



Photo : S. Chalifour (SOPFEU) 2007

## Nouvel outil de prédiction de la régénération forestière 5 ans après feu dans la sapinière à bouleau blanc

Durant l'été 2010, de grandes superficies forestières ont brûlé en Haute-Mauricie (105 000 ha environ). Immédiatement après le passage d'un feu, des questions importantes se posent pour les aménagistes forestiers : La régénération naturelle sera-t-elle suffisante? Quelle sera la composition des peuplements après feu? Quelle sera l'ampleur des travaux sylvicoles à planifier, en fonction des objectifs de production poursuivis et de l'état de la régénération naturelle (densité, composition)?

Pour aider la planification des interventions sylvicoles sur ces territoires brûlés, le CERFO a développé, en 2012, plusieurs modèles de prédiction de la régénération naturelle en essences commerciales (Côté *et al.* 2012). Cette étude représente une amélioration d'un premier travail effectué par le CERFO dans les années 2000, qui proposait une première série de clés prédictives de la régénération après feu (Bouffroy *et al.* 2001).

### Objectifs poursuivis

Trois principaux objectifs étaient poursuivis dans le cadre de cette étude :

- Développer de nouveaux modèles de prédiction de la régénération forestière 5 ans après feu, dont le pouvoir prédictif serait meilleur que celui des modèles développés en 2000;
- Appliquer ces nouveaux modèles aux principaux territoires qui ont brûlé en Mauricie en 2010, dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc;
- Documenter, pour ces territoires brûlés, les besoins en travaux d'éducation en fonction de l'état de la régénération naturelle prédite (plantation, regarni, dépressage, dégagement...).

### Territoire d'étude

Les modèles de prédiction ont été construits à partir de données localisées dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest, plus précisément sur le territoire qui a brûlé en 1995 près du village de Parent en Haute-Mauricie (62 300 ha). Ces modèles ont ensuite été appliqués aux cinq grands feux qui ont brûlé en Haute-Mauricie en 2010 et qui sont localisés dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest (Figure 1).

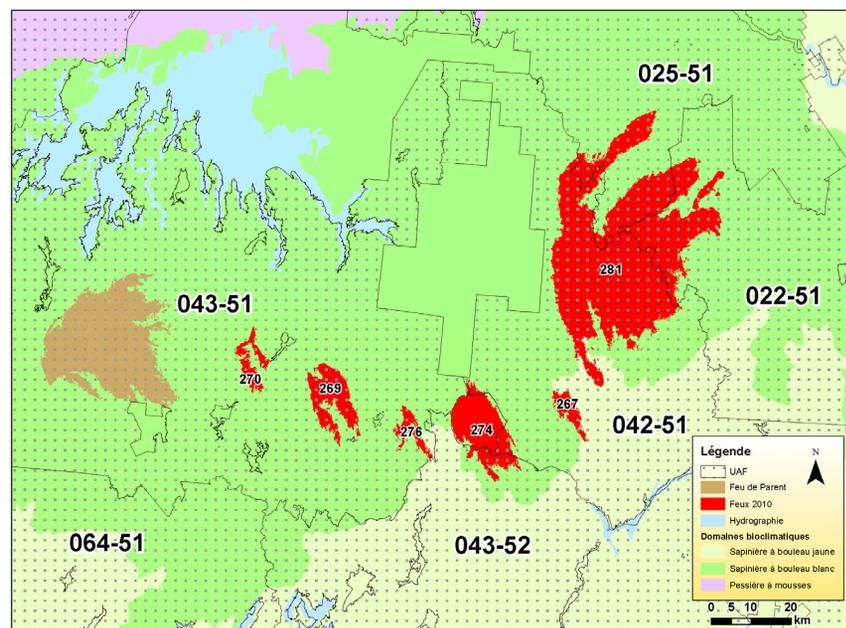


Figure 1 : Localisation du feu de Parent ayant brûlé en 1995 et des feux de 2010 localisés en Mauricie dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc

## Autécologie et succès de régénération après feu des principales essences commerciales présentes

Cinq principales essences forestières commerciales sont présentes dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc : l'épinette noire, le pin gris, le sapin baumier, le bouleau blanc et le peuplier faux-tremble. La plupart de ces essences sont particulièrement bien adaptées au feu et se régénèrent avec succès après une telle perturbation. En fait, seul **le sapin baumier** disparaît à court et moyen termes après un feu en l'absence d'arbres survivants, puisque cette essence ne présente aucun mécanisme de reproduction adapté au feu (mortalité des arbres et des semences suite au feu; aucun mécanisme de reproduction végétative après feu; faible possibilité de recolonisation à partir d'arbres survivants car dissémination des graines sur de faibles distances).



**Le pin gris et l'épinette noire** possèdent des semences contenues dans des cônes sérotineux ou semi-sérotineux, qui survivent au passage du feu et qui germent avec succès suite à son passage (Figure 2).

Figure 2 : Semis de pin gris régénérés après un feu

**Les feuillus intolérants** (bouleau blanc et peuplier faux-tremble) se régénèrent facilement par voie végétative après un feu, à proximité des arbres mères brûlés (Figure 3). De plus, si leurs semences ne survivent pas au feu, elles peuvent voyager sur de grandes distances, ce qui permet la colonisation de secteurs brûlés grâce aux arbres survivants dispersés à l'intérieur et aux



Figure 3 : Drageons de peuplier après un feu

limites du feu. Dans le cas du peuplier faux-tremble, les semences peuvent parcourir plusieurs kilomètres. Pour le bouleau, les distances sont en général beaucoup plus réduites, mais augmentent sur la neige durcie. Enfin, l'intensité du feu influence la mortalité des arbres mais aussi la nature du lit de germination présent après feu : règle générale, plus les dommages causés par le feu sont sévères, plus la couche de matière organique est amincie et le sol minéral, exposé. Ce substrat constitue un lit de germination favorable, autant pour les deux feuillus intolérants que pour l'épinette noire et le pin gris<sup>1</sup>.

## Construction des nouveaux modèles de prédiction de la régénération 5 ans après feu

### Variables décisionnelles testées

Les modèles prédisent, à l'échelle de chaque peuplement écoforestier brûlé, **le coefficient de distribution de la régénération pour les 5 principales essences forestières commerciales** présentes et les regroupements d'essences (résineux et feuillus). Le choix des variables explicatives testées en 2012 a reposé sur la connaissance des facteurs qui influencent le succès de régénération après feu et la disponibilité des données pour tout le territoire susceptible de brûler dans le futur. Ces variables sont regroupées en 3 familles : **la composition en essences avant feu, le type de station et l'intensité du feu**. Ces trois familles de variables avaient déjà été retenues dans les modèles développés en 2001. L'utilisation de données avec une meilleure précision a permis d'améliorer les modèles de 2012. Ainsi, les informations sur la composition en essences avant feu et le type de station proviennent d'une photo-interprétation réalisée selon les normes de la nouvelle approche d'inventaire par peuplement forestier (NAIPF), contrairement à l'utilisation de données du 3<sup>e</sup> décennal en 2000. La méthode NAIPF permet de connaître la proportion des essences présentes dans la strate arborescente et la densité du couvert, exprimées à 10 % près. De plus, les données de type écologique, dépôt de surface et drainage devraient être améliorées par rapport à celles disponibles sur les cartes écoforestières du 3<sup>e</sup> décennal, étant donnée la meilleure précision du découpage des polygones écoforestiers et la qualification *a priori* et non *a posteriori* de ces données à l'échelle du polygone.

### Modèles de prédiction retenus

Après analyse des différentes combinaisons de variables testées, deux familles de modèles ont été retenues :

1. **Une série de modèles qui permettent de prédire un coefficient de distribution de la régénération, en fonction des données de type écologique et de l'intensité du feu.** Ces modèles ont été retenus pour les types écologiques MS22, RE25 et RS22 (Figure 4). Le pseudo coefficient de détermination<sup>2</sup> décrivant le pouvoir prédictif de ces modèles est de  $R^2 = 52 \%$ .
2. **Une série de modèles qui permettent de prédire un coefficient de distribution de la régénération, en fonction uniquement du type écologique.** Ce type de modèle concerne les types écologiques RE21, RE22, RE24, RE39 et RS25 (Figure 5). Pour ces types écologiques, l'intensité du feu n'a pas été retenue comme variable explicative, en partie parce que l'échantillonnage était trop limité lorsque l'on considérait 2 variables simultanément. Le pseudo coefficient de détermination décrivant le pouvoir prédictif des modèles est de  $R^2 = 48 \%$ .

<sup>1</sup> Pour davantage d'information sur l'autécologie des essences, consulter le Guide sylvicole du Québec, Tome 1 (MRN, 2013).

<sup>2</sup> Calculé à partir du maximum de vraisemblance et non du RMSA.

D'autres modèles ont été testés, intégrant l'abondance relative des différentes essences avant feu, le dépôt de surface, le drainage, la végétation potentielle et le code de milieu physique, mais n'ont pas été retenus en raison de la faible performance de leur pouvoir prédictif.

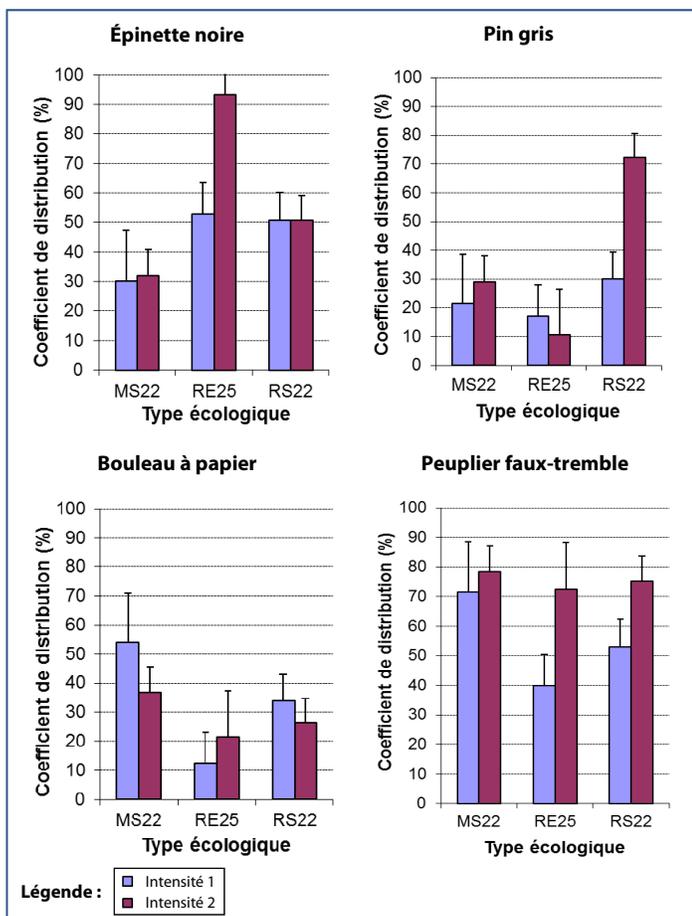


Figure 4 : Prédiction du coefficient de distribution de la régénération des principales essences forestières commerciales sur les types écologiques MS22, RE25 et RS22 selon l'intensité du feu (classes 1 et 2)

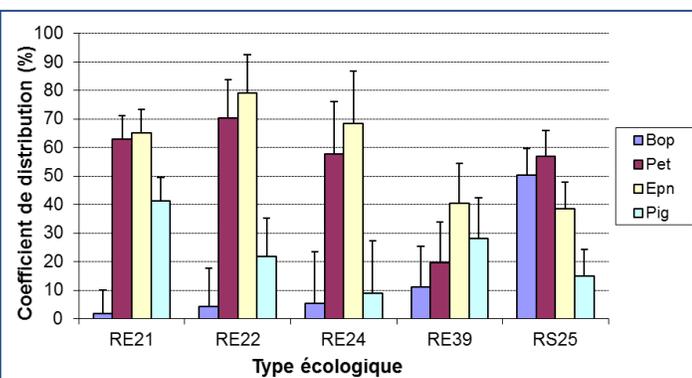


Figure 5 : Prédiction du coefficient de distribution de la régénération des principales essences forestières commerciales sur les types écologiques RE21, RE22, RE24, RE39, RS25

**Principales conclusions sur les nouveaux modèles produits**

- **Les nouveaux modèles produits en 2012 présentent un meilleur pouvoir prédictif que les modèles développés en 2000** (coefficients de détermination  $R^2$  de 0,52 pour les modèles de 2012 contre  $R^2$  variant entre 0,05 et 0,34 pour les modèles de 2000). Ceci peut s'expliquer en partie par l'approche statistique retenue (modèle global et considération des effets aléatoires dans la construction des modèles), l'ajout du type écologique au jeu de données et l'amélioration de la caractérisation des peuplements sur la carte écoforestière du 4<sup>e</sup> décennal, version NAIPF.
- **Le type écologique est la variable explicative la plus performante** pour prédire la composition de la végétation après feu, parmi les variables décrivant le peuplement avant feu et la station.
- **L'intensité de feu influence de manière significative la régénération** du peuplier faux-tremble, de l'épinette noire et du pin gris.
- **Les modèles construits à partir de la donnée d'abondance relative des différentes essences avant feu ne présentent pas un meilleur pouvoir prédictif que les modèles construits à partir du type écologique.** On a en effet observé un  $R^2$  de 0,22 et 0,26 respectivement pour les modèles d'épinette noire et de pin gris alors que les modèles construits sur la base du type écologique présentaient un  $R^2$  de l'ordre de 0,50. Le fait que l'abondance des essences à 10 % près n'ait pas permis d'améliorer le pouvoir prédictif des modèles représente l'un des éléments inattendus du projet.

**Proposition de scénarios sylvicoles en phase juvénile des peuplements récemment brûlés**

Les prédictions du niveau de régénération de chaque essence ont permis de proposer des scénarios sylvicoles en phase juvénile, dans l'optique de favoriser l'obtention d'un peuplement de retour de composition résineuse. Les *Instructions relatives* ont servi à identifier les seuils associés aux différentes interventions qui pourraient être réalisées pour assurer le succès de la régénération résineuse à la suite de feux. Les propositions de scénarios sylvicoles sont présentées au tableau 1 :

- **Aucune intervention recommandée** : cas où le potentiel forestier et les conditions de croissance limitent la pertinence de réaliser des interventions en phase juvénile, du fait des conditions difficiles de survie des plants (excès d'humidité sur RE39).
- **Besoins de reboisement** si  $CD_{résineux} < 30\%$  (30 correspondant au seuil maximal pour autoriser la préparation de terrain en plein) (Figure 6). Une vérification sur le terrain est pertinente en présence d'une prédiction dont la limite inférieure de l'intervalle de confiance se situe sous les 30 %.

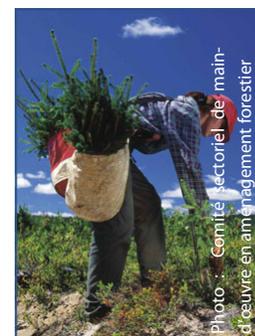


Figure 6 : Plantation d'épinettes

Tableau 1 : Démarche réalisée pour l'identification des besoins de traitements en phase juvénile, en fonction des coefficients de distribution de la régénération résineuse et feuillue prédits 5 ans après feu

Coefficient de distribution moyen prédit ( $\pm$ intervalle de confiance) par type écologique et classe d'intensité de feu	Scénario sylvicole en phase juvénile		
	Regarni - Reboisement	Dégagement - nettoyage - dépressage	Éclaircie intermédiaire
<b>Si RE39</b> CD <sub>rés</sub> = 49 $\pm$ 16 CD <sub>feuill</sub> = 26 $\pm$ 16	Aucune intervention recommandée		
<b>Si MS22_int. 1</b> <b>RS25</b> CD <sub>rés</sub> = 45 $\pm$ 19    CD <sub>rés</sub> = 45 $\pm$ 17 CD <sub>feuill</sub> = 84 $\pm$ 19    CD <sub>feuill</sub> = 67 $\pm$ 17	Besoin de reboisement ou de regarni	Dégagement intensif	Si MS22 : besoin à évaluer
<b>Si MS22_int. 2</b> CD <sub>rés</sub> = 44 $\pm$ 9 CD <sub>feuill</sub> = 80 $\pm$ 9	Besoin de regarni	Dégagement intensif	Besoin à évaluer
<b>Si RE25_int. 1</b> <b>RE24</b> CD <sub>rés</sub> = 58 $\pm$ 11    CD <sub>rés</sub> = 66 $\pm$ 16 CD <sub>feuill</sub> = 45 $\pm$ 12    CD <sub>feuill</sub> = 51 $\pm$ 16	Besoin de regarni à évaluer	Nettoisement-dépressage ou dégagement	Aucune intervention
<b>Si RS22_int. 1</b> CD <sub>rés</sub> = 64 $\pm$ 10 CD <sub>feuill</sub> = 68 $\pm$ 10	Besoin de regarni à évaluer	Nettoisement-dépressage ou dégagement intensif	Aucune intervention
<b>Si RE21</b> <b>RE22</b> <b>RE25_int. 2</b> <b>RS22_int. 2</b> CD <sub>rés</sub> = 79 $\pm$ 15    CD <sub>rés</sub> = 78 $\pm$ 20    CD <sub>rés</sub> = 90 $\pm$ 17    CD <sub>rés</sub> = 88 $\pm$ 9 CD <sub>feuill</sub> = 63 $\pm$ 15    CD <sub>feuill</sub> = 68 $\pm$ 20    CD <sub>feuill</sub> = 77 $\pm$ 17    CD <sub>feuill</sub> = 77 $\pm$ 9	Aucune intervention	Nettoisement-dépressage ou dégagement intensif	Éclaircie intermédiaire
Types écologiques différents de MS22, RE21, RE22, RE24, RE25, RE39, RS22, RS25	Aucune prédiction		

**Notes** : - Pour le dégagement-nettoisement, on considère 2 niveaux d'efforts : La mention *intensive* réfère à la nécessité d'interventions répétées alors qu'en l'absence de cette mention, on considère qu'une seule intervention de dégagement ou nettoyage sera suffisante.  
- La mention de *besoin à évaluer* réfère à la nécessité de procéder à une vérification préalable sur le terrain pour s'assurer de la pertinence du traitement.

**QUELQUES DÉFINITIONS...**

**Reboisement** : Reconstitution du couvert forestier par des moyens tels la plantation ou l'ensemencement.

**Regarni** : Complément à la régénération naturelle ou réfection des plantations là où le reboisement n'a pas permis d'atteindre une densité adéquate de la régénération en essences désirées.

**Dépressage** : Élimination de tiges en surnombre pour favoriser le développement des tiges résiduelles.

**Nettoisement** : Suppression des tiges indésirables dans les étages dominants et codominants, qui nuisent aux tiges d'avenir.

**Dégagement** : Libération d'une cohorte de tiges utiles d'un étage supérieur qui l'opprime, pour assurer des conditions de croissance satisfaisantes aux tiges recherchées. Les tiges mal conformées, malades ou d'essences indésirées qui dominent les tiges utiles sont supprimées en priorité. Le dégagement implique donc la sélection de tiges d'avenir alors que le nettoyage se limite à sélectionner une cohorte de tiges de composition recherchée.

**Éclaircie intermédiaire** : Coupe effectuée dans un jeune peuplement, dans le but de stimuler la croissance des tiges résiduelles. On qualifie cette éclaircie d'« intermédiaire », pour indiquer que l'intervention se situe entre les soins à la régénération et l'éclaircie commerciale.

- **Besoins en regarni** : un regarni est justifié si  $30 < CD_{résineux} < 60$  %. Comme pour les besoins en reboisement, une vérification sur le terrain est à propos lorsque les limites inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance sortent de l'intervalle visé. Dans les stations plus productives où la présence de la régénération feuillue est importante (MS22), il serait judicieux d'utiliser des plants de forte dimension si l'on veut s'assurer d'une certaine production résineuse.
- **Besoins en dégagement** en présence de coefficients de distribution élevés en feuillus intolérants (Figure 7). Dans les stations où la présence des feuillus est très importante, plusieurs interventions pourraient être nécessaires (MS22).
- **Besoins en nettoyage-dépressage** en présence de coefficients de distribution en essences résineuses particulièrement élevés (ex. : RE21, RE22, RE25-intensité 2, RS22-intensité 2) (Figure 8). Le dépressage ne devrait par contre pas être envisagé systématiquement sur de grandes superficies. Il serait judicieux, sur le plan écosystémique, de conserver des peuplements résineux denses.
- **Besoins en éclaircie intermédiaire** en tenant compte d'éléments de dynamique végétale par type écologique, combinés à la présence de coefficients de distribution en essences résineuses particulièrement élevés (ex. : RE21, RE22, RE25-intensité 2, RS22-intensité 2).

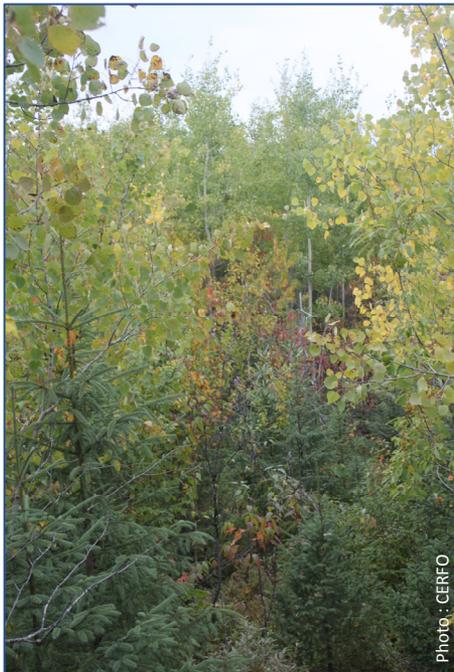


Figure 7 : Secteur régénéré du feu de Parent envahi par les feuillus intolérants, qui pourrait faire l'objet de dégagement



Figure 8 : Secteur dans le feu de Parent présentant une régénération en pin gris très dense qui pourrait faire l'objet de dépressage

### Un exemple d'application

Les nouveaux modèles de prédiction ont été appliqués au feu # 269, qui a brûlé en 2010 en Haute-Mauricie sur une superficie de 10 600 ha environ. Les principaux types écologiques présents sur ce territoire et pour lesquels des prédictions sont disponibles sont RS22 (26 %), RE22 (19 %), et MS22 (19 %). Les modèles élaborés permettent de prédire la régénération sur près de 77 % du territoire brûlé. Suite à l'application des modèles de prédiction de la régénération 5 ans après feu, le territoire brûlé a fait l'objet d'une analyse des scénarios sylvicoles proposés pour la phase juvénile (Tableau 2 et Figure 9).

Tableau 2 : Scénarios proposés pour la phase juvénile sur le feu # 269

Numéro de scénario	Type écologique et classe d'intensité de feu	Coefficients de distribution prédits de la régénération (%)	Scénario proposé	Superficie (ha)
Sc. 1	≠ MS22, RS22, RE21, RE22, RE24, RE25, RE39		Aucune prédiction	2 458
Sc. 2	RE39	CD <sub>rés</sub> ≈ 35-65 CD <sub>feuillus</sub> ≈ 10-40	Laisser aller (aucun traitement prévu)	57
Sc. 3	MS22-Int. 1	CD <sub>rés</sub> ≈ 25-65 CD <sub>feuillus</sub> ≈ 65-100	Reboisement ou regarni - dégagements fréquents – éclaircie intermédiaire possible	1215
Sc. 4	MS22-Int. 2	CD <sub>rés</sub> ≈ 35-55 CD <sub>feuillus</sub> ≈ 70-90	Regarni - dégagements fréquents - éclaircie intermédiaire possible	698
Sc. 5	RE25-Int. 1 RE24	CD <sub>rés</sub> ≈ 45-80 CD <sub>feuillus</sub> ≈ 35-65	Regarni possible – nettoyage/ dépressage ou dégagement	436
Sc. 6	RS22-Int. 1	CD <sub>rés</sub> ≈ 55-75 CD <sub>feuillus</sub> ≈ 60-80	Regarni possible – nettoyage/ dépressage ou dégagement fréquent	1 416
Sc. 7	RE21; RE22; RE25-Int. 2 RS22-Int. 2	CD <sub>rés</sub> ≈ 60-100 CD <sub>feuillus</sub> ≈ 50-95	Nettoyement/dépressage - éclaircie intermédiaire	3 935

La majeure partie du feu (scénario 7 couvrant 3 935 ha) appartient au groupe de combinaisons présentant une régénération résineuse très bien distribuée et une régénération en feuillus intolérants distribuée sur environ les 2/3 de la superficie. Le scénario anticipé dans ce cas correspond au nettoyage-dépressage à prévoir au stade fourré-gaulis, éventuellement suivi d'une éclaircie intermédiaire.

Le groupe suivant en termes de superficie (scénario 6 sur 1 416 ha) correspond à celui présentant une régénération résineuse pouvant parfois être insuffisante et une régénération en feuillus intolérants distribuée sur plus de la moitié de la superficie. Le scénario anticipé dans ce cas prévoit un regarni possible à court terme suivi d'un dégagement ou d'un nettoyage-dépressage au stade fourré-gaulis. Plusieurs opérations pourraient être recommandées éventuellement.

Parmi les cas les plus représentés, un troisième (scénario 3) couvre 1 215 ha, où l'on anticipe une régénération résineuse insuffisante à éparses et une régénération en feuillus intolérants distribuée sur plus de 80 % de la superficie. Le scénario envisagé est plus intensif : il consiste à vérifier le traitement de plantation requis à court terme (reboisement ou regarni) et à prévoir plusieurs opérations de dégagement pouvant éventuellement être suivies d'une éclaircie intermédiaire visant essentiellement à contrôler les feuillus.

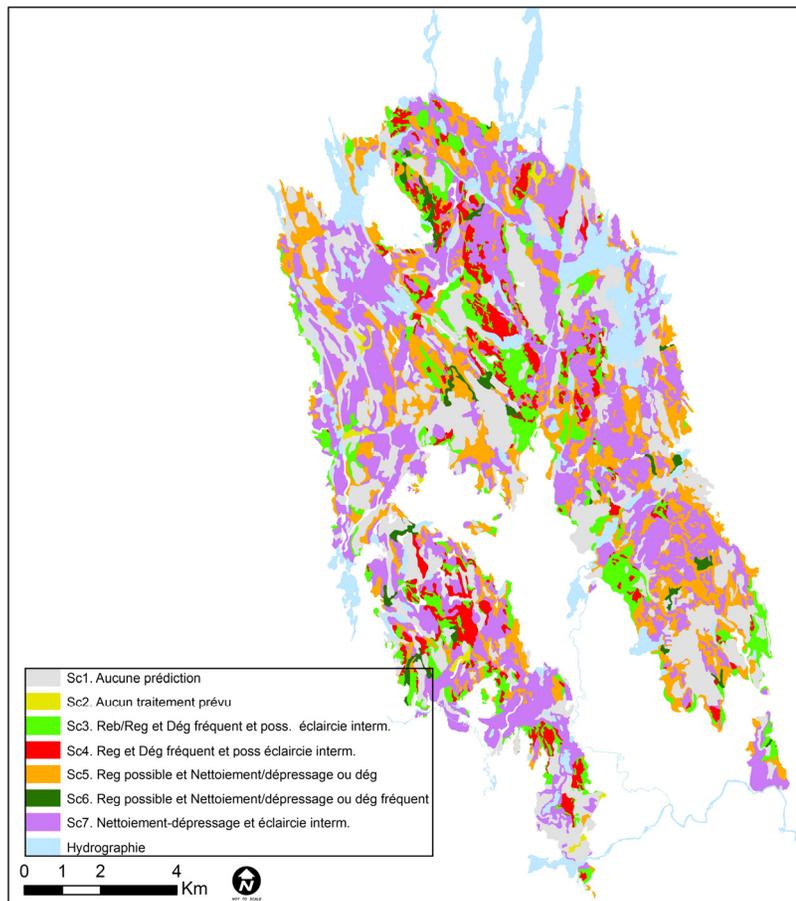


Figure 9 : Carte des scénarios d'intervention proposés dans le feu # 269

### Principales références

**Bouffroy, E., D. Blouin, A. Patry, G. Lessard, S. Côté et O. Ruest. 2001.** Bonification d'un modèle de prédiction de la régénération forestière après feu, en intégrant les données écologiques, l'intensité du feu et la composition des peuplements survivants adjacents. CERFO. Rapport 2001-10. 99 pages + 7 annexes.

**CERFO. 2008.** Synthèse de l'autécologie des essences forestières commerciales du Québec. Version préliminaire pour la conception du guide sylvicole du Québec édité par le MRN.

**Côté, S., P. Bournival, E. Bouffroy, D. Blouin et L. Vachon. 2012.** Mise à jour d'un modèle de prédiction de la régénération forestière 5 ans après feu et application aux territoires récemment brûlés en Mauricie dans la sapinière à bouleau blanc. CERFO. Rapport 2012-12. 119 pages + 3 annexes.

**Ministère des Ressources naturelles, 2013.** Le Guide sylvicole du Québec, Tome 1. Les fondements biologiques de la sylviculture, ouvrage collectif sous la supervision de B. Boulet et M. Huot. Les Publications du Québec, 1 044 pages.

### Conclusion

Dès l'année du passage d'un feu, il est possible, grâce aux nouveaux modèles prédictifs produits, d'estimer la composition et l'abondance de la régénération en essences commerciales, qui sera anticipée d'ici 5 ans, et ce, sur tout territoire brûlé localisé dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest. La nouvelle génération de modèle, dotée d'un pouvoir prédictif supérieur à celui des anciens modèles produits, repose sur la connaissance du type écologique et des dommages causés par le feu, données systématiquement disponibles pour tout nouveau territoire sujet à un feu. Les modèles sont disponibles pour 8 types écologiques (MS22, RE21, RE22, RE24, RE25, RE39, RS22 et RS25) qui couvrent les cas les plus représentatifs du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc. Il est important de rappeler que toute application de ces modèles à l'extérieur du domaine bioclimatique dans lequel ils ont été développés pourrait entraîner des erreurs de prédiction importantes.

Des scénarios prédisant les besoins de traitements sylvicoles en phase juvénile ont également été produits, à partir des prédictions de la régénération 5 ans après feu (identification des besoins de reboisement, regarni, dégagement, nettoiement-dépressage et éclaircie intermédiaire), pour favoriser l'obtention d'un peuplement de retour de composition résineuse.

Ainsi, par l'application, dès l'année du passage du feu, des modèles de prédiction de la régénération suivie de la démarche pour identifier les interventions sylvicoles à prévoir en phase juvénile, l'aménagiste dispose maintenant de deux outils fort utiles pour mieux planifier les actions à entreprendre à court et moyen termes, suite au passage d'un feu. D'autres utilisations peuvent également s'avérer pertinentes, notamment pour guider les choix lors de la planification de la récupération du bois brûlé après feu dans un contexte d'aménagement écosystémique.

*La réalisation de ce projet a été rendue possible grâce au financement du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier - Volet 1, du MRNF.*