

Analyse des risques de feux de forêt dans la région Nord-du-Québec

Rapport de projet



Analyse des risques de feux de forêt dans la région Nord-du-Québec

Coordination

Jean-François Carle, ing.f., M.Sc.

Rédaction

Stephen Yamasaki, Ph.D.

Analyses

Jean-François Carle, ing.f., M.Sc.
Guillaume Cyr, ing.f., M.Sc.
Stephen Yamasaki, Ph.D.

Collaboration

Bruno Forest, ing.f.
Yanick Dionne, tech.f.
Louis Pelletier, ing.f.
Bruno Pichette, tech.f., ARPSE

Révision

Jean-François Carle, ing.f., M.Sc.
Guillaume Cyr, ing.f., M.Sc.
Jean Girard, ing.f., M.Sc.
Louis Pelletier, ing.f.

Référence

Forestier en chef, 2022. Analyse des risques de feux de forêt dans la région Nord-du-Québec, Roberval, Québec, 18 pages.

Le 19 janvier 2022

Forestier en chef
845, Boulevard Saint-Joseph
Roberval (Québec) G8H 2L6
Téléphone : 418 275 7770
Courriel : bureau@fec.gouv.qc.ca
Internet : www.forestierenchef.gouv.qc.ca

Table des matières

Table des matières	iii
Introduction	1
Méthodologie	1
Données de feux.....	2
Historique des feux.....	2
Carte d'initiation des feux	4
Modèles d'aménagement forestier	4
Modèles à l'échelle de la région	5
Description de la forêt.....	5
Courbes de rendement.....	6
Interventions sylvicoles.....	6
Modèles FMT-R10	6
Modèles SELES-R10 (Sous-régions et unités d'aménagement)	7
Modèle à l'échelle de l'unité d'aménagement.....	7
Scénarios testés et résultats	8
Rendement soutenu sans feux	8
Taux de brûlage et niveau de récolte à rendement soutenu	8
Durabilité des niveaux de récolte en présence de feux.....	9
Adaptations au régime de feux	11
Plantation de pin gris.....	11
Contrôle des feux	11
Précaution à l'échelle de l'unité d'aménagement et de la sous-région Est.....	12
Conclusions	13
Prochaines étapes	13
Références	14



Introduction

Les feux de forêt ont un impact important sur la forêt boréale et sur les biens et services qu'elle rend à la société¹. Ainsi, l'objectif 1 de l'orientation 4 de la *Stratégie d'aménagement durable des forêts*² souligne la nécessité d'intégrer les perturbations naturelles à la gestion des forêts, et plus spécifiquement :

1. de « mettre au point des modèles qui permettent d'évaluer les répercussions des perturbations naturelles sur l'état des forêts et sur le calcul des possibilités forestières » et
2. de « prendre en considération les résultats issus des modèles de perturbations naturelles dans la détermination des possibilités forestières et dans les plans d'aménagement forestier intégré ».

En effet, une meilleure évaluation des risques associés aux feux de forêt dans l'estimation des niveaux de récolte durable permettrait de visualiser leur possible impact sur la forêt du futur. Ces analyses de risque contribuent à éclairer le Forestier en chef lors de la détermination des possibilités forestières 2023-2028.

En 2015, des facteurs de précaution ont été appliqués dans les unités d'aménagement 026-61 et 026-62 de la région Nord-du-Québec. Ces réductions ont été maintenues lors de la détermination des possibilités pour la période 2018-2023.

Les objectifs du présent projet sont :

- ▶ de développer une modélisation des feux de forêt qui est adaptée au contexte des travaux du Forestier en chef
- ▶ d'informer le Forestier en chef sur les effets de différents scénarios sur les possibilités forestières de la région Nord-du-Québec, et
- ▶ de tester différentes stratégies d'adaptation en réponse aux impacts des feux de forêt.

Méthodologie

Les données qui ont servi au projet sont celles qui ont alimenté le calcul des possibilités forestières. Par exemple, les définitions des régions forestières, des unités d'aménagement, du territoire de l'*Entente concernant une nouvelle relation entre le gouvernement du Québec et les Cris du Québec*³ et les unités territoriales de référence sont celles utilisées dans le calcul. Les autres données incluses au projet sont décrites dans les sections suivantes. Aux fins de l'analyse et sur la base des unités d'aménagement, la région Nord-du-Québec a été subdivisée en trois sous-régions (Ouest, Centre et Est) (figure 1).

Le territoire auquel s'applique l'*Entente* est situé essentiellement dans les sous-régions Centre et Est. Cette dernière sous-région, particulièrement dans sa partie nord, est celle qui a connu la plus grande fréquence de feux dans la région. C'est aussi dans cette sous-région que se situent les deux unités d'aménagement auxquelles des facteurs de précaution ont été appliqués dans le passé.

¹ Stocks et coll., 2003, Gauthier et coll., 2015

² <https://mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/strategie-amenagement-durable-forets.pdf>

³ <https://www.quebec.ca/gouv/ministeres-et-organismes/secretariat-aux-affaires-autochtones/publications/liste-des-ententes-conclues-par-nation-et-par-communaute/cris/>



Données de feux

Historique des feux

Les données de feux utilisées sont celles produites par la Direction des inventaires forestiers du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs⁴, disponibles pour la période 1976 à 2019 pour la région (figure 1). Les polygones de feux ont été découpés aux contours de la région et ces superficies ont été compilées pour chaque année de l'historique (figure 2). Ensuite, ces polygones de feux ont été découpés aux contours des trois sous-régions pour les analyses à cette échelle.

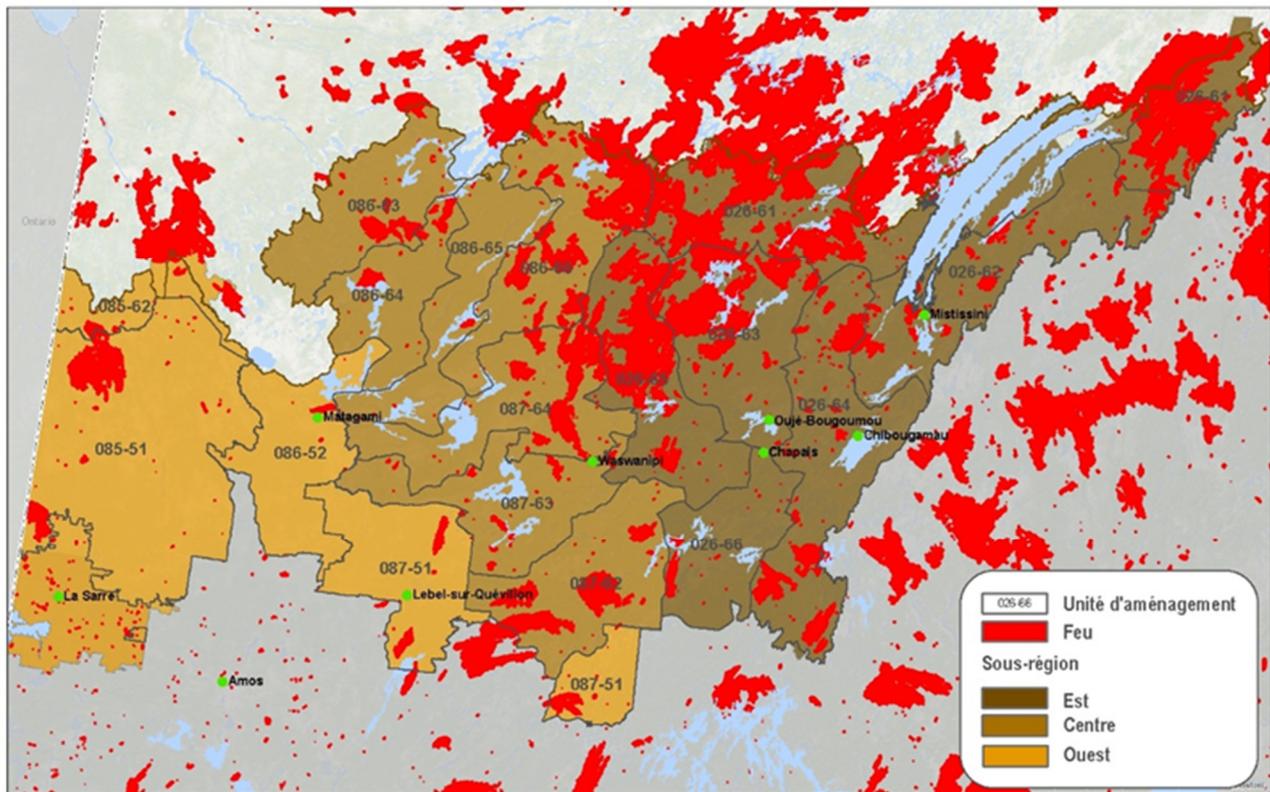


Figure 1. Les unités d'aménagement, les feux de 1976 à 2019 (en rouge) et les trois sous-régions (Ouest, Centre et Est, en tons de brun) de l'aire d'étude dans la région Nord-du-Québec

⁴ <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/feux-de-foret>

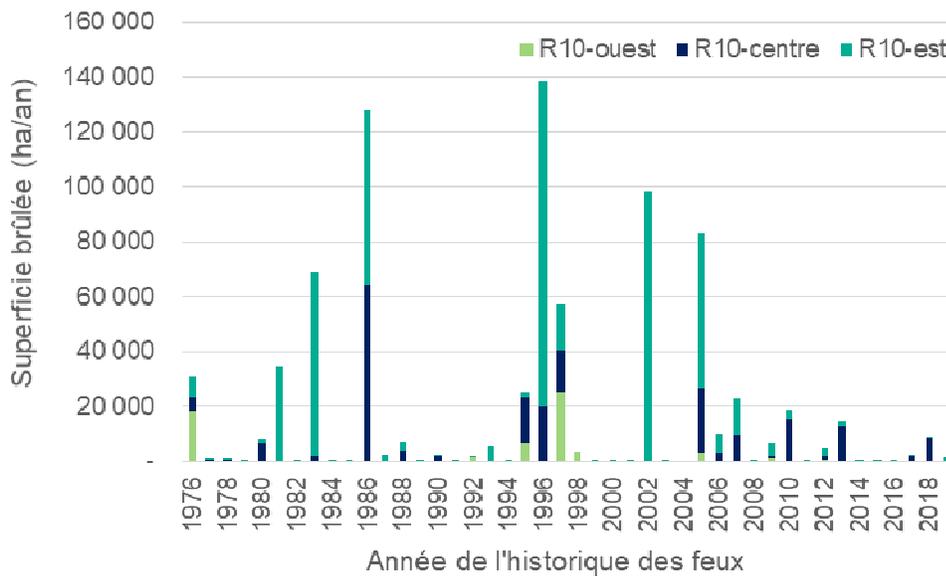


Figure 2. Superficie brûlée annuellement dans la région Nord-du-Québec de 1976 à 2019. Les couleurs correspondent aux sous-régions Ouest (en vert pâle), Centre (en bleu foncé) et Est (en vert).

Les réalisations de feu

Dans le contexte de ce projet, une réalisation de feu est une liste de superficie à brûler annuellement par un modèle, sur un horizon de 150 ans. Cette liste a été créée en échantillonnant, de façon aléatoire et avec remise, l'historique des feux de 1976 à 2019. Chaque réalisation peut être considérée comme un exemple, parmi plusieurs autres exemples possibles, d'un régime de feu futur pour l'aire d'étude.

Aux fins du projet, 100 réalisations de feux ont été créées. Chacune de ces 100 réalisations est considérée comme étant aussi probable que les autres, en supposant que les conditions de feux demeurent identiques à celles pour la période historique de référence.

Une centaine de réalisations de feux sur un horizon de 150 ans (encadré) a été créée pour la région et chaque sous-région en échantillonnant l'historique de feux de 1976 à 2019 (figure 2).

À partir de chacune des 100 réalisations de feux, une modélisation a été exécutée à l'aide du modèle SELES-R10 (voir plus bas). Lors de ces simulations, la superficie brûlée annuellement au sein de chacune des unités d'aménagement a été enregistrée, créant ainsi des réalisations de feux à l'échelle des unités d'aménagement qui respectent le saut d'échelle entre ces dernières et les sous-régions.

Pour la modélisation dans SELES, l'historique des feux de 1976 à 2019 a aussi servi à créer des réalisations de taille des feux. Ces dernières ont servi à régler la taille maximale de chaque événement de feu. Le modèle SELES-R10 échantillonne parmi ces réalisations de taille des feux jusqu'à ce que la cible de superficie à brûler annuellement soit atteinte.



Carte d'initiation des feux

Avec l'historique des feux de 1976 à 2019 à l'échelle provinciale convertie en format matriciel, la fréquence des feux de chaque cellule a été lissée sur un rayon de 100 kilomètres. Cette surface lissée a servi de probabilité d'initiation des feux dans le contexte de la modélisation avec SELES-R10 (figure 3).

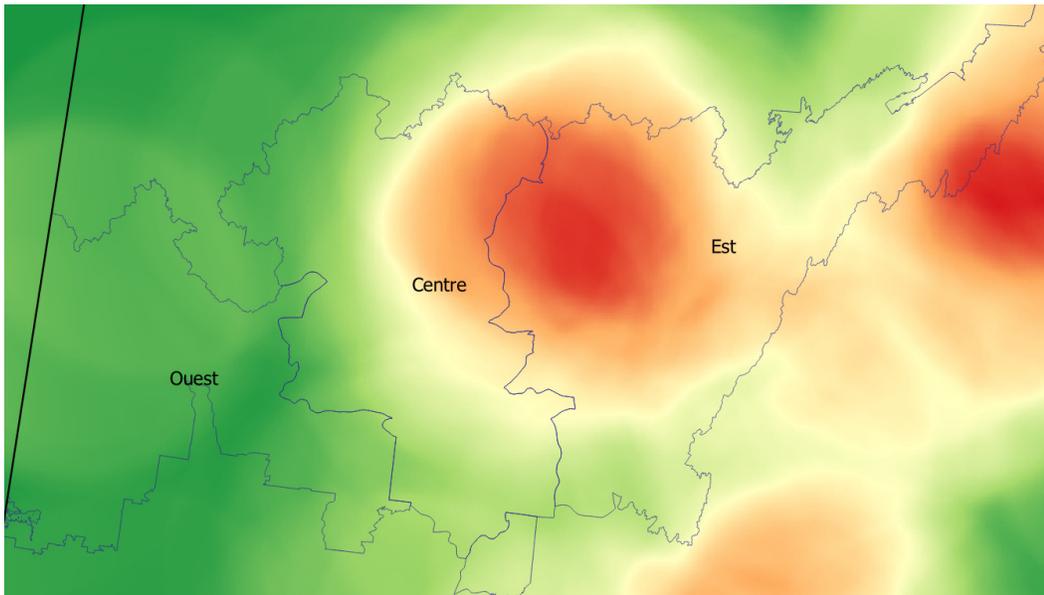


Figure 3. Fréquence des feux de 1976 à 2019, lissée sur un rayon de 100 kilomètres. Cette surface a servi de probabilité d'initiation des feux dans le cadre de la modélisation avec SELES-R10. Le rouge indique une fréquence historique plus élevée et le vert une fréquence plus basse.

Modèles d'aménagement forestier

Deux outils de modélisation ont été utilisés : FMT et SELES. FMT est un outil développé par le Forestier en chef. Il permet, entre autres, la prise en charge de modèles Woodstock⁵ et la résolution de problèmes de programmation linéaire pas à pas par replanification. SELES (« Spatially Explicit Landscape Event Simulator »)⁶ est un outil de simulation qui permet de faire intervenir l'occurrence d'événements stochastiques. Le but recherché est de pouvoir comparer les résultats de différentes approches de modélisation. Une comparaison sommaire est présentée au tableau 1.

⁵ Le logiciel Woodstock, un outil de programmation linéaire classique, est utilisé pour le calcul des possibilités forestières du Forestier en chef.

⁶ Fall et Fall, 2001



Tableau 1. Comparaison des trois modèles utilisés selon certains éléments clés

Paramètres	FMT-026-61	FMT-R10	SELES-R10
Horizon temporel	150 ans avec replanification aux 5 ans	150 ans avec replanification aux 5 ans	150 ans
Pas de temps par période	5 ans	5 ans	1 an
Étendue du modèle	026-61	Région 10	Région 10
Spatialisation des traitements sylvicoles	Non spatial	Non spatial	Par cellule de 202 hectares
Volume stabilisé	Résineux	Total	Total
Type de modélisation	Replanification (optimisation / simulation)	Replanification (optimisation / simulation)	Simulation
Superficie des traitements sylvicoles	Plafond avec variation (+/- 10 %)	Plafond par unité d'aménagement	Plafond par unité d'aménagement
Probabilité spatiale d'initiation des feux	Uniforme	Uniforme	Structurée par l'historique
Propagation des feux	Non spatiale	Non spatiale	Aux 8 cellules voisines éligibles
Vitesse de récolte en fonction de la perturbation (ENRQC)	Considérée	Considération partielle	Considération partielle
Contraintes de Vieilles forêts (RADF) et de forêts de plus de 7 mètres	Considérées	Considérées	Considérées

Modèles à l'échelle de la région

Pour permettre une analyse à l'échelle de la région et des sous-régions, deux modèles ont été préparés : FMT-R10 (un modèle de replanification basé sur FMT) et SELES-R10 (un modèle de simulation implémenté en SELES). Un modèle Woodstock à l'échelle provinciale, initialement développé pour la modélisation du carbone forestier, a été adapté aux fins du projet.

Description de la forêt

La forêt est représentée par des pixels d'une taille de 202 hectares. La forêt y est décrite à l'aide d'un âge de départ et de divers attributs tels que la composition (sur la base d'une courbe de volume marchand par groupe d'essences), l'indicateur du dernier traitement sylvicole, la disponibilité à la récolte (à savoir si la superficie est destinée à l'aménagement ou non) et sa localisation par unité d'aménagement, par unité territoriale de référence et par unité homogène de végétation. L'imputation de valeurs à chaque pixel a été réalisée à partir des modèles utilisés pour déterminer les possibilités forestières 2013-2018 et de diverses méthodes statistiques.



Courbes de rendement

Les courbes de rendement décrivant l'évolution de la forêt représentent une moyenne des courbes disponibles dans les modèles de calcul des possibilités forestières utilisés pour la détermination des possibilités de 2013-2018. Vingt et une courbes actuelles ont été créées pour sept groupes de composition (à l'aide d'une méthode de partitionnement en k-moyennes) et trois niveaux de productivité ont été créés à l'aide d'une régression quantile. En fonction du type de peuplement et du traitement sylvicole appliqué à celui-ci, un peuplement peut, après perturbation, être dirigé vers (i) la même courbe, (ii) une courbe de plantation ou (iii) une courbe d'éclaircie précommerciale. Le volume par unité de surface est suivi en trois grands groupes d'essences : résineux, feuillus intolérants et feuillus tolérants.

Interventions sylvicoles

Compte tenu de la stratégie d'aménagement déployée dans la région, les interventions sylvicoles simulées dans le futur sont la coupe totale avec prélèvement de 100 %, l'éclaircie précommerciale et la plantation.

Modèles FMT-R10

FMT est une librairie C++ créée par le Forestier en chef qui interprète des modèles de planification forestière Woodstock. Son approche générique permet d'utiliser des modèles de planification forestière et de générer des solutions. L'outil peut aussi être utilisé pour analyser l'impact d'événements stochastiques comme les épisodes de feux de forêt en utilisant la replanification.

Lors d'une replanification, FMT commence par exécuter pour la première période (« P1 » à la figure 4) une optimisation sur 150 ans de l'aménagement forestier à l'aide du modèle stratégique de FMT (« CPF » à la figure 4) et de l'état de la forêt au temps 0. Cette première optimisation est équivalente à une planification stratégique comme celle complétée dans le contexte du calcul des possibilités forestières du Forestier en chef à l'aide de Woodstock.

Il est important de noter que le modèle stratégique ne modifie pas l'état initial de la forêt, mais sert uniquement à produire un plan d'aménagement stratégique qui sera communiqué (flèches jaunes à la figure 4) au modèle tactique (« TAC » à la figure 4). L'état de la forêt initial est ensuite passé au modèle stochastique de feux (« Feux » à la figure 4), qui brûle des superficies de forêt selon la réalisation de feux modélisée (voir la section « Réalisations de feux »). Cet état modifié par le feu est ensuite communiqué au modèle de planification tactique, qui lui tente de réaliser l'aménagement modélisé pour une seule période (5 ans). Le degré de conformité des actions du modèle tactique à la stratégie d'aménagement du modèle stratégique peut être contrôlé (le cercle bleu muni d'une flèche à la figure 4).

Dans cette étude, ce degré de conformité a été maintenu au maximum. Pour combler la cible de récolte communiquée par la planification stratégique, la planification tactique priorise d'abord la récupération des bois brûlés éligibles, puis cherche à combler la cible de récolte en coupes totales. Ensuite, les autres travaux sylvicoles (plantation et éclaircie précommerciale) sont appliqués par le modèle tactique. L'état de la forêt modifié par les feux, la récolte, l'évolution des courbes et l'aménagement lors de la période 1 est transféré à la période 2, et le processus recommence, en débutant par un nouvel exercice de planification stratégique de 150 ans (« CPF » dans la boîte P2 à la figure 4).

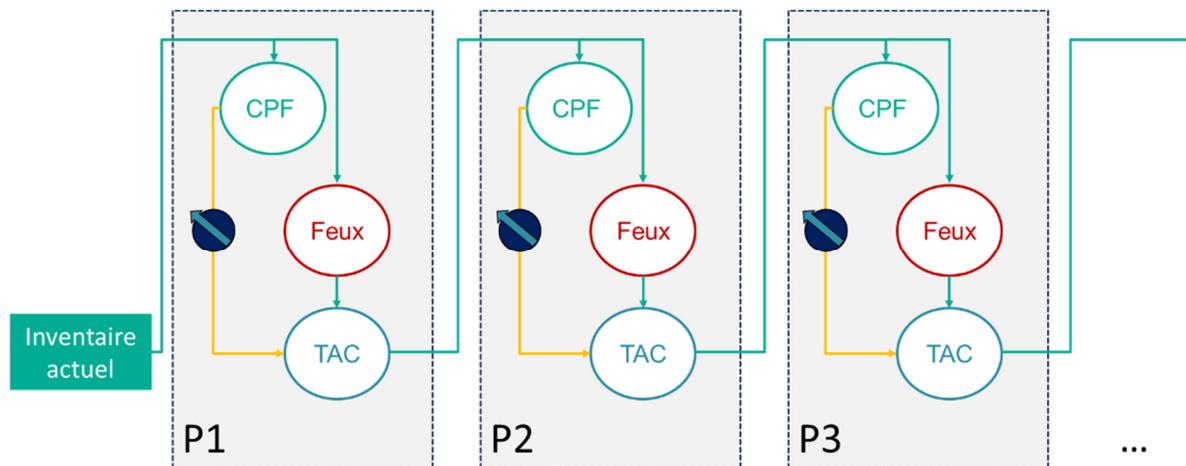


Figure 4. Illustration du processus de replanification dans FMT sur trois périodes (P1, P2 et P3); CPF : modèle de planification stratégique du calcul des possibilités forestières, Feux : modèle stochastique de feux, TAC : modèle de planification tactique. Les éléments de la figure sont expliqués dans le texte.

Modèles SELES-R10 (Sous-régions et unités d'aménagement)

Le modèle SELES-R10 est un modèle stochastique implémenté en SELES⁷ et basé sur les développements et les méthodologies du modèle BFEC-CC-02, un modèle simulant les impacts des changements climatiques sur la forêt dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean⁸. Toutefois, les scénarios de changements climatiques ne sont pas pris en compte par le modèle SELES-R10, tous les paramètres du modèle reflètent les conditions historiques. De plus, le modèle SELES-R10 ne corrige ni les taux de brûlage ni la probabilité de propagation des feux à l'aide de la composition de la forêt⁹. Le modèle SELES-R10 est alimenté par les mêmes données forestières que les modèles FMT-R10 (inventaires, strates et éligibilités aux traitements).

Contrairement aux autres modèles développés avec FMT, ce modèle procède par simulation et n'effectue donc pas d'optimisation, quoique des éléments de stratégie d'aménagement puissent être introduits dans le calcul des probabilités de récolte à chaque étape de temps.

Modèle à l'échelle de l'unité d'aménagement

Un modèle Woodstock a été créé pour l'unité d'aménagement 026-61 (une des deux unités d'aménagement auxquelles des facteurs de précaution sont appliqués depuis le calcul des possibilités forestières 2013-2018) pour le calcul de 2023-2028. Il a servi de base pour la création d'un modèle FMT de replanification à l'échelle de l'unité d'aménagement. Par rapport aux modèles issus du modèle

⁷ Fall et Fall, 2001

⁸ Forestier en chef, 2020

⁹ Tel que présenté dans Bernier et coll., 2016



provincial (FMT-R10 et SELES-R10), ce modèle contient un plus grand nombre de types forestiers, de contraintes et de traitements sylvicoles.

Scénarios testés et résultats

Les principaux résultats de l'étude sont présentés aux sous-sections suivantes. Plusieurs analyses se rapportent à la sous-région Est, puisque cette sous-région a connu, historiquement, le plus fort taux de brûlage de la région (figure 1).

Rendement soutenu sans feux

Les niveaux de récolte à rendement soutenu en absence de feux, comme estimé par SELES-R10 et FMT-R10 sont présentés au tableau 2. L'effet d'optimiser les choix d'aménagement sur l'ensemble de l'horizon (avec FMT) par rapport à une simulation (avec SELES) qui ne fait que réaliser les actions demandées est observé, ce qui explique la différence entre les divers types de modélisation. La nature non spatiale de la modélisation avec FMT contribue aussi aux écarts constatés dans les résultats.

Tableau 2. Niveaux de récolte à rendement soutenu en absence de feux estimés à l'aide de FMT-R10 et SELES-R10.

Sous-régions	SELES-R10 (m ³ /an)	FMT-R10 (m ³ /an)	Écart (%) (FMT-SELES) / FMT
EST	1 699 500	1 825 000	6,9
CENTRE	2 178 600	2 406 900	9,5
OUEST	1 580 600	1 794 300	11,9

Taux de brûlage et niveau de récolte à rendement soutenu

Les différents niveaux de récolte à rendement soutenu issus des 100 réalisations de feu, tels qu'estimés par le modèle SELES-R10 pour la sous-région Est, sont présentés à la figure 5 en fonction de la longueur du cycle de feux. De façon générale, plus un cycle de feux est court (et donc plus il y a de feux fréquents), moins le niveau de récolte qui peut être maintenu est élevé. En effet, pour un cycle de feux donné, plusieurs niveaux de récolte à rendement soutenu sont possibles. La sévérité de l'impact d'un cycle de feu est influencée par la répartition des événements de feux dans le temps et par la nature des peuplements brûlés.

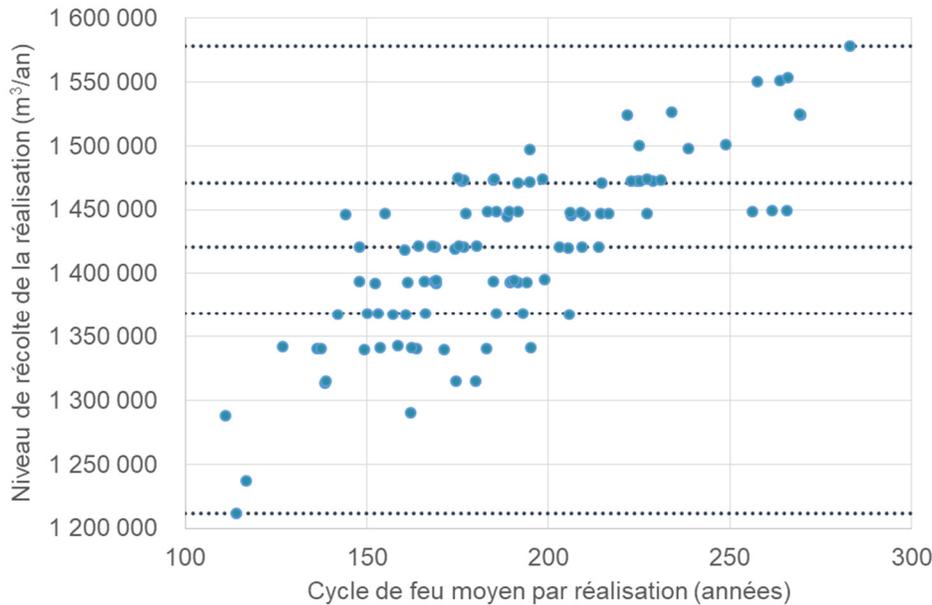


Figure 5. Niveaux de récolte à rendement soutenu en fonction des cycles de feux de 100 réalisations de feux dans la sous-région Est. Les lignes pointillées indiquent les niveaux de récolte correspondants, du bas vers le haut, aux percentiles 0 (minimum), 25, 50, 75 et 100 (maximum) des taux de brûlage.

Durabilité des niveaux de récolte en présence de feux

Pour la sous-région Est, la probabilité de durabilité (la probabilité de pouvoir maintenir un certain niveau de récolte au fil du temps en présence d'incertitude) de différents niveaux de récolte a été estimée. Les niveaux de récolte testés correspondent au niveau de récolte à rendement soutenu en absence de feux, auquel des facteurs de précaution sont appliqués, allant de 0 à 35 % (figure 6). Pour chaque niveau de récolte, cette probabilité est estimée à l'aide des modèles FMT-R10 et SELES-R10. Pour ce faire, les modèles doivent récolter le niveau de récolte ciblé à tous les pas de temps. Une modélisation est complétée pour chacune des 100 réalisations de feux. À chaque pas de temps, la proportion des simulations qui n'ont pas connu de rupture de stock (pour lesquelles un écart de 20 % est permis) est retenue comme représentative de la probabilité de durabilité de ce niveau de récolte à ce pas de temps. Le niveau de récolte sans facteur de précaution indique une probabilité de durabilité de zéro à 60 ans (figure 6).

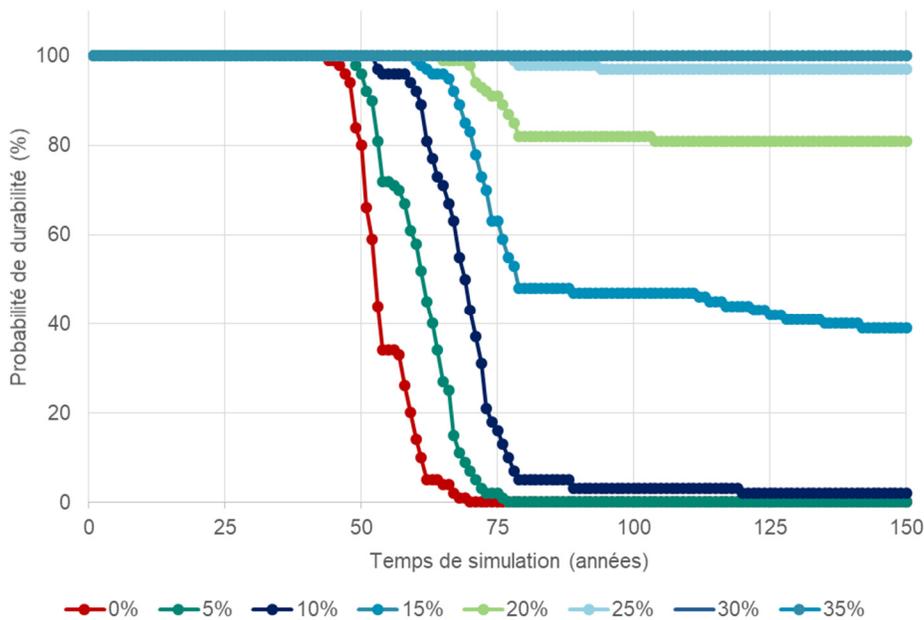


Figure 6. Durabilité des niveaux de récolte correspondant à différents facteurs de précaution dans la sous-région Est, estimée à l'aide du modèle SELES-R10. La durabilité du niveau de récolte sans facteur de précaution est indiquée en rouge.

La figure 7 illustre les résultats issus de FMT-R10 et FMT-2661. Ces modèles montrent des résultats semblables à ceux du modèle SELES-R10. Sans facteur de précaution, la probabilité de durabilité est à peu près de 50 % à 45 ans et est quasi nulle à partir de 80 ans.

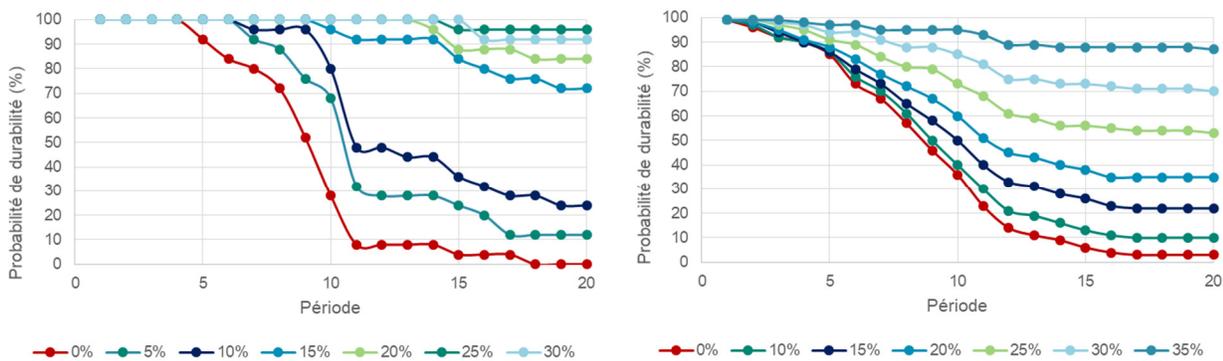


Figure 7. Probabilité de durabilité pour différents facteurs de précaution (sans facteur de précaution en rouge) pour la sous-région Est avec le modèle FMT-R10 (à gauche) et pour l'unité d'aménagement 026-61 avec le modèle FMT-2661 (à droite).



Adaptations au régime de feux

Quelques mesures d'adaptation ont été testées dans le cadre du projet : (i) la plantation avec le pin gris (*Pinus banksiana*), une essence à croissance plus rapide et qui présente un potentiel de régénération naturelle après feu meilleur que l'épinette noire usuellement employée, (ii) un contrôle accru des feux par la SOPFEU, contrôle qui pourrait bénéficier d'opportunités technologiques importantes (drones, télédétection, intelligence artificielle) et qui pourrait contribuer à limiter les feux au cours des années à venir et (iii) l'application des facteurs de précaution à l'échelle des sous-régions. Les résultats sont présentés dans les sections suivantes.

Plantation de pin gris

La plantation de pin gris a été testée à l'aide du modèle SELES-R10 dans la sous-région Est. Trois niveaux de plantation ont été testés : la superficie maximale en plantation spécifiée par la région (Statu quo et PIG*1.0), une augmentation de 50 % de la superficie plantée (PIG*1.5) et deux fois plus de plantation (PIG*2.0). Les résultats sont présentés au tableau 3.

Tableau 3. Superficie plantée et niveaux de récolte moyens par an, selon différentes essences et superficie de plantation (Statu quo : plantation d'épinette noire selon les cibles régionales, PIG*1.0 : plantation de pin gris selon les cibles régionales; PIG*1.5 : plantation de pin gris sur 1,5 fois la superficie et PIG*2.0 : plantation de pin gris sur 2 fois la superficie moyenne annuelle.

Scénarios	Superficie moyenne plantée (ha/an)	Augmentation (%)	Volume total moyen récolté (m ³ /an)	Augmentation (%)
Statu quo	4 940	0 %	1 418 000	0 %
PIG*1.0	6 260	27 %	1 471 900	4 %
PIG*1.5	8 340	69 %	1 504 100	6 %
PIG*2.0	9 510	93 %	1 516 200	7 %

La plantation de pin gris augmente légèrement le volume moyen qui peut être récolté au cours de la simulation. Il faut noter qu'à cause de la rotation plus courte, la plantation de pin gris engendre plus d'opportunités (en superficie) pour la plantation que l'épinette noire. La susceptibilité aux échecs de régénération n'ayant pas été évaluée, le gain de l'utilisation accrue du pin gris n'a pas été quantifié sur cet aspect.

Contrôle des feux

À l'aide du modèle SELES-R10, des simulations ont été réalisées pour quantifier, pour l'unité d'aménagement 026-61 et chacune des 100 réalisations de feux, la réduction minimale de la superficie brûlée requise pour que le niveau de récolte à rendement soutenu avec et sans facteur de précaution de 20 % se maintienne sans rupture de stock. Pour ces simulations, le même taux de réduction de la superficie brûlée est appliqué tout au long de la simulation, sur la superficie à brûler spécifiée par chaque réalisation de feux.



Tableau 4. Résultats de la recherche des taux de contrôle des feux requis pour permettre des taux de récolte avec et sans facteur de précaution.

Réalisations de feux	Contrôle des feux, facteur de précaution de 20 %	Contrôle des feux, sans facteur de précaution
Moins sévères	-25,0 %	97,8 %
Médianes	0,2 %	99,0 %
Plus sévères	18,1 %	98,5 %

Les résultats indiquent que sans facteur de précaution dans l'unité d'aménagement 026-61, les feux doivent être presque complètement contrôlés pour assurer la durabilité du niveau de récolte (tableau 4). Avec un facteur de précaution de 20 %, la plupart des réalisations affichant de faibles taux de brûlage (c'est-à-dire les 25 réalisations dont les cycles de feux sont les plus longs) pourraient voir leur taux de brûlage augmenter (de 25 % en moyenne) sans impact sur la durabilité des niveaux de récolte (tableau 4). Même avec un facteur de précaution en place, un contrôle des feux accru serait nécessaire pour maintenir la durabilité des 25 réalisations de feux les plus sévères (une baisse de 18 % de la superficie brûlée, en moyenne (tableau 4)).

Précaution à l'échelle de l'unité d'aménagement et de la sous-région Est

L'effet d'une stabilisation des niveaux de récolte et de l'application des facteurs de précaution à deux échelles différentes, celle de la sous-région et de l'unité d'aménagement, ont été testés à l'aide du modèle SELES-R10.

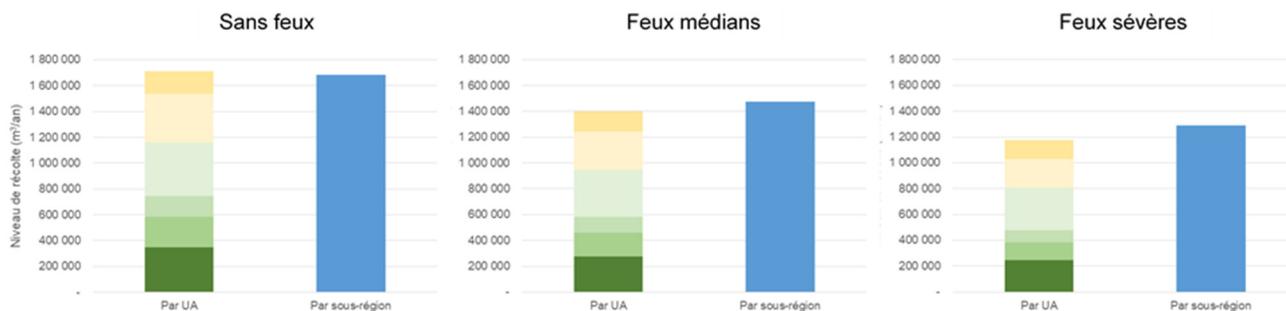


Figure 8. Comparaison d'une stabilisation du niveau de récolte et de l'application des facteurs de précaution à deux échelles distinctes (la sous-région et l'unité d'aménagement) pour trois intensités de brûlage : sans feux (à gauche) et avec la réalisation de feux médiane (au centre). Sous la réalisation de feux sévères, cette augmentation est de 9 %.

Les résultats indiquent qu'en absence de feux, le niveau de récolte à rendement soutenu estimé à l'échelle de la sous-région Est et à l'échelle individuelle de chacune des unités d'aménagement est presque identique (figure 8, à gauche). Avec la réalisation de feux médiane, le niveau de récolte à rendement soutenu pour la sous-région Est augmente de 4 % par rapport à la somme des estimations par unité d'aménagement (figure 8, au centre). Sous la réalisation de feux sévère (figure 8, à droite), cette augmentation est de 9 %.



Conclusions

Plusieurs conclusions peuvent être tirées de ces travaux.

En général :

- ▶ les résultats issus des différentes méthodes de modélisation (avec les modèles (i) régional, (ii) de calcul des possibilités forestières et (iii) avec SELES) convergent
- ▶ globalement, les résultats concordent avec les travaux de recherche déjà publiés sur le sujet
- ▶ le projet a stimulé l'innovation en modélisation par replanification et par simulation.

Pour les unités d'aménagement 026-61 et 026-62 :

- ▶ les analyses suggèrent que le niveau de récolte sans facteur de précaution n'est pas durable en présence de feux, malgré l'application de la replanification (l'approche *a posteriori*)
- ▶ il apparaît qu'il soit nécessaire d'éteindre la presque totalité des feux pour maintenir le niveau de récolte « sans feu ». Ceci étant très improbable, cette solution d'elle-même n'est pas suffisante pour pallier à l'effet des feux.

Pour la sous-région Est :

- ▶ les résultats des tests d'adaptation (plantation de pin gris, contrôle des feux, calcul par sous-région) montrent qu'il est possible d'atténuer en partie, mais non entièrement, l'impact des feux sur le niveau de récolte.

Prochaines étapes

Pour la suite, il sera pertinent de travailler sur les objectifs suivants :

- ▶ développer d'autres mesures d'adaptation avec les secteurs du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs et les intervenants du milieu. Des éléments, telle l'organisation spatiale, notamment en raison du recours à la coupe mosaïque déployée dans le cadre de l'*Entente concernant une nouvelle relation entre le gouvernement du Québec et les Cris du Québec*, pourraient avoir des effets à la baisse sur la propagation des feux. L'augmentation des feuillus dans la régénération serait aussi à explorer
- ▶ intégrer une considération de l'équité intergénérationnelle (une répartition équitable des biens et services produits par la forêt parmi les générations actuelles et futures) en déterminant, par exemple, l'effet d'une baisse ou d'une hausse du niveau de récolte en début de modélisation sur le niveau de récolte à plus long terme
- ▶ explorer l'utilisation de facteurs de précaution, leur mise en œuvre et leur impact sur la durabilité de la récolte
- ▶ explorer différentes avenues pour pallier aux risques de feux de forêt afin d'aménager la forêt durablement, par exemple, par la création d'une marge de manœuvre supplémentaire par différents moyens
- ▶ évaluer les stratégies d'aménagement forestier en fonction des changements climatiques.



Références

- Bernier, P.Y., Gauthier, S., Jean, P.O., Manka, F., Boulanger, Y., Beaudoin, A. et Guindon, L. 2016. Mapping local effects of forest properties on fire risk across Canada. *Forests*. doi/10.3390/f7080157.
- Fall, A. et Fall, J. 2001. A domain-specific language for models of landscape dynamics. *Ecol. Model.* 141: 1-18.
- Forestier en chef, 2020. Intégration des changements climatiques et développement de la capacité d'adaptation dans la détermination des niveaux de récolte au Québec, Roberval, Québec, 60 pages.
- Gauthier, S., Bernier, P.Y., Boulanger, Y., Guo, J., Guindon, L., Beaudoin, A. et Boucher, D. 2015. Vulnerability of timber supply to projected changes in fire regime in Canada's managed forests. *Can. J. For. Res.* 45: 1439-1447.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. 2015. Stratégie d'aménagement durable des forêts. Québec, Québec, 39 pages.
- Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L. et Skinner, W.R. 2003. Large forest fires in Canada, 1959 – 1997. *J. Geophys. Res.* 108(D1): 8149. doi: 10.1029/2001JD000484.

