP-32.

Harper, G.J. 2008. Quantifying branch, crown and bole development in *Populus tremuloides* Michx. from north-eastern British Columbia. For. Ecol. Manage. 255(7):2286-2296.

Hatton, J.V. and Hunt, K. 1989. Unbleached kraft pulps. p. 87-113 in Second growth Douglas-fir: Its management and conversion for value. A report of the Douglas-fir Task Force. Edited by R. M. Kellogg. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC, Spec. Publ. No. SP-32.

Hatton, J.V. and Johal, S.S. 1989. Refined mechanical pulps. p. 114-129 in Second growth Douglas-fir: Its management and conversion for value. A report of the Douglas-fir Task Force. Edited by R.M. Kellogg. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC, Spec. Publ. No. SP-32.

Hatton, J.V. and Cook, J. 1992. Kraft pulps from second-growth Douglas-fir: relationships between wood, fiber, pulp, and handsheet properties. TAPPI J. 75 (1):137-144.

Havreljuk, F.; Achim, A. and Pothier, D. 2013. Regional variation in the proportion of red heartwood in sugar maple and yellow birch. Can. J. For. Res. 43(3):278-287.

Havreljuk, F.; Achim, A.; Auty, D.; Bédard, S.; and Pothier, D. 2014. Integrating standing value estimations into tree marking guidelines to meet wood supply objectives. Can. J. For. Res. 44(7):750-759.

Hazenberg, G. and Yang, K.C. 1991a. Sapwood/heartwood width relationships with tree age in balsam fir. IAWA Bull. 12(1):95-99.

Hazenberg, G. and Yang, K.C. 1991b. The relationship of tree age with sapwood and heartwood width in black spruce, *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Holzforschung 45(5):317-320.

Heger, L. 1974. Longitudinal variation of specific gravity in stems of black spruce, balsam fir, and lodgepole pine. Can. J. For. Res. 4(3):321-326.

Hevia, A.; Cao, Q.V.; Alvarez-Gonzalez, J.G.; Ruiz-Gonzalez, A.D. and von Gadow, K. 2015. Compatibility of whole-stand and individual-tree models using composite estimators and disaggregation. For. Ecol. Mange. 348:46-56.

Hilker, T.; Frazer, G.W.; Coops, N.C.; Wulder, M.A.; van Leeuwen, M.; Newnham, G.J.; Stewart, J.D. and Culvenor, D.S. 2013. Prediction of wood fiber attributes from LiDAR-derived forest canopy indicators. For. Sci. 59(2):231-242.

Hoover, C.M. and Rebain, S.A. 2010. Forest carbon estimation using the Forest Vegetation Simulator: Seven things you need to know. US Forest Service General Technical Report NRS-77.

Huda, A.S.M.A.; Koubaa, A.; Cloutier, A.; Hernández, R.E. and Fortin, Y. 2014. Variation of the physical and mechanical properties of hybrid poplar clones. BioResources 9(1):1456-1471.

Iliadis, L.; Mansfield, S.D.; Avramidis, S. and El-Kassaby, Y.A. 2013. Predicting Douglas-fir wood density by artificial neural networks (ANN) based on progeny testing information. Holzforschung 67(7):771-777.

Ivkovich, M.; Namkoong, G. and Koshy, M. 2002a. Genetic variation in wood properties of interior spruce. I. Growth, latewood percentage, and wood density. Can. J. For. Res. 32(12):2116-2127.

Ivkovich, M.; Namkoong, G. and Koshy, M. 2002b. Genetic variation in wood properties of interior spruce. II. Tracheid characteristics. Can. J. For. Res. 32(12):2128-2139.

Ivkovich, M. 1996. Genetic variation of wood properties in balsam poplar (*Populus balsamifera* L.). Silvae Genet. 45(2/3):119-124.

Kershaw, J.A. Jr.; Benjamin, J.G. and Weiskittel, A.R. 2009. Approaches for modeling vertical distribution of maximum knot size in black spruce: a comparison of fixed- and mixed-effects nonlinear models. For. Sci. 55(3):230-237.

King, J.N.; Yeh, F.C.; Heaman, J.C. and Dancik, B.P. 1988. Selection of wood density and diameter in controlled crosses of coastal Douglas-fir. Silvae Genet. 37(3/4):152-157.

King, J.N.; Cartwright, C.; Hatton, J. and Yanchuk, A.D. 1998. The potential of improving western hemlock pulp and paper quality. I. Genetic control and interrelationships of wood and fibre traits. Can. J. For. Res. 28(6):863-870.

Klos, R.J.; Wang, G.G.; Dang, Q.L. and East, E.W. 2007. Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. West. J. Appl. For. 22(3):163-170.

Koubaa, A.; Isabel, N.; Zhang, S.Y.; Beaulieu, J. and Bousquet, J. 2005. Transition from juvenile to mature wood in black spruce (*Picea mariana*). Wood Fiber Sci. 37(3):445-455.

Koubaa, A.; Zhang, S.Y.T. and Makni, S. 2002. Defining the transition from earlywood to latewood in black spruce based on intra-ring wood density profiles from X-ray densitometry. Ann. For. Sci. 59(5): 511.

Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res. 18(11):1363-1368.

Krakowski, J.; Park, Y.S. and El-Kassaby, Y.A. 2005. Early testing of Douglas-fir: Wood density and ring width. For. Genet. 12(2):99-105.

Krause, C.; Laplante, S. and Plourde, P.Y. 2011. Transversal tracheid dimension in thinned black spruce and jack pine stands in the boreal forest. Scand. J. For. Res. 26(5):477-487.

Krause, C. and Plourde, P.Y. 2008. Stem deformation in young plantations of black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) and jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in the boreal forest of Quebec, Canada. For. Ecol. Manage. 255:2213-2224.

Krause, C.; Rossi, S.; Thibeault-Martel, M. and Plourde, P.Y. 2010. Relationships of climate and cell features in stems and roots of black spruce and balsam fir. Ann. For. Sci. 67(4):402p1-402p7.

Kuprevicius, A.; Auty, D.; Achim, A. and Caspersen, P. 2013. Quantifying the influence of live crown ratio on the mechanical properties of clear wood. Forestry 86(3):361-369.

Larocque, G.R. 2008. Forest models. In S.E. Jorgensen and B.D. Fath (Editor-in-chief), Ecological models. Vol. [2] of Encyclopedia of Ecology, 5 vols. pp. 1663-1673. Oxford: Elsevier.

Larocque, G.R. and Marshall, P.L. 1995. Wood relative density development in red pine (*Pinus resinosa* Ait.) stands as affected by different initial spacings. For. Sci. 41(4):709-728.

Larocque, G.R.; Archambault, L. and Delisle, C. 2011. Development of the gap model ZELIG-CFS to predict the dynamics of North American mixed forest types with complex structures. Ecol. Model. 222(14):2570-2583.

Larocque, G.R.; Bhatti, J. and Arsenault, A. 2014. Integrated modelling software platform development for effective use of ecosystem models. Ecol. Model. 288:195-202.

Lei, Y.C.; Zhang, S.Y. and Jiang, Z. 2005. Models for predicting lumber bending MOR and MOE based on tree and stand characteristics in black spruce. Wood Sci. Technol. 39(1):37-47.

Lemieux, H.; Beaudoin, M. and Zhang, S.Y. 2001. Characterization and modeling of knots in black spruce (*Picea mariana*) logs. Wood Fiber Sci. 33(3):465-475.

Lemieux, H.; Usenius, A. and Samson, M. 1997. A method for the characterization of knots in logs. For. Prod. J. 47(2):57-62.

Lemieux, H.; Beaudoin, M.; Zhang, S.Y. and Grondin, F. 2002. Improving structural lumber quality in a sample of *Picea mariana* logs sawn according to the knots. Wood Fiber Sci. 34(2):266-275.

Lenz, P.; Deslauriers, M.; Ung, C.-H.; MacKay, J. and Beaulieu, J. 2014. What do ecological regions tell us about wood quality? A case study in eastern Canadian white spruce. Can. J. For. Res. 44(11):1383-1393.

Lenz, P.; Auty, D.; Achim, A.; Beaulieu, J. and MacKay, J. 2013.Genetic improvement of white spruce mechanical wood traits – early screening by means of acoustic velocity. Forests 4(3):575-594.

Lenz, P.; Bernier-Cardou, M.; MacKay, J. and Beaulieu, J. 2012. Can wood properties be predicted from the morphological traits of a tree? A canonical correlation study of plantation-grown white spruce. Can. J. For. Res. 42(8):1518-1529.

Lenz, P.; MacKay, J.; Rainville, A.; Cloutier, A. and Beaulieu, J. 2011. The influence of cambial age on breeding for wood properties in *Picea glauca*. Tree Genet. Genomes 7(3):641-653.

Lessard, E.; Fournier, R.A.; Luther, J.E.; Mazerolle, M.J. and van Lier O.R. 2014. Modelling wood fiber attributes using forest inventory and environmental data. For. Ecol. Manage. 313:307-318.

Li, C. 2009. Toward full, multiple, and optimal wood fibre utilization: A modelling perspective. For. Chron. 85(3):377-381.

Li, R.; Weiskittel, A.; Dick, A.R.; Kershaw, J.A., Jr. and Seymour, R.S. 2012. Regional stem taper equations for eleven conifer species in the Acadian region of North America: Development and assessment. North. J. Appl. For. 29(1):5-14.

Liu, C. and Zhang, S.Y. 2005a. Models for predicting product recovery using selected tree characteristics of black spruce. Can. J. For. Res. 35(4):930-937.

Liu, C. and Zhang, S.Y. 2005b. Equations for predicting tree height, total volume, and product recovery for black spruce (*Picea mariana*) plantations in northeastern Quebec. For. Chron. 81(6):808-814.

Liu, C.; Zhang, S. and Jiang Z. 2007a. Models for predicting lumber grade yield using tree characteristics in black spruce. For. Prod. J. 57(1/2):60-66.

Liu, C.; Zhang, S.Y.; Cloutier, A. and Rycabel, T. 2007b. Modeling lumber bending stiffness and strength in natural black spruce stands using stand and tree characteristics. For. Ecol. Manage. 242(2/3):648-655.

Liu, C.; Zhang, S.Y.; Cloutier, A., and Rycabel, T. 2007c. Modeling lumber value recovery in relation to selected tree characteristics in black spruce using the Optitek sawing simulator. For. Prod. J. 57(4):57-65.

Loo-Dinkins, J.A. and Gonzalez, J.S. 1991. Genetic control of wood density profile in young Douglas-fir. Can. J. For. Res. 21(6):935-939.

Loo-Dinkins, J.A.; Ying, C.C. and Hamm, E.A. 1991. Stem volume and wood relative density of a non-local Douglas-fir provenance in British Columbia. Silvae Genet. 40 (1):29-35.

Luther, J.E.; Skinner, L.; Fournier, R.A.; van Lier, O.R.; Bowers, W.W.; Côté, J.-F.; Hopkinson, C. and Moulton, T. 2013. Predicting wood quantity and quality attributes of balsam fir and black spruce using airborne laser scanner data. Forestry 87(2):313-326.

Mäkelä, A. 1990. Modeling structural-functional relationships in whole-tree growth: Resource allocation. P. 81-95 in Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress. Timber Press, Portland, OR.

Mäkelä, A.; Grace, J.C.; Deckmyn, G.; Kantola, A. and Campioli, M. 2010. Simulating wood quality in forest management models. For. Syst. 19(Special Issue): 48-68.

Maness, T.C. and Donald, W.S. 1994. The effect of log rotation on value recovery in chip and saw sawmills. Wood Fiber Sci. 26(4):546-555.

Mansfield, S. D.; Kang, K.-Y.; Iliadis, L., Tachos, S. and Avramidis, S. 2011. Predicting the strength of *Populus* spp. clones using artificial neural networks and ε-regression support vector machines (ε-rSVM). Holzforschung 65(6):855-863.

Mansfield, S.D.; Iliadis, L. and Avramidis S. 2007a. Neural network prediction of bending strength and stiffness in western hemlock (*Tsuga heterophylla* Raf.) Holzforschung 61(6):707-716.

Mansfield, S.D.; Parish, R.; Goudie, J. Kang, K.-Y. and Ott, P. 2007b. The effects of crown ratio on the transition from juvenile to mature wood production in lodgepole pine in western Canada. Can. J. For. Res. 37(8):1450-1459.

Mansfield, S.D.; Kang, K.-Y.; Parish, R.; Di Lucca, C.M.; Goudie, J. and Ott, P. 2009. Revisiting the transition between juvenile and mature wood: a comparison of fibre length, microfibril angle and relative wood density in lodgepole pine. Holzforschung 63(4):449-456.

Matolcsy, G.A. 1975. Correlation of fiber dimensions and wood properties with the physical properties of kraft pulp of *Abies balsamea* L. (Mill.). TAPPI J. 58(4):136-141.

Middleton, G.R., and Zhang, S.Y. 2009. Characterizing the wood attributes of Canadian tree species: A thirty-year chronicle. For. Chron. 85(3):392-400.

Mitchell, K.J., Kellogg, R.M., and Polsson, K.R. 1989. Silvicultural treatments and end-product value. p. 130-167 in Second growth Douglas-fir: Its management and conversion for value. A report of the Douglas-fir Task Force. Edited by R.M. Kellogg. Forintek Canada Corp., Vancouver, B.C. Spec. Publ. No. SP-32.

Morris, D.M. and Forslund, R.R. 1992. The relative importance of competition, microsite, and climate in controlling the stem taper and profile shape in jack pine. Can. J. For. Res. 22 (12):1999-2003.

Morris, D.M.; Parker, W.H. and Seabrook, R. 1992. Some considerations when selecting young jack pine families using growth and form traits. Can. J. For. Res. 22(4):429-435.

Morris, D.M. and Parker, W.H. 1992. Variable-quality form in mature jack pine stands: quantification and relationship with environmental factors. Can. J. For. Res. 22(3):279-289.

Muhairwe, C.K. 1994. Tree form and taper variation over time for interior lodgepole pine. Can. J. For. Res. 24(9):1904-1913.

Mvolo, C.; Koubaa, A.; Beaulieu, J.; Cloutier, A. and Mazerolle, M. 2015. Variation in wood quality in white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss). Part I. Defining the juvenile—mature wood transition based on tracheid length. Forests 6(1):183-202.

Nault, J.R. 1989. Longitudinal shrinkage. p. 39-43 in Second growth Douglas-fir: Its management and conversion for value. A report of the Douglas-fir Task Force. Edited by R.M. Kellogg. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC. Spec. Publ. No. SP-32.

Nemec, A.F.L.; Goudie, J.W. and Parish, R. 2010. A Gamma-Poisson model for vertical location and frequency of buds on lodgepole pine (*Pinus contorta*) leaders. Can. J. For. Res. 40(10):2049-2058.

Nemec, A.F.L.; Parish, R. and Goudie, J.W. 2012. Modelling number, vertical distribution, and size of live branches on coniferous tree species in British Columbia. Can. J. For. Res. 42(6):1072-1090.

Newton, P.F. 2009. Development of an integrated decision-support model for density management within jack pine stand-types. Ecol. Model. 220(23):3301-3324.

Newton, P.F. 2012. A decision-support system for forest density management within upland black spruce stand-types. Environ. Model. Software 35:171-187.

Newton, P.F. and Sharma, M. 2008. Evaluation of sampling design on taper equation performance in plantation-grown *Pinus banksiana*. Scand. J. For. Res. 23(4):358-370.

Paradis, N.; Auty, D.; Achim, A. and Carter, P. 2013. Using a standing-tree acoustic tool to identify forest stands for the production of mechanically-graded lumber. Sensors 13(3):3394-3408.

Park, Y.-S.; Weng, Y. and Mansfield, S.D. 2012. Genetic effects on wood quality traits of plantation-grown white spruce (*Picea glauca*) and their relationships with growth. Tree Genet. Genomes 8(2):303-311.

Pavel, M. and Andersson, B.O. 2009. A model for predicting the value of forest stands in various market conditions in British Columbia. For. Chron. 85(3):387-391.

Peng, M.; Kershaw, J.A., Jr.; Chui, Y.H. and Gong, M. 2013. Modelling of tangential, radial, and longitudinal shrinkage after drying in jack pine and white spruce. Can. J. For. Res. 43(8):742-749.

Peng, M. and Stewart, J.D. 2013. Development, validation, and application of a model of intra- and inter-tree variability of wood density for lodgepole pine in western Canada. Can. J. For. Res. 43(12):1172-1180.

Petruncio, M.; Briggs, D. and Barbour, R.J. 1997. Predicting pruned branch stub occlusion in young, coastal Douglas-fir. Can. J. For. Res. 27(7):1074-1082.

Pitt, D.G.; Lanteigne, L.; Hoepting, M.K. and Plamondon, J. 2013. Effects of precommercial thinning on the forest value chain in northwestern New Brunswick: Part 1 - Roundwood production and stumpage value. For. Chron. 89(4):474-489.

Pliura, A.; Zhang, S.Y.; MacKay, J. and Bousquet, J. 2007. Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. For. Ecol. Manage. 238:92-106.

Pnevmaticos, S.M.; Jaeger, T.A. and Perem, E. 1972. Factors influencing the weight of black spruce and balsam fir stems. Can. J. For. Res. 2(4):427-433.

Pokharel, B.; Dech, J.P.; Groot, A. and Pitt, D. 2014. Ecosite-based predictive modeling of black spruce (*Picea mariana*) wood quality attributes in boreal Ontario. Can. J. For. Res. 44(5):465-475.

Porté, A. and Bartelink, H. 2002. Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. Ecol. Model. 150:141-188.

Porth, I.; Klápště, J.; Skyba, O.; Lai, B.; Geraldes, A.; Muchero, W.; Tuskan, G.; Douglas, C.; El-Kassaby, Y.A. and Mansfield, S. D. 2013a. *Populus trichocarpa* cell wall chemistry and ultrastructure trait variation, genetic control and genetic correlations. New Phytol. 197(3):777-190.

Porth, I.; Klápště, J.; Skyba, O.; Friedmann, M.C.; Hannemann, J.; Ehlting, J.; El-Kassaby, Y.A.; Mansfield, S.D. and Douglas, C.J. 2013b. Network analysis reveals the relationship among wood properties, gene expression levels and genotypes of natural *Populus trichocarpa* accessions. New Phytol. 200(3):727-742.

Porth, I.; Klápště, J.; Skyba, O.; Hannemann, J.; McKown, A.; Guy, R.; DiFazio, S.; Muchero, W.; Ranjan, P.; Tuskan, G.; Friedmann, M.; Ehlting, J.; Cronk, Q.; El-Kassaby, Y.A.; Douglas, C. and Mansfield, S.D. 2013c. Genome-wide association mapping for wood characteristics in *Populus* identifies an array of candidate single nucleotide polymorphisms. New Phytol. 200(3):710-726.

Ratcliffe, B.; Hart, F.; Klápště, J.; Jaquish, B.; Mansfield, S.D. and El-Kassaby, Y.A. 2014. Genetics of wood quality attributes in Western Larch. Ann. For. Sci. 71(3):415-424.

Samson, M.; Bindzi, I. and Kamoso, L.M. 1996. Mathematical representation of knots in tree trunks. Can. J. For. Res. 26(2):159-165.

Sattler, D.F.; Comeau, P.G. and Achim, A. 2014a. Within-tree patterns of wood stiffness for white spruce (*Picea glauca*) and trembling aspen (*Populus tremuloides*). Can. J. For. Res. 44(2):162-171.

Sattler, D.F.; Comeau, P.G. and Achim, A. 2014b. Branch models for white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) in naturally regenerated stands. For. Ecol. Manage. 325:74-89.

Savva, Y.; Koubaa, A.; Tremblay, F. and Bergeron, Y. 2010. Effects of radial growth, tree age, climate, and seed origin on wood density of diverse jack pine populations. Trees 24(1):53-65.

Scallan, A.M. and Green, H.V. 1974. A technique for determining the transverse dimensions of the fibres in wood. Wood Fiber Sci. 5(4):323-333.

Schneider, R.; Zhang, S.Y.; Swift, D.E.; Bégin, J. and Lussier, J.M. 2008a. Predicting selected wood properties of jack pine following commercial thinning. Can. J. For. Res. 38(7):2030-2043.

Schneider, R.; Riopel, M.; Pothier, D. and Côté, L. 2008b. Predicting decay and round-wood end use volume in trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.). Ann. For. Sci. 65(6):608p1-608p15.

Schneider, R.; Berninger, F.; Ung, C.-H.; Bernier, P.Y.; Swift, D.E. and Zhang, S.Y. 2008c. Calibrating jack pine allometric relationships with simultaneous regressions. Can. J. For. Res. 38(10):2566-2578.

Schneider, R.; Berninger, F.; Ung, C.-H.; Makela, A.; Swift, D. E. and Zhang, S. Y. 2011. Within crown variation in the relationship between foliage biomass and sapwood area in jack pine. Tree Physiol. 31(1):22-29.

Schneider, R.; Fortin, M. and Saucier, J.-P. 2013. Équations de défilement en forêt naturelle pour les principales essences commerciales du Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière no. 167. 40 p.

Schneider, R., Fortin, M. and Saucier, J.-P. 2014. Équation de défilement pour le pin gris en peuplement naturel au Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière no. 139. 6 p.

Sharma, M. and Zhang, S.Y. 2004. Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. For. Ecol. Manage. 198:39-53.

Singh, T. 1984. Variation in the ovendry wood density of ten prairie tree species in Alberta, Saskatchewan, Manitoba. For. Chron. 60(4):217-221.

Singh, T. 1986. Wood density variation of six major tree species of the Northwest Territories. Can. J. For. Res. 16(1):127-129.

Stirling, R.; Morris, P.I. and Grace, K. 2014. Prediction of decay and termite resistance in western red cedar. For. Prod. J. 65(3-4):84-92

Stoehr, M.U.; Ukrainetz, N.K.; Hayton, L.K. and Yanchuk, A.D. 2009. Current and future trends in juvenile wood density for coastal Douglas-fir. Can. J. For. Res. 39(7):1415-1419.

Tong, Q.J. and Zhang, S.Y. 2006. Modelling jack pine lumber value recovery in relation to tree characteristics using Optitek simulation. For. Prod. J. 56(1):66-72.

Tong, Q.J. and Zhang, S.Y. 2008. A correction model for estimating jack pine tree-level lumber recovery accurately using forest inventory. For. Prod. J. 58(3):65-70.

Torquato, P.L.; Auty, D.; Hernandez, R.E.; Duchesne, I.; Pothier, D. and Achim, A. 2014. Black spruce trees from fire-origin stands have higher wood mechanical properties than those from older, irregular stands. Can. J. For. Res. 44(2):118-127.

Ukrainetz, N.K.; Kang, K.Y.; Aitken, S.N.; Stoehr, M. and Mansfield, S.D. 2008a. Heritability and phenotypic and genetic correlations of coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) wood quality traits. Can. J. For. Res. 38(6):1536-1546.

Ukrainetz, N.K.; Ritland, K. and Mansfield, S.D. 2008b. Identification of quantitative trait loci for wood quality and growth across eight full-sib coastal Douglas-fir families. Tree Genet. Genomes 4(2):159-170.

Ung, C.-H. 1989. Stem form of sugar maple and American beech in a young stand in relation to social position and tree age. Ann. Sci. For. 46(3):261-271.

Ung, C.-H.; Guo, X.J. and Fortin, M. 2013. Canadian national taper models. For. Chron. 89(2):211-224.

Van Eck, N.J. and Waltman, L. 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics 84(2):523-538.

Van Eck, N.J. and Waltman, L. 2015. VOSviewer Manual. Manual for VOSviewer version 1.6.0. Leiden University's Centre for Science and Technology Studies (CWTS), Holland. 29 p.

van Leeuwen, M.; Hilker, T.; Coops, N.C.; Frazer, G.; Wulder, M.A.; Newnham, G.J. and Culvenor, D.S. 2011. Assessment of standing wood and fiber quality using ground and airborne laser scanning: a review. For. Ecol. Manage. 261(9):1467-1478.

Vincent, M. and Duchesne, I. 2014. Modeling flexural properties in white spruce (*Picea glauca*) and jack pine (*Pinus banksiana*) plantation trees. Can. J. For. Res. 44(1):82-91.

Wang, M. and Stewart, J.D. 2012. Determining the transition from juvenile to mature wood microfibril angle in lodgepole pine: a comparison of six different two-segment models. Ann. For. Sci. 69(8):927-937.

Wang, M. and Stewart, J.D. 2013. Modeling the transition from juvenile to mature wood using modulus of elasticity in lodgepole pine. West. J. Appl. For. 28(4):135-142.

Wang, T. and Aitken, S.N. 2001. Variation in xylem anatomy of selected populations of lodgepole pine. Can. J. For. Res. 31(11):2049-2057.

Wang T.L.; Aitken, S.N.; Rozenberg, P. and Carlson, M.R. 1999. Selection for height growth and Pilodyn pin penetration in lodgepole pine: effects on growth traits, wood properties, and their relationships. Can. J. For. Res. 29(4):434-445.

Wang, Y.; Titus, S.J. and LeMay, V.M. 1998. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. Can. J. For. Res. 28(8):1171-1183.

Weiskittel, A.R.; Hann, D.W.; Kershaw, J.A. and van Clay, J.K. 2011. Forest growth and yield modeling. John Wiley & Sons, pp. 415.

Xiang, W.; Leitch, M.; Auty, D.; Achim, A. and Franceschini, T. 2014a. Wood density-climate relationships are mediated by dominance class in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) Forests 5(6):1163-1184.

Xiang, W.; Leitch, M.; Auty, D.; Duchateau, E. and Achim, A. 2014b. Radial trends in black spruce wood density can show an age- and growth-related decline. Ann. For. Sci. 71(5):603-615.

Yanchuk, A.D. and Kiss, G.K. 1993. Genetic variation in growth and wood specific gravity and its utility in the improvement of interior spruce in British Columbia. Silvae Genet. 42(2/3):141-148.

Yang, K.C. and Hazenberg, G. 1991. Relationship between tree age and sapwood/heartwood width in *Populus tremuloides* Michx. Wood Fiber Sci. 23(2):247-252.

Yang, K.C., Benson, C.A. and Wong, J.K. 1986. Distribution of juvenile wood in two stems of *Larix laricina*. Can. J. For. Res. 16(5):1041-1049.

Zhang, S.Y. 2009. Modeling wood quality in the context of forest management. USDA Forest Service - General Technical Report PNW-GTR, (791), 135-144.

Zhang, S.Y.; Lei, Y.C. and Jiang, Z.H. 2006a. Modelling the relationship of tree-level product value with tree characteristics in black spruce. For. Chron. 82(5):690-699.

Zhang, S.Y.; Liu, C. and Jiang, Z. 2006b. Modeling product recovery in relation to selected tree characteristics in black spruce using an optimized random sawing simulator. For. Prod. J. 56(11/12):93-99.

Zhang, S.Y.; Lei, Y.C. and Bowling, C. 2005. Quantifying stem quality characteristics in relation to initial spacing and modeling their relationship with tree characteristics in black spruce (*Picea mariana*). North. J. Appl. For. 22 (2):85-93.

Zhang, S.Y. and Morgenstern, E.K. 1995. Genetic variation and inheritance of wood density in black spruce (*Picea mariana*) and its relationship with growth: implications for tree breeding. Wood Sci. Technol. 30(1):63-75.

Zhang, S.Y.; Simpson, D. and Morgenstern, E.K. 1996. Variation in the relationship of wood density with growth in 40 black spruce (*Picea mariana*) families grown in New Brunswick. Wood Fiber Sci. 28(1):91-99.

Zhang, S.Y. and Tong, Q. 2005. Modeling lumber recovery in relation to selected tree characteristics in jack pine using sawing simulator Optitek. Ann. For. Sci. 62(3):219-228.

Zhang, S.Y.; Yu, Q.B. and Beaulieu, J. 2004. Genetic variation in veneer quality and its correlation to growth in white spruce. Can. J. For. Res. 34(6):1311-1318.

Zhang, S.Y. and Chui, Y. 1996. Selecting dry fiber weight for higher and better quality jack pine fiber production. Wood Fiber Sci. 28(2):146-152.

Zhang, S.Y. and Koubaa, A. 2008. Softwoods of eastern Canada: Their silvics, characteristics, manufacturing and end-uses. FPInnovations, Special publication SP-526E.

Zhang, S.Y.; Yu, Q.; Chauret, G. and Koubaa, A. 2003. Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones. For. Sci. 49(6):901-908.

Zhou, C.; Chui, Y. and Gong, M. 2012. Within-stem variation in wood properties of red pine (*Pinus resinosa* Ait). Wood Fiber Sci. 44(4):412-421.

Annexes

A1. Questionnaire d'enquête sur la qualité du bois

1. INFORMATION GÉNÉRALE SUR LE MODÈLE

Nom du modèle (le cas échéant) :
Cliquer ici pour entrer le texte

Type de modèle : ◉ Descriptif ○ Prédictif

Propriété ou attribut de qualité modélisé (ex. densité, proportion de bois juvénile)
Cliquer ici pour entrer le texte

Espèce ou groupe d'espèces :
Cliquer ici pour entrer le texte

Juridiction : Choisir un élément

Région écologique (classification provinciale) :
Cliquer ici pour entrer le texte

Type de peuplement : Cliquer ici pour entrer le texte

Auteur(s) : Cliquer ici pour entrer le texte

Organisation ou institution :
Cliquer ici pour entrer le texte

Interface utilisateur : Choisir un élément

Visualisation des données :
☐ Pas de visualisation des données à l'intérieur de l'arbre
☐ Visualisation 2D ou 3D des données dans l'arbre/tige
☐ Graphiques ou rapport de type tableau de bord
☐ Autre : Cliquer ici pour enter le texte

Maturité du modèle : Choisir un élément

2. VARIABLES D'ENTRÉE

Caractéristiques du peuplement (site)

☐ Type de peuplement
☐ Modèle de croissance du peuplement
☐ Âge du peuplement
☐ Densité du peuplement
☐ Indice de qualité du site
☐ Classe de distribution diamétrale
☐ Données climatiques

☐ Traitements sylvicoles
☐ Autre(s) : Cliquer ici pour entrer le texte

Données sur l'arbre (le cas échéant)
☐ Espèce ou groupe d'espèces
☐ Modèle de croissance de l'arbre
☐ Âge de l'arbre
☐ Diamètre de l'arbre
☐ Indice de compétition de l'arbre
☐ Classe de distribution diamétrale
☐ Largeur des cernes/Accroissement en diamètre
☐ Numéro du cerne annuel à partir de la moelle (âge cambial)
☐ Distance du cerne par rapport à la moelle
☐ Position verticale dans l'arbre
☐ Défilement de l'arbre
☐ Dimensions de la cime
☐ Branchaison/noeuds
☐ Aubier/bois de coeur
☐ Bois juvénile/bois mature
☐ Autre(s) : Cliquer ici pour entrer le texte

Attributs de qualité du bois et de la fibre
Si une propriété quelconque du bois est utilisée comme paramètre d'entrée, svp cocher et indiquer le niveau de détail requis :

Propriété du bois ou de la fibre	*Niveau de détail requis*
☐ Densité	Choisir un élément
☐ Module d'élasticité	Choisir un élément
☐ Angle des microfibrilles	Choisir un élément
☐ Dimensions de la fibre (p. ex. longueur)	Choisir un élément
☐ Propriétés internes de la tige (p. ex. nœuds)	Choisir un élément
☐ Pourcentage de bois final	Choisir un élément
☐ Propriétés chimiques	Choisir un élément

Si autre(s), svp spécifier dans la boîte ci-dessous :

3. EXTRANTS DU MODÈLE

A. Qualité de la tige (externe/interne)

☐ Défilement
☐ Forme (courbure, sinuosité)
☐ Noeuds
☐ Défauts (maladie, poches humides)

Si autre(s), spécifier : Cliquer ici pour entrer le texte

B. Attributs de qualité du bois ou de la fibre

Svp, veuillez cocher les attributs de qualité du bois ou de la fibre produits par le modèle :

☐ Transition bois juvénile/bois mature
☐ Proportion bois juvénile/bois mature
☐ Bois de cœur/bois d'aubier
☐ Largeur des cernes
☐ Pourcentage de bois final

Propriété du bois ou de la fibre	*La **plus basse** résolution possible*
☐ Densité	Choisir un élément
☐ Module d'élasticité	Choisir un élément
☐ Angle des microfibrilles	Choisir un élément
☐ Module de rupture	Choisir un élément
☐ Masse linéique des fibres	Choisir un élément
☐ Diamètre/périmètre de la fibre	Choisir un élément
☐ Longueur des fibres	Choisir un élément
☐ Propriétés chimiques	Choisir un élément

Si vous voulez ajouter plus de propriétés, utiliser la boîte ci-dessous :

C. Produits potentiels pouvant être récupérés

☐ Qualité de la bille
☐ Qualité des sciages : ☐ Bois MSR ☐ Visuelle
☐ Qualité des copeaux (p. ex. densité)
☐ Qualité de la biomasse (p. ex. densité)
☐ Autre(s) : Cliquer ici pour entrer le texte

4. COMMUNAUTÉ DES UTILISATEURS

☐ Recherche/enseignement
☐ Décideurs politiques
☐ Aménagistes forestiers
☐ Planificateur des opérations forestières
☐ Other(s) : Cliquer ici pour entrer le texte

5. DOCUMENTATION

SVP fournir des références sur le modèle de prédiction de la qualité du bois :

Information (contacts, site web pour téléchargement, etc.):
Cliquer ici pour entrer le texte

Articles et rapports techniques:
Cliquer ici pour entrer le texte

Manuel d'utilisateur (imprimé/pdf):
Cliquer ici pour entrer le texte

Guides en réseau (HTML/XML):
Cliquer ici pour entrer le texte

6. AUTRES CARACTÉRISTIQUES

SVP, décrire votre modèle en termes généraux (un ou deux paragraphes) : besoin/justification, caractéristiques (ce qu'il fait ou ne fait pas, avantages et inconvénients/limites) et si celui est présentement utilisé au sein du secteur forestier (au meilleur de vos connaissances). Ce résumé sera utilisé pour décrire votre projet dans notre rapport (Compendium).

A2. Questionnaire d'enquête sur les simulateurs de croissance et de rendement

1. INFORMATION GÉNÉRALE SUR LE MODÈLE DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT

Nom du modèle : Cliquer ici pour entrer le texte
Propriété intellectuelle : Choisir un élément
Si autre, svp spécifier : Cliquer ici pour entrer le texte
Auteurs : Choisir un élément
Si autre, svp spécifier : Cliquer ici pour entrer le texte
Responsable(s) du développement scientifique : Cliquer ici pour entrer le texte
Responsable(s) de la mise en oeuvre, de la maintenance et des mises à jour, etc. : Cliquer ici pour entrer le texte

2. VARIABLES D'ENTRÉE

A. Inventaire forestier

☐ Paysage (p. ex. carte forestière)

Données sur le peuplement (site)

☐ Indice de qualité de station
☐ Âge du peuplement
☐ Distribution des classes de diamètre
☐ Densité de peuplement
☐ Caractéristiques du sol
☐ Autre(s) : Cliquer ici pour entrer le texte

Données sur l'arbre (le cas échéant)

☐ Espèce ou groupe d'espèces
☐ Diamètre à hauteur de poitrine (DHP)
☐ Hauteur totale
☐ Âge au DHP
☐ Forme de la tige (défilement, courbure, etc.)
☐ Caractéristiques du houppier (diamètre, hauteur, etc.)
☐ Autres : Cliquer ici pour entrer le texte

Données sur les propriétés du bois/ fibre

Si des propriétés du bois sont utilisées comme intrant, svp cocher et fournir le niveau de détail requis:

Propriétés du bois	***Niveau de détails requis***
☐ Densité	Choisir un élément
☐ Module d'élasticité	Choisir un élément
☐ Angle des microfibrilles	Choisir un élément
☐ Propriétés de la fibre (longueur, etc.)	Choisir un élément
☐ Propriétés internes des tiges (noeuds)	Choisir un élément
☐ Pourcentage de bois final	Choisir un élément

☐ Propriétés chimiques Choisir un élément
☐ Autre(s)
Si autre(s), svp indiquer la propriété et le niveau de détail requis : Cliquer ici pour entrer le texte

3. EXTRANT DU MODÈLE

A. Croissance et rendement

Au niveau du peuplement

☐ Tables de peuplement
☐ Tables de stock
☐ Tables de rendement
☐ Projection de l'offre du bois
☐ Liste d'arbres individuels
☐ Distribution en classe de dimension des arbres
Autre(s): Cliquer ici pour entrer le texte

Au niveau de l'arbre ou de la tige

☐ Volume
☐ DHP
☐ Dimensions du houppier
☐ Branchaison
☐ Hauteur de l'arbre
☐ Épaisseur de l'écorce
Autre(s): Cliquer ici pour entrer le texte

B. Qualité de la tige (externe/interne)

☐ Défilement
☐ Forme (courbure/sinuosité)
☐ Noeuds
☐ Défauts (maladie, poches humides)
Autre(s) : Cliquer ici pour entrer le texte

C. Données sur les attributs de qualité de la fibre

SVP cocher le(s) attribut(s) de qualité du bois ou de la fibre produit(s) par le modèle:

☐ Bois juvénile/mature
☐ Bois de cœur/bois d'aubier
☐ Largeur des cernes
☐ Densité
☐ Module d'élasticité
☐ Angle des microfibrilles
☐ Propriétés chimiques
☐ Dimensions des fibres (p. ex. longueur, diamètres)
☐ Masse linéique

Si autre(s), svp spécifier:

D. Rendement en produits

- ☐ Classe de qualité des billes
- ☐ Classe de qualité des sciages
- ☐ Volume des sciages
- ☐ Volume des copeaux
- ☐ Qualité des copeaux
- ☐ Volume ou qualité de la biomasse
- ☐ Carbone
- ☐ Autre(s)

Autre(s) produit(s) potentiel(s) de bois ou de fibre :
Cliquer ici pour entrer le texte

E. Économique

- ☐ Valeur des produits sur le marché
- ☐ Valeur des services environnementaux

Autre(s): Cliquer ici pour entrer le texte

4. PORTÉE ET ARCHITECTURE DU MODÈLE

A. Espèces et lieu géographique

SVP, lister les espèces ou groupe d'espèces (p. ex. épinette, sapin baumier, EPS, pruche-sapin) considérés par le simulateur de croissance et indiquer la juridiction politique et la région écologique. **Si une essence ou groupe d'essences appartient à plus d'une juridiction ou à plus d'une région écologique, utiliser une autre ligne.**

Essence ou groupe d'essences	***Juridiction politique***	***Région écologique (provincial)***	***Type de peuplement***
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici
Cliquer ici	Choisir un élément	Cliquer ici	Cliquer ici

Si autre(s), svp spécifier dans la boîte ci-dessous :

B. Architecture du simulateur de croissance

Approche de modélisation de croissance et du rendement :

- ◉ Modèle basé sur les processus (mécaniste)
- ○ Modèle empirique
- ○ Modèle hybride
- ☐ Modèle d'arbre individuel
  - ◉ Dépendant de la distance
  - ○ Indépendant de la distance
- ☐ Modèle basé sur les classes de distribution en dimension (p. ex. classes de diamètre)
- ☐ Modèle de peuplement entier

Si autre(s), svp spécifier : Cliquer ici pour entrer le texte

Interface utilisateur du modèle : Choisir un élément
Langage de programmation: Choisir un élément

Si autre(s), svp spécifier : Cliquer ici pour entrer le texte

Type de modèle : ○ Descriptif ○ Prédictif
Spatialisation: ◉ Spatialement explicite ○ Non spatialement explicite
Pas de temps de simulation :

- ☐ Journalière
- ☐ Hebdomadaire
- ☐ Mensuelle
- ☐ Annuelle
- ☐ Ne dépend pas du temps
- ☐ Autre

Si autre, svp spécifier : Cliquer ici pour entrer le texte

Durée des simulations :

- ☐ Jour
- ☐ Semaine
- ☐ Mois
- ☐ Ne dépend pas du temps
- ☐ Autre
- ☐ Année
- ☐ Rotation
- ☐ Siècle

Si autre, svp spécifier: Cliquer ici pour entrer le texte
Maturité du modèle: Choisir un élément

C. Autre(s) modèle(s) ou outil(s) lié(s) au simulateur de croissance et de rendement

- ☐ Aucun autre modèle
- ☐ Modèle de houppier (ou cime)
- ☐ Modèle sylvicole
- ☐ Modèle de récolte
- ☐ Modèle de noeuds
- ☐ Modèle de qualité du bois ou de la fibre
- ☐ Modèle de rendement en produits du sciage
- ☐ Modèle de régénération
- ☐ Modèle de maladie
- ☐ Modèle de biomasse
- ☐ Modèle physiologique/ photosynthèse
- ☐ Modèle de carbone

SVP ajouter d'autres modules qui n'auraient pas été listés ci-haut (p. ex. dispersion de semences, mortalité), le cas échéant:

S'il y a un simulateur d'usine de sciage, svp spécifier lequel est utilisé:

☐ Optitek ☐ SawSim ☐ Autre: Cliquer ici pour entrer le texte

5. DÉCISION(S) SUPPORTÉE(S) PAR LE SIMULATEUR DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT

Niveau de décision

- ☐ Stratégique (à long terme, plus de 5 ans)
- ☐ Tactique (à moyen terme, 1 à 5 ans)
- ☐ Opérationnel (à court terme, moins de un an)

Type de décision

- ☐ Politique
- ☐ Conception de modèle d'affaires
- ☐ Analyse pour fin d'investissement
- ☐ Prédiction future (projection) de la production
- ☐ Mise à jour des inventaires
- ☐ Zonage
- ☐ Planification de l'aménagement
  - ☐ Sélection d'arbres
  - ☐ Sélection de peuplement (pour planifier la récolte)
  - ☐ Évaluation ou planification des traitements sylvicoles
- ☐ Règles de tronçonnage
- ☐ Allocation des bois aux usines

SVP, fournir les détails qui nous permettront de mieux comprendre le type de décision(s) prises à l'aide du simulateur de croissance et de rendement :

6. COMMUNAUTÉ DES UTILISATEURS FINAUX

☐ Recherche/enseignement ☐ Aménagistes forestiers
☐ Décideurs politiques ☐ Gestionnaires des opérations forestières
☐ Autre(s)
Si autre(s), svp spécifier : Cliquer ici pour entrer le texte

7. DOCUMENTATION

SVP fournir des références au sujet du modèle de croissance et rendement:

Information (contacts, sites web pour téléchargement, etc.) : Cliquer ici pour entrer le texte
Articles et rapports techniques : Cliquer ici pour entrer le texte
Guide de l'utilisateur (imprimé/PDF) : Cliquer ici pour entrer le texte
Guides sur le web (HTML/XML) : Cliquer ici pour entrer le texte

8. AUTRES CARACTÉRISTIQUES

SVP décrire votre modèle en termes généraux (un ou deux paragraphes): besoin/justification, caractéristiques (ce qu'il fait ou ne fait pas, avantages et inconvénients/limites) et si celui-ci est présentement utilisé au sein du secteur forestier (au meilleur de vos connaissances). Ce résumé sera utilisé pour décrire votre projet dans notre rapport (Compendium).

A3. Questionnaire d'enquête sur les systèmes d'aide à la décision

1. INFORMATION GÉNÉRALE SUR LE SAD

Nom du SAD : Cliquer ici pour entrer le texte
Propriété intellectuelle : Choisir un élément
Si autre, svp préciser : Cliquer ici pour entrer le texte
Auteurs : Choisir un élément
Si autre, svp préciser : Cliquer ici pour entrer le texte
Responsable(s) du développement scientifique : Cliquer ici pour entrer le texte
Responsable(s) de la mise en œuvre, de la maintenance et des mises à jour, etc. : Cliquer ici pour entrer le texte
Maturité du SAD : Choisir un élément

2. DÉCISION(S) SUPPORTÉE(S) PAR LE SAD

Échelle de temps

- ☐ À long terme (plus de 5 ans)
- ☐ À moyen terme (1 à 5 ans)
- ☐ À court terme (moins d'un an)

Type de décision

- ☐ Politique
- ☐ Zonage
- ☐ Conception de modèle d'affaires
- ☐ Analyse pour fin d'investissement
- ☐ Solution de systèmes sylvicoles acceptables
- ☐ Planification des traitements
  - ☐ Sélection de peuplement
  - ☐ Sélection d'arbres
  - ☐ Calendrier des traitements
- ☐ Planification de construction routière/d'entretien
- ☐ Planification de la récolte
- ☐ Règles de tronçonnage
- ☐ Allocation des bois aux usines
- ☐ Itinéraires de transport
- ☐ Horaire de travail
- ☐ Fabrication

SVP, fournir les détails qui nous permettront de mieux comprendre le type de décision(s) prises à l'aide de la plateforme du SAD :

Niveau de décision

☐ Bille/fût ☐ Forêt
☐ Arbre/tige ☐ Régional/national
☐ Peuplement ☐ Autre : Cliquer ici pour entrer le texte

3. DESCRIPTION DE LA PLATEFORME DU SAD

A. Architecture

Interface utilisateur du SAD : Choisir un élément
Si autre, svp préciser : Cliquer ici pour entrer le texte
Langage de programmation : Choisir un élément
Si autre, svp préciser : Cliquer ici pour entrer le texte

Paradigmes de programmation :
☐ Procédural (collecte de variables, structures de données et sous-programmes ou fonctions)
☐ Architecture-objet (tâche de programmation répartie en objets avec attributs et méthodes)

Visualisation des données :
☐ Pas de visualisation des données (arbre/peuplement)
☐ SIG
☐ Visualisation 3D des données
☐ Graphiques ou rapport de type tableau de bord
☐ Autre : Cliquer ici pour entrer le texte

A1. Mode du SAD

☐ Interactif (l'utilisateur peut interagir avec le programme durant la simulation)
☐ Mode différé (l'utilisateur ne peut pas interagir avec le programme durant la simulation)

A2. Hypothèses du SAD

☐ Statique (le SAD ne peut être modifié)
☐ Dynamique (le SAD peut être modifié)

A3. Processus décisionnel

Veuillez indiquer comment sont prises les décisions :

☐ Simulation uniquement ☐ Analyse de scénarios
☐ Optimisation
☐ Analyse par la méthode de Monte-Carlo (stochastique)
☐ Autre : Cliquer ici pour entrer le texte

A4. Portée du SAD

☐ Générique (peut être utilisé avec tout modèle/outil, toute essence, tout peuplement, dans n'importe quelle région)
☐ Spécifique (le SAD a été conçu pour une région en particulier, pour une essence ou un groupe d'essences en particulier, pour un peuplement précis ou pour être utilisé avec certains modèles/outils)

Si la plateforme est générique, veuillez préciser les spécifications requises pour la personnaliser ou pour y intégrer un nouveau modèle ou un nouvel outil :

Veuillez répondre dans la zone de texte ci-dessous.

A5. Portée du SAD dans la chaîne de valeur

Limite en amont : Choisir un élément
Limite en aval : Choisir un élément

Si la plateforme peut gérer plusieurs flux, veuillez utiliser le tableau ci-dessous :

Numéro du flux	**Limite en amont**	**Limite en aval**
1.	Choisir un élément	Choisir un élément
2.	Choisir un élément	Choisir un élément
3.	Choisir un élément	Choisir un élément
4.	Choisir un élément	Choisir un élément
5.	Choisir un élément	Choisir un élément

Si vous souhaitez fournir plus de renseignements concernant la portée de la chaîne de valeur couverte par le SAD, veuillez utiliser la zone de texte ci-dessous :

B. Modèle(s)/outil(s) déjà intégré(s) à la plateforme du SAD

B1. Modèle(s) de croissance et de rendement (C et R) avec sous-modèle(s) ou module(s)

Pour chaque modèle de C et R intégré à la plateforme, veuillez énumérer les espèces ou le groupe d'espèces (p. ex., épinette, sapin baumier, EPS, pruche-sapin) pris en compte par la plateforme de SAD et indiquer la compétence politique et la région écologique. **Si une essence ou groupe d'essences appartient à plus d'une compétence ou à plus d'une région écologique, utiliser une autre ligne.**

Nom du modèle de C et R	***Essence ou groupe d'essences***	***Compétence politique***	***Région écologique (provincial)***
Cliquer ici pour entrer le texte	Cliquer ici pour entrer le texte	Choisir un élément	Cliquer ici pour entrer le texte
Cliquer ici pour entrer le texte	Cliquer ici pour entrer le texte	Choisir un élément	Cliquer ici pour entrer le texte
Cliquer ici pour entrer le texte	Cliquer ici pour entrer le texte	Choisir un élément	Cliquer ici pour entrer le texte
Cliquer ici pour entrer le texte	Cliquer ici pour entrer le texte	Choisir un élément	Cliquer ici pour entrer le texte
Cliquer ici pour entrer le texte	Cliquer ici pour entrer le texte	Choisir un élément	Cliquer ici pour entrer le texte
Cliquer ici pour entrer le texte	Cliquer ici pour entrer le texte	Choisir un élément	Cliquer ici pour entrer le texte

Si autre, svp préciser : Cliquer ici pour entrer le texte

Y a-t-il des sous-modules ou éléments liés au(x) modèle(s) de C et R?

☐ Non, aucun sous-modèle/élément

☐ Oui, il y a un sous-modèle/élément

☐ Modèle de houppier (ou cime)

☐ Modèle de perturbation (maladie, feu, etc.)
☐ Modèle de branchaison
☐ Modèle de biomasse
☐ Modèle de régénération
☐ Modèle de carbone
☐ Modèle sylvicole
☐ Croissance : Diamètre à hauteur de poitrine (DHP)/hauteur
☐ Modèle physiologique/photosynthèse
☐ Modèle de survie/mortalité
☐ Effets des conditions climatiques
☐ Autre(s)
Si autre(s), veuillez préciser : Cliquer ici pour entrer le texte

B2. Attribut de qualité de la tige et du bois/fibre
Veuillez indiquer quel(s) modèle(s) de prédiction des attributs de qualité de la tige ou du bois/fibre est(sont) intégré(s) à la plateforme.

Modèle de prédiction de la qualité de la tige :
☐ Défilement ☐ Forme (minceur/courbure)
☐ Nœuds ☐ Autre(s)
Si autre(s), veuillez préciser : Cliquer ici pour entrer le texte

Modèle de prédiction des attributs de qualité du bois/fibre
☐ Bois juvénile ☐ Densité
☐ Bois d'aubier ☐ Module d'élasticité
☐ Largeur des cernes ☐ Angle des microfibrilles
☐ Propriétés chimiques ☐ Masse linéique
☐ Dimensions des fibres (p. ex., longueur, diamètres)
☐ Autre(s)
Si autre(s), veuillez préciser : Cliquer ici pour entrer le texte

C. Outils opérationnels

☐ Opérations forestières
☐ Récolte ☐ Transport
Autre(s) : Cliquer ici pour entrer le texte
☐ Planification d'aménagement forestier
☐ Modèle de rendement en produits
☐ Simulateur d'usine de sciage ☐ Simulateur d'usine de pâte
☐ Simulateur d'usine de panneaux
☐ Simulateur d'usine de produits secondaires du bois
☐ Simulateur de tronçonnage ☐ Autre(s)
Si autre(s), veuillez préciser : Cliquer ici pour entrer le texte

S'il y a un simulateur d'usine de sciage, svp préciser lequel est utilisé :
☐ Optitek ☐ SawSim ☐ Autre : Cliquer ici pour entrer le texte

Veuillez choisir les produits pouvant être récupérés :

☐ Classe de qualité des billes
☐ Classe de qualité des sciages
☐ Volume des sciages
☐ Volume des copeaux
☐ Qualité des copeaux
☐ Volume de la biomasse
☐ Qualité de la biomasse
☐ Carbone

Pour indiquer d'autres produits potentiels de bois ou de fibre, veuillez utiliser la zone de texte ci-dessous :

D. Autre(s) modules

☐ Modèle économique (analyse de marché/financière)
☐ Modèle écologique (évaluation des risques/impact)
☐ Modèle social
☐ Optimisation de la chaîne d'approvisionnement
☐ Horaire de livraison
☐ Projection de l'offre du bois

Autre(s) module(s) :

4. COMMUNAUTÉ DES UTILISATEURS FINAUX

☐ Recherche/enseignement ☐ Planificateurs d'aménagements forestiers
☐ Décideurs politiques ☐ Gestionnaires des opérations forestières
☐ Autre(s)

Si autre(s), svp préciser : Cliquer ici pour entrer le texte

Distribution

☐ Commerciale
☐ Gratuite
  ☐ Sur demande
  ☐ Sur le Web
  ☐ Réservée aux membres
☐ Autre : Cliquer ici pour entrer le texte

5. DOCUMENTATION

SVP fournir des références au sujet du SAD :

Information (contacts, sites Web pour téléchargement, etc.) : Cliquer ici pour entrer le texte

Journaux et rapports techniques : Cliquer ici pour entrer le texte
Guide de l'utilisateur (imprimé/PDF) : Cliquer ici pour entrer le texte
Guides sur le Web (HTM/XML) : Cliquer ici pour entrer le texte

6. AUTRES CARACTÉRISTIQUES

SVP décrire votre outil en termes généraux (un ou deux paragraphes) : besoin/justification, caractéristiques (ce qu'il fait ou ne fait pas, avantages et inconvénients/limites) et si celui-ci est présentement utilisé au sein du secteur forestier (au meilleur de vos connaissances). Ce résumé sera utilisé pour décrire votre projet dans notre rapport (Compendium).

Cliquez ici pour taper du texte.

A4. Liste des publications consultées portant sur la qualité du bois

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Achim et coll., 2011	Université Laval	Peuplier faux-tremble	MOE	Bille	Divers emplacements, Qc
Adams et Morgenstern, 1991*	University of New Brunswick (UNB)	Pin gris	Branchaison, forme de la tige	Famille	Moitié est du N.-B.
Alteyrac et coll., 2006	Université Laval	Épinette noire	MOE, MOR	Cerne	Chibougamau, Qc
Angers et coll., 2012	UQAM	Épinette noire, sapin baumier, pin gris, peuplier faux-tremble	Densité	Arbre	Nord-ouest du Québec
Ballard et Long, 1988	University of State Utah	Pin tordu latifolié	Branchaison/nœuds, forme de la tige	Arbre	Forêt expérimentale de l'université d'État de l'Utah, États-Unis
Bankowski, 1994	University of Toronto	Pin gris	Densité	Cerne	Ontario
Baral et coll., 2013	UQAR	Érable à sucre	Bois décoloré, bois sans défaut	Arbre	Mont-Laurier, Biencourt et Duchesnay, Qc
Barrett et Kellogg, 1989	UBC	Sapin de Douglas	MOE, MOR	Sciage	Diverses régions côtières, C.-B.
Barrette et coll., 2012	Université Laval	Épinette noire	Rendement en valeur des produits	Tige	Région de la Côte-Nord, Qc
Basham, 1986	SCF	Sapin baumier	Carie	Arbre	Mattawa et Chapleau, Ont.
Beaulieu et coll., 2006*	SCF	Épinette blanche	Densité, MOE, MOR, nœuds	Famille/provenance/site	Valcartier, Qc
Beaulieu et coll., 2011	UQAM	Pin gris	Branchaison/nœuds	Tige	Eel River, N.-B.; Petawawa, Ont.; Saint-Maurice, Qc
Beaulieu et coll., 2011*	CCFB	Épinette blanche	Densité, AM, MOE, masse linéique, largeur des cernes, BI/BF, dimensions transversales des fibres	Famille	Divers emplacements, Qc
Beaulieu et coll., 2014*	CCFB	Épinette blanche	Densité, AM, MOE, dimensions des fibres transversales	Arbre	Québec
Belleville et coll., 2011	Université Laval	Bouleau à papier	Cœur rouge	Arbre	Mont-Laurier, Qc
Benjamin, 2006	UNB	Épinette noire	Branchaison/nœuds, rendement en valeur des produits	Arbre	N.-B.
Benjamin et coll., 2009	Université du Maine	Épinette noire	Branchaison/nœuds	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Blouin et coll., 1994	SCF	Épinette de Norvège	Densité	Cerne	Grand-Mère, Qc
Brown et Sendak, 2006	USDA Forest Service	Pruche du Canada	Propriétés des cernes	Arbre	Plusieurs États, États-Unis

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Corriveau et coll., 1991*	SCF	Épinette blanche	Densité, largeur des cernes, TH	Famille	Station d'expérimentation forestière de Valcartier, Qc
Cortini et coll., 2013	CCFB	Épinette noire, sapin baumier, épinette blanche, pin tordu latifolié	Propriétés des cernes	Arbre	Cochrane, Ont.
Cortini et coll., 2014	CCFB	Sapin baumier	Densité, MOE, AM	Arbre	Rivière verte, N.-B.
Cruickshank et Filipescu, 2012	CCFB	Sapin de Douglas	Propriétés du bois d'aubier	Tige	Divers emplace-ments, C.-B.
Di Lucca, 1989	UBC	Sapin de Douglas	Transition du BJ au BM	Cerne	Diverses régions côtières, C.-B.
Duchateau et coll., 2013	Université Laval	Épinette noire, pin gris	Branchaison/nœuds	Arbre	Côte-Nord, Qc
Duchesne et coll., 2013	CCFB	Sapin baumier	Densité, MOE, MOR, rendement en valeur des produits, propriétés des panneaux MDF (liaison, MOE, MOR…)	Placette/peuplement	Rivière verte, N.-B.
Filipescu et coll., 2014	CCFB	Sapin de Douglas	Densité, propriétés des cernes	Cerne	États du nord-ouest bordés par le Pacifique
Fortin et coll., 2009	MFFPQ	Érable à sucre, bouleau jaune	Rendement en valeur des produits	Arbre	Sud du Québec
Fujiwara et Yang, 2000	Lakehead University	Sapin baumier, épinette noire, pin gris, peuplier faux-tremble, épinette blanche	Longueur des fibres	Cerne	Nord-ouest de l'Ontario
Gagné et coll., 2013	Université Laval	Bouleau jaune	Forme de la tige	Arbre	Portneuf et Saguenay-Charlevoix, Qc
Gartner et coll., 2002	Oregon State University (OSU), OR	Sapin de Douglas	Densité, BI/BF, propriétés des cernes	Cerne	Central Cascades, OR
Genet et coll., 2013	Université Laval	Chêne rouge	Densité, BI/BF	Cerne	Sud-ouest du Québec
Giroud et coll., 2008	Université Laval	Bouleau à papier	Cœur rouge	Arbre	Montmorency, Qc
Giroud et coll., 2014	Université Laval	Épinette noire	BJ/BM	Arbre	Plusieurs emplacements, Qc
Goudie et Di Lucca, 2002	FTERN, C.-B.	Pruche de l'Ouest	BI/BF, BJ/BM, propriétés des cernes	Cerne	Divers emplace-ments, C.-B.
Goudie et Parish, 2010	FTERN, C.-B.	Épinettes de l'intérieur de la C.-B.	Branchaison/nœuds	Arbre	Intérieur septentrional, C.-B.

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Groot et Schneider, 2011	CCFB	Sapin baumier, épinette noire, sapin de Douglas, pin gris, pin tordu latifolié, peuplier faux-tremble, bouleau blanc, épinette blanche, bouleau jaune	Branchaison/nœuds	Tige	Divers emplacements au Canada
Hamm, 1989	Forintek Canada Corp.	Sapin de Douglas	Longueur des fibres	Classe d'âge	Diverses régions côtières, C.-B.
Harper, 2008	FTERN, C.-B.	Peuplier faux-tremble	Branchaison/nœuds	Arbre	Fort Nelson et Peace River, C.-B.
Hatton et Cook, 1992	PAPRICAN	Sapin de Douglas	Propriétés de la pâte et des feuilles d'essai	Arbre	Côte de la C.-B.
Hatton et Hunt, 1989	PAPRICAN	Sapin de Douglas	Propriétés des feuilles d'essai de la pâte kraft	Type de bois (couronne, juvénile, mature)	Diverses régions côtières, C.-B.
Hatton et Johal, 1989	PAPRICAN	Sapin de Douglas	Propriétés des feuilles d'essai de la pâte mécanique	Type de bois (couronne, juvénile, mature)	Diverses régions côtières, C.-B.
Havreljuk et coll., 2013	Université Laval	Érable à sucre, bouleau jaune	Cœur rouge , rendement en valeur des produits	Arbre	Divers emplacements dans le sud du Québec
Havreljuk et coll., 2014	Université Laval	Érable à sucre, bouleau jaune	Valeur du peuplement	Arbre	Mont-Laurier et Duchesnay, Qc
Hazenberg et Yang, 1991	Lakehead University	Sapin baumier	Propriétés du bois d'aubier	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Hazenberg et Yang, 1991	Lakehead University	Sapin baumier, épinette noire	Propriétés du bois d'aubier	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Hegel, 1974	SCF	Sapin baumier, épinette noire, pin tordu latifolié	Densité	Arbre	Québec
Hilker et coll., 2013	NASA Goddard Space Flight Center	Pin tordu latifolié	Densité, masse linéique, longueur des fibres, AM, MOE, branchaison/nœuds	Arbre/site	Hinton Forest Management Area, Alb.
Huda et coll., 2014*	UQAT	Peuplier hybride	Densité, retrait, MOE, MOR	Arbre	Pointe-Platon, Saint-Ours et Windsor, Qc
Iliadis et coll., 2013	UBC	Sapin de Douglas	Densité	Arbre	Côte de la C.-B.
Ivkovich et coll., 2002a, b*	UBC	Épinette blanche	Densité, largeur des cernes, BI/BF	Section radiale	East Kootenays et Prince George, C.-B.
Ivkvich, 1996*	Lakehead University	Peuplier baumier	Densité, TH, largeur des cernes, longueur des fibres et des vaisseaux	Clone	Thunder Bay, Ont.
Kershaw, Jr. et coll., 2009	UNB	Épinette noire	Branchaison/nœuds	Arbre	Thunder Bay, Ont.

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
King et coll., 1988*	University of Alberta	Sapin de Douglas	Densité	Cerne	Station de recherche du lac Cowichan, C.-B.
King et coll., 1998*	FTERN, C.-B.	Pruche de l'Ouest	Densité, longueur des fibres, masse linéique	Arbre/famille	Mission Tree Farm, C.-B.
Klos et coll., 2007	Lakehead University	Peuplier baumier, épinette noire, pin gris, peuplier faux-tremble, épinette blanche	Forme de la tige	Arbre	Écozone des plaines boréales et écozone du bouclier boréal, Man.
Koubaa et coll., 2002	SEREX	Épinette noire	BI/BF	Arbre	Victoriaville, Qc
Koubaa et coll., 2005	UQAT	Épinette noire	BJ/BM	Arbre	Victoriaville, Qc
Kozak, 1988	UBC	Sapin baumier, érable à grandes feuilles, peuplier, sapin de Douglas, mélèze, pin tordu latifolié, pin ponderosa, aulne rouge, espèces d'épinette, peuplier faux-tremble, pruche de l'Ouest, thuya géant, pin argenté, bouleau blanc, cyprès jaune	Forme de la tige	Arbre	C.-B.
Krakowski et coll., 2005*	UBC	Sapin de Douglas	Densité, largeur des cernes, BI/BF	Arbre	Saanichton, C.-B.
Krause et Plourde, 2008	UQAC	Épinette noire, pin gris	Zone du bois de compression	Arbre	Lac-Saint-Jean, Qc
Krause et coll., 2010	UQAC	Épinette noire	Population cellulaire, dimensions des fibres transversales	Cerne	Lac-Saint-Jean, Qc
Krause et coll., 2011	UQAC	Épinette noire, pin gris	Dimensions transversales des fibres, population cellulaire	Cerne	Forêt boréale, Qc
Kuprevicius et coll., 2013	University of Toronto	Épinette blanche	MOE, MOR	Diverses positions dans la tige	Centre de l'Ontario
Larocque et Marshall, 1995	SCF	Pin rouge	Densité, BI/BF, propriétés des cernes	Cerne et arbre (BH)	Chalk River, Ont.
Lei et coll., 2005	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	MOE, MOR	Sciage	Thunder Bay, Ont.

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Lemieux et coll., 1997	Université Laval	Épinette de Norvège	Branchaison/nœuds	Bille	Québec
Lemieux et coll., 2001	Université Laval	Épinette noire	Branchaison/nœuds	Bille	Québec
Lemieux et coll., 2002	Université Laval	Épinette noire	Rendement en valeur des produits	Bille	Québec
Lenz et coll., 2013*	Université Laval	Épinette blanche	AM, MOE	Arbre	Québec
Lenz et coll., 2011*	Université Laval	Épinette blanche	Densité, MOE, AM, DTF	Cerne	Régions du centre et du sud du Québec
Lenz et coll., 2012	Université Laval	Épinette blanche	Densité, BI/BF, masse linéique, dimensions transversales des fibres, AM, MOE, propriétés des cernes	Arbre	Région de la Mauricie, Qc
Lenz et coll., 2014	Université Laval	Épinette blanche	Densité, BI/BF, masse linéique, longueur des fibres, dimensions transversales des fibres, AM, MOE	Arbre	Plusieurs emplacements, Qc
Lessard et coll., 2014	Université de Sherbrooke	Épinette noire, sapin baumier	Densité, masse linéique, longueur des fibres, MOE	Placette/peuplement	Île de Terre-Neuve
Li et coll., 2012	Université of Maine	Sapin baumier, épinette noire, pruche du Canada, pin gris, mélèze, cèdre de l'est, épinette de Norvège, pin rouge, épinette rouge, pin blanc, épinette blanche, épinette noire	Forme de la tige	Arbre	Plusieurs emplacements au Canada
Liu et Zhang, 2005	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Rendement en valeur des produits	Arbre	Abitibi-Témiscamingue, Qc
Liu et Zhang, 2005	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Rendement en valeur des produits	Arbre	Abitibi-Témiscamingue, Qc
Liu et coll., 2007	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Classe de qualité des sciages	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Liu et coll., 2007	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Valeur des sciages	Arbre	Abitibi-Témiscamingue, Qc
Liu et coll., 2007	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	MOE, MOR	Arbre	Abitibi-Témiscamingue, Qc
Loo-Dinkins et Gonzalez, 1991*	UBC	Sapin de Douglas	Densité	Cerne	Bassin versant Victoria et station de recherche du lac Cowichan, C.-B.
Loo-Dinkins et coll., 1991	UBC	Sapin de Douglas	Densité	Arbre	Côte de la C.-B.

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Luther et coll., 2013	CCFB	Épinette noire, sapin baumier	Densité, masse linéique, longueur des fibres, dimensions transversales des fibres, AM, MOE	Placette/peuplement	Île de Terre-Neuve
Magnussen et Keith, 1990*	SCF	Pin gris	Défilement, densité, bois de cœur	Arbre	Petawawa, Ont.
Maness et Donald, 1994	UBC	Épinette-pin-sapin (EPS)	Rendement en valeur des produits	Bille	C.-B.
Mansfield et coll., 2007	UBC	Pin tordu latifolié	Transition du BJ au BM	Arbre	Ouest de l'Alberta et intérieur de la C.-B.
Mansfield et coll., 2007	UBC	Pruche de l'Ouest	MOE, MOR	Tige	Côte de la C.-B.
Mansfield et coll., 2009	UBC	Pin tordu latifolié	Transition du BJ au BM	Arbre	Centre de la C.-B.
Mansfield et coll., 2011	UBC	Peuplier hybride	MOE, MOR	Tige	Harrison Mills et Fort Nelson, C.-B.
Matolcsy, 1975	Fondation de recherches de l'Ontario	Sapin baumier	Propriétés de la pâte et du papier		Ontario
Mitchell et coll., 1989	FTERN, C.-B.	Sapin de Douglas	Rendement en valeur des produits	Billes, sciages	Diverses régions côtières, C.-B.
Morris et Forslund, 1992	Institut de recherche forestière de l'Ontario (IRFO)	Pin gris	Forme de la tige	Arbre	Région du nord-ouest de l'Ontario
Morris et Parker, 1992	IRFO	Pin gris	Branchaison/nœuds, forme de la tige	Arbre	Nord-ouest de l'Ontario
Morris et coll., 1992*	IRFO	Pin gris	Forme de la tige, branchaison	Arbre/famille	Pépinière de Thunder Bay, Ont.
Muhairwe, 1994	UBC	Pin tordu latifolié	Forme de la tige	Arbre	Burns Lake, Anahim Lake, Prince George, C.-B.
Mvolo et coll., 2015	UQAT	Épinette blanche	BJ/BM	Cerne	Petawawa, Ont.
Nault, 1989	Forintek Canada Corp.	Sapin de Douglas	Retrait longitudinal	Cerne	Diverses régions côtières, C.-B.
Nemec et coll., 2010	FTERN, C.-B.	Pin tordu latifolié	Branchaison/nœuds	Arbre	Diverses régions côtières, C.-B.
Nemec et coll., 2012	FTERN, C.-B.	Sapin gracieux, sapin de Douglas, pin tordu latifolié, pruche de l'Ouest, épinette blanche	Branchaison/nœuds	Arbre	Côte de la C.-B.
Newton et Sharma, 2008	CCFB	Pin gris	Forme de la tige	Arbre	Nord de l'Ontario

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Paradis et coll., 2013	Université Laval	Épinette noire	MOE, rendement en valeur des produits	Arbre	Région de la Côte-Nord, Qc
Park et coll., 2012	CCFB	Épinette blanche	Densité, BI/BF, longueur des fibres, AM	Arbre/clone	Forêt expérimentale Acadia, N.-B.
Pavel et Andersson, 2009	FPInnovations	Générique	Valeur du peuplement	Forêt	C.-B.
Peng et Stewart, 2013	Foothills Research Institute	Pin tordu latifolié	Densité	Cerne et arbre	Contrefort central, Alb.
Peng et coll., 2013	UNB	Pin gris, épinette blanche	Retrait	Cerne	N.-B.
Petruncio et coll., 1997	Heritage College, Washington	Sapin de Douglas	Branchaison/nœuds	Arbre	États du nord-ouest bordés par le Pacifique, États-Unis
Pitt et coll., 2013	CCFB	Sapin baumier	Valeur du peuplement	Placette/peuplement	Rivière verte, N.-B.
Pliura et coll., 2007*	Forintek Canada Corp.	Peuplier hybride	Densité	Site	Sud du Québec
Pnevmaticos et coll., 1972	SCF	Épinette noire, sapin baumier	Densité, TH, forme de la tige	Arbre	Zone de transition centrale de la forêt boréale, Qc
Pokharel et coll., 2014	Université Nipissing	Épinette noire	Densité, BI/BF	Arbre/écosite	Nord-est de l'Ontario
Porth et coll., 2013*	UBC	Peuplier de l'Ouest	Densité, AM, longueur des fibres, propriétés chimiques	Cerne	C.-B.
Porth et coll., 2013*	UBC	Peuplier de l'Ouest	Densité, AM, longueur des fibres, propriétés chimiques	Cerne	C.-B.
Porth et coll., 2013*	UBC	Peuplier de l'Ouest	Densité, AM, longueur des fibres, propriétés chimiques	Cerne	C.-B.
Ratcliffe et coll., 2014*	UBC	Mélèze occidental	Densité, MOE	Arbre	East Kootenay, C.-B.
Samson et coll., 1996	Université Laval	Générique	Branchaison/nœuds		Québec
Sattler et coll., 2014	University of Alberta	Peuplier faux-tremble, épinette blanche	MOE	Échantillons dans l'arbre	Nord de l'Alberta
Sattler et coll., 2014	University of Alberta	Épinette blanche	Branchaison/nœuds	Arbre	Sous-région centrale de forêt mixte naturelle, Alberta
Savva et coll., 2010	UQAT	Pin gris	Densité, BI/BF	Cerne	Petawawa, Ont.
Scallan et Green, 1974	PAPRICAN	Diverses essences	Masse linéique, dimensions transversales des fibres		Inconnu

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Schneider et coll., 2008	UQAM	Pin gris	Branchaison/nœuds, bois d'aubier	Arbre	N.-B.
Schneider et coll., 2008	UQAM	Pin gris	Densité, BI/BF, MOE, MOR	Cerne	Grand Lake Road, N.-B.
Schneider et coll., 2008	UQAM	Peuplier faux-tremble	Carie, rendement en valeur des produits	Arbre	Bas-St-Laurent et Gaspésie, Qc
Schneider et coll., 2011	UQAR	Pin gris	Propriétés du bois d'aubier	Tige	N.-B.
Sharma et Zhang, 2004	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Forme de la tige	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Schneider et coll., 2013	MFFPQ	Bouleau à papier, épinette blanche, épinette rouge, épinette noire, sapin baumier, épinette blanche, thuya occidental, peuplier à grandes dents, peuplier faux-tremble	Défilement	Arbre	Québec
Schneider et coll., 2014	MFFPQ	Pin gris	Défilement	Arbre	Québec
Singh, 1984	SCF	Sapin subalpin, sapin baumier, peuplier baumier, épinette noire, pin gris, mélèze, pin tordu latifolié, peuplier faux-tremble, bouleau blanc, épinette blanche	Densité	Disque vertical	Alberta
Singh, 1986	SCF	Épinette noire, peuplier baumier, pin gris, mélèze, peuplier faux-tremble, épinette blanche	Densité	Disque vertical	Territoires du Nord-Ouest
Stirling et coll., 2014	FPInnovations	Thuya géant	Carie, matières extractibles		C.-B.
Stoehr et coll., 2009	FTERN, C.-B.	Sapin de Douglas	Densité	Arbre	Côte de la C.-B.
Tong et Zhang, 2006	Forintek Canada Corp.	Pin gris	Rendement en valeur des produits	Arbre	Miramichi, N.-B.
Tong et Zhang, 2008	Forintek Canada Corp.	Pin gris	Volume, rendement sciage	Arbre	Miramichi, N.-B.

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Torquato et coll., 2014	Université Laval	Épinette noire	MOE, MOR	Échantillons dans l'arbre	Abitibi, Lac-Saint-Jean et Côte-Nord, Qc
Ukrainetz et coll., 2008*	UBC	Sapin de Douglas	Densité, BI/BF, longueur des fibres, masse linéique, AM, propriétés chimiques	Famille	Île de Vancouver, C.-B.
Ukrainetz et coll., 2008*	UBC	Sapin de Douglas	Densité, longueur des fibres, masse linéique, dimensions transversales des fibres, AM, propriétés chimiques, BI/BF	Arbre	Sud-est de la C.-B.
Ung, 1989	SCF	Hêtre	Forme de la tige	Arbre	Témiscouata, Qc
Ung et coll., 2013	CCFB	Diverses essences au Canada	Forme de la tige	Arbre	Partout au Canada
Vincent et Duchesne, 2014	Université Laval	Épinette blanche, pin gris	MOE, MOR	Arbre	Woodstock, N.-B.
Wang et Aitken, 2001	UBC	Pin tordu latifolié	BI/BF, propriétés des cernes	Cerne	Centre de la C.-B.
Wang et Stewart, 2013	Foothills Research Institute	Pin tordu latifolié	BI/BF	Arbre	Sud-est de la C.-B.
Wang et coll., 1998	University of Alberta	Peuplier baumier, épi-nette noire, pin tordu latifolié, peuplier faux-tremble, épinette blanche	Forme de la tige	Arbre	Alberta
Wang et coll., 1999*	UBC	Pin tordu latifolié	Densité	Cerne/arbre	Zone de planification des vergers à graines Willow-Bowron, centre de la C.-B.
Wang et Stewart, 2012	Foothills Research Institute	Pin tordu latifolié	BJ/BM	Arbre/site	Foothills, Alb.
Xiang et coll., 2014	Lakehead University	Épinette noire	Densité	Cerne	Thunder Bay, Ont.
Xiang et coll., 2014	Lakehead University	Épinette noire	Propriétés des cernes	Cerne	Thunder Bay, Ont.
Yanchuk et Kiss, 1993*	FTERN, C.-B.	Épinettes de l'intérieur de la C.-B.	Densité	Arbre/famille/site	Red Rock et Quesnel, C.-B.
Yang et Hazenberg, 1991	Lakehead University	Peuplier faux-tremble	Propriétés du bois d'aubier	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Yang et coll., 1986	Lakehead University	Mélèze/mélèze laricin	BJ/BM	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Zang et Tong, 2005	Forintek Canada Corp.	Pin gris	Rendement en valeur des produits	Arbre	Miramichi, N.-B.

Auteurs	Institut	Essences	AQB	Pouvoir de résolution	Zone d'étude
Zhang et Chui, 1996*	Forintek Canada Corp.	Pin gris	Densité	Famille	Dubee Settlement, sud-est du N.-B.
Zhang et Morgensten, 1995*	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Densité, BI/BF	Cerne	Bassin versant de la rivière Tobique, nord du N.-B.
Zhang et coll., 1996	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Densité	Cerne	Edmundston, N.-B.
Zhang et coll., 2003*	Forintek Canada Corp.	Peuplier hybride	TH, densité	Arbre/clone	St-Ours et Windsor, Qc
Zhang et coll., 2004*	Forintek Canada Corp.	Épinette blanche	Densité, MOE, largeur des cernes, qualité du bois de placage (MOE, MOR, rugosité)	Arbre/famille	Valcartier et Lac St-Ignace, Qc
Zhang et coll., 2005	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Forme de la tige, branchaison/nœuds, rendement en valeur des produits	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Zhang et coll., 2006	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Rendement en valeur des produits	Arbre	Thunder Bay, Ont.
Zhang et coll., 2006	Forintek Canada Corp.	Épinette noire	Rendement en valeur des produits	Arbre	Nord de l'Ontario et du Québec
Zhou et coll., 2012	UNB	Pin rouge	MOE	Bille	N.-B.

* : Études en génétique/génomique
BI/BF : Propriétés du bois initial/bois final
BJ/BM : Propriétés de bois juvénile/bois mature
TH : Taux d'humidité; MOE : Module d'élasticité
AM : Angle des microfibrilles
MOR : Module de rupture.

A5. Liste des modèles et simulateurs de croissance et de rendement

Nom	Auteur(s) Institut	Type de modèle	Échelle	Spatiali-sation	Essences	Portée	Intervalle de temps	Attribut(s) de qualité	Maturité	Personne-ressource
GYPSY Système de prédiction de C et R	Huang et coll., Analyse des ressources forestières, Alberta	Empirique	Peuple-ment	Non	Épinette blanche, tremble, pin tordu latifolié et épinette noire	Provincial (Alb.)	Annuel		Utilisé	Shongming Huang Environnement et Développement durable, Edmonton, Alberta Shongming.Huang@gov.ab.ca
TASS Simulateur à l'échelle de l'arbre et du peuplement	FTERN, C.-B.	Hybride	Arbre	Oui	Tous les principaux conifères en C.-B., et tremble et aulne	Provincial (C.-B.)	Annuel	Branchaison, défilement DB, MOE, AM, LF, BJ, BA, LC	Utilisé	Jim Goudie Ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles (C.-B.) Jim.Goudie@gov.bc.ca
Sortie-ND	K. David Coates FTERN, C.-B. Charles D. Canham Cary Institute of Ecosystem Studies	Hybride	Arbre	Oui	Thuya géant, pruche de l'Ouest, sapin gracieux, épinette de l'intérieur, sapin subalpin, pin tordu latifolié, peuplier faux-tremble, bouleau à papier et peuplier de l'Ouest	Nord-ouest et centre, C.-B.	Annuel		Utilisé	David K. Coates Dave.Coates@gov.bc.ca> Charles D. Canham ccanham@caryinstitute.org
Prognosis-BC	Valerie Lemay UBC Don Robinson ESSA Technologies	Empirique	Arbre	Non	Pin blanc, mélèze occidental, sapin de Douglas, sapin grandissime, pruche de l'Ouest, thuya géant, pin tordu latifolié, sapin baumier, épinette d'Engelmann, sapin subalpin, pin ponderosa,	Provincial (C.-B.)	5 ou 10 ans		Utilisé	Don Robinson drobinson@essa.com Valerie Lemay valerie.lemay@ubc.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Type de modèle	Échelle	Spatiali-sation	Essences	Portée	Intervalle de temps	Attribut(s) de qualité	Maturité	Personne-ressource
					bouleau à papier, peuplier faux-tremble, peuplier					
AMSIMOD	Guy Larocque Service canadien des forêts	Basé sur les processus	Arbre	Oui	Diverses essences de feuillus et de résineux	Générique	Annuel		Utilisé	Guy Larocque Service canadien des forêts guy.larocque@canada.ca
CroirePlant	Guy Prégent et coll., MFFP, Québec	Empirique	Peuple-ment	Non	Épinette blanche	Provincial (Qc)	Annuel		Utilisé	Guy Prégent MFFP, Direction de la recherche forestière guy.pregent@mffp.gouv.qc.ca ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/Drf/Capsis/CroirePlant
SaMARE	Mathieu Fortin et coll., MFFP, Québec	Empirique	Arbre	Non	Érable à sucre, érable rouge, bouleau jaune, hêtre à grandes feuilles, sapin baumier, autres espèces de feuillus et de résineux	Provincial (Qc)	5 ans	Volume par classe de qualité des billes	Utilisé	François Guillemette MFFP, Direction de la recherche forestière francois.guillemette@mffp.gouv.qc.ca ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/Drf/CAPSIS/SaMARE/
Artémis	Mathieu Fortin et coll., MFFP, Québec	Empirique	Arbre	Non	Toutes les essences principales de feuillus et de résineux du Québec	Provincial (Qc)	10 ans	Défilement Volume par classe de qualité des billes	Utilisé	MFFP, Direction de la recherche forestière ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/Drf/Capsis/Artemis-2014
Natura	David Pothier Isabelle Auger MFFP, Québec	Empirique	Peuple-ment	Non	Feuillus Résineux	Provincial (C.-B.)	10 ans		Utilisé	Isabelle Auger MFFP, Direction de la recherche forestière isabelle.auger@mffp.gouv.qc.ca ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/Drf/Capsis/Natura-2014
STAMAN	Growth and Yield Unit (GYU), N.-B.	Empirique	Classes de diamètre	Non	Résineux Feuillus	Provincial (N.-B.)	5 ans		Utilisé	GYU, N.-B.

Nom	Auteur(s) Institut	Type de modèle	Échelle	Spatiali-sation	Essences	Portée	Intervalle de temps	Attribut(s) de qualité	Maturité	Personne-ressource
Modèle de C et R, N.-É.	MRN, Nouvelle-Écosse	Empirique	Peuple-ment	Non	Résineux Feuillus	Provincial (N.-É.)	5 ans		Utilisé	novascotia.ca/natr/forestry/programs/timberman/growthyield.asp
MIST Outil d'aide à la modélisation et à l'inventaire	MRNF, Ontario	Empirique	Arbre	Non	Plusieurs essences de l'Ontario	Provincial (Ont.)		Défilement	Utilisé	Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario
FVS-Ontario Forest Vegetation Simulator, Ontario	MRNF, Ontario ESSA Technologies	Empirique	Arbre	Non	Plusieurs essences de l'Ontario	Provincial (Ont.)	Annuel ou défini par l'utilisateur		En dévelop.	Scott McPherson scott.mcpherson@ontario.ca Don Robinson drobinson@essa.com
Siplab	Oscar Garcia UNBC	Basé sur les processus	Arbre	Oui	Générique	Canada	Ne dépends pas du temps		Universitaire	Oscar Garcia UNBC oscar_garcia@unbc.ca
Scube	Oscar Garcia UNBC	Hybride	Peuple-ment	Non	Épinettes de l'intérieur de la C.-B.	C.-B.	N'importe quel		Universitaire	Oscar Garcia UNBC oscar_garcia@unbc.ca
TAG	Oscar Garcia UNBC	Hybride	Peuple-ment	Non	Peuplements dominés par le tremble en C.-B., Alb., Sask. et Man.	C.-B., Alb., Man., Sask.	N'importe quel		Universitaire	Oscar Garcia UNBC oscar_garcia@unbc.ca
TRIPLEX	Changhui Peng UQAM	Basé sur les processus	Arbre	Oui	Pin gris, épinette noire, épinette blanche, tremble	?	Journalier	DB	Utilisé	Changui Peng UQAM www.crc.uqam.ca
PipeQual	Robert Schneider UQAR A. Mäkelä Université d'Helsinki	Hybride	Arbre	Non	Pin gris, épinette noire, épinette blanche	Provincial	Annuel	Défilement Bois d'aubier	En dévelop.	Robert Schneider UQAR robert_schneider@uqar.ca
COHORTE	Frédérik Doyon UQO, IQAFF	Empirique	Arbre	Non	Feuillus et résineux	Sud du Québec et nord du N.-B.	Annuel	Branchaison Qualité de la tige Défauts	Utilisé	Frédérik Doyon UQO, IQAFF frederik.doyon@uqo.ca
MGM Modèle de croissance des	Bokalo et coll., University of Alberta	Hybride	Arbre	Non	Épinette blanche, peuplier faux-tremble, pin	Alberta Manitoba C.-B., Sask.	Annuel	Défilement DB, BJ, MOE, LF	Utilisé	Phil Comeau Université de l'Alberta phil.comeau@ualberta.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Type de modèle	Échelle	Spatiali-sation	Essences	Portée	Intervalle de temps	Attribut(s) de qualité	Maturité	Personne-ressource
peuplements mixtes					tordu latifolié, pin gris					
IVY Augmentation de volume par année	Art Groot CCFB	Hybride	Arbre	Oui	Épinette noire, pin gris, peuplier faux-tremble	Adaptable		Distribution en classe de dimension des nœuds LC Bois sans défaut		Art Groot CCFB art.groot@gmail.com
OSM Modèle de peuplement ouvert	Chris Hennigar Forus Research	Empirique	Arbre	Non	Générique	Générique	Annuel	Défilement Forme de l'arbre Maladie	Non validé	Chris Hennigar www.forusresearch.com hennigar@forusresearch.com

DB : densité du bois; MOE : module d'élasticité; AM : angle des microfibrilles; LF : longueur des fibres; BJ : bois juvénile; BA : bois d'aubier; LC : largeur des cernes.

A6. Liste des systèmes d'aide à la décision

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
SYLVER	FTERN, C.-B.	Forêt Peuplement Arbre Bille	Essences de la C.-B.	Long terme Moyen terme	SYLVER a été conçu principalement pour aider à prendre des décisions concernant les peuplements de seconde venue, y compris les traitements sylvicoles, la simulation des produits et l'analyse des investissements. Les rendements obtenus servent à déterminer les possibilités de coupe à l'échelle de la forêt. TASS II (Mitchell, 1975) et l'instrument dérivé TIPSY (Mitchell et coll., 2004) sont des éléments de SYLVER (Mitchell et coll., 1989) mis au point en C.-B. par un groupe de travail sur le sapin de Douglas (Kellogg, 1989). Les éléments liés à SYLVER comprennent également un simulateur de tronçonnage (BUCK), un simulateur de scierie (SAWSIM), une routine de classement des sciages (GRADE) et un système d'analyse financière (FAN$IER). Avec SYLVER, il est possible d'établir des arbres, de modifier les peuplements (éclaircie, élagage, fertilisation) et d'estimer les effets sur la qualité et la quantité des billes ou des sciages. Les analyses financières et économiques ont déjà démontré les effets positifs de l'élagage et de l'éclaircie commerciale dans plusieurs forêts côtières de Douglas (Mitchell et coll., 1989 ; Stone, 1993). Les ajouts récents comprennent la prédiction de la distribution et de la taille des branches (Nemec et coll., 2012). SYLVER est également relié désormais à OPTITEK, un simulateur de scierie en trois dimensions qui reconnaît les nœuds et d'autres défauts internes des billes afin de produire du bois d'œuvre.	Gratuit	Jim Goudie Ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles (C.-B.) Jim.Goudie@gov.bc.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					Présentement, le ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique ainsi que plusieurs entreprises utilisent SYLVER pour évaluer de nombreuses décisions concernant l'aménagement forestier, y compris les prédictions sylvicoles évaluées en fonction du volume, des produits ou de l'aspect financier. Une nouvelle version de TASS (III) est en cours de développement et permettra la prédiction de peuplements complexes formés de plusieurs essences et classes d'âge.		
BIOLLEY	Jean-Martin Lussier CCFB	Peuplement	Peuplements de feuillus aménagés	Long terme	BIOLLEY est un modèle d'optimisation à l'échelle du peuplement, conçu pour aider les sylviculteurs et les aménagistes forestiers à choisir les arbres à couper, ou à maximiser les revenus de manière durable dans le contexte de coupe partielle dans un régime sylvicole inéquienne. L'accent est mis sur les aspects économiques à court et à long terme des coupes, de la régénération et des soins culturaux à l'échelle du peuplement. Le modèle a été conçu à l'origine pour l'application du système de sélection, et visait l'objectif de réaliser des revenus nets durables sur plusieurs cycles de coupe. On modélise la croissance, la survie des arbres et les changements sur le plan des classes de qualité et de risque à l'aide d'une matrice de transition étalonnée en fonction de placettes permanentes situées dans des peuplements aménagés au Québec et en Ontario. On modélise le recrutement à l'aide d'une version modifiée du modèle de recrutement Artemis-2009. On modélise les rendements en fonction du triage des billes et de la valeur sur les marchés au moyen des matrices de tronçonnage fournies par le ministère des Ressources naturelles du Québec	Gratuit	Jean-Martin Lussier Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts Centre canadien sur la fibre de bois jean-martin.lussier @canada.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					(MRNQ), et des tableaux de prix actuels disponibles sur Internet. On modélise les coûts de la récolte à l'aide des fonctions de coûts génériques mises au point par FPInnovations. La version actuelle est réservée à l'usage des chercheurs aux fins de création et de mise à l'essai de stratégies de traitement de rechange qui serviront de guide pour les aménagistes forestiers. Le modèle qui prend la forme d'un tableur peut être adapté à d'autres régimes inéquiennes, ou servir à intégrer des indicateurs et des objectifs écologiques, en conjonction avec la production de bois.		
MSVFL Modèle de simulation de la valeur de la fibre ligneuse	Chao Li CCFB	Peuplement	Générique	Court terme	Le MSVFL est un système d'information intégré qui relie les caractéristiques de l'arbre et du peuplement (inventaire) aux attributs internes des fibres, aux coûts de la chaîne d'approvi-sionnement et aux options de valeur basées sur le produit final.	Gratuit	Chao Li Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts Centre canadien sur la fibre de bois chao.li@canada.ca
CROPLANNER	Peter Newton CCFB	Classes de diamètre	Pin gris et épinette noire	Long terme	Modèle structurel de gestion de la densité de peuplements à l'intérieur de peuplements d'épinette noire en hautes terres. Les activités de modélisation en cours comprennent le développement de modèles de réponse aux effets de l'éclaircie et de la valeur génétique ajoutée, l'évaluation de la validité biologique du modèle sous-jacent, et le développement d'une variante du modèle structurel de gestion de la densité de peuplements pour le pin rouge. Les prochaines activités consisteront en la mise à l'essai empirique sur le plan de la précision des estimations de rendement, la conversion des codes, la documentation et le compte rendu de l'examen par les pairs. En attendant son acceptation par l'organisme de réglementation,	Gratuits pour les intervenants	Peter F. Newton Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts Centre canadien sur la fibre de bois Peter.Newton@ canada.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					c.-à-d., le ministère des Richesses naturelles et des Forêts (MRNF) de l'Ontario, en vue d'être utilisée dans le système de planification forestière du MRNF, la version de ce prototype de modèle empirique non validé devra être peaufinée et évaluée (avec les changements de modèles s'y rattachant, le cas échéant); il faudra également fournir une documentation complète (c.-à-d., une monographie) ainsi que les articles à l'appui qui auront été soumis à l'examen par les pairs, et la recherche de programmation, y compris le développement, la traduction et la mise à l'essai des codes machine. Les restrictions liées au modèle comprennent l'approche allométrique axée sur le rendement utilisée; les données d'étalonnage utilisant presque uniquement des types de peuplement d'origine naturelle et comptant un nombre limité de données provenant de peuplements matures dont la densité est régie ; le manque de paramètres d'évaluation et de documentation. La communauté des utilisateurs régie par le MRNF connaît bien cette technique de modélisation (diagrammes d'aménagement de la densité de peuplement) et il est prévu que le MRNF utilise éventuellement le SAD dans son système de planification de l'aménagement forestier, si les conditions préalables sont remplies.		
Optitek	FPInnovations	Tige Bille	Générique	Court terme	Les fabricants de bois d'œuvre canadien sont bien au fait de la souplesse, de la précision et de convivialité du programme de simulation Optitek de distribution des sciages. Disponible depuis 1994, il a profité d'améliorations constantes qui sont le reflet des idées novatrices des développeurs ainsi que des commentaires et des suggestions des utilisateurs. En 1997, le Conseil de la recherche forestière du Québec a décerné à Forintek (aujourd'hui FPInnovations) son Prix	Gratuit pour les membres de FPInnovations	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					Méritas pour le développement d'Optitek. Optitek a été adapté au fil des années et des progrès technologiques qui ont changé le sciage de bois d'œuvre; le programme a été doté des fonctions nécessaires pour reproduire les caractéristiques des nouvelles technologies, comme le sciage en courbe, la lecture des formes exactes et la détection des défauts internes (p. ex., les nœuds). Grâce à sa souplesse et à sa polyvalence, Optitek peut être utilisé pour plusieurs applications, notamment : – ajout de nouveaux produits; – modifications aux règles visant la flache et aux listes de prix dans les optimiseurs; – installation d'équipement optimisé; – stratégies différentes de sciage en travers (tronçonnage); – réduction de l'épaisseur cible ou de la largeur des traits de scie.		
ForestPlan	FPInnovations	Régional Forêt Peuplement	Générique	Moyen terme	ForestPlan est un modèle de programmation en numération mixte qui détermine les blocs de coupe à récolter; les produits à tirer de chaque bloc de coupe; les billes à acheter ; où attribuer les types de billes; les programmes de sciage à exécuter à chaque scierie ; le nombre de quarts de travail requis pour faire rouler chaque scierie; et les produits à vendre. Ce modèle tactique a été conçu à l'intention des planificateurs principaux au sein des sociétés forestières pour les aider à concevoir un plan global pour une période de 6 à 12 mois et pour évaluer les effets des changements dans l'ensemble de la chaîne de valeur. Dès que le plan optimal est conçu, les utilisateurs peuvent exécuter des scénarios prédictifs afin de déterminer l'effet d'ajouter ou de retirer des contraintes, par exemple, plus de capacité de	Commerciale, aux membres de FPInnovations	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					production, moins de demandes pour certains produits, un changement de prix sur les marchés, et la récolte d'un profil différent de bille. Les utilisateurs peuvent contraindre le modèle et l'axer sur les secteurs d'intérêt ou prendre en considération l'ensemble de la chaîne de valeur. ForestPlan modélise une période unique et il n'est donc pas possible d'exécuter des scénarios d'ordonnancement. Le modèle n'est offert présentement qu'aux entreprises membres de FPInnovations. Plusieurs sociétés canadiennes l'ont mis en œuvre.		
NCCruise	FPInnovations	Bloc de récolte Tige Bille	Générique	Court terme	Le modèle New Compilation and Cruising (NCCruise) est un outil qui aide les sociétés forestières à décrire et à maximiser la valeur des ressources forestières et, par conséquent, à accroître leur marge de manœuvre et leur sensibilité aux forces du marché. Le modèle peut prédire la valeur des blocs de récolte et des peuplements en fonction de diverses conditions du marché. La valeur du peuplement est donc mesurée en calculant la répartition du volume de bois par essence et par utilisation finale des billes. Afin de décrire avec précision la répartition du volume par le tri, les données sont personnalisées pour inclure les mêmes attributs utilisés dans les descriptions des triages. Le modèle est utilisé par plusieurs entreprises de la Colombie-Britannique avec l'aide de FPInnovations, et il fait présentement l'objet d'une adaptation pour une application éventuelle dans d'autres provinces.	Gratuit pour les membres de FPInnovations	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca
MillFlow	FPInnovations	Bille	Générique	Court terme	Les modèles MillFlow servent à imiter toutes les étapes importantes d'une installation de transformation ou de fabrication, sur le plan de la productivité, de la succession des opérations sur les matières, du débit de traitement, du passage à l'opération de sciage. Les modèles MillFlow	Commerciale	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					peuvent aider à mieux comprendre les limites d'un procédé, en déterminant le débit maximal de traitement, les goulots d'étranglement et les capacités sous-utilisées du procédé; il évalue même les changements après avoir corrigé les goulots d'étranglement. Les modèles MillFlow peuvent servir, entre autres, à analyser l'effet des changements dans l'approvisionnement de billes (ralentissement), les vitesses d'aménage, les capacités, etc., sur la productivité d'une installation de fabrication; l'effet des différents schémas de montage et de la configuration des machines sur la productivité des parcs de triage des billes. Ce sont également des outils précieux de communication, qui aident à voir les secteurs qui posent problème et à en informer les opéra-teurs. Les modèles MillFlow aident aussi à la prise de décisions, en contribuant à évaluer des idées, à exécuter des scénarios prédictifs et à évaluer si les investissements dans un nouvel équipement ou de nouvelles installations sont justifiés.		
MillPlan	FPInnovations	Quart de travail à la scierie	Générique	Court terme	La planification de la production pour les scieries, les séchoirs et les usines de rabotage est un exercice exigeant. Il y a le dossier des commandes courantes pour divers produits qui doivent être prêts à des dates données et la capacité limitée de l'usine à livrer, sans parler du processus de conversion d'une bille en produit fini qui prend du temps et exige de la planification. MillPlan a été conçu pour aider les planificateurs de la production à déterminer le calendrier optimal pour la scierie, les séchoirs et l'usine de rabotage afin de maximiser la rentabilité de ces trois installations, tout en les aidant à répondre aux demandes de production en fonction de leur inventaire et des contraintes liées à la capacité. MillPlan est un modèle qui utilise la	Commerciale	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					programmation linéaire mixte au moyen d'algorithmes permettant de trouver la meilleure solution possible parmi plusieurs options. Le modèle se sert de l'interface Excel de Microsoft et la programmation est écrite en langage général de programmation mathématique (GMPL).		
Maxtour	FPInnovations	Régional Forêt Peuplement Bille	Générique	Court terme	Itinéraires et voies de transport	Commerciale	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca
IGMap	FPInnovations	Forêt Peuplement	Générique	Court terme	IGMap est l'acronyme d'*Inventory and Geostatistical Mapping* (Inventaire et cartographie géostatistique). Le modèle IGMap est un outil conçu pour appliquer les résultats obtenus avec NCCruise à des zones plus vastes. Le modèle se sert des volumes des triages d'utilisation finale compilés par NCCruise à différents points et interpole les nouvelles valeurs pour des emplacements non échantillonnés au moyen de méthodes géostatistiques. Les résultats obtenus avec ce modèle peuvent être utilisés par les planificateurs forestiers pour isoler les peuplements possédant certaines caractéristiques de fibre. Le prototype a été mis à l'essai en divers emplacements et avec certains types de peuplements en Colombie-Britannique, et sa mise en œuvre est en cours au sein d'une grande société forestière.	Gratuit pour les membres de FPInnovations	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca
LogWorth	FPInnovations	Bille	Générique	Court terme	LogWorth a été conçu pour estimer la valeur de récupération potentielle affichée par différents programmes d'élagage et de coupe. L'utilisateur décrit une série de billes et la façon dont il prévoit les scier pour en faire des produits finaux. Il doit aussi entrer dans le programme les renseigne-ments sur les prix des produits, les coûts des billes livrées, les frais d'exploitation, les coûts fixes et le taux de production. Le programme se sert de ces	Commerciale	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					renseignements pour estimer la marge de profit, le facteur de rendement et le coût correspondant au seuil de rentabilité. Comme les conditions commerciales sont dynamiques, le modèle a été conçu pour être facilement mis à jour pour correspondre aux conditions actuelles. LogWorth n'est pas un optimiseur. Il ne permet pas de déterminer la meilleure façon de scier les billes afin de maximiser les profits ou pour faire avancer le dossier des commandes en cours. Il permet plutôt à l'utilisateur d'essayer différents schémas de sciages et d'obtenir des résultats sur le volume et la valeur de rendement prévus.		
FPAlloc	FPInnovations	Peuplement	Générique	Court terme	Optimisation de l'attribution du bois	Gratuit pour les membres de FPInnovations	Groupe de modélisation et d'optimisation de FPInnovations fpinnovations.ca
WOODMAN	Halco Software Systems Ltd.	Forêt Peuplements Arbre	Générique	Moyen terme Court terme	WOODMAN™ aide les entreprises à maximiser les profits en déterminant : • la valeur de peuplements particuliers, pour la vente de bois prêt à la coupe aux fins de soumissions; • l'effet de calendriers différents d'abattage (ou d'autres options d'approvisionnement en bois) sur les opérations des installations de fabrication; • l'attribution optimale de l'approvisionnement en bois à d'autres emplacements d'usines, ou l'attribution d'autres produits (sciages, placages ou copeaux); • le point d'arrêt optimal entre les grumes de sciage et le bois de trituration; • le calendrier optimal des opérations de sciages et des inventaires des parcs à grumes pour assurer la constance de l'approvisionnement et améliorer l'efficacité des opérations.	Commerciale	info@halcosoftware.com

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
Remsoft Planification opérationnelle et tactique	Remsoft Inc.	Régional Forêt Peuplement	Générique	Moyen terme	Le système de modélisation du bois (Woodstock Modeling System) sert un large éventail d'aspects de la planification forestière. La solution de planification stratégique du bois (Woodstock Strategic Planning Solution) comprend les produits commerciaux normalisés suivants : Woodstock, Allocation Optimizer, Spatial Optimizer, Remsoft Integrator, Publisher et 3rd party commercial LP/MIP solvers. La solution sert généralement à établir les coupes autorisées, à déterminer les régimes sylvicoles appropriés, à analyser la valeur actualisée des flux de trésorerie pour l'évaluation de terrains forestiers exploitables, à établir les calendriers de récolte, à évaluer les politiques, à modéliser le bilan du carbone, à évaluer les stratégies d'attribution des ressources, à optimiser la chaîne d'approvisionnement, etc. Bien que les objectifs puissent changer en fonction de ce large éventail de formules de modélisation, les questions de base auxquelles les modèles répondent sont toujours les mêmes : Quelles sont les zones forestières à aménager? Quel traitement employer? À quel moment procéder avec le traitement? Et où et de quelle façon le bois doit-il être livré en aval dans la chaîne d'approvisionnement? Pour compléter le système de modélisation du bois, la suite logicielle Remsoft Analytics a été conçue pour rendre disponibles les renseignements détaillés intégrés aux modèles de récolte et d'ordonnancement, au-delà des spécialistes de planification forestière qui conçoivent ces modèles. Le personnel sur le terrain, les ingénieurs, le personnel à la comptabilité et les gestionnaires ont un accès direct aux résultats produits par le modèle et les applications logicielles Remsoft Analytics	Commerciale	Marie-Ève Fillion marie@remsoft.com

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					permettent à ces utilisateurs de faire des recherches dans les résultats présentés sous forme de tableaux et de graphiques ; de consulter le calendrier des activités prévues; et parfois, s'ils y sont autorisés, ils peuvent apporter des changements au calendrier des activités et observer l'incidence de tels changements. Comme la planification forestière est un exercice itératif, la plateforme Remsoft Analytics facilite le processus de rétroaction et, en règle générale, permet d'améliorer et d'accélérer le processus de planification global.		
Woodstock	Remsoft Inc.	Régional Forêt Peuplement	Générique	Long terme	Le système de modélisation du bois (Woodstock Modeling System) sert un large éventail d'aspects de la planification forestière. La solution de planification stratégique du bois (Woodstock Strategic Planning Solution) comprend les produits commerciaux normalisés suivants : Woodstock, Allocation Optimizer, Spatial Optimizer, Remsoft Integrator, Publisher et 3rd party commercial LP/MIP solvers. La solution sert généralement à établir les coupes autorisées, à déterminer les régimes sylvicoles appropriés, à analyser la valeur actualisée des flux de trésorerie pour l'évaluation de terrains forestiers exploitables, à établir les calendriers de récolte, à évaluer les politiques, à modéliser le bilan du carbone, à évaluer les stratégies d'attribution des ressources, à optimiser la chaîne d'approvisionnement, etc. Bien que les objectifs puissent changer en fonction de ce large éventail de formules de modélisation, les questions de base auxquelles les modèles répondent sont toujours les mêmes : Quelles sont les zones forestières à aménager? Quel traitement employer? À quel moment procéder avec le traitement? Et où et de quelle façon le bois doit-il être livré en aval dans la chaîne	Commerciale	Marie-Ève Fillion marie@remsoft.com

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					d'approvisionnement? Pour compléter le système de modélisation du bois, la suite logicielle Remsoft Analytics a été conçue pour rendre disponibles les renseignements détaillés intégrés aux modèles de récolte et d'ordonnancement, au-delà des spécialistes de planification forestière qui conçoivent ces modèles. Le personnel sur le terrain, les ingénieurs, le personnel à la comptabilité et les gestionnaires ont un accès direct aux résultats produits par le modèle et les applications logicielles Remsoft Analytics permettent à ces utilisateurs de faire des recherches dans les résultats présentés sous forme de tableaux et de graphiques ; de consulter le calendrier des activités prévues ; et parfois, s'ils y sont autorisés, ils peuvent apporter des changements au calendrier des activités et observer l'incidence de tels changements. Comme la planification forestière est un exercice itératif, la plateforme Remsoft Analytics facilite le processus de rétroaction et, en règle générale, permet d'améliorer et d'accélérer le processus de planification global.		
Patchworks	Spatial Planning Systems	Régional Forêt Peuplement	Générique	Long terme	Patchworks est un modèle d'aménagement forestier durable spatialement explicite qui permet d'évaluer les résultats et les conséquences des politiques de gestion sur de longs horizons (plusieurs rotations), à l'échelle du peuplement à des fins de planification opérationnelle. Les fonctions élaborées comprennent : – le développement explicite de plans de récolte spatiaux sur de longs horizons; – la solution simultanée de plusieurs buts; – les cibles relatives aux placettes basées sur la précision souple des critères et des classes de dimensions;	Commerciale	Tom Moore info@spacial.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					– l'optimisation de l'attribution de plusieurs produits à plusieurs destinations, en tenant compte des économies en fonction des itinéraires et des voies de transport; – un degré élevé de transparence. Patchworks est utilisé par plusieurs gouvernements et organismes de l'industrie au Canada et aux États-Unis dans le but d'évaluer les options politiques et de concevoir des plans d'aménagement forestier rentables.		
FOREXPERT	Louis-Jean Lussier WSP Canada Inc.	Forêt Peuplement Arbre Bille	Générique	Long terme	Forexpert est un outil d'aide à la décision qui permet d'analyser divers scénarios sylvicoles à l'échelle du peuplement. Il comprend un module de croissance par tige et par essence basé sur l'accroissement du diamètre et ajusté en fonction de la densité. Un module de mortalité est également intégré. La simulation s'effectue sur 10 périodes de 5 ans ou moins. L'usager peut intervenir à chaque période pour simuler un prélèvement. Forexpert comprend un module d'analyse de rentabilité financière qui utilise une matrice de répartition par produits, une table de prix de produits et des coûts de récolte fixes ou variables au choix de l'usager. Le module calcule les coûts et les revenus et montre la valeur actualisée nette du scénario. Forexpert peut être calibré en fonction des caractéristiques du territoire d'étude.	Commerciale	jean.francois.boileau@wspgroup.com
SilviLab	FORAC Université Laval	Régional Forêt Peuplement	Générique	Long terme/ moyen terme/ court terme	SilviLab est un outil d'aide à la décision pour l'aménagement forestier. Cette application Web permet de visualiser (interface avec représentation des données géographiques), d'évaluer et de comparer les plans stratégiques de développement industriel des forêts. SilviLab	Université	forac.ulaval.ca

Nom	Auteur(s) Institut	Niveau de décision	Particularité	Échelle chronolo-gique	Description	Distribution	Personne-ressource
					produit un plan qui tient compte de la valeur économique du marché tout en respectant les contraintes établies liées au rendement et à la protection de l'environnement. Le modèle évalue l'effet des modèles de planification forestière sur le réseau industriel. Pour calculer la possibilité annuelle de coupe (PAC), SilviLab a recours aux données d'inventaire forestier, aux résultats des modèles de croissance et de rendement, aux effets prévus des traitements sylvicoles et à l'indice de qualité de la tige.		
LogiLab	FORAC Université Laval	Régional Forêt Peuplement	Générique		Outil générique de modélisation de la chaîne d'approvisionnement (interface affichant la localisation géographique des unités opérationnelles) avec planification des décisions tactiques relatives à la production et au transport. Le modèle permet l'optimisation d'un réseau logistique, de la forêt au client. LogiLab optimise les réseaux en essayant de maximiser les profits pour l'ensemble du réseau logistique, tout en diminuant les coûts associés au transport, à l'inventaire et à la production.	Université	forac.ulaval.ca

A7. Programme de l'atelier

« Planification stratégique en vue d'intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois aux systèmes d'aide à la décision »
10 mars 2015

HNP	HNE	Durée (min.)	Présentation	Présentateur	Description
8 h	11 h	10	**Objectifs de l'atelier** • Ce que nous souhaitons accomplir • Comment nous allons procéder • La vision : Le secteur forestier canadien a recours aux données sur la qualité du bois afin d'optimiser l'utilisation des ressources forestières. **Présentation des participants (activité brise-glace)** • Nom, organisation, une anecdote amusante qui vous est arrivée (10 secondes chaque)	Jim Stewart Solange, Morgan*	Présentation de la vision — un thème rassembleur pour l'atelier. Explication du processus qui consiste à recueillir les questions, les observations et les suggestions sur des feuillets autoadhésifs et à les afficher sur un MUR DES IDÉES à chaque centre. Ils contribueront à alimenter les discussions lors des séances de planification. Des photographies du Mur des idées du CFP seront envoyées régulièrement au CFL. Jean-Martin Lussier (JML) improvisera un arbre conceptuel qu'il affichera lors des pauses. JML fournit le schéma de base qui formera la structure de l'arbre conceptuel où afficher les feuillets autocollants.
			Contexte : Base existante		
8 h 10	11 h 10	15	**1. Recherche sur les modèles de prédiction de la qualité du bois** • Travaux déjà réalisés • FPInnovations • ForValueNet • CCFB (études en génétique, projet portant sur les relations entre la cime des arbres et les qualités de la fibre, etc.) • Recherches menées sur la qualité du bois à l'extérieur du pays (faits saillants)	Maurice, Isabelle, Jim	Principales conclusions tirées de l'examen documentaire et des résultats de l'enquête menée sur les modèles de prédiction de la qualité du bois au Canada. Le résumé des résultats d'enquête est reproduit dans le recueil. On demandera aux participants de fournir des commentaires ou de compléter l'information durant l'atelier.
8 h 25	11 h 25	15	**(suite) Développement de simulateurs de C et R et de SAD (portant sur la qualité du bois)** • Gouvernements (p. ex., SYLVER) • Universités (p. ex., ForValueNet) • Commercial (p. ex., RemSoft)	Maurice, Isabelle, Jim	Principales conclusions tirées de l'examen documentaire et des résultats de l'enquête menée sur les simulateurs de C et R et les SAD portant sur la qualité du bois au Canada. Le résumé des résultats d'enquête est reproduit

HNP	HNE	Durée (min.)	Présentation	Présentateur	Description
			• FPInnovations (p. ex., FPInterface, LOGWORTH) • Initiatives pertinentes réalisées à l'extérieur du pays (p. ex., CAPSIS)		dans le recueil. On demandera aux participants de fournir des commentaires ou de compléter l'information durant l'atelier.
			Initiatives en cours en matière de modélisation de la qualité du bois		Quel rapport peut-on établir avec les activités de R et D passées portant sur la qualité du bois? Quels sont les facteurs motivant ou facilitant ces travaux (financement, données, politiques)? Quels défis techniques ou obstacles ces travaux visent-ils à surmonter? Dans quelle mesure les besoins du secteur ont-ils servi à établir les objectifs?
8 h 40	11 h 40	20	**2. Tendances dégagées en matière de recherche — CCFB** • Programmes du CCFB à Terre-Neuve-et-Labrador, au Québec, en Ontario, en Alberta, en Colombie-Britannique	Joan, Cosmin, Isabelle, Jim, Art	Deux ou trois diapositives chaque.
9 h	12 h	20	**3. Tendances dégagées en matière de recherche — Université** • AWARE et d'autres initiatives des établissements universitaires	Alexis Achim, Alain Cloutier	(Joan, Jean-François, etc., peuvent aussi livrer leurs commentaires durant la période de questions.)
9 h 20	12 h 20	10	**4. Tendances dégagées en matière de recherche — Enjeux liés aux bases de données** • Jeux de données disponibles pour la modélisation • Base de données nationale sur la qualité du bois	Sébastien Clément	Problèmes de gestion et d'accès aux bases de données. Expérience de collaboration avec FPInnovations, le MFFPQ, l'Université Laval.
9 h 30	**12 h 30**	**30**	**PAUSE DÎNER au CFL** **PAUSE CAFÉ au CFP**	Repas préparé Affichage de l'arbre conceptuel de JML	Période de réflexion des participants sur les questions abordées durant les séances de planification. Les participants apposent leurs feuillets autocollants sur le Mur des idées.
			Problèmes courants lors du développement de systèmes d'aide à la décision Ces séances visent à échanger sur les expériences de modélisation et à débattre des principaux défis et obstacles liés à la modélisation relative à la qualité du bois et à la chaîne de valeur.		Quel est le degré actuel d'intégration des modèles de la QB aux SAD? Quelles sont les possibilités d'intégration de ces modèles aux SAD? Quels sont les problèmes techniques, les lacunes sur le plan des données, les difficultés conceptuelles?

HNP	HNE	Durée (min.)	Présentation	Présentateur	Description
					Quelles sont les orientations futures en matière de QB, et qu'est-ce qui les inspire?
10 h	13 h	20	**5. Présentation sur les tendances dégagées en matière de recherche — SYLVER** • Leçons tirées de l'intégration des modèles de prédiction de la QB — réussites et échecs.	Jim Goudie	
10 h 20	13 h 20	20	**6. Présentation sur les tendances dégagées en matière de recherche — Projet « Indice de qualité du bois » du Québec** • Situation actuelle et plans pour la QB	Guillaume Giroud	
10 h 40	13 h 40	20	**7. Présentation sur les tendances dégagées en matière de recherche – FPInnovations** • Développement des SAD et orientations futures (FPInterface, LOGWORTH, etc.)	Dave Lepage, Joel Mortyn	
11 h	14 h	20	**8. Présentation sur les tendances dégagées en matière de recherche – Un survol philosophique** • Les modèles de prédiction de la QB et leur intégration à l'aménagement forestier — réussites et échecs. • Principaux enjeux et défis concernant l'échelle temporelle, l'échelle spatiale, les lacunes tant sur le plan biologique qu'opérationnel, les sources de données d'entrée.	Art Groot	Questions dont il faut tenir compte si l'on veut intégrer les modèles de prédiction de la qualité du bois aux SAD ou aux plateformes de modélisation de C et R.
11 h 20	**14 h 20**	**30**	**PAUSE CAFÉ au CFL** **PAUSE DÎNER au CFP**	Repas préparé Affichage de l'arbre conceptuel de JML	Période de réflexion des participants sur les questions abordées durant les séances de planification. Les participants apposent leurs feuillets autocollants sur le Mur des idées.
			Planification stratégique — Intégrer les modèles de prédiction de la QB aux simulateurs de C et R ou aux SAD **La vision : Le secteur forestier canadien a recours aux données sur la qualité du bois afin d'optimiser l'utilisation des ressources forestières.**		Examen des enjeux qui façonneront nos travaux futurs.

HNP	HNE	Durée (min.)	Présentation	Présentateur	Description
11 h 50	14 h 50	10	**Examen des commentaires de l'arbre conceptuel**	Jean-Martin Lussier	
12 h	15 h	50	***Concrétiser la vision : Que devrions-nous faire et comment devrions-nous procéder*** *1. Que devrions-nous faire ou ne pas faire?* • *À quels AQB et essences devrions-nous nous intéresser?* • *À quels simulateurs de C et R et SAD devrions-nous nous intéresser?* • *Quelles sont les véritables possibilités?* • *Quels pièges devons-nous éviter?* *2. Quels sont les besoins actuels?* • *Que veut le secteur forestier?* • *À notre avis, qu'est-ce qui lui serait utile?* *3. Quels sont les plus grands obstacles ou défis?* • *Techniques/conceptuels : Comment pouvons-nous modifier les modèles de C et R et les SAD dans le but de faciliter l'intégration des AQB?* • *Administration/procédures, etc.* • *Ressources (humaines, financières, etc.)* *4. Qu'est-ce qui manque en vue de concrétiser la vision, quelles sont les lacunes?* • *Quelles sont les lacunes à corriger?* • *À quels aspects devons-nous prêter davantage attention?*	Tous	Quatre stations sont prévues dans chaque centre, une pour chaque question. Un ordinateur portable a été installé à chaque station, ainsi qu'un tableau de papier. Les participants de chaque centre sont répartis en quatre groupes. Chaque groupe s'installe à une station et prend 10 minutes pour répondre à la question et entrer ses réponses à l'ordinateur (dans un document Word) ou sur le tableau de papier si les ordinateurs ne sont pas disponibles. Après 10 minutes, les groupes passent à la prochaine station, examinent ce qui a été écrit, ajoutent des crochets pour signifier qu'ils sont d'accord ou des X en cas de désaccord, ou des points d'interrogation (besoin de précision), puis ils ajoutent d'autres points importants, le cas échéant. Après 7 minutes, ils passent à la prochaine station. Le processus se poursuit jusqu'à ce que chaque groupe ait passé toutes les stations. L'animateur ajuste la durée au besoin pour accélérer le déroulement du processus. Il faut prévoir quatre ordinateurs portables à chaque centre, dont au moins un est raccordé au réseau intranet. Des clés USB peuvent servir à copier les fichiers des ordinateurs hors connexion pour les transférer à l'ordinateur connecté.
12 h 50	**15 h 50**	**10**	***Pause***		À la fin, les animateurs transfèrent les fichiers vers l'autre centre.
13 h	16 h	20	***Concrétiser la vision : Que devrions-nous faire et comment devrions-nous procéder?*** Compilation des résultats.	Tous	On attribue l'une des quatre questions à chacun des groupes, deux groupes au CFL et deux, au CFP. Ils recueillent les commentaires et les classent selon les crochets et les X, prenant note des demandes de précisions.

HNP	HNE	Durée (min.)	Présentation	Présentateur	Description
13 h 20	16 h 20	40	***Concrétiser la vision : Que devrions-nous faire et comment devrions-nous procéder?*** Compte rendu des résultats.	Tous	De retour en groupe, un porte-parole de chaque groupe rend compte des résultats. C'est le moment de demander les précisions.
14 h	17 h	20	**Prochaines étapes** • Formation des groupes de travail et planification des prochaines réunions. Préparation des rapports et des commentaires/calendrier d'exécution.	Tous	Table ronde avec l'ensemble du groupe. Déterminer les principales activités. Préparer le calendrier d'exécution/plan d'action.
14 h 20	17 h 20	10	**Mot de la fin**		
14 h 30	17 h 30		**Clôture de l'atelier**		

*Animateurs : Solange Nadeau (Québec) et Morgan Cranny (Victoria)

HNP : Heure normale du Pacifique; HNE : heure normale de l'Est

A8. Résultats de l'atelier — quatre questions

Question 1 : Que devrions-nous faire ou ne pas faire?

Collaboration et partenariats

1. Intégrer les propriétés du bois à la certification d'aménagement forestier durable, c.-à-d., si vous aménagez un peuplement d'une telle façon (p. ex., élagage), il y aurait des implications concernant la qualité du bois.
2. + Plus de communication avec les organismes responsables des normes/codes, p. ex., relativement au bois d'ingénierie requis par le code du bâtiment (bois en stratifié croisé).
3. ++ Centrer les efforts sur quelques simulateurs de C et R sélectionnés. Éviter les « pierres fétiches ». Choisir les modèles en fonction de leur degré de maturité, de leur caractère générique et de leur rapport aux essences commerciales importantes.
4. ? ++Prendre garde aux circuits fermés — aux modèles ouverts.
5. Éviter les travaux en double. Favoriser le travail en équipe et la collaboration.
6. Élaborer une approche ou une vision commune concernant la stratégie d'échantillonnage des AQB, une méthode à adopter, etc. (pas sûr)
7. Ne pas recréer un logiciel ou un SAD existant. Préparer un catalogue ouvert des outils existants (notre propre Canadian Tire!).
8. Privilégier davantage les réseaux : l'interaction entre les différents instituts et décideurs.
9. Établir de solides relations de travail en collaboration avec les concepteurs de SAD et les chercheurs.
10. Les chercheurs doivent essayer de mieux comprendre les besoins du secteur forestier.
11. Faire participer les utilisateurs finaux dès le début des travaux de recherche. Les utilisateurs peuvent être d'autres chercheurs!
12. Ne pas présumer que les besoins du secteur forestier sont identiques à ceux des propriétaires de forêts.
13. Trouver une manière de développer un protocole, une plateforme pour l'interconnectivité entre les futurs outils/modèles (travailler avec les concepteurs de SAD).

Intérêts du secteur

14. + ? Besoin de répondre à un besoin réel ou imminent du secteur.
15. ?? Se concentrer sur les SAD déjà utilisés par plusieurs entreprises du secteur.
16. ++ Besoin de plus d'essais du peuplement à la scierie, afin d'évaluer notre compréhension de l'incidence des conditions du peuplement/des arbres sur les attributs réels de la QB et sur les propriétés et la valeur réelles des sciages. Certains essais ont été menés, mais ce n'est pas suffisant.
17. Nous devrions devancer les besoins du secteur, et essayer de répondre à davantage de ses besoins opérationnels actuels à court terme. (d'accord)

Gestion

18. Pièges à éviter — maintenir la diversité des fibres. Nous voulons éviter les solutions à court terme.
19. Éviter la perte d'expertise. Nécessité de conserver les connaissances et les compétences.
20. Élaborer une vision à long terme ; la vision peut ne pas être celle du secteur, mais plutôt des propriétaires des forêts (provinces) (pas sûr : vision de quoi?)
21. Difficile de gérer les chercheurs (désaccord)

22. Atteindre un bon équilibre entre répondre à des besoins précis à court terme et prendre des risques en vue de fournir des solutions innovantes pour affronter l'avenir.
23. +++ Les gestionnaires doivent être patients et ne pas avoir une vision à trop court terme. Les gestionnaires ne devraient pas avoir le besoin de faire constamment de nouvelles choses.

Incidence et valeur

24. ++ Déterminer les essences pour lesquelles les données sur la QB seront les plus utiles.
25. Il faut prêter davantage d'attention au bois à grande valeur sur lesquels les attributs ont une plus forte incidence (p. ex., thuya géant).
26. Mettre davantage l'accent sur la valeur plutôt que sur le volume et le rendement. Améliorer l'inventaire pour tenir compte de la valeur.
27. Améliorer notre capacité à attribuer une valeur en argent aux attributs ou aux propriétés du bois — pour chaque produit final (d'accord)

Outil/modèles/méthodes

28. Continuer à développer les outils d'inventaire pour favoriser le développement et la mise en œuvre des SAD.
29. Les SAD doivent comprendre une échelle chronologique, comme les modèles, afin de prédire les conditions futures des forêts et des ressources en fibres.
30. Évaluation rapide et non destructive des QB de l'arbre sur le terrain au moyen d'outils portatifs.
31. Utiliser les modèles jugés importants par les chercheurs pour répondre à des besoins particuliers, puisqu'un seul modèle ne peut convenir à tous les usages.

Réseau

32. Il NE faut PAS perdre de vue notre vision.
33. Maintenir le réseau en activité et le développer.

Question 2 : Quels sont les besoins actuels?

1. Programmeurs/concepteurs de SAD
2. Mieux modéliser la qualité et la valeur des feuillus : améliorer les modèles de tronçonnage, en incluant les prédictions relatives au bois de cœur.
3. Faire la démonstration de l'application des SAD avec modèles de prédiction de la QB – validation de principe, études de cas sur l'utilité de tels outils = OUI + OUI
4. Remplacer les modèles régionaux par des modèles plus « exportables », p. ex., en intégrant des prédicteurs climatiques. = OUI
5. Instrument modulaire prêt à l'emploi pour faciliter les échanges et s'inspirer des modèles existants et des connaissances acquises. = OUI
6. Ils veulent diminuer le coût associé aux opérations, et ils ont peu de temps à consacrer à chercher des moyens de maximiser la valeur (ce qui pourrait exiger des investissements). Le secteur a besoin d'outils pour le faire! (pas sûr)
7. Le secteur doit connaître les ressources forestières actuelles pour pouvoir adapter ses procédés et maximiser la valeur du bois, et développer de nouveaux produits et répondre ainsi aux besoins des marchés.
8. Efforts de recherche concertés dirigés par le secteur. (Pas sûr — les approches client et recherche sont toutes deux possibles — il faut parfois être à l'avant-garde et savoir répondre aux besoins actuels du secteur.)
9. Le gouvernement doit exercer son leadership avec l'aide de tous les partenaires. (Ça dépend du type de leadership — il peut et doit venir de sources diversifiées selon l'enjeu.)

10. Nécessité de créer un équilibre entre l'optimisation à court terme et à long terme (l'optimisation à court terme peut être synonyme d'écrémage!)
11. Nécessité d'une stratégie de développement de marché pour les produits de grande valeur — comment pouvons-nous tirer parti des attributs de grande valeur?
12. Argent
13. S'appliquer à changer l'image négative associée à la coupe de bois.
14. Développer de nouveaux marchés, dans le but de remplacer le marché des pâtes et papiers qui tend à disparaître.
15. Le secteur doit être davantage proactif et plus réceptif aux nouvelles technologies et aux innovations, et nous devons simplifier l'utilisation de ces nouvelles technologies.
16. Le secteur a besoin de tableaux d'inventaire.
17. SAD qui peuvent utiliser les données sur la QB pour aider à prendre les décisions concernant l'attribution et la transformation.
18. + ? Nécessité de comprendre les profils des nœuds et des gerces du pin tordu latifolié afin d'attribuer adéquatement les billes entre les scieries.
19. +Capacité à recueillir les données au moment de la récolte afin de trier efficacement les produits.
20. ++Comprendre véritablement les besoins du secteur quant aux attributs qui sont essentiels pour la valeur et le rendement. *Et quels sont les AQB utilisés par leurs concurrents pour favoriser la vente de gammes supérieures de leurs produits (AQB à valeur ajoutée par opposition à ceux qui n'ajoutent aucune valeur) — établir le rapport entre les attributs des fibres et la valeur du produit.*
21. +Quel est l'inventaire actuel des fibres? De quelle manière pouvons-nous continuer à utiliser des technologies comme LiDAR dans le but d'améliorer l'inventaire? *Niveau? de résolution, échelle, en règle générale, les inventaires de qualité supérieure sont plus en mesure d'intégrer efficacement les AQB.*
22. ++ Être en mesure d'appliquer nos connaissances sur les AQB à de nouveaux peuplements. *Nécessité d'appliquer les connaissances sur les AQB à la planification de nouvelles forêts, ainsi qu'aux forêts existantes où l'on procède à des récoltes présentement. Établir dès MAINTENANT des normes visant la régénération et des régimes de gestion des forêts.*
23. + Le bois de compression — est-il important? Les scieries s'en préoccupent-elles? *Spécialement si nous nous aventurons sur des pentes plus abruptes.*
24. Déterminer si les données sur les AQB entraîneront l'amélioration des types de papier et leur fabrication par les usines, ou non. (= valeur accrue, ou seulement coût accru pour mettre à l'essai les AQB sans augmentation de la valeur) — lié au n° 4 ci-dessus.
25. Commencer par une échelle appropriée — peuplement? arbre? intérieur de l'arbre? Pour maximiser le rendement en capital.
26. Changer l'optique qui consiste à minimiser les coûts en une qui vise à optimiser la valeur.

****

Choix des propriétés

1. + Le bois de compression — est-il important? Les scieries s'en préoccupent-elles? *Spécialement si nous nous aventurons sur des pentes plus abruptes.*
2. ++ Être en mesure d'appliquer nos connaissances sur les AQB à de nouveaux peuplements. *Nécessité d'appliquer les connaissances sur les AQB à la planification de nouvelles forêts, ainsi qu'aux forêts existantes où l'on procède à des récoltes présentement. Établir dès MAINTENANT des normes visant la régénération et des régimes de gestion des forêts.*

3. + ? Nécessité de comprendre les profils des nœuds et des gerces du pin tordu latifolié afin d'attribuer adéquatement les billes entre les scieries.

Amélioration des modèles

1. Commencer par une échelle appropriée — peuplement? arbre? intérieur de l'arbre? Pour maximiser le rendement en capital.
2. Mieux modéliser la qualité et la valeur des feuillus : améliorer les modèles de tronçonnage, en incluant les prédictions relatives au bois de cœur.
3. Faire la démonstration de l'application des SAD avec modèles de prédiction de la QB – validation de principe, études de cas sur l'utilité de tels outils = OUI + OUI
4. Nécessité de créer un équilibre entre l'optimisation à court terme et à long terme (l'optimisation à court terme peut être synonyme d'écrémage!)
5. SAD qui peuvent utiliser les données sur la QB pour aider à prendre les décisions concernant l'attribution et la transformation.

Besoins en matière de recherche du secteur forestier

1. Efforts de recherche concertés dirigés par le secteur. (Pas sûr — les approches client et recherche sont toutes deux possibles — il faut parfois être à l'avant-garde et savoir répondre aux besoins actuels du secteur.)
2. Le secteur a besoin de tableaux d'inventaire.
3. ++Comprendre véritablement les besoins du secteur quant aux attributs qui sont essentiels pour la valeur et le rendement. *Et quels sont les AQB utilisés par leurs concurrents pour favoriser la vente de gammes supérieures de leurs produits (AQB à valeur ajoutée par opposition à ceux qui n'ajoutent aucune valeur) — établir le rapport entre les attributs des fibres et la valeur du produit.*
4. Changer l'optique qui consiste à minimiser les coûts en une qui vise à optimiser la valeur.
5. Argent
6. Déterminer si les données sur les AQB entraîneront l'amélioration des types de papier et leur fabrication par les usines, ou non. (= valeur accrue, ou seulement coût accru pour mettre à l'essai les AQB sans augmentation de la valeur) — lié au n° 4 ci-dessus.
7. HYPOTHÈSES À VALIDER
    a. Ils veulent diminuer le coût associé aux opérations, et ils ont peu de temps à consacrer à chercher des moyens de maximiser la valeur (ce qui pourrait exiger des investissements). Le secteur a besoin d'outils pour le faire! (pas sûr)
    b. Le secteur doit connaître les ressources forestières actuelles pour pouvoir adapter ses procédés et maximiser la valeur du bois, et développer de nouveaux produits et répondre ainsi aux besoins des marchés.

Changements d'attitude/environnement

8. Développer de nouveaux marchés, dans le but de remplacer le marché des pâtes et papiers qui tend à disparaître.
9. Le secteur doit être davantage proactif et plus réceptif aux nouvelles technologies et aux innovations, et nous devons simplifier l'utilisation de ces nouvelles technologies.
10. Nécessité d'une stratégie de développement de marché pour les produits de grande valeur — comment pouvons-nous tirer parti des attributs de grande valeur?
11. S'appliquer à changer l'image négative associée à la coupe de bois.

Besoins techniques

1. Programmeurs/concepteurs de SAD
2. Remplacer les modèles régionaux par des modèles plus « exportables », p. ex., en intégrant des prédicteurs climatiques. = OUI
3. Instrument modulaire prêt à l'emploi pour faciliter les échanges et s'inspirer des modèles existants et des connaissances acquises. = OUI
4. +Capacité à recueillir les données au moment de la récolte afin de trier efficacement les produits.
5. +Quel est l'inventaire actuel des fibres ? De quelle manière pouvons-nous continuer à utiliser des technologies comme LiDAR dans le but d'améliorer l'inventaire? *Niveau? de résolution, échelle, en règle générale, les inventaires de qualité supérieure sont plus en mesure d'intégrer efficacement les AQB.*

Gouvernement

1. Le gouvernement doit exercer son leadership avec l'aide de tous les partenaires. (Ça dépend du type de leadership — il peut et doit venir de sources diversifiées selon l'enjeu.)
2. Argent

Question 3 : Quels sont les plus grands obstacles ou défis?

Industrie, facilité d'adoption, liens, collaboration, proposition de valeur

1. Faire comprendre au secteur (l'aider à comprendre) l'importance de la qualité du bois — Avons-nous une bonne proposition de valeur?
2. Besoin d'une plateforme de modélisation qui facilitera l'utilisation combinée de différents modèles à l'échelle de l'écosystème, du paysage et de la région; le logiciel doit être doté de fonctions permettant d'afficher les résultats dans des graphiques, des systèmes d'information géographique (SIG) et des systèmes d'images virtuelles. Cette application pourrait comprendre des fonctions de traitement analytique et numérique, p. ex., SYLVER, AMSIMOD (les deux modèles pourraient être fusionnés). Cette plateforme devrait être conçue à l'intention des chercheurs et des étudiants pour faciliter le développement ; les solutions commerciales conviviales, fiables devraient venir par la suite… Plutôt d'accord, mais une telle solution miracle pourrait être infaisable.
3. Rendre les modèles accessibles et faciles à utiliser pour l'ensemble du secteur forestier.
4. Favoriser un meilleur échange d'information sur la qualité du bois entre les partenaires du secteur forestier. Oui
5. Manque de personnel qualifié (IQP ??) dans les bureaux de nos clients.
6. Absence de politiques/objectifs clairs en matière de production du bois chez les propriétaires de terres forestières. (aucun appui) (Plus vrai pour la qualité du bois que pour la production — la plupart des propriétaires ont des plans de production à long terme.)
7. Élaborer une vision commune afin de mobiliser la communauté des chercheurs.
8. Manque de communication — plus de collaboration (+)
9. Depuis toujours, les industries forestières ont axé la production sur le volume. Il est difficile de venir à bout des attitudes et approches dominantes. ++
10. Comprendre les implications liées à une transition vers les peuplements de seconde venue et les répercussions en découlant sur la QB. +++
11. Comprendre les rapports entre les AQB et les classes des sciages rabotés. +++
12. Perte d'information au sujet des billes dès qu'elles sont livrées dans le parc de grumes de la scierie. Dès qu'elles entrent dans la cour de la scierie, nous n'avons plus d'information sur la

provenance des billes ni sur la gestion du peuplement d'origine. *Cet enjeu est lié aux scieries, au suivi des billes dans le cadre des études sur les scieries pour leur prouver qu'elles devraient faire le suivi des billes et les séparer tout au long de la chaîne de production. Ce suivi et cette séparation doivent en valoir la peine.*

13. Souvent, les besoins à court terme du secteur ne sont pas alignés sur les exigences à long terme du développement des modèles. *Récoltes actuelles par opposition aux récoltes futures; les modèles sont souvent utilisés pour éclairer les récoltes futures; rapport avec les modes de tenure forestière et la réforme de ces modes.*
14. Acceptation de la nouvelle science concernant les AQB par les décideurs politiques, leur disposition à écouter les scientifiques ; il faut créer le climat propice à l'acceptation de la science et des modèles, et reconnaître la nécessité de se pencher sur la QB.

Données, sujets de recherche, enjeux liés à la modélisation

15. Manque de données à long terme sur les changements liés aux attributs des arbres et des peuplements. [Il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre de meilleures techniques de reconstitution — les données sont disponibles à partir des placettes-échantillons permanentes (PEP), des carottes, des inventaires répétés.]
16. Besoin de plus de mesures de la QB dans les placettes permanentes!!!
17. Variabilité des essences — nous devons centrer les efforts sur les essences importantes sur le plan économique.
18. Besoin d'une plus grande uniformité dans l'acquisition des données et les normes d'agrégation (p. ex., PEP) afin d'appuyer les efforts de modélisation (p. ex., entre les provinces, les études de recherche).
19. La qualité du bois doit être ajustée au modèle de C et R et *vice versa* (+)
20. Les différentes échelles représentent un obstacle entre les modèles (?)
21. Manque d'inventaire suffisant. *Surtout pour les AQB. Il faudrait peut-être examiner les normes sur la densité relative.*
22. Difficile d'obtenir un instantané actuel d'un arbre, pour faire une analyse rétrospective du développement du peuplement ou de la QB. Nous ne disposons que d'un instantané des arbres immédiats, ce qui présente des limites.

Financement, échelles temporelles, gestion

23. Problèmes de financement à long terme.
24. Manque de patience de la part des gestionnaires ; ils ne reconnaissent pas l'importance de cette recherche et le temps qu'il faut y consacrer.

Question 4 : Qu'est-ce qui manque (lacunes) en vue de réaliser cette mission?

1. Il serait nécessaire de poursuivre les discussions au sujet des décisions qui ont besoin d'être éclairées.
2. Il nous manque des connaissances sur l'incidence des attributs des fibres sur les produits et les procédés forestiers.
3. Il nous manque des connaissances sur la manière dont l'amélioration de la qualité du bois entraînera une hausse de la valeur des produits.
4. Nous avons besoin d'une plateforme d'intégration (comme CAPSIS et AMSIMOD) pour relier les modèles de prédiction de la qualité du bois aux systèmes d'aide à la décision.
5. Nous avons besoin de modèles de prédiction de la croissance et de la qualité du bois à l'échelle de l'arbre individuel (par opposition au peuplement) pour prévoir le volume et la qualité.

6. Nous avons besoin de connaissances scientifiques pour comprendre les influences à tous les niveaux de la hiérarchie concernant de nombreux attributs des fibres (c.-à-d., que nous n'en savons pas toujours assez).
7. …
8. Une manière simple d'obtenir une grande quantité de données de qualité sur les fibres du bois.
9. Une meilleure interopérabilité des applications logicielles entre les plateformes (ordinateurs portables, ordinateurs de bureau, téléphones, autres appareils électroniques), et une façon plus simple de convertir les données d'un logiciel à un autre (logiciel de conversion des formats, ou uniformisation des formats entre les logiciels).
10. Améliorer la communication entre la science et le secteur, en utilisant une langue commune.
11. Mieux comprendre les besoins du secteur.
12. De meilleurs moyens pour transférer la technologie au secteur.
13. Disponibilité des données de pointe provenant des inventaires et de la télédétection pour toutes les unités de gestion forestière (la lenteur du cycle d'inventaire forestier [10 ans] est un obstacle).
14. Enrichir l'offre des modèles avec plus de modèles basés sur les processus.
15. Proposer des termes d'erreur dans nos prédictions et trouver des moyens de les intégrer pour mieux éclairer les décisions (en tenant compte des risques).
16. Développement/validation de principe de la gestion de la qualité du bois/triage lors des opérations de récolte.
17. Nous avons besoin d'un groupe pour assurer le leadership et travailler à l'échelle nationale, mais qui serait à l'écoute des besoins à l'échelle provinciale.
18. Communication entre les experts.
19. Il est très difficile d'exiger des développeurs de programmes qu'ils intègrent l'information sur la QB. Les gouvernements ou les universités n'ont pas la capacité d'engager du PHQ pour le faire et assurer la continuité dans le développement des SAD, etc.
20. Manque de modèles à l'échelle de la croissance et du rendement de l'arbre auxquels relier les modèles de prédiction de la QB.
21. + ? Il nous faut une définition commune de la qualité du bois. Le secteur a un point de vue différent de celui des chercheurs.
22. + ? Définition de bois juvénile et de bois mature.
23. ++ Les préoccupations du secteur sont centrées sur le bois mature récolté présentement. La prochaine génération de bois présentera des propriétés différentes, qui soulèveront leur part de préoccupations différentes.
24. + Nous devons être en mesure de convaincre le secteur et les gouvernements de l'importance du programme de recherche sur la QB, pour obtenir leur appui – important pour collaborer avec FPInnovations – ou peut-être serait-il préférable de nous concentrer sur les besoins des utilisateurs.
25. + Lacunes sur le plan de la formation à plusieurs égards : productivité du peuplement, qualité du bois et ses relations avec l'aménagement forestier. Formation du personnel dans le secteur forestier; programmes d'éducation permanente.
26. + Information sur les AQB qui entraîneraient un rendement maximum pour le secteur dans différentes chaînes de valeur. Il faudrait que cela soit relativement peu cher par rapport au bénéfice lié à l'amélioration des classes — cela pourrait être irréalisable à l'heure actuelle.
27. ++ Il faut se pencher sur les seuils de changement des classes de produits. Où se situent les plafonds/seuils pour différents AQB.
28. ? Lacunes : Secteur — approvisionnement actuel en bois; approvisionnement futur en bois — rapport plus étroit avec les provinces.

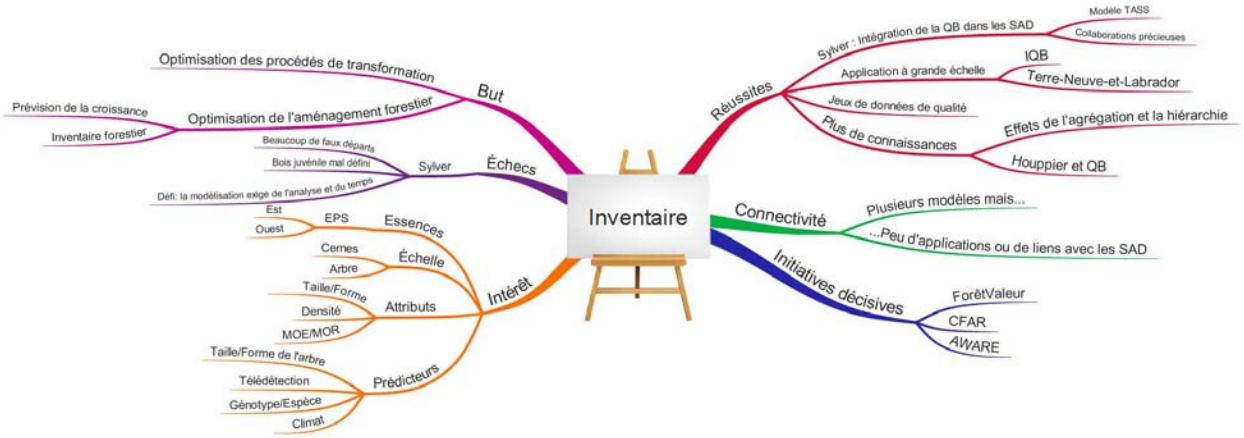
29. Inventaire de qualité des AQB par la province.
30. Améliorer l'information sur les dimensions des nœuds, la branchaison et leurs effets sur les classes des sciages.
31. Nous devons mieux comprendre les attributs qui présentent de la valeur aux yeux des utilisateurs. Seraient-ils prêts à payer davantage pour obtenir des sciages possédant des attributs particuliers?
32. Nous devons diversifier l'offre des essences pour nous assurer de prendre en considération les essences de grande valeur (p. ex., les feuillus, l'aulne rouge, le noyer noir) pour lesquelles les attributs ont le plus grand effet sur la valeur.

Thèmes
Décisions qui ont besoin d'être éclairées
Proposition de valeur des attributs (déterminer les seuils des classes)
Besoins en matière d'acquisition de données
    Normes visant l'acquisition
    Définitions
    Outils d'inventaire
    Acquisition de grandes quantités de données de qualité sur la QB
Développement de logiciels
    Connectivité/compatibilité/gestion des données
    Développement de SAD
Communication et coordination des efforts de recherche et de transfert de technologie
    Entre les organisations, les experts
    Relation avec le secteur
    Formation du personnel
Évaluation des risques
    Estimation des erreurs, incertitude et analyse de sensibilité des modèles
    Lors de la prise de décisions
Développement continu des modèles
    Modèles de C et R à l'échelle de l'arbre
    Influences à tous les niveaux de hiérarchie des attributs des fibres

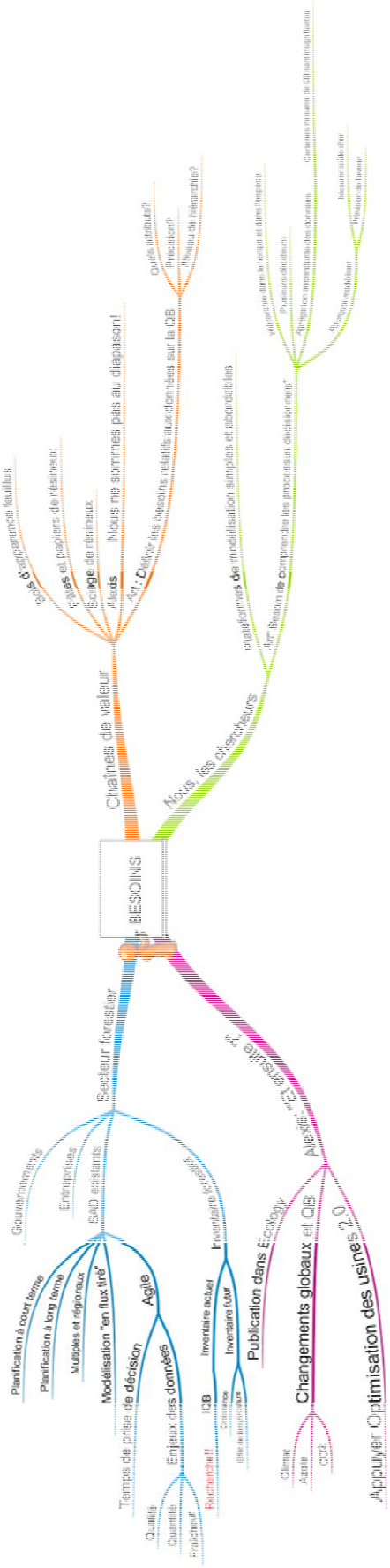
A9. Résultats de l'atelier — Arbres conceptuels

Ces arbres conceptuels ont été créés par Jean-Martin Lussier durant les présentations de l'atelier. Ils illustrent les principales idées présentées.

INVENTAIRE

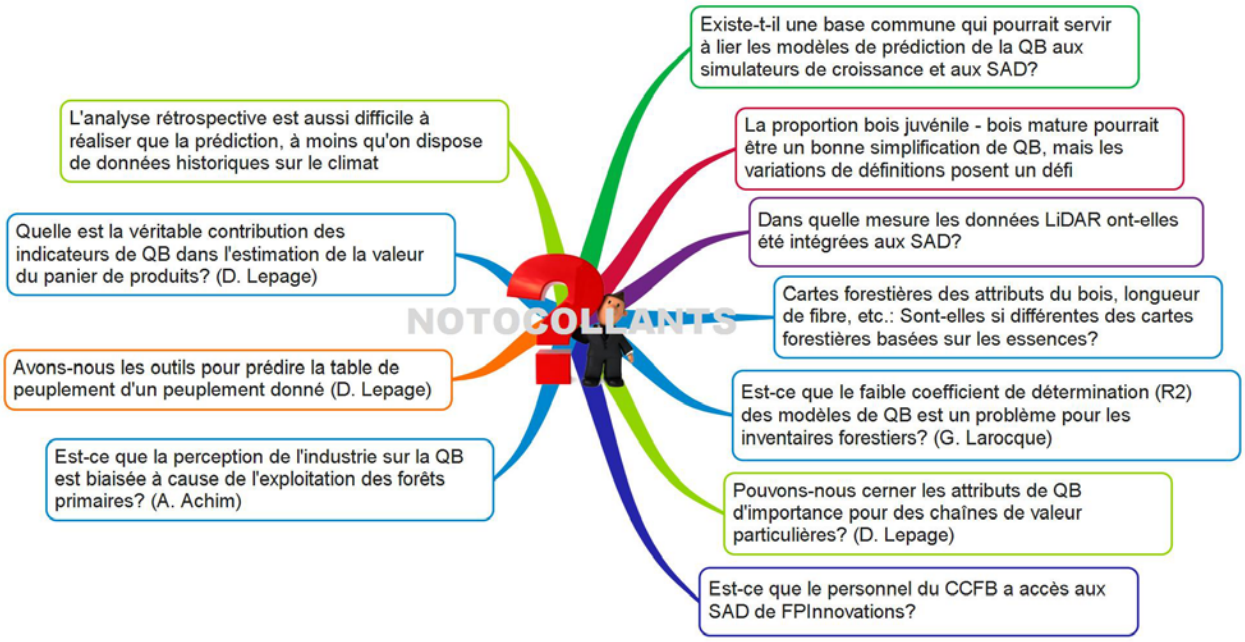


BESOINS


BESOINS
Chaînes de valeur
Nous ne sommes pas au diapason!
Nous, les chercheurs
Secteur forestier
Et ensuite ?
Gouvernements
Entreprises
SAD existants
Planification à court terme
Planification à long terme
Multiples et régionaux
Modélisation "en flux tiré"
Agile
Temps de prise de décision
Enjeux des données
Qualité
Quantité
Fraîcheur
Recherche!!!
ICB
Inventaire actuel
Inventaire futur
Publication dans Ecology
Changements globaux et QB
Climat
Azote
CO2
Appuyer Optimisation des usines 2.0

A10. Résultats de l'atelier – Notocollants adhésifs

Voici les préoccupations soulevées par certains participants à l'atelier.



Pour de plus amples renseignements sur le Service canadien des forêts, visitez notre site Web ou contactez l'un de nos établissements.

rncan.gc.ca/forets

Contactez-nous

1 **Centre de foresterie de l'Atlantique**
C.P. 4000
1350, rue Regent Sud
Fredericton (Nouveau-Brunswick) E3B 5P7
Tél. : 506-452-3500
Téléc. : 506-452-3525
rncan.gc.ca/forets/centres-recherche/cfa/13448

Centre de foresterie de l'Atlantique
Bureau de Corner Brook
C.P. 960
26, Promenade University
Corner Brook (Terre-Neuve-et-Labrador) A2H 6J3
Tél. : 709-637-4900
Téléc. : 709-637-4910

2 **Centre de foresterie des Laurentides**
C.P. 10380, succursale Sainte-Foy
1055, rue du P.E.P.S.
Québec (Québec) G1V 4C7
Tél. : 418-648-3335
Téléc. : 418-648-5849
rncan.gc.ca/forets/centres-recherche/cfl/13474

3 **Centre de foresterie des Grands Lacs**
1219 Queen Street East
Sault Ste. Marie (Ontario) P6A 2E5
Tél. : 705-949-9461
Téléc. : 705-541-5700
rncan.gc.ca/forets/centres-recherche/cfgl/13460

4 **Centre de foresterie du Nord**
5320-122nd Street NW
Edmonton (Alberta) Canada T6H 3S5
Tél. : 780-435-7210
Téléc. : 780-435-7359
rncan.gc.ca/forets/centres-recherche/cfn/13486

5 **Centre de foresterie du Pacifique**
506 West Burnside Road
Victoria (Colombie-Britannique) V8Z 1M5
Tél. : 250-363-0600
Téléc. : 250-363-0775
rncan.gc.ca/forets/centres-recherche/cfp/13490

6 **Administration centrale**
580, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
contact-contactez.nrcan-rncan.gc.ca
rncan.gc.ca/forets

Centre canadien sur la fibre de bois
580, rue Booth, 7e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Tél. : 343-292-8490
Téléc. : 613-947-9033
rncan.gc.ca/forets/centres-recherche/ccfb/13458

Pour commander des publications en ligne, visitez le site Web
« Publications du Service canadien des forêts » à l'adresse :

scf.rncan.gc.ca/publications