

4.9 Paludification

La paludification est le processus d'accumulation graduelle de la couche organique du sol. Ce processus s'accompagne d'une ouverture du couvert forestier et d'une perte de productivité ligneuse. Certaines interventions sylvicoles permettent de contrer la paludification. Aux fins du calcul des possibilités forestières, le rendement des strates diffère selon le niveau de paludification et le scénario sylvicole.



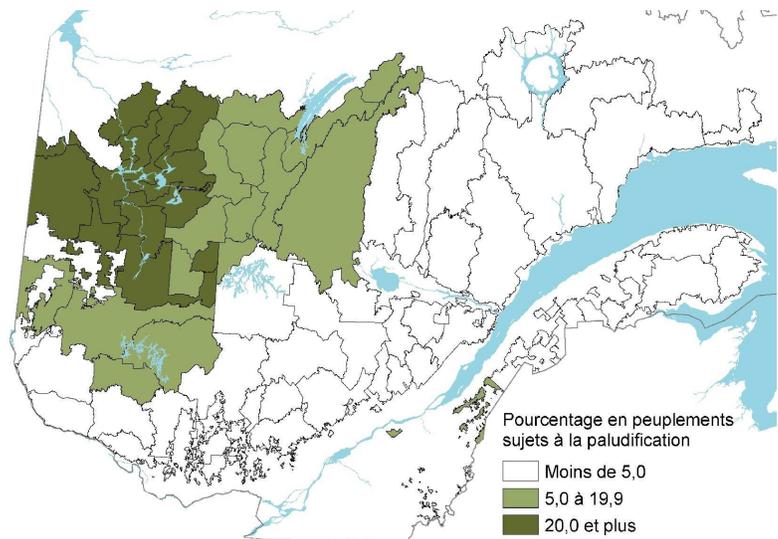
Crédit photo : Antoine Nappi

Préoccupation

La paludification peut entraîner une perte de productivité ligneuse importante dans certaines régions du Québec. La paludification (entourbement) consiste en une accumulation de la couche organique du sol qui mène graduellement à la formation d'une tourbière. Ce processus survient lorsque la production de litière est supérieure à sa décomposition. L'augmentation de l'épaisseur de la couche organique, qui constitue un mauvais substrat de croissance, se traduit par une perte de productivité ligneuse¹. La paludification est très répandue dans la pessière à mousses de l'Ouest en raison du relief plat, du climat froid sans sécheresse et de la forte abondance de sols argileux résistants à l'infiltration de l'eau (figure 1). Dans cette région, une grande proportion des peuplements forestiers est dans un état avancé de paludification ou en voie de le devenir.

La paludification peut être édaphique ou successionnelle². La paludification « édaphique » survient lorsqu'une microtopographie locale (ex. : dépression) entraîne un drainage déficient et favorise le maintien de la nappe phréatique près de la surface du sol. La paludification « successionnelle » résulte de l'accumulation de la couche organique au cours du temps. L'interaction de ces deux processus a un effet sur le taux d'accumulation et l'épaisseur de la couche organique du sol (figure 2).

Les pertes de productivité ligneuse sont particulièrement importantes au début de la succession forestière. La productivité ligneuse de pessières noires peut diminuer de 50 à 80 % sur plusieurs centaines d'années; cette perte de productivité



Source : Compilation du Bureau du forestier en chef

Figure 1. Unités d'aménagement touchées par la paludification³. La paludification est répandue dans les basses-terres de la Baie James (régions écologiques 5a, 6a et 6b).

s'observe particulièrement entre 100 et 200 ans après feu⁴ (figures 2 et 3). Durant cette période, l'épaisseur de la couche organique passe graduellement de 20 à 40 cm. La zone d'enracinement de l'épinette noire, laquelle est superficielle, migre alors du sol minéral à la couche organique⁵.

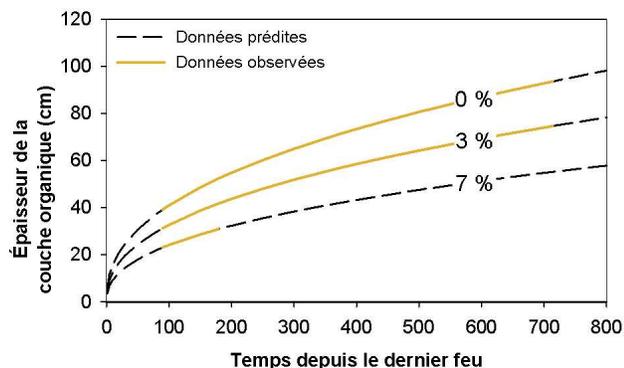
³ Le pourcentage indique la proportion de la superficie forestière de chaque unité d'aménagement (superficie de peuplements pour lesquels un type écologique est défini) en peuplements de type écologique RE37, RE38, RE39, RS37, RS38, RS39 ou RE26.

⁴ Simard et al. (2007, 2009).

⁵ Simard et al. (2007), Lavoie et al. (2007 b et c).

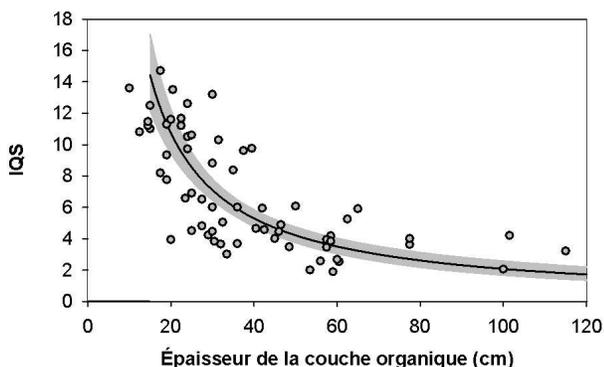
¹ Lecomte et al. (2006a), Simard et al. (2007, 2009).

² Lavoie et al. (2007a), Bernier et al. (2008), Simard et al. (2009).



Source : Simard et al. (2009)

Figure 2. Changement dans l'épaisseur de la couche organique du sol en fonction du temps pour des peuplements d'épinette noire localisés sur des pentes de 0, 3 et 7 %.



Source : Simard et al. (2009)

Figure 3. Variation de l'indice de qualité de station (IQS) de l'épinette noire en fonction de l'épaisseur de la couche organique du sol (l'IQS représente la croissance en hauteur après 50 ans de croissance libre).

De nombreux facteurs interviennent dans le processus de paludification. Ces facteurs incluent l'augmentation de la quantité de sphaignes et d'éricacées, la chute de la température du sol, l'augmentation de l'humidité, la diminution des éléments nutritifs disponibles et l'ouverture du couvert forestier⁶. L'envahissement des sphaignes fibriques contribue fortement à la paludification⁷ (encadré 1). La présence du peuplier faux-tremble dans les peuplements d'épinette noire atténue le processus de paludification⁸. La

paludification successionale est également influencée par la sévérité du feu au niveau du sol : les feux légers consomment peu la couche organique, ce qui favorise la croissance des sphaignes⁹.

Encadré 1. Envahissement par les sphaignes

Le remplacement graduel des mousses hypnacées (ex. : *pleurozium schreberi*) et des sphaignes tolérantes à l'ombre dans les peuplements jeunes par les sphaignes mieux adaptées à l'humidité (ex. : *sphagnum magellanicum*) ou à la lumière (ex. : *sphagnum fuscum*) dans les peuplements plus vieux contribue fortement à l'accumulation de la couche organique et à la perte de productivité ligneuse.



Âge de la forêt

Crédit photo : (1) Pierre Cartier; (2) Michael Lüth

Les pratiques sylvicoles actuelles ne permettent pas de contrer la paludification. La coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS), le type de coupe le plus utilisé au Québec, protège la couche organique et le couvert de sphaignes¹⁰. Les coupes réalisées en hiver sont particulièrement problématiques, car le gel ne permet pas le brassage du sol¹¹. De plus, les secteurs récoltés en hiver sont souvent inaccessibles à la remise en production artificielle en saison estivale. Les coupes partielles favorisent également la croissance des sphaignes de lumière lorsque présentes avant coupe¹². Ainsi, la CPRS et les coupes partielles s'apparentent aux feux légers qui n'altèrent que légèrement les sols¹¹ (encadré 2). Enfin, les stratégies de lutte contre les feux, en contrôlant la combustion au niveau du sol, pourraient potentiellement accentuer ce phénomène.

La paludification constitue également un enjeu de biodiversité. La paludification entraîne une diminution graduelle du couvert arborescent. Plusieurs espèces floristiques (ex. : lichens épiphytes) et fauniques (ex. : grive à dos olive) sont plus abondantes dans les forêts qui présentent un couvert arborescent fermé¹³. Dans les régions où la paludification est répandue (i.e. pessière à mousses de l'Ouest), les forêts matures et fermées sont moins abondantes et peuvent se raréfier

⁶ Fenton et al. (2005), Lavoie et al. (2005), Fenton et Bergeron (2006).
⁷ Fenton et Bergeron (2006), Lavoie et al. (2007 b et c), Fenton et al. (2010). Les sphaignes fibriques sont peu fertiles et sont caractérisées par un contenu en eau très élevé et un faible taux de décomposition.
⁸ Légaré et al. (2004, 2005 a et b), Fenton et al. (2005). La présence de peupliers améliore le statut nutritif des sols et diminue l'accumulation de matière organique. Selon Légaré et al. (2004), un effet positif sur le diamètre et la hauteur de l'épinette noire est observé lorsque le peuplier couvre jusqu'à 40 % de la surface terrière totale du peuplement.

⁹ Fenton et al. (2005), Lecomte et al. (2006 a et b), Simard et al. (2007, 2009).
¹⁰ Bernier et al. (2008), Lafleur et al. (2010 a et b).
¹¹ Lafleur et al. (2010a).
¹² Fenton et Bergeron (2007).
¹³ Boudreault et al. (2002, 2009), Drapeau et al. (2003).

dans les territoires aménagés, ce qui peut représenter un enjeu régional important¹⁴.

Encadré 2. Aménagement écosystémique

- Les feux sévères, en brûlant la presque totalité de la matière organique au sol, permettent l'établissement de forêts denses et productives. Les feux légers, en contrepartie, ne consomment qu'une portion de la couche organique, ce qui favorise la croissance des sphaignes et conduit à des peuplements ouverts et moins productifs.
- Certaines interventions sylvicoles, telles que la CPRS, surtout lorsque pratiquée en hiver, favorisent le maintien d'une couche organique épaisse. Ces coupes créent des conditions similaires aux feux légers.
- L'approche écosystémique vise à réduire les écarts entre les effets produits par les perturbations naturelles et ceux engendrés par les pratiques sylvicoles. Ainsi, les interventions sylvicoles devraient perturber davantage la couche organique de manière à recréer les conditions de feux sévères.
- La paludification a été identifiée comme un des principaux enjeux d'aménagement écosystémique dans la portion ouest de la forêt boréale québécoise.

Aménagement forestier

Objectif

L'objectif d'aménagement consiste à maintenir la productivité des pessières noires sujettes à la paludification et qui sont récoltées. Cet objectif s'applique principalement dans les régions où la paludification est répandue (figure 1).

Moyens d'aménagement

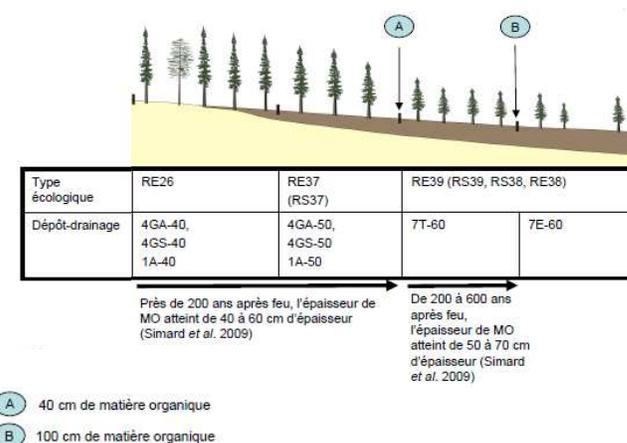
Certaines interventions sylvicoles peuvent contrer ou ralentir le processus de paludification et maintenir la productivité ligneuse des peuplements. Celles-ci visent à réduire l'épaisseur de la couche organique du sol et à favoriser une régénération abondante et une bonne croissance. L'efficacité de ces interventions dépend du processus impliqué (édaphique ou successional) et de l'état d'avancement de la paludification.

Identification des peuplements sujets à la paludification

Le type écologique¹⁵ peut être utilisé afin d'identifier les peuplements sujets à la paludification. En effet, certains types écologiques sont caractérisés par un drainage

hydrique ou subhydrique, par des dépôts de texture fine et par une couche organique très épaisse. Certains peuplements sont déjà dans un état avancé de paludification alors que d'autres sont en voie de paludification (figure 4) :

- peuplements fortement paludifiés (peuplements de type écologique RE37, RE38, RE39, RS37, RS38 ou RS39¹⁶) – Ces pessières noires à sphaignes et ces sapinières à épinette noire et à sphaignes sont de drainage hydrique. Une forte proportion de ces peuplements (de 46 à 100 %, selon le type écologique)¹⁷ ont une couche organique de plus de 20 cm d'épaisseur, généralement de nature fibreuse, et la paludification a cours depuis longtemps. La majorité des peuplements sur RE38, RE39, RS38 et RS39 ont une couche organique de plus de 35 cm d'épaisseur.



Source : Adapté du ministère des Ressources naturelles

Figure 4. Lien entre le type écologique et la paludification successionale. La couche organique (en brun) s'accumule avec le temps.

- peuplements moyennement paludifiés (peuplements de type écologique RE26¹⁸) – Ces pessières noires de drainage subhydrique et de dépôt de texture fine sont en voie de paludification. Près de la moitié des peuplements présents sur ces types écologiques ont une couche organique de plus de 20 cm.

¹⁶ Pessière noire à sphaignes de drainage hydrique 1) sur dépôt minéral de mince à épais, ombrotrophe (RE37), 2) sur dépôt organique ou dépôt minéral de mince à épais, minérotrophe (RE38) et 3) sur dépôt organique, ombrotrophe (RE39); sapinière à épinette noire et à sphaignes de drainage hydrique 1) sur dépôt minéral de mince à épais, ombrotrophe (RS37), 2) sur dépôt organique ou dépôt minéral de mince à épais, minérotrophe (RS38) et 3) sur dépôt organique, ombrotrophe (RS39).

¹⁷ Pourcentages basés sur les points de sondage des inventaires forestiers (Direction des inventaires forestiers, ministère des Ressources naturelles).

¹⁸ Pessière noire à mousses ou à éricacées de drainage subhydrique, sur dépôt de mince à épais et de texture fine (RE26). Bien que moins sujettes à la paludification en raison de leur dépôt de texture moyenne ou grossière, les autres pessières noires à mousses ou à éricacées de drainage subhydrique (RE24, RE25) présentent néanmoins une certaine proportion de peuplements avec une couche organique supérieure à 20 cm.

¹⁴ Bergeron et al. (2007). À l'inverse, dans les régions où les milieux humides forestiers – dont font partie les forêts paludifiées – sont plus rares, la protection intégrale d'une partie de ces milieux peut également constituer un enjeu à considérer afin de maintenir la biodiversité qui leur est associée (Comité d'experts sur les solutions 2009).

¹⁵ MRN – Guides de reconnaissance des types écologiques.

Traitements sylvicoles

La CPRS est le traitement sylvicole généralement utilisé pour les pessières noires de végétation potentielle RE2, RE3 ou RS3. Ce type de récolte, surtout lorsque pratiqué en hiver, protège les sols organiques et le couvert de sphaignes. La coupe totale sans protection (CTSP) perturbe davantage la couche organique et réduit la proportion de sphaignes et d'éricacées. Comparativement à la CPRS, la CTSP favorise la croissance de l'épinette noire et ne semble pas diminuer le coefficient de distribution de la régénération, et ce, pour un ensemble de dépôts organiques et argileux de drainage mésique à subhydrique¹⁹.

Les coupes partielles semblent également peu efficaces pour contrer le processus de paludification successionnelle. Bien que celles-ci atténuent le rehaussement de la nappe phréatique en comparaison à la CTSP²⁰, elles favorisent davantage les sphaignes associées aux vieilles forêts paludifiées²¹ (encadré 1).

La préparation de terrain, telle que le scarifiage, réduit l'épaisseur de la couche organique du sol, en particulier la couche fibrique, réduit la végétation compétitrice, augmente la température du sol et rend disponibles des substrats propices à la croissance des arbres tels qu'un mélange de sol minéral et organique ou un mélange de matériels fibrique et humique²² (figure 5). La préparation de terrain s'avère plus efficace que la CTSP pour perturber la surface du sol et contrer la paludification.

La remise en production maximale des sites (forte densité et bonne distribution des tiges) devrait assurer une fermeture rapide du couvert forestier et permettre de contrer l'envahissement par les sphaignes de lumière.

Le drainage et la fertilisation peuvent contribuer à contrer la paludification²³. Le drainage abaisse le niveau de la nappe phréatique, améliore l'aération des sols, augmente la température du sol ainsi que la décomposition de la matière organique. Cependant, l'efficacité du drainage de sols paludifiés s'est avérée très peu efficace en raison de la faible conductivité hydraulique des sols : l'effet des canaux de drainage se répercute au plus sur 15 m et ces canaux nécessitent un entretien fréquent²⁴. Bien que peu expérimentée dans un contexte de paludification au Québec, la fertilisation est susceptible de pallier, entre

autres, les carences en azote et en phosphore, ce qui contribue à augmenter la productivité des sites.



Crédit photo : David Paré

Figure 5. La préparation de terrain, telle que le scarifiage, réduit l'épaisseur de matière organique qui caractérise le processus de paludification.

Choix des interventions

Le choix des interventions dépend du processus impliqué et de l'état d'avancement de la paludification²⁵. Dans les sites où la couche organique est très épaisse et fibrique et où le drainage est hydrique (peuplements fortement paludifiés), le contrôle de la paludification peut être difficile et coûteux²⁶. Les efforts sylvicoles visant à contrer la paludification devraient être davantage concentrés dans des peuplements moyennement paludifiés (RE26).

Les interventions sur les sites où le processus de paludification est successionnel devraient également être prioritaires. En effet, contrairement à la paludification édaphique, la paludification successionnelle peut être contrée par des interventions sylvicoles appropriées. Compte tenu que la couche organique s'accumule plus lentement lorsqu'une certaine pente est présente, celle-ci peut être utilisée afin de cibler les sites où les interventions sont les plus rentables (figure 2).

L'allongement de la révolution dans le but de conserver de vieilles forêts devrait être évité sur les sites en voie de paludification, étant donné les pertes appréhendées de productivité et l'ouverture du couvert forestier. Le maintien de vieilles forêts fermées peut constituer un enjeu important dans certaines régions, comme en Abitibi.

¹⁹ Lafleur et al. (2010 a et b).

²⁰ Pothier et al. (2003).

²¹ Fenton et Bergeron (2007), Fenton et al. (2008).

²² Prévost et Dumais (2003), Lavoie et al. (2007 b et c), Lafleur et al. (2011 a et b).

²³ Lavoie et al. (2005).

²⁴ Jutras et al. (2007).

²⁵ Simard et al. (2008).

²⁶ Des travaux récents suggèrent néanmoins que la croissance de l'épinette noire pourrait être favorisée par un brassage du sol même quand la couche organique est très épaisse (Lafleur et al. 2011a).

Indicateurs forestiers

Deux types d'indicateurs peuvent être utilisés afin de faire le portrait de l'ampleur de la paludification ou de la stratégie sylvicole appliquée :

- pourcentage de la superficie forestière productive en peuplements paludifiés – Cet indicateur dresse le portrait de l'ampleur de la paludification dans une unité d'aménagement. Cette information peut être obtenue indirectement par le type écologique; certains types écologiques sont caractérisés par une forte épaisseur de la couche organique.
- pourcentage de la superficie récoltée provenant de peuplements paludifiés – Cet indicateur documente l'ampleur de la récolte dans les peuplements paludifiés. Il peut être précisé afin de faire le portrait des scénarios sylvicoles appliqués à ces peuplements²⁷.

Intégration au calcul

Pour plusieurs unités d'aménagement du Nord-Ouest du Québec, les strates sujettes à la paludification représentent plus de 20 % de la superficie forestière (figure 1). Lors du calcul des possibilités forestières, le rendement de ces strates dépend du niveau de paludification et du scénario sylvicole appliqué.

La prise en considération de cet objectif dans le calcul des possibilités forestières se fait aux étapes suivantes :

Cartographie
✓ Strates d'aménagement
✓ Stratégie sylvicole
✓ Évolution des strates
✓ Variables de suivi
Optimisation
Spatialisation avec STANLEY

Strates d'aménagement

Lors de la création des strates d'aménagement, les pessières noires sont regroupées en fonction de la végétation potentielle (ex. : RE3, RE2) ou du type écologique (ex. : RE26). Toutefois, le processus de regroupement fait en sorte que des strates associées à différents niveaux de paludification peuvent être regroupées dans une même strate d'aménagement²⁸.

Lorsque le regroupement repose sur la végétation potentielle, seule une portion de la strate d'aménagement peut être sujette à la paludification (ex. : RE26 dans RE2). Les rendements attribués après la récolte

prennent en considération la proportion de la strate d'aménagement sujette à la paludification.

Bien que la pente modifie le processus de paludification et puisse orienter les choix d'aménagement à l'échelle opérationnelle, cette information n'est pas utilisée lors de la création des strates d'aménagement.

Stratégie sylvicole

Aux fins du calcul, les strates sujettes à la paludification s'inscrivent généralement dans un scénario sylvicole extensif ou de base de la futaie régulière. Bien que la CTSP s'avère plus adaptée que la CPRS pour contrer la paludification²⁹, leurs effets sont considérés les mêmes aux fins du calcul (coupes totales [CT]). Seul le scénario sylvicole de base, qui inclut une préparation de terrain et une plantation de base, assure un rendement supérieur à un scénario sylvicole extensif.

Strates fortement paludifiées (RE37, RE38, RE39, RS37, RS38 et RS39)

La remise en production des strates sur RE38, RE39, RS38 ou RS39 est difficile, coûteuse et incertaine. Bien que le processus de paludification soit moins avancé pour les strates sur RE37 ou RS37, leur remise en production est également problématique. Toutes ces strates³⁰ s'inscrivent généralement dans un scénario sylvicole extensif avec une CT, sans préparation de terrain.

Strates moyennement paludifiées (RE26)

Les strates sur les sites à drainage subhydrique (RE26) offrent le meilleur potentiel de succès pour la remise en production. Un scénario sylvicole extensif (CT) ou de base (CT + scarifiage + plantation de base) peut être appliqué.

Évolution des strates

Le rendement attribué aux strates après intervention est fonction du niveau de paludification et du scénario sylvicole (tableau 1). Les orientations suivantes sont retenues aux fins du calcul :

Strates fortement paludifiées (RE37, RE38, RE39, RS37, RS38 et RS39)

Les courbes d'évolution pour les pessières noires sur végétation potentielle RE3 sont caractérisées par une productivité relativement faible et constante, laquelle est fonction de la densité du couvert (des courbes d'évolution

²⁷ Certains scénarios sylvicoles permettent de réduire l'épaisseur de la couche organique au sol ou de modifier sa nature et peuvent ainsi maintenir la productivité des peuplements alors que d'autres scénarios n'ont que peu d'effets sur l'épaisseur de la couche organique.

²⁸ Se référer au fascicule 2.2 – Strates d'aménagement.

²⁹ Lafleur et al. (2010 a et b).

³⁰ À noter que certaines de ces strates peuvent avoir été préalablement exclues du calcul sur la base de leur productivité (ex. : si elles ont plus de 90 ans et un volume de moins de 50 m³/ha).

distinctes sont générées pour les strates de densité « A-B » et celles de densité « C-D ». Afin de refléter la baisse relativement lente de productivité après intervention (figures 2 et 3), les strates traitées, peu importe leur densité de départ, sont positionnées sur une courbe *effets de traitement* RE3 de densité « C-D ».

Strates de type écologique RE26

Une faible augmentation de l'épaisseur de la couche organique sur ces strates peut générer une baisse de productivité considérable pour le peuplement futur (figures 2 et 3). Le rendement attribué aux strates repose sur l'intensité du scénario sylvicole :

- scénario sylvicole extensif – Étant donné que la couche organique est maintenue et qu'elle continuera à s'accroître, les strates traitées évoluent sur une courbe dont le rendement est inférieur à celui avant l'application du traitement. Ainsi, après une CT, le rendement est ajusté afin de refléter celui des pessières noires sur végétation potentielle RE3 de densité « C-D »³¹.
- scénario sylvicole de base – Ce type de scénario sylvicole devrait diminuer l'épaisseur de la couche organique fibrique. Ainsi, les strates traitées évoluent sur une courbe *effets de traitement* de plantation de base sur RE2 du domaine bioclimatique approprié³².

Tableau 1. Résumé de l'information utilisée pour orienter l'aménagement des strates sujettes à la paludification.

Niveau de paludification	Type écologique		
	RE26		RE37, RE38, RE39 RS37, RS38, RS39
	Moyen		Fort
Scénario sylvicole	Extensif	De base	Extensif
Effet sur le rendement	↓↓	↑	↓

Variables de suivi

Aux fins du calcul, les principaux indicateurs relatifs à l'enjeu de la paludification concernent le portrait de la récolte dans les strates sujettes à la paludification :

- pourcentage de la superficie récoltée qui provient de strates paludifiées – Ce pourcentage peut être comparé au portrait du territoire (pourcentage des strates paludifiées sur le territoire) afin de mesurer l'ampleur de la récolte dans ces strates. Cet indicateur peut être ventilé

par végétation potentielle, afin d'obtenir un portrait plus précis de la récolte³³.

- superficies traitées par scénario sylvicole – Cet indicateur permet de dresser le portrait de la stratégie sylvicole appliquée pour l'aménagement des strates paludifiées. Cet indicateur est approprié lorsque différents scénarios sylvicoles sont prévus³⁴ (ex. : superficie des strates moyennement paludifiées récoltée selon un scénario de base ou selon un scénario extensif).

État des connaissances

La croissance des peuplements sujets à la paludification ainsi que les effets de différents scénarios sylvicoles sont documentés à court terme, mais peu d'information nous permet de conclure quant à la productivité de ces peuplements à maturité. De plus, les résultats obtenus jusqu'à présent proviennent essentiellement d'études menées dans les pessières noires sur argile; ces effets sont encore peu documentés pour les sapinières. Les suivis des interventions devraient permettre d'évaluer et de comparer ces effets pour des peuplements sur différentes végétations potentielles et pour plusieurs régions. Les hypothèses retenues pour le calcul quant à l'évolution de ces peuplements devront être révisées à la lumière des nouvelles connaissances disponibles.

Références

Références citées

- Bergeron, Y., P. Drapeau, S. Gauthier et N. Lecomte. 2007. Using knowledge of natural disturbances to support sustainable forest management in the northern Clay Belt. *Forestry Chronicle*, 83 : 326-337.
- Bernier, P., M. Simard, D. Paré et Y. Bergeron. 2008. Paludification des sites forestiers sur les basses-terres de la Baie James : un phénomène à gérer. Fiche technique n° 7. Chaire industrielle CRSNG UQAT-UQAM en aménagement forestier durable, Qc, 2 p.
- Boudreault, C., Y. Bergeron, S. Gauthier et P. Drapeau. 2002. Bryophyte and lichen communities in mature to old-growth stands in eastern boreal forests of Canada. *Revue canadienne de recherche forestière*, 32 : 1080-1093.
- Boudreault, C., Y. Bergeron et D. Coxson. 2009. Factors controlling epiphytic lichen biomass during postfire succession in black spruce boreal forests. *Revue canadienne de recherche forestière*, 39 : 2168-2179.
- Comité d'experts sur les solutions. 2009. Projet de développement d'une approche d'aménagement écosystémique dans la réserve faunique des Laurentides. Fiches techniques, Québec, Qc, 130 p.
- Drapeau, P., A. Leduc, Y. Bergeron, S. Gauthier et J.-P. Savard. 2003. Les communautés d'oiseaux des vieilles forêts de la pessière à mousses de la ceinture d'argile : problèmes et solutions face à l'aménagement forestier. *Forestry Chronicle*, 79(3) : 531-540.

³³ Étant donné que les variables de suivi sont compilées par végétation potentielle, les statistiques sont ajustées en fonction de la proportion de la superficie occupée par les strates sujettes à la paludification (ex. : % de RE26 dans RE2).

³⁴ Bien que plusieurs scénarios sylvicoles soient prévus pour certains groupes de strates, l'optimisation permet d'identifier les superficies à traiter selon chaque scénario de façon à maximiser la possibilité forestière tout en tenant compte des *contraintes à l'optimisation* (ex. : limite budgétaire, superficie maximale par scénario sylvicole).

³¹ La courbe *effet de traitement* est ajustée en fonction de la proportion de la superficie occupée par les strates moyennement paludifiées dans le groupe de strates (% de RE26 dans RE2).

³² Se référer au fascicule 3.1 – Plantation.

- Fenton, N.J. et Y. Bergeron. 2006. Facilitative succession in a boreal bryophyte community driven by changes in available moisture and light. *Journal of Vegetation Science*, 17 : 65-76.
- Fenton, N.J. et Y. Bergeron. 2007. *Sphagnum* community change after partial harvest in black spruce boreal forests. *Forest, Ecology and Management*, 242 : 24-33.
- Fenton, N.J., Y. Bergeron et D. Paré. 2010. Decomposition rates of bryophytes in managed boreal forests: influence of bryophyte species and forest harvesting. *Plant Soil*, 336 : 499-508.
- Fenton, N., H. Bescond, L. Imbeau, C. Boudreault, P. Drapeau et Y. Bergeron. 2008. Évaluation sylvicole et écologique de la coupe partielle dans la forêt boréale de la ceinture d'argile. *Dans* Gauthier S. et al. (éditeurs). *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'Université du Québec, Qc, pp. 393-415.
- Fenton, N., N. Lecomte, S. Légaré et Y. Bergeron. 2005. Paludification in black spruce (*Picea mariana*) forests of eastern Canada: Potential factors and management implications. *Forest Ecology and Management*, 213 : 151-159.
- Jutras, S., J. Bégin, A.P. Plamondon et H. Hokka. 2007. Draining an unproductive black spruce peatland stand: 18-year post-treatment tree growth and stand productivity estimation. *Forestry Chronicle*, 83(5) : 723-732.
- Lafleur, B., N.J. Fenton, D. Paré, M. Simard et Y. Bergeron. 2010a. Contrasting effects of season and method of harvest on soil properties and the growth of black spruce regeneration in the boreal forested peatlands of eastern Canada. *Silva Fennica*, 44 : 799-813.
- Lafleur, B., D. Paré, N.J. Fenton et Y. Bergeron. 2010b. Do harvest methods and soil type impact the regeneration and growth of black spruce stands in northwestern Quebec. *Revue canadienne de recherche forestière*, 40 : 1843-1851.
- Lafleur, B., D. Paré, N.J. Fenton et Y. Bergeron. 2011a. Growth and nutrition of black spruce seedlings in response to disruption of *Pleurozium* and *Sphagnum* moss carpets in boreal forested peatlands. *Plant and Soil*, 345 : 141-153.
- Lafleur, B., D. Paré, N.J. Fenton et Y. Bergeron. 2011b. Growth of planted black spruce seedlings following mechanical site preparation in boreal forested peatlands with variable organic layer thickness: 5-year results. *Annals of Forest Science*, 68(8) : 1291-1302.
- Lavoie, M., D. Paré, N. Fenton, A. Groot et K. Taylor. 2005. Paludification and management of forested peatlands in Canada: a literature review. *Dossiers environnement*, 13 : 21-50.
- Lavoie, M., K. Harper, D. Paré et Y. Bergeron. 2007a. Spatial pattern in the organic layer and tree growth: A case study from regenerating *Picea mariana* stands prone to paludification. *Journal of Vegetation Science*, 18 : 211-220.
- Lavoie, M., D. Paré et Y. Bergeron. 2007b. Quality of growth substrates of post-disturbed lowland black spruce sites for black spruce (*Picea mariana*) seedling growth. *New Forests*, 33 : 207-216.
- Lavoie, M., D. Paré et Y. Bergeron. 2007c. Relationships between microsite type and the growth and nutrition of young black spruce on post-disturbed lowland black spruce sites in eastern Canada. *Revue canadienne de recherche forestière*, 37 : 62-73.
- Lecomte, N., M. Simard et Y. Bergeron. 2006a. Effects of fire severity and initial tree composition on stand structural development in the coniferous boreal forest of northwestern Québec, Canada. *Écoscience*, 13 : 152-163.
- Lecomte, N., M. Simard, N. Fenton et Y. Bergeron. 2006b. Fire severity and long-term ecosystem biomass dynamics in coniferous boreal forests of eastern Canada. *Ecosystems*, 9 : 1215-1230.
- Légaré, S., D. Paré et Y. Bergeron. 2004. The responses of black spruce growth to an increased proportion of aspen in mixed stands. *Revue canadienne de recherche forestière*, 34 : 405-416.
- Légaré, S., Y. Bergeron et D. Paré. 2005a. Effect of aspen (*Populus tremuloides*) as a companion species on the growth of black spruce (*Picea mariana*) in the southwestern boreal forest of Quebec. *Forest Ecology and Management*, 208 : 211-222.
- Légaré, S., D. Paré et Y. Bergeron. 2005b. Influence of aspen on forest floor properties in black spruce-dominated stands. *Plant and Soil*, 275 : 207-220.
- MRN – Guides de reconnaissance des types écologiques
<http://www.mmf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire-guides.jsp> (consulté le 10 mai 2012)
- Pothier, D., M. Prévost et I. Auger. 2003. Using the shelterwood method to mitigate water table rise after forest harvesting. *Forest Ecology and Management*, 179 : 573-583.
- Prévost, M. et D. Dumais. 2003. Croissance et statut nutritif de marcottes, de semis naturels et de plants d'épinette noire à la suite du scarifiage : résultats de 10 ans. *Revue canadienne de recherche forestière*, 33 : 2097-2107.
- Simard, M., N. Lecomte, Y. Bergeron, P.Y. Bernier et D. Paré. 2007. Forest productivity decline caused by successional paludification of boreal soils. *Ecological Applications*, 17 : 1619-1637.
- Simard, M., N. Lecomte, Y. Bergeron, P.Y. Bernier et D. Paré. 2008. Aménagement écosystémique de la pessière du nord de la ceinture d'argile québécoise : gérer la forêt... mais surtout les sols. *Dans* Gauthier, S. et al. (éditeurs). *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'Université du Québec, Montréal, Qc, pp. 269-299.
- Simard, M., P.Y. Bernier, Y. Bergeron, D. Paré et L. Guérine. 2009. Paludification dynamics in the boreal forest of the James Bay lowlands: effect of time since fire and topography. *Revue canadienne de recherche forestière*, 39 : 546-552.

Lectures suggérées

- Lavoie, M., D. Paré, N. Fenton, A. Groot et K. Taylor. 2005. Paludification and management of forested peatlands in Canada: a literature review. *Dossiers environnement*, 13 : 21-50.
- Simard, M., N. Lecomte, Y. Bergeron, P.Y. Bernier et D. Paré. 2008. Aménagement écosystémique de la pessière du nord de la ceinture d'argile québécoise : gérer la forêt... mais surtout les sols. *Dans* Gauthier, S. et al. (éditeurs). *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'Université du Québec, Montréal, Qc, pp. 269-299.



Rédaction : Antoine Nappi, biol., Ph.D.

Collaboration : Denis Chabot, ing.f. (retraité du BFEC) et Toma Guillemette, ing.f., M.Sc. (BFEC).

Révision : Louis-Pierre Bélanger-Ducharme, ing.f. (MRN), Michel Caron, ing.f. (BFEC), Nicole Fenton, biol., Ph.D. (UQAT), Jérôme Gare, ing.f., M.Sc. (BFEC), Jocelyn Gosselin, ing.f. (MRN), Pierre Grondin, ing.f., M.Sc. (MRN), David Paré, ing.f., Ph.D. (RNCAN-SCF-CFL), Maxime Renaud, ing.f., M.Sc. (BFEC) et Martin Simard, biol., Ph.D. (U. Laval).

Référence à citer : Nappi, A. 2013. Paludification. Fascicule 4.9. *Dans* Bureau du forestier en chef. *Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018*. Gouvernement du Québec, Roberval, Qc, pp. 193-199.