

Introduction

La Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a pour mission de produire, d'intégrer et de transférer des connaissances issues de la recherche scientifique relative à l'aménagement durable des forêts, afin d'éclairer les décideurs et d'améliorer la pratique forestière au Québec. Pour s'assurer que les recherches menées sont pertinentes et répondent à des besoins réels des utilisateurs, la DRF réalise une consultation annuelle afin d'identifier et de mettre à jour des besoins de recherche en aménagement durable des forêts. La publication des besoins de recherche constitue l'amorce du processus de sélection des projets de recherche réalisés à la DRF. Ces besoins de recherche peuvent aussi servir aux chercheurs externes à la DRF (universités, autres centres de recherche) qui désirent préparer leurs propositions de recherche à partir des besoins énoncés par le MFFP afin de les soumettre aux comités d'évaluation de différents organismes subventionnaires.

En 2018, le MFFP a réalisé une démarche particulièrement significative afin d'identifier les besoins de connaissances prioritaires des différents acteurs du secteur forestier.

Une vaste consultation a permis d'interpeller, en plus des employés du MFFP, ses principaux partenaires et clientèles, dont :

- des industriels et des entrepreneurs;
- des travailleurs de la forêt;
- des chercheurs;
- des étudiants et des professeurs;
- des représentants de la forêt privée;
- des représentants du monde municipal;
- des représentants du gouvernement fédéral;
- des organismes fauniques;
- des organismes environnementaux;
- deux organisations autochtones :
 - o Conseil Cris-Québec sur la foresterie;
 - o Institut de développement durable des premières nations du Québec et du Labrador;
- tous les ingénieurs forestiers du Québec (par l'intermédiaire de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec).

Au total, 298 personnes (dont 44,6 % qui ne sont pas employées par le MFFP), ont répondu à un questionnaire qui portait sur les besoins de connaissances selon quatre axes principaux :

- La dynamique naturelle des écosystèmes, l'aménagement écosystémique et la sylviculture.
- Les changements climatiques.
- L'intégration des enjeux sociaux et environnementaux dans la gestion forestière.
- Les aspects économiques de l'aménagement forestier en forêt publique et en forêt privée.

Dans un deuxième temps, des ateliers de travail se sont déroulés afin de mieux préciser les résultats de la consultation. Par la suite, les différents partenaires et clientèles du MFFP ont pu poursuivre les échanges et exprimer leurs besoins et leurs préoccupations lors de la journée Concertation Forêts 2018.

Finalement, l'ensemble des besoins exprimés tout au long de ce processus a été analysé en fonction de la version précédente de la liste des besoins de recherche forestière de la DRF présentée dans le document Besoins de recherche forestière 2017-2019.

Le résultat de cet exercice se trouve dans les pages suivantes. En tout, 47 besoins de recherche ont été reformulés ou ajoutés à la liste précédente afin de mieux répondre aux enjeux des différentes parties prenantes du secteur forestier. Tous les volets ont été bonifiés, notamment celui qui concerne les changements globaux. Les besoins pour lesquels il y a déjà un ou plusieurs projets de recherche en cours sont identifiés par un astérisque (*).

1. ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DE L'AMÉNAGEMENT DURABLE DES FORÊTS

Parmi les critères d'aménagement durable, deux concernent les aspects socio-économiques du secteur forestier. Ce sont : le maintien des avantages socio-économiques multiples que les forêts procurent à la société et la prise en compte, dans les choix de développement, des valeurs et des besoins exprimés par les populations concernées. C'est pour cette raison que la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier vise, entre autres : à soutenir la viabilité des collectivités forestières; à promouvoir une gestion axée sur la formulation d'objectifs clairs et cohérents, sur l'atteinte de résultats mesurables et sur la responsabilisation des gestionnaires et des utilisateurs du territoire forestier; ainsi qu'à partager les responsabilités découlant du régime entre l'État, les organismes régionaux, les communautés autochtones et d'autres utilisateurs du territoire forestier. Par conséquent, connaître les attentes de la population quant à la gestion du territoire forestier et les préoccupations des communautés autochtones est de première importance.

La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier reconnaît ainsi que la participation des personnes et des groupes intéressés à la planification de l'aménagement figure parmi les principaux enjeux de déploiement du régime forestier; elle propose un modèle de gestion intégrée des ressources qui favorise la prise en compte des dimensions sociales et économiques de l'aménagement forestier. L'aménagement écosystémique et la gestion par objectifs entraînent des changements dans les approches sylvicoles. Il importe d'en étudier les aspects opérationnels, la rentabilité et les effets sur divers aspects de la forêt.

Pour assurer la prospérité de ce secteur d'activité particulièrement important pour les régions ressources, la rentabilité économique des activités forestières devient un objet d'étude privilégié, tant à l'échelle des traitements sylvicoles des peuplements qu'à celle de la structure industrielle. Il convient de prendre en compte toute la chaîne de valeur de la production forestière, y compris les services écologiques et tous les autres qui ne sont pas liés à la production de matière ligneuse. De plus, le Québec fait face à une rareté de main-d'œuvre spécialisée en foresterie. Il importe d'intensifier les actions pour attirer et conserver les travailleurs, valoriser leurs emplois et développer les entreprises.

LES TRAVAUX DE LA DRF

Des travaux de recherche sont en cours sur la productivité et la charge physique des travailleurs forestiers et sur l'organisation optimale des entreprises œuvrant dans les opérations de reboisement. La comparaison de l'effet de diverses modalités de traitements sylvicoles sur la

qualité et la quantité des produits du bois récolté a été intégrée à plusieurs des projets de la DRF en sylviculture. Cependant, il reste du travail à faire pour quantifier la rentabilité globale de divers scénarios sylvicoles et les comparer entre eux.

BESOINS DE RECHERCHE

L'acceptabilité sociale

- 1.1 Définir les critères et les approches favorisant l'acceptabilité sociale des pratiques forestières, de façon générale et notamment, en ce qui concerne la foresterie clonale, les plantations et l'harmonisation des diverses utilisations du territoire en forêt publique.

Les besoins des usines et des marchés

- 1.2 Analyser les aspects économiques de la production conjointe de bois et de sirop d'érable selon différents scénarios sylvicoles afin de déterminer les conditions et les combinaisons optimales.
- 1.3 Intégrer les aspects de la rentabilité financière et économique dans l'évaluation de l'effet des traitements et des scénarios sylvicoles en prenant en considération les notions de valeur des produits et de coûts d'intervention, puis en incorporant ces évaluations dans les modèles de croissance.*
- 1.4 Analyser la qualité et la valeur des bois issus de plantations.
- 1.5 Développer des matrices de répartition régionales par produit.
- 1.6 Identifier de nouvelles avenues pour valoriser la ressource forestière en vue de nouveaux marchés d'exportation.

Les opérations et les coûts d'approvisionnement

- 1.7 Analyser la rentabilité économique et financière des opérations de récolte dans des situations présentant des contraintes opérationnelles (p. ex. : pentes fortes, récupération de chablis et de feux, ravageurs, etc.).
- 1.8 Développer des méthodes ou des outils permettant d'optimiser la planification du réseau de chemins multiusages et des traverses de cours d'eau (ponceau, traverse temporaire, à gué) qui prennent en compte les risques environnementaux, notamment ceux induits par les changements climatiques, ainsi que les coûts d'entretien à long terme, les coûts de fermeture ainsi que les besoins des différents utilisateurs.
- 1.9 Comparer l'efficacité et la rentabilité de différentes approches de gestion des combustibles et d'atténuation des risques de feux pour protéger les valeurs économiques, écologiques et sociales à l'échelle d'un territoire.

- 1.10 Développer des outils permettant une gestion des niveaux de récolte (anticipation sur la possibilité forestière) considérant les risques de pertes de volumes liés aux perturbations naturelles comme le feu et les épidémies de TBE.
- 1.11 Déterminer des méthodes de quantification de la valeur des biens et services environnementaux et sociaux ainsi que des attributs forestiers autres que ceux liés à la production de matière ligneuse afin de les intégrer aux analyses de rentabilité économique.

La création de valeur avec les autres ressources de la forêt

- 1.12 Identifier et quantifier les conséquences des choix d'aménagement (p. ex. : coupes partielles ou coupes totales) sur les autres produits et services de la forêt et préciser la nature des effets (perte ou gain réel ou déplacement de valeur), de façon à développer une approche permettant de tenir compte de ces constats à une échelle provinciale ou régionale.
- 1.13 Analyser la rentabilité économique et financière de réaliser des investissements liés à la mise en valeur des autres ressources et usages (p.ex. : villégiature, chasse, pêche, etc.), afin d'évaluer globalement tous les enjeux économiques sur un territoire et faire des choix d'aménagement en conséquence.
- 1.14 Déterminer quelles sont les caractéristiques de l'environnement forestier (p.ex. : présence de forêt mature, pourcentage de coupe récente dans le paysage, etc.) qui influencent la rentabilité économique liée à l'exploitation des autres ressources et usages (p. ex. : séjour de villégiature).

La main-d'œuvre et la mécanisation

- 1.15 Évaluer l'effet des programmes gouvernementaux et du changement de génération de travailleurs sur l'aménagement et le rendement de la forêt privée.
- 1.16 Étudier l'évolution des facteurs environnementaux, réglementaires et organisationnels (conditions de terrain, pratiques sylvicoles, devis d'intervention, organisation du travail et degré de mécanisation) en regard de la productivité (travailleurs, équipement), des coûts et des contraintes (charge de travail, ergonomie) qui y sont associés.*
- 1.17 Analyser et définir le lien entre la mécanique du calcul des taux et les salaires versés aux travailleurs.
- 1.18 Identifier les attentes, le profil et les besoins des travailleurs forestiers actuels et futurs.
- 1.19 Dans une optique de pénurie de main-d'œuvre, développer de nouveaux outils afin de mécaniser davantage le travail, que ce soit en forêt pour les travaux sylvicoles ou encore dans les pépinières et les vergers de production de plants et de semences forestiers.

2. CHANGEMENTS GLOBAUX

Le régime forestier découlant de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier compte sur l'acquisition de connaissances concernant les rôles et fonctions des écosystèmes afin de mieux répondre aux enjeux d'aménagement durable, d'accroître le rendement des forêts ou d'en favoriser les usages multiples. Ces connaissances sont des contributions essentielles à l'évolution du milieu forestier dans un contexte d'adaptation aux changements globaux.

L'aménagement écosystémique est au cœur du régime forestier. Sa mise en œuvre repose notamment sur la connaissance des caractéristiques de la forêt naturelle, particulièrement en ce qui a trait à l'influence des perturbations naturelles et à l'amplitude de la variabilité écologique des forêts à l'échelle du paysage. Cette connaissance permettra d'élaborer une planification susceptible de mieux maintenir les attributs clés de l'écosystème et la biodiversité, notamment par l'intermédiaire d'objectifs concrets relatifs à la structure d'âge des peuplements, à la composition forestière et à la répartition spatiale des coupes et des forêts laissées intactes.

Les changements climatiques et l'acidification des précipitations sont des sources de stress pour les forêts qui peuvent en modifier la composition, la structure, le fonctionnement et la productivité. Leurs effets dépendent du seuil de tolérance et de la capacité d'acclimatation et d'adaptation des écosystèmes forestiers. Le MFFP souscrit aux principes et valeurs associés au développement durable. Par conséquent, l'acquisition de connaissances à l'égard des effets des changements climatiques et des stress environnementaux d'origine anthropique sur les écosystèmes forestiers est requise afin de permettre la mise au point des stratégies d'adaptation ou d'intervention en milieu forestier.

LES TRAVAUX DE LA DRF

Des travaux visent à déterminer les effets des perturbations naturelles ou d'origine anthropique sur les écosystèmes forestiers québécois. Les principales perturbations étudiées sont les changements climatiques, les précipitations acides, les feux, les épidémies d'insectes et la récolte forestière.

Au cours des dernières années, les chercheurs ont bâti un important corps de connaissances au sujet de l'impact des précipitations acides sur les écosystèmes forestiers ainsi que sur les processus en cause. Ils ont aussi expérimenté des mesures d'atténuation comme le chaulage ou la fertilisation. Les connaissances acquises sur la dynamique de fertilité des sols forestiers permettent aux aménagistes d'intégrer cette dimension à leurs stratégies d'intervention, par exemple, pour le choix des stations plus propices à la récolte de la biomasse.

Par ailleurs, les travaux sur l'effet des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers permettent d'anticiper quels seront leurs impacts sur la fertilité des sols, la croissance et la mortalité des arbres, la productivité des peuplements ou sur la répartition spatiale des espèces. Ces connaissances permettront de développer des stratégies d'adaptation face aux changements climatiques.

Les chercheurs de la DRF travaillent aussi sur la connaissance de la variabilité de la composition et de la structure des écosystèmes forestiers naturels, introduite notamment par les régimes de perturbations naturelles (feux, épidémies d'insectes, chablis), les caractéristiques du milieu physique ainsi que les variations climatiques. Ces connaissances permettront de définir des états de référence de la forêt qui guideront la planification visant à maintenir la résilience des écosystèmes forestiers, particulièrement au regard du maintien de la diversité des communautés végétales et animales présentes dans nos forêts.

BESOINS DE RECHERCHE

L'effet des changements climatiques sur la santé, la productivité et la résilience des écosystèmes forestiers

- 2.1 Évaluer la vulnérabilité des principales essences en forêt naturelle et en plantation, notamment par l'étude de leur autécologie et la détermination de seuils, au cumul des modifications des conditions environnementales (climat, perturbations naturelles et anthropiques) anticipées dans un contexte de changements globaux, et développer des mesures d'adaptation.*
- 2.2 Évaluer, dans un cadre d'analyse de cycle de vie, quelles sont les stratégies d'aménagement forestier, les produits forestiers à favoriser, leur utilisation et leur disposition finale qui permettraient d'optimiser la contribution des forêts et du secteur forestier à la lutte contre les changements climatiques.*
- 2.3 Évaluer la fertilité actuelle et future des sols forestiers en étudiant les divers aspects qui la déterminent (altération du sol, dépôts atmosphériques, prélèvement de matière ligneuse ou de biomasse, cycle biogéochimique, cycle du carbone), en intégrant notamment les effets de la pollution atmosphérique ou des changements climatiques, et déterminer l'effet des conditions pédoclimatiques sur la productivité des principales essences forestières à potentiel commercial.
- 2.4 Identifier, pour les essences forestières, les stades ontogéniques (de la germination à la mort) vulnérables aux changements climatiques et les raisons de cette vulnérabilité.
- 2.5 Évaluer l'effet des changements climatiques sur divers aspects de la régénération soit la quantité et la qualité de la régénération, l'établissement et la germination des semences, la

survie des germinants et la déprédation. Ces préoccupations concernent particulièrement les enjeux de composition, d'intégrité des vergers à graines, d'accidents de régénération, de rendement et de possibilité forestière.*

- 2.6 Caractériser les effets des changements climatiques sur la croissance et la productivité (volume et qualité) des essences indigènes ou exotiques.
- 2.7 Caractériser l'effet des changements climatiques sur la biodiversité forestière afin de guider les stratégies d'aménagement forestier.
- 2.8 Déterminer des pratiques d'aménagement qui favorisent l'adaptation et les transitions écologiques en lien avec les changements climatiques et les conditions dans lesquelles elles devraient être mises en œuvre.
- 2.9 Construire des modèles de transfert optimal pour guider la migration assistée des essences commerciales de reboisement.*
- 2.10 Évaluer et modifier au besoin les cibles actuelles de l'aménagement écosystémique dans le contexte des changements climatiques.*
- 2.11 Analyser l'effet des changements climatiques sur la dynamique des populations, la distribution et l'impact des espèces exotiques envahissantes (EEE) déjà établies au Québec et celles qui sont déjà chez nos voisins provinciaux ou américains.
- 2.12 Optimiser les outils permettant d'intégrer aux étapes du calcul et de la détermination des possibilités forestières les conséquences prévisibles des variabilités climatiques et les risques qui y sont associés.*
- 2.13 Étudier l'avenir des espèces menacées, dont le caribou forestier, dans un contexte de changements climatiques.
- 2.14 Caractériser les meilleurs sites pour l'acériculture en lien avec les changements climatiques et l'envahissement par le hêtre.
- 2.15 Dans un contexte de changements climatiques, étudier les conséquences des changements dans l'abondance ou dans l'aire de répartition de certaines populations fauniques (herbivores) sur la régénération naturelle.
- 2.16 Analyser la résilience des aires protégées dans le contexte des changements climatiques en incluant la diversité génétique considérée comme un moyen d'adaptation.

L'effet des changements climatiques sur les perturbations naturelles

- 2.17 Étudier la dynamique des populations des ravageurs forestiers (insectes, pathogènes, espèces végétales ou animales envahissantes ou en expansion) et de leurs ennemis naturels dans un contexte de changements globaux, évaluer leurs effets potentiels sur les peuplements naturels et les plantations (composition forestière, régénération, croissance, mortalité, possibilité forestière, etc.) et déterminer les moyens de lutte appropriés.*

- 2.18 Concevoir, tester et mettre en application des techniques d'aménagement forestier pour favoriser des espèces mieux adaptées aux futurs régimes de perturbations.
- 2.19 Étudier les interactions et les rétroactions possibles entre les perturbations naturelles et anthropiques sous l'effet des changements climatiques ainsi que leur incidence sur la dynamique forestière.*
- 2.20 Améliorer la caractérisation des bois dégradés, des agents et des patrons de dégradation de ces bois, notamment en ce qui concerne la TBE.
- 2.21 Améliorer la capacité d'estimation de la probabilité d'occurrence d'événements météorologiques défavorables (p. ex. : inondations, gels hâtifs, gels tardifs, dégels hâtifs) ou extrêmes (p. ex. : verglas, chablis, sécheresse) et de leurs conséquences potentielles sur la dynamique forestière sous aménagement.
- 2.22 Valider et redéfinir, s'il y a lieu, les objectifs de protection des forêts contre les perturbations naturelles, les stratégies d'intervention et les capacités d'intervention en fonction des effets des changements climatiques.
- 2.23 Évaluer les effets des changements climatiques sur les régimes de feu (fréquence de brûlage d'un peuplement) et sur la caractérisation de la saison de feux (p. ex. : longueur de saison, amplitude, sévérité), ainsi que leurs conséquences sur les écosystèmes forestiers à différentes échelles spatiales.

La séquestration du carbone en forêt

- 2.24 Dans le contexte des changements climatiques, quantifier les effets des activités d'aménagement forestier (p. ex. : traitements sylvicoles, méthodes de récolte, gestion des résidus) sur le bilan de carbone dans les différents réservoirs de l'écosystème forestier (arbre et sol) afin d'optimiser la séquestration et le stockage du carbone par les pratiques sylvicoles et d'aménagement.*
- 2.25 Améliorer les outils actuels ou créer un outil qui permet de prendre en compte le cycle de vie des produits forestiers dans les décisions d'aménagement (p. ex. : planification, calcul de possibilité forestière).
- 2.26 Évaluer l'effet des pratiques d'aménagement sur le bilan énergétique planétaire (p. ex. : forçage radiatif, albédo, évapotranspiration, etc.).

3. AMÉLIORATION ET DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE, PRODUCTION DE SEMENCES ET DE PLANTS FORESTIERS

L'amélioration génétique et le maintien voire l'augmentation de la diversité génétique des arbres sont à la base du programme de reboisement du Québec. Les programmes d'amélioration génétique ont pour objectif la reproduction sélective d'arbres aux caractéristiques désirées chez les principales espèces commerciales. Les résultats se concrétisent par la production de semences et de plants améliorés pour le reboisement, ce qui contribue à augmenter significativement le rendement des plantations. Les connaissances acquises sur la structure génétique des populations permettent maintenant d'aborder de nouvelles problématiques reliées aux changements climatiques, notamment pour la conception de nouvelles stratégies de déploiement des variétés améliorées. À l'avenir, l'intégration de nouvelles connaissances en génomique permettra, entre autres, de raccourcir les étapes de la sélection, d'approfondir les connaissances sur la génétique des populations et d'évaluer la variabilité génétique liée à certains critères d'adaptation.

Les activités reliées à la production de semences, de boutures et de plants ainsi qu'au reboisement occupent une place importante dans l'économie des différentes régions du Québec. La production et la qualification des semences et des plants forestiers relèvent directement du MFFP. Le reboisement contribue à augmenter la production forestière, tant en qualité qu'en quantité, grâce à la mise en terre de plants de haute qualité, répondant à des critères de qualification morphologiques et physiologiques complets et intégrateurs, établis par le MFFP. Pour faciliter l'atteinte de ces critères, le MFFP contribue à développer et à adapter les pratiques de culture à l'échelle opérationnelle pour faire face aux événements climatiques extrêmes. La complexité des opérations, le respect des exigences environnementales, ainsi que les adaptations de nos essences commerciales aux changements climatiques requièrent l'amélioration continue des techniques, tant pour la production et le traitement des semences que pour la culture des plants (en récipients comme à racines nues). Il importe également de vérifier l'influence de certains critères de qualité des plants en pépinière sur leur performance ultérieure en plantations.

LES TRAVAUX DE LA DRF

Les équipes de la DRF réalisent des travaux de recherche en amélioration génétique pour les principales espèces résineuses utilisées dans le reboisement au Québec (épinette blanche, épinette noire et épinette de Norvège, pin gris), pour les essences à croissance rapide (mélèzes et peupliers hybrides) ainsi que pour le chêne rouge et le frêne d'Amérique, sans recourir aux techniques de modification génétique. Les recherches visent principalement à accroître le volume et la qualité des bois produits en plantation ainsi que la résistance des espèces aux stress biotiques et abiotiques, y compris les changements climatiques. En plus d'accroître les connaissances sur

la variabilité et l'hérédité des caractères recherchés, les travaux de la DRF permettent de déterminer des stratégies de gestion des vergers à graines, de délimitation des territoires d'utilisation des plants utilisés pour le reboisement (notamment dans un contexte de changements climatiques) et de conservation *ex-situ*, à long terme, du matériel biologique. Considérant qu'une grande diversité génétique favorisera l'adaptation des espèces forestières aux changements climatiques, les chercheurs de la DRF évaluent les carences en matière de conservation des ressources génétiques forestières, pour éventuellement guider l'élaboration de recommandations visant la conservation de ces ressources. Les chercheurs réalisent des travaux sur la capacité de régénération naturelle de l'épinette de Norvège et des mélèzes exotiques aux fins de la certification forestière.

Sur la base de ses résultats de recherche, l'équipe de la DRF en production de semences, de boutures et de plants fournit son expertise au Québec et répond aux besoins de recherche exprimés par ses différents partenaires et clients, notamment les treize pépinières privées regroupées sous l'Office des producteurs de plants forestiers du Québec et les six pépinières gouvernementales, les centres de semences, de bouturage et d'embryogenèse somatique de la direction générale de la production de semences et de plants forestiers (DGPSPF). Les travaux de recherche de la DRF à caractère opérationnel contribuent à accroître la productivité forestière, par l'amélioration des techniques de production de plants de haute qualité morphophysologique issus de semences génétiquement améliorées. Plusieurs axes de recherche complémentaires mettent l'accent sur : la gestion des vergers à graines conventionnels et sous abri pour les essences commerciales; l'amélioration de la qualité des semences et des boutures; l'optimisation des régies et des techniques de culture, combinées au développement d'outils informatiques pour la gestion de l'irrigation et de la fertilisation permettant une protection accrue de la qualité des eaux souterraines; la protection des cultures résineuses et feuillues contre le gel en tenant compte des extrêmes climatiques; l'intégration des techniques de l'embryogenèse somatique en pépinière forestière; et l'évaluation des critères de qualité des plants résineux produits en récipients en rapport avec leur performance en plantation de validation. Des travaux sont également en cours pour mieux comprendre les processus écophysologiques impliqués dans l'acclimatation et l'adaptation des arbres aux changements climatiques.

BESOINS DE RECHERCHE

Amélioration et diversité génétiques

- 3.1 Évaluer la variabilité et les paramètres génétiques des propriétés du bois et de la résistance aux insectes et maladies afin d'orienter les sélections dans les programmes d'amélioration du MFFP, et développer des outils indirects de sélection (marqueurs moléculaires, etc.).*

- 3.2 Étudier l'acclimatation et l'adaptation et les processus écophysologiques des principales sources génétiques des essences utilisées dans les programmes de reboisement au Québec, en rapport avec les changements climatiques et l'interaction de stress environnementaux multiples.*
- 3.3 Déterminer les besoins et les paramètres de la migration assistée (distances de transfert sécuritaire, mélanges de sources génétiques, etc.) respectueuse de la diversité génétique des espèces commerciales du Québec afin d'atteindre les objectifs associés au reboisement, notamment la production de bois, l'adaptation et la conservation des ressources génétiques.*
- 3.4 Caractériser la variabilité génétique des essences feuillues à des fins de reboisement, en particulier l'érable à sucre, le chêne rouge, le noyer noir, le cerisier tardif, le frêne, le bouleau à papier et le bouleau jaune tout en mettant l'accent sur la sélection de génotypes, de provenances et de familles résistantes aux maladies et aux insectes (cas de l'agrile du frêne).*
- 3.5 Documenter l'autoécologie des espèces exotiques utilisées pour le reboisement et évaluer leur capacité de régénération dans les plantations et dans les peuplements adjacents ayant subi ou non des perturbations de nature anthropique.*
- 3.6 Évaluer les populations améliorées actuelles de peuplier hybride pour la culture en taillis de courte rotation pour la production de biomasse. Mettre au point des scénarios de culture adaptés aux caractéristiques des variétés utilisées et des produits visés selon la mécanisation des opérations et la rentabilité économique.*
- 3.7 Évaluer l'introgression génétique chez les populations méridionales de l'épinette noire (présence de gènes de l'épinette rouge) dans la perspective d'augmenter la croissance et la productivité des plantations nordiques.

Embryogenèse somatique

- 3.8 Estimer les paramètres génétiques des principales phases de l'embryogenèse somatique, puis identifier les marqueurs moléculaires spécifiques à la survie des tissus embryogènes des clones somatiques après leur cryoconservation.

Production de semences et de plants forestiers

- 3.9 Caractériser les effets des changements climatiques sur la fréquence, la qualité des années semencières ainsi que sur la qualité des semences forestières (rendements, germination et valeur germinative). Valider le nombre de degrés-jours nécessaires à la maturité des cônes dans un contexte de changements climatiques. Déterminer si la localisation des vergers est toujours adéquate considérant un décalage potentiel des seuils des critères climatiques.

- 3.10 Évaluer l'utilisation de plants de pins hybrides (pin blanc x pin himalayen) résistants à la rouille vésiculeuse du pin blanc en considérant les aspects opérationnels, écologiques, sociaux et économiques.*
- 3.11 Évaluer les nouveautés disponibles dans le domaine des substrats de culture en faisant le lien avec la performance des plants et la gestion des cultures.
- 3.12 Prévenir et réduire la contamination des eaux souterraines par les fertilisants et celle de l'atmosphère par les émissions gazeuses azotées à effet de serre grâce à de nouvelles régies de culture et de nouveaux outils en pépinière (p. ex. : balances électroniques, logiciels, fertilisants enrobés à l'aide de polymères, etc.).
- 3.13 Déterminer les variations des seuils de tolérance au gel en pépinière et les paramètres d'entreposage en chambre froide des principales essences forestières dans un contexte de changements climatiques. Optimiser les techniques culturales et les itinéraires techniques de manière à améliorer la résistance des plants aux extrêmes climatiques (gel hivernal, gel hâtif et tardif, désendurcissement hivernal, gel racinaire, sécheresse, etc.) et à réduire les pertes de plants en pépinière et après la plantation.
- 3.14 Développer des moyens de lutte biologique et intégrée contre les insectes, maladies et mauvaises herbes affectant les plants et les arbres en pépinière, en verger à graines, en plantation et en forêt naturelle.*

4. AMÉNAGEMENT, SYLVICULTURE ET RENDEMENT DES FORÊTS

Les peuplements naturels résineux, feuillus et mixtes couvrent au Québec la majeure partie de la superficie forestière productive et constituent l'une des principales assises de l'économie de la province. L'aménagement forestier intègre des principes de plusieurs sciences à l'échelle du paysage, tandis que la sylviculture est le moyen privilégié pour les mettre en œuvre à l'échelle des peuplements. De plus en plus de traitements sylvicoles sont ou seront réalisés pour régénérer adéquatement les peuplements matures ou pour éduquer les jeunes peuplements. En raison de l'importance et du caractère renouvelable de cette ressource, il importe d'assurer sa pérennité dans un contexte de développement durable. L'atteinte de cet objectif repose sur des pratiques forestières fondées, à la fois, sur les plus récentes connaissances en matière de sylviculture, de dynamique naturelle, de capacité de support des milieux et de maintien tant de la biodiversité que du caractère naturel des peuplements. Ceci implique le développement de pratiques sylvicoles novatrices, respectueuses de l'environnement forestier et qui doivent considérer à la fois les aspects quantitatifs et qualitatifs de la production ligneuse et des autres ressources de la forêt. De plus, il importe d'évaluer l'effet de ces pratiques sylvicoles sur les caractéristiques des peuplements qui en définissent la naturalité.

Par ailleurs, la plantation est essentielle en raison des besoins grandissants de la société en matière ligneuse, de la nécessité de garantir la régénération des peuplements ayant subi une perturbation naturelle ou anthropique, et celle de conserver des massifs de forêts naturelles dans le cadre de l'aménagement écosystémique. Les plantations représentent donc un moyen important pour atteindre les objectifs de production forestière tout en diminuant, dans certains cas, la pression de récolte sur les forêts naturelles pour en favoriser la conservation. Enfin, il importe d'étudier les mécanismes de régénération et de compétition ainsi que la succession naturelle, afin de bien définir les conditions de succès des traitements sylvicoles et d'en modéliser les effets sur la croissance, de manière à prévoir le développement des peuplements, tant en volume qu'en biomasse.

LES TRAVAUX DE LA DRF

Les équipes de la DRF expérimentent une variété de travaux sylvicoles adaptés aux peuplements naturels, à différents stades de développement, et en déterminent les effets à long terme sur le rendement ligneux et sur la dynamique de succession. De nombreux dispositifs expérimentaux permettent l'étude des processus en cause dans la réaction des arbres et des peuplements aux différents traitements sylvicoles. Les coupes de jardinage, les coupes progressives régulières et irrégulières, les coupes avec réserve de semenciers, les éclaircies précommerciales et

commerciales et la remise en production de peuplements appauvris sont des exemples de traitements étudiés à long terme. En fonction des objectifs de l'aménagement forestier durable, des évaluations de l'état de naturalité des peuplements, de l'acclimatation et du développement de la régénération naturelle et artificielle sont intégrées aux dispositifs de recherche. Cet examen permet de comparer les conditions de peuplements ayant fait l'objet de traitements sylvicoles à celles de peuplements ayant évolué sans intervention, de façon à déterminer les pratiques compatibles avec un aménagement écosystémique.

Les équipes de la DRF travaillent aussi dans le domaine de la sylviculture et du rendement des plantations. Les enjeux couverts par leurs activités incluent le choix des microsites favorables à l'établissement des plants forestiers, la détermination des conditions d'établissement et d'entretien des plantations, l'élaboration des traitements sylvicoles ainsi que la connaissance des caractéristiques de croissance, de rendement et du cubage des tiges. Une attention particulière est aussi portée aux régimes de sylviculture intensive. Les thèmes abordés dans les recherches en cours incluent la plantation sur des stations problématiques (p. ex. : présence de forte compétition, d'éricacées, d'humus épais, de sols minces), les interactions entre les produits de pépinière et la sylviculture (p. ex. : l'élagage, les scénarios d'éclaircie), de même que l'intégration de la plantation à différents scénarios sylvicoles tels le regarni et la plantation sous couvert forestier.

D'importants travaux sont consacrés à la modélisation de la croissance et du rendement de la forêt ainsi qu'à la modélisation de l'effet de traitements sylvicoles. Ces travaux ont conduit notamment à l'élaboration de modèles de croissance par arbre et par peuplement entier, de modèles de plantation ainsi que d'un modèle de succession forestière. Ils se poursuivent par des améliorations en fonction des nouvelles informations forestières, des avancées en modélisation et des besoins des utilisateurs. La modélisation de l'effet des traitements sylvicoles à l'échelle de l'arbre et du peuplement est en cours, tout comme celles du défilement des tiges et de l'évolution de la qualité des bois après des interventions sylvicoles.

BESOINS DE RECHERCHE

Aménagement forestier

- 4.1. Développer les concepts et la méthodologie nécessaires pour évaluer la naturalité.*
- 4.2. Dans un contexte d'aménagement écosystémique et de changements globaux, développer une sylviculture qui concilie des enjeux de naturalité (y compris les aspects fauniques et de biodiversité) et de productivité des peuplements.*

- 4.3. Quantifier les interactions entre les traitements sylvicoles et les perturbations naturelles, notamment les insectes et maladies, en regard des rendements et de la composition forestière.*
- 4.4. Améliorer la connaissance sur la dynamique forestière après coupe, afin de définir le scénario de référence (coupe totale) et de pouvoir le comparer avec d'autres scénarios sylvicoles à l'échelle du groupe de strates.

Régénération

- 4.5. Développer des stratégies sylvicoles qui tiennent compte des interactions entre les herbivores et les traitements sylvicoles à l'égard de la régénération.*
- 4.6. Évaluer et quantifier, par région écologique, les retards de croissance des essences désirées causés par les éricacées.*
- 4.7. Étudier l'écophysiologie, l'acclimatation, le développement et la croissance de la régénération naturelle et des plantations en interaction avec les traitements sylvicoles (regarni, plantation, traitements d'éducation, procédés de régénération).*
- 4.8. Développer des techniques de remises en production des sols susceptibles à l'entourbement, la paludification ou l'envahissement par les éricacées et évaluer leur viabilité économique.
- 4.9. Définir les seuils de régénération requis en forêt feuillue et mixte pour une production soutenue de sciage et de déroulage.
- 4.10. Modéliser la régénération forestière en essences désirées en fonction de différents scénarios sylvicoles pour les principaux types de forêts sur différentes stations.

Plantation

- 4.11. Développer des modalités d'établissement, d'entretien, d'éducation et de récolte de plantations mixtes et mélangées, établir les courbes de rendement et mieux gérer les espèces secondaires afin de définir des stratégies de gestion de la diversité dans les plantations.
- 4.12. Étudier les plantations à espacement définitif dès la mise en terre (notamment pour différentes essences, qualités de stations, patron de dispersion).

- 4.13. Étudier les interactions entre les traitements sylvicoles et le niveau d'amélioration génétique des essences utilisées pour le reboisement afin d'en déterminer les rendements et de caractériser la qualité du bois qui en résulte.
- 4.14. Identifier les périodes limites de reboisement en fonction des essences mises en terre, de la diversité du gabarit des plants produits en pépinière (p. ex. : volumétrie du réceptif, hauteur), des régions et des caractéristiques biophysiques des stations.

Inventaire, modélisation et produits

- 4.15. À l'aide des nouvelles technologies (p. ex. : LiDAR, télédétection, drones), mettre au point ou améliorer les méthodes de détection, de mesure et de surveillance par télédétection des stocks ligneux, de la croissance, des attributs du couvert forestier et des perturbations, pour évaluer l'effet des conditions environnementales et des perturbations à l'échelle de l'arbre, du peuplement et du paysage afin d'améliorer les systèmes d'inventaire forestier.*
- 4.16. Développer ou améliorer la précision des modèles de croissance, notamment en ce qui concerne la régénération, les jeunes peuplements, l'effet des perturbations naturelles et la variabilité environnementale en début de succession ainsi que et l'effet des traitements sylvicoles à l'aide des nouvelles technologies (p. ex. : LiDAR, cartographie des feux anciens, etc.) pour mieux décrire l'évolution de la forêt et mieux simuler le recrutement, la croissance et la mortalité à la suite des interventions sylvicoles.*
- 4.17. Développer des scénarios sylvicoles, en fonction des exigences des essences, dans une perspective de production optimale de biomasse forestière pour la filière énergétique ou celle de la chimie du bois.
- 4.18. Intégrer aux modèles de croissance existants des fonctions de prévision de la répartition par produit dans un contexte d'intensification des scénarios sylvicoles en peuplements naturels et en plantation ou développer des modèles tactiques à l'échelle du peuplement.*
- 4.19. Développer des modèles de croissance basés sur les processus physiologiques et les facteurs environnementaux pour mieux répondre aux enjeux associés aux changements globaux à l'échelle de l'arbre et du peuplement.*
- 4.20. Dans le contexte de l'expansion du hêtre et du déclin de l'érable à sucre, évaluer et quantifier le potentiel de production pour l'érable, les changements de composition, les retards de croissance et les rendements en produits.

- 4.21. Élaborer des approches d'automatisation cartographiques à partir des nouvelles technologies pour améliorer la précision des variables cartographiques (composition des forêts de moins de 7 m, âge, structure, variables stationnelles, volumes des essences marginales dans les inventaires).
- 4.22. Définir un moyen pour mieux localiser et quantifier le recrutement de forêt à structure interne complexe.
- 4.23. Développer des modèles pour estimer le potentiel acéricole réel d'un peuplement (basés sur un portrait dendrométrique et un historique d'exploitation) et les comparer aux scénarios sylvicoles classiques.*
- 4.24. Développer des modèles bioclimatiques autant pour la phénologie des essences (conifères et feuillus) que pour les insectes et ravageurs qui s'y attaquent.

Ravageurs forestiers et feux

- 4.25. Mettre au point des outils de lutte biologique pour protéger le bois en forêt contre les agents de détérioration.
- 4.26. Développer des outils de détection et d'identification des maladies des arbres existantes et émergentes et acquérir des connaissances sur le cycle de vie et l'épidémiologie de champignons responsables des maladies qui ont un impact économique.
- 4.27. Élaborer une approche et des critères facilitant la prise de décision opérationnelle lorsqu'une priorisation de secteurs ou de peuplements est nécessaire pour la lutte contre les feux de forêt en situation de débordement.
- 4.28. Déterminer des outils pour optimiser la récupération des bois et limiter les dommages causés par les agents de détérioration de ces bois.
- 4.29. Déterminer les conséquences (environnementale, économique, etc.) des maladies (p.ex. : maladies des racines) dans les forêts québécoises.
- 4.30. Évaluer et comparer les retombées écologiques et économiques de différents scénarios de récupération des bois après une perturbation naturelle (p. ex. : épidémie d'insectes, feu, chablis).

Dynamique forestière et biodiversité

- 4.31. Déterminer les seuils critiques de modification des écosystèmes résultant de l'effet cumulatif des perturbations naturelles et d'origine anthropique, au-delà desquels la biodiversité est affectée (p. ex. : ceux qui concernent les attributs de vieilles forêts) et développer les connaissances et les outils qui permettent d'intégrer ces seuils à la planification forestière.*
- 4.32. Développer des méthodes permettant d'intégrer des variables environnementales et physiologiques dans la modélisation de la dynamique spatiale et temporelle des écosystèmes forestiers.
- 4.33. Quantifier la variabilité spatiale de la forêt naturelle (superficie, répartition spatiale) et sa dynamique forestière (cycle, régénération, composition, structure interne des peuplements, sévérité des perturbations), en intégrant l'effet des changements globaux, afin d'orienter les cibles d'aménagement écosystémique à l'échelle du peuplement et du paysage.
- 4.34. À l'aide d'un suivi à long terme, améliorer les connaissances de la dynamique forestière (croissance, mortalité) et des interactions avec les autres composantes de l'environnement (climat, sol, faune, etc.) dans le contexte des changements climatiques.*
- 4.35. Déterminer les causes et les facteurs influençant le dépérissement de certaines essences forestières (p. ex. : le cas de l'épinette blanche à la forêt Montmorency).*
- 4.36. Déterminer des indicateurs de suivi d'efficacité des mesures de protection de la biodiversité (y compris les espèces menacées et vulnérables) à différentes échelles spatiales (locale et du paysage).*
- 4.37. Évaluer l'effet des stratégies d'aménagement et des traitements sylvicoles commerciaux et non commerciaux, à différentes échelles spatiales (peuplement, forêt, paysage) et temporelles (stade de développement des peuplements), sur la biodiversité, les habitats fauniques, les espèces fauniques et floristiques sensibles à l'aménagement.*

Milieux humides et qualité d'eau

- 4.38. Déterminer les types d'interventions forestières ayant le moins d'impact sur la qualité et l'approvisionnement des eaux souterraines et, particulièrement, sur l'aquifère sous-jacent pour les zones de recharge préférentielles des aquifères régionaux.*
- 4.39. Développer des outils afin de mieux localiser et cartographier les étangs vernaux.