

Table des matières

Introduction.....	1
Consultation de 2018.....	1
Mise à jour des besoins en 2021	2
Refonte majeure en vue	3
Axe 1 : Aspects socio-économiques de l'aménagement durable des forêts.....	4
Les travaux de la DRF	4
Besoins de recherche.....	5
L'acceptabilité sociale	5
Les besoins des usines et des marchés	5
Les opérations et les coûts d'approvisionnement	6
La création de valeur avec les autres ressources de la forêt.....	7
La main-d'œuvre et la mécanisation	7
Axe 2 : Changements globaux	8
Les travaux de la DRF	8
Besoins de recherche.....	9
L'effet des changements climatiques sur la santé, la productivité et la résilience des écosystèmes forestiers.....	9
L'effet des changements climatiques sur les perturbations naturelles	11
La séquestration du carbone en forêt	12
Axe 3 : Amélioration et diversité génétiques, production de semences et de plants forestiers	13
Les travaux de la DRF	13
Besoins de recherche.....	14
Amélioration et diversité génétiques	14
Embryogenèse somatique.....	15
Production de semences et de plants forestiers	15
Axe 4 : Aménagement, sylviculture et rendement des forêts	16
Les travaux de la DRF	16
Besoins de recherche.....	17
Aménagement forestier et sylviculture	17
Régénération	18
Plantations.....	19
Inventaire, modélisation et produits du bois	19
Ravageurs forestiers et feux	21
Dynamique forestière et biodiversité	21
Milieux humides et qualité d'eau	21
Sélection des projets	22

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 qu'elles 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.

Consultation de 2018

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 le Conseil Cris-Québec sur la foresterie;
 - o l'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 résultats ont été présentés aux différents partenaires et clientèles du MFFP lors de l'événement 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 2018-2020*.

Mise à jour des besoins en 2021

Au cours de l'été 2021, les besoins de recherche forestière ont été mis à jour à la suite d'une consultation auprès de plusieurs partenaires et clientèles du MFFP ainsi que de ses employés. Le résultat de cet exercice se trouve dans les pages suivantes. En tout, par rapport aux *Besoins de recherche forestière 2018–2020*, 37 nouveaux besoins de recherche ont été ajoutés, 44 besoins ont été reformulés, 36 besoins ont été fusionnés avec d'autres ou reclassés, et 11 besoins ont été retirés.

Dans le présent document, la numérotation des besoins a été revue complètement pour tenir compte de ces modifications et ne correspond plus à celle du document précédent. Les nouveaux besoins de recherche ajoutés cette année sont identifiés par **(N)**. De plus, les besoins pour lesquels un ou plusieurs projets de recherche sont déjà en cours à la DRF¹ sont identifiés par un astérisque (*).

¹ Répertoire en ligne : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/enligne/forets/activites-recherche/projets/index.asp>

Refonte majeure en vue

Au cours des prochains mois, le Secteur des forêts du MFFP procèdera à une consultation plus vaste auprès de ses partenaires et clientèles afin de recueillir et de prioriser les besoins de connaissances relatives à l'aménagement durable des forêts et de concerter les actions en recherche. À l'instar de 2018, cette consultation se déroulera par voie électronique et sera suivie d'ateliers de travail.

AXE 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

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. L'analyse de la rentabilité économique des scénarios sylvicoles pour les principales

essences résineuses utilisées en plantation est également commencée. Il reste cependant 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. Déterminer les facteurs qui influencent l'acceptabilité sociale des pratiques forestières, notamment en ce qui concerne les plantations.

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, tant à l'échelle tactique qu'à l'échelle opérationnelle.
- 1.4. Analyser la qualité et la valeur des bois issus de plantations.
- 1.5. Développer des matrices régionales de répartition par produits.
- 1.6. Trouver de nouvelles avenues pour valoriser la ressource forestière en vue de nouveaux marchés d'exportation.
- 1.7. **(N)** Raffiner les modèles d'architecture des tiges, notamment la branchaison, en vue de mieux connaître l'utilisation potentielle réelle des bois.
- 1.8. **(N)** Caractériser les propriétés du bois des arbres améliorés génétiquement (ou hybrides) et travailler à définir leurs utilisations potentielles sur les marchés.
- 1.9. **(N)** Trouver de nouvelles utilisations pour les bois sans preneur sur les marchés et des options pour accroître la valorisation des bois pour lesquels il existe déjà des marchés.

Les opérations et les coûts d'approvisionnement

- 1.10. Analyser la rentabilité économique et financière des opérations de récolte dans des situations présentant des contraintes opérationnelles (pentes fortes, récupération de chablis et de feux, ravageurs, etc.).
- 1.11. Développer des méthodes ou des outils permettant d'optimiser la planification et la réfection du réseau de chemins multi-usages et des traverses de cours d'eau (ponceaux, traverses temporaires, 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.
- 1.12. 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.
- 1.13. **(N)** Analyser la rentabilité économique et financière des investissements forestiers (plantations) en évaluant l'influence des traitements et de l'âge de révolution.
- 1.14. **(N)** Évaluer les aspects de rentabilité financière et économique, ainsi que les différents enjeux en lien avec l'établissement de plantations d'espèces feuillues.
- 1.15. **(N)** Quantifier l'impact des densités élevées de cervidés sur la production et la valeur des peuplements forestiers, ainsi que sur les coûts de remise en production en cas d'échec de régénération.
- 1.16. **(N)** Développement de stratégies pour optimiser la logistique de transport du bois en forêt privée.
- 1.17. **(N)** Étudier les coûts et bénéfices des traitements sylvicoles usuels dans un contexte de forêt privée.

La création de valeur avec les autres ressources de la forêt

- 1.18. Déterminer des méthodes pour quantifier la valeur des biens et services environnementaux et sociaux ainsi que celle des attributs forestiers autres que ceux liés à la production de matière ligneuse, afin de les intégrer aux analyses de rentabilité économique afin qu'elles puissent contribuer au choix des traitements et des scénarios sylvicoles, notamment dans les territoires fauniques structurés.
- 1.19. **(N)** Définir des balises pour assurer une récolte durable des produits forestiers non ligneux (p. ex. thé du Labrador).

La main-d'œuvre et la mécanisation

- 1.20. Évaluer l'effet des programmes gouvernementaux et du changement de génération de travailleurs sur l'aménagement et le rendement des forêts privées et publiques.
- 1.21. Étudier l'évolution des facteurs environnementaux, réglementaires et organisationnels (conditions de terrain, pratiques sylvicoles, devis d'intervention, organisation du travail et degré de mécanisation) au regard de la productivité (travailleurs, équipement), des coûts et des contraintes (charge de travail, ergonomie) qui y sont associés. **(*)**
- 1.22. Analyser et définir le lien entre la mécanique du calcul des taux et les salaires versés aux travailleurs.
- 1.23. Déterminer les attentes, le profil et les besoins des travailleurs forestiers actuels et futurs.
- 1.24. Dans le contexte actuel de pénurie de main-d'œuvre, trouver des façons de mécaniser davantage le travail en forêt (travaux sylvicoles), dans les pépinières (production de plants) et les vergers à graines (production de semences).

AXE 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'intervention en milieu forestier, y compris des mesures d'adaptation et de mitigation.

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, dont la sécheresse, sur les écosystèmes forestiers permettent d'anticiper quels seront leurs impacts sur la fertilité des sols, la croissance et la mortalité de la régénération et des arbres, la productivité des peuplements ou sur la répartition spatiale des espèces. Ces connaissances permettront de développer des stratégies d'adaptation 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 et d'estimer les effets des changements climatiques sur la forêt, notamment quant à l'évolution de sa composition. Les chercheurs de la DRF expérimentent également des traitements sylvicoles comme mesure d'adaptation et de mitigation des effets des changements climatiques.

Besoins de recherche

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

- 2.1 Déterminer des seuils de tolérance et évaluer la vulnérabilité des principales essences au cumul des modifications des conditions environnementales (climat, perturbations naturelles et anthropiques) anticipées dans un contexte de changements globaux, en forêt et en plantation, puis développer des mesures d'adaptation. (*)
- 2.2 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. (*)
- 2.3 Caractériser les effets des changements climatiques sur la croissance, la productivité (volume et qualité) et la rentabilité financière et économique des essences indigènes ou exotiques aménagées en forêt et en plantation. (*)
- 2.4 Caractériser l'effet des changements climatiques sur la biodiversité forestière afin de guider les stratégies d'aménagement forestier. (*)

- 2.5 Déterminer des pratiques d'aménagement et des scénarios sylvicoles qui favorisent l'adaptation et les transitions écologiques en lien avec les changements climatiques et les conditions dans lesquelles ces pratiques devraient être mises en œuvre.
- 2.6 Évaluer les cibles actuelles de l'aménagement écosystémique dans le contexte des changements climatiques. (*)
- 2.7 Analyser l'effet des changements climatiques sur la dynamique des populations, la distribution et l'impact des espèces exotiques envahissantes déjà établies au Québec et celles qui sont déjà chez nos voisins provinciaux ou américains.
- 2.8 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. (*)
- 2.9 Étudier l'avenir des espèces menacées, y compris le caribou forestier, dans un contexte de changements climatiques.
- 2.10 Caractériser les meilleurs sites pour l'acériculture en lien avec les changements climatiques et l'envahissement par le hêtre.
- 2.11 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.
- 2.12 Développer des modèles bioclimatiques autant pour la phénologie des essences (conifères et feuillus) que pour les insectes et ravageurs qui les attaquent.
- 2.13 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. (*)
- 2.14 Déterminer les causes et les facteurs influençant le dépérissement et la mortalité de certaines essences forestières et en quantifier les répercussions à partir de données de télédétection. (*)
- 2.15 **(N)** Déterminer les territoires et les limites d'utilisation des espèces de reboisement en fonction des caractéristiques des sols et du climat.

- 2.16 **(N)** 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.
- 2.17 **(N)** Évaluer les effets des activités d'aménagement forestier sur la faune exploitée et expérimenter de nouvelles techniques qui permettent de répondre à leurs besoins biologiques.

L'effet des changements climatiques sur les perturbations naturelles

- 2.18 Étudier la dynamique des populations des ravageurs forestiers (insectes, pathogènes, espèces végétales ou animales [envahissantes ou en expansion]) et des ennemis naturels de ceux-ci 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. **(*)**
- 2.19 Concevoir, tester et mettre en application des scénarios sylvicoles et des stratégies d'aménagement pour favoriser des espèces mieux adaptées aux futurs régimes de perturbations.
- 2.20 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. **(*)**
- 2.21 Améliorer la caractérisation des bois dégradés ainsi que celle des agents et des patrons de dégradation de ces bois, notamment en ce qui concerne la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
- 2.22 Améliorer la capacité d'estimation de la probabilité d'occurrence d'événements météorologiques défavorables (inondations, gels hâtifs, gels tardifs, dégels hâtifs, etc.) ou extrêmes (verglas, chablis, sécheresse, etc.) et de leurs conséquences potentielles sur la dynamique forestière sous aménagement.
- 2.23 Évaluer les effets des changements climatiques sur les régimes de feu et sur les caractéristiques de la saison de feux (longueur de saison, amplitude, sévérité, etc.), ainsi que leurs conséquences sur les écosystèmes forestiers à différentes échelles spatiales. **(*)**

La séquestration du carbone en forêt

- 2.24 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. **(*)**
- 2.25 Évaluer l'effet des pratiques d'aménagement sur le bilan énergétique planétaire (forçage radiatif, albédo, évapotranspiration, etc.).
- 2.26 **(N)** Développer de nouvelles équations de biomasse forestière pour les arbres issus de plantations afin de mieux évaluer leur capacité de stockage en carbone.

AXE 3 : AMÉLIORATION ET DIVERSITÉ GÉNÉTIQUES, 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 la productivité et l'adaptation des plantations. Les connaissances acquises sur la structure génétique des populations permettent maintenant d'aborder de nouvelles problématiques liées aux changements climatiques, notamment pour concevoir 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 associées 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. L'atteinte de ces critères nécessite 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 génétique forestière 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, et ce, sans recourir aux techniques de modification génétique. Les recherches visent principalement à accroître le volume et la qualité des bois produits en plantations ainsi que la résistance des espèces aux stress biotiques et abiotiques, y compris ceux résultant des changements climatiques. Des projets visant à mesurer la phénologie et la performance d'une grande quantité d'arbres sélectionnés soumis à diverses conditions environnementales seront initiés en 2022. Ces travaux visent, entre autres, à guider la sélection des individus adaptés aux conditions climatiques futures. L'intégration

opérationnelle de la sélection génomique pour l'épinette blanche permet de réaliser des sélections sur plusieurs critères simultanément; de tels travaux ont commencé pour d'autres espèces. 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 délimiter les territoires d'utilisation des plants utilisés pour le reboisement (notamment dans un contexte de changements climatiques) et de conserver du matériel biologique *ex situ*, à long terme. Les chercheurs réalisent aussi des travaux sur la capacité de régénération naturelle de l'épinette de Norvège et des mélèzes exotiques.

Les travaux de recherche de la DRF en production de plants visent à améliorer les techniques culturales pour la production de plants de haute qualité.

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 ainsi que les processus écophysiologiques 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.) pour assurer que celle-ci respecte la diversité génétique des espèces commerciales du Québec, afin d'atteindre les objectifs associés au reboisement (production de bois, adaptation et conservation des ressources génétiques, etc.). **(*)**
- 3.4 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. **(*)**
- 3.5 **(N)** Développer des méthodes de caractérisation rapide de la diversité phénotypique des arbres, qu'ils soient en plantation ou en forêt. **(*)**

- 3.6 **(N)** Caractériser les diversités génétique et phénotypique des populations marginales (aux limites nordiques et méridionales de l'aire de répartition) des espèces forestières afin de mieux comprendre les impacts des changements démographiques dans ces populations et de mesurer leur capacité d'adaptation. **(*)**

Embryogenèse somatique

- 3.7 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

- 3.8 Caractériser les effets des changements climatiques sur les années semencières (fréquence, qualité) ainsi que sur la qualité des semences forestières (maturation des cônes, rendements, germination et valeur germinative). Déterminer si l'emplacement des vergers est toujours adéquat, considérant un décalage potentiel des seuils des critères climatiques. **(*)**
- 3.9 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.
- 3.10 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 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. **(*)**
- 3.11 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.
- 3.12 **(N)** Déterminer des paramètres et des indicateurs facilement mesurables, très rapides et à la portée des pépiniéristes pour estimer *in situ* la concentration foliaire en azote avec une bonne précision.

AXE 4 : AMÉNAGEMENT, SYLVICULTURE ET RENDEMENT DES FORÊTS

Les forêts résineuses, décidues et mixtes couvrent 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. Il importe d'assurer leur pérennité dans un contexte de développement durable en intégrant dorénavant les changements climatiques. 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 considèrent à la fois les aspects quantitatifs et qualitatifs de la production ligneuse et des autres ressources de la forêt.

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. Elles constituent également un moyen indispensable d'adaptation aux changements climatiques, car elles permettent l'utilisation des espèces et des génotypes les mieux adaptés aux conditions actuelles et futures.

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 dégradés 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.

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 (présence de forte compétition, d'éricacées, d'humus épais, de sols minces, etc.), les interactions entre les produits forestiers et la sylviculture (l'élagage, les scénarios d'éclaircie, etc.), de même que l'intégration de la plantation à différents scénarios sylvicoles tels le regarni et la plantation sous couvert forestier, notamment pour réhabiliter les peuplements dégradés.

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 et sylviculture

- 4.1 Développer une sylviculture qui concilie les divers défis posés par l'aménagement écosystémique (naturalité, productivité, etc.) dans un contexte de changements globaux. (*)
- 4.2 Quantifier les interactions entre les traitements sylvicoles et les perturbations naturelles, notamment les insectes et les maladies, au regard des rendements et de la composition forestière. (*)
- 4.3 Améliorer les connaissances sur la dynamique forestière après coupe afin de caractériser le scénario de référence (coupe totale) et le comparer avec d'autres scénarios sylvicoles à l'échelle du groupe de strates.

- 4.4 **(N)** Évaluer les potentiels et les contraintes liés au parc de machinerie forestière actuellement disponible au Québec pour les traitements sylvicoles commerciaux.
- 4.5 **(N)** Étudier les répercussions liées à la pratique de la motoneige hors-piste sur les aires forestières en régénération.
- 4.6 **(N)** Évaluer l'efficacité du regarni. **(*)**
- 4.7 **(N)** Déterminer les impacts des méthodes de récoltes mécanisées (abattage, débardage) en considérant particulièrement les caractéristiques des équipements utilisés et les conditions d'opérations (climat, sol) sur les sols (compaction, orniérage, érosion), les blessures aux arbres, la structure des peuplements (patron spatial), la régénération et la production forestière.
- 4.8 **(N)** Améliorer les connaissances des effets des traitements sylvicoles seuls ou en combinaisons sur la production des peuplements. **(*)**
- 4.9 **(N)** Documenter les effets des coupes progressives irrégulières sur la croissance et le recrutement en essences recherchées (bouleau jaune, érable à sucre, chêne rouge, pin blanc, épinette rouge et thuya).
- 4.10 **(N)** Améliorer la connaissance et la cartographie des indices de qualité de station afin de pouvoir cibler les peuplements aptes aux investissements sylvicoles.
- 4.11 **(N)** Évaluer les effets réels des travaux sylvicoles en forêt privée.

Régénération

- 4.12 Développer des stratégies sylvicoles à l'égard de la régénération qui tiennent compte des interactions entre les herbivores et les traitements sylvicoles. **(*)**
- 4.13 Évaluer et quantifier, par région écologique, les retards de croissance des essences désirées causés par les éricacées. **(*)**
- 4.14 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). **(*)**
- 4.15 Développer et évaluer la viabilité économique des techniques de remise en production des sols susceptibles à l'entourbement, à la paludification ou à l'envahissement par les éricacées.

- 4.16 Définir les seuils de régénération requis en forêt décidue et mixte pour assurer une production soutenue de sciage et de déroulage.
- 4.17 Modéliser la régénération des essences désirées en fonction de différents scénarios sylvicoles, pour les principaux types de forêts et sur différents types de stations.
- 4.18 **(N)** Développer des scénarios sylvicoles qui intègrent des modalités d'intervention pour le maintien de l'habitat des espèces socio-économiques en territoire faunique structuré.

Plantations

- 4.19 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.
- 4.20 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.
- 4.21 **(N)** Pour les plantations, définir le nombre minimal de plants/hectare et les scénarios sylvicoles appropriés pour assurer un rendement optimal, tant ligneux que financier.

Inventaire, modélisation et produits du bois

- 4.22 Développer des méthodes automatisées pour améliorer les systèmes d'inventaire forestier et les modèles de croissance à différentes échelles spatiales. **(*)**
- 4.23 Intégrer aux modèles de croissance existants des fonctions de prévision de la répartition par produits, dans un contexte d'intensification des scénarios sylvicoles en peuplements naturels et en plantations. **(*)**
- 4.24 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. **(*)**
- 4.25 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. **(*)**

- 4.26 Développer des méthodes automatisées pour mieux localiser et quantifier les forêts à structure interne complexe.
- 4.27 Développer des modèles pour estimer le potentiel acéricole réel d'un peuplement (sur la base d'un portrait dendrométrique et d'un historique d'exploitation) et pour comparer les scénarios d'acériculture aux scénarios sylvicoles classiques. (*)
- 4.28 **(N)** Élaborer, à partir des modèles de croissance, des courbes régionales de rendement considérant les effets et le moment de la réalisation des traitements sylvicoles prévus dans les scénarios sylvicoles. (*)
- 4.29 **(N)** Développer des modèles de croissance pouvant prendre en compte la répartition spatiale des arbres et les patrons de récolte sur la régénération et la production des forêts.
- 4.30 **(N)** Intégrer dans les modèles de croissance les connaissances des effets observés des traitements sylvicoles, seuls ou en combinaison, ou développer des modèles permettant de prendre ceux-ci directement en compte.
- 4.31 **(N)** Intégrer aux modèles de croissance existants des fonctions de prévision et de distribution de la biomasse dans l'optique de quantifier le rendement en carbone des forêts.
- 4.32 **(N)** Modéliser et intégrer aux modèles de croissance les probabilités de mortalité associées aux principaux ravageurs (insectes et maladies) des forêts du Québec.
- 4.33 **(N)** Bonifier le modèle de croissance Artémis pour faire évoluer les classes de priorité de récolte (MSCR-OP) dans les simulations.
- 4.34 **(N)** Développer des approches automatisées pour la cartographie des attributs couverts forestiers (essences, état de santé, densité, etc.) et les superficies improductives.
- 4.35 **(N)** Développer des approches de modélisation de la croissance pour les principales essences forestières à potentiel commercial qui intègrent la dynamique spatiale et temporelle du climat et qui sont robustes à la non-stationnarité du climat.
- 4.36 **(N)** Déterminer les écarts entre le volume des branches marchandes estimé par les tarifs de cubage de celui récolté opérationnellement pour les essences feuillues.

Ravageurs forestiers et feux

- 4.37 Mettre au point des outils de lutte biologique pour protéger le bois en forêt contre les agents de détérioration.
- 4.38 Déterminer des outils pour optimiser la récupération des bois et limiter les dommages causés par les agents de détérioration de ces bois.
- 4.39 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 des agents pathogènes responsables des maladies qui ont un impact économique; déterminer les répercussions de ces maladies dans les forêts québécoises.
- 4.40 Évaluer et comparer les retombées écologiques et économiques de différents scénarios de récupération des bois après une perturbation naturelle (épidémie d'insectes, feu, chablis, etc.).
- 4.41 **(N)** Établir des stratégies adaptées au contexte de la forêt privée pour la prévention et la lutte contre ravageurs forestiers et des espèces exotiques envahissantes.

Dynamique forestière et biodiversité

- 4.42 Développer des méthodes permettant d'intégrer des variables environnementales et physiologiques dans la modélisation de la dynamique spatiale et temporelle des écosystèmes forestiers.
- 4.43 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). **(*)**
- 4.44 Évaluer l'effet des stratégies d'aménagement et des perturbations naturelles et d'origine anthropique, 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

- 4.45 Développer une approche automatisée afin de mieux localiser et cartographier les milieux humides (y compris les étangs vernaux) et les zones de contraintes à la productivité.
- 4.46 **(N)** Étudier la dynamique forestière dans les milieux humides boisés sous aménagement.

SELECTION DES PROJETS

Des appels à projets et des initiatives de financement permettront de concrétiser la recherche relative aux besoins énoncés. Ce sont autant d'initiatives qui répondront aux demandes en recherche forestière, mises à jour périodiquement en fonction des besoins du Ministère et des praticiens. Le recours à des appels à projets permettra de bénéficier d'une expertise élargie et répartie dans toutes les régions du Québec puisque l'ensemble des universités et des centres collégiaux de transfert de technologies (CCTT) seront invités à proposer des projets. Conformément au processus en place pour chaque source de financement, les projets soumis seront sélectionnés à la suite d'une analyse de la pertinence et d'une analyse scientifique.