

# Rapport du Canada en vue du Deuxième rapport sur l'état des ressources génétiques forestières du monde:

SOU MIS À LA COMMISSION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES POUR L'ALIMENTATION ET  
L'AGRICULTURE DE L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



Août 2022



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

# Rapport du Canada en vue du Deuxième rapport sur l'état des ressources génétiques forestières du monde:

SOU MIS À LA COMMISSION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES POUR L'ALIMENTATION ET  
L'AGRICULTURE DE L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

**Août 2022**



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2022  
N° de cat. : Fo4-192/2022F-PDF  
ISBN : 978-0-660-45273-9

Ressources naturelles Canada  
Service canadien des forêts  
580, rue Booth  
Ottawa (Ontario) K1A0E4

Une version électronique de ce rapport est disponible à partir du site des Publications du Service canadien des forêts : <http://cfs.nrcan.gc.ca/publications>.

This publication is available in English under the title: *Canada's Country Report for The Second Report on the State of the World's Forest Genetic Resources: submitted to the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture of the Food and Agriculture Organization of the United Nations.*

ATS : 613-996-4397 (Appareil de télécommunication pour sourds)

Le contenu de cette publication peut être reproduit en tout ou en partie, et par quel que moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada, et que la reproduction n'a pas été faite en association avec Ressources naturelles Canada ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de Ressources naturelles Canada. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à [copyright-droitdauteur@nrcan-nrcan.gc.ca](mailto:copyright-droitdauteur@nrcan-nrcan.gc.ca).

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| <i>Avant-propos</i> .....   | 9  |
| <i>Remerciements</i> .....  | 10 |
| <i>Liste des abréviations et des acronymes</i> .....  | 12 |
| <i>Résumé</i> .....   | 14 |
| <b>Chapitre 1. Valeur et importance des ressources génétiques forestières</b> .....   | 18 |
| Introduction .....  | 18 |
| À propos de ce rapport .....  | 19 |
| 1.1. Rôle du secteur forestier dans l'économie nationale .....  | 20 |
| 1.2. Principaux rôles des forêts au Canada (fourniture de produits ligneux et non ligneux, fourniture de services écosystémiques) ..... | 24 |
| 1.3. Valeurs économiques, environnementales, sociales et culturelles particulières des ressources génétiques forestières.....           | 24 |
| 1.4. Contributions des ressources génétiques forestières au développement durable.....  | 28 |
| 1.5. Priorités au renforcement des contributions des RGF au développement durable .....   | 29 |
| 1.6. Perception des différentes parties prenantes quant à l'importance des ressources génétiques forestières .....                      | 30 |
| 1.7. Obstacles à une meilleure sensibilisation à la valeur des ressources génétiques forestières.....                                   | 30 |
| Ouvrages cités .....  | 31 |
| <b>Chapitre 2. État de la diversité dans les forêts</b> .....   | 32 |
| 2.1 État des forêts au Canada.....  | 32 |
| 2.2. Tendances touchant les forêts et leur gestion .....  | 38 |
| 2.3. Moteurs du changement dans le secteur forestier et leurs conséquences pour les ressources génétiques forestières.....              | 39 |
| 2.4. Défis et possibilités de conservation, développement et utilisation des ressources génétiques forestières.....                     | 41 |
| Ouvrages cités .....  | 42 |
| <b>Chapitre 3. État de la diversité dans les autres terres boisées</b> .....  | 44 |
| 3.1. État des autres terres boisées et des autres terres dotées de couvert arboré .....   | 44 |
| 3.2. Tendances affectant les autres terres boisées et les autres terres dotées de couvert arboré, et leur gestion .....                 | 48 |
| 3.3. Facteurs de changement dans les autres terres boisées du pays et conséquences sur les ressources génétiques forestières.....       | 49 |

|  |            |
|--|------------|
| 3.4. Défis et possibilités que créent ces tendances et facteurs relatifs à la conservation, à l'utilisation et au développement des ressources génétiques forestières..... | 51         |
| Ouvrages cités .....   | 52         |
| <b>Chapitre 4. État de la diversité entre les arbres et les autres espèces de plantes ligneuses.....</b>   | <b>55</b>  |
| 4.1. Espèces d'arbres et autres plantes ligneuses considérées comme des ressources génétiques.....   | 57         |
| 4.2. Proportion d'espèces indigènes (y compris les espèces naturalisées) et introduites .....  | 58         |
| 4.3. Espèces considérées comme menacées .....  | 61         |
| 4.4. Évolution du nombre d'espèces .....   | 81         |
| 4.5. Moteurs de changement touchant les espèces en péril .....   | 81         |
| Ouvrages cités .....   | 81         |
| <b>Chapitre 5. État de la diversité génétique au sein des arbres et des autres espèces de plantes ligneuses.....</b>   | <b>83</b>  |
| 5.1. Mesures prises ou en cours pour évaluer et analyser la diversité génétique des arbres et des autres espèces ligneuses .....   | 83         |
| 5.2. Tendances de la répartition géographique de la diversité génétique des arbres et autres espèces de plantes ligneuses .....  | 97         |
| 5.3. Technologies actuelles et émergentes en matière d'évaluation et d'analyse de la diversité génétique.....  | 98         |
| 5.4. Tendances de la diversité génétique .....   | 98         |
| 5.5. Méthodes utilisées pour la caractérisation des ressources génétiques forestières .....  | 100        |
| 5.6. Besoins, défis et possibilités pour accroître la disponibilité des renseignements sur les ressources génétiques forestières.....                                      | 107        |
| 5.7. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine .....   | 108        |
| Ouvrages cités .....   | 108        |
| <b>Chapitre 6. Conservation in situ des ressources génétiques forestières .....</b>  | <b>123</b> |
| 6.1. Évaluation de la situation de la conservation in situ des ressources génétiques forestières.....  | 123        |
| 6.2. Approches pour la conservation in situ des ressources génétiques forestières .....  | 137        |
| 6.3. Organisation de la conservation in situ des ressources génétiques forestières .....   | 142        |
| 6.4. Principaux acteurs et intervenants de la conservation in situ .....   | 143        |
| 6.5. Critères appliqués pour déterminer ou établir de nouvelles unités ou zones in situ pour la conservation des ressources génétiques forestières.....                    | 143        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.6. Besoins, défis et possibilités pour améliorer la conservation in situ des ressources génétiques forestières .....   | 144        |
| 6.7. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine .....   | 144        |
| Ouvrages cités .....   | 145        |
| <b>Chapitre 7. Conservation ex-situ des ressources génétiques forestières .....</b>  | <b>147</b> |
| 7.1. État de la conservation ex-situ .....   | 147        |
| 7.2 Principaux intervenants nationaux/infranationaux et leurs approches en matière de conservation ex-situ (doc. d'orientation de la FAO, questions 7.2 à 7.5). .....              | 149        |
| 7.3 Transfert de germoplasme d'arbres à l'intérieur ou à l'extérieur du Canada (question 7.6 de la FAO).....   | 150        |
| 7.4 Besoins, défis et possibilités pour améliorer la conservation ex-situ des RGF (question 7.7 de la FAO). .....  | 151        |
| 7.5 Priorités pour le renforcement des capacités et la recherche en matière de conservation ex-situ (question 7.8 de la FAO) .....   | 152        |
| 7.6 Conclusion .....   | 152        |
| Ouvrages cités .....   | 153        |
| <b>Chapitre 8. État de l'utilisation .....</b>   | <b>154</b> |
| 8.1. Façon dont les ressources génétiques forestières sont utilisées .....   | 154        |
| 8.2. Stratégies, lignes directrices et recommandations nationales (ou infranationales) en matière d'utilisation des ressources génétiques forestières.....                         | 157        |
| 8.3. Sources de matériel forestier de reproduction .....   | 158        |
| 8.4. Programmes de subventions ou autres mécanismes d'incitation encourageant l'utilisation de certains matériels forestiers de reproduction .....                                 | 159        |
| 8.5. Rôle des peuplements de semences enregistrés, des vergers à graines et d'autres sources dans l'approvisionnement en matériel forestier de reproduction.....                   | 159        |
| 8.6. L'offre de matériel forestier de reproduction répond-elle à la demande?.....  | 159        |
| 8.7. Tendances de la demande de matériel forestier de reproduction .....   | 160        |
| 8.8. Certification de l'information sur le matériel forestier de reproduction pour le commerce national (ou infranational) et international, et règles utilisées à cette fin ..... | 160        |
| 8.9. Matériel forestier de reproduction exporté et/ou importé par le Canada .....  | 160        |
| 8.10. Organisation du programme national (ou infranational) de semences d'arbres du Canada, et principaux acteurs et intervenants .....  | 160        |
| 8.11. Besoins, défis et possibilités pour accroître l'utilisation des ressources génétiques forestières.....   | 162        |

|  |            |
|--|------------|
| 8.12. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine .....  | 163        |
| Ouvrages cités .....   | 163        |
| <b>Chapitre 9. État des programmes d'hybridation sélective .....</b>   | <b>165</b> |
| 9.1. Approches d'hybridation sélective des arbres .....  | 165        |
| 9.2. Utilisations et traits prioritaires pour l'hybridation sélective des arbres .....   | 165        |
| 9.3. Organisation des programmes d'hybridation sélective des arbres et principaux acteurs et intervenants .....  | 165        |
| 9.4. Technologies actuelles et émergentes utilisées en hybridation sélective des arbres ...  | 168        |
| 9.5. Quantité de germoplasme d'arbre transféré à l'intérieur et à l'extérieur du pays à des fins de recherche et de développement.....                                   | 171        |
| 9.6. Accès et partage des avantages .....  | 172        |
| 9.7. Besoins, défis et possibilités pour l'hybridation sélective des arbres .....  | 172        |
| 9.8. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche .....   | 173        |
| Ouvrages cités .....   | 173        |
| <b>Chapitre 10. Gestion des ressources génétiques forestières .....</b>  | <b>177</b> |
| 10.1. Prise en compte des considérations génétiques, au niveau pratique, en matière de gestion des forêts naturelles et plantées ainsi que d'autres terres boisées ..... | 177        |
| 10.2. Technologies actuelles et émergentes utilisées en gestion des ressources génétiques forestières.....   | 177        |
| 10.3. Principaux acteurs et intervenants en gestion des forêts naturelles et plantées, ainsi que d'autres terres boisées au niveau national (ou infranational).....      | 178        |
| 10.4. Besoins, défis et possibilité pour améliorer la gestion des ressources génétiques forestières.....   | 187        |
| 10.5. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine .....  | 188        |
| Ouvrages cités .....   | 188        |
| <b>Chapitre 11. Cadre institutionnel pour la conservation, l'utilisation et le développement des ressources génétiques forestières .....</b>                             | <b>189</b> |
| 11.1. Mécanisme de coordination nationale en matière de ressources génétiques forestières, de fonctionnement et de structure.....  | 189        |
| 11.2. Principales institutions et parties prenantes participant à la conservation, à l'utilisation et au développement des ressources génétiques forestières.....        | 189        |
| 11.3. Comment différents intervenants participent-ils aux prises de décisions relatives à la gestion des RGF? .....  | 189        |

|   |            |
|---|------------|
| 11.4. Politiques et stratégies propres aux ressources génétiques forestières .....  | 191        |
| 11.5. Législation et/ou réglementation propres aux ressources génétiques forestières<br>élaborées au Canada .....   | 191        |
| 11.6. Lois ou règlements relatifs aux ressources génétiques forestières établis au Canada   | 191        |
| 11.7. État de la recherche et du développement en matière de ressources génétiques<br>forestières.....  | 191        |
| 11.8. État de l'éducation et de la formation en matière de ressources génétiques forestières<br>.....   | 192        |
| 11.9. Besoins, défis et possibilités de renforcer les institutions et les politiques nationales<br>(ou infranationales) en matière de ressources génétiques forestières.....  | 196        |
| 11.10. Priorités en matière de renforcement des capacités dans ce domaine .....   | 196        |
| Ouvrages cités .....  | 197        |
| <b>Chapitre 12 : Coopération internationale et régionale.....</b>   | <b>200</b> |
| 12.1. Projets internationaux et régionaux sur les ressources génétiques forestières auxquels<br>le Canada a participé, ou participe, depuis 2013 .....  | 200        |
| 12.2. Façon dont le Canada a bénéficié de la coopération internationale et régionale en<br>matière de ressources génétiques forestières.....  | 200        |
| 12.3. Contributions apportées à la coopération internationale et régionale en matière de<br>ressources génétiques forestières.....  | 201        |
| 12.4. Application des résultats et/ou des avantages de la coopération internationale et<br>régionale pour la conservation, l'utilisation et le développement des ressources génétiques<br>forestières au Canada ..... | 201        |
| 12.5. Besoins, défis et possibilités de renforcer la coopération internationale et régionale en<br>matière de ressources génétiques forestières.....  | 201        |
| Ouvrages cités .....  | 202        |
| <b>Chapitre 13. Actions recommandées pour l'avenir .....</b>  | <b>203</b> |
| 13.1 Disponibilité des informations sur les ressources génétiques forestières.....  | 203        |
| 13.2 Conservation des ressources génétiques forestières .....   | 203        |
| 13.3 Utilisation, développement et gestion des ressources génétiques forestières .....  | 204        |
| 13.4 Politiques, institutions et renforcement des capacités .....   | 205        |



**Avant-propos**

L'information présentée dans le présent rapport a été recueillie en effectuant des recherches documentaires et en prenant contact avec les experts. Il prend en compte des données disponibles en 2019, sauf indication contraire.

## Remerciements

Le présent rapport a été préparé par :

Judy Loo

Consultante, Tree Genetic Resources

22748 Rte 2, Springfield

Prince Edward Island, C0B 1M0

Courriel : loo.judy@gmail.com

Tannis Beardmore

Chercheuse, semences d'arbre

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts — Région de l'Atlantique

Centre forestier Hugh John Flemming, 1350, rue Regent, C.P. 4000

Fredericton (Nouveau-Brunswick) E3C 5P7

Courriel : tannis.beardmore@canada.ca

Gwylim Blackburn

Chercheuse, Écologie et évolution des espèces invasives

Centre de liaison national pour les ressources génétiques forestières

Ressources naturelles Canada – Service canadien des forêts – Région du Pacifique

Centre de foresterie du Pacifique, 506 West Burnside Road

Victoria (C.-B.) V8Z 1M5

Courriel : gwylim.blackburn@nrca-nrcan.gc.ca

Kathleen Forbes

Technologue

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts — Région de l'Atlantique

Centre forestier Hugh John Flemming, 1350, rue Regent, C.P. 4000

Fredericton (Nouveau-Brunswick) E3C 5P7

Courriel : kathleen.forbes@nrca-nrcan.gc.ca

Christa Mooney

Conseillère principale en politiques, Division du commerce et des affaires internationales

Ressources naturelles Canada — Service canadien des forêts

580, rue Booth

Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Courriel : christa.mooney@nrca-nrcan.gc.ca

Martin Williams

Chercheur scientifique, Génomique forestière

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts — Région de l'Atlantique

Centre forestier Hugh John Flemming, 1350, rue Regent, C.P. 4000

Fredericton (Nouveau-Brunswick) E3C 5P7

Courriel : martin.williams@nrca-nrcan.gc.ca

Nous exprimons notre gratitude envers les personnes suivantes :

Holly Abbandonato (Mount Allison University)

Sally Aitken (Faculty of Forestry, University of British Columbia; North American Forest Commission)

Jean Bousquet (Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval)

Simon Bridge, Miriam Isaac-Renton, Donnie McPhee, Simon Nadeau, Dale Simpson, et Melissa Spearing (Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada)

Ken Elliott (ministre du Développement du Nord, des Mines, des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario)

Michele Fullarton (ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick)

Jodie Krakowski (Alberta Ministry of Agriculture, Forestry and Rural Economic Development)

Barry Linehan (Newfoundland Department of Industry, Energy and Technology)

Samantha Vibert (Agence canadienne d'inspection des aliments)

Alvin Yanchuk (British Columbia Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development)

## Liste des abréviations et des acronymes

AAF : Accord d'aménagement forestier (forme de tenure forestière basée sur la superficie dans certaines provinces canadiennes.)

ACGF : Association canadienne de génétique forestière

AdapTree : Projet de Génome Canada (2011-2015), « Évaluation du portefeuille adaptatif des stocks de reboisement dans les climats de l'avenir »

AFLP : Marqueurs génétiques de polymorphisme de longueur de fragments amplifiés

APA : Accès et partage des avantages

ATM : Accord de transfert de matériel

BEC : Biogeoclimatic Ecosystem Classification system of British Columbia (Système de classification biogéoclimatique de la Colombie-Britannique)

CBST : climate-based seed transfer (Transfert de semences basée sur le climat)

CFAM : Commission des Forêts pour l'Amérique du Nord de la FAO

CNSF : Centre national des semences forestières (Canada)

CONFORGEN : Groupe de conservation des ressources génétiques forestières du Canada

COSEPAC : Comité sur la situation des espèces en péril au Canada.

CSRN : Compte satellite des ressources naturelles (Statistique Canada)

EEEF : Espèces exotiques envahissantes forestières

ES : Embryogenèse somatique

EVOLTREE : Réseau financé par l'Union européenne « Evolution of trees as drivers of terrestrial biodiversity »

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

FGC : Forest Genetics Council of British Columbia

FGCA : Forest Gene Conservation Association of Ontario

FGRM : Forest Genetic Resource Management program (Ontario)

FLNRO : British Columbia Ministry of Forests, Lands, and Natural Resource Operations

GCTAC : Genetic Conservation Technical Advisory Committee of the Forest Genetics Council of British Columbia

IUFRO: International Union of Forestry Organizations

LEP : Loi sur les espèces en péril

MNRF : Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario

NAFGRWG (aussi appelé FGRWG) : North American Forestry Commission's Working Group on Forest Genetic Resources (Groupe de travail sur les ressources génétiques forestières de la Commission des forêts pour l'Amérique du Nord)

OCDE. Organisation de coopération et de développement économiques

OGM : organisme génétiquement modifié

OTIP : Operational Tree Improvement Program in British Columbia (Programme d'amélioration des arbres de Colombie-Britannique)

PAC : Possibilité annuelle de coupe

PFNL : Produits forestiers non ligneux

PIB : produit intérieur brut

RAPD : Marqueur génétique d'amplification aléatoire de l'ADN polymorphe

Rapport de 2012 sur les RGF : Rapport sur l'état des ressources génétiques forestières du Canada, 2012

RFLP : Marqueur génétique de polymorphisme de longueur des fragments de restriction

RGF : Ressources génétiques forestières

SNP : Polymorphisme mononucléotidique

TAC : Technical Advisory Committee of the Forest Genetics Council of British Columbia

## Résumé

Les forêts du Canada couvrent 38 % des 9 millions de km<sup>2</sup> de superficie du territoire, soit un total de 347 millions d'hectares et environ 9 % de la couverture forestière mondiale. Depuis le Rapport de 2012 sur l'état des ressources génétiques forestières du Canada (ci-après, « Rapport de 2012 sur les RGF du Canada »), l'état général des forêts du Canada est resté presque inchangé. Environ 6 % des terres forestières du Canada sont des terrains privés, 2 % appartiennent au gouvernement fédéral, 2 % appartiennent aux Autochtones et 90 % relèvent de la compétence des provinces et des territoires. Les provinces et les territoires sont compétents en matière de conservation et de gestion des ressources naturelles tandis que le gouvernement fédéral assume les responsabilités de représenter les forêts canadiennes sur la scène internationale, de réglementer le commerce, de gérer les parcs nationaux, les terres utilisées par le Ministère de la Défense et les terres autochtones. Les deux niveaux d'administration publique exercent des responsabilités sur l'environnement; certains domaines relevant d'une compétence partagée.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) considère que les ressources génétiques forestières sont « les matériaux transmissibles entretenus au sein des espèces arborescentes et des autres espèces végétales ligneuses (arbustes, palmiers et bambous) et entre ces espèces, qui possèdent une valeur économique, environnementale, scientifique ou sociétale réelle ou potentielle ». Le présent rapport met l'accent sur la composante « ressources génétiques forestières » que représentent les arbres, tout en reconnaissant que toutes les espèces d'arbres et d'arbustes indigènes canadiennes peuvent être considérées comme des ressources génétiques forestières en raison de leur importance actuelle ou potentielle pour l'intégrité des écosystèmes et les valeurs de conservation, les produits forestiers ligneux ou non ligneux, la plantation en milieu urbain, la restauration écologique ou la contribution à la bioéconomie canadienne. On trouve plus de 400 espèces d'arbres et d'arbustes indigènes au Canada, dont 126 sont des arbres (définis comme atteignant une hauteur d'au moins 10 m).

Actuellement, l'évaluation des ressources génétiques forestières apparaît le plus manifestement en termes de qualités globales de la forêt, combinées à des exemples réels ou potentiels de valorisation des ressources. En général, nos forêts offrent des possibilités de loisirs et des valeurs spirituelles, ainsi que des habitats pour un grand nombre d'espèces associées; elles contribuent en outre à la qualité de l'eau ainsi qu'à d'autres services écosystémiques. Le principal rôle économique des forêts au Canada est la fourniture de produits forestiers. Environ 45 espèces d'arbres sont gérées pour la foresterie commerciale. La contribution totale de l'industrie forestière (exploitation forestière, pâtes et papiers et fabrication de produits du bois) au PIB réel en dollars de 2012 a augmenté, passant de 18,8 milliards de dollars en 2012 à 20,6 milliards de dollars en 2018. Le Canada est le quatrième exportateur mondial de produits forestiers et occupe la première place pour l'exportation de bois d'œuvre et de papier journal. Les produits forestiers non ligneux (tels que le sirop d'érable et les arbres de Noël), la séquestration du carbone, l'énergie et la bioéconomie sont des contributeurs économiques importants au niveau local. Les forêts du Canada sont la deuxième source d'énergie renouvelable après l'hydroélectricité. Par exemple, la biomasse forestière a été la source de 85 % de la bioénergie du Canada en 2016; entre 2010 et 2016, les émissions de gaz à effet de



serre provenant de combustibles fossiles de l'industrie forestière ont diminué de 38 % grâce à l'utilisation de la bioénergie d'origine forestière. La bioéconomie émergente du Canada dépend de la forêt pour la biomasse nécessaire à la production de bioplastiques, de produits biochimiques et de biocarburants et devrait connaître une croissance rapide.

Il n'existe pas de données génétiques à grande échelle pour la plupart des espèces canadiennes d'arbres et d'arbustes; les estimations actuelles de la variation génétique au niveau des espèces sont souvent extrapolées à partir de la recherche génétique menée au niveau provincial et territorial, ou évaluées en fonction de mesures de substitution telles que la taille de la population ou la fragmentation. Dans le rapport de 2012 sur les RGF, les évaluations provinciales et territoriales des besoins en matière de conservation génétique *ex-situ* ont permis de classer 39 espèces d'arbres indigènes canadiens dans la catégorie des espèces exigeant des mesures de conservation génétique spécifiques pour préserver l'intégrité de leur patrimoine génétique. La plupart des espèces sont des feuillus (33); cinq espèces sont des conifères du genre *Pinus* et la dernière espèce est le conifère *Juniperus maritima*. À la date du présent rapport, 39 espèces sont conservées sous forme de lots de semences ou d'accessions vivantes *ex-situ*.

La Colombie-Britannique, l'Alberta et l'Ontario mettent actuellement en œuvre des stratégies pour les ressources génétiques forestières qui incluent la conservation *in situ*. Les analyses des lacunes de Colombie-Britannique et de l'Alberta montrent que la plupart des ressources génétiques des forêts d'arbres de la Colombie-Britannique sont adéquatement protégées dans les zones biogéoclimatiques où elles se trouvent, tandis qu'en Alberta, la protection semble être adéquate dans les plus grandes écorégions (65 % de la superficie de la province), mais insuffisante pour au moins certaines espèces dans les écorégions plus petites.

Il existe quatre principales réserves de conservation *ex-situ* pour trois espèces d'arbres au Canada : trois banques de semences provinciales (Colombie-Britannique, Alberta et Québec) et une banque de semences fédérale, le Centre national des semences forestières (CNSF) de Ressources naturelles Canada (RNCan). La majorité de leurs efforts portent sur la collecte, le traitement, le test et le stockage de sources de semences d'espèces commerciales pour la reforestation. Actuellement, le CNSF détient plus de 16 000 lots de semences représentant plus de 120 espèces d'arbres et d'arbustes indigènes et gère des échantillons de semences représentatifs d'arbres et d'arbustes indigènes à des fins de conservation et de recherche. En 2019, le CNSF a fourni aux chercheurs nationaux et internationaux plus de 6,5 millions de semences provenant de 520 lots de semences de source déterminée et soumis à des essais de qualité, représentant 60 essences d'arbres. Pour finir, le Centre a pour objectif de stocker les principaux échantillons de semences provenant de l'ensemble des aires de répartition naturelle des arbres et arbustes canadiens.

À l'heure actuelle, on utilise principalement les ressources génétiques forestières dans le cadre de programmes d'hybridation sélective des arbres (souvent appelée « d'amélioration des arbres ») notamment pour les qualités permettant d'améliorer l'exploitation forestière commerciale. L'amélioration aux fins de résistance aux insectes et aux maladies en vue de la conservation des espèces est un objectif croissant, mais secondaire. En Colombie-Britannique, 67 % des 300 millions de semis plantés sur les terres publiques en 2020 provenaient de cette

source. La proportion de semences cultivées de façon sélective est plus faible dans les autres provinces, mais à l'échelle nationale, au moins 50 % des besoins en semences aux fins de reboisement sont couverts par les vergers à graines et le reste provenant de souches sauvages. Au Canada atlantique, les vergers à graines de deuxième génération satisfont la plupart des besoins en semences de plusieurs espèces. En Alberta, environ 15 % seulement des semences sont obtenues à partir de vergers à graines, mais ce pourcentage augmente chaque année à mesure que les vergers à graines arrivent à maturité et atteignent une production plus élevée.

La plupart des travaux d'hybridation sélective des arbres sont réalisés à l'aide des méthodes classiques de sélection, de création et de gestion de vergers à graines et de croisements contrôlés. Cependant, les nouvelles technologies visant à accélérer la sélection et l'amélioration génétique prennent de l'ampleur. Il s'agit notamment d'analyses génomiques visant à développer la sélection assistée par marqueurs pour un assortiment de traits plus large que celui appliqué traditionnellement. Une recherche documentaire a révélé que 40 articles ont été publiés depuis le Rapport de 2021 sur les RGF du Canada décrivant des études génétiques et génomiques pour améliorer la sélection génétique chez 10 espèces, notamment l'épinette blanche (*Picea glauca*).

La promotion de la résilience des forêts face aux changements climatiques joue un rôle essentiel pour contribuer à la gestion des ressources génétiques forestières canadiennes. Les changements climatiques ont eu de graves répercussions sur nos forêts et le secteur forestier, les incendies, les insectes et les agents pathogènes ayant affecté la santé des plantes et le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Par exemple, bien que la superficie totale des terres forestières du Canada brûlées par le feu n'ait pas augmenté de manière significative au cours des 20 dernières années, plusieurs incendies récents se sont produits dans des endroits où ils étaient historiquement peu fréquents. À titre d'exemple, de grandes surfaces de pins de Colombie-Britannique qui ont été détruites par les coléoptères en raison des changements climatiques, ont brûlé par la suite en 2018. L'adoption par plusieurs provinces d'une approche de transfert de semences basée sur le climat apporte maintenant un nouveau niveau de complexité aux populations d'amélioration des arbres, à la composition des vergers à graines, ainsi qu'à l'approvisionnement et au déploiement des semis. Outre ces défis opérationnels, la prévision des régimes climatiques futurs et les caractéristiques des arbres qui pourraient le mieux répondre à ces changements sont des domaines de recherche en cours. L'amélioration pour des caractéristiques multiples pose également un défi pouvant entraîner d'éventuels compromis entre la gestion des forêts pour une résilience globale et la promotion de caractéristiques importantes pour l'industrie forestière.

Un certain nombre de tendances connexes peuvent améliorer les perspectives de conservation, d'utilisation durable et de valorisation des ressources génétiques forestières au Canada. La consolidation de l'industrie forestière au cours de ces dernières années peut améliorer les perspectives d'une gestion plus efficace des forêts. Une meilleure protection des forêts se profile également à l'horizon : en 2018, le gouvernement fédéral a annoncé un investissement de 1,3 milliard de dollars pour améliorer les zones protégées, notamment en utilisant des données d'inventaire forestier. L'initiative fédérale des « 2 milliards d'arbres », annoncée en 2019, offre des occasions supplémentaires de soutenir l'hybridation sélective des arbres, étant donné notamment le besoin de disposer de matériel de plantation adapté aux conditions

climatiques futures. De même, le Service canadien des forêts a entrepris une étude sur les semences d'arbres, dirigée par le CNSF afin d'évaluer l'offre et la demande future en semences. Plus généralement, les progrès rapides des outils de sélection génomique et assistée par marqueurs offrent des possibilités précieuses pour améliorer notre compréhension et notre utilisation des ressources génétiques forestières. Cela est particulièrement visible dans l'extension des programmes de sélection au-delà de la classique hybridation sélective commerciale des arbres pour des applications telles que la mise en valeur des terres, la remise en état des écosystèmes et le transfert de semences basé sur le climat.

Le Groupe de travail sur les ressources génétiques forestières (FGRWG) de la Commission des forêts pour l'Amérique du Nord continue de servir les intérêts canadiens en matière de gestion des ressources génétiques forestières en favorisant la recherche collaborative et les consultations entre les États-Unis, le Mexique et le Canada. Au niveau national, le Groupe de travail fournit des outils scientifiques et des outils pour éclairer les décisions stratégiques scientifiques de grande qualité tout en collaborant avec les organismes nationaux de gestion des forêts et en contribuant au Plan d'action mondial pour la conservation, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la FAO. Au niveau régional, le Groupe de travail encourage le dialogue et la recherche à l'échelle de l'Amérique du Nord qui englobe de nombreuses aires de répartition naturelle d'essences d'arbres. Les efforts dans ce sens permettent de sensibiliser à l'importance des ressources génétiques forestières par le biais de séances de formation, de conférences et de publications.

Au Canada, l'Association canadienne de génétique forestière (ACGF) est un réseau de scientifiques et de praticiens de la génétique forestière qui promeut l'utilisation de pratiques scientifiquement et techniquement rigoureuses dans la foresterie canadienne, alors que le groupe de conservation des ressources génétiques forestières du Canada (CONFORGEN) favorise la coordination et l'amélioration, entre autres, de la gestion des ressources génétiques de la forêt canadienne. CONFORGEN travaille à la définition et à la recommandation fondées sur des données scientifiques pour la surveillance et la conservation des ressources génétiques forestières. En collaboration avec le Groupe de travail sur les ressources génétiques forestières, le groupe cerne les grands enjeux émergents et les priorités de recherches dans le domaine de la gestion des ressources génétiques. Les produits de CONFORGEN comprennent les directives pour la conservation de sept espèces d'arbres, une ébauche d'article scientifique sur la conservation *ex-situ*, l'approbation de directives sur les pratiques de conservation *ex-situ*, et la préparation du rapport de 2012 sur le RGF du Canada et du présent rapport.

Les besoins cernés au niveau provincial et territorial pour une gestion efficace des RGF comprennent : 1) déterminer la base génétique des arbres, leur adaptabilité potentielle aux changements climatiques et leur résistance aux insectes et aux maladies (2) établir les profils de populations des espèces d'arbres et leurs traits génétiques caractéristiques d'adaptation nécessaires au reboisement, à la restauration et au matériel végétal pour la mise en valeur des terres; (3) renforcer les composantes de santé et de résilience des forêts des programmes de sélection pour tirer pleinement parti du matériel de sélection moderne, et; (4) promouvoir une plus grande sensibilisation à l'importance des ressources génétiques forestières dans la gestion des ressources forestières. Il faudra un financement stable pour appuyer du personnel qualifié et le matériel dans les activités susmentionnées.

## Chapitre 1. Valeur et importance des ressources génétiques forestières

### *Introduction*

Le Canada, deuxième plus grand pays du monde couvrant une superficie dépassant 9 millions de kilomètres carrés, abrite environ 9 % de la forêt mondiale; ce qui en fait le troisième pays le plus boisé du monde. Les forêts recouvrent 38 % de la superficie terrestre du Canada; c'est-à-dire 347 millions d'hectares (ha). Environ 9 % de cette superficie se trouve dans des zones légalement protégées. Cela représente environ 10 ha de forêt par Canadien (État des forêts du Canada, 2020). La forêt revêt donc une importance particulière pour la population canadienne. Depuis des générations, les forêts constituent un pilier de l'économie canadienne en tant que source importante d'emplois et de revenus. Les valeurs récréatives, réparatrices et spirituelles des forêts canadiennes ont tissé un lien permanent avec la psyché canadienne. Aujourd'hui, les forêts sont également essentielles à la réalisation des objectifs du Canada en matière de changements climatiques et alimentent l'émergence rapide de la bioéconomie.

Le Canada est une fédération composée de dix provinces et de trois territoires (les « compétences »), dont la superficie varie de 5 600 à 1,9 million km<sup>2</sup> (Figure 1.1). La population du Canada compte environ 38 millions d'habitants (Statistique Canada, 2020); ce qui se traduit par une densité de population relativement faible par rapport à la plupart des pays. La population est toutefois géographiquement concentrée; les deux tiers des Canadiens et des Canadiennes vivant à moins de 100 km de la frontière états-unienne (Statistique Canada, 2020).

Seulement 6 % des terres forestières du Canada (près de 400 millions d'hectares) appartiennent à des particuliers; 2 % appartiennent au gouvernement fédéral (parcs nationaux et terres du ministère de la Défense nationale); 2 % appartiennent à des Autochtones; et 90 % relèvent des provinces et des territoires (Ressources naturelles Canada, 2020). Les différents pouvoirs et responsabilités des administrations publiques provinciales, territoriales et fédérales se traduisent par des politiques et des règlements variés en matière de gestion des terres à travers le pays. Les compétences provinciales et territoriales sont responsables de la gestion et de la conservation des ressources naturelles, tandis que le gouvernement fédéral est responsable de la réglementation des échanges et du commerce ainsi que des terres autochtones. Les deux niveaux d'administration publique ont une responsabilité envers l'environnement; certains domaines relevant d'une compétence partagée.

Les terres forestières du Canada ont été classées en huit régions forestières (figure 1.2). Parmi ces régions, la forêt boréale est de loin la plus vaste, représentant environ 80 % de la superficie forestière du Canada (figure 2). Les espèces d'arbres que l'on trouve dans la région de la forêt boréale sont généralement caractérisées par une très vaste répartition, s'étendant sur plusieurs provinces et territoires. D'autres régions forestières comptent des espèces d'arbres dont la répartition est beaucoup plus réduite au Canada, mais qui peuvent présenter une répartition nord-sud étendue, allant jusqu'aux États-Unis. La topographie montagneuse nord-sud de la Colombie-Britannique, par exemple, couvre quatre régions forestières distinctes abritant des espèces d'arbres que l'on ne trouve pas dans d'autres régions du Canada. Le nombre d'espèces d'arbres est inversement proportionnel à la taille des régions forestières. La vaste forêt boréale compte un nombre relativement faible d'espèces très répandues qui sont principalement pollinisées par le vent et présentent une grande diversité génétique. La plus petite région

forestière, la forêt carolinienne, présente la plus grande diversité d'espèces d'arbres; cependant, certaines de ces espèces, dont la répartition est limitée au Canada et dont l'habitat se réduit, ont une diversité génétique relativement faible.



Figure 1.1. Carte politique du Canada.

### À propos de ce rapport

Le présent rapport s'appuie sur le rapport précédent présenté en 2012, ci-après dénommé « rapport 2012 du Canada sur les RGF ». Nous indiquons tout au long de ce document le contenu du rapport 2012 demeurant inchangé. Un important volume de recherches menées depuis 2012 contribue de manière substantielle à la compréhension des ressources génétiques des arbres forestiers en termes de diversité génétique, de structure et de fonction génomiques, ainsi que de processus évolutifs. Le présent rapport souligne les points saillants des résultats de ces recherches ainsi que des renseignements actualisés sur la situation et l'évolution.

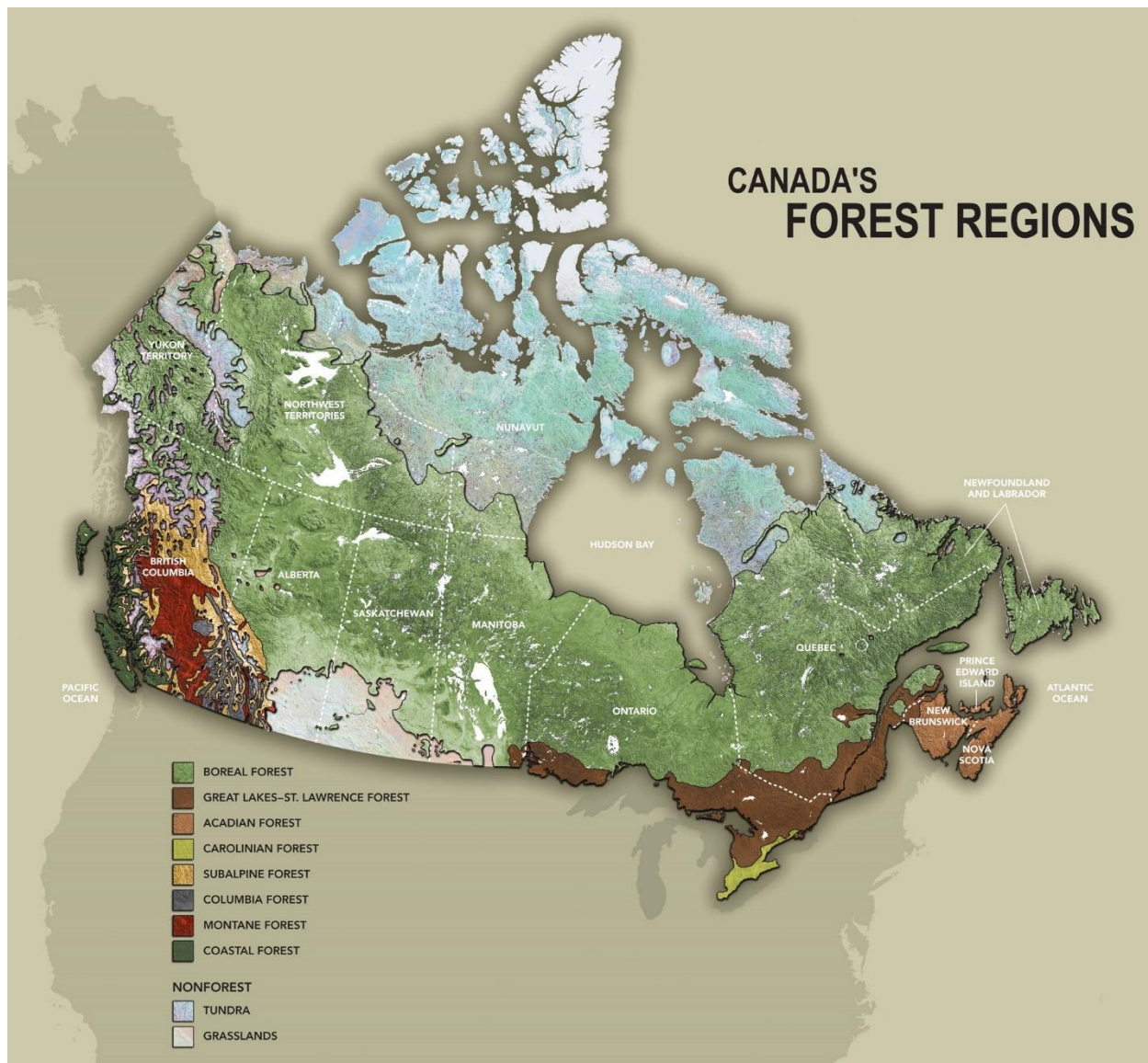


Figure 1.2. Régions forestières du Canada (Ressources naturelles Canada)

### **1.1. Rôle du secteur forestier dans l'économie nationale**

Selon les données du compte satellite des ressources naturelles (CSRN) de Statistique Canada, le secteur forestier représentait directement 27,6 milliards de dollars du PIB nominal du Canada en 2017. La valeur économique directe du secteur forestier canadien, en proportion du PIB du pays, a augmenté au cours des dix dernières années. Toutefois, sa valeur exacte (1,4 %) ne reflète pas adéquatement la grande importance du secteur forestier par rapport aux autres secteurs de ressources. Le secteur forestier crée plus d'emplois et contribue davantage à la balance commerciale pour chaque dollar de valeur ajoutée que les autres grands secteurs. Cette industrie représente une valeur disproportionnée pour les zones rurales et les communautés éloignées, soutenant, grâce aux emplois et aux revenus, environ 300 municipalités dans l'ensemble du pays. L'industrie forestière emploie directement plus de 205 000 personnes dans l'ensemble du pays; cela inclut environ 12 000 autochtones (État des forêts du Canada, 2020b).



La contribution totale de l'industrie forestière (exploitation forestière, pâtes et papiers et fabrication de produits du bois) au PIB réel en dollars de 2012 a augmenté, passant de 18,8 milliards de dollars en 2012 à 20,6 milliards de dollars en 2018, et les recettes totales des biens fabriqués atteignent plus de 77 milliards de dollars en 2018 (tableau 1.1).

Tableau 1.1. Rôle du secteur forestier dans l'économie nationale.

| <b>Année</b>  | <b>2012</b>    | <b>2013</b>    | <b>2014</b>    | <b>2015</b>    | <b>2016</b>    | <b>2017</b>    | <b>2018</b>    |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Contribution au PIB nominal (dollars courants)</b>       |                |                |                |                |                |                |                |
| Foresterie et exploitation forestière                       | 3 937 000 000  | 3 391 000 000  | 3 728 000 000  | 3 985 000 000  | 4 086 000 000  | 4 161 000 067  | 4 614 818 030  |
| Fabrication de produits de pâtes et papiers                 | 7 466 000 000  | 7 419 000 000  | 7 927 000 000  | 8 581 000 000  | 8 607 000 000  | 9 115 046 993  | 10 046 855 544 |
| Fabrication de produits du bois                             | 7 402 000 000  | 8 785 000 000  | 8 724 000 000  | 8 961 000 000  | 9 990 000 000  | 10 841 224 359 | 11 350 675 885 |
| Contribution totale au PIB nominal                          | 18 805 000 000 | 19 595 000 000 | 20 397 000 000 | 21 527 000 000 | 22 683 000 000 | 24 117 271 419 | 26 012 349 459 |
| <b>Contribution au PIB réel (dollars constants de 2012)</b> |                |                |                |                |                |                |                |
| Foresterie et industrie forestière                          | 3 937 000 000  | 4 049 000 000  | 4 210 000 000  | 4 259 000 000  | 4 030 000 000  | 3 939 000 000  | 3 985 000 000  |
| Fabrication de produits de pâtes et papiers                 | 7 466 000 000  | 7 146 000 000  | 7 547 000 000  | 7 857 000 000  | 7 647 000 000  | 7 690 000 000  | 7 604 000 000  |
| Fabrication de produits du bois                             | 7 402 000 000  | 7 928 000 000  | 8 124 000 000  | 8 394 000 000  | 8 872 000 000  | 9 138 000 000  | 8 971 000 000  |
| Contribution totale au PIB réel                             | 18 805 000 000 | 19 123 000 000 | 19 881 000 000 | 20 510 000 000 | 20 549 000 000 | 20 767 000 000 | 20 560 000 000 |
| <b>Revenus des biens fabriqués (dollars)</b>                |                |                |                |                |                |                |                |
| Exploitation forestière                                     | 8 565 752 000  | 8 928 442 000  | 9 199 638 000  | 9 381 792 000  | 9 782 530 000  | 10 154 358 000 | 10 806 584 000 |
| Fabrication de produits                                     | 23 245 171 000 | 23 165 414 000 | 25 352 934 000 | 25 861 315 000 | 25 684 269 000 | 27 736 303 000 | 30 592 308 000 |

| <b>Année</b>  | <b>2012</b>    | <b>2013</b>    | <b>2014</b>    | <b>2015</b>    | <b>2016</b>    | <b>2017</b>    | <b>2018</b>    |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| de pâtes et papiers   |                |                |                |                |                |                |                |
| Fabrication de produits du papier transformé  | 7 883 666 000  | 8 686 178 000  | 10 249 217 000 | 9 807 737 000  | 9 839 123 000  | 10 580 368 000 | 11 027 162 000 |
| Usines de pâte, de papier et de carton  | 15 361 505 000 | 14 479 236 000 | 15 103 717 000 | 16 053 578 000 | 15 845 146 000 | 17 155 935 000 | 19 565 146 000 |
| Fabrication de produits du bois   | 21 328 395 000 | 25 207 657 000 | 26 409 948 000 | 27 415 986 000 | 29 772 070 000 | 33 355 765 000 | 35 814 788 000 |
| Fabrication des autres produits du bois   | 6 743 430 000  | 7 361 273 000  | 7 478 184 000  | 7 689 949 000  | 7 988 203 000  | 8 409 112 000  | 9 141 275 000  |
| Scieries et préservation du bois  | 9 997 182 000  | 12 481 878 000 | 13 629 903 000 | 14 117 417 000 | 15 248 737 000 | 17 251 956 000 | 18 403 500 000 |
| Fabrication de placages, de contreplaqués et de produits du bois de haute technologie | 4 587 783 000  | 5 364 507 000  | 5 301 862 000  | 5 608 621 000  | 6 535 130 000  | 7 694 697 000  | 8 270 013 000  |
| Revenus totaux des biens fabriqués  | 53 139 318 000 | 57 301 513 000 | 60 962 520 000 | 62 659 093 000 | 65 238 869 000 | 71 246 426 000 | 77 213 680 000 |

<https://scf.rncan.gc.ca/profilstats/economie/CA>

De nombreux produits forestiers non ligneux sont récoltés et vendus au Canada, y compris des produits traditionnels (tels que des rameaux décoratifs, des baies, des champignons, des crosses de fougère, des arbres de Noël et du sirop d'érable) ainsi que de nouveaux produits basés sur des matières extractives et des bioproduits. Malgré l'importance économique locale et la portée sociale et culturelle des produits forestiers non ligneux, aucune donnée sur les récoltes ou les ventes n'est recueillie pour la plupart d'entre eux. La quantité et la valeur annuelles des produits de l'érable sont toutefois suivies (Tableau 1.2), de même que certaines données sur les

arbres de Noël. La superficie des exploitations d'arbres de Noël n'était disponible que pour 2016 et la valeur monétaire n'était disponible qu'en 2017.

Tableau 1.2. Deux principaux produits forestiers non ligneux.

| Année | Produits de l'érable |                         | Arbres de Noël    |                      |
|-------|----------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|
|       | Litres (millions)    | Valeur (millions de \$) | Nombre d'hectares | Valeur (Millions \$) |
| 2012  | 29,73                | 305,543                 |                   |                      |
| 2013  | 38,05                | 409,661                 |                   |                      |
| 2014  | 35,90                | 381,222                 |                   |                      |
| 2015  | 33,72                | 358,242                 |                   |                      |
| 2016  | 46,03                | 484,109                 | 23 787            |                      |
| 2017  | 47,36                | 493,992                 |                   | 91,2                 |
| 2018  | 37,08                | 385,531                 |                   |                      |
| 2019  | 49,98                | 517,489                 |                   |                      |

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0354-01 Production et valeur des produits de l'érable \(x 1 000\)](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210035401&request_locale=fr;), [https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210035401&request\\_locale=fr](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210035401&request_locale=fr;);  
Statistique Canada Tableau 32-10-0421-01 Arbres de Noël, [https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210042101&request\\_locale=fr](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210042101&request_locale=fr)

La bioéconomie émergente du Canada dépend de la forêt pour la biomasse nécessaire à la production de bioplastiques, de produits biochimiques et de biocarburants (Ressources naturelles Canada, 2020). L'industrie forestière cherche activement de nouvelles façons d'utiliser la biomasse forestière à la fois pour compenser les émissions de gaz à effet de serre et pour ajouter de la valeur à l'économie canadienne. Un produit présentant un fort potentiel est le bois transparent fabriqué à partir de lignine, plus résistant que le verre et doté d'un facteur d'isolation supérieur. La lignine peut également servir à fabriquer une mousse solide et légère. Les déchets de bois sont utilisés pour fabriquer du bioplastique pour les imprimantes 3D.

Les forêts du Canada sont la deuxième source d'énergie renouvelable après l'hydroélectricité. La biomasse forestière a été la source de 85 % de la bioénergie du Canada en 2016; entre 2010 et 2016, les émissions de gaz à effet de serre provenant de combustibles fossiles de l'industrie forestière ont diminué de 38 % grâce à l'utilisation de la bioénergie d'origine forestière (Ressources naturelles Canada, 2020).

Les ventes forestières contribuent de manière significative aux produits des ventes des provinces.

**Tableau 1.3.** Ventes forestières provinciales (droits de coupe, loyers, droits de reboisement, droits de protection, permis).

| <b>Année</b> | <b>Valeur (millions de \$)</b> |
|--------------|--------------------------------|
| 2013         | 1147,396                       |
| 2014         | 1215,916                       |
| 2015         | 1345,631                       |
| 2016         | 1441,553                       |
| 2017         | 1539,243                       |

Statistique Canada, 2018

### ***1.2. Principaux rôles des forêts au Canada (fourniture de produits ligneux et non ligneux, fourniture de services écosystémiques)***

Le principal rôle économique des forêts au Canada est la fourniture de produits forestiers. Les produits forestiers non ligneux (tels que le sirop d'érable et les arbres de Noël), la séquestration du carbone, l'énergie et la bioéconomie sont des contributeurs économiques importants au niveau local. La bioéconomie devrait connaître une croissance rapide; la première stratégie canadienne en matière de bioéconomie a été publiée en 2019 (Bioindustrial Innovation Canada, 2018). Les forêts du Canada offrent des possibilités de loisirs et des valeurs spirituelles à de nombreux Canadiens et Canadiennes, ainsi que des habitats pour un grand nombre d'espèces associées; elles contribuent en outre à la qualité de l'eau ainsi qu'à d'autres services écosystémiques.

### ***1.3. Valeurs économiques, environnementales, sociales et culturelles particulières des ressources génétiques forestières***

Les ressources génétiques forestières (RGF) sont définies par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) comme les matériaux transmissibles entretenus au sein des espèces d'arbres et de plantes ligneuses ou entre ces espèces. Les RGF sous-tendent le potentiel d'adaptation qui a permis aux arbres d'être, en termes d'évolution, parmi les types d'organisme les plus performants de la planète. Aux fins du présent rapport, les RGF sont réputés faire référence aux ressources génétiques des arbres, même si l'on reconnaît que de nombreuses autres classes d'organismes sont des composantes des écosystèmes forestiers.

La valeur réelle et potentielle de la diversité génétique des arbres, nécessaire à l'amélioration, à la résistance aux insectes ou aux maladies, ou à la tolérance aux extrêmes climatiques, est importante d'un point de vue économique, environnemental et socioculturel. La valeur particulière des RGF dans l'ensemble du Canada n'a pas été calculée ni explicitement prise en compte au niveau fédéral. Toutefois, les représentants provinciaux ont fourni des renseignements sur la valeur des RGF du point de vue de leurs compétences respectives.

#### *Colombie-Britannique*

En Colombie-Britannique, les RGF sont gérées pour chacune des quatre valeurs suivantes :

1) Valeur économique : quelque 250 à 300 millions d'arbres sont plantés chaque année en Colombie-Britannique; ce qui représente des coûts et des avantages importants pour la

population de la province et apporte une valeur ajoutée par rapport à la régénération naturelle, en termes de croissance, d'adaptation et de résistance aux maladies et aux insectes.

2) Valeur environnementale : en tant que services écosystémiques, tels que la qualité de l'eau, l'habitat de la faune sauvage et les produits du bois; plus de 12 espèces d'arbres sont plantées dans le paysage de la Colombie-Britannique, généralement selon des combinaisons correspondant aux conditions dans lesquelles elles se trouvaient naturellement en fonction de la zonation écologique de la province.

3) Valeur scientifique : la meilleure technologie scientifique disponible est employée dans l'amélioration et la conservation génétique des arbres, afin de faire progresser la gestion des ressources génétiques des populations d'arbres, tout en utilisant les données scientifiques les plus récentes en matière de migration assistée en réponse aux changements climatiques. La Colombie-Britannique est l'une des premières organisations forestières à appliquer des zones de transfert de semences basées sur le climat.

4) Valeurs sociales et culturelles : la foresterie est le moteur économique en Colombie-Britannique depuis plus de 120 ans; ce qui lui confère une place importante dans la politique provinciale et dans l'opinion publique. Les peuples autochtones jouent un rôle croissant dans le secteur de la foresterie.

Ces dernières années, les changements climatiques se sont accompagnés d'une augmentation des incendies de forêt, des invasions d'insectes et des sécheresses en Colombie-Britannique; cela remet en question l'industrie forestière et son rôle de ressource naturelle la plus précieuse de la province. À la lumière de ces défis, le chef forestier de la Colombie-Britannique considère qu'une gestion adéquate des RGF est un enjeu de premier ordre.

### *Alberta*

Le gouvernement de l'Alberta a évalué les RGF en fonction de trois catégories :

1) Valeur économique : l'industrie forestière de l'Alberta, principalement la fabrication et l'exportation de produits primaires, emploie directement 18 700 Albertains et Albertaines et 25 300 personnes dans des emplois de soutien. Les revenus de l'industrie dépassent 6,5 milliards de dollars canadiens provenant de l'exploitation et des ventes des récoltes. L'hybridation sélective des arbres (souvent appelée « amélioration des arbres ») est reconnue comme une priorité du gouvernement et de l'industrie, afin de soutenir le secteur forestier. Les ressources génétiques sont reconnues comme la clé de forêts saines, bien adaptées et génétiquement diverses, capables de soutenir des valeurs multiples.

2) Valeur environnementale : la diversité est une valeur environnementale fondamentale soutenue par la gestion des RGF en Alberta. Des niveaux de diversité minimaux doivent être atteints en matière d'enregistrement de lots de semences, obligatoire avant l'utilisation. Le déploiement est également lié au niveau de diversité génétique; un plus grand déploiement étant autorisé pour les lots de semences enregistrant une taille de population effective plus élevée.

3) Valeurs sociales et culturelles : la gestion des RGF est rarement un objectif explicite dans les zones protégées de l'Alberta, mais les parcs et les zones de loisirs provinciales ont une grande

valeur récréative et d'agrément public. Certains visiteurs accordent de l'importance à la diversité des espèces, en remarquant les différences entre les saisons ou une valeur récréative aux différents types de forêts, mais la plupart d'entre eux privilégient l'accès à la nature et ne s'intéressent pas nécessairement à des attributs génétiques ou de diversité particuliers. Les cultures autochtones de l'Alberta accordent une très grande valeur à des espèces particulières ainsi qu'à certaines zones présentant une valeur spirituelle. Les lieux traditionnels de cueillette de matières végétales se trouvent souvent dans les forêts, qui peuvent se situer sur des terres publiques administrées par les provinces ou sur des terres de réserve administrées par le gouvernement fédéral. Les peuples autochtones de l'Alberta ont collaboré avec le gouvernement provincial pour soutenir le programme de conservation génétique des espèces menacées du pin flexible et du pin à écorce blanche.

La cueillette dans la nature et la recherche de nourriture sont également des utilisations culturelles de produits forestiers en Alberta, mais il existe peu de données sur leur étendue. Les meubles en saule, le travail du bois, les cosmétiques, les fibres naturelles et les produits comestibles sont autant de secteurs en expansion. Le « bain de forêt » est une tendance mondiale qui s'appuie sur une littérature de plus en plus abondante confirmant les avantages culturels et de bien-être que procure le fait de passer du temps dans la nature. Ces valeurs culturelles ne concernent pas spécifiquement la génétique, mais peuvent présenter certaines possibilités d'hybridation sélective ou de programmes de production de semences, si la demande de bains de forêt le justifie.

Bien que le représentant provincial ne l'ait pas mentionné, un programme de recherche florissant existe sur divers aspects des RGF auquel participent le gouvernement provincial de l'Alberta, l'industrie et le milieu universitaire (en particulier l'Université de l'Alberta).

### *Ontario*

Le gouvernement de l'Ontario reconnaît les valeurs des RGF comme suit :

1) Valeur économique : Les programmes d'hybridation sélective des arbres relatifs à l'épinette noire et à l'épinette blanche (*Picea mariana*, *Picea glauca*) ainsi qu'au pin gris et au pin blanc (*Pinus banksiana*, *Pinus strobus*) sont axés sur l'amélioration de la santé, de la productivité et de la qualité du bois des forêts. La conservation d'une large variation génétique intraspécifique maximise le potentiel de conservation d'une variation génétique adaptative convenant aux nouvelles conditions résultant des changements climatiques. [Une nouvelle politique en cours d'élaboration reflétant cette priorité](#) vise à personnaliser le transfert de semences pour les espèces d'arbres importantes pour la reforestation, de manière à faire correspondre le matériel source aux conditions climatiques.

2) Valeur environnementale : la résistance génétique aux insectes et aux maladies d'espèces d'arbres menacées est étudiée et utilisée lorsqu'elle est disponible pour le rétablissement des espèces et l'amélioration de l'habitat de la faune. Les espèces focales sont le noyer cendré, le frêne, le hêtre, le pin blanc et le châtaignier. Un autre exemple de reconnaissance explicite des valeurs des RGF est la sélection des sources de semences pour les plantations urbaines.

3) Valeurs sociales et culturelles : ces valeurs particulières des RGF se reflètent dans les efforts de rétablissement des espèces d'arbres clés menacées ou en voie de disparition, notamment le



châtaignier d'Amérique (*Castanea dentate*), le noyer cendré (*Juglans cinerea*), le pin blanc (*Pinus strobus*), le hêtre américain (*Fagus grandifolia*) et l'orme d'Amérique (*Ulmus americana*). Les efforts de collaboration font intervenir le gouvernement de l'Ontario, les peuples autochtones, les universités, les organisations de conservation et les particuliers.

### Québec

Au Québec, les valeurs économiques et environnementales des RGF sont reconnues par les nombreux efforts entrepris pour utiliser et conserver la diversité génétique.

1) Valeurs économiques : de nombreux programmes d'hybridation des arbres ont été élaborés au cours des 50 dernières années au Québec, afin de fournir des plants cultivés de façon sélective et adaptés aux conditions locales pour le reboisement. Plus de 125 millions d'arbres sont plantés chaque année et ont une grande valeur économique pour le secteur forestier québécois. La diversité génétique est une priorité des programmes d'hybridation des arbres du Québec, tant pour sélectionner le matériel que pour éviter la consanguinité.

2) Valeur environnementale : plusieurs aires de conservation ont été établies dans divers écosystèmes du Québec au cours des 30 à 40 dernières années, contribuant collectivement à la biodiversité forestière *in situ* et à l'apport de valeur environnementale, scientifique et sociétale. Bien que l'objectif de ces zones ne soit pas explicitement de conserver les RGF, la diversité génétique est reconnue comme une valeur au sein de ces zones protégées.

Un programme de recherche collaboratif actif, auquel participent l'Université Laval, le Service canadien des forêts et le gouvernement provincial, a permis de mieux comprendre et de contribuer à la réalisation de la valeur des RGF au cours des dernières années (p.ex, Chamberland *et coll.* 2020).

1) Valeur économique : la valeur la plus évidente du programme d'hybridation sélective des arbres est associée au gain génétique obtenu (performance accrue). En termes économiques, l'amélioration de la qualité et de la quantité de bois disponible a été notable.

2) Valeur environnementale : La province souscrit à l'approche de la triade en matière de gestion forestière, selon laquelle la gestion intensive des forêts productives (y compris l'hybridation sélective des arbres) répond aux besoins en produits du bois sur des zones de plantation plus petites; ce qui permet de conserver davantage de forêts naturelles et de zones forestières protégées. De plus, en sélectionnant des « arbres plus » dans les provinces maritimes et dans l'État du Maine aux États-Unis, la diversité génétique des plantations en cours d'établissement a augmenté par rapport aux collectes de graines sauvages.

### Canada atlantique

Le Canada atlantique dispose d'un programme actif d'hybridation des arbres depuis 40 ans, au cours desquels au moins 750 millions de semis cultivés de façon sélective ont été plantés dans la région, couvrant environ 340 000 ha. Dans le cadre de l'une des seules tentatives existantes d'estimation de la valeur économique associée à des ressources génétiques particulières, Adams (2020) a estimé que le gain de plus de sept millions de mètres cubes de bois résultant de cet effort de reboisement, d'une valeur du bois sur pied de 15 \$/m<sup>3</sup>, était évalué à plus de 100 millions de dollars.

#### **1.4. Contributions des ressources génétiques forestières au développement durable**

En Colombie-Britannique, les ressources génétiques contribuent au développement durable<sup>1</sup>, en améliorant les performances de croissance et d'adaptation liées à la tolérance au climat et à la résistance aux parasites pour les plus de 300 000 000 d'arbres plantés chaque année. Ces caractéristiques de croissance et d'adaptation améliorées sont prises en compte dans les modèles de croissance, afin d'établir les futurs niveaux de coupe. Les acteurs du gouvernement provincial reconnaissent l'importance des produits forestiers pour l'économie, mais ils reconnaissent également qu'à l'avenir, il sera tout aussi important de disposer de plantations saines et bien établies, dotées du germoplasme approprié. Face à l'augmentation des pertes dues aux incendies et aux dégâts causés par les insectes ces dernières années, les efforts de reboisement à l'aide de matériel génétiquement approprié se multiplient.

En Alberta, comme au Nouveau-Brunswick, la perception est qu'au fur et à mesure que le rendement augmente grâce à l'hybridation sélective des arbres, les taux de récolte augmenteront sans étendre l'empreinte industrielle. L'hybridation sélective se traduisant par une croissance précoce rapide offre des possibilités de réduire les coûts d'établissement des peuplements et les intrants, tels que le contrôle de la concurrence chimique et mécanique.

Les récents changements apportés aux codes de construction de l'Alberta démontrent qu'il existe une grande possibilité d'accroître l'utilisation de matériaux de construction renouvelables et à faible teneur en carbone. La plupart des usines disposent désormais d'une certaine capacité de cogénération pour répondre à la demande croissante de biomasse pour l'énergie. La biogazéification est en cours de développement dans plusieurs décharges, afin de capter le méthane et de produire de l'énergie. Les produits à valeur ajoutée, tels que l'aboutage, le placage, les produits de finition et les fermes de toit fabriqués par de petites usines, ainsi que les fibres ayant des propriétés particulières, telles que la pâte à dissoudre ou les fibres longues augmentant le potentiel de recyclage, sont de plus en plus demandés. La croissance de toutes ces industries durables peut être soutenue en augmentant le niveau de déploiement des semences de vergers à gain génétique plus élevé, ainsi qu'en augmentant la capacité de sélection et d'amélioration des caractères propres à l'industrie.

Une proportion importante des forêts aménagées en Ontario est régénérée à l'aide de semences cultivées de façon sélective produites dans le cadre des programmes de gestion des ressources génétiques forestières (GRF) de l'Ontario; ce qui entraîne un certain nombre de contributions au développement durable. D'un point de vue économique, le matériel génétique cultivé de façon sélective permet d'augmenter le volume de bois récolté; ce qui contribue proportionnellement au PIB du pays, à la création d'emplois, au commerce international et au développement du nord de l'Ontario. L'augmentation de la productivité des plantations, grâce à l'hybridation sélective des arbres, permet de protéger l'environnement dans les forêts naturelles. L'énergie renouvelable sous forme de granules de bois peut contribuer à atténuer les

---

<sup>1</sup> Le concept de développement durable a été décrit par le rapport de la Commission Bruntland de 1987 comme un développement apte à « répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité de satisfaire ceux des générations futures. Le développement durable est à la fois sociétal, environnemental, culturel et économique. Ces quatre dimensions sont indissociables. »

<https://fr.unesco.org/themes/education-au-developpement-durable/comprendre-edd/developpement-durable>

changements climatiques grâce à un meilleur piégeage du carbone avec des arbres de plantation à croissance plus rapide et un volume de bois plus important pour la construction.

Au Québec, comme ailleurs, la prise en compte des RGF est à la base de tous les programmes d'hybridation des arbres, des vergers à graines et des zones de production de semences, et contribue à tous les semis cultivés de façon sélective actuellement utilisés dans les programmes de reboisement au Québec. L'atteinte du premier objectif des programmes de reboisement, qui est d'assurer une régénération adéquate à l'aide de matériel génétique approprié (lorsque la régénération naturelle fait défaut après la récolte), contribue directement au développement durable. Un deuxième objectif indirect est de faire en sorte que le déploiement de la foresterie intensive se fasse sur une petite partie du territoire provincial dans différentes régions du Québec, près des villages et des villes, afin de diminuer les pressions de récolte sur les forêts naturelles. Pour atteindre cet objectif, il a fallu suivre le principe selon lequel plus le gain génétique du matériel déployé est élevé, plus la superficie de foresterie intensive nécessaire pour obtenir un rendement donné de produits forestiers est réduite.

Au Nouveau-Brunswick, les gestionnaires de terres publiques commencent à récolter les avantages économiques d'arbres de haute qualité présentant moins de ramifications, une meilleure forme et une croissance plus rapide. Par conséquent, il est possible de récolter davantage de bois sur une zone donnée au cours d'une période de rotation plus courte que ce qui était possible avant le déploiement des plants cultivés de façon sélective. L'investissement dans les vergers à graines garantit un approvisionnement régulier en semences de haute qualité.

### **1.5. Priorités au renforcement des contributions des RGF au développement durable**

Les priorités à travers le pays sont les suivantes :

- 1) intégrer une composante plus solide en matière de santé des forêts dans les programmes d'amélioration, afin de tirer pleinement parti du matériel d'amélioration de génération avancée;
- 2) accroître le gain de productivité sans nuire à l'adaptation locale;
- 3) développer et déployer de nouvelles zones de semences et de nouvelles règles de transfert en réponse aux changements climatiques (la Colombie-Britannique passe rapidement à un système de transfert de semences basé sur le climat);
- 4) améliorer les programmes d'hybridation sélective des arbres pour les espèces prometteuses;
- 5) assurer la conservation *ex-situ* des ressources génétiques par le maintien d'essais de provenance et de descendance;
- 6) effectuer l'inventaire des RGF.

Dans le cadre de ces priorités, l'Alberta dispose d'un système officialisé visant à établir les priorités avec les clients et doit trouver un équilibre entre le développement économique et son mandat d'intendance (guidé par les règlements en matière de normes provinciales).

Le plus grand besoin relevé par toutes les compétences est celui d'une capacité interne accrue et d'un financement stable. La difficulté de remplacer les généticiens, les généticiens forestiers et les autres membres du personnel des programmes d'hybridation sélective des arbres a été

soulignée. Les fluctuations annuelles du financement ne permettent pas de soutenir de manière fiable la planification à long terme nécessaire au développement et au maintien adéquats des programmes de RGF. Une meilleure collaboration a également été signalée comme nécessaire au sein d'une compétence, soulignant qu'une plus grande collaboration en matière de recherche entre le gouvernement et les universités est nécessaire, ainsi qu'une amélioration continue de la collaboration entre les ministères.

### ***1.6. Perception des différentes parties prenantes quant à l'importance des ressources génétiques forestières***

Dans toutes les compétences, l'industrie forestière a la responsabilité de reboiser après la récolte. La disponibilité d'un approvisionnement suffisant en semences de bonne qualité est reconnue comme une priorité élevée et la plupart produisent ou recherchent du matériel cultivé de façon sélective. À des degrés divers, l'industrie a tendance à considérer l'établissement d'arbres à croissance rapide sur les terres exploitées comme important et l'hybridation sélective des arbres comme vitale pour atteindre cet objectif. Les ministères provinciaux et fédéraux reconnaissent largement la valeur de la diversité génétique, tant comme source de croissance économique durable grâce à l'hybridation sélective et aux initiatives génomiques que comme ressource pour la conservation des forêts.

De nombreuses universités participent à la recherche et à la formation sur les RGF, en collaborant de plus en plus avec les programmes provinciaux. En général, le milieu universitaire fait progresser la recherche fondamentale et les approches trouvant leur place dans la gestion des ressources génétiques et les programmes d'amélioration à un stade ultérieur; par exemple par le biais d'outils génomiques visant à aider à la sélection ou d'idées permettant d'optimiser le transfert de semences dans un contexte de normes climatiques changeantes.

Les organisations non gouvernementales reconnaissent et valorisent les ressources génétiques à des degrés divers. Alors que certains organismes ayant un mandat spécifique en matière d'espèces menacées sont très conscients de la valeur des ressources génétiques (p. ex., la Whitebark Pine Ecosystem Foundation of Canada et la Forest Gene Conservation Association en Ontario), d'autres ayant un mandat plus large ne reconnaissent pas explicitement les valeurs génétiques.

### ***1.7. Obstacles à une meilleure sensibilisation à la valeur des ressources génétiques forestières***

Le plus grand obstacle à la sensibilisation à la valeur et à l'importance des RGF est le manque de ressources financières, qui se traduit par une réduction du financement et du personnel. En Colombie-Britannique, le programme provincial de génétique forestière reçoit un fort soutien de l'industrie et du gouvernement depuis environ 60 ans. Dans cette province, le grand public soutient également la gestion des RGF. Au Québec, malgré la diminution des ressources provinciales en matière de dotation en personnel des programmes génétiques, l'importance des RGF a été enseignée au cours des 20 dernières années à l'Université Laval à tous les futurs forestiers professionnels, dans le cadre d'un cours obligatoire lié aux questions d'amélioration, de reboisement et de sylviculture. Cela contribue à une meilleure sensibilisation des jeunes forestiers. De plus en plus, les RGF sont également considérées comme un critère par les écologistes forestiers permettant d'établir de nouvelles zones de conservation. Toutefois, ces

avancées se démarquent du soutien généralement modeste apporté à la gestion des ressources génétiques. Dans d'autres régions du Canada, les programmes ou le nombre de professionnels qui travaillent sur les RGF sont en diminution et ne disposent pas des fonds nécessaires à la sensibilisation ou à la collaboration scientifique.

### ***Ouvrages cités***

Adams, G. 2020. Tree improvement in Atlantic Canada – Over 40 years and going strong. Tree Seed Working Group News Bulletin, Canadian Forest Genetics Association. N° 69 : 28 à 29.

Bioindustrial Innovation Canada. 2018. Canada's Bioeconomy Strategy: Leveraging our Strengths for a Sustainable Future. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 68 pages

<https://www.bincanada.ca/biodesign> page consultée en avril 2020.

Chamberland, V., F. Robichaud, M. Perron, N. Gélinas, J. Bousquet et J. Beaulieu, 2020. Conventional versus genomic selection for white spruce improvement: a comparison of costs and benefits of plantations on Quebec public lands. *Tree Genetics & Genomes*, 16(1) : 1 à 16.

Ressources naturelles Canada. 2020a. Propriété des terres forestières. 2020.

<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/forets/amenagement-forestier-durable-canada/propriete-des-terres-forestieres/17496>, page consultée en avril 2020.

Ressources naturelles Canada. 2020b. De quelle façon le secteur forestier contribue-t-il à l'économie du Canada? <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/forets/letat-forets-canada-rapport-annuel/lindustrie-forestiere-contribue/16518>, page consultée en avril 2020.

Statistique Canada. 2018. Exploitation forestière, 2018.

[https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/daily-quotidien/191223/dq191223e-fra.pdf?st=NIV\\_k-2W](https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/daily-quotidien/191223/dq191223e-fra.pdf?st=NIV_k-2W), page consultée en avril 2020.

Statistique Canada. 2020. Statistiques sur la population et la démographie.

[https://www.statcan.gc.ca/fr/sujets-debut/population\\_et\\_demographie](https://www.statcan.gc.ca/fr/sujets-debut/population_et_demographie), page consultée en avril 2020.

## Chapitre 2. État de la diversité dans les forêts

### 2.1 État des forêts au Canada

L'état général des forêts du Canada n'a pas beaucoup changé depuis 2012 (tableau 2.1). Les forêts et autres terres boisées du Canada représentent 44 % de l'assise territoriale du pays. La zone déboisée chaque année est très réduite, représentant 0,01 % de la superficie forestière en 2017; les causes les plus importantes de la déforestation étaient l'exploitation minière, l'exploration pétrolière et l'agriculture. L'exploitation forestière n'est pas comptabilisée comme un déboisement, étant donné que la régénération est considérée comme faisant partie du cycle de gestion forestière. Bien que le boisement ait lieu, la surface plantée annuellement est suffisamment limitée pour ne pas faire l'objet d'un suivi systématique.

La richesse en espèces d'arbres forestiers au Canada est modérée, mais la mesure de la diversité de l'homogénéité est très faible; de vastes étendues de terre étant couvertes d'une ou deux espèces d'arbres. Les genres d'arbres prédominants dans les forêts canadiennes (présentés au tableau 2.1) sont des résineux (près de 80 % en volume); cinq espèces du genre épinette (*Picea*) représentant près de 50 % de ce volume. Les écosystèmes les plus diversifiés en termes d'espèces se trouvent dans le sud de l'Ontario, où les « autres feuillus » représentent 0,5 % du volume total de la forêt sur pied du Canada.

Tableau 2.1. Aperçu de l'état des forêts du Canada (tiré de Ressources naturelles Canada 2020 et <https://cfs.nrcan.gc.ca/profilstats/aperçu/ca>).

| <b>Forêts et autres terres boisées par classification</b> | <b>Hectares (2017)</b> |
|---|------------------------|
| Terres forestières  | 347 039 050            |
| Autres terres boisées <sup>1</sup>                        | 40 865 660             |
| Autres terres dotées de couvert arboré <sup>2</sup>       | 8 498 940              |
| <b>Changement d'affectation du territoire forestier</b>   | <b>Hectares (2017)</b> |
| Boisement   | Négligeable            |
| Déboisement   | 35 386                 |
| <b>Type de forêt (terres forestières uniquement)</b>      | <b>Pourcentage</b>     |
| Conifères   | 67,8 %                 |
| Mixte   | 15,8 %                 |
| Feuillus  | 10,5 %                 |
| Temporairement non boisé                                  | 5,9 %                  |
| <b>Propriété des forêts</b>                               | <b>Pourcentage</b>     |
| Provinciale   | 76,6 %                 |



|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Territoriale   | 12,9 %                          |
| Propriété privée   | 6,2 %                           |
| Autochtone   | 2,0 %                           |
| Fédérale   | 1,6 %                           |
| Municipale   | 0,3 %                           |
| Autre  | 0,4 %                           |
| <b>Volume sur pied</b>   | <b>Millions de mètres cubes</b> |
| Volume total   | 47 320                          |
| <b>Genre principaux d'arbre (terres forestières seulement)</b> | <b>Pourcentage en volume</b>    |
| Épinette   | 47,3 %                          |
| Pin  | 11,9 %                          |
| Sapin  | 7,4 %                           |
| Pruche   | 5,8 %                           |
| Douglas taxifolié  | 3,5 %                           |
| Mélèze   | 0,6 %                           |
| Cèdres et autres conifères                                     | 2,7 %                           |
| Conifères non spécifiés  | 0,7 %                           |
| Peuplier   | 13,1 %                          |
| Bouleau  | 3,3 %                           |
| Érable   | 3,0 %                           |
| Feuillus divers  | 0,5 %                           |
| Feuillus non spécifiés   | 0,2 %                           |
| Non classifié  | 0,1 %                           |
| <b>Utilisation des terres</b>                                  | <b>Milliers d'hectares</b>      |
| Agriculture  | 62 154,3                        |
| Conservation   | 83 508,9                        |
| Foresterie   | 258 604,3                       |
| Industrie  | 472,8                           |
| Infrastructure   | 8 051,9                         |
| Défense nationale  | 2 314,1                         |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>Loisirs</b>       | 70 443,7  |
| <b>Établissement</b> | 4 453,0   |
| <b>Inconnu</b>       | 158 350,7 |
| <b>Total</b>         | 648 353,6 |

1. Les « Autres terres boisées » correspondent à la définition de la FAO, à savoir des terres où le couvert arboré couvre 5 à 10 % de la superficie totale et où les arbres, à maturité, peuvent atteindre une hauteur d'au moins 5 mètres, ou bien où des arbres, arbustes et buissons couvrent plus de 10 % de la superficie (milieux humides arborés et terres sur lesquelles poussent des arbres à faible croissance et des arbres épars).

2. Les « Autres terres dotées de couvert arboré » correspondent à la définition de la FAO, à savoir les terres où le couvert arboré s'étend sur plus de 10 % de la superficie totale et où les arbres, à maturité, peuvent atteindre une hauteur d'au moins 5 mètres (zones boisées dans les fermes, les vergers, les parcs, les jardins).

Le Canada rend compte des indicateurs de durabilité conformément au Processus de Montréal, qui sont également utilisés pour rendre compte des progrès accomplis dans la réalisation des objectifs de développement durable des Nations Unies. Les indicateurs de durabilité sont utilisés au niveau national à trois fins (Ressources naturelles Canada, 2020) :

1. fournir des renseignements essentiels sur l'état et l'évolution des forêts canadiennes;
2. souligner les besoins d'hybridation sélective des arbres dans le cadre de pratiques et de politiques de gestion durable des forêts;
3. fournir des renseignements fiables pour les discussions et les initiatives liées aux performances environnementales et au commerce.

Les indicateurs mesurés au Canada sont énumérés au tableau 2.2, accompagnés d'un résumé de leur état actuel. Les douze premiers indicateurs fournissent des renseignements sur la forêt et la durabilité environnementale. Les neuf autres indicateurs concernent la durabilité de l'industrie forestière d'un point de vue économique et social.

**Tableau 2.2** Indicateurs de durabilité du Canada et brèves descriptions de la situation.

| <b>Indicateur</b>                   | <b>Statut</b>  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Conditions environnementales</b> |  |
| Superficie forestière               | Entre 1990 et 2018, moins de 0,5 % de la superficie forestière a été perdue; la plus grande réduction de superficie ayant été enregistrée dans l'écorégion des prairies (perte de 6,5 %), les plaines à forêts mixtes (perte de 2 %) et les plaines boréales (perte de 1,5 %). La plupart des surfaces perdues ont été converties à l'agriculture. |
| Déboisement et boisement            | Le taux de déforestation du Canada est très faible et en baisse. Entre 1990 et 2017, la déforestation annuelle a diminué, passant de 64 000 ha à 35 000 ha. Le boisement a lieu à un niveau très faible par rapport à la superficie forestière.  |

| <b>Indicateur</b>  | <b>Statut</b>   |
|--|---|
| Volume de bois   | Sur la période allant de 1990 à 2016, le volume de bois a diminué, passant de 47 625,38 à 45 107,59 millions de mètres cubes, principalement en raison des répercussions des perturbations naturelles. Au cours de cette période, la superficie des forêts touchées par les incendies et les insectes a été 20 fois supérieure à celle touchée par l'exploitation et la déforestation.  |
| Superficie forestière à l'intérieur d'aires protégées            | La superficie a plus que doublé depuis 1990, passant de 13 546,00 à 29 507,00 milliers d'hectares; 8,5 % de la forêt canadienne se trouve dans des zones protégées. En 2018, le gouvernement du Canada a annoncé un financement de 1,3 milliard de dollars, afin d'accroître l'étendue des zones protégées et améliorer celles existant déjà, notamment en utilisant les données d'inventaire forestier pour caractériser les forêts protégées.   |
| Superficie récoltée  | En 2017, environ 756 000 ha de forêts ont été récoltés; cela représente une baisse de 1,9 % par rapport à 2016 et de 24 % par rapport à la superficie moyenne récoltée entre 1995 et 2005. Ce déclin est en grande partie dû à l'augmentation de la superficie des forêts endommagées par les insectes (dendroctone du pin ponderosa) et les incendies. La superficie récoltée annuellement représente moins de 0,5 % de la superficie forestière totale.   |
| Régénération   | La réussite de la régénération est requise pour obtenir les permis de récolte sur les terres de la Couronne; plus de 50 % de la zone récoltée a été régénérée artificiellement au cours des 20 dernières années. En 2017, 572 millions de plants ont été plantés sur 396 000 ha. Le nombre de plants et la superficie plantée en 2017 étaient tous deux supérieurs d'au moins 6 % à la moyenne décennale.   |
| Volume récolté par rapport à l'approvisionnement durable en bois | L'approvisionnement durable en bois pour 2017 s'élève à 219,6 millions de mètres cubes; en baisse de 3,5 millions de mètres cubes par rapport à 2016. La récolte de 2017 (155,2 m <sup>3</sup> ) est bien inférieure à la récolte durable.  |
| Superficie forestière soumise à un plan de gestion à long terme  | Plus de la moitié (57,6 %) des terres forestières du Canada sont dotées d'un plan d'aménagement à long terme (10 ans ou plus), y compris les zones gérées pour la production de bois et les zones protégées; ce qui représente une augmentation de 8 % depuis 1990. L'élaboration de plans de gestion suit un processus rigoureux exigeant, dans la plupart des cas, la participation de l'industrie forestière, des organismes gouvernementaux, des collectivités autochtones, du public et d'autres intervenants. |
| Insectes forestiers  | Les insectes ou les agents pathogènes sont, après les feux de forêt, le deuxième facteur d'incidence sur les forêts du Canada. Les insectes ont   |

| Indicateur                                     | Statut  |
|--|---|
|  | touché 15,6 millions d’hectares de terres forestières en 2017; c’est-à-dire 1 % de moins que l’année précédente. Au Québec, la tordeuse des bourgeons de l’épinette a été l’insecte ou l’agent pathogène le plus important en termes de superficie touchée. En 2017, le dendroctone du pin ponderosa était à son point le plus bas depuis 10 ans.   |
| Maladies des forêts                            | Les gestionnaires forestiers gèrent les maladies par l’amélioration des arbres et la sylviculture afin de réduire les répercussions. Les agents pathogènes forestiers réduisent la croissance et diminuent la productivité, mais la gravité et la superficie des dommages dans les forêts du Canada n’ont pas été estimées. Les facteurs abiotiques, y compris ceux associés aux changements climatiques, influent sur la gravité des agents pathogènes.  |
| Incendies de forêt                             | Plus de 7 000 feux de forêt ont brûlé près de 2,3 millions d’hectares de forêt en 2018; ce qui est proche de la moyenne sur 20 ans, mais des incendies graves se sont produits dans des endroits inhabituels, comme l’île de Vancouver. Les incendies de forêt en Colombie-Britannique continentale se sont produits dans de vastes zones de pins tués au cours de la dernière décennie par le dendroctone du pin ponderosa.  |
| Émissions et absorptions de dioxyde de carbone | Les forêts canadiennes ont enregistré des émissions nettes estimées à environ 217 millions de tonnes de carbone en 2017. La gestion des forêts et l’utilisation des produits du bois constituent un puits d’environ 20 millions de tonnes de CO <sub>2</sub> . Une superficie totale d’environ 1,5 million d’hectares de terres forestières gérées a été brûlée par des incendies de forêt en 2017; ce qui a augmenté le taux d’émission net de CO <sub>2</sub> .                               |
| <b>Social et économique</b>                    |   |
| Emploi   | Le secteur forestier canadien employait 210 615 personnes en 2018; ce qui représente une légère baisse par rapport à 2017. L’industrie des pâtes et papiers a été confrontée à une baisse continue de la demande en produits du papier et les industries de fabrication de produits du bois ont subi une baisse des prix de ces produits. Ces deux facteurs ont contribué à une réduction de l’emploi, mais le nombre d’emplois a augmenté dans les activités liées à la gestion des incendies. |
| Revenu moyen                                   | Le salaire moyen dans le secteur forestier est en baisse de 3,9 % en 2018 par rapport à 2017, mais reste supérieur au salaire moyen de l’ensemble du secteur manufacturier.   |
| Communautés                                    | Environ 31 % de la population canadienne, dont environ 70 % des Autochtones, vivent dans des forêts ou à proximité. Environ 300 collectivités, dont 2 % de la population canadienne, dépendent du   |

| Indicateur   | Statut   |
|--|--|
|  | secteur forestier pour leurs emplois et leurs revenus. De nombreux avantages moins faciles à mesurer découlent également de la forêt pour ceux qui vivent à proximité.   |
| Produit intérieur brut                               | Le produit intérieur brut nominal du Canada comprenait 25,8 milliards de dollars (1,2 %) découlant de l'industrie forestière en 2018. La contribution de l'industrie forestière au PIB a diminué de 1 % par rapport à l'année précédente, tandis que l'économie globale a augmenté de 2,3 %. La baisse de la contribution de l'industrie forestière est principalement due à la faiblesse de la demande en produits du bois et du papier.  |
| Production   | La production forestière est demeurée à peu près constante au cours des dix dernières années, à l'exception d'une croissance de la production de panneaux de bois de construction. Le Canada est le premier producteur mondial de papier journal, mais la demande de ce produit diminue dans le monde entier.  |
| Exportations   | Les exportations de produits forestiers canadiens sont en hausse pour la sixième année consécutive; la valeur totale des exportations ayant augmenté de 53 % entre 2012 et 2018. La valeur de la pâte à papier et du papier d'impression et d'écriture a augmenté entre 17 et 18 % de 2017 à 2018, en raison de la hausse des prix. Le Canada est le quatrième exportateur mondial de produits forestiers et occupe la première place pour l'exportation de bois d'œuvre et de papier journal. |
| Rendement financier                                  | Ce rendement s'est amélioré pour la septième année consécutive avec une augmentation des bénéfices d'exploitation et un rendement accru des dépenses en capital; ce qui indique une industrie forestière hautement compétitive.  |
| Fabrication secondaire                               | Le PIB réel de l'industrie secondaire a diminué de 11 % entre 2008 et 2018. Elle représentait 35 % de la contribution totale de la fabrication de produits forestiers en 2018.   |
| Émissions de dioxyde de carbone du secteur forestier | Les émissions totales de gaz à effet de serre de l'industrie forestière dues à l'utilisation de combustibles fossiles ont diminué de 38 % au cours des dix dernières années, tandis que la consommation d'énergie est demeurée stable sur la même période. Cette réduction est en grande partie due à la production d'électricité à partir de la bioénergie.   |

Deux nouveaux indicateurs ont été ajoutés en 2019 : « Superficie forestière à l'intérieur de zones protégées » et « Superficie forestière soumise à un plan de gestion à long terme ». Ils sont tous deux pertinents en matière de situation des ressources génétiques forestières (RGF).

Même si les zones protégées ne sont pas conçues spécifiquement pour conserver les ressources génétiques, elles sont reconnues comme d'importantes sources potentielles de diversité génétique forestière. Bien que la valeur des zones protégées spécifiquement pour la conservation génétique des arbres forestiers ait été remise en question, il est communément admis qu'un habitat naturel étendu et non perturbé est nécessaire pour maintenir des populations d'arbres permettant une évolution adaptative par rapport aux changements climatiques. L'exigence d'un plan de gestion à long terme des zones protégées est particulièrement importante pour la gestion des RGF, car les décisions de gestion actuelles ont des répercussions à long terme sur la diversité génétique des forêts. En l'absence d'une planification à long terme de la diversité génétique forestière, la gestion adéquate risque d'être fragmentaire et accidentelle; se traduisant par une protection inadéquate des RGF en général. La gestion des zones protégées a considérablement augmenté au cours des 30 dernières années, bien qu'il n'existe actuellement aucun mécanisme formel de protection des RGF.

## ***2.2. Tendances touchant les forêts et leur gestion***

Les changements climatiques en cours et les modifications associées aux régimes des incendies, ainsi que les dégâts causés par les insectes ou les agents pathogènes, constituent les tendances les plus importantes touchant les ressources forestières. En Colombie-Britannique, par exemple, trois des dix plus grands incendies du siècle se sont produits au cours des six dernières années (Ressources naturelles Canada, 2020). L'analyse des données climatiques historiques recueillies en Colombie-Britannique révèle de nombreux changements touchant actuellement les écosystèmes terrestres et qui sont pertinents pour les régimes des incendies (British Columbia Ministry of Environment, 2016). Entre 1900 et 2013, la température annuelle moyenne en Colombie-Britannique a augmenté de 1,4 °C; les régions du nord se réchauffant plus que la moyenne. En particulier, la température moyenne minimale nocturne sur la même période a augmenté de 3,1 °C et les précipitations ont augmenté parallèlement. L'activité du feu et des insectes ou agents pathogènes peut s'accélérer en présence d'une énergie thermique accrue; les effets des insectes ou pathogènes pouvant être encore exacerbés par le stress de la sécheresse que subissent les arbres en présence d'une température ambiante supérieure. Ces effets interagissent avec les précipitations, mais les données manquent quant à la relation de ce facteur variable selon les régions avec le feu et l'activité des insectes ou des agents pathogènes.

L'approvisionnement en bois est estimé comme étant la somme des calculs de coupe annuelle permise (CAP) pour les terres forestières aménagées dans toutes les compétences provinciales, territoriales et fédérales. Les forêts retirées des exploitations commerciales pour l'établissement de parcs influencent l'approvisionnement en bois, tout comme les répercussions des incendies et des insectes ou agents pathogènes. L'offre en bois et la récolte forestière nette (une proportion de la CAP) fluctuent principalement en fonction des marchés. Ces dernières années, l'innovation industrielle, y compris la mise à profit de la bioéconomie émergente, a entraîné une diminution de la demande en récolte forestière au Canada. Cette tendance s'explique par une réduction de la demande dans les marchés du papier journal et du bois d'œuvre, ainsi que par une transition vers une économie moins dépendante du carbone en général. L'offre en bois a diminué depuis 2009, après être demeurée relativement constante pendant près de 30 ans. Le niveau de récolte forestière s'est replié à environ 65 % après le krach

immobilier de 2008, puis a augmenté pour atteindre 71 % en 2017 (Gouvernement du Canada, 2020).

### **2.3. Moteurs du changement dans le secteur forestier et leurs conséquences pour les ressources génétiques forestières**

Les changements climatiques sont un facteur majeur de changement dans les forêts et le secteur forestier, à la fois directement et indirectement par le biais de répercussions liées aux incendies, aux insectes ou aux agents pathogènes sur la fonction de l'écosystème forestier et sur la santé ou la composition des arbres, avec des changements conséquents dans la gestion des parcs et des forêts urbaines et des répercussions sur les moyens de subsistance de l'homme. Par exemple, bien que la superficie totale des terres forestières du Canada brûlées par le feu n'ait pas augmenté de manière significative au cours des 20 dernières années, les incendies de ces dernières années se sont produits dans des endroits où ils étaient historiquement peu fréquents. En Colombie-Britannique, de vastes zones de pins tués par des dendroctones en raison des changements climatiques ont brûlé en 2018 (Ressources naturelles Canada, 2020). À titre de deuxième exemple, les changements climatiques altèrent également les ressources génétiques des arbres par la perte d'habitat (p. ex., *Pinus albicaulis* et *Pinus monticola*, McLane et Aitken, 2012; Liu et coll., 2016). Les effets des changements climatiques ont mis en évidence la nécessité vitale de gérer efficacement la diversité génétique des arbres, car la variation génétique disponible est une ressource naturelle essentielle pour la réponse adaptative ou la résilience des arbres aux contraintes résultant des changements climatiques (Aitken et Bemmels, 2016).

Les espèces exotiques envahissantes forestières (EEEF; insectes ou agents pathogènes) constituent un deuxième facteur de changement important dans le secteur forestier, tant dans les forêts naturelles qu'urbaines (Toronto and Region Conservation Authority, 2020; tableau 2.3). Des populations d'espèces d'arbres ont été perdues au profit d'espèces envahissantes, emportant avec elles une diversité génétique non documentée. Comme les effets des changements climatiques mentionnés ci-dessus, les répercussions d'espèces envahissantes soulignent la nécessité d'inventorier et de conserver la diversité génétique des arbres en tant que ressource naturelle non renouvelable pour la variation adaptative ou la résistance à l'incidence des EEEF (Forest Gene Conservation Association, 2018).

**Tableau 2.3.** Ampleur de la défoliation forestière par des insectes ou des agents pathogènes, et pertes dues aux incendies, entre 2012 et 2018.

| <b>Perturbation<sup>1</sup></b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Insectes</b>                 |             |             |             |             |             |             |             |
| Toutes les espèces d'insectes   | 8 796 129   | 20 129 334  | 20 391 494  | 15 730 947  | 15 489 117  | 15 628 659  |             |
| Diprion du sapin                |             |             |             |             | 591         |             |             |
| Livrée des forêts               |             |             |             | 4 841 071   | 4 013 393   |             |             |
| Spongieuse                      |             |             |             | 757         |             |             |             |

| <b>Perturbation<sup>1</sup></b>      | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tordeuse de pin gris                 |             |             |             | 24 634      | 206 849     |             |             |
| Dendroctone du pin ponderosa         | 3 016 228   | 2 973 935   | 2 208 687   | 1 447 954   | 376 669     | 332 259     |             |
| Dendroctone de l'épinette            |             |             |             | 242 877     | 291 972     |             |             |
| Tordeuse des bourgeons de l'épinette | 1 792 062   | 2 777 998   | 3 583 700   | 5 235 854   | 4 970 951   |             |             |
| Tordeuse occidentale de l'épinette   |             |             |             | 9 135       | 3 426       |             |             |
| Autres insectes                      |             |             |             | 3 928 665   | 5 625 266   |             |             |
| <b>Incendies</b>                     |             |             |             |             |             |             |             |
| Total brûlé                          | 2 003 270   | 4 210 137   | 4 563 327   | 3 861 647   | 1 416 053   | 3 371 833   | 2 272 274   |
| Nombre de feux                       | 7 956       | 6 264       | 5 158       | 7 140       | 5 203       | 5 611       | 7 067       |

1. Toutes les mesures sont exprimées en hectares, sauf pour la dernière ligne (dénombrement).

La réussite de la régénération est exigée par les autorités des terres publiques provinciales et cela peut être accompli par la régénération naturelle, la plantation ou l'ensemencement. La superficie ensemencée a augmenté entre 2012 et 2017 et la superficie totale régénérée artificiellement (ensemencée ou plantée) est relativement stable depuis 2017 (tableau 2.4). Le pourcentage de la superficie récoltée régénérée artificiellement a varié, passant de 50 % (2012) à 58 % (2013 et 2014) au cours de cette période. La plupart des graines utilisées dans la régénération artificielle proviennent de vergers à graines et la variation génétique représentée par les graines peut être étroite, notamment en termes d'allèles rares. Malgré tout, la régénération artificielle permet aux gestionnaires de faire correspondre la source de graines aux conditions environnementales; pratique considérée comme de plus en plus importante dans les tentatives de régénération des forêts exploitées avec des génotypes potentiellement bien adaptés aux conditions climatiques locales ou aux pressions exercées par les insectes ou les agents pathogènes.

**Tableau 2.4.** Récolte forestière et reboisement.

| <b>Répercussion<sup>1</sup></b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Récolte</b>                  |             |             |             |             |             |             |
| Superficie récoltée             | 711 411     | 745 800     | 714 489     | 778 331     | 766 659     | 756 295     |



| <b>Répercussion<sup>1</sup></b> | <b>2012</b>    | <b>2013</b> | <b>2014</b>    | <b>2015</b>    | <b>2016</b>    | <b>2017</b>    |
|---------------------------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Volume récolté                  | 153 184<br>768 | 155 530 548 | 155 135<br>729 | 160 163<br>661 | 156 743<br>605 | 156 717<br>595 |
| <b>Régénération</b>             |                |             |                |                |                |                |
| Superficie plantée              | 348 730        | 420 494     | 403 006        | 415 264        | 410 221        | 409 559        |
| Superficie ensemencée           | 10 540         | 11 197      | 11 906         | 13 050         | 15 790         | 17 866         |
| <b>Certification de tiers</b>   |                |             |                |                |                |                |
| Superficie certifiée            | 147 928<br>855 | 152 937 728 | 160 856<br>360 | 166 163<br>538 | 167 797<br>442 | 169 865<br>528 |

1. La superficie est exprimée en hectares; le volume, en mètres cubes.

#### **2.4. Défis et possibilités de conservation, développement et utilisation des ressources génétiques forestières**

##### *Défis*

Les représentants provinciaux ont indiqué que le changement climatique était un défi pressant. La Colombie-Britannique met en œuvre la stratégie de transfert de semences basé sur le climat, afin d'accélérer l'adaptation aux effets locaux des changements climatiques. L'objectif de ce transfert est de garantir que les forêts seront saines, résilientes et productives, en faisant correspondre la source de semences aux sites de plantation en fonction des conditions climatiques locales projetées spécifiques au site. Bien qu'il soit proactif, cet effort de gestion pose des défis en matière de prévision des régimes climatiques futurs et des géotypes les mieux adaptés à ces conditions, ainsi qu'en matière de préparation des populations d'arbres reproducteurs, de la composition des vergers à graines ainsi que de l'achat et du déploiement des semences afin de donner suite à ces prévisions. Alors que la province gère en se basant sur les réponses moyennes des prédictions (p. ex., les calculs de la valeur d'amélioration, les surfaces de réponse aux changements climatiques), les forestiers doivent gérer la variabilité de conditions climatiques réalisées à l'échelle de la variation intrasite. La politique provinciale ne tient pas compte de cette échelle spatiale fine de manière adéquate dans ses plans de récolte du bois et dans la résolution de tous les problèmes que l'industrie pourrait rencontrer pour obtenir des accessions d'arbres appropriées. En particulier, l'établissement de forêts plus résilientes nécessite une recherche détaillée qui doit être partagée entre le gouvernement et l'industrie. À ce sujet, les répercussions croissantes des incendies, des insectes ou des agents pathogènes et des maladies dans le cadre de changements climatiques relativement rapides diminuent les avantages de la gestion des RGF et, par conséquent, le soutien industriel à cette pratique. Les organismes gouvernementaux devront, par conséquent, investir considérablement dans la recherche et la gestion des RGF.

L'amélioration de traits multiples est un défi relevé par deux compétences provinciales. La complexité de cette question s'est accrue avec la nécessité de combiner les anciens caractères adaptatifs prioritaires à ceux qui concernent la bioéconomie émergente. Une contrainte inhérente à ce défi est que la sélection d'indices multitraits n'est possible que dans les cas où les traits sont fortement corrélés; ce qui pose un défi pour la diversification des besoins en produits forestiers.

Toutes les compétences ont signalé que l'accès à un financement cohérent et adéquat pour les programmes d'amélioration à long terme représente un défi permanent. Au fur et à mesure que les programmes d'hybridation sélective des arbres arrivent à maturité, la gestion de l'avancement des générations au sein des populations en sélection devient plus complexe; toutefois, les ressources pour ce faire continuent à manquer ou à varier d'une année à l'autre.

### *Possibilités*

Les changements climatiques et les menaces que posent les insectes et les agents pathogènes (y compris les EEEF) offrent des possibilités pour les RGF au Canada. Dans l'ensemble, ils stimulent la recherche et la conservation des RGF visant à favoriser la résilience et l'adaptation du matériel végétal aux nouvelles menaces biotiques et abiotiques. La demande accrue en matériel adapté au climat nécessite une évaluation génétique afin de choisir le matériel approprié; ce qui favorise les révisions du transfert de semences. Des efforts similaires ont été entrepris pour développer la résistance aux insectes et aux agents pathogènes chez des espèces comme l'orme (*Ulmus americana*), le pin blanc (*Pinus strobus*), le noyer cendré (*Juglans cinerea*) et le hêtre (*Fagus grandifolia*). Plus généralement, il est indispensable d'inventorier la diversité génétique spécifique aux espèces dans les forêts naturelles, afin de relever les niveaux existants de cette ressource non renouvelable et de donner la priorité à des peuplements en vue de la conservation des RGF.

Les pressions humaines accrues sur les terres forestières productives ont également incité la recherche en RGF, afin de répondre aux demandes de production plus élevée sur des surfaces réduites. L'Ontario prévoit, par exemple, de doubler le volume récolté tout en demeurant dans les limites de sa CAP, en plantant davantage de semis cultivés de façon sélective pour augmenter la productivité et assurer la durabilité de l'approvisionnement en bois.

Plusieurs tendances connexes influent sur les progrès réalisés en matière d'inventaire et de développement des RGF du Canada. Premièrement, la consolidation de l'industrie forestière au cours des dernières années a amélioré les perspectives de gestion forestière, étant donné que les grandes entreprises sont plus susceptibles de disposer de programmes d'hybridation sélective des arbres. L'initiative canadienne des 2 milliards d'arbres, annoncée par le gouvernement libéral en 2019, offre des occasions supplémentaires de soutenir l'amélioration des arbres, notamment si l'on considère le besoin de matériel de plantation adapté aux climats futurs. Enfin, les crédits carbone peuvent fournir l'occasion d'avantages supplémentaires d'hybridation sélective des arbres, si les arbres sélectionnés se développent plus rapidement.

### **Ouvrages cités**

Aitken, S.N. et J.B. Bemmels, 2016. Time to get moving: assisted gene flow of forest trees. *Ecological Applications* 9(1) : 271 à 290.

British Columbia Ministry of Environment. 2016. Indicators of Climate Change for British Columbia 2016 Update [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/reporting/envreportbc/archived-reports/climate-change/climatechangeindicators-13sept2016\\_final.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/reporting/envreportbc/archived-reports/climate-change/climatechangeindicators-13sept2016_final.pdf), consulté en septembre 2020. Page consultée en septembre 2020.

Forest Gene Conservation Association. 2018. <https://fgca.net/programs/>, page consultée en septembre 2020.

Gouvernement du Canada. 2020. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/durabilite-recolte-bois-oeuvre.html>, page consultée en septembre 2020.

Liu, J.J., R. Sniezko, M. Murray, N. Wang, H. Chen, A. Zamany, R.N. Sturrock, D. Savin et A. Kegley, 2016. Genetic diversity and population structure of whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) in western North America. *PloS One* 11(12).

McLane, S.C. et S.N. Aitken, 2012. Whitebark pine (*Pinus albicaulis*) assisted migration potential: testing establishment north of the species range. *Ecological Applications* 22(1) : 142 à 153.

Ressources naturelles Canada. 2020. L'état des forêts au Canada : Rapport annuel 2019. Ottawa, Canada. 77 p. <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/forets/letat-forets-canada-rapport-annuel/16497>

Toronto and Region Conservation Authority. 2020. <https://trca.ca/conservation/habitat-protection-regeneration/emerald-ash-borer/>, page consultée en septembre 2020.

### **Chapitre 3. État de la diversité dans les autres terres boisées**

Le présent chapitre présente les grandes lignes de l'état des autres terres boisées et des autres terres dotées de couvert arboré au Canada ainsi qu'un examen des tendances qui les façonnent. Il indique les principaux moteurs de changement et analyse leurs conséquences, notamment en matière de ressources génétiques forestières (RGF).

Les autres terres boisées désignent une zone : 1) où le couvert couvre 5 à 10 % de la superficie totale et où un arbre à maturité peut atteindre une hauteur d'au moins 5 mètres, ou bien 2) où des espèces ligneuses (arbustes/arbres) couvrent plus de 10 % de la superficie, à l'exclusion des zones urbaines et agricoles (Ressources naturelles Canada, 2018). Il s'agit notamment des milieux humides arborés (marécage et bogs) et d'autres terres sur lesquelles poussent des arbres épars et à faible croissance.

La FAO définit les autres terres boisées essentiellement de la même manière; Ressources naturelles Canada et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2018) définissent en outre les « autres terres dotées de couvert arboré » comme des terres n'étant pas classées dans les catégories des forêts ou des autres terres boisées, mais qui s'étendent sur plus de 0,5 ha et sont dotées d'un couvert de plus de 10 % d'arbres pouvant atteindre une hauteur de 5 mètres à maturité. Cela inclut l'agroforesterie et les arbres en milieu urbain. Le tableau 3.1 définit chaque type de terres arborées en dehors des forêts.

#### **3.1. État des autres terres boisées et des autres terres dotées de couvert arboré**

Les autres terres boisées et les autres terres dotées de couvert arboré représentent environ 12,5 % de l'ensemble des terres arborées au Canada, couvrant environ 5 % de la superficie terrestre du pays. Les autres terres boisées se composent essentiellement de terres humides boisées et couvrent 40 865 660 ha, principalement dans la région de la forêt boréale. Les autres terres arborées, y compris les forêts urbaines et les terres agricoles arborées, représentent 8 498 940 ha (Ressources naturelles Canada, 2020). Ces terres ont une importance disproportionnée dans la fourniture de services écosystémiques. Des données sont nécessaires pour évaluer la gestion durable des ressources naturelles et la conservation des espèces sur ces terres, mais également pour déterminer leurs émissions de gaz à effet de serre (Lowe et coll., 2000; Smith et coll., 2018).

Les terres humides désignent des terres dont le sol est saturé d'eau en permanence ou la plupart du temps, comme le montrent des sols mal drainés ainsi que la végétation et l'activité biologique adaptées aux environnements humides (Gouvernement du Canada, 2010). Le Groupe de travail national sur les terres humides (1997) a classé les terres humides en fens, bogs, marécages, marais et eaux peu profondes. Les fens, bogs et marécages peuvent comprendre des arbres; une grande partie des terres humides arborées du Canada sont des marécages. Le Groupe de travail national sur les terres humides (1997) a souligné que :

*« Au Canada, le terme marécage sert à nommer les terres humides et les tourbières boisées. Les marécages arborés sont également appelés forêt marécageuse ou terre humide forestière. Un marécage peut se définir comme étant une terre humide dominée par les arbres ou les grands arbustes (aussi appelés taillis) et influencée par l'eau souterraine minerotrophe, sur des sols minéraux ou organiques. Les principales particularités de la classe des marécages sont la*

*dominance d'une végétation de grands arbres qui couvrent en général 30 % du tapis végétal, et la tourbe riche en arbres prescrite par cette végétation . »*

Les terres humides font partie des écosystèmes les plus productifs de la planète. Au Canada, les terres humides boisées sont la composante la plus importante des terres boisées non classées comme forêts, en termes de superficie, de biodiversité et de fourniture de divers services écosystémiques. Toutefois, des renseignements précis concernant la localisation et l'étendue des terres humides boisées font défaut.

Au Canada, la superficie totale des terres humides classées par le gouvernement fédéral est d'environ 129 millions d'hectares, soit 13 % de la superficie terrestre du Canada et près de 25 % des terres humides restantes dans le monde. Cependant, les images de réflectance de surface Landsat-8 indiquent que les terres humides couvrent en fait plus de 35 % de la superficie du Canada et que 40 % de cette superficie pourrait être boisée (Amani et coll., 2018). Si 40 % des terres humides définies plus étroitement par Environnement et Changement climatique Canada (2016) sont boisées, cela représente 51,6 millions d'hectares. Néanmoins, une partie de cette zone est classée au niveau fédéral comme forêt parce que la couverture de la canopée dépasse 10 %. Environ 80 % des terres humides canadiennes sont situées dans la forêt boréale. Dans la forêt boréale, la plupart des terres humides canadiennes se trouvent dans trois écozones : le Bouclier boréal (25 % de la superficie des terres humides canadiennes), les Plaines hudsoniennes (21 %) et les Plaines boréales (18 %). Les terres humides constituent près de 80 % des plaines hudsoniennes. En revanche, les écozones montagneuses, comme la Cordillère Arctique (moins de 0,5 %) et la Cordillère montagnarde (moins de 2 %), comptent de très faibles proportions de terres humides canadiennes (Environnement et Changement climatique Canada, 2016).

Tableau 3.1 Types d'autres terres boisées et d'autres terres dotées de couvert arboré.

| Types de terres              | Définition  | Région   | Superficie (ha) |
|------------------------------|---|--|-----------------|
| <b>Autres terres boisées</b> |   |  | 40 865 660      |
| Terres humides boisées       | Zones où la nappe phréatique est à la surface ou sous la surface avec de l'eau stagnante ou courante et où la végétation est caractérisée par des arbres ou des arbustes de plus de 1 m de hauteur (Amani et coll., 2018) | Plus de 80 % dans la forêt boréale   |                 |
| Arbres épars                 | Zones où un environnement difficile ou un faible taux d'humidité empêche le développement d'une canopée forestière continue   | Limite septentrionale des arbres, zones montagnardes de l'ouest, savane carolinienne |                 |

| Types de terres                               | Définition   | Région  | Superficie (ha) |
|---|--|---|-----------------|
| <b>Autres terres dotées de couvert arboré</b> |  |   | 8 498 940       |
| Brise-vent                                    | Arbres de différentes tailles plantés linéairement le long des fermes ou des champs agricoles pour protéger ou abriter les infrastructures, les équipements, le bétail, les cultures et le sol du vent ou d'autres conditions climatiques (Ha, 2019; Kulshreshtha et coll., 2019). | Manitoba, Saskatchewan, Alberta et Colombie-Britannique (région de la rivière de la Paix) |                 |
| Zones riveraines                              | Zone tampon arborée entre les terres agricoles et les plans d'eau, destinée à stabiliser l'érosion, à séparer physiquement les activités agricoles des zones aquatiques sensibles et à protéger la qualité de l'eau.   | Tous  |                 |
| Forêts urbaines                               | Les arbres, les forêts, les espaces verts et les éléments abiotiques, biotiques et culturels connexes situés dans des zones s'étendant du noyau urbain jusqu'à la limite urbaine-rurale (Arbres Canada, 2019).   | Tous  |                 |

Pas moins de 60 % des terres humides de la forêt boréale sont classées par Wulder et coll. (2018) comme étant dotées d'un couvert arboré (« arborées »). Cela signifie qu'au moins 60 millions d'hectares ou plus de terres humides boisées se trouvent dans la forêt boréale. Cependant, la définition distincte de Wulder des terres boisées (hauteur minimale de 1 m et couverture de 30 %) rend difficile la détermination précise de la proportion des autres terres boisées composées de terres humides boisées. Le Canada ne dispose pas encore d'un système national de surveillance des terres humides ni d'une classification détaillée de ces terres. Des travaux prometteurs dans cette direction ont été publiés par Amani et coll. (2019) qui ont utilisé l'imagerie Landsat-8 et la technologie de traitement d'image disponible dans le moteur Google Earth pour produire une carte préliminaire à l'échelle du pays classant les terres humides en catégories bog, fen, marais, marécages et eaux peu profondes.

L'objectif 3 des Buts et objectifs canadiens pour la biodiversité d'ici 2020 est : « Les terres humides du Canada sont conservées ou améliorées afin de soutenir leurs services écosystémiques grâce à des activités de rétention, de restauration et de gestion. » L'accent est mis sur la sauvagine et plusieurs réalisations sont soulignées, notamment les suivantes : « En 2016, dans la forêt boréale de l'Ouest (visée par le Plan conjoint Habitat des Prairies), le

gouvernement de la Saskatchewan a approuvé le plan d'aménagement forestier sur 20 ans d'une entreprise forestière, qui comprend la protection de l'habitat du caribou des bois et d'autres espèces sauvages sur une superficie de quelque 207 000 hectares, dont environ 80 % sont des milieux humides. »

Au Canada, au moins 36 espèces d'arbres se trouvent sur des terres humides boisées (Farrar, 1995; tableau 3.2). Bien que seulement sept de ces espèces soient des conifères, la plupart des terres humides boisées de la forêt boréale sont dominées par les espèces *Picea mariana* et *Larix laricina*. Un quart des espèces répertoriées sont des espèces rares à feuilles caduques uniquement présentes dans la région carolinienne du sud de l'Ontario. D'autres espèces, telles que *Pinus strobus* et *Pinus monticola*, se trouvent généralement dans des habitats de hautes terres, mais sont parfois situées dans des bogs.

Les autres terres boisées, outre les terres humides boisées, comprennent les zones situées au niveau des limites d'arbres alpines et boréales ou à proximité de celles-ci, ainsi que les prairies et les landes dotées d'arbres épars. Le tableau 3.2 énumère 24 espèces de cette catégorie, dont des espèces subalpines, telles que *Pinus albicaulis* et *Pinus flexilis*, toutes deux menacées par les maladies et la perte d'habitat due aux changements climatiques, ainsi que des espèces que l'on trouve à la limite septentrionale des arbres (par exemple, *Picea glauca*). Le Canada possède une petite zone de savane, située principalement dans la forêt carolinienne du sud de l'Ontario, qui consiste en une prairie dotée d'arbres épars. La savane est rare au Canada et cet habitat abrite des espèces végétales également rares et, dans certains cas, menacées (p. ex., *Ptelea trifoliata*).

L'utilisation agroforestière des arbres sur les terres agricoles, comme les brise-vent ou la protection des berges, constitue une composante modeste, mais importante sur le plan environnemental, des autres terres dotées de couvert arboré. Les brise-vent sont principalement utilisés dans les prairies pour protéger les fermes et réduire l'érosion des champs. Piwowar et coll. (2016) ont quantifié les brise-vent en Saskatchewan et estimé que les brise-vent composés d'arbres (par opposition aux arbustes) couvrent environ 41 838 km<sup>2</sup> (41,8 km carrés; Mayrinck et coll., 2019). Bien que l'utilisation des brise-vent au Canada ait une longue histoire (Mayrinck, 2019), le taux de retrait dépasse maintenant leur établissement (Ha et coll., 2019). Le Centre de développement de l'agroforesterie d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Indianhead en Saskatchewan (anciennement le programme de brise-vent de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies) a géré un programme actif d'amélioration d'arbres et d'arbustes pour le développement de brise-vent jusqu'à sa cessation en 2013. Au cours de ses 127 ans d'existence, ce programme a produit des semences cultivées de façon sélective pour plus de 20 espèces d'arbres et d'arbustes (Schroeder, 2015). Le tableau 3.2 énumère neuf espèces indigènes qui ont été couramment plantées dans les brise-vent. Plusieurs espèces d'arbres et d'arbustes non indigènes ont également été largement utilisées dans les plantations de brise-vent.

La forêt urbaine représente une superficie importante et croissante d'autres terres dotées de couvert arboré, estimée en 2011 à 31 041 kilomètres carrés pour les 34 plus grandes régions métropolitaines du pays (Statistique Canada, 2018). Le tableau 3.2 énumère 30 espèces d'arbres indigènes que l'on trouve dans les forêts urbaines du Canada. Il s'agit d'une liste partielle des espèces plantées dans les rues et les parcs urbains.

Arbres Canada, organisme de bienfaisance sans but lucratif qui vise à améliorer la vie de la population canadienne en plantant et en entretenant des arbres, est le secrétariat de l'itération actuelle de la Stratégie canadienne sur la forêt urbaine. La vision de la stratégie est la suivante : « préserver des forêts urbaines durables, saines et respectueuses de la biodiversité qui protègent et améliorent le bien-être et la prospérité des collectivités canadiennes ». Les arbres urbains poussent dans un environnement difficile, en raison de l'espace de croissance limité combiné à une variété de contaminants et de dommages physiques potentiels qui peuvent les prédisposer aux attaques d'insectes et de maladies. Lorsque cette situation est combinée à une faible diversité génétique due à la surreprésentation d'un nombre relativement faible d'espèces, dont beaucoup sont cultivées à partir de greffes de cultivars (Arbres Canada, 2019), les arbres en milieu urbain sont particulièrement ciblés par les ravageurs envahissants (p. ex., la maladie hollandaise de l'orme et l'agrile du frêne), étant donné que les villes servent fréquemment de ports d'entrée pour les ravageurs exotiques envahissants.

### ***3.2. Tendances affectant les autres terres boisées et les autres terres dotées de couvert arboré, et leur gestion***

Wulder et coll. (2018) ont évalué les changements sur l'étendue des terres humides boisées et non boisées et ont constaté que, dans l'ensemble, l'état des zones humides était généralement stable sur la période allant de 1984 à 2016, malgré une variabilité régionale. Ils ont rapporté que dans les écozones forestières, l'étendue des terres humides arborées a augmenté, mais que les terres humides non arborées ont diminué en superficie. Dans la forêt boréale méridionale, l'étendue des terres humides a diminué en raison de la gravité accrue des sécheresses et de la modification des régimes des eaux de surface. Dans la forêt boréale du nord, l'étendue des zones humides a augmenté en raison de l'effet du dégel du pergélisol. Bien que les données manquent, on s'attend à ce que la superficie des terres humides abritant des arbres augmente dans ces régions à mesure que le climat continue de changer. Wulder et coll. (2018) ont indiqué que l'écozone présentant le plus grand changement dans l'étendue des terres humides était l'écozone de l'Atlantique maritime, où les terres humides ont diminué de 1,3 % par an au cours des trois décennies se terminant en 2016. La raison de ce déclin semble être une combinaison de l'augmentation de la fréquence et de la gravité des sécheresses ainsi que du développement urbain.

En dehors des terres humides boisées, les espèces d'arbres que l'on trouve sur d'autres terres boisées sont touchées par un certain nombre de facteurs. Les changements climatiques entraînent des modifications de l'altitude et de la latitude des limites forestières, tandis que le développement agricole ou urbain de la savane dégrade ou élimine généralement les terres boisées.

Les forêts urbaines sont également influencées par les changements climatiques, étant donné que les répercussions des étés plus chauds et plus secs sont exacerbées par l'environnement urbain. Bardekjia et coll. (2016) ont noté que les gestionnaires de forêts urbaines représentant 68 municipalités canadiennes ont signalé que si les boisés urbains et le nombre d'arbres dans les rues des villes augmentent, la quantité de couverture naturelle diminue. Les habitants ont de plus en plus tendance à considérer les arbres et les boisés comme importants. Les principales pressions qui s'exercent sur les forêts urbaines sont le développement urbain et l'insuffisance



du financement et de la planification. Almas et Conway (2017) ont signalé une tendance des plans de gestion des forêts urbaines à inclure la plantation d'une plus grande proportion d'espèces indigènes qu'auparavant.

### 3.3. Facteurs de changement dans les autres terres boisées du pays et conséquences sur les ressources génétiques forestières

Les changements climatiques sont le plus important facteur de changement dans les autres terres boisées du Canada en raison de leurs répercussions sur les terres humides. Dans les régions du sud, les changements climatiques ont entraîné une réduction de l'étendue des terres humides, y compris des terres humides boisées. À l'inverse, la superficie des terres humides s'est étendue dans le nord de la forêt boréale (Wulder et coll., 2018). La fréquence des incendies dans les terres humides boisées, en particulier les tourbières, a augmenté au cours des dernières décennies et devrait continuer à augmenter en raison des changements climatiques.

Les insectes et maladies exotiques envahissants menacent les populations d'arbres dans les terres arborées qui ne sont pas classées comme des forêts. En particulier, l'agrile du frêne entraîne le déclin et la disparition des populations de frêne noir (*Fraxinus nigra*) dans les marais de feuillus et de feuillus/conifères mixtes, ainsi que dans les forêts urbaines.

La majeure partie des autres terres boisées est peuplée d'un petit nombre d'espèces d'arbres à pollinisation éolienne largement réparties et présentant une grande diversité génétique. Pourtant, les terres humides boisées et les zones de savane faiblement arborées du sud de l'Ontario qui entrent dans la catégorie des autres terres boisées comprennent un ensemble proportionnellement riche d'espèces d'arbres. Un grand nombre d'entre elles sont rares et certaines sont également pollinisées par les insectes (p. ex., *Asimina triloba*); ce qui les rend susceptibles de perdre leur diversité génétique lorsque la taille de la population diminue. Le développement urbain est le principal facteur de changement pour ces espèces.

Tableau 3.2 Principales espèces d'arbres indigènes présentes dans les catégories « autres terres boisées » et « autres terres dotées de couvert arboré ».

| Espèce  | Terres humides boisées | Arbres épars | Brise-vent <sup>1</sup> | Zones agricoles riveraines | Forêts urbaines |
|---|------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|
| <i>Acer negundo</i>                                 | X                      |              | X                       | X                          | X               |
| <i>Acer nigrum</i>                                  |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Acer rubrum</i>                                  | X                      |              |                         | X                          | X               |
| <i>Acer saccharinum</i>                             | X                      |              |                         |                            | X               |
| <i>Acer saccharum</i>                               |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Abies balsamea</i>                               | X                      |              |                         | X                          |                 |
| <i>Abies lasiocarpa</i>                             |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Alnus incana</i> ssp. <i>rugosa</i>              | X                      |              |                         | X                          |                 |
| <i>Aesculus glabra</i>                              |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Asimina triloba</i>                              | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Betula neoalaskana</i> (syn. <i>B. pendula</i> ) | X                      |              |                         |                            |                 |

| Espèce                                    | Terres humides boisées | Arbres épars | Brise-vent <sup>1</sup> | Zones agricoles riveraines | Forêts urbaines |
|---|------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|
| <i>Betula papyrifera</i>                  |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Carpinus caroliniana</i>               | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Carya glabra</i>                       |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Celtis occidentalis</i>                |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Cephalanthus occidentalis</i>          | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Crataegus</i> spp.                     |                        |              |                         | X                          |                 |
| <i>Euonymus atropurpureus</i>             | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Fraxinus americana</i>                 |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Fraxinus nigra</i>                     | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Fraxinus pennsylvanica</i>             | X                      |              | X                       |                            | X               |
| <i>Gymnocladus dioicus</i>                |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Juglans nigra</i>                      |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Juniperus scopulorum</i>               |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Juniperus virginiana</i>               |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Larix laricina</i>                     | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Larix lyallii</i>                      |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Liriodendron tulipifera</i>            | X                      |              |                         |                            | X               |
| <i>Magnolia acuminata</i>                 |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Nyssa sylvatica</i>                    | X                      |              |                         |                            | X               |
| <i>Ostrya virginiana</i>                  |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Picea engelmannii</i>                  |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Picea glauca</i>                       |                        | X            | X                       | X                          | X               |
| <i>Picea mariana</i>                      | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Picea sitchensis</i>                   |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Pinus albicaulis</i>                   |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Pinus banksiana</i>                    | X                      | X            |                         |                            |                 |
| <i>Pinus contorta</i> var <i>contorta</i> | X                      | X            |                         |                            |                 |
| <i>Pinus flexilis</i>                     |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Pinus monticola</i>                    | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Pinus resinosa</i>                     |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Pinus rigida</i>                       |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Pinus strobus</i>                      | X                      | X            |                         |                            | X               |
| <i>Platanus occidentalis</i>              | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Populus balsamifera</i>                | X                      |              |                         | X                          |                 |
| <i>Populus x deltoides</i>                |                        |              | X                       |                            |                 |
| <i>Populus</i> spp.                       |                        |              | X                       | X                          |                 |
| <i>Populus tremuloides</i>                |                        |              | X                       | X                          |                 |
| <i>Prunus pensylvanica</i>                |                        | X            | X                       | X                          | X               |
| <i>Prunus serotina</i>                    |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Prunus virginiana</i>                  |                        |              |                         | X                          |                 |

| Espèce                       | Terres humides boisées | Arbres épars | Brise-vent <sup>1</sup> | Zones agricoles riveraines | Forêts urbaines |
|------------------------------|------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> |                        |              |                         |                            |                 |
| <i>Ptelea trifoliata</i>     |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Quercus alba</i>          |                        | X            |                         |                            | X               |
| <i>Quercus bicolor</i>       | X                      | X            |                         |                            | X               |
| <i>Quercus macrocarpa</i>    | X                      | X            | X                       |                            | X               |
| <i>Quercus muehlenbergii</i> |                        | X            |                         |                            | X               |
| <i>Quercus palustris</i>     | X                      | X            |                         |                            |                 |
| <i>Quercus rubra</i>         |                        | X            |                         |                            | X               |
| <i>Quercus schumardii</i>    | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Quercus velutina</i>      |                        | X            |                         |                            |                 |
| <i>Salix amygdaloides</i>    | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Salix bebbiana</i>        |                        |              |                         | X                          |                 |
| <i>Salix discolor</i>        | X                      |              |                         | X                          |                 |
| <i>Salix lucida</i>          | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Salix nigra</i>           | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Salix pyrifolia</i>       | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Salix rigida</i>          |                        |              |                         | X                          |                 |
| <i>Tilia americana</i>       |                        |              |                         |                            | X               |
| <i>Thuja occidentalis</i>    | X                      | X            |                         |                            | X               |
| <i>Thuja plicata</i>         | X                      |              |                         |                            | X               |
| <i>Toxicodendron vernix</i>  | X                      |              |                         |                            |                 |
| <i>Tsuga heterophylla</i>    |                        |              |                         |                            |                 |
| <i>Ulmus americana</i>       | X                      |              | X                       | X                          | X               |

1. Sources : Amichev et coll. 2015; Kort et Turnock 1999; Kulshreshtha et coll. 2019; Wiseman et coll. 2009.

### **3.4. Défis et possibilités que créent ces tendances et facteurs relatifs à la conservation, à l'utilisation et au développement des ressources génétiques forestières**

Le principal défi pour la conservation, l'utilisation et le développement des RGF dans les terres humides boisées est le manque de données d'inventaire et de protocoles de suivi. La plus grande superficie d'autres terres boisées se trouve de loin dans une bande mi-latitudinale traversant le Canada, où la densité de population humaine est faible et où l'accès est souvent difficile. La foresterie industrielle n'est pas pratiquée sur ces terres, qui sont donc souvent absentes des inventaires forestiers. Il y a peu d'incitation économique immédiate à dépenser les ressources financières qui seraient nécessaires pour une évaluation détaillée et une surveillance continue.

Plusieurs espèces d'arbres se trouvant sous forme d'arbres épars sur d'autres terres boisées, comme *Pinus albicaulis* et *Pinus flexilis*, figurent dans le registre des espèces en péril du Canada et font l'objet de plans de rétablissement tenant compte des ressources génétiques (ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Alberta, 2019).

On manque de données particulières sur les brise-vent, mais la recherche de nouvelles techniques d'imagerie et de cartographie pour localiser les brise-vent est en cours. Les données qui en résultent sont utilisées pour évaluer le potentiel des brise-vent en matière de séquestration du carbone sous forme de biomasse ligneuse et de carbone organique du sol, ainsi que pour cerner les prélèvements potentiels d'arbres (Amichev et coll., 2015; Ha et coll., 2019; Kort et Turnock, 1999; Wiseman et coll., 2009; Kulshreshtha et Kort, 2009; Baah-Acheamfour et coll., 2014). Suite à l'arrêt en 2013 du programme de sélection des brise-vent des prairies, la plantation de brise-vent a diminué au Canada (Schroeder, 2015).

La superficie, la composition des espèces et l'importance des zones riveraines agricoles ne sont pas bien documentées. Cependant, toutes les compétences au Canada disposent de règlements relatifs aux zones tampons riveraines, afin de protéger les habitats aquatiques de la foresterie, de l'agriculture et du développement commercial, industriel et résidentiel.

Les répercussions des insectes et des maladies envahissantes constituent un défi majeur pour la conservation, l'utilisation et le développement des ressources génétiques des espèces d'arbres des forêts urbaines. Ces répercussions ont incité à financer la recherche génétique afin de développer des variétés d'espèces d'arbres résistantes. La première crise forestière urbaine liée aux ravageurs exotiques a été la propagation de la maladie hollandaise de l'orme dans les municipalités canadiennes, qui a entraîné la mort de nombreux arbres de rue et de parc. Les ormes (*Ulmus* spp.) ont souvent été remplacés par des frênes (*Fraxinus* spp.), qui sont aujourd'hui la cible des attaques de l'agrile du frêne. L'agrile du frêne a d'abord envahi l'Ontario, mais il se propage vers l'est et l'ouest, se retrouvant maintenant à Winnipeg (Manitoba) depuis 2017, et atteignant Edmundston (Nouveau-Brunswick) en 2018 (Arbres Canada, 2019).

### **Ouvrages cités**

Almas, A.D. et T.M. Conway, 2017. Residential knowledge of native tree species: A case study of residents in four southern Ontario municipalities. *Environmental Management*, 59(1) : 21 à 33.

Amani, M., B. Salehi, S. Mahdavi et B. Brisco, 2018. Spectral analysis of wetlands using multi-source optical satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144 : 119 à 136.

Amani, M., S. Mahdavi, M. Afshar, B. Brisco, W. Huang, S. Mohammad Javad Mirzadeh, L. White, S. Banks, J. Montgomery et C. Hopkinson, 2019. Canadian wetland inventory using Google Earth engine: the first map and preliminary results. *Remote Sensing*, 11(7) : 842.

Amichev, B.Y., M.J. Bentham, D. Cerkowniak, J. Kort, S. Kulshreshtha, C.P. Laroque, J.M. Piwowar, K.C.J. Van Rees, 2015. Mapping and quantification of planted tree and shrub shelterbelts in Saskatchewan, Canada. *Agroforestry Systems* 89 : pages 49-65.

Arbres Canada. 2019. Stratégie canadienne sur la forêt urbaine 2019 - 2024. Disponible au lien <https://treecanada.ca/wp-content/uploads/2019/04/TC-CUFS-2019-2024-Fr.pdf>

Baah-Acheamfour, M., C.N. Carlyle, E.W. Bork et S.X. Chang. 2014. Trees increase soil carbon and its stability in three agroforestry systems in central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management* 328 : pages 131-139.

Bardekjian, A., A. Kenney et M. Rosen. 2016. Tendances en matière de foresterie urbaine au Canada. Arbres Canada et le Réseau canadien de la forêt urbaine.

Environnement et Changement climatique Canada. 2016. Indicateurs canadiens de la durabilité de l'environnement : Étendue des milieux humides au Canada.

<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/etendue-milieux-humides.html>.

Farrar, J.L., 1995. Les Arbres du Canada. Fitzhenry & Whiteside Ltd, Markham (Ontario) et Service canadien des forêts. Ressources naturelles Canada; Ottawa (Ontario), 502 pages.

Ha, T.V., B.Y. Amichev, K.W. Belcher, M.J. Bentham, S.N. Kulshreshtha, C.P. Laroque et K.C.J. Van Rees. 2019. Shelterbelt agroforestry systems inventory and removal analyzed by object-based classification of satellite data in Saskatchewan, Canada. Canadian Journal of Remote Sensing DOI:10.1080/07038992.2018.1540297

Kort, J. et R. Turnock. 1999. Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts. Agroforestry Systems 44 : pages 175-186.

Kulshreshtha, S. et J. Kort. 2009. External economic benefits and social goods from prairie shelterbelts. Agroforestry Systems 75 : pages 39-47.

Kulshreshtha, S.V., R. Ahmad, K. Belcher et L. Rudd. 2019. Economic-environmental impacts of shelterbelts in Saskatchewan, Canada. Pages 277-286, sous la direction de J. Casares, G. Passerini et G. Perillo. WIT Ecologie et environnement Impact environnemental 2018. WIT Press, Southampton, Royaume-Uni.

Löwe, H., G. Seufert et F. Raes. 2000. Comparison of methods used within Member States for estimating CO<sub>2</sub> emissions and sinks according to UNFCCC and EU Monitoring Mechanism: forest and other wooded land. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 4 : pages 315-319.

Mayrinck, R.C., Laroque, C.P., Amichev, B.Y. and Van Rees, K., 2019. Above-and below-ground carbon sequestration in Shelterbelt trees in Canada: a review. Forests 10(10) : 922.

Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Alberta. 2019. Limber and Whitebark Pine Recovery in Alberta. ISBN -0-1-4601-4535- 7

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2018. Évaluation des ressources forestières mondiales 2020. Termes et définitions. Forest Resources Assessment Working Paper 188, Rome, Italie, 32 pages.

Piwowar, J.M., B.Y. Amichev et K.C. Van Rees. 2016. The Saskatchewan shelterbelt inventory. Canadian Journal of Sciences 97(3) : 433 à 438.

Ressources naturelles Canada. 2018. Données statistiques. RNCAN, Ottawa (Ontario), Canada. [en ligne] URL : <https://cfs.nrcan.gc.ca/profilstats/inventaire/canada>, page consultée en janvier 2019.

Ressources naturelles Canada. 2020. Rapport annuel sur l'état des forêts au Canada 2019. Ottawa (Ontario), 77 p.

Schroeder, W. 2015. Reflections on prairie tree breeding: 1888 à 2015; Résumé de la présentation de la conférence. Conférence semestrielle sur la génétique forestière canadienne, du 17 au 20 août 2015. Fredericton (Nouveau-Brunswick).

Smith, W.B., Lara, R.A. Cuenca, C.E.D. Caballero, C.I.G. Valdivia, J.S. Kapron, J.C.L. Reyes, C.L.M. Tovar, P.D. Miles, S.N. Oswald, M.R. Salgado, X.A. Song, G. Stinson et S.A.V. Gaytán. 2018. The North American Forest Database: going beyond national-level forest resource assessment statistics. *Environmental Monitoring and Assessment* 190: 350.

Statistique Canada. 2018. L'activité humaine et l'environnement 2017 : Les forêts du Canada. N° 16-201-X au catalogue; ISSN 1923-6751.

Warner, B.G. et C.D.A. Rubec. (sous la direction de) 1997. Système de classification des terres humides du Canada, deuxième édition. Wetlands Research Centre, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario), 76 pages.

Wiseman, G., J. Kort et D. Walker. 2009. Quantification of shelterbelt characteristics using high-resolution imagery. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 : 111 à 117.

Wulder, M.A., Z. Li, E.M. Campbell, J.C. White, G. Hobart, T. Hermosilla et N.C. Coops. 2018. A national assessment of wetland status and trends for Canada's forested ecosystems using 33 years of earth observation satellite data. *Remote Sensing*, 10(10), p.1623.

## Chapitre 4. État de la diversité entre les arbres et les autres espèces de plantes ligneuses

Le Canada présente une grande diversité de climats et de reliefs; ce qui entraîne des conditions forestières très différentes selon les régions du pays. La plus importante diversité d'espèces d'arbres se trouve dans le sud de l'Ontario et, à l'inverse, la diversité des espèces d'arbres est très faible près de la limite septentrionale des arbres. Le tableau 4.1 énumère les espèces d'arbres qui caractérisent les quinze écozones terrestres du Canada. Les écozones sont définies sur la base du climat, du relief et des tendances de la végétation régionale. L'écozone des plaines à forêts mixtes, qui couvre la plus petite superficie, abrite plus de la moitié des espèces en voie de disparition et menacées au Canada, notamment l'Orme de Samarie (*Ptelea trifoliata*), l'Arbre à cornichons (*magnolia acuminata*), le micocoulier de Soper (*Celtis tenuifolia*), le châtaignier d'Amérique (*Castanea dentata*), le bouleau flexible (*Betula lenta*), le chicot du Canada (*Gymnocladus dioicus*) et le mûrier rouge (*Morus rubra*). Environ 17 % de la masse continentale du Canada est située dans le Grand Nord et ne porte pas d'arbres, bien que des espèces ligneuses sous forme d'arbustes, comme le bouleau (*Betula* spp.) et le saule (*Salix* spp.), y soient présentes.

Tableau 4.1 Écozones terrestres et espèces d'arbres caractéristiques du Canada (données tirées du rapport 2012 du Canada sur les RGF).

| Écozones                  | Zone<br>(km <sup>2</sup> ) | Pourcentage<br>de terres | Espèces d'arbres indigènes caractéristiques par<br>écozone   |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| Cordillère<br>Arctique    | 230 873                    | 2,5                      | S.O.   |
| Nord de<br>l'Arctique     | 1 361 433                  | 14,8                     | S.O.   |
| Sud de<br>l'Arctique      | 773 010                    | 8,4                      | <i>Picea mariana</i> rabougri  |
| Taïga de la<br>cordillère | 264 480                    | 3,0                      | <i>Abies lasiocarpa</i> rabougri, <i>Betula papyrifera</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i> , <i>Populus balsamifera</i> , <i>Populus tremuloides</i>                                |
| Taïga des<br>plaines      | 580 139                    | 6,4                      | <i>Alnus viridis</i> ssp. <i>Crispa</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Pinus banksiana</i> , <i>Populus balsamifera</i> , <i>Populus tremuloides</i> , <i>Salix</i> spp. |
| Taïga du<br>bouclier      | 1 253 887                  | 13,6                     | <i>Alnus viridis</i> ssp. <i>crispa</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Pinus banksiana</i> , <i>Populus tremuloides</i> , <i>Salix</i> spp.                              |
| Plaines<br>hudsoniennes   | 353 364                    | 3,8                      | <i>Betula papyrifera</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Populus balsamifera</i>   |

| Écozones                 | Zone<br>(km <sup>2</sup> ) | Pourcentage<br>de terres | Espèces d'arbres indigènes caractéristiques par<br>écozone  |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|---|
| Cordillère boréale       | 459 680                    | 5,0                      | <i>Abies lasiocarpa</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Populus balsamifera</i> , <i>Populus tremuloides</i>   |
| Plaines boréales         | 679 969                    | 7,4                      | <i>Abies balsamea</i> , <i>Acer negundo</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Pinus banksiana</i> , <i>Populus tremuloides</i> , <i>Populus deltoides</i> ssp. <i>deltoides</i>   |
| Bouclier boréal          | 1 782 252                  | 19,3                     | <i>Abies balsamifera</i> , <i>Acer negundo</i> , <i>Acer saccharum</i> , <i>Betula alleghaniensis</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Fraxinus nigra</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Pinus banksiana</i> , <i>Pinus resinosa</i> , <i>Pinus strobus</i> , <i>Populus tremuloides</i> , <i>Thuja occidentalis</i> , <i>Viburnum trilobum</i>   |
| Prairies                 | 520 000                    | 5,0                      | <i>Acer negundo</i> , <i>Amelanchier alnifolia</i> , <i>Populus balsamifera</i> , <i>Populus tremuloides</i>  |
| Cordillère montagnarde   | 459 680                    | 5,0                      | <i>Abies lasiocarpa</i> , <i>Picea engelmannii</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i> , <i>Pinus monticola</i> , <i>Pinus ponderosa</i> , <i>Populus tremuloides</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i> , <i>Thuja plicata</i> , <i>Tsuga heterophylla</i>  |
| Maritime du Pacifique    | 205 175                    | 2,2                      | <i>Abies amabilis</i> , <i>Alnus rubra</i> , <i>Callitropsis nootkatensis</i> , <i>Cornus nuttalli</i> , <i>Picea sitchensis</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i> , <i>Thuja plicata</i> , <i>Tsuga heterophylla</i> , <i>Tsuga mertensiana</i>  |
| Maritime de l'Atlantique | 183 978                    | 2,0                      | <i>Abies balsamifera</i> , <i>Acer rubra</i> , <i>Acer saccharum</i> , <i>Alnus incana</i> , <i>Betula alleghaniensis</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Fagus grandifolia</i> , <i>Fraxinus nigra</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Picea rubens</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Pinus banksiana</i> , <i>Pinus resinosa</i> , <i>Pinus strobus</i> , <i>Prunus pennsylvanica</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Tsuga canadensis</i>   |
| Plaines à forêts mixtes  | 175 963                    | 2,0                      | <i>Acer saccharum</i> , <i>Betula alleghaniensis</i> , <i>Juglans cinerea</i> , <i>Pinus resinosa</i> , <i>Pinus strobus</i> , <i>Quercus bicolor</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Tilia Americana</i> , <i>Thuja occidentalis</i> , <i>Tsuga canadensis</i> , <i>Ulmus Americana</i> , <i>Fraxinus quadrangulate</i> , <i>Gymnocladus dioicus</i> , <i>Juglans nigra</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i> , <i>Magnolia acuminata</i> , <i>Morus rubra</i> , <i>Platanus occidentalis</i> |



Les écozones du Canada sont subdivisées en 194 écorégions qui varient grandement en nombre et en composition d'espèces d'arbres. La figure 4.1 illustre le nombre d'espèces d'arbres par groupes d'écorégions dominantes; les écorégions arborées les plus septentrionales comptant une à huit espèces et l'écorégion tempérée des basses terres du lac Érié (la plus méridionale du Canada), jusqu'à 95 espèces d'arbres. Les limites sud de l'écorégion des basses terres du lac Érié se trouvent à la même latitude que le nord de la Californie. Cette région est fortement influencée par l'effet modérateur des Grands Lacs inférieurs.

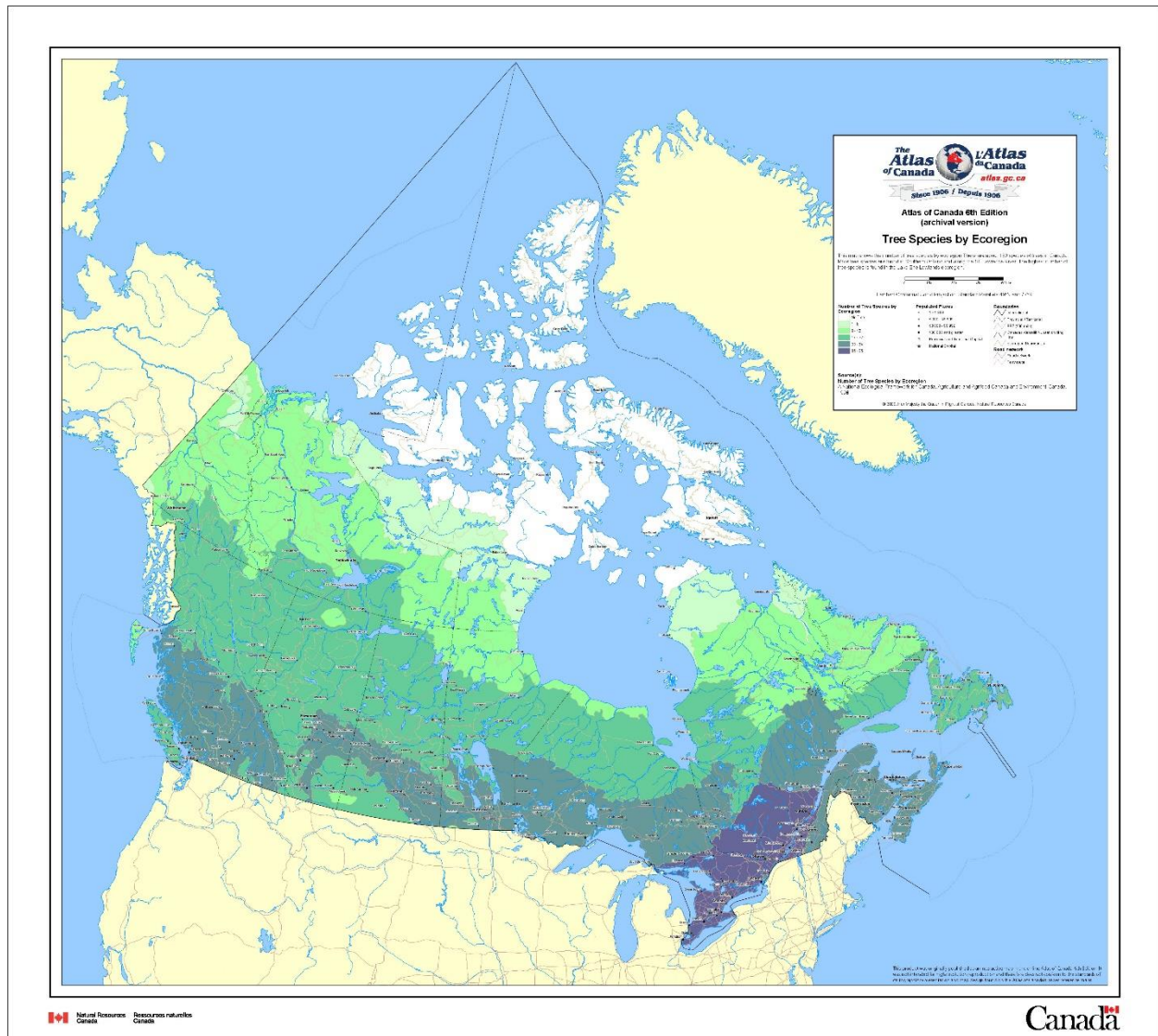


Figure 4.1. Nombre d'espèces d'arbres par écorégion selon l'Atlas du Canada (Ressources naturelles Canada, 2019).

#### 4.1. Espèces d'arbres et autres plantes ligneuses considérées comme des ressources génétiques

On trouve plus de 400 espèces d'arbres et d'arbustes indigènes au Canada, dont 126 sont des arbres (définis comme atteignant une hauteur d'au moins 10 m; Farrar, 1995) (tableau 4.2). Toutes les espèces indigènes d'arbres et d'arbustes peuvent être considérées comme des

ressources génétiques, car elles ont toutes une importance actuelle ou potentielle pour l'intégrité des écosystèmes et les valeurs de conservation, les produits forestiers ligneux ou non ligneux, la plantation urbaine, la restauration écologique ou la contribution à la bioéconomie émergente du Canada. Environ 45 espèces d'arbres sont gérées pour la foresterie commerciale. Les gestionnaires de forêts urbaines recherchent de plus en plus d'espèces d'arbres indigènes (Almas et Conway, 2016), mais certains des choix les plus courants par le passé (comme les espèces *Fraxinus*) sont maintenant beaucoup moins utilisés en raison des défis posés par les insectes et les maladies. De nombreuses espèces, en particulier des arbustes qui n'auraient pas été considérés comme importants au-delà de leur valeur écologique, sont maintenant envisagées pour la restauration des habitats et la remise en état des sites miniers (Fraser et coll. 2014).

Certaines espèces ligneuses (principalement les espèces caroliniennes du sud de l'Ontario) sont à la limite nord de leur aire de répartition au Canada et ne sont présentes qu'au sein de petites populations menacées par les pressions de l'utilisation des terres (McCune et Morrison, 2020). Elles sont considérées comme des ressources génétiques précieuses à gérer et à conserver, en partie en raison du potentiel d'expansion de leur aire de répartition et de leur importance accrue dans les écosystèmes futurs.

#### **4.2. Proportion d'espèces indigènes (y compris les espèces naturalisées) et introduites**

La grande majorité des arbres qui poussent au Canada sont des espèces indigènes; les arbres plantés pour la foresterie et la restauration sont presque toujours des espèces indigènes. De plus en plus, les arbres utilisés pour les plantations urbaines sont également indigènes, notamment dans les municipalités qui suivent un plan de gestion (Almas et Conway, 2016). À partir des années 1930, les scientifiques forestiers ont testé un certain nombre d'espèces d'arbres exotiques en vue de leur utilisation potentielle par l'industrie forestière canadienne (Holst et Heimburger, 1969), mais les espèces indigènes ont toujours été plus performantes que les espèces exotiques. À l'exception de l'épinette de Norvège (*Picea abies*) (Fowler et Coles, 1980), dont l'utilisation limitée existe encore dans l'est du Canada, les espèces forestières commerciales sont indigènes. Il convient de noter que le concept d'espèces exotiques ou non indigènes est différent de celui des petits pays en raison de la taille du Canada. À quelques exceptions près, les espèces d'arbres que l'on trouve sur la côte ouest sont distinctes de celles que l'on trouve à l'est (Farrar, 1995), de sorte qu'une espèce d'arbre canadienne plantée à quelques milliers de kilomètres de son aire d'origine est non indigène à la zone où elle est plantée.

Les plantations urbaines ont historiquement fait appel à de nombreuses espèces d'arbres exotiques, mais la proportion d'espèces exotiques par rapport aux espèces indigènes utilisées à cette fin est en déclin. Selon la ville de Toronto, par exemple, seules deux des sept espèces d'arbres les plus fréquentes dans la ville étaient non indigènes en 2014. Si seulement 50 % des 11,5 millions d'arbres estimés sont indigènes (Ville de Toronto, 2018), la proportion d'espèces indigènes augmente progressivement, car la politique de plantation actuelle vise à remplacer les espèces exotiques envahissantes par des espèces de feuillus indigènes à forte croissance.

Tableau 4.2 Espèces indigènes du Canada (données tirées du rapport 2012 du Canada sur les RGF).

| Genre               | Noms communs          | Nombre d'espèces | Espèce   |
|---------------------|-----------------------|------------------|--|
| <b>Gymnospermes</b> |                       |                  |  |
| <i>Abies</i>        | Sapin                 | 4                | <i>A. amabilis</i> , <i>A. balsamea</i> , <i>A. grandis</i> , <i>A. lasiocarpa</i>   |
| <i>Callitropsis</i> | Cyprès                | 1                | <i>C. nootkatensis</i>   |
| <i>Juniperus</i>    | Genévrier             | 2                | <i>J. virginiana</i> , <i>J. scopulorum</i>  |
| <i>Larix</i>        | Mélèze                | 3                | <i>L. laricina</i> , <i>L. lyallii</i> , <i>L. occidentalis</i>  |
| <i>Picea</i>        | Épinette              | 5                | <i>P. engelmannii</i> , <i>P. glauca</i> , <i>P. mariana</i> , <i>P. rubens</i> , <i>P. sitchensis</i>   |
| <i>Pinus</i>        | Pin                   | 9                | <i>P. albicaulis</i> , <i>P. banksiana</i> , <i>P. contorta</i> , <i>P. flexilis</i> , <i>P. monticola</i> , <i>P. ponderosa</i> , <i>P. resinosa</i> , <i>P. rigida</i> , <i>P. strobus</i>   |
| <i>Pseudotsuga</i>  | Douglas taxifolié     | 1                | <i>P. menziesii</i> (var. <i>menziesii</i> , var. <i>glauca</i> )  |
| <i>Taxus</i>        | If                    | 1                | <i>T. brevifolia</i>   |
| <i>Thuja</i>        | Cèdre                 | 2                | <i>T. occidentalis</i> , <i>T. plicata</i>   |
| <i>Tsuga</i>        | Pruche                | 3                | <i>T. canadensis</i> , <i>T. heterophylla</i> , <i>T. mertensiana</i>  |
| Résumé:             | 10 genres; 31 espèces |                  |  |
| <b>Angiospermes</b> |                       |                  |  |
| <i>Acer</i>         | Érable                | 10               | <i>A. circinatum</i> , <i>A. glabrum</i> , <i>A. macrophyllum</i> , <i>A. negundo</i> (var. <i>negundo</i> , var. <i>violaceum</i> ), <i>A. nigrum</i> , <i>A. rubrum</i> , <i>A. pensylvanicum</i> , <i>A. saccharinum</i> , <i>A. saccharum</i> , <i>A. spicatum</i> |
| <i>Aesculus</i>     | Marronnier            | 1                | <i>A. glabra</i>   |
| <i>Alnus</i>        | Aulne                 | 4                | <i>A. rubra</i> , <i>A. rugosa</i> , (syn. <i>incana</i> ssp. <i>rugosa</i> ), <i>A. sinuata</i> (syn. <i>viridis</i> ssp. <i>sinuata</i> ), <i>A. incana</i> ssp. <i>tenuifolia</i> (syn. <i>tenuifolia</i> )   |
| <i>Arbutus</i>      | Arbutus               | 1                | <i>A. menziesii</i>  |
| <i>Asimina</i>      | Asiminier             | 1                | <i>A. triloba</i>  |
| <i>Betula</i>       | Bouleau               | 8                | <i>B. alleghaniensis</i> , <i>B. cordifolia</i> , <i>B. lenta</i> , <i>B. lutea</i> , <i>B. neoalaskana</i> (syn. <i>pendula</i> ), <i>B.</i>  |

| Genre               | Noms communs       | Nombre d'espèces | Espèce   |
|---------------------|--------------------|------------------|--|
|                     |                    |                  | <i>occidentalis</i> , <i>B. papyrifera</i> [var. <i>cordifolia</i> ], <i>B. populifolia</i>                    |
| <i>Carpinus</i>     | Charme de Caroline | 1                | <i>C. caroliniana</i>  |
| <i>Carya</i>        | Caryer             | 4                | <i>C. cordiformis</i> , <i>C. glabra</i> (var. <i>odorata</i> ), <i>C. laciniosa</i> , <i>C. ovata</i>         |
| <i>Castanea</i>     | Châtaignier        | 1                | <i>C. dentata</i>  |
| <i>Celtis</i>       | Micocoulier        | 1                | <i>C. occidentalis</i>   |
| <i>Cercis</i>       | Gainier            | 1                | <i>C. canadensis</i> <sup>1</sup>  |
| <i>Cornus</i>       | Cornouiller        | 3                | <i>C. alternifolia</i> , <i>C. florida</i> , <i>C. nuttallii</i>   |
| <i>Crataegus</i>    | Aubépines          | 4                | <i>C. crus-galli</i> , <i>C. coccinea</i> , <i>C. douglasii</i> , <i>C. mollis</i>                             |
| <i>Fagus</i>        | Hêtre              | 1                | <i>F. grandifolia</i>  |
| <i>Fraxinus</i>     | Frêne              | 5                | <i>F. americana</i> , <i>F. nigra</i> , <i>F. pennsylvanica</i> , <i>F. profunda</i> , <i>F. quadrangulata</i> |
| <i>Gleditsia</i>    | Honey Locust       | 1                | <i>G. triacanthos</i>  |
| <i>Gymnocladus</i>  | Févier d'Amérique  | 1                | <i>G. dioicus</i>  |
| <i>Hamamelis</i>    | Chicot<br>février  | 1                | <i>H. virginiana</i>   |
| <i>Juglans</i>      | Hamamélis          | 2                | <i>J. cinerea</i> , <i>J. nigra</i>  |
| <i>Liriodendron</i> | Noyer              | 1                | <i>L. tulipifera</i>   |
| <i>Magnolia</i>     | Tulipier           | 1                | <i>M. acuminata</i>  |
| <i>Malus</i>        | Arbre à cornichons | 2                | <i>M. coronaria</i> , <i>M. fusca</i>  |
| <i>Morus</i>        | Doucine            | 1                | <i>M. rubra</i>  |
| <i>Nyssa</i>        | Mûrier             | 1                | <i>N. sylvatica</i>  |
| <i>Ostrya</i>       | Gommier noir       | 1                | <i>O. virginiana</i>   |
| <i>Platanus</i>     | Bois de fer        | 1                | <i>P. occidentalis</i>   |

| Genre            | Noms communs             | Nombre d'espèces | Espèce  |
|------------------|--------------------------|------------------|---|
| <i>Populus</i>   | Sycomore                 | 6                | <i>P. angustifolia</i> , <i>P. balsamifera</i> , <i>P. deltoids</i> [var. <i>deltoids</i> , var. <i>occidentalis</i> ], <i>P. grandidentata</i> , <i>P. tremuloides</i> , <i>P. trichocarpa</i>   |
| <i>Prunus</i>    | Peuplier                 | 6                | <i>P. americana</i> , <i>P. emarginata</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. pensylvanica</i> , <i>P. serotina</i> , <i>P. virginiana</i> [var. <i>virginiana</i> ]   |
| <i>Ptelea</i>    | Prunus                   | 1                | <i>P. trifoliata</i>  |
| <i>Quercus</i>   | Orme de Samarie          | 11               | <i>Q. alba</i> , <i>Q. bicolor</i> , <i>Q. ellipsoidalis</i> , <i>Q. garryana</i> , <i>Q. macrocarpa</i> , <i>Q. muehlenbergii</i> , <i>Q. palustris</i> , <i>Q. prinoides</i> , <i>Q. rubra</i> , <i>Q. shumardii</i> , <i>Q. velutina</i> |
| <i>Frangula</i>  | Chêne                    | 1                | <i>F. purshiana</i>   |
| <i>Salix</i>     | Nerprun                  | 2                | <i>S. amygdaloides</i> , <i>S. nigra</i>  |
| <i>Sambucus</i>  | Saule (arbres seulement) | 2                | <i>S. cerulea</i> , <i>S. glauca</i>  |
| <i>Sassafras</i> | Sureau                   | 1                | <i>S. albidum</i>   |
| <i>Sorbus</i>    | Sassafras                | 2                | <i>S. americana</i> , <i>S. decora</i>  |
| <i>Tilia</i>     | Sorbier                  | 1                | <i>T. americana</i>   |
| <i>Ulmus</i>     | Tilleul                  | 3                | <i>U. americana</i> , <i>U. rubra</i> , <i>U. thomasii</i>  |
| Résumé:          | 37 genres; 95 espèces    |                  |   |

1. Cette espèce est très probablement disparue.

#### 4.3. Espèces considérées comme menacées

L'aperçu le plus complet de la situation des espèces sauvages du Canada est compilé par le programme sur la situation générale des espèces au Canada qui représente une collaboration de toutes les provinces ainsi que de tous les territoires et les ministères du gouvernement fédéral. Le mandat du programme est de « surveiller, évaluer et faire rapport régulièrement sur le statut de toutes les espèces sauvages », afin de respecter l'engagement des ministres provinciaux et fédéraux responsables de la faune au Canada, en vertu de l'Accord pour la protection des espèces en péril signé en 1996. Les rapports sur les espèces sauvages produits par ce programme fournissent des évaluations actualisées des espèces en péril tous les 5 ans (Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril, 2016). Le rapport le plus récent a été publié en 2015; il signale que la majorité des espèces ligneuses du Canada (77 %) sont en sécurité ou apparemment en sécurité. Parmi les espèces jugées en danger, 28 (7 %) sont vulnérables. Il s'agit de deux nouvelles désignations d'espèces, de deux espèces qui n'étaient pas classées auparavant, de six espèces classées apparemment en sécurité en 2010 et de deux

espèces classées en péril en 2010. Six espèces classées comme vulnérables en 2010 ont été désignées comme étant en péril en 2015. Le nombre d'espèces en péril était de 32 (8 %), dont sept nouvelles espèces et sept espèces qui n'avaient pas été classées auparavant. Les espèces gravement en péril sont au nombre de 18 (4 %), dont cinq espèces non classées en 2010. Neuf espèces n'ont pas pu être classées en raison du manque de renseignements suffisants; une est présumée disparue et deux autres sont possiblement disparues. La plupart des espèces en péril sont des arbustes.

Le tableau 4.3 présente la situation des espèces d'arbres et d'arbustes ainsi que les changements de situation entre les évaluations de 2010 et de 2015 par le programme sur la situation générale des espèces au Canada. Il a été déterminé que la situation de soixante espèces avait changé pour l'une des quatre raisons suivantes : changements taxonomiques, nouvelles connaissances ou nouvelle description; espèces précédemment ou désormais non classées en raison du manque de données; risque plus élevé et risque moins élevé. Treize espèces ont été notées comme présentant un risque plus élevé (la plupart étant des arbustes) et sept comme présentant un risque moins élevé. La seule espèce d'arbre ayant reçu une désignation de menace plus élevée en 2015 qu'auparavant est le frêne bleu (*Fraxinus quadrangulata*), qui est passé de vulnérable à en péril.

Tableau 4.3. Classement national moyen des espèces sauvages en 2010 et en 2015, adapté des évaluations régionales à nationales de la situation générale (Conseil canadien pour la conservation des espèces menacées, 2016). Les classifications nationales sont désignées de la façon suivante : X (présumée disparue); H (potentiellement disparue); 1 (gravement en péril); 2 (en péril); 3 (vulnérable); 4 (apparemment en sécurité); 5 (en sécurité); U (données insuffisantes); NR (non classée); NA (sans objet). Les raisons pour un changement de statut sont désignées de la façon suivante : B (changement biologique de la taille de la population, la distribution, ou les menaces de l'espèce); C (nouvelle évaluation de COSEPAC); E (erreur dans la classification précédente); I (meilleure connaissance de l'espèce); P (changement dans la procédure); T (changement taxonomique).

| Espèce (2015)            | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015) |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Abies amabilis</i>    | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Abies balsamea</i>    | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Abies bifolia</i>     | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Abies grandis</i>     | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Abies lasiocarpa</i>  | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Acer circinatum</i>   | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Acer glabrum</i>      | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Acer macrophyllum</i> | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |

| Espèce (2015)                  | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015)            |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|
| <i>Acer negundo</i>            | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Acer nigrum</i>             | N4                                 | N4                                 |                                  |  |
| <i>Acer pensylvanicum</i>      | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Acer rubrum</i>             | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Acer saccharinum</i>        | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Acer saccharum</i>          | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Acer spicatum</i>           | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Aesculus glabra</i>         | N1                                 | N1                                 |                                  |  |
| <i>Alnus incana</i>            | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Alnus rubra</i>             | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Alnus serrulata</i>         | N3                                 | N3                                 |                                  |  |
| <i>Alnus viridis</i>           | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Amelanchier alnifolia</i>   | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Amelanchier amabilis</i>    |                                    | N2                                 | Nouvelle espèce                  | T – était <i>Amelanchier sanguinea</i> |
| <i>Amelanchier arborea</i>     | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Amelanchier bartramiana</i> | N5                                 | N5                                 |                                  |  |
| <i>Amelanchier canadensis</i>  | N4                                 | N4                                 |                                  |  |
| <i>Amelanchier cusickii</i>    |                                    | N5                                 | Nouvelle espèce                  | T – était <i>Amelanchier alnifolia</i> |
| <i>Amelanchier fernaldii</i>   | NU                                 | N3                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                                      |
| <i>Amelanchier gaspensis</i>   |                                    | N4                                 | Nouvelle espèce                  | T – était <i>Amelanchier sanguinea</i> |
| <i>Amelanchier humilis</i>     | N5                                 | N5                                 |                                  |  |

| Espèce (2015)                                      | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015)   |
|--|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| <i>Amelanchier interior</i>                        | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Amelanchier intermedia</i>                      |                                    | N4                                 | Nouvelle espèce                  | T – Désormais espèce vérifiée |
| <i>Amelanchier laevis</i>                          | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Amelanchier nantucketensis</i>                  | N1                                 | N1                                 |                                  |                               |
| <i>Amelanchier sanguinea</i>                       | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Amelanchier spicata</i>                         | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Arbutus menziesii</i>                           | N4                                 | N4                                 |                                  |                               |
| <i>Arctous rubra</i>                               | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Atriplex canescens</i>                          | N4                                 | N3                                 | Niveau de risque plus élevé      | P                             |
| <i>Betula alleghaniensis</i>                       | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula cordifolia</i>                           | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula glandulosa</i>                           | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula kenaica</i>                              | NU                                 | NU                                 |                                  |                               |
| <i>Betula lenta</i>                                | N1                                 | N1                                 |                                  |                               |
| <i>Betula michauxii</i>                            | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula minor</i>                                | N4                                 | N4                                 |                                  |                               |
| <i>Betula murrayana</i>                            |                                    | NH                                 | Nouvelle espèce                  | I                             |
| <i>Betula nana</i>                                 | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula nealaskana</i><br>(syn. <i>pendula</i> ) | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula occidentalis</i>                         | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula papyrifera</i>                           | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula populifolia</i>                          | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Betula pumila</i>                               | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Carpinus caroliniana</i>                        | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |
| <i>Carya cordiformis</i>                           | N5                                 | N5                                 |                                  |                               |



| <b>Espèce (2015)</b>             | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|----------------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Carya glabra</i>              | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Carya laciniosa</i>           | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Carya ovata</i>               | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Castanea dentata</i>          | N1  | N1  |   |                                    |
| <i>Ceanothus americanus</i>      | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Ceanothus herbaceus</i>       | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Ceanothus sanguineus</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ceanothus velutinus</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Celastrus scandens</i>        | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Celtis occidentalis</i>       | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Celtis tenuifolia</i>         | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Cephalanthus occidentalis</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus alternifolia</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus drummondii</i>         | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Cornus florida</i>            | N1  | N2  | Niveau de risque moins élevé            | P                                  |
| <i>Cornus nuttallii</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus obliqua</i>            | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus racemosa</i>           | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus rugosa</i>             | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus stolonifera</i>        | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus suecica</i>            | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Cornus unalaschkensis</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Corylus americana</i>         | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Corylus cornuta</i>           | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Crataegus aquacervensis</i>   | NU  | N2  | Changé de ou en U, NR, NA               | I                                  |

| Espèce (2015)                    | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015)         |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Crataegus atrovirens</i>      |                                    | N2                                 | Nouvelle espèce                  | I – Décrite récemment               |
| <i>Crataegus beata</i>           | N1                                 | N1                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus brainerdii</i>      | N2                                 | N2                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus calpodendron</i>    | N4                                 | N4                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus castlegarensis</i>  | NU                                 | N4                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                                   |
| <i>Crataegus chrysoarpa</i>      | N5                                 | N5                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus coccinea</i>        | N5                                 | N5                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus coccinioides</i>    | NU                                 | N2                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                                   |
| <i>Crataegus cognata</i>         |                                    | NU                                 | Nouvelle espèce                  | T – était <i>Crataegus pruinosa</i> |
| <i>Crataegus compacta</i>        | N4                                 | N4                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus crus-galli</i>      | N4                                 | N4                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus cupressocollina</i> | NU                                 | N1                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                                   |
| <i>Crataegus dodgei</i>          | N4                                 | N4                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus douglasii</i>       | N4                                 | N4                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus enderbyensis</i>    |                                    | N2                                 | Nouvelle espèce                  | I – Décrite récemment               |
| <i>Crataegus flabellata</i>      | N4                                 | N4                                 |                                  |                                     |
| <i>Crataegus florifera</i>       |                                    | NU                                 | Nouvelle espèce                  | I                                   |
| <i>Crataegus fluviatilis</i>     | NU                                 | N2                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                                   |
| <i>Crataegus formosa</i>         |                                    | N2                                 | Nouvelle espèce                  | T – étant <i>Crataegus pruinosa</i> |
| <i>Crataegus gaylussacia</i>     | N4                                 | N4                                 |                                  |                                     |

| Espèce (2015)                   | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015) |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Crataegus holmesiana</i>     | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus intricata</i>      | N1                                 | NH                                 | Niveau de risque plus élevé      | I                           |
| <i>Crataegus irrasa</i>         | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus jonesiae</i>       | NU                                 | NU                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus knieskerniana</i>  | NU                                 | NU                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus lemingtonensis</i> | NU                                 | NU                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus lumaria</i>        | N3                                 | N2                                 | Niveau de risque plus élevé      | P                           |
| <i>Crataegus macracantha</i>    |                                    | N5                                 | Nouvelle espèce                  | I                           |
| <i>Crataegus macrosperma</i>    | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus magniflora</i>     | NU                                 | N3                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | T                           |
| <i>Crataegus margarettae</i>    | N1                                 | N1                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus mollis</i>         | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus okanaganensis</i>  |                                    | N3                                 | Nouvelle espèce                  | I                           |
| <i>Crataegus okennonii</i>      |                                    | N3                                 | Nouvelle espèce                  | I                           |
| <i>Crataegus orbicularis</i>    |                                    | N2                                 | Nouvelle espèce                  | I – Décrite récemment       |
| <i>Crataegus pennsylvanica</i>  |                                    | NU                                 | Nouvelle espèce                  | I                           |
| <i>Crataegus perjudunda</i>     | NU                                 | N1                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus persimilis</i>     | NU                                 | N1                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus phippsii</i>       |                                    | N2                                 | Nouvelle espèce                  | I                           |

| Espèce (2015)                    | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015) |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Crataegus populnea</i>        | NU                                 | N4                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus pruinosa</i>        | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus punctata</i>        | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus rivuloadamensis</i> | NU                                 | N2                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus rivulopugnensis</i> | NU                                 | N1                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus rubibracteolata</i> | NU                                 | N2                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus scabrida</i>        | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus schuettei</i>       | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus sheila-hippsiae</i> | NU                                 | N2                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus sheridana</i>       | NU                                 | N2                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Crataegus shuswapensis</i>    |                                    | N2                                 | Nouvelle espèce                  | I – Décrite récemment       |
| <i>Crataegus stolonifera</i>     |                                    | NU                                 | Nouvelle espèce                  | I                           |
| <i>Crataegus submollis</i>       | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus suborbiculata</i>   | N2                                 | N2                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus succulenta</i>      | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Crataegus ursopedensis</i>    | NU                                 | N1                                 | Changé de ou en U, NR, NA        | I                           |
| <i>Diervilla lonicera</i>        | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Dirca palustris</i>           | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Elaeagnus commutata</i>       | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Fagus grandifolia</i>         | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Fraxinus americana</i>        | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |

| <b>Espèce (2015)</b>           | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|--------------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Fraxinus latifolia</i>      | N1  | N1  |   |                                    |
| <i>Fraxinus nigra</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Fraxinus pennsylvanica</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Fraxinus profunda</i>       | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Fraxinus quadrangulata</i>  | N3  | N2  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Gleditsia triacanthos</i>   | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Gymnocladus dioicus</i>     | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Hamamelis virginiana</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ilex glabra</i>             | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ilex mucronata</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ilex verticillata</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Juglans cinerea</i>         | N1  | N1  |   |                                    |
| <i>Juglans nigra</i>           | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Juniperus communis</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Juniperus horizontalis</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Juniperus maritima</i>      | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Juniperus scopulorum</i>    | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Juniperus virginiana</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Kalmia angustifolia</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Kalmia microphylla</i>      | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Kalmia polifolia</i>        | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Kalmia procumbens</i>       | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Larix laricina</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Larix lyallii</i>           | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Larix occidentalis</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Liriodendron tulipifera</i> | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Lonicera canadensis</i>     | N5  | N5  |   |                                    |

| <b>Espèce (2015)</b>         | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|------------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Lonicera ciliosa</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Lonicera dioica</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Lonicera hirsuta</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Lonicera hispidula</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Lonicera involucrata</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Lonicera oblongifolia</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Lonicera utahensis</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Lonicera villosa</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Magnolia acuminata</i>    | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Malus coronaria</i>       | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Malus fusca</i>           | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Morella californica</i>   | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Morella pensylvanica</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Morus rubra</i>           | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Myrica gale</i>           | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Nyssa sylvatica</i>       | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Ostrya virginiana</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Paxistima myrsinites</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Penstemon fruticosus</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Philadelphus lewisii</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Physocarpus malvaceus</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Picea engelmannii</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Picea glauca</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Picea mariana</i>         | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Picea rubens</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Picea sitchensis</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Pinus albicaulis</i>      | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Pinus banksiana</i>       | N5  | N5  |   |                                    |

| <b>Espèce (2015)</b>         | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b>   |
|------------------------------|---|---|---|--------------------------------------|
| <i>Pinus contorta</i>        | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Pinus flexilis</i>        | N3  | N3  |   |                                      |
| <i>Pinus monticola</i>       | N4  | N4  |   |                                      |
| <i>Pinus ponderosa</i>       | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Pinus resinosa</i>        | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Pinus rigida</i>          | N2  | N2  |   |                                      |
| <i>Pinus strobus</i>         | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Populus angustifolia</i>  | N3  | N3  |   |                                      |
| <i>Populus balsamifera</i>   | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Populus deltoides</i>     | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Populus grandidentata</i> | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Populus heterophylla</i>  | N1  | N1  |   |                                      |
| <i>Populus tremuloides</i>   | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Populus trichocarpa</i>   |   | N5  | Nouvelle espèce                         | T – était <i>Populus balsamifera</i> |
| <i>Prunus americana</i>      | N4  | N4  |   |                                      |
| <i>Prunus emarginata</i>     | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Prunus nigra</i>          | N4  | N4  |   |                                      |
| <i>Prunus pensylvanica</i>   | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Prunus pumila</i>         | N4  | N4  |   |                                      |
| <i>Prunus serotina</i>       | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Prunus virginiana</i>     | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Ptelea trifoliata</i>     | N2  | N3  | Niveau de risque<br>moins élevé         | I                                    |
| <i>Quercus alba</i>          | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Quercus bicolor</i>       | N4  | N4  |   |                                      |
| <i>Quercus ellipsoidalis</i> | N3  | N3  |   |                                      |
| <i>Quercus garryana</i>      | N5  | N5  |   |                                      |

| <b>Espèce (2015)</b>               | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|------------------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Quercus ilicifolia</i>          | N1  | N1  |   |                                    |
| <i>Quercus macrocarpa</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Quercus muehlenbergii</i>       | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Quercus palustris</i>           | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Quercus prinoides</i>           | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Quercus rubra</i>               | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Quercus shumardii</i>           | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Quercus velutina</i>            | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Rhamnus alnifolia</i>           | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhododendron albiflorum</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhododendron canadense</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhododendron groenlandicum</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhododendron lapponicum</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhododendron macrophyllum</i>   | N4  | N3  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Rhododendron maximum</i>        | NX  | NX  |   |                                    |
| <i>Rhododendron neoglandulosum</i> | N4  | N3  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Rhododendron tomentosum</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhus aromatica</i>              | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhus copallinum</i>             | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Rhus glabra</i>                 | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rhus typhina</i>                | N5  | N5  |   |                                    |



| <b>Espèce (2015)</b>        | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|-----------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Ribes acerifolium</i>    | N3  | N4  | Niveau de risque moins élevé            | I                                  |
| <i>Ribes americanum</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes aureum</i>         | N4  | N3  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Ribes bracteosum</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes cereum</i>         | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes cynosbati</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes divaricatum</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes glandulosum</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes hirtellum</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes hudsonianum</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes inerme</i>         | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Ribes lacustre</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes laxiflorum</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes lobbii</i>         | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Ribes oxyacanthoides</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes sanguineum</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes triste</i>         | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes viscosissimum</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Ribes watsonianum</i>    |   | NU  | Nouvelle espèce                         | I                                  |
| <i>Rosa acicularis</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rosa arkansana</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rosa blanda</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rosa carolina</i>        | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Rosa gymnocarpa</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rosa nitida</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rosa nutkana</i>         | N5  | N5  |   |                                    |

| <b>Espèce (2015)</b>       | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|----------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Rosa palustris</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rosa pisocarpa</i>      | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Rosa setigera</i>       | N3  | N2  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Rosa virginiana</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Rosa woodsii</i>        | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix alaxensis</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix amygdaloides</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix arbusculoides</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix arctica</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix arctophila</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix argyrocarpa</i>   | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix athabascensis</i> | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix ballii</i>        | N4  | N3  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Salix barclayi</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix barrattiana</i>   | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix bebbiana</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix boothii</i>       | N4  | N3  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Salix brachycarpa</i>   | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix calcicola</i>     | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix candida</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix cascadiensis</i>  | N3  | N5  | Niveau de risque moins élevé            | I                                  |
| <i>Salix chamissonis</i>   | N3  | N4  | Niveau de risque moins élevé            | I                                  |
| <i>Salix chlorolepis</i>   | N1  | N1  |   |                                    |
| <i>Salix commutata</i>     | N5  | N5  |   |                                    |

| <b>Espèce (2015)</b>      | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|---------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Salix cordata</i>      | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix discolor</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix drummondiana</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix eriocephala</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix exigua</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix famelica</i>     | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix farriae</i>      | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix fuscescens</i>   | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix geyeriana</i>    | N3  | N5  | Niveau de risque                        | I<br>moins élevé                   |
| <i>Salix glauca</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix hastata</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix herbacea</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix hookeriana</i>   | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix humilis</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix interior</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix jejuna</i>       | N1  | N1  |   |                                    |
| <i>Salix lasiandra</i>    | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix lucida</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix maccalliana</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix melanopsis</i>   | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix myricoides</i>   | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix myrtilifolia</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix nigra</i>        | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix niphoclada</i>   | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix nivalis</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix ovalifolia</i>   | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Salix pedicellaris</i> | N5  | N5  |   |                                    |

| <b>Espèce (2015)</b>          | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b> |
|-------------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| <i>Salix pellita</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix petiolaris</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix petrophila</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix phlebophylla</i>     | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix planifolia</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix polaris</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix prolixa</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix pseudomonticola</i>  | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix pseudomyrsinites</i> | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix pulchra</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix pyrifolia</i>        | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix raupii</i>           | N2  | N3  | Niveau de risque moins élevé            | P                                  |
| <i>Salix reticulata</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix richardsonii</i>     | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix rotundifolia</i>     | N4  | N4  |   |                                    |
| <i>Salix scouleriana</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix sericea</i>          | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix serissima</i>        | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix sessilifolia</i>     | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Salix setchelliana</i>     | N3  | N3  |   |                                    |
| <i>Salix silicicola</i>       | N3  | N2  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Salix sitchensis</i>       | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix sphenophylla</i>     | N2  | N2  |   |                                    |
| <i>Salix stolonifera</i>      | N5  | N5  |   |                                    |
| <i>Salix turnorii</i>         | N3  | N2  | Niveau de risque plus élevé             | P                                  |
| <i>Salix tweedyi</i>          | N3  | N3  |   |                                    |

| <b>Espèce (2015)</b>         | <b>Classement national arrondi (2010)</b> | <b>Classement national arrondi (2015)</b> | <b>Description du changement (2015)</b> | <b>Raison du changement (2015)</b>   |
|------------------------------|---|---|---|--------------------------------------|
| <i>Salix tyrrellii</i>       | N3  | N2  | Niveau de risque plus élevé             | P                                    |
| <i>Salix uva-ursi</i>        | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Salix vestita</i>         | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Sambucus canadensis</i>   |   | N5  | Nouvelle espèce                         | T – était <i>Sambucus nigra</i>      |
| <i>Sambucus nigra</i>        | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Sambucus racemosa</i>     | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Shepherdia argentea</i>   | N4  | N4  |   |                                      |
| <i>Shepherdia canadensis</i> | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Sorbus americana</i>      | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Sorbus decora</i>         | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Sorbus scopulina</i>      | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Sorbus sitchensis</i>     | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Spiraea alba</i>          | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Spiraea douglasii</i>     | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Spiraea latifolia</i>     | NU  | N5  | Changé de ou en U, NR, NA               | T                                    |
| <i>Spiraea lucida</i>        |   | N5  | Nouvelle espèce                         | T – était <i>Spiraea betulifolia</i> |
| <i>Spiraea splendens</i>     | N3  | N3  |   |                                      |
| <i>Spiraea stevenii</i>      | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Spiraea tomentosa</i>     | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Taxus brevifolia</i>      | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Taxus canadensis</i>      | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Thuja occidentalis</i>    | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Thuja plicata</i>         | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Tilia americana</i>       | N5  | N5  |   |                                      |
| <i>Tsuga canadensis</i>      | N5  | N5  |   |                                      |

| Espèce (2015)                  | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015) |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Tsuga heterophylla</i>      | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Tsuga mertensiana</i>       | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Ulmus americana</i>         | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Ulmus rubra</i>             | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Ulmus thomasii</i>          | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium angustifolium</i> | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium boreale</i>       | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium caespitosum</i>   | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium corymbosum</i>    | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium deliciosum</i>    | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium macrocarpon</i>   | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium membranaceum</i>  | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium microcarpum</i>   |                                    | N4                                 | Nouvelle espèce                  | T                           |
| <i>Vaccinium myrtilloides</i>  | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium myrtillus</i>     | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium ovalifolium</i>   | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium ovatum</i>        | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium oxycoccos</i>     | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium pallidum</i>      | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium parvifolium</i>   | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium scoparium</i>     | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium stamineum</i>     | N1                                 | N1                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium uliginosum</i>    | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Vaccinium vitis-idaea</i>   | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Viburnum acerifolium</i>    | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |

| Espèce (2015)                  | Classement national arrondi (2010) | Classement national arrondi (2015) | Description du changement (2015) | Raison du changement (2015) |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Viburnum edule</i>          | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Viburnum lantanoides</i>    | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Viburnum lentago</i>        | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Viburnum nudum</i>          | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Viburnum opulus</i>         | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Viburnum rafinesquianum</i> | N5                                 | N5                                 |                                  |                             |
| <i>Viburnum recognitum</i>     | N4                                 | N4                                 |                                  |                             |

Au niveau fédéral, le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) est un organisme indépendant composé d'experts de la faune et de scientifiques qui relèvent les espèces en péril et désignent leur statut de conservation. Les espèces désignées par le COSEPAC sont ensuite évaluées en vue de leur inclusion au Registre des espèces en péril à des fins de protection légale en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP). Le tableau 4.4 énumère les espèces d'arbres ayant une désignation fédérale de risque. Depuis la préparation du dernier rapport national, l'espèce *Pinus flexilis* a été ajoutée, désignée comme étant en péril, mais elle n'a pas encore été ajoutée au registre de la LEP en vue d'une protection légale. L'espèce *Fraxinus nigra* a reçu un classement SARA d'espèce menacée au cours de cette période de rapport. Il n'y a pas d'autres changements dans la désignation des espèces d'arbres.

Tableau 4.4 Espèces d'arbres ayant une désignation fédérale officielle de risque fondée sur la *Loi sur les espèces en péril* (LEP).

| Espèces en péril       | Classement du COSEPAC  | Classement de la LEP <sup>1</sup> | Province où l'espèce est en péril | Aire de répartition naturelle de l'espèce au Canada |
|------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| <i>Betula lenta</i>    | En voie de disparition | En voie de disparition            | Ontario                           | Ontario   |
| <i>Juglans cinerea</i> | En voie de disparition | En voie de disparition            | Ontario                           | Ontario,<br>Québec,<br>Nouveau-Brunswick            |

| <b>Espèces en péril</b>       | <b>Classement du COSEPAC</b>   | <b>Classement de la LEP<sup>1</sup></b> | <b>Province où l'espèce est en péril</b> | <b>Aire de répartition naturelle de l'espèce au Canada</b> |
|-------------------------------|--------------------------------|---|--|--|
| <i>Castanea dentata</i>       | En voie de disparition         | En voie de disparition                  | Ontario                                  | Ontario  |
| <i>Cornus florida</i>         | En voie de disparition         | En voie de disparition                  | Ontario                                  | Ontario  |
| <i>Morus rubra</i>            | En voie de disparition         | En voie de disparition                  | Ontario                                  | Ontario  |
| <i>Pinus albicaulis</i>       | En voie de disparition         | Aucun statut assigné                    | Colombie-Britannique, Alberta            | Colombie-Britannique, Alberta                              |
| <i>Pinus flexilis</i>         | En voie de disparition (2014)  | Aucun statut attribué                   | Alberta                                  | Colombie-Britannique, Alberta                              |
| <i>Magnolia acuminata</i>     | En voie de disparition         | En voie de disparition                  | Ontario                                  | Ontario  |
| <i>Gymnocladus dioicus</i>    | Menacée                        | Menacée                                 | Ontario                                  | Ontario  |
| <i>Ptelea trifoliata</i>      | Espèce menacée<br>Préoccupante | Préoccupante                            | Ontario                                  | Ontario  |
| <i>Fraxinus quadrangulata</i> | Préoccupante                   | Préoccupante                            | Ontario                                  | Ontario  |
| <i>Fraxinus nigra</i>         | Menacée (2018)                 | Aucun statut attribué                   | Nouvelle-Écosse                          | Manitoba, est  |
| <i>Quercus shumardii</i>      | Préoccupante                   | Préoccupante                            | Ontario                                  | Ontario  |

1. Données recueillies à partir du registre des espèces en péril – [http://www.sararegistry.gc.ca/sar/index/default\\_f.cfm](http://www.sararegistry.gc.ca/sar/index/default_f.cfm) consulté en mars 2020 et de la réponse du ministre de l'Environnement aux évaluations des espèces en péril soumises par le COSEPAC le 9 octobre 2019 (<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/especes-peril-loi-accord-financement/processus-inscription/reponse-ministre-evaluations-2019.html>), consultée en juillet 2020



Les espèces d'arbres préoccupantes ont été relevées par l'enquête CONFORGEN (Beardmore et coll., 2006) et ont été répertoriés dans le rapport 2012 du Canada sur les RGF. L'enquête n'a pas été mise à jour.

#### **4.4. Évolution du nombre d'espèces**

Le nombre d'espèces au Canada est à peu près stable. L'introduction d'espèces exotiques est de loin la principale source de variation du nombre d'espèces. Le Programme des espèces sauvages a signalé qu'en 2015, 1 315 espèces de plantes vasculaires (représentant 25 % de toutes les espèces de plantes vasculaires au Canada) étaient exotiques (Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril, 2016). La vaste majorité de ces espèces sont herbacées. Ce nombre représente une légère augmentation par rapport à 2010, où environ 1 229 (24 %) des 5 087 plantes connues avaient été déclarées exotiques (Centre national d'échange sur la biodiversité du Canada, consulté en avril 2020).

#### **4.5. Moteurs de changement touchant les espèces en péril**

Les facteurs de changement les plus importants touchant les espèces en péril au Canada sont les suivants : la perte et la dégradation de l'habitat en raison de l'intrusion humaine pour les loisirs, le développement résidentiel et commercial et l'agriculture; l'introduction d'insectes nuisibles, de maladies et d'autres espèces envahissantes; les répercussions environnementales des changements climatiques et de la pollution (McCune et Morrison, 2020; McCune et coll., 2013).

McCune (2020) a noté que la plupart des espèces végétales en péril ne bénéficient pas de la protection offerte en vertu de la LEP, parce que ce cadre ne s'applique qu'aux terres appartenant au gouvernement fédéral, alors que la plupart des espèces végétales en péril se trouvent principalement sur des terres privées. Par conséquent, il est urgent que le gouvernement fédéral encourage l'intendance des espèces végétales en péril sur les terres privées.

#### **Ouvrages cités**

Almas, A.D. et T.M. Conway, 2016. The role of native species in urban forest planning and practice: A case study of Carolinian Canada. *Urban forestry & urban greening*, 17 : 54 à 62.

Beardmore, T., J. Loo, B. McAfee, C. Malouin et D. Simpson, 2006. A survey of tree species of concern in Canada: the role for genetic conservation. *The Forestry Chronicle*, 82(3) : 351 à 363.

Conseil canadien pour la conservation des espèces menacées. 2016. *Espèces sauvages 2015 : La situation générale des espèces au Canada*. Groupe de travail national sur le statut général.

Centre d'échange national sur la biodiversité du Canada. <https://biodivcanada.chm-cbd.net/fr/etat-tendances-ecosystemes-2010/especes-non-indigenes-envahissantes>

Conseil canadien de conservation des espèces en péril. 2016. *Espèces sauvages 2015 : La situation générale des espèces au Canada*. Groupe de travail national sur le statut général : 128 pages.

Farrar, J.L. 1995. *Les Arbres du Canada*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa, co-publié par Fitzhenry and Whiteside Limited, Markham (Ontario). 502 p.

Fowler, D.P. et J.F. Coles, 1980. Norway spruce provenance experiments in the Maritimes region of Canada. *The Forestry Chronicle*, 56(4) : 155 à 160.

Fraser, E., E. Marenholtz, J.M. Sobze, A. Schoonmaker, M. Mckenzie, A. Smreciu et C.B. Powter, 2014. Alternative Native Boreal Seed and Plant Delivery Systems for Oil Sands Reclamation. Réseau de recherche et d'information sur les sables bitumineux, Université de l'Alberta, École de l'énergie et de l'environnement, Edmonton (Alberta). Rapport OSRIN n° TR-55. 61 pages.

Holst, M.J. et C.C. Heimburger, 1969. Tree breeding and genetics of exotic conifers in Canada. *The Forestry Chronicle*, 45(6) : 434 à 440.

McCune, J.L. et P.D. Morrison, 2020. Conserving plant species at risk in Canada: land tenure, threats, and representation in federal programs. *FACETS*, 5(1) : 538 à 550.

McCune, J.L. et P.D.S. Morrison. 2020. Conserving plant species at risk in Canada: land tenure, threats, and representation in federal programs. *Facets* 5(1).

McCune, J.L., W.L. Harrower, S. Avery-Gomm, J.M. Brogan, A.M. Csergő, L.N. Davidson, A. Garani, L.R. Halpin, L.P. Lipsen, C. Lee et J.C. Nelson. 2013. Threats to Canadian species at risk: an analysis of finalized recovery strategies. *Biological Conservation*, 166 : 254 à 265.

Ressources naturelles Canada. 2019. Atlas du Canada. 6<sup>e</sup> édition, 1999-2009 (version archivée). <https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/cartes/forets/16875>

Ville de Toronto. 2018. Tree canopy study. <https://www.toronto.ca/services-payments/water-environment/trees/>

## **Chapitre 5. État de la diversité génétique au sein des arbres et des autres espèces de plantes ligneuses**

La diversité génétique des espèces d'arbres boréales et tempérées du nord tend à être élevée, car la plupart sont pollinisées par le vent et occupent de vastes zones continues. À l'exception peut-être de quelques espèces d'arbres atteignant leur limite septentrionale à la frontière méridionale du Canada, il n'y a aucun signe de l'érosion génétique grave d'espèces d'arbres au Canada. Un examen de la documentation révèle qu'au moins 43 études sur la diversité génétique ont été réalisées depuis la rédaction du dernier rapport, décrivant la diversité génétique pour une partie ou la totalité de l'éventail des 27 espèces d'arbres indigènes (tableau 5.1).

Le Canada ne dispose pas d'un répertoire central de données sur les ressources génétiques forestières (RGF), mais des groupes de recherche de diverses compétences tiennent à jour les données génétiques obtenues pour les espèces d'arbres importantes dans leur région. Au moins 13 études menées depuis 2012 sur 10 espèces d'arbres ont contribué à la connaissance des modèles de variation géographique. De nombreuses études ont été réalisées pour caractériser les ressources génétiques des arbres forestiers, mais peu, voire aucun suivi régulier n'a été effectué; ce qui signifie que les tendances de la diversité génétique sont difficiles à estimer. Des mesures de substitution (telles que la taille et la fragmentation des populations de certaines espèces d'arbres) sont plus courantes.

### ***5.1. Mesures prises ou en cours pour évaluer et analyser la diversité génétique des arbres et des autres espèces ligneuses***

Le Canada ne dispose pas d'une approche nationale coordonnée visant à évaluer et à analyser la diversité génétique des arbres ou des autres espèces ligneuses. Des groupes de recherche, combinant l'expertise des universités et des gouvernements provinciaux et fédéral, se sont réunis pour améliorer la compréhension des ressources génétiques des espèces d'arbres importantes, mais ces efforts se sont principalement limités à la Colombie-Britannique, à l'Alberta et au Québec.

Le nombre d'universités menant des recherches sur les ressources génétiques des arbres s'est étendu au-delà des écoles forestières traditionnelles. En Colombie-Britannique, en plus des recherches menées à l'Université de la Colombie-Britannique et à l'Université du Nord de la Colombie-Britannique, l'Université Simon Fraser et l'Université de Victoria produisent des études supérieures sur la diversité génétique des arbres. En Alberta, des recherches sur la génétique des arbres sont menées à l'Université Concordia d'Edmonton ainsi qu'à l'Université de l'Alberta. En Ontario, les universités Lakehead, Carleton, Guelph et Trent ainsi que l'Université Laurentienne ont soutenu des recherches sur la génétique des arbres au cours des huit dernières années. Des études génétiques sur les arbres sont menées à l'Université Laval au Québec et à l'Université du Nouveau-Brunswick dans les provinces maritimes.

Tableau 5.1 Examen de la documentation scientifique évaluant la variation intraspécifique des espèces d'arbres indigènes au Canada, de 1987 à 2020. Les dates des articles publiés depuis 2012 sont en gras.

| Espèce                | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>              |
|-----------------------|---|---|
| <i>Acer saccharum</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation des allozymes chez l'érable à sucre à la limite septentrionale de son aire de répartition en Ontario (Canada). (Perry et Knowles, 1989)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> </ul>    |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation et structure génétiques à trois échelles spatiales pour <i>Acer saccharum</i> (érable à sucre) au Canada et implications pour sa conservation. (Young et coll., 1993)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> </ul>    |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Influence of northern limit range on genetic diversity and structure in a widespread North American tree, sugar maple (<i>Acer saccharum</i> Marshall). (Gragnic et coll., 2018)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation géographique de la capacité de reproduction des populations périphériques nordiques de l'érable à sucre (<i>Acer saccharum</i> Marshall). (Gragnic et coll., 2014)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recrutement de semis</li> </ul>    |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de marqueurs microsatellites nucléaires polymorphes chez l'érable à sucre (<i>Acer saccharum</i> Marsh.) à l'aide d'un transfert interespèces et d'un pyroséquençage aléatoire enrichi en SSR. (Gragnic et coll., 2013)</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conséquences génétiques de la coupe de jardinage sur l'érable à sucre (<i>Acer saccharum</i> Marshall). (Gragnic et coll., 2016)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |
| <i>Acer rubrum</i>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse moléculaire des populations d'érable rouge (<i>Acer rubrum</i>) d'une région minière remise en état dans le nord de l'Ontario (Canada) : accumulation des métaux dans le sol et translocation dans les plantes. (Kalubi et coll., 2015)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur ISSR</li> </ul>           |
| <i>Acer negundo</i>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différenciation génétique et plasticité phénotypique dans les traits du cycle de vie entre les populations indigènes et</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phénotype</li> </ul>               |

| Espèce                   | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>   |
|--------------------------|---|--|
| <i>Alnus crispa</i>      | <p>introduites d'érables envahissants. (Lamarque et coll., 2015)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différenciation génétique entre 22 populations matures d'aulne vert (<i>Alnus crispa</i>) dans le centre du Québec. (Bousquet et coll., 1987b)</li> <li>• Diversité génétique au sein et entre 11 populations juvéniles d'aulne vert (<i>Alnus crispa</i>) au Canada. (Bousquet et coll., 1987c)</li> <li>• Variabilité allozymique dans les populations naturelles d'aulne vert (<i>Alnus crispa</i>) au Québec. (Bousquet et coll., 1987a)</li> <li>• Variation allozymique au sein et entre les populations matures d'aulne rugueux (<i>Alnus rugosa</i>) et relations avec l'aulne vert (<i>Alnus crispa</i>). (Bousquet et coll., 1988)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> </ul> |
| <i>Alnus rubra</i>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Génétique des populations d'aulne rouge (<i>Alnus rubra</i> Bong.) en Colombie britannique et ses implications pour la gestion des ressources génétiques. (Xie et coll., 2002)</li> <li>• Caractérisation des génomes chloroplastiques des espèces <i>Alnus rubra</i> et <i>Betula cordifolia</i> et leur utilisation dans les analyses phylogénétiques chez les Betulaceae. (Lee et coll., 2019)</li> <li>• Variation adaptative de la croissance, de la phénologie, de la tolérance au froid et de la fixation de l'azote de l'aulne rouge (<i>Alnus rubra</i> Bong.) (Porter et coll., 2013)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Séquençage du génome entier</li> <li>• Croissance, phénologie, tolérance au froid</li> </ul>    |
| <i>Arbutus menziesii</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Structure génétique et système d'accouplement des populations nordiques d'<i>Arbutus menziesii</i>. (Beland et coll., 2005)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur AFLP</li> </ul>  |
| <i>Betula papyrifera</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyses génétiques et métalliques des populations fragmentées de <i>Betula papyrifera</i> (Marsh) dans une région minière remise en état : identification d'un marqueur moléculaire diagnostique de population. (Therriault et coll., 2014)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur ISSR</li> </ul>  |

| Espèce                           | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>   |
|----------------------------------|---|--|
| <i>Callitropsis nootkatensis</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractérisation moléculaire et écologique de populations végétales provenant de sites chaulés et contaminés par des métaux dans le nord de l'Ontario (Canada) : analyse ISSR des populations de bouleau blanc (<i>Betula papyrifera</i>). (Therriault et coll., 2013)</li> <li>• Variabilité de la croissance en hauteur, de la survie et de l'effet de transfert en pépinière des provenances de <i>Betula papyrifera</i>. (Dhar et coll., 2014)</li> <li>• Évaluation des effets de la source de graines et du potentiel de transfert des populations de bouleau blanc à l'aide de fonctions de transfert (Oke et Wang, 2013)</li> <li>• Variation géographique et adaptation aux climats actuels et futurs des populations de <i>Callitropsis nootkatensis</i>. (Russell et Krakowski, 2012)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur ISSR</li> <li>• Phénotype</li> <li>• Phénotype</li> <li>• Phénotype</li> </ul>               |
| <i>Crataegus</i> spp.            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparaisons à petite échelle de la variabilité génétique dans les familles de graines de <i>Crataegus</i> (<i>Aubépine rosaceae</i>) à reproduction asexuée et sexuée. (Lo et coll., 2010)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul>  |
| <i>Fagus grandifolia</i>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différenciation régionale des composantes génétiques du hêtre américain, <i>Fagus grandifolia</i> Ehrh, en relation avec l'histoire géologique et le mode de reproduction. (Kitamura et Kawan, 2001)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur isozymique</li> </ul>  |
| <i>Juglans cinerea</i>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible diversité génétique au niveau des allozymes de l'espèce <i>Juglans cinerea</i>. (Morin et coll., 2000)</li> <li>• Diversité génétique du noyer cendré (<i>Juglans cinerea</i>) et implications pour sa conservation. (Ross-Davis et coll., 2008)</li> <li>• Santé et diversité génétique du noyer cendré au Nouveau-Brunswick (Canada). (Beardmore et coll., 2017)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |

| Espèce                    | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche  | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>   |
|---------------------------|--|--|
| <i>Larix laricina</i>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèles de variation allozymique chez le mélèze laricin (<i>Larix laricina</i>) du nord de l'Ontario. (Liu et Knowles, 1991)</li> <li>• Structure de la population de <i>Larix laricina</i> au Nouveau Brunswick (Canada). (Ying et Morgenstern, 1991)</li> <li>• Relation génétique entre les espèces de <i>Larix</i> eurasiennes et américaines basée sur les allozymes. (Semerikov et Lascoux, 1999)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> </ul>                                       |
| <i>Larix lyallii</i>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Génomique des populations d'un conifère de la limite forestière, le mélèze subalpin (<i>Larix lyallii</i> Parl.) (Vance, M., 2019)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur SNP</li> </ul>   |
| <i>Larix occidentalis</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation génétique du mélèze occidental en Colombie-Britannique et sa conservation. (Jaquish et El-Kassaby, 1998)</li> <li>• Relation génétique entre les espèces de <i>Larix</i> eurasiennes et américaines basée sur les allozymes. (Semerikov et Lascoux, 1999)</li> <li>• Développement et caractérisation des loci microsatellites chez le mélèze occidental. (<i>Larix occidentalis</i> Nutt.) (Chen et coll., 2009)</li> <li>• Estimations des paramètres génétiques et des valeurs de reproduction des familles de mélèze occidental à pollinisation libre en utilisant la relation basée sur les marqueurs. (Klápště et coll., 2014)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |
| <i>Magnolia acuminata</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Génétique de conservation de <i>Magnolia acuminata</i>, espèce menacée au Canada : La diversité génétique peut-elle être maintenue dans des populations fragmentées et périphériques? (Budd et coll., 2015)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul>  |

| Espèce              | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>  |
|---------------------|---|---|
| <i>Picea glauca</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La dispersion étendue du pollen sur de longues distances dans un paysage fragmenté maintient la diversité génétique de l'épinette blanche. (O'Connell et coll., 2007)</li> <li>• Amélioration de la cartographie génétique de génomes complexes par la conception de réseaux de SNP hautement multiplexés : application aux génomes importants et non séquencés de l'épinette blanche et de l'épinette noire. (Pavy et coll., 2008)</li> <li>• L'analyse multivariée des profils numériques d'expression génétique relève une signature du xylème du tissu vasculaire de l'épinette blanche (<i>Picea glauca</i>). (Albouyeh et coll., 2010)</li> <li>• QTL mapping in white spruce: gene maps and genomic regions underlying adaptive traits across pedigrees, years and environments. (Pelgas et coll., 2011)</li> <li>• Structure génétique et morphologique d'une zone hybride d'épinette (<i>Picea sitchensis</i> × <i>P. glauca</i>) le long d'un gradient climatique. (Hamilton et Aitken, 2013)</li> <li>• Effets des pratiques sylvicoles sur la diversité génétique et la structure des populations d'épinette blanche en Saskatchewan. (Fageria et Rajora, 2014)</li> <li>• Effets de la récolte d'intensités croissantes sur la diversité génétique et la structure de la population de l'épinette blanche. (Fageria et Rajora, 2013)</li> <li>• Analyse des SNP d'un large ensemble de gènes exprimés pour évaluer les répercussions de la sélection artificielle sur la diversité génétique non domestiquée de l'épinette blanche. (Namroud et coll., 2012)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur SNP</li> <li>• ADN cloné</li> <li>• Marqueur SNP</li> <li>• Marqueur microsatellite, phénotype</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Marqueur SNP</li> </ul> |



| Espèce                                  | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche  | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>  |
|---|--|---|
| <i>Picea mariana</i>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carte de liaison génétique complète et quasi-saturée de l'épinette noire (<i>Picea mariana</i>). (Kang et coll., 2010)</li> <li>• Structure génétique clonale et non clonale des populations subarctiques d'épinette noire (<i>Picea mariana</i>) dans le territoire du Yukon. (Viktora et coll., 2011)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur AFLP</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul>  |
| <i>Picea mariana</i> x <i>P. rubens</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation génétique dans les populations hybrides de <i>Picea mariana</i> x <i>P. rubens</i> évaluée avec des marqueurs ISSR et RAPD. (Ramya et Kabwe, 2012)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur ISSR, marqueur RAPD</li> </ul>  |
| <i>Picea rubens</i>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversité génétique et structure de la population de l'épinette rouge (<i>Picea rubens</i>). (Hawley et Hayes, 1994)</li> <li>• Indicateurs de la viabilité des populations d'épinette rouge (<i>Picea rubens</i> II). Diversité génétique, structure de la population et comportement d'accouplement. (Rajora et coll., 2000)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> </ul>  |
| <i>Picea sitchensis</i>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les stratégies d'échantillonnage optimales pour la capture de la diversité génétique différent entre les populations centrales et périphériques de <i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carr. (Gapare et coll., 2007)</li> <li>• Marqueurs génétiques écologiques répandus développés à partir de la cartographie d'association de traits liés au climat chez l'épinette de Sitka (<i>Picea sitchensis</i>). (Holliday et coll., 2010)</li> <li>• Adaptation locale à la périphérie de l'aire de répartition de l'épinette de Sitka. (Mimura et Aitken, 2010)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur de site marqué par une séquence (STS)</li> <li>• Marqueur SNP</li> <li>• Phénotype</li> </ul> |
| <i>Pinus albicaulis</i>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biogéographie et génétique des populations du pin à écorce blanche (<i>Pinus albicaulis</i>). (Jorgensen et Hamrick, 1997)</li> <li>• Consanguinité et génétique de conservation chez le pin à écorce blanche. (Krakowski et coll., 2003)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur isozymique</li> </ul>   |

| Espèce                                      | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>  |
|---|---|---|
| <i>Pinus banksiana</i>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Système d'accouplement et dépression consanguine chez le pin à écorce blanche (<i>Pinus albicaulis</i> Engelm.) (Bower et Aitken, 2007)</li> <li>• Tests de provenance de la forêt boréale utilisés pour prédire la croissance optimale et la réponse aux changements climatiques. 1. Pin gris (Thomson et Parker, 2008)</li> <li>• Effet des variations climatiques interannuelles sur la croissance radiale des provenances de pin gris à Petawawa (Ontario). (Savva et coll., 2008)</li> <li>• La structure phylogéographique du pin gris (<i>Pinus banksiana</i>; <i>Pinaceae</i>) soutient l'existence d'un refuge glaciaire côtier dans le nord-est de l'Amérique du Nord. (Godbout et coll., 2010)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Provenance</li> <li>• Provenance</li> <li>• Marqueur minisatellite, marqueur microsatellite</li> </ul>                                     |
| <i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organisation de la variabilité génétique dans les populations centrales et marginales de pin tordu (<i>Pinus contorta</i> spp. <i>latifolia</i>). (Yeh et Lavton, 1979)</li> <li>• Variabilité allozymique et évolution du pin tordu (<i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i>) et du pin gris (<i>Pinus banksiana</i>) en Alberta (Canada). (Dancik et Yeh, 1983)</li> <li>• Variabilité génétique entre et au sein de populations de pin tordu très proches. (Knowles, 1984)</li> <li>• Vicariance glaciaire dans le nord-ouest du Pacifique : preuve par un minisatellite de l'ADN mitochondrial du pin tordu de l'existence de multiples refuges génétiquement distincts et largement séparés. (Godbout et coll. 2008)</li> <li>• Répercussions climatiques sur la croissance radiale du pin tordu (<i>Pinus contorta</i>) dans une expérience de provenance. (McLane et coll., 2011a)</li> <li>• Modélisation de la croissance radiale du pin tordu par rapport au climat et à la génétique</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur isozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur isozymique</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Phénotype</li> <li>• Phénotype</li> </ul> |

| Espèce  | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>  |
|---|---|---|
| <i>Pinus monticola</i>                        | <p>à l'aide de fonctions universelles de réponse à la tendance de croissance. (McLane et coll., 2011b)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification et caractérisation de la famille des facteurs de transcription WRKY pour l'espèce <i>Pinus monticola</i>. (Donini et coll., 2009)</li> <li>• Variation génétique et différenciation des populations de la famille de gènes de l'endochitinase pour l'espèce <i>Pinus monticola</i>. (Liu et coll., 2014)</li> <li>• Variation de la provenance du pin <i>argente</i> (<i>Pinus monticola</i>) : répercussion de la rouille vésiculeuse du pin blanc. (King et coll., 2018)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Séquences de gènes</li> <li>• Marqueur SNP</li> <li>• Phénotype</li> </ul>   |
| <i>Pinus monticola</i> ,<br><i>P. strobus</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèles contrastés de diversité génétique dans les aires de répartition de <i>Pinus monticola</i> et <i>P. strobus</i> : A comparison between eastern and western North American postglacial colonization histories. (Nadeau et coll., 2015)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur SNP</li> </ul>  |
| <i>Pinus resinosa</i>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversité génétique du pin rouge : preuve d'une faible hétérozygotie génétique. (Fowler et Morris, 1977)</li> <li>• Uniformité isozymique dans les populations de pin rouge (<i>Pinus resinosa</i>) de la région de l'Atibiti (Québec). (Simon et coll., 1986)</li> <li>• Absence de variation allozymique dans les populations disjointes de pin rouge (<i>Pinus resinosa</i>) de Terre-Neuve. (Mosseler et coll., 1991)</li> <li>• Low levels of genetic diversity in red pine confirmed by random amplified polymorphic DNA markers. (Mosseler et coll., 1992)</li> <li>• Des microsatellites chloroplastiques révèlent la diversité génétique des populations de pin rouge (<i>Pinus resinosa</i> Ait.) (Echt et coll., 1998)</li> <li>• L'analyse microsatellite révèle des populations génétiquement distinctes de pin rouge (<i>Pinus resinosa</i>, Pinaceae). (Boys et coll., 2005)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur isozymique</li> <li>• Marqueur isozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur RAPD</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |

| Espèce               | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche  | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>   |
|----------------------|--|--|
| <i>Pinus rigida</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle géographique de la variation génétique de l'espèce <i>Pinus resinosa</i> : zone de contact entre les descendants des refuges glaciaires. (Walter et Emerson, 2005)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul>  |
| <i>Pinus strobus</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractéristiques reproductives et génétiques des populations rares et disjointes de pin à crochets à la limite nord de son aire de répartition au Canada. (Mosseler et coll., 2004)</li> <li>• Structure génétique et variabilité du <i>Pinus strobus</i> au Québec. (Beaulieu et Simon, 1994)</li> <li>• Héritage et relations de liaison des allozymes chez <i>Pinus strobus</i> L. (Beaulieu et Simon, 1994)</li> <li>• Diversité génétique et structure de la population d'espèces isolées. Les populations de pin blanc (<i>Pinus strobus</i>) de Terre-Neuve et du centre de l'Ontario. (Rajora et coll., 1998)</li> <li>• Divergence génétique et signatures de la sélection naturelle dans les populations marginales d'un conifère clé à longue durée de vie, le pin blanc (<i>Pinus strobus</i>) du nord de l'Ontario. (Chhatre et Rajora, 2014)</li> <li>• Niche climatique, génétique écologique et répercussions des changements climatiques sur le pin blanc (<i>Pinus strobus</i> L.) : lignes directrices pour les gestionnaires des terres (Joyce et Rehfeldt, 2013)</li> <li>• Phylogéographie postglaciaire et évolution d'un arbre forestier clé très exploité en Amérique du Nord, le pin blanc (<i>Pinus strobus</i>) : un seul refuge, des voies multiples. (Zinck et Rajora, 2016)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Données sur le paysage</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |

| Espèce                      | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>  |
|-----------------------------|---|---|
| <i>Populus angustifolia</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La phénologie et la croissance des bourgeons sont soumises à une sélection divergente à travers un gradient latitudinal pour l'espèce <i>Populus angustifolia</i> et ont une incidence sur l'adaptation à travers l'aire de distribution et les arthropodes associés. (Evans et coll., 2016)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phénotype</li> </ul>   |
| <i>Populus balsamifera</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation isozymique chez le peuplier baumier le long d'une section latitudinale dans le nord-ouest de l'Ontario. (Farmer et coll., 1988)</li> <li>• Marqueurs de polymorphisme nucléotidique simple spécifiques de l'espèce pour la détection de l'hybridation et de l'introggression chez le peuplier. (Meirmans et coll., 2007)</li> <li>• Test efficace de polymorphisme nucléotidique simple pour diagnostiquer l'identité génomique des espèces et des hybrides de peupliers dans les prairies canadiennes. (Talbot et coll., 2011)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur isozymique</li> <li>• Marqueur SNP</li> <li>• Marqueur SNP</li> </ul>   |
| <i>Populus deltoides</i>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Test efficace de polymorphisme nucléotidique simple pour diagnostiquer l'identité génomique des espèces et des hybrides de peupliers dans les prairies canadiennes. (Talbot et coll., 2011)</li> <li>• Suivre le courant : la variation intraspécifique peut agir comme un allié naturel pour contrebalancer les répercussions des changements mondiaux pour l'espèce riveraine, <i>Populus deltoides</i>. (Godbout et coll., 2020)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur SNP</li> <li>• Marqueur SNP</li> </ul>                                  |
| <i>Populus tremuloides</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation RAPD au sein et entre les populations naturelles de peuplier faux-tremble (<i>Populus tremuloides</i>) de l'Alberta. (Yeh et coll., 1995)</li> <li>• Analyse par microsatellite de la diversité génétique de quatre populations de <i>Populus tremuloides</i> au Québec. (Wyman et coll., 2003)</li> <li>• Variation quantitative-génétique des traits morphologiques et physiologiques au sein</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur RAPD</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Phénotype</li> </ul> |

| Espèce                     | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche  | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>                                   |
|----------------------------|--|--|
| <i>Populus trichocarpa</i> | d'une population de peuplier faux-tremble ( <i>Populus tremuloides</i> ). (Kanaga et coll., 2008)  |  |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptation génétique des populations de tremble (<i>Populus tremuloides</i>) aux environnements à risque printanier : nouvelle approche de télédétection. (Haitao et coll., 2010)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jardin expérimental commun</li> </ul>                   |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effets de la diversité génétique, du climat et des événements de défoliation sur la performance de croissance du peuplier faux-tremble à travers le Canada. (Latutrie et coll., 2015)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite, phénotype</li> </ul>           |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mode écotypique de différenciation régionale causée par une migration génétique restreinte : cas chez le peuplier de l'Ouest (<i>Populus trichocarpa</i>) le long de la côte nord-ouest du Pacifique. (Xie et coll., 2009)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phénotype</li> </ul>                                    |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mode écotypique de différenciation régionale du peuplier de l'Ouest (<i>Populus trichocarpa</i>) due à une migration génétique restreinte : preuves supplémentaires tirées d'un essai sur le terrain sur la côte nord de la Colombie-Britannique. (Xie et coll., 2012)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phénotype</li> </ul>                                    |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les gradients géographiques et environnementaux façonnent la variation des traits phénotypiques et la structure génétique de <i>Populus trichocarpa</i>. (McKown et coll., 2014)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur SNP, phénotype</li> </ul>                      |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Évaluation de la diversité génomique du germoplasme de <i>Populus trichocarpa</i> pour les études d'association génétique de variantes rares. (Piot et coll., 2019)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Séquençage du génome entier</li> </ul>                  |
| <i>Prunus virginiana</i>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La limitation du pollen et la réduction du succès reproductif sont associées à des effets génétiques locaux chez <i>Prunus virginiana</i>, arbuste auto-incompatible largement répandu. (Suarez-Gonzalez et Good, 2014)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur microsatellite, séquençage de gènes</li> </ul> |

| Espèce                       | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche  | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>  |
|------------------------------|--|---|
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Variations enzymatiques dans les populations naturelles de Douglas taxifolié, <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, de la Colombie-Britannique. 1. Modèles de variation génétique dans les populations côtières. (Yeh et O'Malley, 1980)</li> <li>Héritabilité, corrélations phénotypiques et génétiques des traits de qualité du bois du Douglas côtier (<i>Pseudotsuga menziesii</i>). (Ukrainetz et coll., 2008)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Marqueur isozymique</li> <li>Phénotype</li> </ul>                        |
| <i>Quercus garryana</i>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Variation isozymique et génétique de conservation du chêne de Garry. (Ritland et coll., 2005)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Marqueur isozymique</li> </ul>   |
| <i>Quercus rubra</i>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Variation génétique élevée entre des populations de chêne rouge d'Amérique (<i>Quercus rubra</i>) étroitement apparentées dans un écosystème soumis à un stress métallique : analyse de la régulation des gènes. (Makela et coll., 2016)</li> <li>Analyse des métaux lourds dans les populations de chêne rouge d'Amérique (<i>Quercus rubra</i>) d'une région minière du nord de l'Ontario (Canada) : effet du chaulage du sol et analyse de la variation génétique. (Narendrula et coll., 2014)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Marqueur RAPD</li> <li>Marqueur ISSR</li> </ul>                          |
| <i>Salix</i> spp.            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Distribution de la variation génétique de cinq traits de croissance en taillis parmi les populations naturelles de sept espèces de saules (<i>Salix</i>) d'Amérique du Nord. (Mosseler et coll., 2017)</li> <li>Interactions entre la génétique et l'environnement de deux espèces de <i>Salix</i> d'Amérique du Nord évaluées pour le rendement en taillis et les composantes de la croissance sur trois sites de qualité variable. (Mosseler et coll., 2014)</li> <li>Marqueurs microsatellites des espèces de saules et caractérisation de 11 microsatellites polymorphes de <i>Salix</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Phénotype</li> <li>Phénotype</li> <li>Marqueur microsatellite</li> </ul> |

| Espèce                    | Titre et citation (traduction libre) du document de recherche   | Méthode d'analyse de la variation intraspécifique <sup>1</sup>   |
|---------------------------|---|--|
| <i>Thuja occidentalis</i> | <p><i>eriocephala</i> (Salicaceae), espèce indigène potentielle pour la production de biomasse au Canada. (Lauron-Moreau et coll., 2013)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le gradient géoclimatique façonne les variations des traits fonctionnels de <i>Salix eriocephala</i> Michx. (Shunmugam et coll., 2016)</li> <li>• Variation allozymique de <i>Thuja occidentalis</i> L. dans le nord-ouest de l'Ontario. (Perry et coll., 1990)</li> <li>• Sources de la variation allozymique de <i>Thuja occidentalis</i> dans le sud de l'Ontario (Canada). (Mathes-Sears et coll., 1991)</li> <li>• Structure génétique, variabilité et système d'accouplement des populations de thuya occidental (<i>Thuja occidentalis</i>) d'origine récente dans un paysage agricole du sud du Québec. (Lamy et coll., 1999)</li> <li>• Diversité génétique et différenciation des populations centrales et périphériques du thuya occidental, <i>Thuja occidentalis</i> (Cupressaceae). (Pandey et Rajora, 2012)</li> <li>• Conséquences génétiques de la fragmentation des « Arbor vitae », le thuya occidental (<i>Thuja occidentalis</i> L.), vers la limite septentrionale de son aire de répartition. (Xu et coll., 2012)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phénotype</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur allozymique</li> <li>• Marqueur isozymique</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul> |
| <i>Thuja plicata</i>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation isozymique de <i>Thuja plicata</i> (Cupressaceae) en Colombie britannique. (Yeh, 1988)</li> <li>• Post-glacial colonization of western redcedar (<i>Thuja plicata</i>, Cupressaceae) revealed by microsatellite markers. (O'Connell et Coll. 2008)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur isozymique</li> <li>• Marqueur microsatellite</li> </ul>   |
| 22 espèces occidentales   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Refuges glaciaires et diversité génétique moderne de 22 espèces d'arbres de l'ouest de l'Amérique du Nord. (Roberts et Hamann, 2015)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marqueur allozymique</li> </ul>   |



## **5.2. Tendances de la répartition géographique de la diversité génétique des arbres et autres espèces de plantes ligneuses**

Des modèles de variation géographique ont été examinés et décrits à l'aide d'essais de provenance établis pour des essences forestières importantes sur le plan économique au cours des 70 dernières années.

Les essais de provenance établis de longue date se sont révélés précieux pour estimer les effets des changements climatiques et les meilleures stratégies d'adaptation en vue d'en contrer les effets. Comme décrit par O'Neill et coll. (2008), ces tests de provenance révèlent les effets de la maladaptation associée aux populations qui se développent dans différents environnements pendant de nombreuses années, en échantillonnant la gamme des extrêmes climatiques qui se produisent sur un site d'essai donné. Diverses approches ont été employées pour modéliser et prévoir les effets des climats futurs en utilisant les données des essais de provenance établis.

Li et coll. (2020) ont constaté que, dans des conditions plus chaudes, les provenances de *Picea rubens* les plus septentrionales ont connu une croissance plus rapide. Entre 1978 et 1985, une série d'essais de provenance de *Picea glauca* a été établie dans l'est du Canada (Lu et coll., 2014). Lu et coll. ont constaté que les provenances les plus méridionales ont non seulement obtenu de bien meilleurs résultats dans les régions méridionales, en termes de survie et de croissance, que les provenances centrales ou septentrionales, mais qu'elles ont continué à surpasser les provenances plus septentrionales dans la majeure partie de l'aire de répartition, sans montrer de signes de dommages dus au gel. Ce n'est que sur le site d'essai le plus septentrional que les provenances du nord ont atteint les performances des provenances les plus méridionales. Yang et coll., (2015) ont examiné les résultats de remesurage des essais de provenance de *Picea mariana*, établi en 1970, et de *Pinus strobus*, établi dans les années 1950 à 1960. Ils ont déterminé que les provenances locales sont sous-optimales pour la plantation des deux espèces et que la provenance optimale était située dans des zones 1,5 degré plus chaudes qu'un site de plantation donné. Plusieurs études ont été réalisées sur le remesurage des essais de provenance de *Pinus contorta*, notamment un essai à l'échelle de l'aire de répartition établi par Illingworth en 1974 (McLane et coll., 2011a, 2011b; O'Neill et coll., 2008). McLane et coll. (2011a) ont constaté que l'on peut s'attendre à ce que les provenances de l'ensemble de l'aire de répartition perdent de la productivité pendant l'été dans les conditions de réchauffement prévues, mais qu'elles gagneront en productivité pendant les saisons plus fraîches; ce qui pourrait compenser ces pertes. McLane et coll. ont constaté que les provenances proches du centre de la fourchette seraient les plus performantes dans les climats futurs. O'Neill et coll. (2008) ont constaté que les différentes populations de *Pinus contorta* sont susceptibles de réagir très différemment aux changements climatiques.

Des essais de provenance à court terme ont été lancés plus récemment pour explorer les modèles de variation et d'adaptation aux conditions climatiques pour *Pinus contorta* ainsi que pour *Picea glauca*, *P. engelmannii* et leurs hybrides (Liepe et coll., 2016). Quinze à vingt pour cent de la variance totale entre les populations pourraient être directement liés à des variables climatiques exprimées sous forme d'adaptations multitraits complexes à différentes régions écologiques. Toutefois, les auteurs ont constaté que l'adaptation au climat ne correspond pas toujours de manière linéaire aux gradients de température. Ils ont relevé pour chaque espèce

un nombre relativement faible de populations à l'adaptation unique qui pourraient être utilisées pour gérer le flux génétique assisté, afin de faire face aux changements climatiques.

### ***5.3. Technologies actuelles et émergentes en matière d'évaluation et d'analyse de la diversité génétique***

Un examen de la documentation a révélé que la diversité génétique a été évaluée pour au moins 28 espèces ligneuses dans au moins 42 nouvelles études depuis la publication du rapport de 2012 (tableau 5.1). Les méthodes vont des essais de provenance et autres analyses quantitatives des traits phénotypiques (15 articles) à l'utilisation de marqueurs ISSR (cinq articles) et une étude d'association génétique. La principale différence entre les études publiées avant et après 2012 réside dans l'utilisation des allozymes pour évaluer la diversité génétique dans les premières études : au moins 37 études sur les allozymes ont été publiées avant 2012, mais aucune depuis cette date. Une exception est la méta-analyse de Roberts et Hamann (2015) des études précédentes basées sur les allozymes de 22 espèces d'arbres de l'ouest de l'Amérique du Nord, dans laquelle ils ont examiné les modèles actuels de diversité génétique en relation avec les refuges glaciaires. Depuis 2012, les microsatellites sont les marqueurs les plus utilisés pour évaluer la diversité génétique (17 articles).

Les essais sur le terrain, en particulier le réexamen d'essais de provenance précédemment établis, ont regagné en popularité du fait de l'intérêt actuel visant la compréhension des réponses aux changements climatiques. Au moins 17 articles issus de notre examen documentaire ont eu recours à des analyses de caractères quantitatifs, notamment des évaluations de la croissance, de la survie, de la phénologie, de la tolérance au froid, de la fixation de l'azote, de la qualité du bois, des répercussions de la rouille vésiculeuse et du recrutement des semis (tableau 5.1).

Depuis 2012, la recherche s'est davantage concentrée sur les espèces d'arbres qui ne sont pas importantes pour la foresterie commerciale. Cette tendance reflète l'intérêt croissant pour la plantation à des fins de restauration et la conception de stratégies de conservation face à des défis tels que les changements climatiques.

### ***5.4. Tendances de la diversité génétique***

La plupart des études récentes sur la génétique des arbres ont examiné les effets sur la diversité génétique d'un ou de plusieurs des facteurs suivants :

- récolte forestière;
- changements climatiques;
- espèces envahissantes;
- fragmentation des habitats.

Les études n'ont en général pas mis en évidence de réduction de la diversité génétique suite à l'hybridation sélective des arbres (voir par exemple, El-Kassaby et Ritland, 1996; Stoehr et El-Kassaby, 1997), bien que les auteurs recommandent une surveillance continue, afin d'éviter de s'exposer à des pertes inacceptables de diversité génétique. Un examen de la documentation plus récente a révélé des résultats similaires.

Graignic et coll. (2016) ont signalé des conséquences génétiques faibles et peut-être transitoires de la coupe de sélection sur l'érable à sucre (*Acer saccharum*). Ils ont constaté que les paramètres génétiques, tels que le nombre d'allèles et la richesse allélique, étaient similaires entre les cohortes ainsi qu'entre les forêts exploitées sélectivement et les forêts anciennes. Cependant, ils ont relevé des preuves d'un goulot d'étranglement génétique et d'une hétérozygotie réduite dans le site récolté. Leurs résultats indiquent que les récoltes multiples au cours des rotations suivantes peuvent entraîner une érosion de la diversité génétique maternelle et la fixation d'allèles délétères.

Fageria et Rajora (2014) ont utilisé des marqueurs microsatellites pour déterminer si les pratiques sylvicoles affectent la diversité génétique et la structure de la population de l'épinette blanche (*Picea glauca*) en Saskatchewan. Ils n'ont relevé aucun effet significatif, mais ont recommandé d'utiliser plusieurs types de marqueurs pour surveiller les répercussions potentielles. De façon similaire, Namroud et coll. (2012) n'ont relevé aucune incidence significative de la sélection relative à la croissance en hauteur sur la diversité génétique de l'épinette blanche. Ils ont utilisé 1134 SNP provenant de 709 gènes exprimés pour évaluer l'impact de la sélection artificielle et ont constaté que ni la réduction de la taille de l'échantillon ni l'augmentation de l'intensité de la sélection ne semblait affecter la diversité génétique des populations sélectionnées.

Les répercussions des changements climatiques sur la diversité génétique sont en partie dues aux fluctuations des populations en réponse à la disponibilité de l'habitat. Au Canada, de nombreux habitats pourraient s'étendre avec le réchauffement du climat. Russell et Krakowski (2012) ont examiné le potentiel d'adaptation du cyprès *Callitropsis nootkatensis* aux climats actuels et futurs et ont constaté que les populations sont susceptibles de s'étendre; ce qui n'aurait probablement aucune incidence négative sur la diversité génétique. Joyce et Rehfeldt (2018) ont constaté que l'habitat contemporain du pin blanc (*Pinus strobus*) est susceptible de subir une détérioration soutenue au cours des prochaines décennies, s'accompagnant de la perte de diversité génétique qui en résulte. Cela dépend en grande partie de la migration des nouvelles variations génétiques vers des habitats nouvellement adaptés lorsque les réchauffements climatiques créent des conditions environnementales appropriées au nord de la répartition actuelle. La migration assistée est particulièrement importante pour les espèces limitées aux hautes altitudes, car elles risquent de perdre leur habitat avec les réchauffements climatiques. Vance (2019) a discuté de la vulnérabilité d'un conifère de haute altitude, le mélèze subalpin (*Larix lyallii*), à des conditions climatiques changeantes (par exemple, une sécheresse estivale accrue). Il a suggéré qu'il était peu probable que l'espèce persiste sans une action significative pour conserver la diversité génétique par l'établissement dans un nouvel habitat.

Les espèces envahissantes représentent un défi pour la diversité génétique de certaines espèces d'arbres indigènes. L'agrile du frêne réduit rapidement la taille des populations ou fait disparaître les populations de frênes (*Fraxinus* spp.) Des agents pathogènes, tels que la rouille vésiculeuse du pin blanc et le chancre du noyer cendré, ont eu des répercussions similaires, mais moins extrêmes, sur les populations de *Pinus monticola* (King et coll., 2018) et de *Juglans cinerea* (Beardmore et coll., 2017) respectivement. Les recherches portant sur les pertes de diversité génétique qui pourraient en résulter chez ces espèces font actuellement défaut.

La fragmentation de l’habitat est généralement associée à d’autres menaces pour la diversité génétique des populations d’arbres forestiers, comme les changements climatiques. Le sud de l’Ontario présente, par exemple, un degré élevé de fragmentation de l’habitat et abrite la majorité des espèces d’arbres menacées et en voie de disparition au Canada. Budd et coll. (2015) ont étudié l’une de ces espèces, le *Magnolia acuminata*, pour déterminer si la diversité génétique peut être maintenue dans des populations fragmentées et périphériques. Ils ont trouvé des preuves de sous-structuration parmi les petites populations, reflétant un faible flux génétique qui devrait conduire à une perte de diversité génétique. Une étude des populations fragmentées de thuya occidental (*Thuja occidentalis*; Xu et coll., 2012) n’a pas révélé de tendance à la sous-structuration ni de différences de diversité génétique, mais les populations fragmentées présentaient des niveaux de consanguinité significativement plus élevés que les grandes populations continues.

### 5.5. Méthodes utilisées pour la caractérisation des ressources génétiques forestières

Les méthodes de caractérisation des RGF ont connu une révolution au cours des dernières décennies. Les études quantitatives reposant sur des essais de provenance et de descendance ont été faites par une génétique des populations basée sur des marqueurs utilisant des isozymes, des RAPD ainsi que des RFLP et plus récemment par des marqueurs à l’échelle du génome (p. ex., des SNP). La plupart de ces méthodes sont encore utilisées dans divers contextes. Le tableau 5.2 présente 67 articles scientifiques sur la diversité génétique des arbres publiés depuis 2012, triés par espèce. Près de la moitié des articles abordaient un aspect de l’adaptation ou de l’évolution et faisaient appel à l’analyse d’association, à la découverte de gènes, à l’expression génétique ou à l’analyse quantitative d’essais sur le terrain. L’épinette blanche (*Picea glauca*) a été, de loin, l’espèce la plus étudiée et s’est imposée comme une espèce modèle parmi les conifères canadiens. Des études menées par des équipes de recherche de la Colombie-Britannique et du Québec ont produit des résultats sur le séquençage des organelles, la structure des gènes, la variation du nombre de copies de gènes, le développement de réseaux de génotypage SNP, l’analyse d’association et l’expression génétique de *P. glauca*. Ces efforts ont fait progresser notre compréhension de l’évolution, des mécanismes de défense, de la base génétique de l’adaptation au climat, de l’identification des gènes intervenant dans la formation du bois et de l’assemblage du génome.

Tableau 5.2. Renseignements génétiques de base acquis depuis 2012 sur des espèces d’arbres canadiens par des scientifiques canadiens.

| Espèce                                       | Sujet                                      | Publication  |
|--|--|--|
| <i>Abies balsamea</i>                        | Phylogéographie                            | Moins de flux de gènes par pollinisation pour plus de signatures de lignées glaciaires : preuves congruentes de l’ADNcp et de l’ADNmt du sapin baumier pour de multiples refuges dans l’est et le centre de l’Amérique du Nord. (Cinget et coll., 2015a) |
| <i>Abies balsamea</i> , <i>A. lasiocarpa</i> | Dynamique des zones hybrides, ADNmt, ADNcp | Intégration de la phylogéographie et de la paléoécologie pour étudier l’origine et la dynamique des zones hybrides :   |

| Espèce  | Sujet  | Publication   |
|---|--|---|
|   |  | aperçu pour deux sapins nord-américains très répandus. (Cinget et coll., 2015b)   |
| <i>Acer rubrum</i>  | Découverte de gènes                                      | Niveaux différentiels d'expression génétique et mécanismes moléculaires entre les génotypes d'érable rouge ( <i>Acer rubrum</i> ) résistants et sensibles à la toxicité du nickel révélés par l'analyse du transcriptome. (Nkongolo et coll., 2018) |
| <i>Alnus rubra</i>  | Phylogénétique   | Caractérisation des génomes chloroplastiques des espèces <i>Alnus rubra</i> et <i>Betula cordifolia</i> et leur utilisation dans les analyses phylogénétiques chez les Betulaceae. (Lee et coll., 2019)   |
| <i>Betula alleghaniensis</i> ,<br><i>B. papyrifera</i> ,<br><i>B. lenta</i> | Phylogénétique   | Malgré l'hybridation introgressive, les bouleaux d'Amérique du Nord ( <i>Betula</i> spp.) maintiennent une forte différenciation au niveau des loci microsatellites nucléaires. (Thomson et coll., 2015)  |
|   | Phylogéographie  | Une structure phylogéographique similaire parmi les bouleaux sympatriques d'Amérique du Nord ( <i>Betula</i> ) s'explique mieux par l'introgession que par une histoire biogéographique commune. (Thomson et coll., 2015)                           |
| <i>Betula papyrifera</i>  | Expression génétique                                     | Analyse de l'expression génétique associée à la toxicité du cuivre chez les populations de bouleau blanc ( <i>Betula papyrifera</i> ) d'une région minière. (Djeukam et coll., 2016)  |
|   | Régulation des gènes                                     | Décryptage de la régulation et du mécanisme de la résistance au nickel chez le bouleau blanc ( <i>Betula papyrifera</i> ) à l'aide de gènes de résistance aux métaux interespèces. (Therault et coll., 2016)  |
|   | Analyse du transcriptome, expression des gènes, fonction | Analyse transcriptomique complète de la réponse au stress du nickel chez le bouleau blanc ( <i>Betula papyrifera</i> ). (Therault et coll., 2016)   |
| <i>Picea glauca</i>   | Séquençage des organelles                                | Génomes organellaires de l'épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> ) : assemblage et annotation. (Jackman et coll., 2016)  |
|   | Évolution et structure des gènes                         | Évolution de la structure des gènes chez le conifère <i>Picea glauca</i> : analyse comparative de l'incidence de la taille des introns. (Sena et coll., 2014.)  |
|   | Évolution, adaptation                                    | L'introgession différentielle révèle des gènes candidats à la sélection dans une zone hybride d'épinette ( <i>Picea sitchensis</i> × <i>P. glauca</i> ) (Hamilton et coll., 2013)   |
|   | Variantes du nombre de copies, évolution de la diversité | Les mutations spontanées et les distorsions de transmission des variantes géniques du nombre de copies façonnent la   |

| Espèce | Sujet   | Publication   |
|--------|---|---|
|        | génétique permanente  | variation génétique permanente de l'espèce <i>Picea glauca</i> . (Sahli et coll., 2017)   |
|        | Évolution, introgression  | Architecture génétique et modèles génomiques de flux de gènes entre les espèces hybrides de <i>Picea</i> . (De La Torre et coll., 2015)   |
|        | Évolution, introgression  | Le mélange à l'échelle du génome et la modélisation des niches écologiques révèlent le maintien des frontières entre les espèces malgré une longue histoire de flux génétiques interspécifiques. (De La Torre et coll., 2014)                             |
|        | Évolution, introgression  | Adaptation et sélection exogène dans une zone hybride <i>Picea glauca</i> × <i>Picea engelmannii</i> : implications pour la gestion forestière dans le cadre des changements climatiques. (De La Torre et coll., 2014)                                    |
|        | Réseaux de génotypage SNP générés pour les études de reproduction et de génétique des populations | Développement de réseaux de génotypage SNP à haute densité pour l'épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> ) et transférabilité aux congénères subtropicaux et nordiques. (Pavy et coll., 2013)   |
|        | Généralité des marqueurs SNP, épinette blanche comme espèce modèle                                | Paysage du polymorphisme nucléotidique parmi 13 500 gènes du conifère <i>Picea glauca</i> , relations avec les fonctions et comparaison avec <i>Medicago truncatula</i> . (Pavy et coll., 2013)   |
|        | Analyse du transcriptome, découverte de gènes; mécanismes de défense                              | Les transcriptomes spécifiques aux types de cellules et aux tissus de l'écorce de l'épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> ) révèlent des modèles spatiaux à petite échelle de la défense constitutive et induite des conifères. (Celedon et coll., 2017) |
|        | Cartographie d'association et réseaux de co-expression; traits complexes du bois                  | Architecture génétique des propriétés du bois basée sur l'analyse d'association et les réseaux de co-expression chez l'épinette blanche (Lamara et coll., 2016)   |
|        | Cartographie des gènes  | A high-resolution reference genetic map positioning 8.8 K genes for the conifer white spruce: Structural genomics implications and correspondence with physical distance. (Pavy et coll., 2017)   |

| Espèce | Sujet   | Publication   |
|--------|---|---|
|        | Base génétique de l'adaptation au climat; SNP                                     | L'adaptation génétique au climat chez l'épinette blanche entraîne des changements de fréquences alléliques faibles à modérés dans des gènes fonctionnellement divers. (Hornoy et coll., 2015)                       |
|        | Contrôle génétique de la résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette     | L'herbivorie d'insectes ( <i>Choristoneura fumiferana</i> , Tortricidea) sous-tend la structure des populations d'arbres ( <i>Picea glauca</i> , Pinaceae). (Parent et coll., 2017)                                 |
|        | Adaptation locale au climat   | La variation géographique à petite échelle des traits liés à la photosynthèse des semis de <i>Picea glauca</i> indique une adaptation locale au climat. (Benomar et coll., 2015)                                    |
|        | Variation génétique lors de l'adaptation à la sécheresse                          | La variation génétique adaptative à la sécheresse chez un conifère largement répandu suggère un potentiel d'augmentation de la résilience des forêts dans un climat sec. (Depardieu et coll., 2020)                 |
|        | Variation génétique de l'expression des traits adaptatifs                         | Les arbres à longue durée de vie sont-ils prêts pour un changement évolutif? Effets de locus unique dans l'évolution des réseaux d'expression génétique chez l'épinette. (Verta et coll., 2013)                     |
|        | Identification et caractérisation des gènes intervenant dans la formation du bois | L'organisation modulaire du transcriptome de l'épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> ) révèle une organisation fonctionnelle et des signatures évolutives. (Raheriso et coll., 2015)                               |
|        | Variation de l'expression des gènes   | Paysage génétique des réseaux transcriptionnels dans un système végétal combiné haploïde/diploïde. (Verta et coll., 2014)   |
|        | Structure et expression des gènes intervenant dans la tolérance à la sécheresse   | L'expansion de la famille des gènes de la déhydrine chez les Pinaceae est associée à une diversité structurelle considérable et à une expression sensible à la sécheresse. (Stival Sena et coll., 2018)             |
|        | Séquençage du génome chloroplastique  | Séquence complète du génome chloroplastique d'une épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> , génotype WS77111) de l'est du Canada. (Lin et coll., 2019)   |
|        | Assemblage de génomes   | Assemblages améliorés du génome de l'épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> ) et annotation de grandes familles de gènes du métabolisme de défense terpénoïde et phénolique des conifères. (Warren et coll., 2015.) |

| Espèce   | Sujet  | Publication  |
|--|--|--|
|  | Assemblage de génomes  | Assemblage du génome de l'épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> ) de 20 Gb à partir des données de séquençage du génome entier. (Birol et coll., 2013)  |
| <i>Picea mariana</i>   | SNP candidats pour les tests d'association                                 | Architecture génomique et génétique d'association des caractères adaptatifs à l'aide d'une approche SNP candidat chez l'épinette noire boréale. (Prunier et coll., 2013)   |
|  | Détermination des SNP liés au climat et à la pollution                     | Signatures génétiques de la sélection naturelle en réponse à la pollution atmosphérique chez l'épinette rouge ( <i>Picea rubens</i> , Pinaceae) (Bashalkhanov et coll., 2013)  |
| <i>Picea sitchensis</i>  | Sélection, effet de la migration sur l'adaptation au changement climatique | Sélection divergente et taux de migration hétérogènes dans l'aire de répartition de l'épinette de Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> ). (Holliday et coll., 2012)   |
|  | Combinaisons de SNP pour prédire les phénotypes adaptatifs                 | Prédire les phénotypes adaptatifs à partir de génotypes multilocus chez l'épinette de Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> ) en utilisant une forêt aléatoire. (Holliday et coll., 2012)  |
|  | Découverte de gènes de caractères adaptatifs                               | Le séquençage de bibliothèques d'ADNc d'épinette de Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> ) construites à partir de bourgeons d'automne et de feuillage révèle des transcriptions d'épinettes spécifiques à l'automne. (Reid et coll., 2013)                             |
|  | Clines latitudinales dans l'acclimatation au froid                         | Dynamique métabolique pendant l'acclimatation au froid d'automne au sein et entre les populations d'épinette de Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> ). (Dauwe et coll., 2012)  |
|  | Histoire démographique façonnant la trajectoire de l'évolution             | La dispersion du pollen sur de longues distances pendant la colonisation récente favorise une récupération rapide, mais partielle de la diversité génétique pour l'espèce <i>Picea sitchensis</i> . (Elleouet et Aitken, 2019)                                     |
|  | Génome mitochondrial   | Le plus grand génome mitochondrial complet d'un gymnosperme, l'épinette de Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> ), indique une structure physique complexe. (Jackman et coll., 2019)  |
| <i>Picea glauca</i> ,<br><i>P. sitchensis</i>                      | Analyse du transcriptome de l'épinette                                     | Le profilage du transcriptome chez les conifères et la base de données PiceaGenExpress montrent des modèles de diversification au sein des familles de gènes et une conservation interspécifique de l'expression des gènes vasculaires. (Raherison et coll., 2012) |
| <i>Picea glauca</i> ,<br><i>P. mariana</i> ,<br>hybrides <i>P.</i> | Variations du nombre de copies et adaptation                               | CNV dans la nature : le criblage des génomes de conifères ( <i>Picea</i> spp.) révèle des variations du nombre de copies de  |



| <b>Espèce</b>  | <b>Sujet</b>   | <b>Publication</b>  |
|--|--|---|
| <i>glauca</i> x <i>engelmannii</i>                                 |  | gènes moins nombreuses dans les hybrides et des liens avec l'adaptation. (Prunier et coll., 2017)   |
| <i>Picea glauca</i> , <i>P. sitchensis</i>                         | Fonction du gène   | Le modèle d'expression du promoteur de la défensine 1 de <i>Picea glauca</i> est maintenu dans <i>Arabidopsis thaliana</i> , indiquant la conservation des voies de signalisation entre les angiospermes et les gymnospermes. (Germain et coll., 2012)  |
| <i>Picea glauca</i> , <i>P. sitchensis</i> , <i>P. engelmannii</i> | Introgression et adaptation  | La variation environnementale à petite échelle contribue à l'introgression dans un complexe hybride d'épinette à trois espèces. (Hamilton et coll., 2015)   |
| <i>Picea</i> spp.  | Clines climatiques   | Il est temps de bouger : flux génétique assisté des arbres forestiers (Aitken et Bemmels, 2016)   |
| <i>Picea mariana</i> , <i>P. rubens</i>                            | Biais du flux génétique et association avec le climat                        | L'asymétrie est importante : évaluation génomique des biais directionnels dans le flux de gènes entre les épinettes hybrides. (de Lafontaine et Bousquet, 2017)   |
|  | Modèles hétérogènes d'introgression au niveau des gènes à l'aide de SNP      | Suivre la progression de la spéciation : des modèles variables d'introgression à travers le génome fournissent des informations sur la délimitation des espèces entre les épinettes progénitrices et les épinettes dérivées ( <i>Picea mariana</i> x <i>P. rubens</i> ). (de Lafontaine et coll., 2015) |
| <i>Picea glauca</i> , <i>P. contorta</i>                           | Assemblage de novo du transcriptome et RNAseq                                | Conservation et divergence de la plasticité de l'expression génétique après environ 140 millions d'années d'évolution chez le pin tordu ( <i>Pinus contorta</i> ) et l'épinette de l'intérieur ( <i>Picea glauca</i> x <i>Picea engelmannii</i> ). (Yeaman et coll., 2014)                              |
| <i>Picea glauca</i> , <i>P. contorta</i>                           | Génétique d'association; gènes candidats pour l'adaptation                   | Adaptation locale convergente au climat chez des conifères de parenté lointaine. (Yeaman et coll., 2016)  |
| <i>Picea</i> spp., <i>Pinus</i> spp.                               | Capture de séquences, ressource pour les études de diversité et d'adaptation | Capture d'exome à partir des gigagénomes de l'épinette et du pin. (Suren et coll., 2016)  |
| <i>Pinus albicaulis</i>  | Mise à l'essai de l'efficacité de la migration assistée                      | Potentiel de migration assistée du pin à écorce blanche ( <i>Pinus albicaulis</i> ) : test d'établissement au nord de l'aire de répartition de l'espèce. (McLane et Aitken, 2012)   |
|  | Structure de la population et  | Effets de l'introgression sur la structure génétique de la population de deux espèces de conifères importantes sur le plan écologique et économique : le pin tordu ( <i>Pinus contorta</i> )  |

| Espèce                                      | Sujet  | Publication  |
|---|--|--|
| <i>Pinus contorta</i> , <i>P. banksiana</i> | introgression à l'aide de SNP  | var. <i>latifolia</i> ) et le pin gris ( <i>Pinus banksiana</i> ). (Cullingham <i>et coll.</i> , 2013)   |
|   | Structure de la population et introgression à l'aide de SNP                  | Caractérisation de la structure physique et génétique de la zone hybride du pin tordu × pin gris : structure en mosaïque et introgression différentielle. (Cullingham <i>et coll.</i> , 2012)  |
|   | Déterminants de l'espèce et de l'hybride dans la zone hybride, SNP           | Structure spatiale et génétique de la zone hybride entre le pin tordu et le pin gris. (Burns <i>et coll.</i> , 2019)   |
| <i>Pinus flexilis</i>                       | Cartographie génétique, résistance à la rouille, génétique d'association     | La carte génétique du pin flexible ( <i>Pinus flexilis</i> James) construite par séquençage d'exome permet de comprendre l'évolution de la résistance aux maladies et constitue une ressource génomique pour l'amélioration basée sur la génomique. (Liu <i>et coll.</i> , 2019) |
|   | Cartographie génétique, résistance à la rouille, génétique d'association     | Cartographie génétique du gène majeur (Cr4) de <i>Pinus flexilis</i> pour la résistance à la rouille vésiculeuse du pin blanc en utilisant le génotypage SNP basé sur le transcriptome. (Liu <i>et coll.</i> , 2016)   |
| <i>Pinus monticola</i>                      | Analyse d'association utilisant les SNP, résistance aux maladies, adaptation | Diversité génétique et structure de la population du pin à écorce blanche ( <i>Pinus albicaulis</i> Engelm.) dans l'ouest de l'Amérique du Nord. (Liu <i>et coll.</i> , 2016)  |
| <i>Pinus strobus</i>                        | Cernes des arbres, adaptation au climat, génétique d'association             | Les cernes des arbres fournissent une nouvelle classe de phénotypes pour les associations génétiques qui permettent de mieux comprendre l'adaptation des conifères aux changements climatiques. (Husset <i>et coll.</i> , 2018)  |
|   | Adaptation au climat, SNP, SSR, analyse d'association                        | Modèles monolocaux et multilocaux d'adaptation locale au climat chez le pin blanc ( <i>Pinus strobus</i> , Pinaceae). (Rajora <i>et coll.</i> , 2016)  |
| <i>Populus trichocarpa</i>                  | Réseaux SNP pour l'étude de l'évolution                                      | Réseau de génotypage de 34 000 SNP pour <i>Populus trichocarpa</i> : conception, application à l'étude des populations naturelles et transférabilité à d'autres espèces de <i>Populus</i> . (Geraldès <i>et coll.</i> , 2013)  |
|   | Génomique du paysage   | Génomique du paysage de <i>Populus trichocarpa</i> : rôle de l'hybridation, flux de gènes limité et sélection naturelle dans la création de tendances de structure de population. (Geraldès <i>et coll.</i> , 2014)  |

| Espèce  | Sujet   | Publication  |
|---|---|--|
|   | Phylogénie  | Le séquençage du plastome entier révèle une profonde divergence plastidiale et une discordance cytonucléaire entre des peupliers baumiers étroitement apparentés, <i>Populus balsamifera</i> et <i>P. trichocarpa</i> (Salicaceae). (Huang et coll., 2014) |
| <i>Populus angustifolia</i> ,<br><i>P. balsamifera</i> ,<br><i>P. deltoides</i> | Évolution   | Interactions plantes-herbivores dans un essaim d'hybrides trispécifiques de <i>Populus</i> : évaluation du soutien aux hypothèses de ponts hybrides, de nouveauté évolutive et de similarité génétique. (Floate et coll., 2016)                            |
| <i>Populus tremuloides</i> ,<br><i>P. balsamifera</i> ,<br><i>P. deltoides</i>  | Expression génétique  | Analyse du transcriptome du peuplier pendant l'infection de la tache foliaire par <i>Sphaerulina</i> spp. (Foster et coll., 2015)  |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i>  | Découverte de gènes, résistance à la pourriture des racines | Profilage de l'expression génétique d'une interaction compatible entre le Douglas taxifolié et le champignon pathogène de pourriture des racines <i>Phellinus sulphurascens</i> . (Islam et coll., 2013)   |
| <i>Salix</i> spp.   | Phylogénie  | Relations phylogénétiques des saules américains ( <i>Salix</i> L., Salicaceae). (Lauron-Moreau et coll., 2015)   |
| <i>Sorbus decora</i> ,<br><i>S. americana</i>                                   | Variation de l'expression génétique                         | Variation phytogéographique et génétique chez <i>Sorbus</i> , médicament traditionnel antidiabétique : l'adaptation à l'action d'une plante et d'une discipline. (Baillie et coll., 2016)  |

### **5.6. Besoins, défis et possibilités pour accroître la disponibilité des renseignements sur les ressources génétiques forestières**

Les besoins relevés par les compétences comprennent l'élaboration de stratégies de communication ciblées, propres aux RGF et à la compétence.

Des ressources supplémentaires sont nécessaires, tant en termes de fonds que d'expertise. Un plus grand leadership et un plus grand engagement du personnel aux niveaux provincial et fédéral sont en particulier nécessaires pour sensibiliser le public quant à l'importance des RGF, ainsi qu'établir des politiques portant sur les RGF.

Les défis à relever pour développer les renseignements relatifs aux RGF sont les suivants : les limites des ressources de recherche et de déplacement pour le personnel des gouvernements provinciaux, ce qui réduit les possibilités d'apprentissage et de collaboration au-delà des frontières provinciales; les longs délais au sein du gouvernement en matière d'approbation et de production des publications; la difficulté d'intéresser le public à la diversité génétique. En Ontario, des défis supplémentaires sont apparus à la suite de la fermeture de l'Installation de

conditionnement des semences forestières de l'Ontario et de la perte consécutive de personnel possédant une expertise pertinente.

Les possibilités comprennent l'intégration de messages clés concernant les RGF sur les sites Web existants, la poursuite ou le renforcement de la gestion des RGF dans les programmes d'études de premier cycle et des écoles techniques, l'intérêt croissant pour la restauration et la remise en état et la reconnaissance de la nécessité de sources de semences génétiquement appropriées, et la mise à profit des réseaux sociaux afin de contribuer à la communication relative aux RGF.

### **5.7. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine**

Les priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche comprennent le renforcement du soutien scientifique à la gestion des RGF et l'étude des modèles de diversité pour des caractéristiques telles que la résistance à la sécheresse, la résistance aux parasites et aux maladies et les propriétés du bois dans les populations d'hybridation sélective des arbres.

En Ontario, la priorité est de rétablir la capacité perdue à la suite de la fermeture de l'Installation de conditionnement des semences forestières de l'Ontario et de la perte d'autres programmes. La Forest Gene Conservation Association (FGCA) a obtenu des fonds pour soutenir la recherche appliquée et les programmes opérationnels, y compris la mesure des essais sur le terrain de la migration assistée pour informer les politiques de transfert de semences.

Au Québec, il existe un besoin de formation de personnel hautement qualifié et de financement de ressources humaines supplémentaires. Il est prioritaire d'orienter le financement vers la recherche génomique sur les RGF en tant que telle, et non pas seulement comme un sous-produit de l'hybridation sélective des arbres.

#### **Ouvrages cités**

Aitken, S.N. et J.B. Bemmels, 2016. Time to get moving: assisted gene flow of forest trees. *Ecological Applications* 9(1) : 271 à 290.

Albouyeh, R., N. Farzaneh, J. Bohlmann et K. Ritland, 2010. Multivariate analysis of digital gene expression profiles identifies a xylem signature of the vascular tissue of white spruce (*Picea glauca*). *Tree Genetics and Genomics* 6: 601 à 611.

Bailie, A., S. Renaut, E. Ubalijoro, J.A. Guerrero-Analco, A. Saleem, P. Haddad, J.T. Arnason, T. Johns et A. Cuerrier, 2016. Phytogeographic and genetic variation in *Sorbus*, a traditional antidiabetic medicine — adaptation in action in both a plant and a discipline. *PeerJ* 4 : e2645.

Bashalkhanov, S., A.J. Eckert et O.P. Rajora, 2013. Genetic signatures of natural selection in response to air pollution in red spruce (*Picea rubens*, Pinaceae). *Molecular ecology*, 22(23) : 5877 à 5889

Beardmore, T., K. Forbes, M. Toner, M. Williams et J. Romero-Severson, 2017. Butternut health and genetic diversity in New Brunswick, Canada. Dans : Snieszko, Richard A., Gary Man, Valerie Hipkins, Keith Woeste, David Gwaze, John T. Kliejunas, et Brianna A. McTeague, tech. cords. 2017. Gene conservation of tree species — banking on the future. *Compte rendu d'un*

atelier. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-963. Portland (OR) : US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. p. 192. (Vol. 963).

Beaulieu, J. et J.P. Simon, 1994. Genetic structure and variability in *Pinus strobus* in Quebec. Revue canadienne de recherche forestière 24 : 1726 à 1733.

Beaulieu, J. et J.P. Simon, 1994. Inheritance and linkage relationships of allozymes in *Pinus strobus* L. Silvae genetica 43(4) : 253 à 261.

Beland, J.D., J. Krakowski, C.E. Ritland, K. Ritland et Y.A. El-Kassaby. 2005. Genetic structure and mating system of northern *Arbutus menziesii* populations. Canadian Journal of Botany 83 : 1581 à 1589.

Benomar, L., M.S. Lamhamedi, I. Villeneuve, A. Rainville, J. Beaulieu, J. Bousquet et H.A. Margolis, 2015. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate. Tree physiology 35(8) : 864 à 878.

Biol, I., A. Raymond, S.D. Jackman, S. Pleasance, R. Coope, G.A. Taylor, M.M.S. Yuen, C.I. Keeling, D. Brand, B.P. Vandervalk et H. Kirk, 2013. Assemblage du génome de l'épinette blanche (*Picea glauca*) de 20 Gb à partir des données de séquençage du génome entier. Bioinformatics 29(12) : 1492 à 1497.

Bousquet, J., W.M. Cheliak et M. Lalonde, 1987a. Allozyme variability in natural populations of green alder (*Alnus crispa*) in Quebec. Genome 29 : 345 à 352.

Bousquet, J., W.M. Cheliak et M. Lalonde, 1987b. Genetic differentiation among 22 mature populations of green alder (*Alnus crispa*) in central Quebec. Revue canadienne de recherche forestière 17(3) : 219 à 227.

Bousquet, J., W.M. Cheliak et M. Lalonde, 1987c. Genetic diversity within and among 11 juvenile populations of green alder (*Alnus crispa*) in Canada. Physiologia Plantarum 70 : 311 à 318.

Bousquet, J., W.M. Cheliak et M. Lalonde, 1988. Allozyme variation within and among mature populations of speckled alder (*Alnus rugosa*) and relationships with green alder (*Alnus crispa*). American Journal of Botany 75(11) : 1678 à 1686.

Bower, A.D. et S.N. Aitken, 2007. Mating system and inbreeding depression in whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.). Tree Genetics and Genomes 3 : 379 à 388.

Boys, J., M. Cherry et S. Dayanandan, 2005. Microsatellite analysis reveals genetically distinct populations of red pine (*Pinus resinosa*, Pinaceae). American Journal of Botany 92(5) : 833 à 841.

Budd, C., E. Zimmer et J.R. Freeland, 2015. Conservation genetics of *Magnolia acuminata*, an endangered species in Canada: Can genetic diversity be maintained in fragmented, peripheral populations? Conservation genetics 16(6) : 1359 à 1373.

Burns, I., P.M. James, D.W. Coltman et C.I. Cullingham, 2019. Spatial and genetic structure of the lodgepole × jack pine hybrid zone. Revue canadienne de recherche forestière 49(7) : 844 à 853.

Celedon, J.M., M.M. Yuen, A. Chiang, H. Henderson, K.E. Reid et J. Bohlmann, 2017. Cell-type- and tissue-specific transcriptomes of the white spruce (*Picea glauca*) bark unmask fine-scale spatial patterns of constitutive and induced conifer defense. The Plant Journal 92(4) : 710 à 726.

- Chen, C., C. Liewlaksaneeyanawin, T. Funda, A. Kenawy, C.H. Newton et Y.A El-Kassaby, 2008. Development and characterization of microsatellite loci in western larch (*Larix occidentalis* Nutt.). *Molecular Ecology Resources* 9 : 843 à 845.
- Chhatre, V.E. et O.P. Rajora, 2014. Divergence génétique et signatures de la sélection naturelle dans les populations marginales d'un conifère clé à longue durée de vie, le pin blanc (*Pinus strobus*) du nord de l'Ontario. *PloS one* 9(5).
- Cinget, B., G. de Lafontaine, S. Gérardi et J. Bousquet, 2015b. Integrating phylogeography and paleoecology to investigate the origin and dynamics of hybrid zones: insights from two widespread North American firs. *Molecular ecology* 24(11) : 5877 à 5889.
- Cinget, B., S. Gérardi, J. Beaulieu et J. Bousquet, 2015a. Less pollen-mediated gene flow for more signatures of glacial lineages: congruent evidence from balsam fir cpDNA and mtDNA for multiple refugia in eastern and central North America. *PloS one* 10(4).
- Cullingham, C.I., J.E. Cooke et D.W. Coltman, 2013. Effects of introgression on the genetic population structure of two ecologically and economically important conifer species: lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) and jack pine (*Pinus banksiana*). *Genome* 56(10) : 577 à 585.
- Cullingham, C.I., P.M. James, J.E. Cooke et D.W. Coltman, 2012. Characterizing the physical and genetic structure of the lodgepole pine × jack pine hybrid zone: mosaic structure and differential introgression. *Evolutionary applications* 5(8) : 879 à 891.
- Dancik, B.P. et F.C. Yeh, 1983. Allozyme variability and evolution of lodgepole pine *Pinus contorta* var. *latifolia* and jack pine *Pinus banksiana* in Alberta Canada. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 25(1) : 57 à 64.
- Dauwe, R., J.A. Holliday, S.N. Aitken et S.D. Mansfield, 2012. Metabolic dynamics during autumn cold acclimation within and among populations of Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *New Phytologist* 194(1) : 192 à 205.
- De La Torre, A., P.K. Ingvarsson et S.N. Aitken, 2015. Genetic architecture and genomic patterns of gene flow between hybridizing species of *Picea*. *Heredity* 115(2) : 153 à 164.
- De La Torre, A.R., D.R. Roberts et S.N. Aitken, 2014. Genome-wide admixture and ecological niche modelling reveal the maintenance of species boundaries despite long history of interspecific gene flow. *Molecular ecology* 23(8) : 2046 à 2059.
- De La Torre, A.R., T. Wang, B. Jaquish et S.N. Aitken, 2014. Adaptation and exogenous selection in a *Picea glauca* × *Picea engelmannii* hybrid zone: implications for forest management under climate change. *New Phytologist* 201(2) : 687 à 699.
- de Lafontaine, G. et J. Bousquet, 2017. Asymmetry matters: A genomic assessment of directional biases in gene flow between hybridizing spruces. *Ecology and Evolution* 7(11) : 3883 à 3893
- de Lafontaine, G., J. Prunier, S. Gérardi et J. Bousquet, 2015. Tracking the progression of speciation: variable patterns of introgression across the genome provide insights on the species delimitation between progenitor–derivative spruces (*Picea mariana* × *P. rubens*). *Molecular ecology* 24, n° 20 : pages 5229-5247.

- Depardieu, C., M.P. Girardin, S. Nadeau, P. Lenz, J. Bousquet et N. Isabel, 2020. Adaptive genetic variation to drought in a widely distributed conifer suggests a potential for increasing forest resilience in a drying climate. *New Phytologist* 227 : 427 à 439
- Dhar, A., N. Balliet et C.D. Hawkins, 2014. Variability in height growth, survival and nursery carryover effect of *Betula papyrifera* provenances. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(2) : 132 à 143.
- Djeukam, C.L., G. Theriault, P. Michael et K.K. Nkongolo, 2016. Analysis of gene expression associated with copper toxicity in white birch (*Betula papyrifera*) populations from a mining region. *Biotechnology Journal International*, 1 à 10.
- Donini, P., J.-J. Liu et A.K.M. Ekramoddoullah, 2009. Identification and characterization of the WRKY transcription factor family in *Pinus monticola*. *Genome* 52(1) : 77 à 88.
- Echt, C.S., L.L. Deverno, M. Anzidei et G.G. Vendramin, 1998. Chloroplast microsatellites reveal population genetic diversity in red pine, *Pinus resinosa* Ait. *Molecular Ecology* 7 : 307 à 316.
- El-Kassaby, Y.A. et K. Ritland, 1996. Impact of selection and breeding on the genetic diversity in Douglas-fir. *Biodiversity & Conservation* 5(6) : 795 à 813.
- Elleouet, J.S. et S.N. Aitken, 2019. La dispersion du pollen sur de longues distances pendant la colonisation récente favorise une récupération rapide, mais partielle de la diversité génétique pour l'espèce *Picea sitchensis*. *New Phytologist* 222(2) : 1088 à 1100.
- Evans, L.M., S. Kaluthota, D.W. Pearce, G.J. Allan, K. Floate, S.B. Rood et T.G. Whitham, 2016. Bud phenology and growth are subject to divergent selection across a latitudinal gradient in *Populus angustifolia* and impact adaptation across the distributional range and associated arthropods. *Ecology and Evolution* 6(13) : 4565 à 4581.
- Fageria, M.S. et O.P. Rajora, 2013. Effects of harvesting of increasing intensities on genetic diversity and population structure of white spruce. *Evolutionary applications* 6(5) : 778 à 794.
- Fageria, M.S. et O.P. Rajora, 2014. Effets des pratiques sylvicoles sur la diversité génétique et la structure des populations d'épinette blanche en Saskatchewan. *Tree Genetics & Genomes* 10 : 287 à 296.
- Farmer, R.E., W.M. Cheliak, D.J. Perry, P. Knowles, J. Barrett et J. Pitel, 1988. Isozyme variation in balsam poplar along a latitudinal transect in northwestern Ontario. *Revue canadienne de recherche forestière* 18 : 1078 à 1081.
- Floate, K.D., J. Godbout, M.K. Lau, N. Isabel et T.G. Whitham, 2016. Plant–herbivore interactions in a trispecific hybrid swarm of *Populus*: assessing support for hypotheses of hybrid bridges, evolutionary novelty and genetic similarity. *New Phytologist* 209(2) : 832 à 844.
- Foster, A.J., G. Pelletier, P. Tanguay et A. Seguin, 2015. Transcriptome analysis of poplar during leaf spot infection with *Sphaerulina* spp. *PLoS One*, 10(9).
- Fowler, D.P. et R.W. Morris, 1977. Genetic diversity in red pine: evidence for low genetic heterozygosity. *Revue canadienne de recherche forestière* 7 : 343 à 347.

- Gapare, W.J., A.D. Yanchuk et S.N. Aitken, 2007. Optimal sampling strategies for capture of genetic diversity differ between core and peripheral populations of *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. *Conservation Genetics* 9(2) : 411 à 418.
- Geraldes, A., N. Farzaneh, C.J. Grassa, A.D. McKown, R.D. Guy, S.D. Mansfield, C.J. Douglas et Q.C. Cronk, 2014. Landscape genomics of *Populus trichocarpa*: the role of hybridization, limited gene flow, and natural selection in shaping patterns of population structure. *Evolution* 68(11) : 3260 à 3280.
- Geraldes, A., S.P. Difazio, G.T. Slavov, P. Ranjan, W. Muchero, J. Hannemann, L.E. Gunter, A.M. Wymore, C.J. Grassa, N. Farzaneh et I. Porth, 2013. A 34K SNP genotyping array for *Populus trichocarpa*: design, application to the study of natural populations and transferability to other *Populus* species. *Molecular Ecology Resources* 13(2) : 306 à 323.
- Germain, H., D. Lachance, G. Pelletier, C.G. Fossdal, H. Solheim et A. Séguin, 2012. The expression pattern of the *Picea glauca* Defensin 1 promoter is maintained in *Arabidopsis thaliana*, indicating the conservation of signalling pathways between angiosperms and gymnosperms. *Journal of Environmental Quality* 63(2) : 785 à 795.
- Godbout, J., A. Fazekas, C.H. Newton, F.C. Yeh et J. Bousquet, 2008. Glacial vicariance in the Pacific Northwest: evidence from a lodgepole pine mitochondrial DNA minisatellite for multiple genetically distinct and widely separated refugia. *Molecular Ecology* 17(10) : 2463 à 2475.
- Godbout, J., J. Beaulieu et J. Bousquet, 2010. Phylogeographic structure of jack pine (*Pinus banksiana*; Pinaceae) supports the existence of a coastal glacial refugium in northeastern North America. *American Journal of Botany* 97(11) : 1903 à 1912.
- Godbout, J., M.C. Gros-Louis, M. Lamothe et N. Isabel, 2020. Going with the flow: Intraspecific variation may act as a natural ally to counterbalance the impacts of global change for the riparian species *Populus deltoides*. *Ecological Applications* 13(1) : 176 à 194.
- Graignic, N., F. Tremblay et Y. Bergeron, 2013. Développement de marqueurs microsatellites nucléaires polymorphes chez l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) à l'aide d'un transfert interspèces et d'un pyroséquençage aléatoire enrichi en SSR. *Conservation Genetics Resources* 5(3) : 845 à 848.
- Graignic, N., F. Tremblay et Y. Bergeron, 2014. Geographical variation in reproductive capacity of sugar maple (*Acer saccharum* Marshall) northern peripheral populations. *Journal of Biogeography* 41(1) : 145 à 157.
- Graignic, N., F. Tremblay et Y. Bergeron, 2016. Genetic consequences of selection cutting on sugar maple (*Acer saccharum* Marshall). *Evolutionary Applications* 9(6) : 777 à 790.
- Graignic, N., F. Tremblay et Y. Bergeron, 2018. Influence of northern limit range on genetic diversity and structure in a widespread North American tree, sugar maple (*Acer saccharum* Marshall). *Ecology and Evolution* 8(5) : 2766 à 2780.
- Haitao, L., X. Wang et A. Hamann, 2010. Genetic adaptation of aspen (*Populus tremuloides*) populations to spring risk environments: a novel remote sensing approach. *Revue canadienne de recherche forestière* 40(11) : 2082 à 2090.



Hamilton, J.A. et S.N. Aitken, 2013. Genetic and morphological structure of a spruce hybrid (*Picea sitchensis* × *P. glauca*) zone along a climatic gradient. *American Journal of Botany* 100(8) : 1651 à 1662.

Hamilton, J.A., A.R. De la Torre et S.N. Aitken, 2015. La variation environnementale à petite échelle contribue à l'introgession dans un complexe hybride d'épinette à trois espèces. *Tree genetics & genomes* 11(1) : 817.

Hamilton, J.A., C. Lexer et S.N. Aitken, 2013. Differential introgression reveals candidate genes for selection across a spruce (*Picea sitchensis* × *P. glauca*) hybrid zone. *New Phytologist* 197(3) : 927 à 938.

Hawley, G.J. et D.H. Hayes, 1994. Genetic diversity and population structure of red spruce (*Picea rubens*). *Canadian Journal of Botany* 72 : 1778 à 1786.

Holliday, J.A., H. Suren et S.N. Aitken, 2012. Divergent selection and heterogeneous migration rates across the range of Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279(1734) : 1675 à 1683.

Holliday, J.A., K. Ritland et S.N. Aitken, 2010. Widespread ecologically-relevant genetic markers developed from association mapping of climate-related traits in Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *The New Phytologist* 188 : 501 à 514.

Holliday, J.A., T. Wang et S. Aitken, 2012. Predicting adaptive phenotypes from multilocus genotypes in Sitka spruce (*Picea sitchensis*) using random forest. *G3 : Genes, Genomes, Genetics* 2(9) : 1085 à 1093.

Hornoy, B., N. Pavy, S. Gerardi, J. Beaulieu et J. Bousquet, 2015. Genetic adaptation to climate in white spruce involves small to moderate allele frequency shifts in functionally diverse genes. *Genome biology and Evolution* 7(12) : 3269 à 3285.

Housset, J.M., S. Nadeau, N. Isabel, C. Depardieu, I. Duchesne, P. Lenz et M.P. Girardin, 2018. Tree rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate change. *New Phytologist* 218(2) : 630 à 645.

Huang, D.I., C.A. Hefer, N. Kolosova, C.J. Douglas et Q.C. Cronk, 2014. Whole plastome sequencing reveals deep plastid divergence and cytonuclear discordance between closely related balsam poplars, *Populus balsamifera* and *P. trichocarpa* (Salicaceae). *New Phytologist* 204(3) : 693 à 703.

Islam, M.A., R.N. Sturrock et A.K. Ekramoddoullah, 2013. Gene expression profiling of a compatible interaction between Douglas-fir and the root rot fungal pathogen *Phellinus sulphurascens*. *Phytopathologie* 103(6) : 583 à 593.

Jackman, S.D., L. Coombe, R.L. Warren, H. Kirk, E. Trinh, T. McLeod, S. Pleasance, P. Pandoh, Y. Zhao, R.J. Coope et J. Bousquet, 2019. Largest Complete Mitochondrial Genome of a Gymnosperm, Sitka Spruce (*Picea sitchensis*), Indicates Complex Physical Structure. *bioRxiv*, p.601104.

- Jackman, S.D., R.L. Warren, E.A. Gibb, B.P. Vandervalk, H. Mohamadi, J. Chu, A. Raymond, S. Pleasance, R. Coope, M.R. Wildung et C.E. Ritland, 2016. Organellar genomes of white spruce (*Picea glauca*): assembly and annotation. *Genome biology and Evolution* 8(1), p.29 à 41.
- Jaquish, B. et Y.A. El-Kassaby, 1998. Variation génétique du mélèze occidental en Colombie-Britannique et sa conservation. *Journal of Heredity* 89 : 248 à 253.
- Jorgensen, S.M. et J.L. Hamrick, 1997. Biogeography and population genetics of whitebark pine, *Pinus albicaulis*. *Revue canadienne de recherche forestière* 27 : 1574 à 1585.
- Joyce, D.G. et G.E. Rehfeldt, 2013. Climatic niche, ecological genetics, and impact of climate change on eastern white pine (*Pinus strobus* L.): Guidelines for land managers. *Forest Ecology and Management* 295 : 173 à 192.
- Kalubi, K.N., M. Mehes-Smith, R. Narendrula, P. Michael et A. Omri, 2015. Analyse moléculaire des populations d'érable rouge (*Acer rubrum*) d'une région minière remise en état dans le nord de l'Ontario (Canada) : accumulation des métaux dans le sol et translocation dans les plantes. *Ecotoxicology* 24(3) : 636 à 647.
- Kanaga, M.K., J.R. Ryel, K.E. Mock et M.E. Pfrender, 2008. Variation quantitative-génétique des traits morphologiques et physiologiques au sein d'une population de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*). *Revue canadienne de recherche forestière* 38 : 1690 à 1694.
- Kang, B.-Y., I.K. Mann, J.E. Major et O.P. Rajora, 2010. Near-saturated and complete genetic linkage map of black spruce (*Picea mariana*). *BMC Genomics* 11 : 515.
- King, J.N., J. DeBell, A. Kegley, R.A. Sniezko, G. McDonald et N. Ukrainetz, 2018. Provenance variation in western white pine (*Pinus monticola*): the impact of white pine blister rust. Dans : Schoettle, Anna W., Richard A. Sniezko, John T. Kliejunas (sous la direction de). Actes de la conférence conjointe de l'IUFRO : Genetics of five-needle pines, rusts of forest trees, and Strobosphere, du 15 au 20 juin 2014, Fort Collins (CO). Proc. RMRS-P-76. Fort Collins (CO) : US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 63-80. (vol. 76 : 63 à 80).
- Kitamura, K. et S. Kawan, 2001. Regional differentiation in genetic components for the American beech, *Fagus grandifolia* Ehrh., in relation to geological history and mode of reproduction. *Journal of Plant Research* 114(3) : 353 à 368.
- Klápště, J., M. Lstibůrek et Y.A. El-Kassaby, 2014. Estimations des paramètres génétiques et des valeurs de reproduction des familles de mélèze occidental à pollinisation libre en utilisant la relation basée sur les marqueurs. *Tree genetics & genomes* 10(2) : 241 à 249.
- Knowles, P, 1984. Variabilité génétique entre et au sein de populations de pin tordu très proches. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 26 : 177 à 184.
- Krakowski, J., S.N. Aitken et Y. El-Kassaby, 2003. Inbreeding and conservation genetics in whitebark pine. *Conservation Genetics* 4 : 581 à 593.
- Lamara, M., E. Raherison, P. Lenz, J. Beaulieu, J. Bousquet et J. MacKay, 2016. Genetic architecture of wood properties based on association analysis and co-expression networks in white spruce. *New Phytologist* 210(1) : 240 à 255.

- Lamarque, L.J., C.J. Lortie, A.J. Porté et S. Delzon, 2015. Genetic differentiation and phenotypic plasticity in life-history traits between native and introduced populations of invasive maple trees. *Biological Invasions* 17(4) : 1109 à 1122.
- Lamy, S., A. Bouchard et J.-P. Simon, 1999. Genetic structure, variability and mating system in eastern white cedar (*Thuja occidentalis*) populations of recent origin in an agricultural landscape in southern Quebec. *Revue canadienne de recherche forestière* 29 : 1383 à 1392.
- Latutrie, M., P. Mérian, S. Picq, Y. Bergeron et F. Tremblay, 2015. The effects of genetic diversity, climate and defoliation events on trembling aspen growth performance across Canada. *Tree genetics & genomes* 11(5) : 96.
- Lauron-Moreau, A., F.E. Pitre, G.W. Argus, M. Labrecque et L. Brouillet, 2015. Phylogenetic relationships of American willows (*Salix* L., Salicaceae). *PLoS One* 10(4).
- Lauron-Moreau, A., F.E. Pitre, L. Brouillet et M. Labrecque, 2013. Microsatellite markers of willow species and characterization of 11 polymorphic microsatellites for *Salix eriocephala* (Salicaceae), a potential native species for biomass production in Canada. *Plants* 2(2) : 203 à 210.
- Lee, S.I., K. Nkongolo, D. Park, I.Y. Choi, A.Y. Choi et N.S. Kim, 2019. Characterization of chloroplast genomes of *Alnus rubra* and *Betula cordifolia*, and their use in phylogenetic analyses in Betulaceae. *Genes & Genomics* 41(3) : 305 à 316.
- Li, W., J.A. Kershaw Jr, K.K. Costanza et A.R. Taylor, 2020. Evaluating the potential of red spruce (*Picea rubens* Sarg.) to persist under climate change using historic provenance trials in eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 466 : 118 à 139.
- Liepe, K.J., A. Hamann, P. Smets, C.R. Fitzpatrick et S.N. Aitken, 2016. Adaptation of lodgepole pine and interior spruce to climate: implications for reforestation in a warming world. *Evolutionary Applications* 9(2) : 409 à 419.
- Lin, D., L. Coombe, S.D. Jackman, K.K. Gagalova, R.L. Warren, S.A. Hammond, H. Kirk, P. Pandoh, Y. Zhao, R.A. Moore et A.J. Mungall, 2019. Complete Chloroplast Genome Sequence of a White Spruce (*Picea glauca*, Genotype WS77111) from Eastern Canada. *Microbiology resource announcements* 8(23) : e00381 à 19.
- Liu, J.J., A.W. Schoettle, R.A. Sniezko, F. Yao, A. Zamany, H. Williams et B. Rancourt, 2019. Limber pine (*Pinus flexilis* James) genetic map constructed by exome-seq provides insight into the evolution of disease resistance and a genomic resource for genomics-based breeding. *The Plant Journal* 98(4) : 745 à 758.
- Liu, J.J., A.W. Schoettle, R.A. Sniezko, R.N. Sturrock, A. Zamany, H. Williams, A. Ha, D. Chan, B. Danchok, D.P. Savin et A. Kegley, 2016. Genetic mapping of *Pinus flexilis* major gene (Cr4) for resistance to white pine blister rust using transcriptome-based SNP genotyping. *BMC Genomics* 17(1) : 753.
- Liu, J.J., D. Chan, R. Sturrock et R.A. Sniezko, 2014. Genetic variation and population differentiation of the endochitinase gene family in *Pinus monticola*. *Plant systematics and evolution* 300(6) : 1313 à 1322.

- Liu, J.J., R. Snieszko, M. Murray, N. Wang, H. Chen, A. Zamany, R.N. Sturrock, D. Savin et A. Kegley, 2016. Genetic diversity and population structure of whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) in western North America. *PLoS One* 11(12).
- Liu, Z. et P. Knowles, 1991. Patterns of allozyme variation in tamarack (*Larix laricina*) from northern Ontario. *Canadian Journal of Botany* 69 : 2469 à 2474.
- Lo, E.Y.Y., S. Stefanovic, K. Ritland et T.A. Dickinson, 2010. Fine-scale comparisons of genetic variability in seed families of asexually and sexually reproducing *Crataegus* (Hawthorn; Rosaceae). *American Journal of Botany* 97 : 1014 à 1024.
- Lu, P., W.H. Parker, M. Cherry, S. Colombo, W.C. Parker, R. Man et N. Roubal, 2014. Survival and growth patterns of white spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss) rangewide provenances and their implications for climate change adaptation. *Ecology and Evolution* 4(12) : 2360 à 2374.
- Makela, M. : Michael, G. Theriault et K.K. Nkongolo, 2016. High genetic variation among closely related red oak (*Quercus rubra*) populations in an ecosystem under metal stress: analysis of gene regulation. *Genes & Genomics* 38(10), p.967 à 976.
- Matthes-Sears, U., S.C. Stewart et D.W. Larson, 1991. Sources of Allozymic variation in *Thuja occidentalis* in Southern Ontario Canada. *Silvae Genetica* vol.40, 100 à 105.
- McKown, A.D., R.D. Guy, J. Klápště, A. Galdes, M. Friedmann, Q.C. Cronk, Y.A. El-Kassaby, S.D. Mansfield et C.J. Douglas, 2014. Geographical and environmental gradients shape phenotypic trait variation and genetic structure in *Populus trichocarpa*. *New Phytologist* 201(4) : 1263 à 1276.
- McLane, S.C. et S.N. Aitken, 2012. Potentiel de migration assisté du pin à écorce blanche (*Pinus albicaulis*) : test d'établissement au nord de l'aire de répartition de l'espèce. *Ecological Applications* 22(1) : 142 à 153.
- McLane, S.C., L.D. Daniels et S.N. Aitken, 2011b. Climate impacts on lodgepole pine (*Pinus contorta*) radial growth in a provenance experiment. *Forest Ecology and Management* 262(2) : 115 à 123.
- McLane, S.C., V.M. LeMay et S.N. Aitken, 2011a. Modeling lodgepole pine radial growth relative to climate and genetics using universal growth-trend response functions. *Ecological Applications* 21(3) : 776 à 788.
- Meirmans, P., M. Lamothe, P. Périnet et N. Isabel, 2007. Species-specific single nucleotide polymorphism markers for detecting hybridization and introgression in poplar. *Canadian Journal of Botany* 85 : 1082 à 1091.
- Mimura, M. et S.N. Aitken, 2010. Local adaptation at the range peripheries of Sitka spruce. *Journal of Experimental Biology* 23 : 249 à 258.
- Morin, R., J. Beaulieu, M. Deslauriers, G. Daoust et J. Bousquet, 2000. Low genetic diversity at allozyme loci in *Juglans cinerea*. *Canadian Journal of Botany* 78 : 1238 à 1243.
- Mosseler, A., J.E. Major et D. Ostaff, 2017. Distribution of genetic variation in five coppice growth traits among natural populations of seven North American willow (*Salix*) species. *Revue canadienne de recherche forestière* 47(1) : 36 à 46.

Mosseler, A., J.E. Major et M. Labrecque, 2014. Genetic by environment interactions of two North American *Salix* species assessed for coppice yield and components of growth on three sites of varying quality. *Trees* 28(5) : 1401 à 1411.

Mosseler, A., K.N. Egger et G.A. Hughes, 1992. Low levels of genetic diversity in red pine confirmed by random amplified polymorphic DNA markers. *Revue canadienne de recherche forestière* 22 : 1332 à 1337.

Mosseler, A., O.P. Rajora, J.E. Major et K.H. Kim, 2004. Reproductive and genetic characteristics of rare, disjunct pitch pine populations at the northern limits of its range in Canada. *Conservation Genetics* 5 : 571 à 583.

Mosseler, A.D., J. Innes et B.A. Roberts, 1991. Lack of allozymic variation in disjunct Newfoundland populations of red pine (*Pinus resinosa*). *Revue canadienne de recherche forestière* 21 : 525 à 528.

Nadeau, S., J. Godbout, M. Lamothe, M.C. Gros-Louis, N. Isabel et K. Ritland, 2015. Contrasting patterns of genetic diversity across the ranges of *Pinus monticola* and *P. strobus*: A comparison between eastern and western North American postglacial colonization histories. *American Journal of Botany* 102(8) : 1342 à 1355.

Namroud, M.C., J. Bousquet, T. Doerksen et J. Beaulieu, 2012. Scanning SNPs from a large set of expressed genes to assess the impact of artificial selection on the undomesticated genetic diversity of white spruce. *Evolutionary Applications* 5(6) : 641 à 656.

Narendrula, R., G. Spiers et P. Beckett, 2014. Heavy metal analysis in red oak (*Quercus rubra*) populations from a mining region in northern Ontario (Canada): effect of soil liming and analysis of genetic variation. *American Journal of Environmental Sciences* 10(4) : 363 à 373.

Nkongolo, K., G. Theriault et P. Michael, 2018. Differential levels of gene expression and molecular mechanisms between red maple (*Acer rubrum*) genotypes resistant and susceptible to nickel toxicity revealed by transcriptome analysis. *Ecology and Evolution* 8(10) : 4876 à 4890.

O'Connell, L., K. Ritland et S.L. Thompson, 2008. Post-glacial colonization of western redcedar (*Thuja plicata*, Cupressaceae) revealed by microsatellite markers. *Botanique* 86 : 194 à 203.

O'Connell, L.M., A. Mosseler et O.P. Rajora, 2007. La dispersion étendue du pollen sur de longues distances dans un paysage fragmenté maintient la diversité génétique de l'épinette blanche. *Journal of Heredity* 98(7) : 640 à 645.

O'Neill, G.A., A. Hamann et T. Wang, 2008. Accounting for population variation improves estimates of the impact of climate change on species' growth and distribution. *Journal of Applied Ecology* 45(4) : 1040 à 1049.

Oke, O.A. et J.R. Wang, 2013. Assessing effects of seed source and transfer potential of white birch populations using transfer functions. *Open Journal of Ecology* 3(05) : 359.

Pandey, M. et O.P. Rajora, 2012. Genetic diversity and differentiation of core vs. peripheral populations of eastern white cedar, *Thuja occidentalis* (Cupressaceae). *American Journal of Botany* 99(4) : 690 à 699.

Parent, G.J., I. Giguère, G. Germanos, M. Lamara, É. Bauce et J.J. MacKay, 2017. Insect herbivory (*Choristoneura fumiferana*, Tortricidea) underlies tree population structure (*Picea glauca*, Pinaceae). *Scientific Reports* 7 : 42273.

Pavy, N., A. Deschênes, S. Blais, P. Lavigne, J. Beaulieu, N. Isabel, J. Mackay et J. Bousquet, 2013. The landscape of nucleotide polymorphism among 13,500 genes of the conifer *Picea glauca*, relationships with functions, and comparison with *Medicago truncatula*. *Genome Biology and Evolution* 5(10) : 1910 à 1925.

Pavy, N., B. Pelgas, S. Beauseigle, S. Blais, F. Gagnon, I. Gosselin, M. Lamothe, N. Isabel et J. Bousquet, 2008. Amélioration de la cartographie génétique de génomes complexes par la conception de réseaux de SNP hautement multiplexés : application aux génomes importants et non séquencés de l'épinette blanche et de l'épinette noire. *BMC Genomics* 9 : 21.

Pavy, N., F. Gagnon, P. Rigault, S. Blais, A. Deschênes, B. Boyle, B. Pelgas, M. Deslauriers, S. Clément : Lavigne et M. Lamothe, 2013. Development of high-density SNP genotyping arrays for white spruce (*Picea glauca*) and transferability to subtropical and nordic congeners. *Molecular Ecology Resources* 13(2) : 324 à 336.

Pavy, N., M. Lamothe, B. Pelgas, F. Gagnon, I. Birol, J. Bohlmann, J. Mackay, N. Isabel et J. Bousquet, 2017. A high-resolution reference genetic map positioning 8.8 K genes for the conifer white spruce: Structural genomics implications and correspondence with physical distance. *The Plant Journal* 90(1) : 189 à 203.

Pelgas, B., J. Bousquet, P.G. Meirmans, K. Ritland et N. Isabel, 2011. QTL mapping in white spruce: gene maps and genomic regions underlying adaptive traits across pedigrees, years and environments. *BMC Genomics* 12 : 145 à 149.

Perry, D.J. et P. Knowles, 1989. Allozyme variation in sugar maple at the northern limit of its range in Ontario, Canada. *Revue canadienne de recherche forestière* 19 : 509 à 514.

Perry, D.J., P. Knowles et F.C. Yeh, 1990. Allozyme variation of *Thuja occidentalis* L. in northwestern Ontario. *Biochemical Systematics and Ecology* 18 : 111 à 115.

Piot, A., J. Prunier, N. Isabel, J. Klápště, Y.A. El-Kassaby, J.C.V. Aguilar et I. Porth, 2019. Genomic diversity evaluation of *Populus trichocarpa* germplasm for rare variant genetic association studies. *Frontiers in Genetics* 10.

Porter, R.B., T. Lacourse, B.J. Hawkins et A. Yanchuk, 2013. Variation adaptative de la croissance, de la phénologie, de la tolérance au froid et de la fixation de l'azote de l'aulne rouge (*Alnus rubra* Bong.) *Forest Ecology and Management* 291 : 357 à 366.

Prunier, J., B. Pelgas, F. Gagnon, M. Desponts, N. Isabel, J. Beaulieu et J. Bousquet, 2013. The genomic architecture and association genetics of adaptive characters using a candidate SNP approach in boreal black spruce. *BMC Genomics* 14(1) : 368.

Prunier, J., S. Caron et J. MacKay, 2017. CNVs into the wild: screening the genomes of conifer trees (*Picea* spp.) reveals fewer gene copy number variations in hybrids and links to adaptation. *BMC Genomics* 18(1) : 97.

- Raherison, E., P. Rigault, S. Caron, P.L. Poulin, B. Boyle, J.P. Verta, I. Giguère, C. Bomal, J. Bohlmann et J. MacKay, 2012. Transcriptome profiling in conifers and the PiceaGenExpress database show patterns of diversification within gene families and interspecific conservation in vascular gene expression. *BMC Genomics* 13(1) : 434.
- Raherison, E.S., I. Giguère, S. Caron, M. Lamara et J.J. MacKay, 2015. Modular organization of the white spruce (*Picea glauca*) transcriptome reveals functional organization and evolutionary signatures. *New Phytologist* 207(1) : 172 à 187.
- Rajora, O.P., A. Mosseler et J.E. Major, 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. II. Genetic diversity, population structure, and mating behavior. *Canadian Journal of Botany* 78(7) : 941 à 956.
- Rajora, O.P., A.J. Eckert et J.W. Zinck, 2016. Single-locus versus multilocus patterns of local adaptation to climate in eastern white pine (*Pinus strobus*, Pinaceae). *PLoS one* 11(7).
- Rajora, O.P., L.L. DeVerno, A. Mosseler et D.J. Innes, 1998. Genetic diversity and population structure of disjunct Newfoundland and central Ontario populations of eastern white pine (*Pinus strobus*). *Canadian Journal of Botany* 76 : 500 à 508.
- Ramya, N. et N. Kabwe, 2012. Genetic variation in *Picea mariana* × *P. rubens* hybrid populations assessed with ISSR and RAPD markers. *American Journal of Plant Sciences* vol. 3, n° 6 : 731 à 737.
- Reid, K.E., J.A. Holliday, M. Yuen, A. Nguyen, S.N. Aitken et J. Bohlmann, 2013. Sequencing of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) cDNA libraries constructed from autumn buds and foliage reveals autumn-specific spruce transcripts. *Tree genetics & genomes* 9(3) : 683 à 691.
- Ritland, K., L.D. Meagher, D.G.W. Edwards et Y.A. El-Kassaby, 2005. Isozyme variation and the conservation genetics of Garry oak. *Canadian Journal of Botany* 83 : 1478 à 1487.
- Roberts, D.R. et A. Hamann, 2015. Glacial refugia and modern genetic diversity of 22 western North American tree species. *Proc. R. Soc. B* 282 : 20142903.  
<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.2903>
- Ross-Davis, A., M. Ostry et K.E. Woeste, 2008. Genetic diversity of butternut (*Juglans cinerea*) and implications for conservation. *Revue canadienne de recherche forestière* 38(4) : 899 à 907.
- Russell, J.H. et J. Krakowski, 2012. Geographic variation and adaptation to current and future climates of *Callitropsis nootkatensis* populations. *Revue canadienne de recherche forestière* 42(12) : 2118 à 2129.
- Sahli, A., I. Giguère, J. Bousquet et J. MacKay, 2017. Spontaneous mutations and transmission distortions of genic copy number variants shape the standing genetic variation in *Picea glauca*. *bioRxiv*, p.103796.
- Savva, Y., Y. Bergeron, B. Denneler, A. Koubaa et F. Tremblay, 2008. Effect of interannual climate variations on radial growth of jack pine provenances in Petawawa, Ontario. *Revue canadienne de recherche forestière* 38(3) : 619 à 630.
- Semerikov, V.L. et M. Lascoux, 1999. Genetic relationship among Eurasian and American *Larix* species based on allozymes. *Heredity* 83 : 62 à 70.

- Sena, J.S., I. Giguère, B. Boyle, P. Rigault, I. Birol, A. Zuccolo, K. Ritland, C. Ritland, J. Bohlmann, S. Jones et J. Bousquet, 2014. Evolution of gene structure in the conifer *Picea glauca*: a comparative analysis of the impact of intron size. *BMC plant biology* 14(1) : 95.
- Shunmugam, A.S., R.Y. Soolanayakanahally et R.D. Guy, 2016. Le gradient géoclimatique façonne les variations des traits fonctionnels de *Salix eriocephala* Michx. *BioRxiv*, p. 057745.
- Simon, J.P., Y. Bergeron et D. Gagnon, 1986. Isozyme uniformity in populations of red pine (*Pinus resinosa*) in the Atibiti Region, Quebec. *Revue canadienne de recherche forestière* 16 : 1133 à 1135.
- Stival Sena, J., I. Giguère, P. Rigault, J. Bousquet et J. Mackay, 2018. Expansion of the dehydrin gene family in the Pinaceae is associated with considerable structural diversity and drought-responsive expression. *Tree physiology* 38(3) : 442 à 456.
- Stoehr, M.U. et Y.A. El-Kassaby, 1997. Levels of genetic diversity at different stages of the domestication cycle of interior spruce in British Columbia. *Theoretical and Applied Genetics* 94(1) : 83 à 90.
- Suarez-Gonzalez, A. et S.V. Good, 2014. Pollen limitation and reduced reproductive success are associated with local genetic effects in *Prunus virginiana*, a widely distributed self-incompatible shrub. *Annals of Botany* 113(4) : 595 à 605.
- Suren, H., K.A. Hodgins, S. Yeaman, K.A. Nurkowski, P. Smets, L.H. Rieseberg, S.N. Aitken et J.A. Holliday, 2016. Capture d'exome à partir des gigagénomes de l'épinette et du pin. *Molecular Ecology Resources* 16(5) : 1136 à 1146.
- Talbot, P., S.L. Thompson, W. Schroeder et N. Isabel, 2011. An efficient single nucleotide polymorphism assay to diagnose the genomic identity of poplar species and hybrids on the Canadian prairies. 2011. *Revue canadienne de recherche forestière* 41 : 1102 à 1111.
- Therriault, G., K.K. Nkongolo et P. Michael, 2014. Genetic and metal analyses of fragmented populations of *Betula papyrifera* (Marsh) in a mining reclaimed region: identification of population–diagnostic molecular marker. *Ecology and Evolution* 4(17) : 3435 à 3443.
- Therriault, G., K.K. Nkongolo, R. Narendrula et P. Beckett, 2013. Molecular and ecological characterisation of plant populations from limed and metal-contaminated sites in Northern Ontario (Canada): ISSR analysis of white birch (*Betula papyrifera*) populations. *Chemistry and Ecology* vol.29(7) : 573 à 585.
- Therriault, G., P. Michael et K. Nkongolo, 2016a. Décryptage de la régulation et du mécanisme de la résistance au nickel chez le bouleau blanc (*Betula papyrifera*) à l'aide de gènes de résistance aux métaux interspèces. *Genes & Genomics* 38(4) : 341 à 350.
- Therriault, G., P. Michael et K. Nkongolo, 2016b. Comprehensive transcriptome analysis of response to nickel stress in white birch (*Betula papyrifera*). *PloS one* 11(4).
- Thomson, A.M. et W.H. Parker, 2008. Boreal forest provenance tests used to predict optimal growth and response to climate change. 1. Pin gris *Revue canadienne de recherche forestière* 38(1) : 157 à 170.



- Thomson, A.M., C.W. Dick et S. Dayanandan, 2015b. A similar phylogeographical structure among sympatric North American birches (*Betula*) is better explained by introgression than by shared biogeographical history. *Journal of Biogeography* 42(2) : 339 à 350.
- Thomson, A.M., C.W. Dick, A.L. Pascoini et S. Dayanandan, 2015a. Despite introgressive hybridization, North American birches (*Betula* spp.) maintain strong differentiation at nuclear microsatellite loci. *Tree genetics & genomes* 11(5) : 101.
- Ukrainetz, N.K., K.-Y. Kang, S.N. Aitken, M. Stoehr et S.D. Mansfield, 2008. Heritability, phenotypic and genetic correlations of coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) wood quality traits. *Revue canadienne de recherche forestière* 38 : 1536 à 1546.
- Vance, M., 2019. Population genomics of a timberline conifer, subalpine larch (*Larix lyallii* Parl.) (Thèse de doctorat) Université de Victoria, Colombie-Britannique.
- Verta, J.P., C.R. Landry et J.J. MacKay, 2013. Are long-lived trees poised for evolutionary change? Single locus effects in the evolution of gene expression networks in spruce. *Molecular Ecology* 22(9) : 2369 à 2379.
- Verta, J.P., C.R. Landry et J.J. MacKay, 2014. The Genetic Landscape of Transcriptional Networks in a Combined Haploid/Diploid Plant System. *bioRxiv*, p.007153.
- Viktora, M., R.A. Savidge et O.P. Rajora, 2011. Clonal and nonclonal genetic structure of subarctic black spruce (*Picea mariana*) populations in Yukon territory. *Botany* 89(2) : 133 à 140.
- Walter, R.B. et K. Emerson, 2005. Geographic pattern of genetic variation in *Pinus resinosa*: contact zone between descendants of glacial refugia. *American Journal of Botany* 92 : 92 à 100.
- Warren, R.L., C.I. Keeling, M.M.S. Yuen, A. Raymond, G.A. Taylor, B.P. Vandervalk, H. Mohamadi, D. Paulino, R. Chiu, S.D. Jackman, G. Robertson, C. Yang, B. Boyle, M. Hoffmann, D. Weigel, D.R. Nelson, C. Ritland, N. Isabel, B. Jaquish, A. Yanchuk, J. Bousquet, S.J.M. Jones, J. MacKay, I. Birol et J. Bohlmann, 2015. Improved white spruce (*Picea glauca*) genome assemblies and annotation of large gene families of conifer terpenoid and phenolic defense metabolism. *The Plant Journal* 83(2) : 189 à 212.
- Wyman, J., A. Bruneau et F.M. Tremblay, 2003. Microsatellite analysis of genetic diversity in four populations of *Populus tremuloides* in Quebec. *Canadian Journal of Botany* 81(4) : 360 à 367.
- Xie, C.-Y., C.C. Ying, A.D. Yanchuk et D.L. Holowachuk, 2009. Ecotypic mode of regional differentiation caused by restricted gene migration: a case in black cottonwood (*Populus trichocarpa*) along the Pacific Northwest coast. *Revue canadienne de recherche forestière* 39(3) : 519 à 525.
- Xie, C.Y., M.R. Carlson et C.C. Ying, 2012. Ecotypic mode of regional differentiation of black cottonwood (*Populus trichocarpa*) due to restricted gene migration: further evidence from a field test on the northern coast of British Columbia. *Revue canadienne de recherche forestière* 42(2) : 400 à 405.
- Xu, H., F. Tremblay, Y. Bergeron, V. Paul et C. Chen, 2012. Genetic consequences of fragmentation in "arbor vitae," eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.), toward the northern limit of its distribution range. *Ecology and Evolution* 2(10) : 2506 à 2520.

- Yang, J., J.H. Pedlar, D.W. McKenney et A. Weersink, 2015. The development of universal response functions to facilitate climate-smart regeneration of black spruce and white pine in Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management* 339 : 34 à 43.
- Yeaman, S., K.A. Hodgins, H. Suren, K.A. Nurkowski, L.H. Rieseberg, J.A. Holliday et S.N. Aitken, 2014. Conservation and divergence of gene expression plasticity following c. 140 million years of evolution in lodgepole pine (*Pinus contorta*) and interior spruce (*Picea glauca* × *Picea engelmannii*). *New Phytologist* 203(2) : 578 à 591.
- Yeaman, S., K.A. Hodgins, K.E. Lotterhos, H. Suren, S. Nadeau, J.C. Degner, K.A. Nurkowski, P. Smets, T. Wang, L.K. Gray et K.J. Liepe, 2016. Adaptation locale convergente au climat chez des conifères de parenté lointaine. *Science* 353(6306) : 1431 à 1433.
- Yeh, F.C. et C. Lavton, 1979. The organization of genetic variability in central and marginal populations of lodgepole pine *Pinus contorta* spp. *latifolia*. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 21 : 487 à 503.
- Yeh, F.C. et D.M. O'Malley, 1980. Enzyme variations in natural populations of Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, from British Columbia. 1. Modèles de variation génétique dans les populations côtières. *Silvae Genetica* 29 : 83 à 92.
- Yeh, F.C., 1988. Isozyme variation of *Thuja plicata* (Cupressaceae) in British Columbia. *Biochemical Systematics and Ecology* 16 : 373 à 377.
- Yeh, F.C., D.K.X. Chong et R.C. Yang, 1995. RAPD variation within and among natural populations of trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) from Alberta. *Journal of Heredity* 86 : 454 à 460.
- Ying, L. et E.K. Morgenstern, 1991. The population structure of *Larix laricina* in New Brunswick, Canada. *Silvae Genetica* 40 : 180 à 184.
- Young, A.G., S.I. Warwick et H.G. Merriam, 1993. Genetic variation and structure at three spatial scales for *Acer saccharum* (sugar maple) in Canada and the implications for conservation. *Revue canadienne de recherche forestière* 23 : 2568 à 2578.
- Zinck, J.W. et O.P. Rajora, 2016. Phylogéographie postglaciaire et évolution d'un arbre forestier clé très exploité en Amérique du Nord, le pin blanc (*Pinus strobus*) : un seul refuge, des voies multiples. *BMC Evolutionary Biology* 16(1) : 56.

## Chapitre 6. Conservation *in situ* des ressources génétiques forestières

### 6.1. Évaluation de la situation de la conservation *in situ* des ressources génétiques forestières

Au Canada, les zones conservées comprennent les aires protégées ainsi que les zones conservées par d'autres moyens. Les zones conservées, mais non « protégées » légalement suivent la Convention sur la biodiversité selon laquelle une « autre mesure efficace de conservation au niveau d'une zone » désigne une zone géographiquement définie, autre qu'une aire protégée, qui est régie et gérée de manière à obtenir des résultats positifs et durables à long terme en matière de conservation *in situ* de la biodiversité. Les zones désignées comme protégées sont des zones reconnues comme répondant à la définition internationale d'une aire protégée<sup>2</sup>. Les zones conservées par d'autres mesures doivent répondre à tous les éléments de la définition pancanadienne et de la définition internationale pour être reconnues comme zones conservées (Gouvernement du Canada, 2019).

La figure 6.1 présente la répartition des aires protégées et autres zones de conservation au Canada. Les plus grandes zones se trouvent dans le nord, où la densité de population est relativement faible. Certaines aires protégées et autres zones conservées se trouvent au nord de la limite des arbres et bon nombre des plus grandes se trouvent dans la forêt boréale où la diversité des espèces d'arbres est faible.

---

<sup>2</sup> <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about>

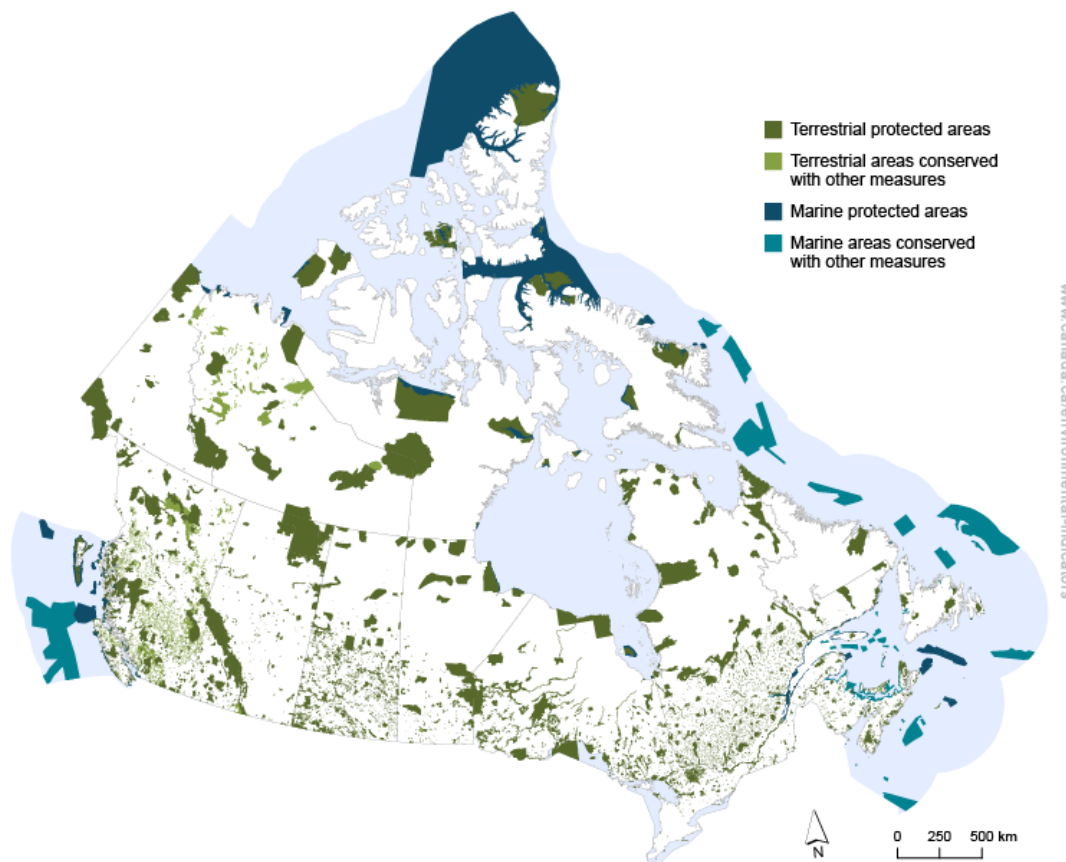


Figure 6.1. Aires protégées et autres zones de conservation au Canada en 2019.

La superficie totale des terres conservées au Canada atteignait 12,5 % fin 2020. En Colombie-Britannique, 19,5 % de la superficie terrestre est conservée. La compétence suivante présentant le pourcentage le plus élevé de territoire conservé est les Territoires du Nord-Ouest avec 15,8 %, suivis de l'Alberta dont 15,4 % du territoire sont conservés; puis, 12,9 % au Québec, 12,8 % en Nouvelle-Écosse, 11,8 % dans le Territoire du Yukon, 11 % au Manitoba, 10,7 % en Ontario, 10,1 % au Nunavut et 9,8 % en Saskatchewan. Terre-Neuve-et-Labrador, le Nouveau-Brunswick et l'Île-du-Prince-Édouard conservent chacun moins de 7 % de leur territoire terrestre (Gouvernement du Canada, 2020).

En 2016 (l'année la plus récente pour laquelle cette statistique a été calculée), 29,5 millions d'hectares de forêt se trouvaient dans diverses aires protégées du pays (Ressources naturelles Canada, 2020), soit plus du double de la valeur de 1990 (13,5 millions). La période entre 2010 et 2016 a vu une augmentation de 5 % des forêts canadiennes protégées; tendance qui devrait se poursuivre (Ressources naturelles Canada, 2020). Des terres forestières supplémentaires ont, sans aucun doute, été conservées entre 2016 et 2019, même si les données pour cette période ne sont pas encore disponibles. En particulier, un fonds fédéral de 1,3 milliard de dollars, annoncé récemment et visant à établir et à améliorer les aires protégées, devrait inclure des terres forestières, en mettant l'accent sur la conservation des plantes et des animaux indigènes.

Il n'existe pas d'approche centralisée en matière de conservation *in situ* des arbres au Canada et la protection *in situ* ne vise généralement pas à conserver les ressources génétiques forestières

(RGF) *en tant que telles*. L'approche de la conservation des terres et des eaux douces au Canada comprend quatre priorités (Anon, 2018) :

- 1) étendre les systèmes fédéraux, provinciaux et territoriaux d'aires protégées et de zones conservées;
- 2) promouvoir une plus grande reconnaissance et un meilleur soutien des droits, des responsabilités et des priorités des Autochtones en matière de conservation;
- 3) maximiser les résultats de la conservation;
- 4) renforcer le soutien et la participation à la conservation auprès d'une communauté plus large.

Une série de mesures correspondantes sont proposées, visant à relever les trois défis clés suivants (Anon, 2018) :

- 1) protéger une quantité adéquate d'habitats pour soutenir des populations viables de toutes les espèces;
- 2) protéger les zones pertinentes, afin que les aires protégées et conservées puissent fonctionner comme un réseau écologique représentatif, et pas simplement comme des « îlots de verdure »;
- 3) gérer les zones de manière à rechercher la coopération au-delà des frontières des compétences et à respecter les frontières naturelles dans la mesure du possible.

L'objectif des zones conservées est ainsi de protéger une gamme d'écosystèmes. Les populations d'arbres forestiers devraient donc être protégées de manière adéquate pour que les écosystèmes forestiers soient bien représentés. Cela a été mis à l'essai en Colombie-Britannique (Chourmouzis et coll., 2009) et en Alberta (Krakowski, 2017). Dans les deux cas, les ressources génétiques de la plupart des arbres indigènes sont actuellement protégées de manière adéquate, mais les vulnérabilités sont exposées lors de la modélisation des répercussions des changements climatiques.

Le tableau 6.1 énumère plusieurs types d'aires de conservation dans l'ensemble du pays, selon les compétences. Cette liste est demeurée inchangée depuis la publication du rapport 2012 du Canada sur les RGF. Deux organismes fédéraux, Parcs Canada et Environnement et Changement climatique Canada, sont respectivement responsables de 29 % et 10 % des aires terrestres conservées au Canada. Les autres 61 % des terres conservées sont sous compétence provinciale ou territoriale.

Tableau 6.1. Exemples de zones de conservation *in situ* fédérales, provinciales, territoriales, non gouvernementales et industrielles (tirés du rapport 2012 du Canada sur les RGF).

| Gouvernance   | Catégories de conservation <i>in situ</i> (forestière)  | Types de conservation <i>in situ</i> : catégories et description   |
|---|---|--|
| <b>A) Aires fédérales de conservation <i>in situ</i></b>        |   |  |
| Environnement Canada–<br>Service canadien de la faune (fédéral) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sanctuaires d’oiseaux migrateurs</li> <li>• Réserves nationales de la faune</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Refuges d’oiseaux migrateurs : toute zone sur des terres privées ou publiques répondant à l’un des quatre critères suivants : 1) abrite des populations d’oiseaux qui se concentrent pendant une partie de l’année pour répondre à leurs besoins d’alimentation et/ou de reproduction; 2) est vulnérable à des menaces propres à la zone; 3) abrite des populations qui occupent des habitats ou des zones géographiques restreintes vulnérables aux perturbations humaines; ou 4) abrite régulièrement au moins 1 % d’une population d’une espèce ou d’une sous-espèce<sup>1</sup>. Il peut s’agir de zones forestières.</li> <li>• Réserves nationales de la faune : terres relativement peu perturbées contenant des écosystèmes aquatiques et/ou terrestres d’importance nationale nécessaires à l’habitat de plantes et d’animaux. Ces zones sont créées à des fins de conservation ainsi qu’à des fins scientifiques et de recherche sur la faune<sup>2</sup>.</li> </ul> |
| Peuples autochtones (fédéral)                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Refuges fauniques, aires protégées</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les refuges fauniques peuvent inclure des terres mises de côté en tant qu’aires protégées à la demande des peuples autochtones lors de négociations de revendications territoriales avec le gouvernement du Canada. Le Ddhw Ghro (anciennement le refuge faunique de McArthur) a, par exemple, été mis de côté comme aire de protection de l’habitat à la demande des Premières nations Tutchonis du Nord au Yukon, lors des négociations sur les revendications territoriales dans le cadre de l’accord définitif des Premières nations de Selkirk<sup>3</sup>.</li> </ul>   |
| Parcs Canada (fédéral)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcs nationaux</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les parcs nationaux sont créés pour protéger des exemples de paysages et de phénomènes naturels. Les parcs nationaux protègent la diversité des habitats, des espèces</li> </ul>  |

- 
- Réserves de parcs nationaux sauvages et des écosystèmes représentatifs de régions naturelles<sup>4</sup>.
  - Les réserves de parcs nationaux sont mises de côté en tant que parcs nationaux, en attendant le règlement de toute revendication territoriale autochtone en suspens. Pendant cette période intérimaire, la *Loi sur les parcs nationaux* s'applique, tout en autorisant les activités traditionnelles de chasse, de pêche et de piégeage des peuples autochtones. Les autochtones locaux peuvent participer à la gestion des réserves<sup>5</sup>.

## B) Zones de conservation *in situ* de compétences

- |                                  |  |  |
|----------------------------------|--|--|
| Parcs de la Colombie-Britannique | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réserves écologiques</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réserves écologiques sont établies pour la conservation d'exemples représentatifs d'écosystèmes de la Colombie-Britannique; la protection de plantes et d'animaux rares et menacés dans leur habitat naturel; la conservation de phénomènes botaniques, zoologiques ou géologiques uniques, rares ou exceptionnels; la perpétuation de ressources génétiques importantes; la recherche scientifique et les utilisations éducatives associées à l'environnement naturel<sup>6</sup>.</li> </ul>  |
|                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terres protégées</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les terres protégées sont des zones visant à conserver et à aménager des habitats essentiels au profit d'espèces de poissons et d'animaux sauvages d'importance régionale, nationale et internationale. Les principaux objectifs comprennent la conservation ou la gestion de l'habitat pour : des espèces sensibles, vulnérables ou en danger; des phases critiques du cycle de vie d'espèces, telles que le frai, l'élevage, la nidification ou l'alimentation hivernale; les voies de migration importantes d'espèces ou autres couloirs de déplacement; les zones de productivité ou de diversité très élevée d'espèces. Les terres protégées offrent souvent en même temps au public toute une série de possibilités liées à la faune, telles que la randonnée, la chasse et la pêche, l'observation de la faune, la recherche scientifique et les programmes d'interprétation<sup>7</sup>.</li> </ul> |
|                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unités d'aménagement de la faune</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les unités d'aménagement de la faune nécessitent un niveau spécial de protection et de gestion. Les raisons en sont les suivantes : les valeurs de la faune et de l'habitat d'une zone sont d'importance régionale, provinciale ou</li> </ul>   |
-

---

|  |   |   |
|--|---|---|
| Ministère du<br>Tourisme, des<br>parcs et des<br>loisirs de<br>l'Alberta |   | <p>nationale; des zones ou des objectifs de gestion spéciaux pour la faune, les poissons et leurs habitats ont été relevés dans un plan stratégique d'aménagement du territoire local ou régional; il est nécessaire de conserver ou de gérer des espèces et des habitats importants tout en autorisant certains types d'activités ou d'aménagements; une désignation standard d'« aire protégée » n'est pas une option disponible ou est jugée trop restrictive; une zone tampon ou un lien vers une aire centrale protégée est souhaitable<sup>8</sup>.</p>   |
|  | • Parcs   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les parcs sont choisis pour un large éventail d'activités et d'utilisations, dont beaucoup sont associées à des activités récréatives<sup>9</sup>.</li> </ul>  |
|  | • Réserves écologiques  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réserves écologiques sont conservées à des fins écologiques et sont représentatives d'écosystèmes naturels de l'Alberta contenant des plantes ou des animaux indigènes rares ou en voie de disparition ou des zones présentant des exemples uniques de caractéristiques biologiques ou physiques naturelles<sup>10</sup>.</li> </ul>   |
|  | • Parcs provinciaux   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les parcs provinciaux sont désignés pour la conservation du patrimoine naturel de l'Alberta. Ils ont des objectifs multiples, notamment la conservation et la gestion de la flore et de la faune, la conservation de zones spécifiques présentant un intérêt géologique, historique, écologique ou scientifique, la facilitation de leur utilisation et de leur jouissance pour les loisirs de plein air, l'éducation et l'appréciation du patrimoine naturel de l'Alberta, et la garantie de leur protection durable au profit des générations actuelles et futures<sup>11</sup></li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zones récréatives provinciales</li> <li>• Zones naturelle</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les zones récréatives provinciales sont désignées afin de faciliter leur utilisation et leur jouissance pour les loisirs de plein air par les générations actuelles et futures<sup>10</sup>.</li> <li>• Les zones naturelles sont mises de côté pour protéger des terres publiques sensibles ou pittoresques ou les caractéristiques naturelles de terres publiques contre des perturbations; pour maintenir un état naturel à l'usage du public à des fins de conservation, d'appréciation de la nature, de loisirs de plein air de faible intensité, d'éducation ou de toute combinaison de ces objectifs<sup>10</sup>.</li> <li>• Les parcours patrimoniaux contiennent des paysages naturels, des caractéristiques et des processus écologiques</li> </ul> |

---



---

|   |  |   |
|---|--|---|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcours patrimoniaux</li> <li>• Zones de nature sauvage</li> <li>• Parcs Wildland</li> </ul>   | <p>associés aux parcours de l'Alberta et sont désignés comme tels pour assurer leur conservation et leur protection en utilisant le pâturage afin de maintenir l'écologie des prairies<sup>10</sup>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les zones de nature sauvage font partie des zones les plus strictement protégées au Canada; aucun développement d'aucune sorte n'y est autorisé. Les déplacements dans les zones de nature sauvage se font uniquement à pied. La collecte, la destruction et l'enlèvement de matériel végétal et animal, et d'autres objets d'intérêt géologique, ethnologique, historique et scientifique, y sont interdits. La chasse, la pêche et l'utilisation de chevaux ne sont pas autorisées dans les zones de nature sauvage<sup>10</sup>.</li> <li>• Les parcs Wildland sont de vastes paysages naturels non développés. Des sentiers et des campements primitifs dans l'arrière-pays peuvent y être aménagés, afin de minimiser l'incidence des visiteurs sur les valeurs du patrimoine naturel. Des sentiers désignés pour les véhicules hors route sont aménagés dans certains parcs Wildland. La chasse est autorisée dans certains parcs Wildland<sup>10</sup>.</li> </ul> |
| <p>Tourisme, Parcs, Culture et Sport de la Saskatchewan</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réserves écologiques</li> <li>• Réserves de chasse</li> <li>• Aires protégées</li> <li>• Parcs de conservation du milieu naturel</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réserves écologiques soutiennent ou sont associées à des parties uniques ou représentatives de l'environnement naturel, y compris l'eau, la terre, les plantes, la faune et les personnes, dans le but de conserver des aires naturelles, afin de protéger les ressources génétiques et de fournir des zones destinées à la recherche scientifique dans un cadre naturel<sup>12</sup>.</li> <li>• Les réserves de chasse sont établies pour protéger, propager, gérer, contrôler, réguler ou améliorer la faune et son habitat dans le but de conserver et de gérer une population de faune et son habitat; elles peuvent inclure des zones forestières<sup>12</sup>.</li> <li>• Les aires protégées offrent une protection maximale aux ressources importantes, rares ou fragiles<sup>12</sup>.</li> <li>• Les parcs de conservation du milieu naturel sont de grandes étendues naturelles qui protègent les paysages représentatifs et uniques de la Saskatchewan, dans le but de protéger le paysage et d'offrir au public des possibilités récréatives appropriées<sup>12</sup>.</li> </ul>  |

---

---

|                       |  |   |
|-----------------------|--|---|
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcs sauvages</li> <li>• Terres du fonds de développement de la faune</li> <li>• Terres de protection de l'habitat faunique</li> <li>• Réserves de la faune</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les parcs sauvages sont de vastes zones reculées conservées où les loisirs de faible intensité et non mécanisés dans la nature sont autorisés. L'objectif est de protéger des zones représentatives des principales écorégions de la Saskatchewan<sup>12</sup>.</li> <li>• Les terres du Fonds de développement de la faune sont conservées pour améliorer l'habitat essentiel du gibier et d'espèces menacées, en vue de protéger ou de restaurer l'habitat de la faune dans des zones agricoles et forestières<sup>12</sup>.</li> <li>• Les terres de protection de l'habitat faunique sont des terres publiques provinciales désignées à usage multiple qui fournissent un habitat saisonnier ou à l'année essentiel à la survie de la faune, y compris des espèces rares et en voie de disparition; elles sont principalement situées dans des régions agricoles et forestières périphériques de la Saskatchewan<sup>12</sup>.</li> <li>• Les réserves de la faune sont désignées aux fins de protection, de propagation, de perpétuation, de gestion, de contrôle, de réglementation et/ou d'amélioration de la faune et de son habitat; elles comprennent des zones forestières<sup>12</sup>.</li> </ul> |
| Conservation Manitoba | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réserves écologiques</li> <li>• Aires protégées</li> <li>• Parcs provinciaux</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réserves écologiques comprennent des habitats rares ou sensibles mis de côté en imposant des restrictions sur les utilisations et les activités, afin que les caractéristiques de la région naturelle perdurent pour les générations futures<sup>13</sup>.</li> <li>• Dans les aires protégées, sont interdites, par des moyens légaux, l'exploitation forestière, l'exploitation minière (y compris l'extraction d'agrégats) et l'exploitation pétrolière, de gaz naturel ou hydroélectrique. Les aires protégées faisant l'objet de ce niveau minimum de protection doivent rester ouvertes à des activités telles que la chasse, le piégeage ou la pêche<sup>13</sup>.</li> <li>• Les parcs provinciaux peuvent être des aires protégées, mais ne le sont pas nécessairement; ils sont classés comme suit : 1. Parc sauvage : préserve des zones qui représentent les secteurs d'une région naturelle (aire protégée); 2) Parc naturel : accueille une diversité d'utilisations récréatives (peut-être protégé); 3) Parc de loisirs : offre des</li> </ul>  |

---

---

|                                       |  |   |
|---------------------------------------|--|---|
|                                       |  | possibilités de loisirs (non protégé); 4) Parc patrimonial : contient des ressources de valeur culturelle ou patrimoniale (peut être protégé).  |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réserves publiques</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réserves publiques conservent les caractéristiques naturelles (biologiques et géologiques) uniques et rares de la province et des exemples d'écosystèmes naturels et modifiés. Ils sont mis en réserve pour la conservation de l'écosystème et de la biodiversité, la recherche, l'éducation et l'étude de la nature <sup>13</sup></li> </ul>  |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unités d'aménagement de la faune</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les unités d'aménagement de la faune sont désignées pour mieux gérer, conserver et améliorer les ressources fauniques de la province. La chasse et le piégeage y sont généralement autorisés, mais peuvent être interdits ou limités dans certaines zones<sup>14</sup>.</li> </ul>   |
| Parcs et zones protégées de l'Ontario | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcs provinciaux</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les parcs provinciaux sont représentatifs des écosystèmes, de la biodiversité et des éléments naturels d'importance provinciale de l'Ontario. Ils offrent des possibilités de loisirs de plein air écologiquement durables et des occasions pour les visiteurs d'accroître leurs connaissances et leur appréciation du patrimoine naturel et culturel de l'Ontario; ils facilitent la recherche scientifique et fournissent des points de référence pour appuyer la surveillance des changements écologiques dans le paysage plus vaste<sup>15</sup>.</li> </ul> |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réserves de conservation, réserves de conservation du milieu naturel</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réserves de conservation sont semblables aux parcs provinciaux de l'Ontario, mais elles offrent également des possibilités d'utilisation écologiquement durable des terres, y compris des activités patrimoniales traditionnelles de plein air et des avantages connexes<sup>15</sup>.</li> </ul>  |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Régions sauvages</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les régions sauvages sont mises de côté pour être conservées dans leur état naturel, afin de protéger la flore et la faune<sup>16</sup>.</li> </ul>  |

---

---

|  |  |  |
|--|--|--|
| Faune Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcs nationaux, réserves de parcs nationaux, Réserves de faune et de biodiversité, réserves écologiques à titre d'exemple</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les aires protégées sont dédiées à la protection et au maintien de la diversité biologique ainsi que des ressources naturelles et culturelles associées; elles sont gérées par des moyens légaux ou d'autres moyens efficaces. À noter, les types de terres qui relèvent des aires protégées du Québec comprennent l'écosystème forestier exceptionnel, l'habitat faunique, les habitats d'espèces végétales menacées, les parcs nationaux et les réserves de parcs nationaux du Québec, les réserves de faune et de biodiversité et les réserves écologiques<sup>17</sup>.</li> </ul>  |
| Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zones naturelles protégées, parcs provinciaux</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les zones naturelles protégées (ZNP) sont des zones mises de côté de façon permanente aux fins de conservation de la diversité biologique<sup>18</sup>. Les ZNP de classe I nécessitent une protection complète, car elles comprennent des caractéristiques écologiquement sensibles qui pourraient être endommagées par l'activité humaine. Toutes les activités y sont interdites, sauf sur autorisation du ministre à des fins éducatives et scientifiques<sup>18</sup>. Les ZNP de classe II comprennent des écosystèmes représentatifs du paysage du Nouveau-Brunswick ou qui sont importants ou rares sur le plan écologique. Certaines utilisations récréatives ayant un impact minimal sur l'environnement et les activités traditionnelles de collecte de nourriture y sont autorisées, mais les utilisations et le développement industriels, commerciaux et agricoles y sont interdits. Les activités éducatives et scientifiques nécessitent un permis<sup>18</sup>.</li> </ul> |
| Ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réserves naturelles</li> <li>• Zones de nature sauvage</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réserves naturelles sont choisies pour conserver et protéger, à perpétuité, des écosystèmes naturels, des espèces végétales et animales, des caractéristiques et des processus naturels représentatifs et spéciaux. La recherche scientifique et l'éducation en sont les principales utilisations; les loisirs y étant généralement restreints<sup>19</sup>.</li> <li>• Les zones de nature sauvage sont représentatives des paysages naturels, de la diversité biologique indigène et des caractéristiques naturelles uniques de la Nouvelle-Écosse; elles sont utilisées pour la recherche scientifique,</li> </ul>   |

---

---

l'éducation, les loisirs et les activités liées au tourisme de nature<sup>19</sup>.

|   |   |  |
|---|---|--|
| Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la foresterie de l'Île-du-Prince-Édouard | <ul style="list-style-type: none"><li>• Zones de conservation</li><li>• Zones de gestion de la faune</li><li>• Aires naturelles</li><li>• Parcs provinciaux</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Les zones de conservation sont établies pour conserver des objets animés ou inanimés présentant un intérêt esthétique, éducatif ou scientifique, ou pour conserver des combinaisons inhabituelles d'éléments de l'environnement naturel présentant un intérêt éducatif, historique ou scientifique<sup>20</sup>.</li><li>• Une zone de gestion de la faune est maintenue aux fins de protection, de gestion et de conservation de la faune et de son habitat. <sup>21, 22</sup>.</li><li>• Les aires naturelles contiennent des écosystèmes naturels ou constituent l'habitat d'espèces végétales ou animales rares, menacées ou peu communes<sup>21, 22</sup>.</li><li>• Les parcs provinciaux sont responsables du maintien et de la restauration de l'intégrité écologique de l'aire. <sup>21, 22</sup>.</li></ul>  |
| Ministère de l'Environnement et de la Conservation de Terre-Neuve-et-Labrador             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Réserves écologiques</li><li>• Parcs provinciaux</li><li>• Réserves de faune</li><li>• Réserves sauvages</li></ul>            | <ul style="list-style-type: none"><li>• Les réserves écologiques représentent des zones de moins de 1000 km<sup>2</sup> visant à protéger des écosystèmes représentatifs ou des plantes et des animaux uniques, rares ou en voie de disparition, ou d'autres éléments du patrimoine naturel de Terre-Neuve-et-Labrador<sup>23</sup>.</li><li>• Les parcs provinciaux sont créés pour protéger les zones représentatives des différentes écorégions de la province<sup>23</sup>.</li><li>• Les réserves de faune sont créées pour protéger l'habitat d'espèces sauvages particulières<sup>23</sup>.</li><li>• Les réserves sauvages sont des zones de plus de 1000 km<sup>2</sup> visant à protéger les caractéristiques naturelles et les paysages importants et à offrir des possibilités de loisirs de plein air à faible incidence. <sup>23</sup></li></ul> |
| Ministère de l'Environnement du Yukon   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Catégories multiples</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Les zones de gestion spéciale peuvent être des parcs, des aires de protection de l'habitat, des réserves de la faune ou d'autres types de zones<sup>24</sup>. Les aires de protection de l'habitat sont déterminées comme nécessitant une</li></ul>  |

---

---

protection spéciale en vertu de la *Loi sur la faune* du Yukon<sup>25</sup>.

|   |  |   |
|---|--|---|
| Ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles des Territoires du Nord-Ouest | <ul style="list-style-type: none"><li>• Aires protégées</li><li>• Parcs territoriaux</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Les aires protégées sont dédiées à la protection et au maintien de la diversité biologique ainsi que des ressources naturelles et culturelles associées; elles sont gérées par des moyens légaux ou d'autres moyens efficaces.</li><li>• Les parcs territoriaux sont répartis dans les catégories suivantes : <sup>26</sup><ul style="list-style-type: none"><li>○ Parcs du patrimoine : parcs ayant une signification historique.</li><li>○ Parcs de conservation du milieu naturel : en vue de conserver et protéger des zones naturelles uniques, représentatives ou esthétiquement significatives</li><li>○ Parcs récréatifs : encouragent l'appréciation de l'environnement naturel ou proposent des activités récréatives (y compris des terrains de camping).</li><li>○ Parcs routiers : sont destinés à l'agrément ou à la commodité des voyageurs.</li></ul></li></ul> |
|---|--|---|

### **C. Zones de conservation *in situ* d'organisations non gouvernementales**

|                 |   |  |
|-----------------|---|--|
| Ducks Unlimited | <ul style="list-style-type: none"><li>• Aires de conservation de terres humides</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Le programme de conservation de la forêt boréale de DUC permet de protéger les zones humides de la forêt boréale canadienne en combinant un développement durable axé sur les écosystèmes, qui fait appel à des pratiques de gestion exemplaires de pointe, et en favorisant l'établissement d'un important réseau de vastes aires protégées interconnectées riches en terres humides<sup>27</sup>. DUC s'associe à de multiples intervenants, dont les gouvernements fédéral et provinciaux, l'industrie (p. ex., Weyerhaeuser), les peuples autochtones, les établissements d'enseignement, les fondations et les organismes de conservation, afin de contribuer à l'établissement d'un réseau national de protection de la forêt boréale composé de vastes aires protégées riches en terres humides<sup>28</sup>.</li></ul> |
|-----------------|---|--|

---

---

|  |  |   |
|--|--|---|
| Island Nature Trust, Île-du-Prince-Édouard | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Catégories multiples</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'Island Nature Trust est le premier organisme privé provincial de protection de la nature au Canada<sup>29</sup>. Il s'agit d'une organisation non gouvernementale, à but non lucratif qui se consacre à la protection et à la gestion des zones naturelles de l'Île-du-Prince-Édouard. Les terres acquises sont détenues en fiducie et gérées pour les générations futures en tant qu'exemples d'utilisation appropriée et durable. Son programme Trees in Trust permet aux donateurs de payer pour une partie de forêt cartographiée qui portera ensuite leur nom<sup>30,31</sup>.</li> </ul>   |
| Conservation de la nature Canada           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Catégories multiples</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservation de la nature Canada (CNC) protège les zones de diversité naturelle pour leur valeur intrinsèque et au bénéfice de nos enfants et de ceux qui les suivront<sup>32</sup>. CNC détermine, planifie et exécute la protection d'espaces naturels, les gère et les restaure à long terme. Ce processus permet de s'assurer que ses actions en matière de conservation (comme l'achat de terres, l'élimination de mauvaises herbes invasives, la cartographie de l'emplacement d'espèces rares) sont efficaces et efficaces<sup>33</sup>. Cela est rendu possible de la façon suivante :           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Entente de conservation : une entente volontaire et légale entre un propriétaire foncier et une organisation de conservation qui limite de façon permanente les utilisations de la terre, afin de protéger ses valeurs de conservation<sup>34</sup>.</li> <li>○ Programme de dons écologiques : de nombreux dons de terrains et de servitudes à CNC sont traités dans le cadre du programme fédéral de dons écologiques administré par Environnement Canada. Le terrain doit être certifié écosensible par le ministre de l'Environnement<sup>35</sup>.</li> <li>○ Dons en capital : les donateurs reçoivent un reçu fiscal pour la valeur estimée du terrain ou de l'entente de conservation<sup>36</sup>.</li> <li>○ Don de terrains comme actifs : à l'occasion, CNC peut recevoir un don de terres ayant une valeur écologique minime uniquement comme actif à vendre; le produit de la vente étant investi dans des projets présentant des besoins de conservation plus prioritaires<sup>36</sup>.</li> </ul> </li> </ul> |

---

---

|  |                        |  |
|--|------------------------|--|
| Fondation pour la protection des sites naturels du Nouveau-Brunswick | • Catégories multiples | • Établie en tant que fiducie foncière provinciale du Nouveau-Brunswick en 1987, la Fondation pour la protection des sites naturels du Nouveau-Brunswick relève, promeut, protège et maintient diverses zones d'importance écologique dans la province. <sup>37, 38</sup>  |
| Ontario Nature   | • Catégories multiples | • Ontario Nature protège les espèces et les espaces sauvages aux fins de conservation, d'éducation et d'engagement du public. Les propriétaires fonciers de l'Ontario peuvent contribuer à la conservation de l'intégrité écologique des espaces naturels par un certain nombre de moyens, afin qu'ils soient inclus dans le système de réserves naturelles d'Ontario Nature. <sup>39, 40.</sup> |

### Industrie forestière

|                   |                              |   |
|-------------------|------------------------------|---|
| J.D. Irving, Ltd. | • Programme de zones uniques | • J.D. Irving, Ltd. (JDI) a établi des aires de protection de l'habitat, y compris des forêts anciennes, sur ses terres franches depuis les années 1980. À ce jour, 715 zones uniques ont été mises de côté pour être protégées, représentant un total de 77 000 ha <sup>41</sup> . JDI veille à ce que les zones d'importance écologique demeurent saines et dynamiques grâce à la conservation de l'habitat, à des initiatives écologiques, à des politiques rigoureuses, à des projets d'éducation environnementale et à des recherches scientifiques approfondies <sup>42</sup> |
|-------------------|------------------------------|---|

---

1. Environnement Canada. 2010. 2. Environnement Canada. 2010b. 3. Premières nations de Selkirk, 2012. 4. Parcs Canada. 2010. 5. Parcs Canada. 2009. 6. Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique. 2010c. 7. Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique. 2010b. 8. Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique. 2010e. 9. Parcs de la Colombie-Britannique. 2012. 10. Gouvernement de l'Alberta. 2009. 11. Gouvernement de l'Alberta. 2010. 12. Tourisme, Parcs, Culture et Sport de la Saskatchewan. 2010. 13. Manitoba Wildlands. 2008. 14. Gouvernement du Manitoba. 2010. 15. Parcs Ontario. 2009. 16. Service Ontario. 2006. 17. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 201. 18. Gouvernement du Nouveau-Brunswick. 2003. 19. Gouvernement de la Nouvelle-Écosse. 2010. 20. Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard. 2010c. 21. Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard. 2010a. 22. Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard. 2010b. 23. Ministère de l'Environnement et de la Conservation de Terre-Neuve. 2006. 24. Environnement Yukon. 2010b. 25. Environnement Yukon. 2010a. 26. Ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles des Territoires du Nord-Ouest. 2010. 27. Ducks Unlimited Canada. 2012a. 28. Ducks Unlimited Canada. 2012b. 29. Island Nature Trust. 2012b. 30. Island Nature Trust. 2007 à 2009. 31. Island Nature Trust.



2012a. *Donate*. 32. Conservation de la nature Canada. 2012a. 33. Conservation de la nature Canada. 2012d. 24. Conservation de la nature Canada. 2012c. 25. Conservation de la nature Canada. 2012e. 36. Conservation de la nature Canada. 2012b. 37. Fondation pour la protection des sites naturels du Nouveau-Brunswick. 2012b. 38. Fondation pour la protection des sites naturels du Nouveau-Brunswick. 2012a. 39. Ontario Nature 2011a. 40 Ontario Nature. 2011b. 41. J.D. Irving, Limited. 2012b. 42. J.D. Irving, Limited. 2012a.

## **6.2. Approches pour la conservation *in situ* des ressources génétiques forestières**

Des analyses des lacunes ont été effectuées dans plusieurs compétences pour examiner le caractère adéquat de la conservation *in situ* des RGF dans les aires protégées. En Colombie-Britannique, la plupart des RGF d'espèces d'arbres sont jugées adéquatement protégées dans la plupart des unités biogéoclimatiques où elles se trouvent (Chourmouzi et coll., 2009). Une question à laquelle est confrontée la communauté de la conservation en ce qui concerne la suffisance de la conservation *in situ* est de savoir si les populations actuellement protégées sont susceptibles de maintenir leur aptitude dans les scénarios climatiques futurs prévus. La Colombie-Britannique fournit un exemple d'examen détaillé de cette question et, bien que les travaux aient été réalisés il y a près de 10 ans, les résultats sont pertinents pour les efforts de conservation *in situ* dans l'ensemble du pays. Hamann et Aitken (2013) se sont servis de projections des changements climatiques pour estimer l'adéquation future de la protection *in situ* des ressources génétiques des arbres (tableau 6.2). En suivant les hypothèses de délimitation des zones de semences afin de refléter les habitats adaptés localement, comme le décrivent Hamann et coll. (2005), et en utilisant des projections de températures et de précipitations annuelles approximativement médianes, Hamann et Aitken ont supposé que l'habitat était susceptible d'être approprié à différents moments dans le temps, si les zones protégées continuent à fournir des réserves sûres en fonction des changements climatiques projetés. Les auteurs ont projeté la disponibilité de l'habitat dans le cadre de quatre scénarios biologiques : ni migration des arbres ni adaptation, migration uniquement, adaptation uniquement, migration et adaptation. Le degré de migration ou d'adaptation attendu est propre à chaque espèce et dépend de la variation génétique disponible ainsi que des caractéristiques du cycle de vie, telles que la spécificité de l'habitat. Lorsque l'on suppose à la fois la migration et l'adaptation, on estime qu'environ 85 % des populations actuellement protégées seront maintenues d'ici 2080. À l'inverse, dans le scénario le plus pessimiste d'absence de migration et d'adaptation, le modèle prévoyait que seulement 35 % des populations persisteraient jusqu'en 2080.

Des analyses d'écart similaires du statut de protection actuel et selon les projections des changements climatiques ont été réalisées en Alberta, où Krakowski (2017) a constaté que la protection était adéquate dans les plus grandes écorégions (représentant 65 % de la superficie de la province), mais insuffisante pour au moins certaines espèces des écorégions plus réduites.

Tableau 6.2 Nombre d'aires protégées maintenant une quantité suffisante d'habitats adaptés (superficie × fréquence attendue des espèces ≥ 10 ha) dans le cadre de quatre scénarios d'adaptation et de migration (d'après Hamann et Aitken, 2013).

| Espèce                            | Actuelle | Ni adaptation ni migration |      |      | Migration seulement |      |      | Adaptation seulement |      |      | Adaptation et migration |      |      |
|-----------------------------------|----------|----------------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|------|------|-------------------------|------|------|
|                                   |          | 2020                       | 2050 | 2080 | 2020                | 2050 | 2080 | 2020                 | 2050 | 2080 | 2020                    | 2050 | 2080 |
| <i>Abies amabilis</i>             | 149      | 129                        | 113  | 80   | 152                 | 136  | 98   | 131                  | 117  | 96   | 154                     | 143  | 109  |
| <i>Abies grandis</i>              | 20       | 21                         | 21   | 13   | 32                  | 51   | 75   | 23                   | 26   | 25   | 34                      | 55   | 87   |
| <i>Abies lasiocarpa</i>           | 295      | 187                        | 103  | 65   | 199                 | 133  | 83   | 260                  | 217  | 171  | 266                     | 233  | 181  |
| <i>Acer circinatum</i>            | 55       | 47                         | 51   | 54   | 64                  | 75   | 85   | 47                   | 51   | 55   | 65                      | 76   | 89   |
| <i>Acer glabrum</i>               | 102      | 95                         | 74   | 73   | 119                 | 104  | 101  | 112                  | 123  | 126  | 132                     | 143  | 149  |
| <i>Acer macrophyllum</i>          | 55       | 65                         | 67   | 64   | 76                  | 86   | 93   | 74                   | 81   | 95   | 86                      | 101  | 125  |
| <i>Alnus tenuifolia</i>           | 164      | 86                         | 37   | 21   | 115                 | 67   | 53   | 153                  | 140  | 107  | 175                     | 159  | 126  |
| <i>Alnus rubra</i>                | 126      | 129                        | 127  | 127  | 133                 | 137  | 133  | 137                  | 146  | 164  | 142                     | 157  | 172  |
| <i>Alnus viridis</i>              | 253      | 146                        | 70   | 32   | 165                 | 107  | 76   | 234                  | 195  | 145  | 244                     | 206  | 159  |
| <i>Arbutus menziesii</i>          | 2        | 1                          | 1    | 1    | 2                   | 4    | 5    | 3                    | 4    | 5    | 3                       | 7    | 11   |
| <i>Betula occidentalis</i>        | 16       | 10                         | 7    | 3    | 22                  | 28   | 28   | 14                   | 17   | 7    | 26                      | 38   | 34   |
| <i>Betula papyrifera</i>          | 154      | 127                        | 97   | 94   | 140                 | 124  | 130  | 180                  | 192  | 190  | 191                     | 209  | 216  |
| <i>Chamaecyparis nootkatensis</i> | 111      | 96                         | 75   | 40   | 109                 | 91   | 55   | 101                  | 83   | 53   | 113                     | 97   | 63   |
| <i>Cornus nuttallii</i>           | 14       | 12                         | 12   | 11   | 22                  | 31   | 33   | 15                   | 19   | 25   | 24                      | 37   | 46   |
| <i>Corylus cornuta</i>            | 35       | 37                         | 28   | 28   | 64                  | 63   | 65   | 39                   | 39   | 40   | 67                      | 70   | 74   |
| <i>Juniperus scopulorum</i>       | 15       | 8                          | 8    | 2    | 13                  | 12   | 10   | 10                   | 11   | 5    | 17                      | 16   | 16   |
| <i>Larix laricina</i>             | 33       | 0                          | 0    | 0    | 8                   | 10   | 9    | 33                   | 23   | 6    | 36                      | 30   | 17   |
| <i>Larix lyallii</i>              | 21       | 4                          | 0    | 0    | 6                   | 1    | 0    | 4                    | 0    | 0    | 7                       | 1    | 0    |
| <i>Larix occidentalis</i>         | 39       | 18                         | 11   | 0    | 44                  | 55   | 53   | 29                   | 33   | 26   | 51                      | 70   | 66   |

| Espèce                       | Actuelle | Ni adaptation<br>ni migration |      |      | Migration<br>seulement |      |      | Adaptation<br>seulement |      |      | Adaptation et<br>migration |      |      |
|------------------------------|----------|-------------------------------|------|------|------------------------|------|------|-------------------------|------|------|----------------------------|------|------|
|                              |          | 2020                          | 2050 | 2080 | 2020                   | 2050 | 2080 | 2020                    | 2050 | 2080 | 2020                       | 2050 | 2080 |
| <i>Malus fusca</i>           | 39       | 43                            | 36   | 30   | 47                     | 40   | 39   | 43                      | 41   | 39   | 47                         | 45   | 48   |
| <i>Picea engelmannii</i>     | 191      | 97                            | 76   | 46   | 127                    | 104  | 74   | 166                     | 165  | 135  | 181                        | 177  | 149  |
| <i>Picea glauca</i>          | 169      | 69                            | 13   | 5    | 85                     | 35   | 17   | 142                     | 101  | 61   | 150                        | 111  | 67   |
| <i>Picea mariana</i>         | 138      | 43                            | 7    | 1    | 59                     | 30   | 16   | 117                     | 90   | 57   | 129                        | 100  | 65   |
| <i>Picea sitchensis</i>      | 134      | 125                           | 105  | 85   | 129                    | 117  | 94   | 128                     | 113  | 94   | 134                        | 123  | 101  |
| <i>Pinus albicaulis</i>      | 87       | 40                            | 16   | 4    | 61                     | 38   | 22   | 50                      | 30   | 8    | 67                         | 47   | 25   |
| <i>Pinus contorta</i>        | 375      | 247                           | 162  | 116  | 263                    | 201  | 158  | 354                     | 311  | 263  | 361                        | 331  | 280  |
| <i>Pinus monticola</i>       | 54       | 52                            | 50   | 40   | 75                     | 88   | 82   | 58                      | 64   | 60   | 80                         | 100  | 98   |
| <i>Pinus ponderosa</i>       | 59       | 46                            | 36   | 20   | 60                     | 66   | 62   | 77                      | 90   | 116  | 89                         | 113  | 144  |
| <i>Populus balsamifera</i>   | 212      | 126                           | 88   | 82   | 151                    | 128  | 125  | 205                     | 206  | 218  | 219                        | 230  | 250  |
| <i>Populus tremuloides</i>   | 205      | 107                           | 53   | 31   | 122                    | 78   | 61   | 198                     | 185  | 161  | 204                        | 193  | 176  |
| <i>Prunus emarginata</i>     | 4        | 5                             | 9    | 12   | 10                     | 20   | 39   | 5                       | 9    | 13   | 10                         | 20   | 41   |
| <i>Prunus pensylvanica</i>   | 7        | 5                             | 2    | 0    | 9                      | 4    | 0    | 5                       | 2    | 0    | 9                          | 4    | 0    |
| <i>Prunus virginiana</i>     | 19       | 9                             | 6    | 7    | 16                     | 14   | 26   | 17                      | 27   | 42   | 24                         | 37   | 58   |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 385      | 342                           | 295  | 263  | 379                    | 330  | 296  | 412                     | 421  | 413  | 450                        | 455  | 439  |
| <i>Quercus garryana</i>      | 10       | 9                             | 9    | 9    | 10                     | 10   | 10   | 9                       | 9    | 9    | 10                         | 10   | 10   |
| <i>Fragula purshiana</i>     | 5        | 6                             | 8    | 8    | 13                     | 20   | 24   | 6                       | 11   | 15   | 13                         | 23   | 31   |

| Espèce                    | Actuelle | Ni adaptation ni migration |      |      | Migration seulement |      |      | Adaptation seulement |      |      | Adaptation et migration |      |      |
|---------------------------|----------|----------------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|------|------|-------------------------|------|------|
|                           |          | 2020                       | 2050 | 2080 | 2020                | 2050 | 2080 | 2020                 | 2050 | 2080 | 2020                    | 2050 | 2080 |
| <i>Salix bebbiana</i>     | 72       | 27                         | 6    | 8    | 40                  | 21   | 20   | 56                   | 53   | 44   | 70                      | 63   | 56   |
| <i>Salix discolor</i>     | 7        | 0                          | 0    | 0    | 5                   | 3    | 1    | 5                    | 1    | 0    | 9                       | 4    | 1    |
| <i>Salix lucida</i>       | 43       | 17                         | 12   | 12   | 30                  | 29   | 28   | 26                   | 14   | 20   | 40                      | 30   | 35   |
| <i>Salix scouleriana</i>  | 93       | 37                         | 11   | 6    | 54                  | 37   | 29   | 80                   | 76   | 48   | 90                      | 88   | 67   |
| <i>Salix sitchensis</i>   | 92       | 65                         | 48   | 46   | 87                  | 79   | 74   | 80                   | 63   | 62   | 102                     | 90   | 85   |
| <i>Taxus brevifolia</i>   | 76       | 72                         | 70   | 55   | 93                  | 102  | 93   | 74                   | 76   | 64   | 96                      | 109  | 105  |
| <i>Thuja plicata</i>      | 344      | 300                        | 277  | 246  | 320                 | 297  | 260  | 351                  | 346  | 333  | 364                     | 363  | 349  |
| <i>Tsuga heterophylla</i> | 345      | 302                        | 280  | 241  | 313                 | 288  | 253  | 317                  | 303  | 285  | 328                     | 315  | 296  |
| <i>Tsuga mertensiana</i>  | 138      | 110                        | 67   | 34   | 122                 | 87   | 60   | 115                  | 87   | 56   | 128                     | 103  | 72   |

### *Programmes officiels de conservation in situ de la diversité génétique forestière au Canada*

#### *Alberta et Ontario*

L'Alberta dispose d'une stratégie de conservation génétique *in situ* ayant l'objectif suivant (Alberta Agriculture and Forestry, 2018) : contenir au moins 5 000 individus à maturité non apparentés dans chacun de trois sites par sous-région naturelle au cœur de l'aire de répartition de l'espèce et dans jusqu'à trois sites des parties périphériques ou éloignées de l'aire de répartition.

Les objectifs de la stratégie de conservation *in situ* de l'Alberta sont :

- 1) Maintenir la diversité génétique des populations sauvages comme matériel brut de l'évolution
- 2) Maintenir les populations reconnues pour leur valeur génétique exceptionnelle
- 3) Procurer des points de référence génétique pour la diversité génétique et les traits adaptatifs
- 4) Procurer un réservoir de variation génétique pour les études scientifiques, l'éducation et l'amélioration des arbres

Après avoir évalué les emplacements actuels des espèces d'arbres en fonction de leur état de conservation, des réserves de conservation génétique candidates seront relevées pour toutes

les espèces pour lesquelles il existe des lacunes en matière de conservation. La sélection des réserves de conservation sera effectuée dans le but de représenter une gamme de génotypes adaptatifs. Dans les cas où les informations sur la base génétique de l'adaptabilité des traits font défaut, la stratification des habitats en fonction des éléments biophysiques de l'habitat guidera la localisation des réserves.

Aucune aire supplémentaire ne sera désignée pour les espèces abondantes dans toute la sous-région naturelle. Le gouvernement et les groupes industriels participant aux projets d'hybridation sélective des arbres sont également responsables de la conservation génétique.

Les lacunes de conservation *in situ* des espèces dans les sous-régions naturelles de l'Alberta ont été déterminées comme suit (d'après Alberta Agriculture and Forestry, 2018) :

- 1) les cartes de l'aire de répartition des espèces ont été superposées aux zones protégées; pour les aires de répartition des espèces mineures, l'avis d'experts, des relevés de terrain et/ou la modélisation de l'habitat ont été nécessaires, car l'inventaire spatial permettant de générer des cartes d'aires de répartition fiables était souvent limité ou imprécis;
- 2) l'adéquation des sites de conservation existants a été déterminée, en tenant compte de la taille de la zone, du nombre et de la sécurité des réserves en fonction des occurrences connues, de la densité, de la perturbation et d'autres facteurs pertinents;
- 3) des lacunes ont été relevées dans le réseau existant de sites officiels de conservation *in situ*.

Les étapes suivantes sont recommandées pour combler les lacunes de la conservation *in situ* :

- 1) localiser les zones candidates, protéger plusieurs espèces sur un seul site lorsque cela est possible;
- 2) classer les sites candidats par ordre de priorité en considérant d'abord les terres exclues de la zone d'exploitation, comme les aires protégées, les aires protégées candidates s'accompagnant de dispositions relatives aux terres de la Couronne, les zones tampons existantes, les zones inexploitable et les peuplements non commercialisables sur les terres de la Couronne;
- 3) confirmer l'inventaire des espèces cibles dans les zones candidates prioritaires par une vérification sur le terrain;
- 4) combler les lacunes restantes en sélectionnant des sites candidats supplémentaires dans la liste ci-dessus et confirmer la présence de l'espèce cible par une vérification sur le terrain;
- 5) officialiser les zones de conservation génétique en créant des aires protégées ou des dispositions foncières pour la conservation génétique, ou en travaillant avec d'autres organismes ou groupes pour faire correspondre l'orientation et les priorités de l'utilisation des terres, afin de garantir une protection volontaire ou officielle des populations;
- 6) si des dispositions ne peuvent être établies sur tous les sites cibles, l'état de conservation génétique sera tout de même évalué sur la base de la démographie et de la distribution (c.-à-d., si l'espèce est abondante et répandue, mais n'est pas représentée

de manière adéquate dans les aires protégées ou les dispositions de conservation, son état peut tout de même être considéré comme sûr);

- 7) effectuer un suivi tous les 10 à 20 ans afin de vérifier si la zone répond toujours à l'objectif, si elle est toujours nécessaire ou si elle doit être remplacée par une autre zone ou gérée plus activement.

La Forest Gene Conservation Association (FGCA) de l'Ontario fonctionne comme une association indépendante de génétique forestière dans le sud de l'Ontario qui abrite la plus grande diversité d'espèces d'arbres au Canada (Forest Gene Conservation Association, 2018). La FGCA a été créée initialement sous l'égide de l'Ontario Tree Improvement Board, puis a fait partie de Forest Genetics Ontario avant que ce programme ne prenne fin en 2015. La vision de la FGCA est une forêt saine, productive et durable dans tout le sud de l'Ontario urbain et rural, qui comprenne toute l'étendue de la diversité génétique des plantes ligneuses naturelles et qui contribue à l'intégrité des écosystèmes locaux et au bien-être social et économique des générations actuelles et futures d'Ontariens et d'Ontariennes. Sa mission spécifique est de promouvoir largement la conservation des gènes forestiers ainsi que de conseiller et d'aider ses membres et associés à appliquer les principes de gestion des ressources génétiques dans le cadre de leurs programmes de conservation et de gestion des forêts au sein des paysages urbains et ruraux du sud de l'Ontario. Dans le cadre de cette mission, la FGCA s'efforce de soutenir les titulaires de permis d'exploitation forestière durable sur les terres de la Couronne, les autorités de conservation, les municipalités et les propriétaires privés, en leur fournissant des conseils et une assistance en matière de conservation génétique des arbres forestiers.

La FCGA a quatre objectifs pour 2016-2021 liés à la conservation génétique (Forest Gene Conservation Association, 2018) :

- 1) Reforestation biologiquement appropriée : augmenter la qualité et la quantité de semences d'espèces indigènes identifiées à la source.
- 2) Promotion des principes de conservation génétique : faire connaître les programmes de la FGCA aux secteurs de la gestion et de la conservation des forêts.
- 3) Conservation et restauration des espèces : accroître la sensibilisation à la diversité des espèces indigènes et aux menaces qui pèsent sur leur statut et élaborer des programmes de rétablissement.
- 4) Adaptation aux changements climatiques : accroître la sensibilisation et l'utilisation des principes de gestion des ressources génétiques, afin de contribuer à la conservation et à l'amélioration de la résilience des forêts indigènes existantes.

### **6.3. Organisation de la conservation *in situ* des ressources génétiques forestières**

Il n'existe pas d'effort national coordonné en matière de conservation *in situ* des RGF. La conservation des ressources biologiques est la responsabilité de chaque province ou territoire et, en dehors des parcs nationaux et de plusieurs autres désignations fédérales (tableau 6.1), cela inclut la plupart des terres forestières. Les approches et l'orientation de la conservation des RGF varient, par conséquent, selon les compétences dans l'ensemble du pays.

Chaque province et territoire possède une combinaison de zones protégées gérées par le gouvernement et par des organisations non gouvernementales, comme le décrit le tableau 6.1.

Les efforts de conservation des RGF sont organisés différemment dans chaque province, et seuls la Colombie-Britannique, l'Alberta et l'Ontario ont des stratégies en matière de RGF qui incluent la conservation *in situ*.

### *Colombie-Britannique*

En Colombie-Britannique, le comité consultatif technique sur la conservation génétique (GCTAC) du Forest Genetics Council (FGC) a le mandat de :

- 1) fournir des conseils et des recommandations au FGC sur les questions de conservation génétique des arbres forestiers indigènes, y compris les questions de conservation liées aux changements climatiques et à la santé des forêts;
- 2) diriger le développement de la recherche, des mesures, des stratégies et des programmes de conservation génétique;
- 3) fournir une orientation en matière de planification des activités et recommander des budgets de projet au FGC pour les activités financées par le GCTAC;
- 4) examiner les rapports soumis pour les activités financées par le GCTAC.

La Direction de l'amélioration des arbres du ministère des Forêts, des Terres et des Ressources naturelles (FLNRO), le Centre de génétique de la conservation des forêts de l'Université de la Colombie-Britannique et les membres du GCTAC (représentants des gouvernements provincial et fédéral, des universités et de l'industrie) sont responsables de différentes tâches de mise en œuvre du plan stratégique quinquennal.

### *Alberta*

L'Alberta a des plans de conservation génétique *in situ* pour plus de 30 espèces d'arbres indigènes. Le statut et les lacunes sont résumés pour chaque espèce et chaque région. La conservation génétique *in situ* en Alberta est principalement axée sur l'écogéographie lorsque les données génétiques font défaut, en partant du principe que la distribution écotypique est un substitut raisonnable de la distribution des caractères adaptatifs.

#### **6.4. Principaux acteurs et intervenants de la conservation *in situ***

Le tableau 6.1 présente les principaux groupes participant à la création et à la gestion d'aires protégées. En général, ces groupes s'efforcent de représenter et de maintenir les écosystèmes naturels, en mettant moins l'accent sur les espèces et encore moins sur les RGF. Les chercheurs des universités, des gouvernements provinciaux et de Ressources naturelles Canada jouent un rôle important en conseillant les gestionnaires des aires protégées en matière de RGF, sur la base de recherches au niveau des espèces.

#### **6.5. Critères appliqués pour déterminer ou établir de nouvelles unités ou zones *in situ* pour la conservation des ressources génétiques forestières**

En Colombie-Britannique et en Alberta, les sites candidats contiennent une population recensée de l'espèce cible comptant plus de 5000 individus. On considère qu'au moins trois populations par unité écologique fournissent une redondance adéquate aux fins de représentation des espèces malgré les incendies ou d'autres facteurs. En Colombie-Britannique, pour les espèces ne comptant pas de populations continues ou contiguës importantes, les décisions concernant la taille des réserves sont fondées sur la vérification au sol des chiffres des recensements,

l'obtention d'estimations génétiques de la taille effective des populations et de la diversité génétique, ainsi que des schémas géographiques de la diversité génétique (Genetic Conservation Technical Advisory Committee, 2016). En Alberta, on adopte une approche de métapopulation pour les espèces qui ne forment pas d'importantes populations contiguës, selon laquelle le flux génétique est maintenu par une matrice paysagère et la diversité est soutenue par la migration. Lorsque les populations d'arbres sont constituées d'individus dispersés qui en comprennent plusieurs dont la valeur élevée est connue (p. ex., des arbres résistant aux insectes ou aux maladies), ces individus sont inclus si possible (Alberta Agriculture and Forestry, 2018). L'Alberta stipule également que la réserve doit être maintenue pendant au moins 50 ans, afin que tous les arbres aient l'occasion de contribuer à la prochaine génération.

#### **6.6. Besoins, défis et possibilités pour améliorer la conservation *in situ* des ressources génétiques forestières**

En Colombie-Britannique, la conservation *in situ* semble être généralement adéquate dans les conditions actuelles. L'analyse d'aires protégées est en cours de révision par le comité consultatif technique de conservation génétique, afin d'inclure de nouvelles aires protégées. Les nouvelles zones de « planification des semences » sont fondées sur les prévisions relatives aux changements climatiques. Les mesures de conservation devront donc être évaluées au moins tous les dix ans, en fonction de l'évolution des changements climatiques.

Un défi constaté en Alberta, mais probablement partagé par d'autres compétences, est d'assurer la responsabilité et la compréhension de la conservation et de la gestion des RGF *in situ* par différents ministères ou organismes gouvernementaux. L'établissement, par exemple, d'un site et la surveillance ultérieure des RGF sont coûteux et relèvent de la responsabilité des ministères de l'Environnement et des Parcs. En raison de ressources financières limitées et d'une indemnisation faible, voire inexistante, pour le ministère ou l'organisme responsable de la conservation génétique, le résultat courant est actuellement que la conservation des RGF ne fait pas partie des objectifs des aires protégées.

Les ressources humaines et la capacité de gestion des RGF constituent un défi dans toutes les compétences, même si c'est moins le cas en Colombie-Britannique. Des ressources financières sont également nécessaires pour étudier et décrire les ressources génétiques d'espèces ayant une valeur commerciale moindre et pour établir de nouvelles zones de conservation.

#### **6.7. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine**

Un soutien scientifique plus important est nécessaire à plusieurs niveaux de gouvernement et dans l'ensemble du Canada, afin d'acquérir directement des connaissances sur les RGF, plutôt que comme un simple sous-produit de l'amélioration des arbres ou d'autres efforts de recherche. Notamment, l'ensemble des études disponibles sur la diversité génétique citées au chapitre 5 (p. ex., tableaux 5.1 et 5.2) n'abordent généralement pas la diversité génétique à l'échelle de l'aire de répartition de leurs espèces d'arbres cibles et elles ne représentent collectivement qu'un sous-ensemble des espèces d'arbres au Canada. En outre, les études indépendantes varient en termes de conception d'étude, de données moléculaires utilisées, d'approches analytiques, de degré ou de critères d'interprétation et de pratiques d'archivage des données. Néanmoins, plusieurs des études citées ci-dessus, ainsi que la recherche et la



gestion au niveau provincial dans plusieurs compétences examinées aux sections 6.2 et 6.3, illustrent déjà des approches productives en matière de bonne intendance des RGF. Davantage d'engagements de la part des gouvernements au niveau national permettraient d'améliorer la collaboration entre les différentes compétences à ce sujet. Ce processus se trouverait facilité grâce à du financement réservé à cette fin.

### ***Ouvrages cités***

Alberta Agriculture and Forestry. 2018. Gene Conservation Plan for Native Trees of Alberta, second edition. Forest Management Branch, Alberta Agriculture and Forestry. Edmonton, Alberta. 112 pages + viii.

Anon. 2018. Unis avec la nature : une approche renouvelée de la conservation des terres et de l'eau douce au Canada. Un rapport des ministères fédéraux, provinciaux et territoriaux responsables des parcs, des aires protégées, de la conservation, de la faune et de la biodiversité du Canada. 51 pages.

<https://static1.squarespace.com/static/57e007452e69cf9a7af0a033/t/5c6b0c981905f44fe48d3a84/1550519450986/Pathway-Report-Final-FR.pdf>

Chourmouzis, C., A.D. Yanchuk, A. Hamann, P. Smets et S.N. Aitken, 2009. Forest tree genetic conservation status report 1: *In situ* conservation status of all indigenous British Columbia species. Centre for Forest Conservation Genetics. Forest Genetics Council of BC, and BC Min. For. Range, For. Sci. Prog. Victoria, BC Tech. Rep, 53.

Forest Gene Conservation Association. 2018. [www.fgca.net](http://www.fgca.net)

Genetic Conservation Technical Advisory Committee. 2016. Genetic Conservation Technical Advisory Committee (GCTAC) Strategic Plan 2015-2020. Forest Genetics Council of British Columbia. Victoria, BC, Canada. 16 pages.

Gouvernement du Canada. 2020. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/reserves-nationales-faune/base-donnees-aires-protegees-conservation.html>

Hamann, A. et S.N. Aitken, 2013. Conservation planning under climate change: accounting for adaptive potential and migration capacity in species distribution models. *Diversity and Distributions* 19(3) : 268 à 280.

Hamann, A., P. Smets, A.D. Yanchuk et S.N. Aitken, 2005. An ecogeographic framework for *in situ* conservation of forest trees in British Columbia. *Revue canadienne de recherche forestière* 35(11) : 2553 à 2561.

Krakovski, J., 2017. Forest gene conservation programs in Alberta, Canada. Dans : Sniezko, Richard A., Gary Man, Valerie Hipkins, Keith Woeste, David Gwaze, John T. Kliejunas, et Brianna A. McTeague, tech. cords. 2017. Gene conservation of tree species — banking on the future. Compte rendu d'un atelier. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-963. Portland (OR) : US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: pages 170-173. (vol. 963 : 170 à 173).

Ressources naturelles Canada. 2020. Rapport annuel sur l'état des forêts au Canada 2019. Ottawa (Ontario), 77 p.

## Chapitre 7. Conservation *ex-situ* des ressources génétiques forestières

### 7.1. État de la conservation *ex-situ*

Le présent chapitre décrit la situation actuelle de la conservation *ex-situ* des ressources génétiques forestières (RGF) au Canada en 2019, ainsi que les besoins et les priorités pour améliorer le programme. Les renseignements présentés *ex-situ* sont basés sur une enquête réalisée par des experts des compétences suivantes : Alberta, Colombie-Britannique, Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Ontario et Québec. Dans l'enquête pancanadienne contribuant au premier rapport canadien sur les RGF (Canada RGF, 2012), un effort de priorisation des espèces a été déployé pour évaluer la situation de la conservation génétique *ex-situ* pour les 125 espèces d'arbres du Canada. Chaque espèce évaluée s'est vue attribuer une valeur de classement allant de 0 à 3, définie comme suit :

0 : Aucune cause apparente de préoccupation pour l'espèce.

1 : Peut nécessiter une conservation *ex-situ*, mais les connaissances actuelles sont insuffisantes.

2 : Nécessite une conservation *ex-situ*.

3 : Exige des mesures spécifiques de conservation génétique pour garantir l'intégrité du patrimoine génétique indigène.

En 2012, 39 espèces d'arbres (tableau 7.1) ont été classées dans la catégorie 3. Ce chapitre présente des données actualisées sur les espèces associées à la réévaluation de ces 39 espèces.

Tableau 7.1 : Nombre total d'accessions *ex-situ* stockées au niveau national ou infranational pour les espèces de catégorie 3.

| Espèces de catégorie 3                  | Nombre d'accessions infranationales | Nombre d'accessions nationales | Nombre total d'accessions (infranationales/nationales) |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| <i>Aesculus glabra</i>                  | 13                                  | 0                              | 13   |
| <i>Asimina triloba</i>                  | 19                                  | 2                              | 21   |
| <i>Betula lenta</i>                     | 22                                  | 8                              | 30   |
| <i>Betula occidentalis</i>              | 187                                 | 11                             | 198  |
| <i>Carya glabra</i> var. <i>odorata</i> | 16                                  | 0                              | 16   |
| <i>Carya laciniosa</i>                  | 22                                  | 0                              | 22   |
| <i>Castanea dentata</i>                 | 16                                  | 0                              | 16   |
| <i>Cornus florida</i>                   | 28                                  | 4                              | 32   |
| <i>Cornus nuttallii</i>                 | 96                                  | 1                              | 97   |
| <i>Fagus grandifolia</i>                | 20                                  | 1                              | 21   |
| <i>Fraxinus americana</i>               | 28                                  | 793                            | 821  |

| <b>Espèces de catégorie 3</b>                      | <b>Nombre d'accessions infranationales</b> | <b>Nombre d'accessions nationales</b> | <b>Nombre total d'accessions (infranationales/nationales)</b> |
|--|--|---------------------------------------|---|
| <i>Fraxinus nigra</i>                              | 13   | 812                                   | 825   |
| <i>Fraxinus pennsylvanica</i>                      | 18   | 677                                   | 695   |
| <i>Fraxinus profunda</i>                           | 5  | 1                                     | 6   |
| <i>Fraxinus quadrangulata</i>                      | 25   | 37                                    | 62  |
| <i>Gleditsia triacanthos</i>                       | 34   | 1                                     | 35  |
| <i>Gymnocladus dioica</i>                          | 56   | 5                                     | 61  |
| <i>Juglans cinerea</i>                             | 140  | 329                                   | 469   |
| <i>Juniperus maritima</i>                          | 51   | 0                                     | 51  |
| <i>Liriodendron tulipifera</i>                     | 33   | 16                                    | 49  |
| <i>Magnolia acuminata</i>                          | 26   | 16                                    | 42  |
| <i>Morus rubra</i>                                 | 17   | 0                                     | 17  |
| <i>Nyssa sylvatica</i>                             | 15   | 2                                     | 17  |
| <i>Pinus albicaulis</i>                            | 1423                                       | 62                                    | 1485  |
| <i>Pinus flexilis</i>                              | 586  | 108                                   | 694   |
| <i>Pinus monticola</i>                             | 161  | 9                                     | 170   |
| <i>Pinus rigida</i>                                | 13   | 29                                    | 42  |
| <i>Pinus strobus</i>                               | 2187                                       | 334                                   | 2521  |
| <i>Populus deltoides</i><br><i>ssp. monilifera</i> | 3  | 0                                     | 3   |
| <i>Prunus emarginata</i>                           | 151  | 0                                     | 151   |
| <i>Ptelea trifolia</i>                             | 32   | 11                                    | 43  |
| <i>Quercus ellipsoidalis</i>                       | 11   | 0                                     | 11  |
| <i>Quercus garryana</i>                            | 6  | 0                                     | 6   |
| <i>Quercus muehlenbergii</i>                       | 30   | 0                                     | 30  |
| <i>Quercus prinoides</i>                           | 16   | 0                                     | 16  |
| <i>Quercus shumardii</i>                           | 22   | 0                                     | 22  |

| Espèces de catégorie 3 | Nombre d'accessions infranationales | Nombre d'accessions nationales | Nombre total d'accessions (infranationales/nationales) |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| <i>Ulmus americana</i> | 130                                 | 43                             | 173  |
| <i>Ulmus rubra</i>     | 10                                  | 24                             | 34   |
| <i>Ulmus thomasii</i>  | 5                                   | 0                              | 5  |
| <b>Total</b>           | 5 686                               | 3 336                          | 9 022  |
|                        | 63 %                                | 37 %                           | 100 %  |

Les accessions *ex-situ* du tableau 7.1 reflètent la somme des données nationales et infranationales du Centre national des semences forestières (CNSF). Bien que certaines compétences ne disposent pas de leurs propres accessions *ex-situ*, elles commencent à participer à la conservation de ces espèces d'arbres en collaboration avec le CNSF, afin de stocker du germoplasme provenant de leur aire de répartition. Sur les 39 espèces évaluées ici, la plupart des espèces sont des feuillus (33); cinq des six espèces restantes sont des conifères du genre *Pinus* et la dernière espèce est *Juniperus maritima*. Les 39 espèces sont conservées sous forme de lots de semences ou d'accessions vivantes *ex-situ*.

En matière d'accessions, le CNSF dispose de 24 espèces en stock, tandis que les compétences ci-dessus stockent collectivement toutes les espèces de la liste. L'Ontario stocke à lui seul les accessions pour toutes les espèces (sauf sept) n'étant présentes que dans l'ouest du Canada (Colombie-Britannique et Alberta). La plupart des accessions sont stockées sous forme de lots de semences, mais quelques espèces (p. ex., *Juglans cinerea*, *Quercus* spp.) qui ne persistent pas bien dans les conditions de stockage conventionnelles (-20°C) sont plutôt conservées sous forme de clones ou de semis (maintenus soit dans des banques de clones, soit dans des vergers à graines). Pour *Juglans cinerea*, espèce en voie de disparition au Canada tant au niveau fédéral que provincial, le matériel génétique est stocké sous forme de clones dans une compétence (Ontario) et sous forme d'axes embryogènes cryogéniques (azote liquide à -196°C) dans les installations du CNSF.

### **7.2 Principaux intervenants nationaux/infranationaux et leurs approches en matière de conservation *ex-situ* (doc. d'orientation de la FAO, questions 7.2 à 7.5).**

Il existe quatre principales réserves de conservation *ex-situ* pour les espèces d'arbres au Canada : trois banques de semences de compétences (ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique; ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta; ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec) et le Centre national de semences forestières de Ressources naturelles Canada.

Les activités infranationales des banques de semences de conservation *ex-situ* sont guidées par les plans de conservation *ex situ* des compétences (p. ex., le plan de conservation *ex-situ* des RGF en Alberta, 2018). La majorité de leurs efforts portent sur la collecte, le traitement, le test

et le stockage de sources de semences d'espèces commerciales pour la reforestation. Dans plusieurs cas, des lots de semences représentant d'autres espèces d'intérêt ou des espèces menacées (p. ex., *Pinus flexilis*, *Pinus albicaulis* en Colombie-Britannique et en Alberta) sont également stockés.

Au niveau national, le CNSF collecte, traite, teste et stocke les graines d'une diversité d'espèces d'arbres et d'arbustes canadiens, afin de soutenir la conservation des espèces et la recherche. Actuellement, le CNSF dispose de plus de 16 000 lots de semences représentant plus de 120 espèces d'arbres et d'arbustes indigènes et il vise, à terme, à stocker des échantillons de semences représentatifs prélevés dans l'ensemble des aires de répartition naturelles de toutes les espèces canadiennes de ces groupes; c.-à-d., environ 125 espèces d'arbres et des centaines d'espèces d'arbustes. Pour la plupart des espèces, les graines sont stockées à -20°C, tandis que les graines de certaines espèces de feuillus en état de dormance (p. ex., les chênes, les érables argentés) sont plutôt conservées à 4°C et prélevées relativement plus fréquemment pour maintenir des stocks de graines viables (<https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/centres-de-recherche-et-laboratoires/centre-recherche-forets/centre-foresterie-latlantique/centre-national-de-semences-forestieres/13450>, [page consultée en avril 2020]). Le CNSF dispose également d'une installation cryogénique qui permet la conservation *ex-situ* du germoplasme d'arbres ne pouvant pas être stocké efficacement à long terme dans les conditions susmentionnées (p. ex., *Juglans cinerea*, *Magnolia acuminata*). Enfin, le CNSF a récemment déployé des efforts exceptionnels pour conserver des semences de frêne (*Fraxinus* spp.) dans toutes les compétences en réponse à l'agrite du frêne (*Agrilus planipennis* Fairmaire; Coleoptera : Buprestidae), ravageur envahissant ayant décimé toutes les espèces de frênes au Canada et s'étant répandu dans toute l'aire de répartition des espèces de frênes.

Les banques de semences ne sont pas les seules réserves *ex-situ* de semences d'arbres indigènes au Canada. D'autres réserves de conservation contribuant à la conservation *ex-situ* d'une espèce au moyen du stockage de lots de graines ou de collections vivantes comprennent les arboretums, les jardins botaniques, les centres écologiques et les associations de conservation génétique gérés par les provinces et les municipalités.

Les réserves de conservation *ex-situ* représentent une composante mineure de la plupart des banques de semences infranationales, étant donné que l'objectif principal au niveau des compétences est de stocker des semences cultivées de façon sélective disponibles (p. ex., maximiser les gains de rendement, la résistance aux parasites, etc.) d'espèces commercialement importantes. Néanmoins, diverses institutions de recherche (universités, organismes gouvernementaux, installations de recherche, etc.) bénéficient des stocks *ex-situ* actuellement conservés, utilisant les accessions et l'expertise associée à des fins de recherche dans de nombreux domaines d'intérêt, notamment la restauration écologique, les changements climatiques, la migration assistée, les essais de provenance, les études moléculaires, la culture de tissus, la restauration des espèces et la recherche sur les méthodes de stockage des graines d'arbres. Enfin, d'autres réserves *ex-situ* existent pour le public et les chercheurs, afin de fournir des collections de référence documentées pour l'identification des espèces.

### **7.3 Transfert de germoplasme d'arbres à l'intérieur ou à l'extérieur du Canada (question 7.6 de la FAO).**

Le matériel d'amélioration génétique des arbres conservé par chaque province est adapté aux conditions écophysiographiques locales. Malgré cela, des transferts de germoplasme ont lieu entre certaines provinces qui partagent des zones biogéoclimatiques (Alberta et Colombie-Britannique) ou à des fins de recherche (Nouveau-Brunswick, Alberta, Colombie-Britannique, CNSF). Certaines compétences, comme le ministère des Forêts, des Terres, des Opérations de ressources naturelles et du Développement rural de la Colombie-Britannique, ont recours à des ententes de transfert de germoplasme avec des organismes externes à leur ministère; différentes ententes de transfert permettent de répondre aux particularités des transferts (c. -à- d., recherche, développement de vergers à graines, échange de matériel, etc.) Au niveau national, le CNSF peut fournir de petites quantités de semences strictement à des fins de recherche et a recours à un formulaire de demande de semences pour diriger ce processus. Sur le plan international, le Canada est membre du système de certification des semences de l'OCDE et adhère à ces normes internationales pour l'exportation des semences canadiennes. Il n'existe actuellement au Canada aucune législation ou directive nationale concernant le transfert de germoplasme (L'État des ressources génétiques forestières mondiales : Rapport national Canada, 2012), bien que les approches d'accès et de partage des avantages (APA) qui portent directement sur cette question fassent actuellement l'objet de discussions au niveau international (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) en ce qui concerne la foresterie, l'agriculture et la pêche.

#### **7.4 Besoins, défis et possibilités pour améliorer la conservation *ex-situ* des RGF (question 7.7 de la FAO).**

Les compétences ont déterminé les besoins, les défis et les possibilités en matière d'activités et de programmes de conservation *ex-situ* au Canada (non classés par ordre de priorité) :

1. augmenter le personnel qualifié possédant une expertise en génétique forestière et en insectes et maladies des forêts;
2. accroître la capacité de recherche et d'expertise en matière de méthodes de stockage des semences;
3. connaître l'incidence de la génétique forestière pour atténuer les effets des insectes et des maladies des forêts, ainsi que des changements climatiques;
4. accroître le soutien financier aux programmes visant à la conservation *ex-situ*;
5. augmenter l'échange d'informations sur les programmes de conservation *ex-situ* et les stocks à tous les niveaux du gouvernement;
6. développer les connaissances en variation génétique, adaptation et résilience;
7. accroître la capacité de stockage *ex-situ* du germoplasme des arbres (conventionnel et non conventionnel);
8. accroître la sensibilisation et la conservation *ex-situ* des espèces d'arbres non commerciales;
9. effectuer une analyse coûts-avantages de la présence par rapport à l'absence de conservation des espèces *ex-situ*;
10. élaboration d'une stratégie nationale de conservation à long terme des semences et du germoplasme

### **7.5 Priorités pour le renforcement des capacités et la recherche en matière de conservation *ex-situ* (question 7.8 de la FAO)**

Les enjeux suivants ont été relevés par les compétences :

1. développer une capacité accrue de stockage du germoplasme des arbres;
2. centraliser le stockage des données relatives aux espèces d'arbres nécessitant une conservation *ex-situ* au moyen de bases de données de semences d'arbres intégrées à tous les niveaux de gouvernement;
3. inclure les changements climatiques à la modélisation prédictive;
4. inclure la sensibilité et la résilience aux insectes et aux maladies à la modélisation prédictive;
5. donner la priorité à la conservation des espèces figurant sur la liste des espèces en danger ou menacées;
6. conserver la variation génétique pour l'ensemble de la gamme des espèces répertoriées comme étant en danger ou menacées;
7. élaborer des protocoles de stockage pour les semences d'arbres orthodoxes et non orthodoxes;
8. intégrer de nouvelles technologies prometteuses (p. ex., la génomique, l'embryogenèse somatique, l'activité de l'eau) aux programmes *ex-situ*;
9. intégrer l'analyse d'écart et les modèles de priorisation pour déterminer et optimiser les méthodes d'échantillonnage;
10. améliorer la compréhension par le public du « comment » et du « pourquoi » de la conservation *ex-situ*;
11. élaborer des plans et des stratégies de conservation des espèces d'arbres;
12. prévoir et prévenir le déclin de la capacité de germination dans le temps par des recherches visant à comprendre la façon dont elle est modifiée par les effets de la périodicité, de la qualité, de la longévité et du stockage des semences;
13. comprendre le nombre ou le volume optimal de semences d'arbres conservées nécessaires aux besoins futurs;
14. accroître l'échange d'informations entre les centres de conservation en mettant en place des ateliers sur la collecte, la pureté, la certification, la source des semences et la chaîne de conservation des semences, conformément aux normes internationales (International Seed Testing Association) et à l'AOSA

### **7.6 Conclusion**

Bien que les efforts visant à classer les espèces par ordre de priorité aient gagné en importance depuis le dernier rapport canadien, disposer de données actualisées est toujours nécessaire en raison des multiples défis à relever, notamment les changements climatiques, les pressions accrues sur le secteur forestier ainsi que l'apparition et la propagation d'insectes et de maladies nouveaux et introduits dans le pays. Une enquête portant sur toute nouvelle préoccupation concernant les espèces d'arbres au Canada (pas seulement les espèces d'arbres nécessitant une



conservation *ex-situ*) serait bénéfique. De nombreux facteurs, dont le temps, les ressources (humaines, financières, infrastructure, équipement, *etc.*) et, dans certains cas, les connaissances sur la meilleure façon de stocker le germoplasme d'espèces d'arbres individuelles à long terme amélioreraient la conservation *ex-situ* dans l'ensemble du pays. La priorisation des espèces pour la conservation *ex-situ* est un exercice clé, afin de concentrer les ressources limitées actuellement disponibles. Aujourd'hui, le coût de la génomique diminuant de manière exponentielle, des études de génétique des populations pourraient être menées au moins sur les espèces prioritaires. Ces connaissances génétiques pourraient guider les collections *ex-situ* et maximiser la diversité génétique des espèces stockées; ce qui serait utile pour maximiser la conservation de la variation génétique potentiellement adaptative. Ces efforts doivent être associés à d'autres efforts de conservation (c.-à-d., la conservation, *in situ*, la gestion des menaces, *etc.*), afin de garantir la conservation de la fonction écologique et de la capacité d'adaptation de chaque espèce d'arbre.

### **Ouvrages cités**

Alberta Agriculture and Forestry. (2018). *Ex-situ* conservation plan for forest genetic resources in Alberta. Extrait du site Web d'Alberta Agriculture and Forestry. Adresse URL : [https://open.alberta.ca/dataset/519e69de-fb95-4c16-8c2c-749684f48824/resource/5da7da2a-c5dd-4ae8-92b0-3599b42395ac/download/exsitu\\_gcplan\\_2018-04.pdf](https://open.alberta.ca/dataset/519e69de-fb95-4c16-8c2c-749684f48824/resource/5da7da2a-c5dd-4ae8-92b0-3599b42395ac/download/exsitu_gcplan_2018-04.pdf)

Rapport sur l'état des ressources génétiques forestières du Canada. 2012. Beardmore, T., K. Forbes, J.D. Simpson, M. Williams, L. Barnhardt, L. Dunford, V. Gauthier, B. Linehan, B. McAfee, M. Myers, A. Rainville, R. Sharples, Y. Weng, J. Woods, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.

## Chapitre 8. État de l'utilisation

### 8.1. Façon dont les ressources génétiques forestières sont utilisées

Des ressources génétiques forestières (RGF) sont utilisées chaque fois qu'un arbre sert à l'une de nombreuses fins. Le présent chapitre traite des utilisations pour lesquelles des ressources génétiques particulières sont valorisées. Il est largement reconnu que l'hybridation sélective d'un grand nombre de caractéristiques ajoute de la valeur aux semis utilisés dans la reforestation. L'importance de la variation génétique dans la réussite de la restauration ou l'efficacité de la séquestration du carbone est moins connue. Les ressources génétiques sont utilisées dans les programmes de conservation, en particulier lorsque la menace est un insecte nuisible ou une maladie. Les principales utilisations des essences forestières nécessitant une gestion active sont énumérées au tableau 8.1.

Tableau 8.1. Principales espèces d'arbres forestiers gérées activement à des fins productives ou de services écosystémiques (la plupart des renseignements sont demeurés inchangés depuis leur parution dans le rapport 2012 du Canada sur les RGF).

| Espèce  | Reboisement | Sylviculture | Milieu urbain | PFNL | Énergie | Carbone | Conservation | Rétablissement / Remise en état |
|---|-------------|--------------|---------------|------|---------|---------|--------------|---------------------------------|
| <i>Abies amabilis</i>                               | X           | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Abies balsamea</i>                               | X           | X            | X             | X    |         |         |              | X                               |
| <i>Abies grandis</i>                                | X           | X            |               | X    |         |         |              |                                 |
| <i>Abies lasiocarpa</i>                             | X           | X            | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Abies procera</i>                                | X           | X            | X             | X    |         |         |              |                                 |
| <i>Acer marcrophyllum</i>                           | X           | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Acer rubrum</i>                                  |             | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Acer saccharum</i>                               | X           | X            | X             | X    |         |         |              |                                 |
| <i>Alnus rubra</i>                                  | X           | X            |               |      |         |         |              | X                               |
| <i>Betula alleghaniensis</i>                        | X           | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Betula neoalaskana</i> (syn. <i>B. pendula</i> ) |             | X            |               |      |         |         |              | X                               |
| <i>Betula papyrifera</i>                            |             | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Callitropsis nootkatensis</i>                    | X           | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Carya cordiformis</i>                            |             |              | X             |      |         |         | X            |                                 |
| <i>Carya ovata</i>                                  |             |              | X             |      |         |         | X            |                                 |

| Espèce                        | Reboisement | Sylviculture | Milieu urbain | PFNL | Énergie | Carbone | Conservation | Rétablissement / Remise en état |
|-------------------------------|-------------|--------------|---------------|------|---------|---------|--------------|---------------------------------|
| <i>Celtis occidentalis</i>    |             |              | X             |      |         |         | X            |                                 |
| <i>Fraxinus Americana</i>     | X           | X            | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Fraxinus nigra</i>         | X           |              | X             | X    |         |         | X            |                                 |
| <i>Fraxinus pennsylvanica</i> |             |              | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Juglans cinerea</i>        |             |              | X             | X    |         |         | X            |                                 |
| <i>Larix laricina</i>         | X           | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Larix lyalli</i>           |             |              |               |      |         |         | X            | X                               |
| <i>Larix occidentalis</i>     | X           | X            |               |      |         |         | X            |                                 |
| <i>Ostrya virginiana</i>      |             |              | X             |      |         |         | X            |                                 |
| <i>Picea abies</i>            | X           | X            | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Picea engelmannii</i>      | X           | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Picea glauca</i>           | X           | X            | X             | X    |         | X       | X            | X                               |
| <i>Picea mariana</i>          | X           | X            | X             |      |         | X       |              | X                               |
| <i>Picea rubens</i>           | X           | X            | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Picea sitchensis</i>       | X           | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Pinus albicaulis</i>       |             |              |               |      |         |         | X            | X                               |
| <i>Pinus banksiana</i>        | X           | X            | X             |      |         | X       |              | X                               |
| <i>Pinus contorta</i>         | X           | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Pinus flexilis</i>         |             |              | X             |      |         |         | X            | X                               |
| <i>Pinus monticola</i>        | X           | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Pinus ponderosa</i>        | X           | X            | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Pinus rigida</i>           | X           | X            | X             |      |         | X       |              | X                               |
| <i>Pinus resinosa</i>         | X           | X            | X             |      |         | X       |              | X                               |
| <i>Pinus strobus</i>          | X           | X            | X             | X    |         | X       |              |                                 |
| <i>Pinus sylvestris</i>       |             |              | X             | X    |         |         |              |                                 |
| <i>Populus balsamifera</i>    | X           | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Populus deltoides</i>      | X           |              | X             |      |         |         |              | X                               |

| Espèce                                  | Reboisement | Sylviculture | Milieu urbain | PFNL | Énergie | Carbone | Conservation | Rétablissement / Remise en état |
|---|-------------|--------------|---------------|------|---------|---------|--------------|---------------------------------|
| <i>Populus grandidentata</i>            |             | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Populus</i> , hybrides indigènes     | X           | X            | X             |      | X       | X       |              |                                 |
| <i>Populus</i> , hybrides non indigènes |             | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Populus tremuloides</i>              | X           | X            | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i>            | X           | X            | X             | X    |         |         |              |                                 |
| <i>Quercus alba</i>                     |             |              | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Quercua bicolor</i>                  |             |              | X             |      | X       | X       |              |                                 |
| <i>Quercus garryanna</i>                |             |              |               |      |         |         | X            | X                               |
| <i>Quercus macrocarpa</i>               | X           |              | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Quercus rubra</i>                    | X           | X            | X             |      |         |         | X            | X                               |
| <i>Salix</i> spp.                       |             |              | X             |      | X       |         |              | X                               |
| <i>Thuja occidentalis</i>               | X           | X            | X             | X    |         |         |              |                                 |
| <i>Thuja plicata</i>                    | X           | X            | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Tilia Americana</i>                  |             |              | X             |      |         |         |              | X                               |
| <i>Tsuga Canadensis</i>                 | X           | X            | X             |      |         |         |              |                                 |
| <i>Tsuga heterophylla</i>               | X           | X            |               |      |         |         |              |                                 |
| <i>Ulmus Americana</i>                  |             |              | X             |      |         |         | X            | X                               |
| <i>Ulmus rubra</i>                      |             |              | X             |      |         |         |              |                                 |

La principale utilisation explicite des RGF des arbres est dans le cadre de programmes d'hybridation sélective des arbres. Le degré d'utilisation des ressources génétiques peut être mesuré par le nombre ou la proportion de plants issus de vergers à graines sélectionnés qui sont plantés dans le cadre de programmes de reboisement. En Colombie-Britannique, 67 % des 300 millions de semis plantés sur les terres publiques en 2020 provenaient de cette source. L'amélioration génétique moyenne en volume est supérieure à 21 % (<https://forestgeneticsbc.ca/health-productivity/>). La proportion de semences cultivées de façon sélective est plus faible dans les autres provinces, mais dans l'ensemble, au moins 50 %

des besoins en semences aux fins de reboisement sont couverts par les vergers à graines. La plupart des besoins en semences sont satisfaits par des semences de verger de deuxième génération pour plusieurs espèces au Canada atlantique (Adams, 2020). En Alberta, seulement 15 % environ des semences proviennent de vergers à graines, mais ce pourcentage augmente chaque année à mesure que les vergers à graines arrivent à maturité et atteignent une production plus élevée.

## ***8.2. Stratégies, lignes directrices et recommandations nationales (ou infranationales) en matière d'utilisation des ressources génétiques forestières***

Les ressources forestières relèvent de la responsabilité des gouvernements provinciaux, de sorte que les stratégies, lignes directrices et recommandations en matière de ressources sont élaborées et mises en œuvre aux niveaux provincial et territorial. Les compétences ont mis en place des règlements et des politiques concernant les zones de semences et les règles de transfert des semences.

La réglementation et les normes de la Colombie-Britannique en matière de semences s'appliquent à tous les aspects de la manipulation des semences, de la fixation du prix des semences (poids des semences × prix × ajustement de la germination) (British Columbia Ministry of Attorney General, 2019) au nombre minimum d'arbres (10) sur lesquels les semences sont prélevées dans une zone maximale (rayon ne dépassant pas 8 km) (British Columbia Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development, 2018). Les normes comprennent le processus d'enregistrement des lots de semences auprès de la province, les exigences de qualité des semences, les exigences de collecte des semences et du matériel végétatif sélectionnés et non sélectionnés, l'enregistrement des arbres parents, la détermination de la valeur de reproduction ou clonale, le stockage et les tests, la sélection et l'utilisation des semences et du matériel végétatif, et le transfert des semences. Le transfert de semences et de matériel végétatif a été modifié en Colombie-Britannique depuis 2018 pour tenir compte des répercussions des changements climatiques. Les règles du transfert de semences basé sur le climat doivent être respectées, de sorte que les semis ou les boutures issus d'un lot enregistré doivent être plantés dans la zone d'utilisation du transfert déterminée pour l'espèce d'arbre et l'unité de classification d'écosystème biogéoclimatique (BEC) de la semence. Ces directives sont énoncées dans le document « CBST Areas of Use for British Columbia », associé aux normes d'utilisation des semences du chef forestier (Chief Forester's Standards for Seed Use).

Des règlements sont également en vigueur en Alberta, où les arbres utilisés pour le reboisement doivent respecter les normes d'amélioration des arbres. Ces règles relèvent du règlement sur la gestion du bois (Timber Management Regulations), qui fait partie de la Forest Act (loi sur les forêts) de la province, et couvrent : la collecte, la manipulation, l'enregistrement et le stockage des matériaux; la planification du déploiement, l'établissement de rapports et la surveillance; la reproduction, les essais et la vérification; la production de matériaux de parenté contrôlée. Ces normes visent à garantir l'adaptabilité écologique, la diversité génétique et la santé des forêts sauvages et gérées, tandis que la sélection génétique et l'hybridation sélective des arbres sont valorisées pour les avantages économiques qu'elles procurent en augmentant la productivité. Deux types de matériaux de reboisement sont reconnus en Alberta : les matériaux du volet 1

sont prélevés à partir d'arbres non sélectionnés et ceux du volet 2 sont produits par hybridation sélective (soit dans des vergers à graines, soit par multiplication végétative de masse). Quel que soit le volet, toutes les semences ou coupes destinées au reboisement doivent être enregistrées auprès d'Alberta Sustainable Resource Development. Dans le cadre de cet enregistrement, l'origine géographique, le pedigree et la diversité doivent être précisés.

La Colombie-Britannique et l'Alberta interdisent toutes deux l'utilisation d'arbres OGM (organismes génétiquement modifiés) sur les terres publiques. En Alberta, les espèces d'arbres non indigènes sont également exclues du reboisement. Les deux provinces exigent l'utilisation de semences sélectionnées (lorsqu'elles sont disponibles) sur les terres publiques.

La politique de transfert des semences d'arbres de l'Ontario précise où les semences peuvent être prélevées et les conditions dans lesquelles elles peuvent être transférées. Elle s'applique à tous les matériaux de plantation destinés aux terres publiques de l'Ontario et aux autres zones où des fonds du gouvernement provincial sont appliqués aux activités de reboisement. Cette politique remplace les zones de semences et est plutôt guidée par la similitude entre les conditions climatiques historiques des sites de collecte de semences et le climat futur prévu dans la zone de plantation (ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario, 2020). Les écodistricts de l'Ontario sont utilisés pour le suivi de la source des semences et des lieux de déploiement, combinés à des considérations obligatoires de transfert de semences basées sur le climat.

Au Québec, la collecte, la production et la manipulation des semences sont assurées par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, de sorte qu'une réglementation détaillée n'est pas nécessaire. Cependant, des règles de transfert des semences sont appliquées comme en Ontario et comprennent des modifications tenant compte des changements climatiques.

Des directives de gestion des semences font défaut en Saskatchewan et au Manitoba, tandis que les provinces maritimes, relativement petites, se trouvent chacune dans une seule zone de semences, de sorte que les règles, les politiques ou les règlements relatifs au transfert des semences n'ont pas été nécessaires.

### ***8.3. Sources de matériel forestier de reproduction***

Des vergers à graines ont été établis pour toutes les principales espèces d'arbres utilisées en foresterie commerciale. Pour la régénération des forêts, environ la moitié du matériel reproductif provient de vergers à graines canadiens; le reste provenant de peuplements sauvages. À des fins de restauration, les semences sont prélevées uniquement au sein de peuplements sauvages.

Les collectes de peuplements sauvages pour les programmes de reforestation sont réglementées et soigneusement documentées, afin de garantir que le déploiement des semis suivra les règles de transfert de semences de chaque compétence. Les semences prélevées à d'autres fins, telles que la restauration, la plantation urbaine ou d'autres utilisations forestières non commerciales, sont moins contrôlées, car aucun cadre réglementaire n'existe actuellement.

#### **8.4. Programmes de subventions ou autres mécanismes d'incitation encourageant l'utilisation de certains matériels forestiers de reproduction**

L'Alberta et la Colombie-Britannique ont établi des règlements rendant obligatoire l'utilisation de semences cultivées de façon sélective, si elles sont disponibles sur des terres publiques. Aucun mécanisme incitatif n'existe actuellement au Canada pour guider l'utilisation du matériel forestier.

#### **8.5. Rôle des peuplements de semences enregistrés, des vergers à graines et d'autres sources dans l'approvisionnement en matériel forestier de reproduction**

Les semences utilisées pour la régénération des forêts sont soit produites dans des vergers à graines, soit prélevées au sein de peuplements sauvages ou artificiellement régénérés; les proportions de chacune d'elles varient selon les compétences. En Colombie-Britannique (qui représente près de la moitié des plants plantés à l'échelle nationale), environ 65 % des semences utilisées pour le reboisement proviennent de 40 vergers à graines cultivées de façon sélective, tandis qu'en Alberta, cette proportion est d'environ 15 %. Dans les deux cas, il s'agit de semences provenant de vergers à graines privés et publics. En Colombie-Britannique, le programme de production de semences comprend la plupart des espèces commerciales de la province; le type de semences se divise en trois catégories : les semences « select » sont cultivées de façon sélective et produites dans des vergers à graines; les semences de catégorie « B » sont prélevées au sein de peuplements sauvages; les semences « B+ » proviennent de peuplements sauvages dont la provenance est réputée être supérieure.

L'Ontario compte 74 vergers à graines en gestion active. Tous ont été établis initialement avec des objectifs de production forestière commerciale. Les objectifs des vergers de pin blanc (*Pinus strobus*) sont passés à la conservation génétique en raison des pressions exercées sur l'habitat du pin blanc dans le sud de l'Ontario (Boysen, 2019). En outre, cinq vergers sont en cours d'établissement pour le noyer cendré (*Juglans cinerea*) dans l'ensemble du sud de l'Ontario, dans le cadre des efforts de conservation génétique de cette espèce (Boysen, 2019). La plupart des semences requises dans le sud de l'Ontario sont destinées à la restauration, à la conservation, à la plantation en milieu urbain et à la séquestration du carbone; les semences utilisées à ces fins sont prélevées au sein de peuplements sauvages d'une grande diversité d'espèces.

Au Québec, il y a dix ans, 85 % des semences destinées au reboisement étaient produites dans au moins 80 vergers à graines (Petrinovic et coll., 2009).

Presque toutes les semences requises pour le reboisement (régénération artificielle) au Nouveau-Brunswick sont produites dans des vergers à graines de deuxième génération.

#### **8.6. L'offre de matériel forestier de reproduction répond-elle à la demande?**

La combinaison de la production de vergers à graines et du prélèvement au sein de peuplements sauvages répond à la demande actuelle dans chaque compétence. Deux facteurs peuvent remettre en cause la disponibilité des stocks de semences à l'avenir. Les changements climatiques sont pris en compte dans plusieurs compétences; ce qui entraîne une modification des zones de semences, tant pour la collecte que pour la production. Les répercussions de ces changements récents sur l'approvisionnement en semences ne sont pas encore claires. Les

besoins en semences évoluent également. Jusqu'à récemment, la majorité des semis plantés représentaient relativement peu d'espèces utilisées pour le reboisement dans le cadre d'opérations forestières commerciales. De plus en plus, les campagnes de plantation d'arbres sont axées sur la restauration, la récupération ou le verdissement urbain. Une promesse de plantation de 50 millions d'arbres a été faite en Ontario, par exemple, ainsi qu'une promesse de planter 2 milliards d'arbres dans l'ensemble du Canada. Les espèces requises pour la restauration et d'autres objectifs non forestiers diffèrent de celles utilisées pour le reboisement. Pour de nombreuses espèces, les sources de semences restent à sécuriser. Pour résoudre ce problème, le Service canadien des forêts a lancé une étude sur l'offre et la demande de semences d'arbres, dirigée par le Centre national des semences forestières.

### ***8.7. Tendances de la demande de matériel forestier de reproduction***

Le matériel forestier de reproduction est de plus en plus nécessaire aux initiatives de restauration, notamment dans les champs pétrolifères où la restauration des terres dégradées est requise. Cependant, la demande la plus importante de matériel forestier de reproduction demeure la satisfaction des besoins de régénération artificielle après la récolte forestière. La régénération est requise après la récolte sur les terres publiques du Canada, soit par plantation ou ensemencement, soit par régénération naturelle dans les cas où la zone de récolte est suffisamment peuplée de semis régénérés naturellement. Au cours des 20 dernières années, 56 % de la superficie récoltée a été plantée ou ensemencée dans l'ensemble du Canada, et presque tout le reste a été régénéré naturellement. Les données les plus récentes disponibles à ce sujet datent de 2017, année où 572 millions de semis ont été plantés sur 396 000 hectares (Ressources naturelles Canada, 2020). Cela représente une augmentation de 7 % par rapport à la moyenne décennale. Le nombre d'arbres plantés est généralement en hausse depuis 2012; ce qui reflète la lente reprise du secteur forestier après la récession économique de 2008 due à l'augmentation de la superficie forestière touchée par les incendies de forêt et le dendroctone du pin ponderosa.

### ***8.8. Certification de l'information sur le matériel forestier de reproduction pour le commerce national (ou infranational) et international, et règles utilisées à cette fin***

Les ventes internationales de quantités commerciales de semences sont certifiées dans le cadre du système de l'OCDE pour le matériel de reproduction faisant l'objet d'échanges internationaux.

### ***8.9. Matériel forestier de reproduction exporté et/ou importé par le Canada***

Il n'existe pas de statistiques récentes sur les quantités de semences d'arbres forestiers exportées ou importées au Canada.

### ***8.10. Organisation du programme national (ou infranational) de semences d'arbres du Canada, et principaux acteurs et intervenants***

Le Centre national de semences forestières est exploité par Ressources naturelles Canada au Centre de foresterie de l'Atlantique à Fredericton (Nouveau-Brunswick). L'objectif du Centre national de semences forestières est de recueillir, traiter et stocker des échantillons de graines représentatifs d'arbres et d'arbustes indigènes à des fins de conservation et de recherche. Le Centre de semences détient actuellement des semences de 134 unités taxonomiques; la plupart



d'entre elles sont des espèces distinctes, mais quelques-unes sont des variétés ou des hybrides. Le nombre d'accessions par espèce varie de un à 905 échantillons.

Les renseignements sur chaque accession sont à la disposition du public et incluent la localisation géographique particulière et le taux de germination. Les intervenants comprennent les chercheurs nationaux et internationaux qui demandent et utilisent les semences pour une grande variété de projets de recherche.

Les semences sont prélevées au sein de peuplements naturels, principalement par le personnel du Centre de semences, mais aussi par divers collaborateurs, notamment le personnel des services forestiers provinciaux, l'industrie forestière et les peuples autochtones. Des tests de semences sont effectués régulièrement, conformément aux protocoles établis par l'International Seed Testing Association et l'Association of Official Seed Analysts. La plupart des semences sont stockées à -20 degrés Celsius. Le Centre de semences compte également une unité cryogénique qui conserve environ 36 000 axes embryonnaires de l'espèce menacée du noyer cendré (*Juglans cinerea*).

Chaque compétence possède ses propres installations opérationnelles de production et de traitement des semences, y compris des vergers à graines qui fournissent des proportions importantes des semences requises pour de multiples espèces dans le cadre des programmes de plantation provinciaux. Toutes les provinces disposent de normes ou de lignes directrices opérationnelles en matière de collecte, de traitement, d'essais, de stockage et de documentation complète des lots de semences pour de grandes quantités de semences, dans certains cas pour des dizaines de millions de semences individuelles. La figure 8.1 présente un aperçu du système de production de semences sélectionnées en Colombie-Britannique.

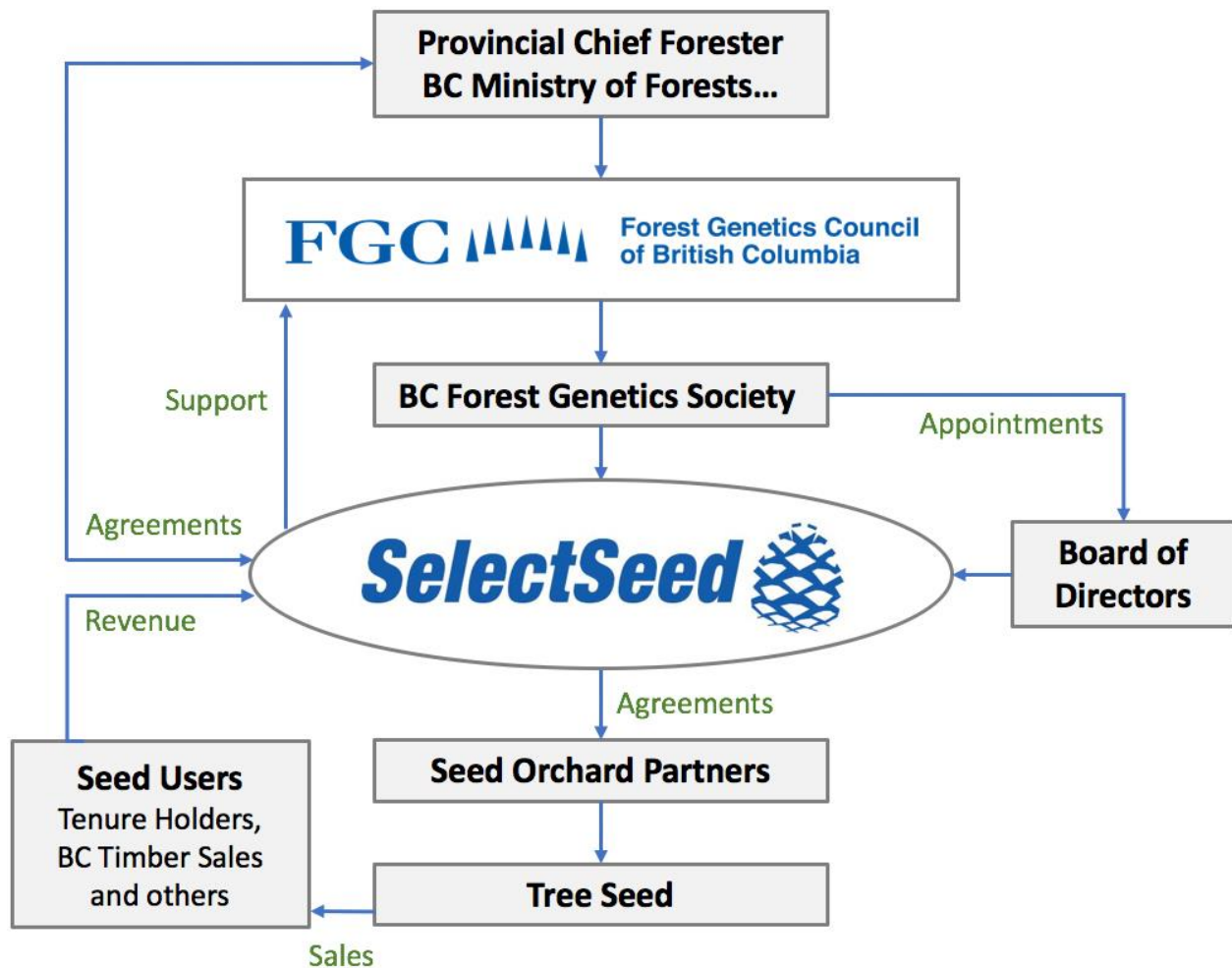


Figure 8.1. Représentation de la production de semences sélectionnées en Colombie britannique (<https://www.selectseed.ca/#about>).

### 8.11. Besoins, défis et possibilités pour accroître l'utilisation des ressources génétiques forestières

La restauration des forêts dégradées représente une application prometteuse des RGF. Une étude visant à évaluer la chaîne d'approvisionnement en semences à cette fin a été lancée par le Centre national de semences forestières (McPhee, 2020). Un défi pour l'application des ressources génétiques à la restauration est l'accès aux semences d'espèces d'arbres et d'arbustes qui ne sont pas déjà utilisées pour la régénération artificielle dans un contexte de foresterie commerciale.

Les changements climatiques représentent un défi majeur et une occasion d'application guidée des RGF. L'adoption par plusieurs provinces d'une approche de transfert de semences basée sur le climat apporte maintenant un nouveau niveau de complexité aux populations d'amélioration des arbres, à la composition des vergers à graines, ainsi qu'à l'approvisionnement et au déploiement des semis. Outre ces défis opérationnels, la prévision des régimes climatiques futurs et les caractéristiques des arbres qui pourraient le mieux répondre à ces changements sont deux domaines de recherche en cours. Les sélectionneurs procèdent sur la base de

prédictions moyennes (p. ex., calculs de la valeur de reproduction, surfaces de réponse aux changements climatiques), mais les forestiers doivent également gérer les peuplements pour tenir compte de la variance climatique et de la variance écologique plus large au sein des sites forestiers. L'amélioration pour des caractéristiques multiples pose également un défi qui peut entraîner des compromis entre la gestion des forêts pour une résilience globale et la promotion de caractéristiques importantes pour l'industrie forestière.

### **8.12. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine**

Toutes les compétences en sont aux premiers stades des approches de transfert de semences basées sur le climat. Des ressources supplémentaires sont nécessaires pour faire face aux complexités mentionnées ci-dessus accompagnant ces approches (dans certaines compétences, cela signifie de reconstituer des capacités précédemment réduites). En particulier, des recherches comprenant des essais sur le terrain et des approches de modélisation sont nécessaires pour contribuer à optimiser les changements opérationnels. Cela signifie une formation accrue d'un personnel technique et de recherche hautement qualifié, en vue d'aborder l'adaptation aux changements climatiques, l'amélioration pour des caractères multiples et l'élargissement de nos connaissances dans ces domaines pour les espèces présentant une faible valeur économique ou une moindre priorité dans les programmes de reboisement.

#### **Ouvrages cités**

Adams, G. 2020. Tree improvement in Atlantic Canada – Over 40 years and going strong. Tree Seed Working Group News Bulletin, Canadian Forest Genetics Association. N° 69 : 28 à 29.

Boysen, B. 2019. 2018-2019 Forest Gene Conservation Association Update. Tree Seed Working Group News Bulletin. Canadian Forest Genetics Association. N° 68, p 23-27.

British Columbia Ministry of Attorney General. 2019. Forest and Range Practices Act. Tree Seeds and Services Regulation B.C. Reg. 138/2019. Dépôt le 24 juin 2019 et entrée en vigueur le 2 juillet 2019. Consolidated Regulations of British Columbia. Victoria, BC, Canada

British Columbia Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development. 2018. Chief Forester's Standards for Seed Use. Modifications établies le 5 avril 2018; date d'entrée en vigueur le 6 août 2018. Victoria, BC, Canada.

<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/forestry/managing-our-forest-resources/treeseed/legislation-standards/chief-forester-s-standards-for-seed-use>

Gouvernement de l'Alberta. 2016. Forest Genetic Resource Management and Conservation Standards. Volume 1 – Stream 1 and 2. Forestry Division, Alberta Agriculture and Forestry Edmonton, Alberta, Canada. <https://open.alberta.ca/dataset/871d9683-824b-468f-9ab1-f2c3e3da3513/resource/8d39c2df-48aa-43d9-83a1-ad747f24ee2e/download/2016-AlbertaFGRMS-Volume-1-Stream-1-and-Stream-2-FGRMS-Dec2016.pdf>

Gouvernement de la Saskatchewan. 2015. The Forest Resources Management (Saskatchewan Environmental Code Adoption) Regulations. Chapitre F-19.1 Reg 11 (entrée en vigueur le 5 janvier 2015). Regina, Saskatchewan, Canada

McPhee, D. 2020. National Tree Seed Centre Update. Tree Seed Working Group News Bulletin. Canadian Forest Genetics Association. N° 69, p 21-25.

Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. 2020. Politique de l'Ontario en matière de transfert des semences forestières <https://www.ontario.ca/fr/page/politique-de-lontario-en-matiere-de-transfert-des-semences-forestieres>

Petrinovic, N. Gélinas et J. Beaulieu, 2009. Benefits of using genetically improved white spruce in Quebec: The forest landowner's viewpoint. The Forestry Chronicle 85(4) : 571 à 582.

## **Chapitre 9. État des programmes d'hybridation sélective**

### **9.1. Approches d'hybridation sélective des arbres**

La plupart des travaux d'hybridation sélective des arbres sont réalisés à l'aide des méthodes classiques de sélection, de création et de gestion de vergers à graines, d'éclaircissement et de croisements contrôlés. La majeure partie du matériel de plantation continue d'être constitué de semi-produits dans des vergers à graines. Toutefois, une partie du matériel de plantation est également produite à l'aide de méthodes de multiplication végétative, notamment les boutures racinées et l'embryogenèse somatique (ES) (surtout au Québec et au Nouveau-Brunswick).

Les nouvelles technologies visant à accélérer la sélection et l'amélioration génétique prennent de l'ampleur. Il s'agit notamment d'analyses génomiques visant à développer la sélection assistée par marqueurs pour un assortiment de traits plus large que celui appliqué traditionnellement. Cette technologie représente une approche puissante, notamment lorsqu'elle est combinée à des méthodes d'embryogenèse somatique et de stockage cryogénique (Chamberland et coll., 2020; Park et coll., 2018).

### **9.2. Utilisations et traits prioritaires pour l'hybridation sélective des arbres**

L'hybridation sélective des arbres est principalement utilisée dans le cadre d'opérations forestières commerciales visant à produire du bois. L'amélioration aux fins de résistance aux insectes et aux maladies en vue de la conservation des espèces est un objectif croissant, mais secondaire. Les traits particuliers les plus importants faisant l'objet de programmes de sélection et d'amélioration sont la croissance et le rendement, la forme, la résistance aux insectes et aux maladies, la qualité du bois et les traits adaptatifs axés sur l'atténuation des répercussions des changements climatiques.

### **9.3. Organisation des programmes d'hybridation sélective des arbres et principaux acteurs et intervenants**

Chaque compétence dispose de sa propre approche d'hybridation sélective des arbres, car la gestion des ressources est la responsabilité des provinces et territoires.

Les renseignements sur l'hybridation sélective des arbres en Colombie-Britannique ont été obtenus auprès du British Columbia Forest Genetics Council (FGC) (<https://www.fgcouncil.bc.ca/>). Le FGC est nommé par le chef forestier de la province pour donner des conseils sur les questions liées à la génétique forestière, notamment la production de semences, le gain génétique, la gestion des ressources génétiques et les problèmes relatifs aux insectes et aux maladies. La composition du FGC est répartie entre les groupes d'intervenants. Les coprésidents du FGC sont issus du gouvernement provincial et de l'industrie forestière. Ses membres comprennent les producteurs de semences de l'intérieur et du littoral, les utilisateurs de semences de l'intérieur des régions septentrionale, méridionale et littorale de la province, les présidents des comités consultatifs techniques du littoral et de l'intérieur, un chercheur universitaire et un scientifique du Service canadien des forêts. La FGC compte actuellement trois comités consultatifs techniques (CCT) : le CCT sur la conservation génétique, le CCT de l'intérieur et le CCT du littoral. Des sous-comités spécialisés dans une espèce existent également au sein de cette structure. Avant 2017, trois autres CCT existaient : le CCT sur l'aide à la décision, le CCT sur le transfert de semences et le CCT sur la lutte antiparasitaire. Les CCT sont

composés de membres du FGC et sont chargés de déterminer les priorités et d'évaluer les propositions de financement.

Le mandat du FGC de la Colombie-Britannique est de conseiller le chef forestier et de coordonner les activités visant à améliorer la conservation, la résilience et la valeur des forêts de Colombie-Britannique. Le FGC achèvera en 2020 son cinquième plan stratégique quinquennal consécutif, en s'appuyant sur la gestion génétique des forêts qui a débuté dans les années 1960 sous les auspices du Conseil Plus Tree. Les sept objectifs que décrit le plan stratégique sont les suivants : 1) conservation génétique; 2) résilience et transfert de semences basé sur le climat; 3) utilisation de semences sélectionnées pour le reboisement; 4) augmentation du gain génétique aux fins de croissance; 5) utilisation de semences résistantes aux parasites aux fins de reboisement; 6) ressources et efficacité; 7) surveillance et rapports. Le financement du plan provient du ministère des Forêts, des Terres et des Ressources naturelles, des titulaires de permis forestiers, de SelectSeed Ltd, du gouvernement fédéral et de Genome BC. Les contributions annuelles de toutes les sources dépassent 13 millions de dollars canadiens.

Le FGC supervise la coordination entre les programmes d'amélioration génétique et les vergers à graines provinciaux par l'intermédiaire de SelectSeed Ltd, entreprise à but non lucratif créée en 1998 et appartenant à la British Columbia Forest Genetics Society. Le mandat de SelectSeed est de produire les forêts de la Colombie-Britannique. Des vergers de semences ont été créés et gérés par SelectSeed en partenariat avec des entreprises forestières. Les semences sont vendues aux titulaires de droits forestiers et au gouvernement de la Colombie-Britannique. Chaque verger vise une unité de planification des semences particulière et chaque unité est définie pour une combinaison donnée d'espèces, de zone de semis et d'altitude. Les vergers à graines produisent la majeure partie du matériel de sélection utilisé en Colombie-Britannique, mais la production végétative est employée pour le cyprès de Nootka (*Cupressus nootkatensis*). Il existe des programmes d'amélioration génétique pour le douglas taxifolié du littoral et de l'intérieur, le sapin, le thuya géant, la pruche de l'Ouest, le cyprès de Nootka, le pin tordu, le pin ponderosa, le pin argenté du littoral et de l'intérieur, l'épinette de l'intérieur, le mélèze occidental et les feuillus côtiers.

L'OTIP (programme d'amélioration des arbres d'exploitation), sous-programme du FGC, vise à accroître la qualité et la quantité de semences de classe A ou Select provenant des vergers provinciaux et de l'industrie forestière. Il s'agit également d'un organisme consultatif fournissant un soutien technique en vue d'améliorer la production et la gestion des vergers.

L'Alberta a créé un conseil des ressources génétiques forestières ([abtreegene.com](http://abtreegene.com)), composé de représentants des ministères provinciaux responsables de l'environnement et de la gestion des forêts (dont un représentant d'un programme de génétique), de l'industrie forestière (dont deux représentants du secteur des feuillus et deux représentants du secteur des résineux) et d'instituts de recherche (universitaires et gouvernementaux) représentant les domaines de la biologie, de la conservation, de la remise en état des terres forestières, de la croissance et du rendement, ainsi que des pépinières forestières. Le mandat de ce conseil des RGF est le suivant :

1. fournir des conseils et des recommandations au gouvernement de l'Alberta sur les politiques, les normes et les recommandations liées à la gestion des ressources génétiques forestières (RGF) de l'Alberta;
2. favoriser la communication, le dialogue et le transfert de technologies entre les participants et les intervenants en recherche et opérations de génétique forestière relatives aux terres forestières et humides publiques;
3. encourager une approche interdisciplinaire en matière de gestion des RGF;
4. cerner et traiter les sujets de préoccupation liés à la gestion des RGF.

L'hybridation sélective des arbres de l'Alberta est gérée par Tree Improvement Alberta en partenariat avec le Forest Health and Adaptation Program (santé et adaptation des forêts) de la province. Le programme Forest Health and Adaptation gère un réseau de vergers à graines sur quatre sites axé sur six espèces d'arbres. Le programme collabore avec des entreprises forestières sur des programmes d'amélioration génétique visant à augmenter la production de bois et de pâtes à papier sur les terres forestières gérées, à améliorer les propriétés mécaniques du bois ainsi qu'à déterminer et à augmenter la tolérance aux insectes, aux maladies et aux dommages liés au climat et aux conditions météorologiques ([www.alberta.ca](http://www.alberta.ca)). L'amélioration génétique est organisée en régions d'amélioration; chacune d'entre elles ayant un plan d'amélioration génétique propre à l'espèce.

En Ontario, le ministère des Richesses naturelles et des Forêts (MRNF) fournit orientation et coordination politiques et opérationnelles en gestion des RGF et en utilisation des semences dans le cadre de la planification de la gestion forestière, ainsi qu'un soutien financier aux programmes de gestion des RGF. Le MRNF mène des recherches appliquées en génétique forestière et son personnel soutient la mise en œuvre de l'orientation stratégique de la gestion des RGF, le transfert de semences, la modélisation et le renforcement de la résilience. Conjointement au ministère de l'Environnement, de la Protection de la nature et des Parcs, le MRNF dirige également la conservation génétique aux fins de rétablissement et de protection des espèces. Le MRNF n'a pas directement participé à l'hybridation sélective opérationnelle des arbres depuis 2017.

L'hybridation sélective des arbres en Ontario est effectuée par trois associations régionales indépendantes de l'industrie qui font une demande annuelle au Fonds de réserve forestier du MRNF. Ces associations sont la Forest Gene Conservation Association dans le sud, la Northeast Seed Management Association dans le nord-est et la Superior Woods Tree Improvement Association dans le nord-ouest. La consultation de tous ces groupes permet d'actualiser les politiques et de modifier l'orientation de la gestion. Chaque association établit ses propres priorités régionales et gère des programmes pour répondre aux besoins en gestion des RGF sur les terres de la Couronne (Ken Elliott et Melissa Spearing, communication personnelle). 2020).

Le gouvernement du Québec supervise toute l'hybridation sélective des arbres au Québec, en partenariat avec l'industrie forestière. Les recherches sont menées par des scientifiques de l'Université Laval, du Service canadien des forêts et du gouvernement provincial. Souvent, ces groupes collaborent directement à la recherche en hybridation sélective des arbres.

Au Nouveau-Brunswick, il existe un programme actif d'hybridation sélective des arbres depuis plus de 40 ans. Le gouvernement provincial dispose d'une section sur l'amélioration des arbres chargée de fournir des semences cultivées de façon sélective pour tout reboisement sur les terres publiques. L'industrie collabore également étroitement avec le Nouveau-Brunswick, alors que le Service canadien des forêts et l'Université du Nouveau-Brunswick se sont engagés dans des recherches pour soutenir le programme provincial. Chacun de ces groupes est membre du Tree Improvement Council du Nouveau-Brunswick. En février 2020, des représentants des gouvernements provinciaux du Canada atlantique, de l'industrie et du Service canadien des forêts se sont réunis pour discuter de possibilités d'une meilleure intégration des efforts d'hybridation sélective des arbres dans la région maritime.

#### **9.4. Technologies actuelles et émergentes utilisées en hybridation sélective des arbres**

Le Québec et le Nouveau-Brunswick plantent un nombre significatif d'arbres à multiplication végétative, qu'il s'agisse de boutures racinées ou de plantules somatiques; ils testent l'efficacité de la sélection génomique au cours de ce processus (Chamberland et coll., 2020, Park et coll., 2016). Au Nouveau-Brunswick, l'industrie forestière (J.D. Irving, Ltd.) produit des arbres par embryogenèse somatique depuis plus de 20 ans (Park et coll. 2016). La combinaison de la production embryogénique et de la sélection génomique a permis de réduire considérablement le temps nécessaire à l'hybridation sélective de traits (Adams 2020).

Les traits adaptatifs des arbres en général ont été étudiés à l'aide de diverses méthodes, depuis les études de terrain et les fonctions de réponse traditionnelles, jusqu'aux études génomiques et à l'évaluation du rôle que joue le nombre de copies de gènes dans l'évolution adaptative (Prunier et coll., 2017; Lu et coll., 2014; De La Torre et coll., 2014). Une recherche documentaire a révélé 40 nouveaux articles décrivant des études génétiques et génomiques visant à faire progresser l'amélioration génétique et la sélection de dix espèces d'arbres. Ces études comprennent des analyses quantitatives traditionnelles de la qualité du bois et des traits de croissance, des études de découverte de gènes ainsi que l'élaboration et la mise à l'essai de méthodes de sélection génomique. Le plus grand nombre de recherches, et de loin, a porté sur l'épinette blanche (*Picea glauca*) dans l'ensemble du Canada. La recherche fondamentale sur *Picea glauca* décrite au chapitre 5 du présent rapport a servi de base aux études énumérées au tableau 9.1, appliquées pour faire progresser et pour accélérer la sélection des traits à des fins commerciales. La qualité du bois a fait l'objet d'une attention accrue, car on s'attend à ce qu'elle réduise le coût de l'amélioration relative aux traits de qualité du bois (Park et coll., 2018; Ratcliffe et coll., 2017; Beaulieu et coll., 2014). L'amélioration pour divers traits liés à la réponse adaptative aux changements climatiques a également bénéficié d'une attention accrue. L'épinette blanche a en outre fait l'objet de plusieurs études sur la résistance génétique aux ravageurs, au moyen d'une combinaison d'approches quantitatives et d'expression génique (Méndez-Espinoza et coll., 2018; Mageroy et coll., 2015; Lamara et coll., 2018; Porth et coll., 2012). La découverte de gènes et d'autres aspects de l'amélioration génétique aux fins de résistance aux maladies a également progressé pour d'autres espèces, comme dans le domaine de la résistance à la rouille vésiculeuse chez *Pinus monticola* (Liu et coll., 2013, 2017, 2019).



Tableau 9.1. Examen de la documentation concernant la recherche sur l'hybridation sélective d'espèces d'arbres canadiennes depuis 2012.

| <b>Espèce</b>                    | <b>Trait</b>  | <b>Méthode</b>   | <b>Auteur</b>                  |
|----------------------------------|---|--|--------------------------------|
| <i>Castanea dentata</i>          | Résistance à la rouille   | Analyses quantitatives   | Dale et Galic, 2012            |
| <i>Callitropsis nootkatensis</i> | Traits de croissance  | Analyses quantitatives   | Russell et coll., 2015         |
|                                  | Croissance  | Analyses quantitatives   | Baltunis et coll., 2013        |
|                                  | Hauteur   | BLUP génomique   | El-Kassaby et coll., 2012      |
| <i>Picea glauca</i>              | Photosynthèse   | Analyses quantitatives   | Benomar et coll., 2016         |
|                                  | Qualité du bois   | Analyse quantitative   | Park et coll., 2012            |
|                                  | Traits adaptatifs   | Variation du nombre de copies de gènes                           | Prunier et coll., 2017         |
|                                  | Traits adaptatifs   | Analyses quantitatives et génomiques – réseaux de SNP            | De La Torre et coll., 2014     |
|                                  | Caractéristiques des semis, croissance des racines                | Analyse quantitative   | Carles et coll., 2012          |
|                                  | Qualité du bois   | Analyses génétiques quantitatives                                | Lenz et coll., 2013            |
|                                  | Performance de la croissance des provenances en réponse au climat | Analyses quantitatives, fonction de réponse                      | Lu et coll., 2014              |
|                                  | Croissance, survie  | Analyses quantitatives   | Weng et coll., 2019            |
|                                  | Résistance aux parasites  | Analyses génétiques quantitatives des biomarqueurs de résistance | Méndez-Espinoza et coll., 2018 |

|   |   |  |                            |
|---|---|--|----------------------------|
|   | Hauteur des arbres, densité du bois                                     | Évaluation généalogique et génomique en une seule étape                    | Ratcliffe et coll., 2017   |
|   | Résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette                    | Découverte de gènes  | Mageroy et coll., 2015     |
|   | Résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette                    | Génétique d'association  | Lamara et coll., 2018      |
|   | Hauteur, forme de la tige, survie, dormance des bourgeons, ramification | Héritabilité clonale   | Wahid et coll., 2012       |
|   | Hauteur, qualité du bois  |  | El-Dien et coll., 2016     |
|   | Sélection génomique   | Analyses économiques   | Chamberland et coll., 2020 |
|   | Physiologie et morphologie des semis                                    | Analyses quantitatives   | Carles et coll., 2015      |
|   | Résistance aux insectes   | Génomique génétique  | Porth et coll., 2012       |
|   | Croissance, volume  | Sélection génomique  | Park et coll., 2018        |
|   | Croissance, qualité du bois   | Sélection génomique  | Beaulieu et coll., 2014    |
|   | Marqueurs génomiques (SNP informatifs)                                  | Traçabilité du germoplasme d'élite dans la production somatique de plantes | Godbout et coll., 2017     |
|   | Hauteur, diamètre   | Analyses quantitatives   | Wahid et coll., 2013       |
|   | Hauteur, diamètre   | Analyses quantitatives   | Wahid et coll., 2012       |
|   | Croissance  | Analyses quantitatives   | Weng et coll., 2012        |
| <i>Picea glauca</i> x <i>P. engelmannii</i> | Hauteur des arbres  | Génomique (SNP) et quantitative  | Ratcliffe et coll., 2015   |

|                            |   |                                 |                              |
|----------------------------|---|---------------------------------|------------------------------|
|                            | Hauteur des arbres, densité du bois                 | Génomique (SNP) et quantitative | El-Dien et coll., 2018       |
| <i>Picea mariana</i>       | Croissance et traits du bois                        | Sélection génomique (SNP)       | Lenz et coll., 2017          |
|                            | Croissance et bifurcation des tiges                 | Analyses quantitatives          | Wang et coll., 2018          |
|                            | Ressource EST pour l'amélioration moléculaire, etc. | Analyses EST                    | Mann et coll., 2013          |
|                            | Production de semences                              | Techniques d'amélioration       | Colas et Lamhamedi, 2014     |
| <i>Picea abies</i>         | Résistance aux insectes                             | Analyses quantitatives          | Mottet et coll., 2015        |
| <i>Pinus monticola</i>     | Résistance à la rouille vésiculaire                 | Sélection assistée par marqueur | Liu et coll., 2019           |
|                            | Résistance à la rouille vésiculaire                 | Sélection assistée par marqueur | Liu et coll., 2017           |
|                            | Résistance à la rouille vésiculaire                 | Sélection assistée par marqueur | Liu et coll., 2013           |
| <i>Pinus contorta</i>      | Traits de croissance et de qualité du bois          | Sélection assistée par marqueur | Ukrainetz et Mansfield, 2020 |
| <i>Populus tremuloides</i> | Croissance  | Sélection clonale               | Gylander et coll., 2012      |
| <i>Tsuga heterophylla</i>  | Hauteur   | Analyses spatiales              | Cappa et coll., 2015         |

### **9.5. Quantité de germoplasme d'arbre transféré à l'intérieur et à l'extérieur du pays à des fins de recherche et de développement**

Le Centre national des semences forestières (CNSF), situé à Fredericton (Nouveau-Brunswick), est la principale source de semences d'arbres partagées à des fins de recherche à l'intérieur et à l'extérieur du Canada. En 2019, le CNSF a répondu à 50 demandes de semences, envoyant des semences à des chercheurs au Canada (neuf provinces), aux États-Unis (deux États) et au Portugal. Au total, plus de 6,5 millions de semences provenant de 520 lots de semences dont la source a été déterminée et la qualité testée, représentant 60 espèces d'arbres, ont été fournies à des chercheurs nationaux et internationaux.

### **9.6. Accès et partage des avantages**

Aucun changement important en matière d'accès et de partage d'avantages (APA) n'a eu lieu au niveau national depuis le rapport 2012 du Canada sur les RGF. Le Canada n'est pas encore signataire du Protocole de Nagoya et les compétences infranationales utilisent des approches différentes en matière d'APA. L'Alberta, par exemple, a élaboré des normes pour les terres publiques provinciales qui sont reconnues par les règlements du gouvernement provincial et qui comprennent l'accès au matériel génétique et le partage des avantages. Les normes stipulent que toutes les ressources génétiques recueillies sur des terres publiques en Alberta doivent faire l'objet d'un consentement préalable et éclairé du gouvernement provincial et que tout matériel utilisé à des fins commerciales autres que la production de fibres en Alberta pourrait faire l'objet d'une entente de partage des avantages, selon lequel la province recevrait des revenus ou un transfert de matériel. Le paiement à la province pour le matériel génétique ne s'applique pas lorsque le matériel est utilisé pour le déploiement opérationnel d'arbres et d'arbustes en Alberta ou pour le renforcement des programmes provinciaux d'hybridation sélective des arbres. Une entente de transfert de matériel (MTA) peut être requise, au cas par cas, pour les échanges de RGF entre l'Alberta et d'autres compétences ou entre l'Alberta et d'autres entités (p. ex., des organisations industrielles, universitaires ou de recherche).

### **9.7. Besoins, défis et possibilités pour l'hybridation sélective des arbres**

L'hybridation sélective des arbres a toujours été bien soutenue dans au moins certaines compétences, comme la Colombie-Britannique et le Nouveau-Brunswick, où l'industrie forestière est un participant actif et réalise des gains importants grâce aux programmes provinciaux. Dans d'autres compétences, l'obtention de ressources suffisantes continue à représenter un défi. Par conséquent, la plupart des provinces et des territoires ont besoin de capacités accrues pour gérer les programmes d'hybridation sélective des arbres au niveau de la compétence. Ce problème est particulièrement aigu lorsque les provinces adoptent des approches de transfert de semences basées sur le climat, alors que des vergers à graines de deuxième et troisième générations sont en cours. Il est nécessaire d'accroître les capacités d'établir, de mettre à l'essai et d'entretenir des vergers à graines de génération avancée, ainsi que de disposer d'un personnel hautement qualifié pour réaliser la modélisation, la génomique, les essais sur le terrain et la planification de la collecte et du déploiement dans le cadre des nouvelles règles de transfert des semences fondées sur le climat.

Certains vergers à graines actuels connaissent des difficultés en ce qui concerne la production de graines, en particulier dans le cas du pin tordu (*Pinus contorta*), pour lequel la demande a dépassé la capacité de production en raison d'une grenaison plus faible que prévu dans la plupart des vergers. Les vergers doivent par conséquent être agrandis ou d'autres solutions doivent être mises en œuvre pour répondre à ces demandes. La taille et la diversité des écosystèmes de la plupart des compétences canadiennes présentent des défis importants quant aux capacités de production en général. La quantité de semis nécessaires chaque année pour le reboisement et dans certains cas pour la restauration, se chiffre en centaines de millions; des vergers à graines n'ont pas encore été établis pour répondre à la liste élargie d'espèces d'arbres et aux profils de traits souhaités (p. ex., pour des arbres bien adaptés aux conditions climatiques changeantes). Au-delà des espèces commercialement importantes, les informations génétiques

et génomiques de base font généralement défaut ou ne sont disponibles que pour un petit sous-ensemble de conditions environnementales ou de lieux pertinents.

Les progrès rapides des outils de sélection génomique et assistée par marqueurs offrent des possibilités précieuses pour faire progresser notre compréhension et notre utilisation des RGF. De plus, un outil développé pour une espèce à l'aide de ces technologies peut présenter une transférabilité au moins partielle à d'autres espèces. Plusieurs entreprises forestières sont en cours de consolidation et leur plus grande taille devrait rendre le coût marginal des programmes d'hybridation sélective des arbres plus attractif. En particulier, il est actuellement difficile de progresser sans la participation financière de l'industrie forestière. Pourtant, l'intérêt croissant pour la remise en état des terres et la restauration des écosystèmes, ainsi que la prise de conscience de l'importance des considérations relatives aux espèces et aux sources de semences, offrent des possibilités d'améliorer le profil des programmes d'amélioration au-delà des applications commerciales traditionnelles d'hybridation sélective des arbres.

### **9.8. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche**

La recherche visant à comprendre la base génétique et les modèles de diversité des traits, notamment la résistance à la sécheresse, la résistance aux ravageurs et aux maladies ainsi que les propriétés du bois, est une priorité pour plusieurs compétences. Les vergers à graines de génération avancée existants, constitués pour des zones climatiques particulières et la sélection de traits multiples en mettant un accent croissant sur les traits adaptatifs, sont bien adaptés à ces applications ainsi qu'aux approches de transfert de semences basées sur le climat qui évoluent actuellement. Toutefois, cette connexion nécessite un investissement accru dans le renforcement des capacités et la recherche. Les technologies susmentionnées présentent, en particulier, de nouveaux défis pour la gestion de grandes quantités de données.

#### **Ouvrages cités**

Adams, G. 2020. Tree improvement in Atlantic Canada – Over 40 years and going strong. Tree Seed Working Group News Bulletin, Canadian Forest Genetics Association. N° 69 : 28 à 29.

Baltunis, B.S., J.H. Russell, A. Van Niejenhuis, J. Barker et Y.A. El-Kassaby, 2013. Genetic analysis and clonal stability of two yellow cypress clonal populations in British Columbia. *Silvae Genetica* 62(1-6) : 173 à 186.

Beaulieu, J., T. Doerksen, S. Clément, J. MacKay et J. Bousquet, 2014. Accuracy of genomic selection models in a large population of open-pollinated families in white spruce. *Heredity* 113(4) : 343 à 352.

Benomar, L., M.S. Lamhamedi, A. Rainville, J. Beaulieu, J. Bousquet et H.A. Margolis, 2016. Genetic adaptation vs. ecophysiological plasticity of photosynthetic-related traits in young *Picea glauca* trees along a regional climatic gradient. *Frontiers in plant science* 7 : 48.

Cappa, E.P., A.D. Yanchuk et C.V. Cartwright, 2015. Estimation of genetic parameters for height using spatial analysis in *Tsuga heterophylla* full-sibling family trials in British Columbia. *Silvae Genetica* 64(1-6) : 59 à 73.

Carles, S., D. Boyer Groulx, M.S. Lamhamedi, A. Rainville, J. Beaulieu, P. Bernier, J. Bousquet, J. Deblois et H.A. Margolis, 2015. Family Variation in the Morphology and Physiology of White Spruce (*Picea glauca*) Seedlings in Response to Elevated CO<sub>2</sub> and Temperature. *Journal of Sustainable Forestry* 34(3) : 169 à 198.

Carles, S., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, D.C. Stowe et H.A. Margolis, 2012. Genetic parameters of morphological and physiological characteristics of containerized white spruce (*Picea glauca* [Moench.] Voss) seedlings. *Tree genetics & genomes* 8(1) : 39 à 51.

Chamberland, V., F. Robichaud, M. Perron, N. Gélinas, J. Bousquet et J. Beaulieu, 2020. Conventional versus genomic selection for white spruce improvement: a comparison of costs and benefits of plantations on Quebec public lands. *Tree Genetics & Genomes* 16(1) : 1 à 16.

Colas, F. et M.S. Lamhamedi, 2014. Production of a new generation of seeds through the use of somatic clones in controlled crosses of black spruce (*Picea mariana*). *New forests* 45(1) : 1 à 20.

Dale, A. et D. Galic, septembre 2012. Breeding blight resistant American chestnut for Canada. Dans V International Chestnut Symposium 1019 (p. 49-53).

De La Torre, A.R., T. Wang, B. Jaquish et S.N. Aitken, 2014. Adaptation and exogenous selection in a *Picea glauca* × *Picea engelmannii* hybrid zone: implications for forest management under climate change. *New Phytologist* 201(2) : 687 à 699.

El-Dien, O.G., B. Ratcliffe, J. Klápště, I. Porth, C. Chen et Y.A. El-Kassaby, 2018. Multi-environment genomic variance decomposition analysis of open-pollinated Interior spruce (*Picea glauca* × *engelmannii*). *Molecular breeding* 38(3) : 26.

El-Dien, O.G., B. Ratcliffe, J. Klápště, I. Porth, C. Chen et Y.A. El-Kassaby, 2016. Implementation of the realized genomic relationship matrix to open-pollinated white spruce family testing for disentangling additive from nonadditive genetic effects. *G3 : Genes, Genomes, Genetics* 6(3) : 743 à 753.

El-Kassaby, Y.A., J. Klápště et R.D. Guy, 2012. Breeding without breeding: selection using the genomic best linear unbiased predictor method (GBLUP). *New Forests* 43(5-6) : 631 à 637.

Godbout, J., L. Tremblay, C. Levasseur, P. Lavigne, A. Rainville, J. Mackay, J. Bousquet et N. Isabel, 2017. Development of a traceability system based on a SNP array for large-scale production of high-value White Spruce (*Picea glauca*). *Frontiers in plant science* 8 : 1264

Gylander, T., A. Hamann, J.S. Brouard et B.R. Thomas, 2012. The potential of aspen clonal forestry in Alberta: breeding regions and estimates of genetic gain from selection. *PloS one* 7(8).

Lamara, M., G.J. Parent, I. Giguère, J. Beaulieu, J. Bousquet et J.J. MacKay, 2018. Association genetics of acetophenone defence against spruce budworm in mature white spruce. *BMC plant biology* 18(1) : 231.

Lenz, P., D. Auty, A. Achim, J. Beaulieu et J. Mackay, 2013. Genetic improvement of white spruce mechanical wood traits—early screening by means of acoustic velocity. *Forests* 4(3) : 575 à 594.

Lenz, P.R., J. Beaulieu, S.D. Mansfield, S. Clément, M. Desponts et J. Bousquet, 2017. Factors affecting the accuracy of genomic selection for growth and wood quality traits in an advanced-breeding population of black spruce (*Picea mariana*). *BMC genomics* 18(1) : 335.

Liu, J.J., C. Hammett et R.A. Sniezko, 2013. *Pinus monticola* pathogenesis-related gene PmPR10-2 alleles as defense candidates for stem quantitative disease resistance against white pine blister rust (*Cronartium ribicola*). *Tree genetics & genomes* 9(2) : 397 à 408.

Liu, J.J., H. Williams, A. Zamany, X.R. Li, S. Gellner et R.A. Sniezko, 2019. Development and application of marker-assisted selection (MAS) tools for breeding of western white pine (*Pinus monticola* Douglas ex D. Don) resistance to blister rust (*Cronartium ribicola* JC Fisch.) in British Columbia. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1 à 10.

Liu, J.J., R.A. Sniezko, A. Zamany, H. Williams, N. Wang, A. Kegley, D.P. Savin, H. Chen et R.N. Sturrock, 2017. Saturated genic SNP mapping identified functional candidates and selection tools for the *Pinus monticola* Cr2 locus controlling resistance to white pine blister rust. *Plant biotechnology journal* 15(9) : 1149 à 1162.

Lu, P., W.H. Parker, M. Cherry, S. Colombo, W.C. Parker, R. Man et N. Roubal, 2014. Survival and growth patterns of white spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss) rangewide provenances and their implications for climate change adaptation. *Ecology and Evolution* 4(12) : 2360 à 2374.

Mageroy, M.H., G. Parent, G. Germanos, I. Giguère, N. Deltas, H. Maaroufi, É. Bauce, J. Bohlmann et J.J. Mackay, 2015. Expression of the  $\beta$ -glucosidase gene Pg $\beta$ glu-1 underpins natural resistance of white spruce against spruce budworm. *The Plant Journal* 81(1) : 68 à 80.

Mann, I.K., J.L. Wegrzyn et O.P. Rajora, 2013. Generation, functional annotation and comparative analysis of black spruce (*Picea mariana*) ESTs: an important conifer genomic resource. *BMC Genomics* 14(1) : 702.

McPhee, D. 2020. National Tree Seed Centre Update. Tree Seed Working Group News Bulletin, Canadian Forest Genetics Association. N° 69, p 21-25.

Méndez-Espinoza, C., G.J. Parent, P. Lenz, A. Rainville, L. Tremblay, G. Adams, A. McCartney, É. Bauce et J. MacKay, 2018. Genetic control and evolutionary potential of a constitutive resistance mechanism against the spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*) in white spruce (*Picea glauca*). *Heredity* 121(2) : 142 à 154.

Mottet, M., J. DeBlois et M. Perron, 2015. High genetic variation and moderate to high values for genetic parameters of *Picea abies* resistance to *Pissodes strobi*. *Tree Genetics & Genomes* 11 : 58.

Park, Y.S., C. Ding, P. Lenz, S. Nadeau, G. Adams, S. Millican, J. Beaulieu et J. Bousquet, 2018. Implementing genomic selection for multi-varietal forestry of white spruce (*Picea glauca*) in New Brunswick, Canada. *Clonal Trees in the Bioeconomy Age: Opportunities and Challenges*.

Park, Y.S., J. Beaulieu et J. Bousquet, 2016. Multi-varietal forestry integrating genomic selection and somatic embryogenesis. *Vegetative propagation of forest trees*, 302 à 322.

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

Porth, I., R. White, B. Jaquish, R. Alfaro, C. Ritland et K. Ritland, 2012. Genetical genomics identifies the genetic architecture for growth and weevil resistance in spruce. *PLoS One* 7(9).

Prunier, J., S. Caron, M. Lamothe, S. Blais, J. Bousquet, N. Isabel et J. MacKay, 2017. Gene copy number variations in adaptive evolution: The genomic distribution of gene copy number variations revealed by genetic mapping and their adaptive role in an undomesticated species, white spruce (*Picea glauca*). *Molecular Ecology* 26(21) : 5989 à 6001.

Ratcliffe, B., O.G. El-Dien, E.P. Cappa, I. Porth, J. Klápště, C. Chen et Y.A. El-Kassaby, 2017. Single-step BLUP with varying genotyping effort in open-pollinated *Picea glauca*. *G3 : Genes, Genomes, Genetics* 7(3) : 935 à 942.

Ratcliffe, B., O.G. El-Dien, J. Klápště, I. Porth, C. Chen, B. Jaquish et Y.A. El-Kassaby, 2015. A comparison of genomic selection models across time in interior spruce (*Picea engelmannii* × *glauca*) using unordered SNP imputation methods. *Heredity* 115(6) : 547 à 555.

Russell, J.H., J. Costa e Silva et B.S. Baltunis, 2015. Multisite genetic parameter estimates from a *Callitropsis nootkatensis* diallel study with clonally replicated progeny. *Revue canadienne de recherche forestière* 45(6) : 689 à 697.

Ukrainetz, N.K. et S.D. Mansfield, 2020. Assessing the sensitivities of genomic selection for growth and wood quality traits in lodgepole pine using Bayesian models. *Tree Genetics & Genomes* 16(1) : 14.

Wahid, N., A. Rainville, M.S. Lamhamedi, H.A. Margolis, J. Beaulieu et J. Deblois, 2012. Genetic parameters and performance stability of white spruce somatic seedlings in clonal tests. *Forest Ecology and Management* 270 : 45 à 53.

Wahid, N., M.S. Lamhamedi, A. Rainville, J. Beaulieu et H.A. Margolis, 2013. Genetic control and nursery-plantation genotypic correlations for growth characteristics of white spruce somatic clones. *Journal of Sustainable Forestry* 32(6) : 576 à 593.

Wahid, N., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, H.A. Margolis et J. Deblois, 2012. Genetic parameters and clonal variation in growth and nutritional traits of containerized white spruce somatic seedlings. *Acta botanica gallica* 159(3) : 373 à 384.

Wang, J.J., Y.H. Weng, M. Krasowski, G.H. Yan et M. Fullarton, 2018. Genetic parameters of growth and stem forking for black spruce progeny tested in New Brunswick, Canada. *New forests* 49(2) : 265 à 277.

Weng, Y., P. Charrette et P. Lu, 2019. Re-examining breeding zones of white spruce in northwestern Ontario, Canada. *New Forests* 50(5) : 845 à 858.

Weng, Y., Y.S. Park et D. Lindgren, 2012. Unequal clonal deployment improves genetic gains at constant diversity levels for clonal forestry. *Tree genetics & genomes* 8(1) : 77 à 85.



## **Chapitre 10. Gestion des ressources génétiques forestières**

### ***10.1. Prise en compte des considérations génétiques, au niveau pratique, en matière de gestion des forêts naturelles et plantées ainsi que d'autres terres boisées***

Ces dernières années, l'industrie forestière a accordé une attention croissante à la diversité génétique, tant en termes de potentiel accru d'amélioration génétique des arbres que de conservation des ressources génétiques. Cette tendance peut résulter de la reconnaissance croissante que la diversité génétique est essentielle à l'adaptation aux pressions environnementales, telles que les changements climatiques, les espèces envahissantes ou les ravageurs et maladies endémiques. L'intérêt pour le piégeage du carbone s'est également accru; les praticiens savent que les arbres à croissance rapide (y compris les variétés cultivées de façon sélective) captureront davantage de carbone que les arbres à croissance plus lente.

De plus en plus, les semences utilisées pour l'établissement de plantations sont évaluées pour leur diversité et leur performance au sein de plantations (surtout en Colombie-Britannique, en Alberta, en Ontario et au Québec). Le rôle de l'industrie dans la détermination du lot de vergers à graines nécessaire au reboisement dépend en partie de l'organisation supervisant les programmes d'hybridation sélective des arbres dans une compétence donnée. Au fur et à mesure que les plantations prennent de l'ampleur, les données accumulées pour suivre les performances des espèces individuelles sur le site fourniront les connaissances nécessaires à une gestion adaptative aux pressions susmentionnées.

La gestion durable des forêts est considérée comme englobant les ressources génétiques en tant que composante de la biodiversité. Le Canada est un chef de file en matière de gestion durable des forêts, comptant 168 millions d'hectares certifiés selon les normes de tierces parties en 2019, bien que les normes de gestion des ressources génétiques forestières (RGF) ne soient généralement pas détaillées dans les systèmes de certification.

### ***10.2. Technologies actuelles et émergentes utilisées en gestion des ressources génétiques forestières***

L'évolution récente la plus importante en gestion des RGF est le passage de règles de transfert de semences basées sur la géographie à des règles de transfert de semences basées sur le climat (CBST). Cette approche est déjà adoptée en Colombie-Britannique, en Alberta, en Ontario et au Québec. Même si les approches varient d'une province à l'autre, toutes les provinces partagent l'objectif d'augmenter la probabilité que les semis plantés soient adaptés aux conditions climatiques locales à maturité.

En Colombie-Britannique, il a été déterminé que dans le contexte de l'adéquation génétique et climatique, de nombreux lots de semences ont une zone de déploiement de semences élargie par rapport à il y a 20 ans ou plus (British Columbia Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development, 2019). Ces zones de déploiement élargies sont appelées « zones d'utilisation ». La mesure dans laquelle les zones d'utilisation sont élargies dépend de l'étendue de l'espace climatique occupé en Colombie-Britannique par les arbres sources de graines. La latitude et l'altitude servent à déterminer la distance admissible entre la source et la zone d'utilisation.

La transition vers les règles de transfert CBST en Colombie-Britannique devrait prendre plusieurs années pour atténuer les répercussions sur les producteurs et les utilisateurs de semences, élaborer entièrement la politique et mettre en place des systèmes de gestion de l'information ainsi que des outils d'aide à la décision. Pendant la période de transition, les utilisateurs de semences qui visent à maximiser la productivité doivent suivre la politique provinciale en respectant les règles CBST et en utilisant les semences sélectionnées présentant le gain génétique le plus élevé disponible. Lorsque cela n'est pas possible, l'utilisation de semences sélectionnées de la zone géographique ayant le gain génétique le plus élevé est autorisée. Si aucune semence cultivée de façon sélective n'est disponible pour un site de plantation donné, une autre option consiste à utiliser les règles de transfert CBST avec des semences enregistrées de prélèvement au sein de peuplements sauvages. Enfin, si ni les données CBST ni les semences cultivées de façon sélective ne sont disponibles pour l'espèce et le site concernés, des semences enregistrées prélevées dans la même zone de semis peuvent être utilisées. Un nouvel outil de zone d'utilisation CBST est utilisé conjointement à un outil de sélection de lot de semence, afin d'aider les praticiens à déterminer les sites de plantation et à sélectionner le matériel de plantation pour ces sites. Ces outils sont capables d'intégrer des données en temps réel sur les bilans des stocks de semences, à mesure que les données sur les lots de semences sont étendues et mises à jour.

L'Ontario a également élaboré une politique relative au transfert de semences en fonction du climat, fondée sur une collaboration entre Ressources naturelles Canada et le ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. Cette nouvelle politique a été introduite dans la mise à jour du manuel d'opérations forestières et de sylviculture, où sont exposées les exigences visant à faire correspondre le climat des sites de prélèvement de semences avec le climat futur prévu sur les sites de déploiement et à réexaminer les essais génétiques sur le terrain afin d'évaluer les risques (van Kerkhof, 2019).

### **10.3. Principaux acteurs et intervenants en gestion des forêts naturelles et plantées, ainsi que d'autres terres boisées au niveau national (ou infranational)**

Les gouvernements provinciaux et territoriaux sont en fin de compte responsables de la plupart des terres forestières au Canada, mais les entités qui gèrent les forêts de production sur le terrain sont généralement des entreprises disposant de licences ou d'ententes à long terme pour des zones données ou pour une coupe annuelle permise (CAP) particulière. Ce sont toutes des parties prenantes des terres forestières du Canada (tableau 10.1).

Tableau 10.1. Terres forestières publiques gérées par des entreprises forestières dans le cadre de licences à long terme ou d'autres ententes de gestion forestière, répertoriées par province.

| Province                | Superficie totale de forêt | % terres publiques provinciales | Nombre de licences | Nombre de licences ou d'ententes forestières | Superficie totale des licences (ha) |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|--|-------------------------------------|
| Terre-Neuve-et-Labrador | 23 227 200                 | 96                              | 1                  |  | 1 400 000                           |
| Nouvelle-Écosse         | 4 275 000                  | 47                              | 12                 |  | 604 000                             |

| Province                  | Superficie totale de forêt | % terres publiques provinciales | Nombre de licences    | Nombre de licences ou d'ententes forestières | Superficie totale des licences (ha) |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|--|-------------------------------------|
| Île-du-Prince-Édouard     | 265 000                    | 12                              | S.O.                  | S.O.   | S.O.                                |
| Nouveau-Brunswick         | 6 091 000                  | 48                              | 5                     | 10   | 3 272 505                           |
| Québec                    | 76 100 000                 | 92                              | 40 groupes de gestion | 70 unités de gestion                         | 28 200 000                          |
| Ontario                   | 71 100 000                 | 90                              |                       | 77 unités de gestion                         | 28 516 771                          |
| Manitoba                  | 36 300 000                 | 95                              | 2                     | + licences basées sur le volume              | 11 400 000                          |
| Saskatchewan              | 29 585 627                 | 91                              | 5                     |  | 5 271 039                           |
| Alberta                   | 35 200 000                 | 93                              | 10                    | 20   | 23 400 000                          |
| Colombie-Britannique      | 57 910 000                 | 94                              | Approx. 180           | 280 grandes et moyennes                      | 22 000 000                          |
| Territoires du Nord-Ouest | 80 000 000                 | 87                              | 1                     |  | 1 556 500                           |
| Yukon                     | 27 000 000                 | 85                              |                       |  |                                     |
| Nunavut                   | 815 000                    |                                 |                       |  |                                     |

<https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/SK info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/NWT info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/YK info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/Manitoba info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/Ontario info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/BC info Province and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/AB info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/QC info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/New Brunswick info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/Nova Scotia info Provinces and territories EN.pdf>; <https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/NL info Provinces and territories EN.pdf>.

Bien que la responsabilité ultime de la gestion des ressources des terres publiques incombe au gouvernement de chaque province, de nombreux acteurs de la foresterie industrielle, grands et petits (tableau 10.2), assument également des responsabilités importantes dans le cadre de leur licence ou de leur entente. En Alberta, par exemple, lorsque les entreprises concluent des accords d'aménagement forestier (Forest Management Agreements ou FMA), elles sont tenues non seulement d'élaborer des plans de gestion forestière pour la zone du FMA, mais également

de mener les recherches nécessaires pour soutenir leurs objectifs de gestion forestière, d'effectuer une analyse de l'approvisionnement en bois, de maintenir des inventaires et de garantir une participation et une consultation publiques adéquates. Les entreprises doivent en outre respecter les lois, les politiques et les règlements de la province de l'Alberta ainsi que les conditions de l'accord. Parmi ces responsabilités figure la nécessité de veiller à ce que les arbres à planter correspondent à la source de graines sur le site de plantation prévu.

En Colombie-Britannique, les divisions forestières doivent préparer des plans d'intendance forestière qui décrivent comment elles atteindront les objectifs du gouvernement provincial pour 11 valeurs de ressources, notamment les sols, le bois, la faune, la qualité de l'eau, les poissons et les rives, la biodiversité, la qualité visuelle, les loisirs et le patrimoine culturel. Elles doivent également solliciter et prendre en compte les commentaires du public et des peuples autochtones.

La plupart des compétences ne disposent pas de réglementation forestière concernant les terres forestières privées. Toutefois, en Colombie-Britannique (où environ 5 % des terres forestières appartiennent à des particuliers), plus de 908 000 ha sont classés comme forêts aménagées. L'ensemble des quelque 20 000 propriétaires de forêts privées possédant des terres désignées comme forêts aménagées en Colombie-Britannique doivent appliquer des pratiques forestières conformément à la Private Managed Forest Land Act et aux règlements connexes. Cette politique décrit les pratiques forestières liées à la conservation des sols, à la protection de la qualité de l'eau, à la protection de l'habitat des poissons et au reboisement (y compris l'utilisation de sources de semences génétiquement adaptées).

Les provinces maritimes de la côte est comptent des proportions plus élevées de terres privées que les autres provinces et la plupart des terres forestières privées sont sous forme de petits boisés. Les associations de propriétaires de boisés fournissent un soutien, une expertise et un certain degré de coordination, mais les valeurs et les objectifs des propriétaires de boisés varient en matière d'approches de gestion des ressources et, en particulier, des ressources génétiques.

Tableau 10.2 Quelques-uns des principaux acteurs corporatifs gérant des terres forestières au Canada.

| <b>Nom de l'entreprise</b> | <b>Lieu</b>          | <b>Zone gérée</b>          | <b>Produits</b> | <b>Espèce</b>                     | <b>Rôle de gestion</b>                  |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|---|
| A&A Trading Ltd            | Colombie-Britannique | 143 163 m <sup>3</sup> CAP | bois d'œuvre    | Épinette                          | Licence forestière                      |
| Acadian Timber Corp.       | Nouveau-Brunswick    | 307 965 ha                 | bois d'œuvre    | 66 % de résineux 34 % de feuillus | Propriété franche et licence forestière |
| Alberta Newsprint Company  | Alberta              | 374 000 ha                 | papier journal  | Pin, épinette, sapin              | Accord d'aménagement                    |

| Nom de l'entreprise                    | Lieu                 | Zone gérée                                      | Produits  | Espèce                                     | Rôle de gestion  |
|--|----------------------|---|---|--|--|
|  |                      |   |   |  | nt forestier (FMA)   |
| Alberta-Pacific Forest Industries Inc. | Alberta              | 6,37 millions ha                                | pâte à papier, énergie renouvelable, biométhanol        | Peuplier faux-tremble, peuplier baumier    | FMA<br>Mène un programme d'amélioration du peuplier                  |
| ANC Timber                             | Alberta              | 373 698 ha                                      | pâtes et papiers  |  | FMA  |
| Andersen Pacific Forest Products       | Colombie-Britannique | 50 000 ha                                       | bois d'œuvre  | Pruche, épinette, Douglas taxifolié, cèdre | Permis d'exploitation forestière (TFL)                               |
| Apollo Forest Products Ltd.            | Colombie-Britannique | Basé sur le volume : 216 746 m <sup>3</sup> CAP | bois d'œuvre  | Bois de résineux                           | Entente de partenariat avec la Première Nation Nak'azdli             |
| ATCO Wood Products                     | Colombie-Britannique | 135 000 ha                                      | placage, grumes, copeaux, biomasse                      | Bois de résineux                           | Licences; plantation de plus d'un million d'arbres par an; recherche |
| AV Group                               | Nouveau-Brunswick    | 647 500 ha                                      | pâte de bois dur pour transformation chimique (viscose) | Bois de feuillus                           | Gère 2 permis d'utilisation de terres publiques; propriété franche   |
| Babine Forest Products Ltd             | Colombie-Britannique | 449 699 m <sup>3</sup> CAP                      | bois d'œuvre  |  | Licence forestière   |
| Blue Ridge Lumber                      | Alberta              | 661 085 ha                                      | bois de construction,                                   | Pin tordu, épinette                        | FMA  |

| <b>Nom de l'entreprise</b>                        | <b>Lieu</b>                                 | <b>Zone gérée</b>   | <b>Produits</b>                   | <b>Espèce</b>         | <b>Rôle de gestion</b>   |
|---|---|---|-----------------------------------|-----------------------|--|
|   |   |   | panneaux de fibres                | blanche et noire      |  |
| C. & C. Wood Products Ltd                         | Colombie-Britannique                        | 68 130 m <sup>3</sup> CAP   | bois d'œuvre spécialisé           | Bois de résineux      | Licence forestière   |
| Canada Resurgence Development Ltd                 | Colombie-Britannique                        | 291 712 m <sup>3</sup> CAP  | bois d'œuvre                      |                       | Licence forestière   |
| Canadian Kraft Paper                              | Manitoba                                    | 1 641 216 m <sup>3</sup> CAP  | pâtes et papier                   | Épinette, pin, sapin  | Licence d'aménagement forestier                                      |
| Canfor Corporation (Canadian Forest Products Ltd) | Colombie-Britannique, Alberta               | 644 684 ha (Alberta)<br>9 902 317 m <sup>3</sup> PAC (Colombie-Britannique) | bois, pâtes et papier, bioénergie | Bois tendre, bois dur | FMA, licence; gestion spécifiquement aux fins de diversité génétique |
| Carrier Lumber                                    | Colombie-Britannique, Alberta, Saskatchewan | 471 142 m <sup>3</sup> CAP  | bois d'œuvre                      |                       | Licence forestière   |
| Canoe Forest Products                             | Colombie-Britannique                        | 322 610 m <sup>3</sup> CAP  | contreplaqué, grumes              | Bois de résineux      | Licence forestière   |
| Cheslatta Carrier Nation                          | Colombie-Britannique                        | 25 000 ha   | bois d'œuvre                      |                       | Licence forestière   |
| Chetwynd Mechanical Pulp Ltd.                     | Colombie-Britannique                        | 128 141 m <sup>3</sup> CAP  | pâtes                             |                       | Licence forestière   |

| <b>Nom de l'entreprise</b>                    | <b>Lieu</b>                           | <b>Zone gérée</b>          | <b>Produits</b>  | <b>Espèce</b>                  | <b>Rôle de gestion</b>             |
|---|---------------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|
| Commonwealth Plywood                          | Québec                                | 25 000 000 ha              | contreplaqué, placage, bois d'œuvre  | Pin, bouleau, érable, chêne    | Entente sur 25 ans                 |
| Conifex Timber Inc.                           | Colombie-Britannique                  | 632500                     | bois d'œuvre, énergie renouvelable   | Épinette, pin, sapin           | zone d'approvisionnement forestier |
| Corner Brook Pulp and Paper Ltd.              | Terre-Neuve-et-Labrador               | 1,5 million ha             | pâtes et papier  | Épinette, sapin                |                                    |
| Daishowa-Marubeni International Ltd.          | Colombie-Britannique, Alberta         | 1,7 million ha             | pâte kraft   | Bois tendre, bois dur          | FMA, FMU                           |
| Domtar (désormais EACOM dans l'est du Canada) | Colombie-Britannique, Ontario, Québec | 726 779 ha Québec, Ontario | papiers d'impression et spéciaux, pâte à papier de résineux et de feuillus | Bois tendre, bois dur          | Licences, permis et attestations   |
| Downie Timber Ltd. et Selkirk Cedar           | Colombie-Britannique                  | 183 000 m <sup>3</sup>     | bois d'œuvre, grumes   | Cèdre, pruche, épinette, sapin | Licences forestières               |
| Dunkley Lumber Ltd.                           | Colombie-Britannique, Alberta         | 1,3 million m <sup>3</sup> | bois d'œuvre   | Épinette, pin, sapin           | Licences forestières               |
| Hampton Affiliates                            | Colombie-Britannique                  | 120 000 ha                 | bois d'œuvre   | Épinette, pin                  | Licence forestière                 |
| Interfor Corporation                          | Colombie-Britannique                  | 1,3 million ha             | bois d'œuvre   | Épinette, sapin, pin           | Licences forestières               |
| Island Timberlands et Timberwest              | Colombie-Britannique                  | 500 000 ha                 | grumes   | Épinette, sapin, pruche        | Licences forestières               |

| <b>Nom de l'entreprise</b>                                | <b>Lieu</b>   | <b>Zone gérée</b>        | <b>Produits</b>   | <b>Espèce</b>                       | <b>Rôle de gestion</b>                       |
|---|---|--------------------------|---|-------------------------------------|--|
| J.D. Irving, Limited.                                     | Nouveau-Brunswick et Nouvelle-Écosse                                    | 2,4 millions ha          | bois de résineux et de feuillus                               | Épinette noire et blanche, pin gris | 1,29 propriété franche<br>1,13 licence N.-B. |
| J.H. Huscroft Ltd.  | Colombie-Britannique  | 78 644 m <sup>3</sup>    | bois d'œuvre  | Épinette, sapin, pruche, pin        | Licence forestière                           |
| Kruger Inc.   | Colombie-Britannique, Alberta, Québec, Ontario, Terre-Neuve-et-Labrador |                          | papier et produits d'emballage, énergie                       | Bois de résineux                    | Licences, permis et attestations             |
| La Crete Sawmills Ltd, Tolko Industries Ltd, Norbord Inc. | Alberta   | 3 017 400 m <sup>3</sup> | bois d'œuvre, granulés  | Épinette, tremble                   | Licence forestière                           |
| Lecours Lumber Co. Ltd.                                   | Ontario   | 476 000 m <sup>3</sup>   | bois d'œuvre  | Bois de résineux                    | Accords de licence forestière durable        |
| Ledcor Forestry   | Colombie-Britannique  | 9 000 000 m <sup>3</sup> | grumes, bois d'œuvre, copeaux, combustible de déchets de bois | Épinette, pin                       | Licences forestières                         |
| LP Building Products                                      | Colombie-Britannique, Manitoba, Québec                                  | 5,3 millions ha          | charpente, panneaux, bardage                                  | Bois de résineux                    | Licence d'aménagement forestier              |
| Lulumco Inc.  | Québec  |                          | bois d'œuvre  | Bois de résineux                    | Permis                                       |
| Manning Diversified Forest                                | Alberta   | 930 521 ha               | bois d'œuvre  |                                     | FMA  |



| <b>Nom de l'entreprise</b>     | <b>Lieu</b>          | <b>Zone gérée</b>            | <b>Produits</b>  | <b>Espèce</b>     | <b>Rôle de gestion</b>                               |
|--------------------------------|----------------------|------------------------------|--|-------------------|--|
| Products Ltd.                  |                      |                              |  |                   |  |
| Mercer Peace River Pulp Ltd    | Alberta              | 2 662 426 ha                 | pâte kraft   | Tremble, résineux | FMA  |
| Mill & Timber                  | Colombie-Britannique |                              | bois d'œuvre   | Thuya géant       |  |
| Millar Western Forest Products | Alberta              | 440 667 ha                   | bois d'œuvre, pâte à papier  |                   | FMA  |
| Mistik Management Ltd.         | Saskatchewan         | 1 900 000 ha                 |  | Bois de résineux  | FMA  |
| Northcrest Forest Products     | Colombie-Britannique |                              | bois d'œuvre   |                   |  |
| Northern Pulp Nova Scotia Ltd  | Nouvelle-Écosse      | 250 000 ha                   | pâtes  | Bois de résineux  | Licence et propriété franche (possède une pépinière) |
| Northland Forest Products Ltd. | Alberta              |                              | bois de construction, copeaux de bois, résidus de bois                 |                   |  |
| Port Hawksbury Paper           | Nouvelle-Écosse      | 523 000 ha                   | pâtes et papiers   |                   | Licence  |
| Resolute Forest Products       | Ontario, Québec      | 11,2 millions m <sup>3</sup> | bois d'œuvre, panneaux, produits du papier, pâte commerciale, granulés | Bois de résineux  | Licences forestières                                 |

| <b>Nom de l'entreprise</b>           | <b>Lieu</b>   | <b>Zone gérée</b>                           | <b>Produits</b>   | <b>Espèce</b>   | <b>Rôle de gestion</b>           |
|--------------------------------------|---|---|---|---|----------------------------------|
| Revelstoke Community Forest Corp.    | Colombie-Britannique                                  | 120 000 ha                                  | grumes  | Bois de résineux  | Permis d'exploitation forestière |
| Sakaw                                | Saskatchewan  | 3 300 000 ha                                |   | Bois de résineux  | FMA                              |
| Groupe Sinclair Forest Products Ltd. | Colombie-Britannique                                  |   | bois d'œuvre  |   |                                  |
| Spray Lake Sawmills                  | Alberta   | 284 307 ha                                  | bois d'œuvre  |   | FMA                              |
| Sundre Forest Products Ltd           | Alberta   | 553 298 ha                                  | placage, bois d'œuvre                                     |   | FMA                              |
| Taan Forest                          | Colombie-Britannique                                  |   | bois d'œuvre, grumes, poteaux                             | Thuya géant et cyprès de Nootka, épinette de Sitka, pruche de l'Ouest |                                  |
| TimberWest                           | Colombie-Britannique                                  |   | grumes  |   |                                  |
| Tolko Industries Ltd.                | Colombie-Britannique, Alberta, Saskatchewan, Manitoba | 4 531 403 ha (Alberta )<br>200 000 ha Sask. | bois d'œuvre, placage, contreplaqué, OSB et papiers kraft | Bois tendre, bois dur   | FMA                              |
| West Chilcotin Forest Products Ltd.  | Colombie-Britannique                                  |   | bois d'œuvre  |   |                                  |
| Western Forest Products Inc.         | Colombie-Britannique                                  | 6,2 millions m <sup>3</sup>                 | bois d'œuvre, pâte à papier                               | Bois de résineux  | Licence forestière, permis       |

| Nom de l'entreprise   | Lieu   | Zone gérée                  | Produits  | Espèce   | Rôle de gestion                           |
|---|--|-----------------------------|---|--|---|
|   |  |                             |   |  | d'exploitation forestière                 |
| West Fraser Timber Co. Ltd. (a récemment acquis Norbord Inc.) | Colombie-Britannique   |                             | bois de construction, panneaux, pâte à papier, papiers, résidus, bois traité      | Bois tendre, bois dur                                      | Multiples FMA et autres types de licences |
| WestRock  | Colombie-Britannique, Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario, Québec |                             | emballages ondulés et de produits de consommation, carton                         |  |   |
| Woodco Industries Ltd.  | Colombie-Britannique   |                             | bois brut de sciage, plaques de répartition de charges pour grue, modules de pont | Douglas taxifolié, pruche de l'Ouest, épinette, pin, sapin |   |
| Weyerhaeuser  | Colombie-Britannique, Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario         | 2 020 000 ha (Saskatchewan) | bois de construction, bois d'ingénierie, OSB                                      |  | FMA                                       |

#### **10.4. Besoins, défis et possibilité pour améliorer la gestion des ressources génétiques forestières**

Il est nécessaire de développer des inventaires de RGF à l'usage des gestionnaires de forêts, en particulier en ce qui concerne l'adaptation et la résilience. Il est également nécessaire d'élaborer des méthodes d'évaluation, telles que des marqueurs génétiques, pour cerner rapidement les ressources génétiques précieuses parmi de multiples espèces (à la fois rares et abondantes, angiospermes et gymnospermes) dans le contexte de la gestion forestière sous des pressions environnementales changeantes. Enfin, il est nécessaire de sensibiliser davantage le public quant à l'importance des RGF dans la gestion des ressources forestières en intégrant les principes de RGF aux cours de gestion forestière.

### **10.5. Priorités en matière de renforcement des capacités et de la recherche dans ce domaine**

Une priorité importante en matière de renforcement des capacités est la formation de gestionnaires forestiers à l'utilisation de pratiques de transfert de semences basées sur le climat.

#### **Ouvrages cités**

British Columbia Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development. 2019. CBST Seed Selection and Deployment. Transitioning British Columbia To Climate Based Seed Transfer. Information Bulletin 5. 2 pages.

van Kerkhof, B. 2019. Development of Climate-Based Seed Transfer Policy in Ontario. Tree Seed Working Group News Bulletin, n° 68 : 14.

## **Chapitre 11. Cadre institutionnel pour la conservation, l'utilisation et le développement des ressources génétiques forestières**

### **11.1. Mécanisme de coordination nationale en matière de ressources génétiques forestières, de fonctionnement et de structure**

CONFORGEN (Conservation of Forest Genetic Resources) [www.conforgen.ca](http://www.conforgen.ca)) est un programme canadien composé d'experts en génétique forestière provenant de tout le pays qui fournit un cadre à l'approche coordonnée de la conservation des ressources génétiques forestières (RGF). Cet organisme vise à promouvoir la conservation, à définir des lignes directrices de conservation fondées sur la science ainsi qu'à surveiller et à relever les enjeux émergents et les priorités de recherche en matière de ressources génétiques. Le Service canadien des forêts en assure le secrétariat. Le comité directeur est composé de représentants des conseils provinciaux de génétique forestière, des gouvernements provinciaux et territoriaux, de Premières nations et du Service canadien des forêts. Enfin, un comité technique permanent, constitué d'experts provinciaux, fédéraux et universitaires, supervise les projets. Un plan d'affaires guide les activités du CONFORGEN.

La Canadian Forest Genetics Association (CFGA) est un réseau de scientifiques et de praticiens en génétique forestière dans l'ensemble du Canada qui encourage l'utilisation de pratiques génétiques scientifiquement et techniquement solides, dans le cadre d'activités forestières canadiennes ([www.cfga-acgf.com](http://www.cfga-acgf.com)). Des conférences sont organisées tous les deux ans, réunissant les membres à des séances commerciales et techniques portant sur les questions actuelles relatives aux RGF. Depuis la publication du rapport du Canada en 2012, CONFORGEN a organisé et présenté plusieurs séminaires en ligne sur des sujets liés à la conservation génétique des forêts ainsi que des forums sur la conservation des RGF, en marge des conférences bisannuelles de la CFGA. Parmi les produits issus de ces réunions figurent des lignes directrices de conservation élaborées pour sept espèces d'arbres, un projet de document scientifique sur la conservation *ex-situ* et l'approbation de lignes directrices pour la conservation et le stockage *ex-situ* des RGF.

### **11.2. Principales institutions et parties prenantes participant à la conservation, à l'utilisation et au développement des ressources génétiques forestières**

Les principales institutions participant à la conservation, à l'utilisation et au développement des RGF sont les ministères des Ressources naturelles et de l'Environnement des gouvernements provinciaux, le Service canadien des forêts, Parcs Canada et des universités. Les parties prenantes comprennent l'industrie forestière, le secteur de l'énergie et d'autres acteurs participant à la remise en état ou à la restauration des terres, ainsi que les forestiers urbains.

### **11.3. Comment différents intervenants participent-ils aux prises de décisions relatives à la gestion des RGF?**

L'autorité finale de prise de décision concernant la gestion des RGF dans chaque province appartient au ministère provincial responsable des ressources naturelles. Ces organismes travaillent à des degrés divers avec d'autres intervenants.

Au Nouveau-Brunswick, le gouvernement provincial et les intervenants de l'industrie travaillent en étroite collaboration pour assurer les plans d'amélioration génétique et la planification des

vergers. Ils utilisent conjointement, par exemple, les données issues de travaux de génomique afin de planifier les futures pratiques de gestion de l'hybridation sélective des arbres. Le partage de ces données représente une avancée importante pour les parties prenantes, car il permet de gagner du temps dans l'établissement et la mise en œuvre des mesures de gestion.

Au Québec, le principal intervenant est le gouvernement du Québec. Cet organisme est chargé de fournir des semences et des plants adaptés aux programmes de reboisement et d'établir des règles concernant le maintien de la diversité génétique dans les programmes d'amélioration génétique, les vergers à graines et les variétés déployées dans les programmes de reboisement. Le gouvernement du Québec est également responsable du maintien et de la délimitation des nouvelles zones de conservation *in situ* et de la désignation des espèces en vertu de la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables*. Le deuxième intervenant important au Québec est le gouvernement fédéral (Service canadien des forêts), qui maintient un centre de recherche au Québec disposant d'une expertise en RGF et un mandat pour surveiller divers aspects liés à la santé des forêts canadiennes, y compris les changements climatiques et leurs répercussions sur les RGF. L'industrie forestière est un autre intervenant important.

En Ontario, tous les principaux intervenants participent aux processus de consultation lors de l'élaboration de politiques ou de la modification des orientations de gestion; il s'agit du gouvernement provincial (ministère des Richesses naturelles et des Forêts et ministère de l'Environnement, de la Conservation et des Parcs), de l'industrie forestière et des associations de génétique régionales. Ressources naturelles Canada participe également à l'élaboration des nouvelles règles de transfert de semences fondées sur le climat dans cette province.

L'Alberta compte des associations provinciales multipartites liées à l'hybridation sélective des arbres, composées de représentants du gouvernement provincial, de l'industrie et du milieu universitaire. Chacun de ces intervenants joue un rôle dans la prise de décision, tandis que le gouvernement provincial a l'autorité ultime en matière de gestion des RGF sur les terres publiques et il possède et exploite la plupart des vergers. Certaines entreprises forestières élaborent également et sont entièrement responsables de certains programmes d'hybridation sélective des arbres, y compris des vergers, des essais et des semences. À ce titre, les entreprises forestières effectuent la planification opérationnelle de l'hybridation sélective des arbres, de la plantation de plants sélectionnés et du prélèvement de matériel de reboisement opérationnel. Les entreprises peuvent, par conséquent, avoir une influence considérable sur la prise de décision. Les scientifiques universitaires effectuent des recherches en collaboration avec les pouvoirs publics et parfois l'industrie; ils apportent souvent une contribution importante à la prise de décision.

En Colombie-Britannique, le Forest Genetics Council conseille le chef forestier. Par l'intermédiaire des comités consultatifs techniques, les principaux intervenants, notamment les gouvernements provinciaux et fédéral, l'industrie, les universités, les fournisseurs de semences et les utilisateurs de semences, ont la possibilité de s'exprimer. Les généticiens forestiers font avancer ces programmes et sont, en fin de compte, responsables de la gestion des ressources génétiques pour les espèces avec lesquelles ils travaillent.

#### **11.4. Politiques et stratégies propres aux ressources génétiques forestières**

Chaque compétence dispose de son propre ensemble de politiques et de stratégies de gestion des RGF. Le Forest Genetic Council de la Colombie-Britannique dispose de plans stratégiques quinquennaux consécutifs dont la vision est des ressources génétiques forestières diverses, résilientes et gérées de manière à fournir des valeurs multiples au profit des générations actuelles et futures. Les objectifs du plan stratégique actuel sont les suivants : 1) la conservation (maintien des niveaux naturels de diversité génétique pour toutes les espèces indigènes de la Colombie-Britannique); 2) la résilience (affectation de géotypes de semences appropriés aux sites plantés et maintien de la diversité génétique naturelle dans les populations d'arbres plantés); et 3) la valeur (augmentation de la valeur économique ligneuse et non ligneuse des forêts plantées) ([https://www.fgcouncil.bc.ca/FGC\\_Strategic\\_Plan\\_Web\\_2015\\_20\\_04Nov2015.pdf](https://www.fgcouncil.bc.ca/FGC_Strategic_Plan_Web_2015_20_04Nov2015.pdf)). Cette vision s'étend à toutes les espèces d'arbres indigènes de la Colombie-Britannique et la portée de la stratégie comprend la recherche, l'amélioration génétique conventionnelle des arbres, la production de semences, la gestion des ravageurs, l'aide à la décision et le soutien aux nouvelles technologies.

Dans les provinces possédant les plus vastes zones forestières, les politiques de transfert de semences ont été ou sont actuellement modifiées pour délaissier le transfert de semences basé sur la géographie et adopter un transfert de semences basé sur le climat.

#### **11.5. Législation et/ou réglementation propres aux ressources génétiques forestières élaborées au Canada**

En Alberta, des normes ont été établies pour tous les aspects de la gestion génétique des forêts : « Alberta Forest Genetic Resource Management and Conservation Standards ». Les domaines couverts comprennent les questions de politique (p. ex., l'accès et le partage des avantages) et les accords internationaux; le prélèvement, la manipulation, l'enregistrement et le stockage du matériel; le déploiement de zones vertes (terres publiques inoccupées); l'amélioration génétique, les essais et la vérification; la production de matériel de parenté contrôlée. Les normes, dans chacun des domaines, sont détaillées et couvrent chaque étape de la gestion des RGF (<https://open.alberta.ca/publications/9781460131596>).

La Colombie-Britannique dispose également de politiques sur l'utilisation et le transfert des semences cultivées de façon sélective, décrites aux chapitres 8 et 9 du présent rapport. Le forestier en chef de la province fournit des conseils sur des sujets relatifs aux semences.

#### **11.6. Lois ou règlements relatifs aux ressources génétiques forestières établis au Canada**

Le règlement 144.2 sur la gestion du bois de l'Alberta a habilité les normes de l'Alberta entrées en vigueur le 1<sup>er</sup> mai 2003.

#### **11.7. État de la recherche et du développement en matière de ressources génétiques forestières**

Des équipes de recherche robustes au Québec, en Alberta et en Colombie-Britannique, auxquelles participent des scientifiques d'universités, des provinces et du gouvernement fédéral, produisent des avancées génétiques et génomiques reconnues dans le monde entier

pour des espèces d'arbres ayant une valeur commerciale et de conservation. Au Québec, les études menées en collaboration entre les universités (Université Laval), les chercheurs du gouvernement provincial et de Ressources naturelles Canada (Service canadien des forêts) comprennent l'évaluation de la diversité génétique pour la qualité du bois et les traits de résilience liés au stress abiotique et biotique, comme la résistance à la sécheresse et la résistance naturelle aux insectes nuisibles. Des études portent également sur la manière dont la diversité génétique pour ces traits nouvellement étudiés peut être intégrée dans les programmes d'amélioration génétique forestière en cours et des outils d'évaluation rapide sont développés pour évaluer les RGF aux niveaux moléculaire et génomique au sein des populations naturelles et des programmes d'amélioration génétique des arbres. L'objectif de ce travail est d'intégrer des outils d'évaluation aux opérations de gestion des programmes provinciaux d'amélioration génétique des arbres et de production de semis, en fournissant un moyen de contrôle du pedigree et de suivi de la diversité génétique des variétés cultivées de façon sélective. Les efforts de recherche collaborative en Colombie-Britannique se sont concentrés sur les traits d'adaptation et de résistance, en particulier leur compréhension dans une perspective évolutive.

Les tableaux 5.1, 5.2 et 9.1 énumèrent les études génétiques et génomiques des arbres réalisées depuis 2012. Quarante-trois de ces études ont collectivement contribué à la compréhension de la diversité génétique d'un éventail d'espèces d'arbres indigènes. Des questions fondamentales de génétique et de génomique ont été abordées dans 67 études, au moyen d'analyses de données de séquences d'organelles, de structure de gènes, de variation du nombre de copies de gènes, de réseaux de génotypes SNP, d'associations phénotypiques à l'échelle du génome et d'expression génétique. Quarante études sur les arbres ont porté sur la sélection et l'amélioration génétique.

### ***11.8. État de l'éducation et de la formation en matière de ressources génétiques forestières***

Les principales universités menant des recherches de haut niveau sur les RGF et formant un nombre important d'étudiants diplômés sont l'Université de la Colombie-Britannique (UBC), l'Université de l'Alberta (UA) et l'Université Laval. Les autres institutions ayant traditionnellement mené des recherches sur les ressources génétiques sont l'Université de Victoria et l'Université Simon Fraser en Colombie-Britannique, l'Université Lakehead en Ontario et l'Université du Nouveau-Brunswick. Les institutions actives relativement nouvelles qui produisent des étudiants diplômés dans le domaine de la génétique forestière (mais qui n'ont pas de programme de premier cycle propre à ce domaine) sont l'Université Laurentienne, l'Université Trent, l'Université Carleton (Ontario) et l'Université Concordia (Québec).

Le tableau 11.1 énumère certaines des recherches de second cycle sur les RGF d'espèces d'arbres indigènes soumises depuis 2012 dans les universités canadiennes. Environ un tiers des thèses et mémoires portent sur des traits ou des questions présentant un intérêt direct pour les programmes d'hybridation sélective des arbres; un tiers accroît les connaissances de base en matière de génétique ou de génomique d'espèces d'arbres; bon nombre des autres portent sur la conservation ou l'amélioration des effets de la pollution des sols. Cet échantillon indique que les étudiants diplômés sont formés sur un éventail de questions relatives aux ressources



génétiques qui soutiennent directement ou indirectement les programmes d'hybridation sélective des arbres.

Tableau 11.1. Échantillon des thèses et mémoires soumis depuis 2012 sur l'étude des RGF d'espèces d'arbres canadiennes.

| Université                                      | Nom du candidat     | Année | Titre (traduit) de la thèse  |
|---|---------------------|-------|--|
| Université Laval,<br>Doctorat                   | Méndez Espinoza, C. | 2018  | Résistance de l'épinette blanche à la tordeuse des bourgeons de l'épinette : contrôle génétique et interaction insecte-hôte  |
| Université Laval,<br>Doctorat                   | Lamara, M           | 2017  | Architecture génétique des caractères reliés au bois, à la croissance et à la résistance contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette chez l'épinette blanche                |
| Université Laval,<br>Doctorat                   | Sahli, A.           | 2017  | Variations du nombre de copies dans l'espace génétique de l'épinette blanche   |
| Université Laval,<br>Doctorat                   | Sena, J.S.          | 2017  | Évolution structurelle et fonctionnelle des gènes chez les conifères   |
| Université Laval,<br>Doctorat                   | Cinget, M.B.        | 2015  | Étude phylogéographique pancanadienne du sapin baumier ( <i>Abies balsamea</i> ) et de ses relations avec le sapin subalpin ( <i>Abies lasiocarpa</i> ) dans l'ouest du Canada |
| Université Laval,<br>Doctorat                   | Verta, J.P.         | 2014  | Génétique de l'expression des gènes des conifères  |
| Université de Colombie Britannique,<br>Doctorat | Ukrainetz, N.K.     | 2020  | Modèles d'interactions génotype-environnement et sensibilité à la sélection génomique dans le programme d'amélioration génétique du pin tordu en Colombie-Britannique          |
| Université de Colombie Britannique,<br>Maîtrise | Vincent Hanlon, V.  | 2018  | Les mutations somatiques hérissables s'accumulent lentement chez l'épinette de Sitka, mais augmentent considérablement le taux de mutation par génération                      |
| Université de Colombie Britannique,<br>Doctorat | Elleouet, J.        | 2018  | Lien entre l'histoire démographique et l'évolution à la limite de l'aire de répartition en expansion de l'épinette de Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> )                        |

| Université                                   | Nom du candidat      | Année | Titre (traduit) de la thèse   |
|--|----------------------|-------|---|
| Université de Colombie Britannique, Doctorat | Ian MacLachlan       | 2017  | La reproduction sélective du pin tordu et de l'épinette de l'intérieur génère des gains de croissance, mais maintient l'adaptation phénotypique et génomique au climat      |
| Université de Colombie Britannique, Doctorat | Ahmed, S.S.          | 2016  | Répercussions des programmes d'amélioration des arbres sur les rendements de l'épinette blanche et de l'épinette hybride dans la forêt boréale canadienne                   |
| Université de Colombie Britannique, Doctorat | De La Torre, A.R.    | 2012  | Structure génétique, flux de gènes et adaptation locale dans la zone hybride de l'épinette de l'intérieur   |
| Université de Colombie Britannique, Maîtrise | Nadeau, S            | 2014  | Structure génétique des populations et adaptation au climat dans l'aire de répartition du pin blanc ( <i>Pinus strobus</i> L.) et du pin argenté ( <i>Pinus monticola</i> ) |
| Université de l'Alberta, Maîtrise            | Sinclair, L.         | 2019  | Adaptation à la sécheresse de l'épinette blanche dans l'ensemble du continent : physiologie, phénologie et performance sur le terrain                                       |
| Université de l'Alberta, Doctorat            | Sebastian-Azcona, J. | 2018  | Adaptation au climat de l'épinette blanche et du pin tordu : des phénotypes aux génomes   |
| Université de l'Alberta, Maîtrise            | Sekely, J.           | 2018  | Conservation des ressources génétiques forestières en Alberta   |
| Université de l'Alberta, Doctorat            | Isaac-Renton, M.     | 2017  | Croissance et survie des génotypes de pin tordu dans le cadre d'événements climatiques extrêmes   |
| Université de l'Alberta, Doctorat            | Montwe, D.           | 2015  | Identification des génotypes de Douglas taxifolié et de pin tordu résistants à la sécheresse dans des essais de provenance par l'analyse des cernes des arbres              |
| Université de l'Alberta, Doctorat            | Ding, C.             | 2015  | Génétique écologique et quantitative de <i>Populus tremuloides</i> dans l'ouest du Canada   |

| Université                        | Nom du candidat | Année | Titre (traduit) de la thèse  |
|-----------------------------------|-----------------|-------|--|
| Université de l'Alberta, Maîtrise | Russell, E      | 2014  | Planification de la conservation des forêts, des espèces d'arbres et de leurs populations génétiques   |
| Université de l'Alberta, Maîtrise | Liepe, K        | 2014  | Variation génétique chez le pin tordu et l'épinette de l'intérieur : adaptation au climat et conséquences pour le transfert de graines   |
| Université de l'Alberta, Doctorat | Roberts, D.R.   | 2013  | Histoires biogéographiques et diversité génétique des espèces d'arbres de l'ouest de l'Amérique du Nord : conséquences relatives aux changements climatiques   |
| Université Laurentienne, Doctorat | Kalubi, K.N.    | 2018  | Analyses moléculaires comparatives entre l'érable rouge ( <i>Acer rubrum</i> ) et le peuplier faux-tremble ( <i>Populus tremuloides</i> ) exposés à une contamination métallique du sol : translocation des métaux, expression des gènes et méthylation de l'ADN |
| Université Laurentienne, Doctorat | Thériault, G.   | 2017  | Analyse moléculaire des populations de <i>Betula papyrifera</i> d'une région minière : caractérisation génétique et transcriptomique des génotypes résistants et sensibles aux métaux  |
| Université Laurentienne, Maîtrise | Makela, M.      | 2016  | Analyse moléculaire des populations de chêne rouge d'Amérique ( <i>Quercus rubra</i> ) de la région du Grand Sudbury : variation génétique et expression génétique   |
| Université Simon Fraser, Maîtrise | Zhou, C.        | 2018  | Développement de la micropropagation chez l'érable à grandes feuilles ( <i>Acer macrophyllum</i> ) et dépistage des marqueurs précoces précédant la formation de bois figuré   |
| Université de Victoria, Doctorat  | Vance, M.       | 2019  | Génomique des populations d'un conifère de haute altitude, le mélèze subalpin ( <i>Larix lyallii</i> Parl.)  |
| Université Concordia, Doctorat    | Thomson, A.     | 2013  | Phylogéographie, introgression et structure de la population des bouleaux de l'est de l'Amérique du Nord, <i>Betula alleghaniensis</i> , <i>B. papyrifera</i> et <i>B. lenta</i>   |

| Université                    | Nom du candidat | Année | Titre (traduit) de la thèse  |
|-------------------------------|-----------------|-------|--|
| Université Lakehead, Maîtrise | Alves, M.A.     | 2012  | Variation génétique et adaptation des populations de bouleaux blancs à travers le Canada   |
| Université Carleton, Maîtrise | Hayes, A.D.     | 2019  | Structure génétique de <i>Celtis tenuifolia</i> et comparaisons avec les espèces apparentées <i>C. occidentalis</i> et <i>C. laevigata</i> : conséquences pour la gestion de la conservation des populations menacées dans le sud de l'Ontario |
| Université Trent, Maîtrise    | Lumb, S.        | 2018  | Génétique des populations et exigences de scarification de <i>Gymnocladus dioicus</i>  |

### **11.9. Besoins, défis et possibilités de renforcer les institutions et les politiques nationales (ou infranationales) en matière de ressources génétiques forestières**

Une meilleure visibilité est nécessaire pour souligner l'importance des RGF. Il a été suggéré que le renforcement de la coordination et de la gestion des RGF à l'échelon national pourrait être utile, car il permettrait aux politiques de se répercuter à l'échelon provincial. L'élaboration de politiques nationales s'est généralement avérée difficile, car chaque province possède et gère indépendamment ses populations d'arbres reproducteurs. Cela affaiblit l'autorité fédérale sur les projets nationaux de conservation des RGF. Par conséquent, les progrès dans cette direction nécessitent l'engagement et la collaboration active des gouvernements provinciaux. CONFORGEN a cherché à obtenir un soutien en matière de conservation des RGF à l'échelle nationale en consultant toutes les compétences arborées. Toutefois, l'insuffisance des ressources a empêché cette organisation d'établir une stratégie nationale et les progrès dans ce sens ont faibli ces dernières années.

Des limitations au niveau provincial existent également quant à la conservation des RGF. En Ontario, par exemple, l'hybridation sélective opérationnelle des arbres n'est plus assurée par le gouvernement; ce qui s'accompagne d'une grave perte d'expertise. En particulier, les limitations en termes de ressources et de personnel entravent le développement d'institutions et de politiques relatives aux RGF. En Alberta, il faut clarifier les rôles des différents organismes qui participent à la gestion des RGF et à l'application des politiques. Les défis à relever sont les suivants : éviter les doubles emplois en matière d'administration et d'établissement de rapports, assurer la cohérence entre les compétences et éviter les tâches impossibles à gérer. La principale possibilité perçue pour contribuer à remédier à cette situation est un meilleur partage des données.

### **11.10. Priorités en matière de renforcement des capacités dans ce domaine**

Aucune priorité de renforcement des capacités n'a été relevée spécifiquement pour ce domaine.

## **Ouvrages cités**

Ahmed, S.S., 2016. Impacts of tree improvement programs on yields of white spruce and hybrid spruce in the Canadian boreal forest. Thèse de doctorat, Université de Colombie-Britannique

Alves, M.A., 2014. Genetic variation and adaptation of white birch populations across Canada. Thèse de maîtrise, Université Lakehead, Thunder Bay (Ontario)

Benomar, L., M.S. Lamhamedi, I. Villeneuve, A. Rainville, J. Beaulieu, J. Bousquet et H.A. Margolis, 2015. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate. *Tree physiology* 35(8) : 864 à 878.

British Columbia Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development. 2018. Chief Forester's Standards for Seed Use. Modifications établies le 5 avril 2018; date d'entrée en vigueur le 6 août 2018. Victoria, BC, Canada.  
<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/forestry/managing-our-forest-resources/treeseed/legislation-standards/chief-forester-s-standards-for-seed-use> (page consultée en janvier 2021).

Canadian Forest Genetics Association. 2020. [www.cfga-acgf.com](http://www.cfga-acgf.com) (page consultée en janvier 2021)

Chamberland, V., F. Robichaud, M. Perron, N. Gélinas, J. Bousquet et J. Beaulieu, 2020. Conventional versus genomic selection for white spruce improvement: a comparison of costs and benefits of plantations on Quebec public lands. *Tree Genetics & Genomes* 16(1) : 1 à 16.

Cinget, B., 2015. Étude phylogéographique pancanadienne du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) et de ses relations avec le sapin subalpin (*Abies lasiocarpa* [Hook] Nutt.) dans l'ouest du Canada. Thèse de doctorat, Laval (Québec)

De La Torre Cuba, A.R., 2012. Genetic structure, gene flow and local adaptation in the interior spruce hybrid zone. Thèse de doctorat, Université de Colombie-Britannique

De La Torre, A.R., T. Wang, B. Jaquish et S.N. Aitken, 2014. Adaptation and exogenous selection in a *Picea glauca* × *Picea engelmannii* hybrid zone: implications for forest management under climate change. *New Phytologist* 201(2) : 687 à 699.

Ding, C. 2015. Ecological and quantitative genetics of *Populus tremuloides* in western Canada. Thèse de doctorat, Université de l'Alberta

Elleouet, J.S., 2018. Linking demographic history and evolution at the expanding range edge of Sitka spruce (*Picea sitchensis*). Thèse de doctorat, Université de Colombie-Britannique

FGC. (2015). Forest Genetic Council of British Columbia: Strategic Plan 2015-2020. Victoria, 816 BC. [https://forestgeneticsbc.ca/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2020/07/FGC\\_Strategic\\_Plan\\_Web\\_2015-20\\_04Nov2015.pdf](https://forestgeneticsbc.ca/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2020/07/FGC_Strategic_Plan_Web_2015-20_04Nov2015.pdf) (page consultée en mars 2021)

Gouvernement de l'Alberta. 2016. Alberta Forest Genetic Resource Management and Conservation Standards. Third revision of STIA. Forestry Division, Alberta Agriculture and Forestry Edmonton (Alberta), Canada. <https://open.alberta.ca/publications/9781460131596> (page consultée en mars 2021).

Gouvernement de l'Alberta. 2020. Forests Act: Timber Management Regulation. Règlement de l'Alberta 60/1973 avec modifications jusqu'à et comprenant le règlement de l'Alberta 236/2020; en vigueur à compter du 25 novembre 2020.

[https://www.qp.alberta.ca/documents/Regs/1973\\_060.pdf](https://www.qp.alberta.ca/documents/Regs/1973_060.pdf) (page consultée en janvier 2021)

Hanlon, V.C.T., 2018. Heritable somatic mutations accumulate slowly in Sitka spruce but increase the per-generation mutation rate considerably. Mémoire de maîtrise, Université de la Colombie-Britannique.

Hayes, A.D., 2019. Structure génétique de *Celtis tenuifolia* et comparaisons avec les espèces apparentées *C. occidentalis* et *C. laevigata* : Implications for the conservation management of threatened populations in Southern Ontario. Mémoire de maîtrise, Université Carleton, Ottawa (Ontario)

Isaac-Renton, M. 2017. Growth and survival of lodgepole pine genotypes under extreme climate events. Thèse de doctorat, Université de l'Alberta

Kalubi, K.N., 2018. Comparative molecular analyses between red maple (*Acer rubrum*) and trembling aspen (*Populus tremuloides*) exposed to soil metal contamination: metal translocation, gene expression, and DNA methylation. Thèse de doctorat, Université Laurentienne de Sudbury (Ontario)

Lamara, M. 2017. Architecture génétique des caractères reliés au bois, à la croissance et à la résistance contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette chez l'épinette blanche Thèse de doctorat, Université Laval (Québec)

Liepe, K. 2014. Genetic variation in lodgepole pine and interior spruce: adaptation to climate and implications for seed transfer. Mémoire de maîtrise, Université de l'Alberta

Lumb, S. 2018. Population genetics and scarification requirements of *Gymnocladus dioicus*. Mémoire de maîtrise, Université Trent, Peterborough (Ontario)

MacLachlan, I.R., 2017. Selective breeding of lodgepole pine and interior spruce generates growth gains but maintains phenotypic and genomic adaptation to climate. Thèse de doctorat, Université de Colombie-Britannique

Makela, M., 2016. Molecular analysis of northern red oak (*Quercus rubra*) populations from the Greater Sudbury Region: genetic variation and gene expression. Mémoire de maîtrise, Université Laurentienne de Sudbury (Ontario)

Méndez Espinoza, C., 2018. White spruce resistance against the spruce budworm: Genetic control and insect-host interaction. Thèse de doctorat. Université Laval (Québec)

Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. 2020. Politique de l'Ontario en matière de transfert des semences forestières <https://www.ontario.ca/fr/page/politique-de-lontario-en-matiere-de-transfert-des-semences-forestieres> (page consultée en janvier 2021)

Montwe, D. 2015. Identifying drought resistant genotypes of Douglas-fir and lodgepole pine in provenance trials through tree ring analysis. Thèse de doctorat, Université de l'Alberta

Nadeau, S., 2014. Genetic population structure and adaptation to climate across the range of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) and western white pine (*Pinus monticola* Douglas ex D. Don). Mémoire de maîtrise, Université de la Colombie-Britannique,

Ressources naturelles Canada. 2017. CONFORGEN : Conservation of forest genetic resources in Canada. [www.CONFORGEN.ca](http://www.CONFORGEN.ca) (consulté en janvier 2021)

Roberts, D.R. 2013. Histoires biogéographiques et diversité génétique des espèces d'arbres de l'ouest de l'Amérique du Nord : conséquences relatives aux changements climatiques Thèse de doctorat, Université de l'Alberta

Russell, E. 2014. Conservation planning for forests, tree species and their genetic populations. Mémoire de maîtrise, Université de l'Alberta

Sahli, A., 2017. Copy number variations in the gene space of *Picea glauca*. Thèse de doctorat. Université Laval. Québec

Sebastian Azcona, J., 2019. Adaptation of white spruce populations to extreme climate events: implications for assisted migration practices in Western Canada. Thèse de doctorat, Université de l'Alberta

Sekely, J. 2018. Conservation of forest genetic resources in Alberta. Mémoire de maîtrise, Université de l'Alberta

Sinclair, L. 2019. Drought adaptation of white spruce across the continent: physiology, phenology and field performance. Mémoire de maîtrise, Université de l'Alberta

Stival Sena, J., 2017. Structural and functional evolution of genes in conifers. Thèse de doctorat, Université Laval (Québec)

Therault, G., 2017. Molecular analysis of *Betula papyrifera* populations from a mining reclaimed region: genetic and transcriptome characterization of metal resistant and susceptible genotypes. Thèse de doctorat, Université Laurentienne de Sudbury (Ontario)

Thomson, A., 2013. Phylogeography, introgression, and population structure of the eastern North American birches *Betula alleghaniensis*, *B. papyrifera*, and *B. lenta*. Thèse de doctorat, Université Concordia, Montréal (Québec)

Ukrainetz, N.K., 2020. Patterns of genotype-environment interactions and sensitivity to genomic selection in the lodgepole pine breeding program in British Columbia. Thèse de doctorat, Université de Colombie-Britannique,

Vance, M., 2019. Population genomics of a timberline conifer, subalpine larch (*Larix lyallii* Parl.). Thèse de doctorat, Université de Victoria (Colombie-Britannique)

Verta, Jukka-Pekka. 2014. Génétique de l'expression des gènes des conifères, Thèse de doctorat. Université Laval (Québec)

Zhou, C., 2018. Development of micro-propagation in bigleaf maple (*Acer macrophyllum*) and screening for early markers preceding figured wood formation. Mémoire de maîtrise, Science : Département des sciences biologiques, Université Simon Fraser (Colombie-Britannique)

## **Chapitre 12 : Coopération internationale et régionale**

### ***12.1. Projets internationaux et régionaux sur les ressources génétiques forestières auxquels le Canada a participé, ou participe, depuis 2013***

Les généticiens forestiers canadiens ont collaboré avec des partenaires de recherche internationaux dans le cadre de nombreux projets depuis 2013, faisant fortement progresser notre capacité à gérer efficacement les ressources génétiques forestières (RGF) du Canada. Sally Aitken, du Conservation Genetics Centre de l'Université de la Colombie-Britannique, a par exemple travaillé avec d'éminents scientifiques européens et cosigné un article fondateur dans un livre commémoratif marquant les 10 ans du programme de recherche européen EVOLTREE (Alberto et coll., 2016). Le financement de l'initiative canadienne AdapTree a rendu possible la collaboration avec des scientifiques européens dans ce contexte. À titre de deuxième exemple, El-Kassaby et son groupe de l'université de la Colombie-Britannique ont collaboré à de nombreux projets avec des partenaires de recherche en Chine (voir, par exemple, Sun et coll. 2020a) et en Europe (Lstiburek et coll. 2020B), s'appuyant sur les connaissances génétiques et génomiques de base sur les arbres forestiers pour les appliquer à l'hybridation sélective des arbres. La recherche collaborative se poursuit également sur la génétique et la génomique de *Populus spp* de part et d'autre de la frontière entre les États-Unis et le Canada, ainsi qu'avec des chercheurs en Chine et dans d'autres pays (voir, par exemple, McKown et coll., 2017). Enfin, le groupe de recherche sur la génétique et la génomique des arbres au Québec collabore avec des scientifiques d'autres régions du Canada ainsi que d'autres pays (p. ex., Isabel et coll., 2019).

Le Groupe de travail sur les ressources génétiques forestières de la Commission des forêts pour l'Amérique du Nord, qui fonctionne sous les auspices de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), est un exemple de réseau régional continuant d'être bénéfique pour le Canada (tableau 12.1). Depuis sa création en 1961, ce groupe de travail a abordé de multiples questions de recherche sur les RGF en collaboration entre les États-Unis, le Mexique et le Canada. Il se concentre sur la recherche en génétique de la conservation (principalement au Mexique) et sur la sensibilisation à la gestion durable des RGF tout en tenant compte du changement climatique, à l'aide de séances de formation, de conférences, de publications, de scénarios modèles et de lignes directrices sur les sources de semences ou la migration (Commission des forêts pour l'Amérique du Nord, 2017). Le groupe de travail fournit des outils scientifiques et politiques de haute qualité pour soutenir la gestion forestière durable et la conservation des RGF, tout en établissant des liens avec les organismes nationaux de gestion forestière et en contribuant au plan d'action mondial de la FAO sur les RGF.

### ***12.2. Façon dont le Canada a bénéficié de la coopération internationale et régionale en matière de ressources génétiques forestières***

Le principal avantage pour le Canada de la recherche collaborative internationale se concrétise par des percées en recherche et en échange d'information qui mènent à de nouvelles approches et à de nouveaux outils visant à relever les défis de la génétique des arbres au Canada. De nombreux programmes touchant aux RGF ont profité au Canada, que ce soit en encourageant les efforts de recherche, en améliorant la collaboration, la technologie et l'échange de données, ou en clarifiant certains enjeux relatifs aux revendications des peuples autochtones pouvant inclure des zones forestières. Les exemples décrits dans le rapport 2012 du Canada sur les RGF



comprennent l'initiative de cartographie de la végétation circumboréale, l'International Union of Forestry Organizations (IUFRO), le projet de banque de semences du millénaire et le Taiga Rescue Network.

### ***12.3. Contributions apportées à la coopération internationale et régionale en matière de ressources génétiques forestières***

Le Canada apporte une contribution importante à la coopération dans le domaine des RGF, en partageant ses capacités de recherche et son expertise et en offrant des formations. Les contributions canadiennes les plus directes sont celles du Groupe de travail sur les ressources génétiques forestières de la Commission des forêts pour l'Amérique du Nord.

### ***12.4. Application des résultats et/ou des avantages de la coopération internationale et régionale pour la conservation, l'utilisation et le développement des ressources génétiques forestières au Canada***

La collaboration à la recherche génomique internationale sur l'adaptation aux changements climatiques s'applique aux mêmes questions au Canada.

### ***12.5. Besoins, défis et possibilités de renforcer la coopération internationale et régionale en matière de ressources génétiques forestières***

Le niveau de collaboration internationale au Canada pour les RGF semble avoir diminué au cours des huit dernières années, peut-être en raison de la réduction des budgets de recherche qui limite les déplacements ou les échanges scientifiques au niveau requis pour développer de solides collaborations. Il est important de noter que la répartition de la diversité génétique dans la nature et les forces qui façonnent fortement cette diversité ou son potentiel d'adaptation (p. ex., les changements climatiques, les espèces envahissantes, les ravageurs et les maladies des forêts) dépassent les frontières politiques, de sorte que la gestion des RGF nécessite une coopération à l'échelle nationale et régionale.

Le Canada compte actuellement de nombreux partenariats avec les États-Unis et le Mexique (p. ex., la Commission des forêts pour l'Amérique du Nord de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). Comme l'indique le rapport 2012 du Canada sur les RGF, une collaboration visant à amalgamer les connaissances et les données relatives aux RGF hébergées par divers organismes et institutions dans les trois pays serait très bénéfique, car cela permettrait d'améliorer les stratégies de conservation et de gestion à l'échelle du continent. Le partage des inventaires nationaux des ressources forestières entre le Canada, les États-Unis et le Mexique pourrait inclure des cartes des écosystèmes forestiers et des bases de données sur les perturbations. Les possibilités de renforcer davantage les relations et les études transfrontalières deviendront plus évidentes à mesure que les connaissances sur les RGF s'accumuleront.

Le suivi, qui peut être étroitement lié à la gestion de l'information, est également important pour comprendre et reconnaître l'importance des RGF. La surveillance peut porter sur les RGF directement, ainsi que sur les facteurs de stress biotiques (p. ex., les espèces exotiques envahissantes) ou abiotiques (p. ex., le climat) qui ont une incidence sur ces ressources à l'échelle régionale (p. ex., l'Amérique du Nord). Ce type de travail est très utile pour élaborer des stratégies efficaces à long terme en matière de conservation des RGF et pour atténuer les

répercussions des facteurs de stress ci-dessus ou pour élaborer des stratégies d'atténuation appropriées à l'échelle. En ce qui concerne les ravageurs exotiques envahissants pouvant avoir des répercussions sur le secteur forestier, le partage des données concernant les épidémies dans d'autres régions (p. ex., les forêts européennes et asiatiques) est également important, car cela peut aider les chercheurs et les gestionnaires forestiers canadiens à élaborer des réponses proactives aux stress potentiels futurs.

Il est également utile de poursuivre la mise en réseau, afin de maintenir les capacités de recherche existantes et de les développer. La poursuite de la recherche collaborative, comme celle qui est en cours grâce à des groupes de travail (GT) de la Commission des forêts pour l'Amérique du Nord, est importante, car elle permet d'aborder des questions souvent traitées au niveau de la répartition des espèces en Amérique du Nord. Il est également important de renforcer les capacités de la recherche à informer les politiques aux niveaux national et régional, et à coordonner leur mise en œuvre.

Les priorités quant aux futures collaborations internationales comprennent la documentation de l'ampleur et de la distribution géographique propres aux espèces des RGF dans la nature, le renforcement de l'éducation sur l'importance des RGF, l'amélioration de la gestion des informations sur les RGF et l'établissement de systèmes d'alerte précoce en matière de RGF. Les priorités à court terme au Canada pour atteindre ces objectifs comprennent l'amélioration de la gestion et de la conservation in situ et ex-situ, l'amélioration de l'utilisation des RGF, l'expansion de la recherche sur les RGF, la législation sur la conservation des RGF et les campagnes de sensibilisation du public.

### ***Ouvrages cités***

Alberto, F.J., S.N. Aitken, R. Alia, S.C. Gonzalez-Martinez, H. Hanninen et coll., 2016. Potential for evolutionary responses to climate change – Evidence from tree populations. *Evolution of Trees and forest communities*. PG Edition, 175 pages.

Isabel, N., J.A. Holliday et S.N. Aitken, 2020. Forest genomics: Advancing climate adaptation, forest health, productivity, and conservation. *Ecological Applications* 13(1) : 3 à 10.

Jia, K.H., W. Zhao, P.A. Maier, X.G. Hu, Y. Jin, S.S. Zhou, S.Q. Jiao, Y.A. El-Kassaby, T. Wang, X.R. Wang et J.F. Mao, 2020a. Landscape genomics predicts climate change-related genetic offset for the widespread *Platyclusus orientalis* (Cupressaceae). *Evolutionary Applications* 13(4) : 665 à 676.

Lstiburek, M., S. Schueler, Y.A. El-Kassaby, G.R. Hodge, J. Stejskal, J. Korecky, P. Skorpik, H. Konrad et T. Geburek, 2020b. In Situ Genetic Evaluation of European Larch Across Climatic Regions Using Marker-Based Pedigree Reconstruction. *Frontiers in Genetics* 11 : 28

McKown, A.D., J. Klápště, R.D. Guy, R.Y. Soolanayakanahally, J. La Mantia, I. Porth, O. Skyba, F. Unda, C.J. Douglas, Y.A. El-Kassaby et R.C. Hamelin, 2017. Sexual homomorphism in dioecious trees: extensive tests fail to detect sexual dimorphism in *Populus*. *Scientific Reports* 7(1) : 1 à 14.

## **Chapitre 13. Actions recommandées pour l'avenir**

### **13.1 Disponibilité des informations sur les ressources génétiques forestières**

Le Canada a réalisé de grands progrès en matière de production de connaissances sur les ressources génétiques et de génomique des espèces d'arbres indigènes commercialement importantes. De grands progrès ont été réalisés en matière de compréhension des modèles de diversité des traits adaptatifs et de la base génétique des traits liés à la productivité. Les effets des changements climatiques se font maintenant sentir dans l'ensemble du pays et plusieurs compétences modifient actuellement leurs méthodes de transfert des semences. Des lacunes importantes subsistent toutefois, tant en termes de connaissances scientifiques que de partage des connaissances avec les décideurs politiques et le public.

Besoins en recherche :

- 1) connaissances génétiques et génomiques de base sur les espèces n'ayant pas été traditionnellement utilisées dans les programmes de reboisement, afin de répondre aux besoins en matériel de plantation pour la restauration et la remise en état des terres;
- 2) répercussions des changements climatiques et règles de transfert des semences pour mener à bien les efforts de restauration;
- 3) offre et demande en semences pour la restauration et la remise en état;
- 4) compréhension de la réponse adaptative aux changements climatiques en termes d'évolution, notamment en testant des génotypes d'arbres cultivés dans des conditions climatiques antérieures pour déterminer s'ils sont adaptés aux nouveaux environnements climatiques;
- 5) mécanismes et répartition de la tolérance ou de la résistance aux insectes et aux maladies;
- 6) compréhension de la base génétique et tendances de la diversité des propriétés du bois;
- 7) amélioration du caractère pratique de l'utilisation des technologies de génomique.

Besoins en matière de sensibilisation et de partage de l'information :

- 1) élaboration de stratégies de communication ciblées propres aux ressources génétiques forestières (RGF);
- 2) sensibilisation accrue à l'importance des RGF dans la gestion des ressources forestières. Il est nécessaire d'incorporer cet aspect dans les cours de gestion forestière aux niveaux collégial et universitaire (p. ex., comme c'est actuellement le cas au Québec).

### **13.2 Conservation des ressources génétiques forestières**

Besoins relevés :

- 1) soutien financier accru pour l'évaluation des RGF *in situ* pour toutes les espèces d'arbres au Canada, afin de fournir une base de données en vue de prioriser les populations d'arbres pour la conservation *in situ* et *ex-situ*, d'établir des mesures de base de la diversité génétique propre aux espèces par rapport auxquelles évaluer le succès et les besoins en évolution de la conservation des RGF, à la lumière des pressions environnementales changeantes ou des applications forestières, d'explorer la variation

génétique potentiellement adaptative selon les pressions environnementales ou les applications forestières;

- 2) soutien financier accru pour la conservation *ex-situ* des ressources génétiques, à la fois par l'extension des capacités de stockage traditionnelles et non traditionnelles du matériel génétique des arbres et par le maintien de banques de gènes sur le terrain et d'essais de provenance et de descendance;
- 3) stockage centralisé des données (comme les bases de données sur les graines d'arbres) intégré entre les compétences, mais aussi au niveau international, pour les espèces nécessitant une conservation;
- 4) capacité accrue de recherche et d'expertise en matière de comportement de stockage des semences;
- 5) sensibilisation au coût à long terme de l'inaction par rapport au coût de la conservation;
- 6) élaboration d'une stratégie nationale de conservation à long terme des semences et du germoplasme;
- 7) inventaire et suivi des RGF nécessaires à l'élaboration et à la mise en œuvre de plans et de stratégies d'utilisation et de conservation, notamment en ce qui concerne les espèces moins étudiées;
- 8) donner la priorité aux espèces répertoriées comme étant en danger ou menacées pour la conservation des populations dans l'ensemble de leur aire de répartition d'origine.

### **13.3 Utilisation, développement et gestion des ressources génétiques forestières**

Le plus grand problème auquel sont confrontés les généticiens forestiers et les gestionnaires de forêts est de faire face aux répercussions des changements climatiques. L'élaboration et le déploiement de nouvelles approches de transfert de semences basées sur le climat pour la sélection et le déploiement des lots de semences présentent de nouveaux défis. L'industrie peut ne pas vouloir ou pouvoir accepter les complexités supplémentaires; les ministères provinciaux des forêts doivent donc être prêts à fournir le soutien nécessaire.

Besoins relevés :

- 1) intégrer une composante plus solide en matière de santé des forêts dans les programmes d'amélioration, afin de tirer pleinement parti du matériel d'amélioration de génération avancée;
- 2) améliorer les programmes d'hybridation sélective des arbres pour les espèces prometteuses, tant pour la foresterie commerciale que pour la restauration et la remise en état;
- 3) développer une méthodologie, afin de rationaliser ou d'optimiser l'amélioration génétique pour de multiples traits et diversifier la gamme de produits finis, tout en répondant à tous les intérêts potentiels des clients avec les programmes existants; par exemple, résoudre le défi d'augmenter le gain de productivité sans nuire au gain génétique d'adaptation;
- 4) élaborer des inventaires de ressources génétiques forestières, en particulier en déterminant les ressources génétiques des arbres liées à l'adaptation et à la résilience, à l'usage des gestionnaires de forêts;

- 5) y compris la sensibilité et la résilience aux insectes et aux maladies dans la modélisation prédictive;
- 6) développer des méthodes d'évaluation rapide (telles que les marqueurs génétiques) pour identifier rapidement les ressources génétiques précieuses dans un grand nombre d'espèces; cela inclut les espèces rares et abondantes, les angiospermes ainsi que les gymnospermes, afin d'accroître l'agilité de la gestion forestière sous des climats changeants;
- 7) accéder à des semences d'espèces d'arbres et d'arbustes n'étant pas actuellement utilisées pour la régénération artificielle dans un contexte de foresterie commerciale;
- 8) accroître les capacités de gestion de programmes d'hybridation sélective des arbres au niveau des compétences; ceci est particulièrement important alors que les provinces passent à des approches de transfert de semences basées sur le climat et que les vergers à graines de deuxième et troisième génération sont en cours de développement. Des capacités accrues pour établir, tester et maintenir des vergers de semences de génération avancée sont nécessaires, ainsi qu'un personnel hautement qualifié pour réaliser la modélisation, les essais sur le terrain et la planification de la collecte et du déploiement dans le cadre des nouvelles règles de transfert de semences basées sur le climat. Les capacités requises vont de l'établissement, de la documentation et du maintien d'essais sur le terrain (tels que les essais de gain réalisé) au développement et à l'application d'outils de sélection génomique.

#### ***13.4 Politiques, institutions et renforcement des capacités***

Les administrations publiques aux niveaux provincial et fédéral doivent adopter une position plus forte et accroître leur rôle dans le domaine de l'hybridation sélective des arbres.

L'incidence croissante des incendies, des insectes nuisibles et des maladies, associée à de longues rotations, rend la gestion des RGF moins intéressante qu'auparavant en tant qu'investissement; ce qui réduit les incitations à l'hybridation sélective des arbres pour l'industrie.

Il est généralement nécessaire de renforcer le leadership et l'engagement du personnel au niveau provincial et fédéral, afin de sensibiliser la population et les décideurs à l'importance des RGF. Malgré les barrières inhérentes au transfert de politiques et de méthodologies entre les provinces, ou entre les gouvernements provinciaux et fédéral, une coordination et une gérance plus robuste des RGF au niveau national ont été mentionnées comme éventuellement utiles, en raison de leur potentiel de répercussions au niveau provincial.

Les efforts visant à renforcer les institutions et les politiques nationales du Canada en matière de RGF se sont essouffés ces dernières années. Jusqu'en 2017, CONFORGEN a cherché à obtenir un soutien à l'échelle nationale, en faisant appel à toutes les compétences arborées, et s'est efforcé d'obtenir un soutien pour les stratégies de conservation des RGF. Toutefois, l'insuffisance des ressources, combinée aux complications liées à l'harmonisation des approches entre les provinces (comme indiqué ci-dessus), a empêché les membres du CONFORGEN de poursuivre l'élaboration de stratégies nationales.

Toutes les compétences en sont aux premiers stades des approches de transfert de semences basées sur le climat. Un renforcement supplémentaire des capacités est nécessaire pour

apprécier pleinement les complexités introduites par ces approches et garantir leur application appropriée.

Besoins en matière de politiques et d'institutions :

- 1) financement stable; le financement annuel ne permet pas la vision à long terme nécessaire au développement et au maintien des programmes de RGF;
- 2) l'équilibre entre le développement économique et les mandats d'intendance est un défi dans chaque compétence;
- 3) accroître la collaboration; la collaboration en matière de recherche entre le gouvernement et les universités s'est accrue dans certaines compétences, mais une plus grande interaction serait productive, de même qu'une plus grande collaboration entre les ministères et entre les provinces;
- 4) accroissement du nombre de personnes qualifiées dans le domaine de la génétique forestière ainsi que des insectes et des maladies des forêts;
- 5) soutien d'un espace de pépinière adéquat et des planteurs d'arbres, qui peuvent tous deux être des facteurs limitatifs des programmes de plantation;
- 6) plus grand soutien scientifique à de multiples niveaux et lieux, ainsi que financement accru (p. ex., de Génome Canada) pour comprendre les ressources génétiques des arbres, comme une valeur en soi plutôt qu'un sous-produit de l'amélioration génétique des arbres ou d'autres efforts de recherche;
- 7) plus grande clarté des rôles des différents organismes participant à la gestion des RGF et à l'application des politiques; les défis à relever sont les suivants : éviter les doubles emplois en matière d'administration et de rapports, assurer la cohérence entre les différentes compétences et éviter les tâches impossibles à gérer;
- 8) renforcer et soutenir CONFORGEN.

Besoins en matière de renforcement des capacités :

- 1) la capacité au niveau du gouvernement provincial est faible dans la plupart des compétences, en raison des départs à la retraite et des réductions de financement; il est vital de rétablir les capacités perdues;
- 2) renforcement des capacités de gestion des complexités de l'amélioration génétique des arbres accompagnant les efforts de mise en œuvre des approches de transfert de semences basées sur le climat, tout en tirant parti des vergers à graines de génération avancée existants, constitués à l'origine pour des zones spécifiques et la sélection de traits multiples, en mettant un accent croissant sur les traits adaptatifs;
- 3) développement d'un personnel technique et de recherche hautement qualifié pour aborder l'adaptation aux changements climatiques, l'amélioration génétique pour des traits multiples (y compris ceux qui sont importants pour la résilience) et l'élargissement des connaissances sur les espèces à faible valeur économique ou de moindre priorité dans les programmes de reboisement;
- 4) l'augmentation des capacités de gestion des données est de plus en plus complexe du fait des complexités de l'amélioration génétique et de la sélection susmentionnées, en particulier dans le contexte de l'utilisation croissante de la sélection génomique et assistée par marqueurs.