

**Évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques  
de trois projets d'aménagement forestier écosystémique  
et implications pour le développement  
d'une stratégie d'adaptation pour l'aménagement forestier au Québec**

Héloïse Le Goff, Albanie Leduc et Karelle Jayen

**Mai 2012**

## Remerciements

Nous remercions Yves Bergeron (UQAT-UQAM), Sonia Légaré (MRNF), Sophie Dallaire (Tembec) et les membres du comité technique de mise en œuvre de la stratégie d'aménagement écosystémique de l'UAF 85-51 pour avoir contribué à l'évaluation des vulnérabilités au climat du projet Tembec.

Nous remercions Nadyre Beaulieu (Abitibi-Bowater), Gerardo Reyes (UQAM), Dan Kneeshaw (UQAM) et les membres du comité consulté pour avoir contribué à l'évaluation des vulnérabilités climatiques du projet Triade.

Nous remercions Martin-Michel Gauthier (Université Laval), Édith Cadieux (Université Laval), Michel Campagna (MRNF) et Louis Bélanger (Université Laval), la table des partenaires du projet d'aménagement de la Réserve faunique ainsi que les nombreux représentants du MRNF qui ont contribué à l'évaluation des vulnérabilités du projet de la Réserve faunique des Laurentides.

Merci à Anne Blondlot, Nathalie Bleau et Travis Logan (Ouranos) pour avoir facilité le déroulement de ce projet et pour avoir fourni l'Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise.

Nous remercions aussi Danielle Charron (Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable) et Mélanie Desrochers (CEF).

Enfin, nous tenons à souligner la contribution du Conseil Canadien des Ministres des Forêts par l'organisation d'ateliers sur l'évaluation des vulnérabilités ainsi que par le développement d'une communauté de pratique dédiée à ce sujet.

*Les coûts relatifs à cette étude ont été assumés par Ouranos et Tembec (grâce à la Chaire industrielle CRSNGUQAT- UQAM en Aménagement Forestier Durable), Triade et la Réserve faunique des Laurentides (grâce au Fonds vert).*

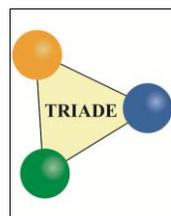
*L'étude a également été réalisée en collaboration avec Ressources naturelles Canada.*



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada





## Table des matières

<i>Remerciements</i>	<i>i</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>v</i>
<i>Liste des annexes</i>	<i>vi</i>
<b>1. Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2. Contexte et objectifs</b>	<b>2</b>
<b>3. Cadre théorique / compte-rendu de la revue de la littérature</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Vulnérabilités des écosystèmes forestiers boréaux aux changements climatiques</b>	<b>3</b>
<b>3.2 Vulnérabilités de l'aménagement forestier aux changements climatiques</b>	<b>4</b>
<b>3.3 Développement d'outils permettant l'inclusion de l'impact des changements climatiques sur l'activité des feux dans le calcul de possibilité forestière</b>	<b>4</b>
<b>3.4 Cadre d'évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques</b>	<b>5</b>
<b>4. Méthodologie</b>	<b>6</b>
<b>4.1 Trois projets d'aménagement forestier écosystémique</b>	<b>6</b>
<b>4.2 Consultation d'un comité pour chaque stratégie d'aménagement</b>	<b>8</b>
<b>4.3 Cadre d'évaluation des vulnérabilités pour l'aménagement forestier écosystémique</b>	<b>10</b>
<b>4.4 Tenir compte de l'impact des changements climatiques sur l'activité des feux dans le calcul de possibilité forestière</b>	<b>11</b>
<b>5. Résultats</b>	<b>13</b>
<b>5.1 Portrait régional du climat futur</b>	<b>13</b>
<b>5.2 Vulnérabilités et opportunités aux changements climatiques</b>	<b>14</b>
<b>5.3 Mesures d'adaptation proposées</b>	<b>21</b>
<b>5.4 Simulation de la récolte avec le régime de feu sous l'influence des changements climatiques</b>	<b>25</b>
<b>6. Analyse et discussion</b>	<b>27</b>
<b>6.1 Vulnérabilités et opportunités identifiées</b>	<b>27</b>
<b>6.2 Les options d'adaptation</b>	<b>27</b>
<b>6.3 Simulation de la récolte avec le régime de feu sous l'influence des changements climatiques</b>	<b>28</b>

<b>6.4 Les politiques existantes et l'adaptation aux changements climatiques</b>	<b>28</b>
<b>6.5 L'applicabilité de l'aménagement forestier écosystémique dans le contexte des changements climatiques</b>	<b>29</b>
<b>6.6 Limites à l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans le cadre de l'aménagement forestier</b>	<b>30</b>
<b>7. <i>Recommandations</i></b>	<b>31</b>
<b>7.1 Favoriser l'échange des connaissances sur les changements climatiques</b>	<b>31</b>
<b>7.2 Initier la réflexion sur l'adaptation aux changements climatiques autour des préoccupations des partenaires régionaux</b>	<b>31</b>
<b>7.3 Format de la restitution des résultats</b>	<b>31</b>
<b>7.4 Évaluer la capacité d'adaptation initiale de la stratégie d'aménagement examinée</b>	<b>32</b>
<b>7.5 Identifier les synergies entre l'adaptation aux changements climatiques et l'aménagement forestier écosystémique</b>	<b>32</b>
<b>7.6 Des stratégies d'aménagement robustes pour agir en dépit des incertitudes</b>	<b>32</b>
<b>8. <i>Conclusions</i></b>	<b>33</b>
<b>9. <i>Références</i></b>	<b>34</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1 Localisation des trois territoires des projets d'aménagement forestier écosystémique examinés dans le cadre du présent projet.</b>	<b>6</b>
<b>Figure 2 Cadre d'évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques</b>	<b>11</b>
<b>Figure 3 Distributions de probabilité des valeurs à risque relatives à la possibilité (en %/période) pour deux scénarios d'aménagement (normalisation, NORM et écosystémique, AME) et trois régimes de feu: actuel (2000) et pour deux scénarios de changements climatiques (B1 et A2).</b>	<b>25</b>
<b>Figure 4 Coût des stratégies de protection à couverture variable (protection de la médiane, du premier quartile et du 5<sup>ème</sup> centile de la distribution de probabilité du taux de succès de la planification) exprimé en Mm<sup>3</sup> de bois/période contre le risque causé par le feu pour trois régimes de feu (actuel, B1 et A2) et deux stratégies d'aménagement (NORM (a) et AME (b))</b>	<b>26</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 Géographie, domaine bioclimatique et dynamique naturelle des trois projets d'AFE</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 2 Enjeux d'aménagement forestier des stratégies examinées (Boulfroy et Lessard 2009)</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 3 Composition des comités consultés pour les trois projets d'aménagement forestier écosystémique examinés</b>	<b>8</b>
<b>Tableau 4 Principaux changements climatiques médians (10ème et 90ème percentiles) annuels attendus dans les trois territoires des projets d'aménagement examinés..</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 5 Principales vulnérabilités (V) et opportunités (O) des trois stratégies d'aménagement forestier examinées face aux changements climatiques</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 6 Principales options d'adaptation proposées dans le cadre des trois projets d'aménagement forestier écosystémique examinés..</b>	<b>21</b>

## Liste des annexes

<b>Annexe 1: Mesures d'adaptation aux changements climatiques pour l'aménagement forestier</b>	<b>39</b>
<b>Annexe 2: Fiches synthèses réalisées pour chacun des projets d'aménagement forestier écosystémique</b>	<b>43</b>
<b>Annexe 3 Questionnaire concernant les options d'adaptation proposées en aménagement forestier face aux changements climatiques</b>	<b>61</b>

## 1. Introduction

Au cours du prochain siècle, les changements climatiques devraient modifier considérablement les écosystèmes du Québec et avoir des impacts importants sur les communautés. Les écosystèmes forestiers seront exposés à un climat différent de celui auquel ils sont adaptés et cela aura des effets, parfois importants, sur la croissance, la phénologie et la mortalité des arbres, ainsi que sur l'intensité et la fréquence des perturbations naturelles (feux, insectes et maladies) et des événements extrêmes (ex. sécheresses, précipitations). Ces modifications auront assurément des conséquences sur les services écologiques offerts par la forêt tels que la production de bois et de produits non ligneux, la production d'oxygène, la régulation du climat, la captation et la séquestration du carbone et les valeurs récréotouristiques et culturelles (Hassan *et al.* 2005). Le secteur forestier, comme plusieurs autres secteurs d'activité, sera donc confronté à cette nouvelle réalité climatique.

Pour cette raison, le gouvernement du Québec décidait en 2006 d'adopter une série de mesures, stratégies et politiques engageant les acteurs de divers milieux afin d'atténuer les changements climatiques et favoriser l'adaptation à ceux-ci. Ainsi, le Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (PACC) fut mis en œuvre par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP 2008). La mesure 24 de ce plan vise directement le secteur forestier. L'objectif de cette mesure est de « *déterminer la vulnérabilité des forêts québécoises et du secteur forestier aux changements climatiques et intégrer les effets anticipés de ces changements dans la gestion forestière* ». Parallèlement, la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier, sanctionnée en 2008, mentionne également qu'il est nécessaire de tenir compte de l'impact des changements climatiques dans la gestion des ressources forestières. Cette loi requiert l'élaboration d'une stratégie d'aménagement durable des forêts (SADF), articulée autour de cinq défis principaux dont l'un porte sur la lutte et l'adaptation aux changements climatiques. La nouvelle loi sur l'aménagement durable du territoire forestier, qui entrera en vigueur en 2013, vise à implanter un nouveau régime forestier basé sur un aménagement forestier durable par le biais de l'aménagement écosystémique. L'aménagement écosystémique vise le maintien d'écosystèmes forestiers sains et résilients à long terme en diminuant les écarts entre les paysages naturels et les paysages aménagés (Gauthier *et al.* 2008; MRNF 2010). Cette approche nécessite une bonne connaissance de la dynamique naturelle et intégrée des écosystèmes forestiers. Aussi, l'aménagement écosystémique exige un cadre de gestion adaptatif permettant des améliorations dictées par une meilleure compréhension de la dynamique forestière ou une remise en question de l'efficacité des mesures mises en place. La prise en compte des changements climatiques dans les stratégies d'aménagement est incontournable dans un tel contexte puisque ceux-ci influencent la dynamique naturelle à long terme. Le risque de feu, par exemple, est étroitement lié au climat qui conditionne la teneur en eau du combustible, les précipitations, l'humidité relative, la température de l'air, la vitesse du vent et la foudre. On peut ainsi s'attendre à des variations dans l'activité des feux en fonction des changements climatiques et cela doit être considéré dans un contexte d'aménagement écosystémique.

## 2. Contexte et objectifs

Il existe une abondante littérature sur les impacts biophysiques des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers et pour l'aménagement forestier. Cependant, ces connaissances:

- sont disponibles surtout sous la forme de rapports encyclopédiques (Parry et al. 2007, Lemmen et al. 2008, Bourque et Simonet 2008);
- sont formulées à des échelles spatiales de l'ordre du biome, du continent ou de la région et sont donc difficiles à intégrer dans les prises de décisions qui entourent la planification forestière d'une unité d'aménagement forestier particulière;
- nécessitent souvent une compréhension préalable des changements climatiques et de leurs conséquences sur les écosystèmes forestiers que les praticiens n'ont pas forcément au sein d'une équipe de planification forestière.

La planification stratégique de l'aménagement forestier se base sur de longs horizons temporels et sur des conditions climatiques constantes si bien que les projections de la dynamique forestière et de la productivité forestière sont à risque dans un contexte de changements climatiques. L'adaptation aux changements climatiques devient alors nécessaire pour limiter les impacts négatifs des changements climatiques, mais également pour profiter des opportunités offertes par les nouvelles conditions climatiques (l'augmentation de la productivité de certaines essences par exemple). L'adaptation aux changements climatiques vise à «*réduire la vulnérabilité des systèmes naturels aux effets des changements climatiques réels ou prévus* » (Parry et al. 2007). Le passage au nouveau régime forestier représente un moment propice pour discuter des approches qui permettraient d'intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans l'aménagement forestier au Québec et de développer des outils pour que les partenaires régionaux puissent faire face à cette nouvelle orientation stratégique.

Dans le cadre de ce projet, nous avons analysé la vulnérabilité aux changements climatiques de trois projets d'aménagement forestier écosystémique (le projet Tembec en Abitibi, le projet Triade en Mauricie et le projet de la Réserve faunique des Laurentides). Cette étude exploratoire combine une revue de la littérature à des échanges avec les professionnels impliqués dans la planification de l'aménagement forestier au Québec. Pour chacun des projets d'aménagement forestier écosystémique examiné, nous avons consulté un comité afin d'examiner la stratégie d'aménagement dans le contexte des changements climatiques. L'objectif des échanges était d'identifier les vulnérabilités actuelles et futures aux changements climatiques ainsi que les mesures d'adaptation déjà en place ou à développer. Ce rapport fait la synthèse des conclusions issues des trois évaluations des vulnérabilités, une par stratégie d'aménagement forestier examinée, et servira de référence au moment où la nouvelle loi sur l'aménagement durable du territoire forestier entrera en vigueur. Il brosse un portrait des vulnérabilités potentielles et des options d'adaptation possibles pour permettre d'assurer encore longtemps la présence d'une foresterie saine et rentable au Québec.

Les objectifs généraux du projet étaient de :

1. Sensibiliser les partenaires régionaux (représentants de compagnies forestières, du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), du Bureau du Forestier en Chef (BFEC) et d'autres instances impliquées dans la planification de l'aménagement forestier à l'échelle de l'unité d'aménagement forestier) aux implications des changements climatiques dans leur pratique professionnelle;
2. Offrir de l'information spécialisée sur les changements climatiques et adaptée à la compréhension et aux préoccupations des partenaires régionaux;
3. Identifier les principales vulnérabilités réelles (face au climat actuel) et potentielles (face au climat futur) pour chaque stratégie d'aménagement examinée;
4. Analyser le risque que l'activité de feu représente pour la planification forestière et développer des outils pour mieux gérer ce risque;
5. Identifier les options d'adaptation déjà en place et les options d'adaptation potentielles en réponse aux vulnérabilités identifiées;
6. Identifier les barrières et les éléments facilitant l'intégration des options d'adaptation dans le système actuel d'aménagement forestier.

### 3. Cadre théorique / compte-rendu de la revue de la littérature

#### 3.1 Vulnérabilités des écosystèmes forestiers boréaux aux changements climatiques

La forêt boréale est particulièrement exposée et sensible aux changements climatiques car les écosystèmes situés à des latitudes nordiques subissent des changements climatiques de plus grande amplitude que les écosystèmes situés à des latitudes plus méridionales. Notamment, l'augmentation des températures observée récemment ainsi que celle anticipée pour le futur sont plus importantes dans les régions nordiques (Solomon *et al.* 2007). Ces impacts devraient toucher plusieurs processus biologiques et écologiques limités par les conditions climatiques (incendies forestiers, épidémies, croissance, aires de répartition des différentes espèces, etc.), ce qui rend la forêt boréale particulièrement sensible aux changements climatiques.

Pour les écosystèmes forestiers boréaux, les changements climatiques qui auront le plus de conséquences sont (Logan *et al.* 2011):

- la hausse des températures atmosphériques, qui influencent par exemple la croissance des arbres;
- l'altération des régimes de précipitations (fréquence, amplitude des événements);
- l'altération des saisons (hivers plus doux et plus courts, étés plus précoces et plus longs);
- les changements de la fréquence et de l'amplitude des événements météorologiques extrêmes (sécheresses, cycles gel-dégel, pluies abondantes, etc.).

Ces changements auront comme principaux impacts biophysiques (Prato 2008, Ogden et Innes 2008, Logan *et al.* 2011):

- une modification dans la fréquence et la sévérité des perturbations naturelles;
- une modification de la croissance radiale des arbres, et donc de la productivité forestière;
- une augmentation de l'aire occupée par des espèces de début de succession en réponse aux perturbations accrues (feux, inondations, épidémies d'insectes);
- un changement spatial et temporel dans l'occurrence et l'assemblage des espèces, et donc un changement de la composition forestière;
- une migration latitudinale et altitudinale des aires de distribution des espèces, dans la mesure où les conditions édaphiques et les processus écologiques (perturbations naturelles, compétition, etc.) y sont propices;
- la présence accrue d'espèces envahissantes et exotiques;
- une altération de la quantité et de la qualité des habitats fauniques et des relations prédateur-proie.

### **3.2 Vulnérabilités de l'aménagement forestier aux changements climatiques**

L'aménagement forestier doit faire face aux conséquences biophysiques des changements climatiques à plusieurs niveaux:

- Les écosystèmes forestiers aménagés sont modifiés par les variations et les changements climatiques : changements des régimes de perturbation, de la croissance et de la composition en espèces;
- La planification forestière doit faire face à des imprévus : occurrence de feux et d'épidémies d'insecte qui touchent les volumes de bois prévus pour la récolte;
- Les opérations forestières (coupes d'hiver, transport du bois) sont affectées de plus en plus fréquemment par les variations du climat (dégels hâtifs, interruption des travaux estivaux en raison d'un risque élevé de feu, enlèvement de la machinerie) (Provencher 2005).

Les travaux de synthèse sur l'ensemble des vulnérabilités face aux changements climatiques des grands secteurs économiques se sont multipliés les dernières années et plusieurs portaient spécifiquement sur la forêt boréale canadienne (Williamson *et al.* 2005, Johnston *et al.* 2010, Ogden et Innes 2007a, 2008, 2009).

### **3.3 Développement d'outils permettant l'inclusion de l'impact des changements climatiques sur l'activité des feux dans le calcul de possibilité forestière**

Le risque posé par l'activité des feux pour la planification stratégique de l'aménagement forestier fait l'objet de recherches depuis plusieurs décennies. Il s'agit d'une vulnérabilité particulière de l'aménagement forestier en milieu boréal face aux changements climatiques. En effet, l'activité des feux dépend essentiellement du climat puisque le combustible n'est généralement pas un facteur limitant (couverture forestière continue sur un vaste territoire). Le niveau maximum de récolte de bois qui est permis en forêt publique est défini par la possibilité forestière. Elle correspond « au volume maximum des récoltes annuelles de bois [...] que l'on peut prélever à perpétuité, sans diminuer la capacité productive du milieu forestier, tout en tenant compte de certains objectifs d'aménagement durable des forêts, telles la dynamique naturelle des forêts [...] ainsi que leur utilisation diversifiée. » (LRQ A-18.1, art. 48). De façon fondamentale, le calcul de la possibilité projetée sur plus d'un siècle (150 ans au Québec) la structure d'âge de la forêt en tenant compte des activités de récolte et de la dynamique naturelle des peuplements forestiers.

Les perturbations naturelles sévères (feux, épidémies d'insectes, chablis) représentent le moteur de la dynamique naturelle en forêt boréale, car en détruisant les peuplements forestiers, elles ré-initient le processus de succession naturelle. Les perturbations sévères représentent un risque pour les décisions prises pendant la planification forestière (Peter et Nelson 2005) mais leurs effets ne peuvent être inclus dans le calcul de possibilité (BFEC 2010, Savage *et al.* 2010, Armstrong 2004) pour deux raisons. La première est que le calcul de la possibilité forestière est fondamentalement déterministe et ne permet pas de tenir compte de processus stochastiques comme les feux (Bettinger *et al.* 2009). La seconde raison tient au fait que le calcul de possibilité est recommencé de façon périodique (tous les 5 ou 10 ans) et que l'occurrence d'une perturbation suffisamment majeure dans un territoire déclenche un nouveau calcul de possibilité (Savage *et al.* 2010). On estime généralement que la replanification périodique est suffisante lorsqu'elle est associée à un fonds de réserve préventif (BFEC 2010). Ce fonds est estimé en diminuant la possibilité forestière d'un certain pourcentage pour constituer une réserve de volume de bois que l'on peut utiliser lorsque des volumes prévus pour la récolte sont touchés par des perturbations naturelles. Cependant cette approche de gestion *a posteriori* du risque de feu ne résout pas les problèmes reliés aux coûts additionnels des opérations de récupération des bois brûlés et la nécessité de recommencer la planification tactique et opérationnelle de l'aménagement forestier (soumise au même risque de feu). Ainsi, la prise en compte *a priori* du risque et de l'incertitude qui entoure l'horizon de planification du calcul de possibilité reste un enjeu important à considérer au moment de prendre des décisions (par exemple au moment de définir une stratégie d'aménagement) et les conséquences de stratégies alternatives peuvent être difficiles sinon impossibles à évaluer sans inclure le risque et l'incertitude (Gardiner et Quine 2000). La planification stratégique devrait donc au moins identifier et quantifier les risques et les incertitudes, et

l'aménagiste choisira le plan, qui selon lui, aura les plus grandes probabilités de succès (Gardiner et Quine 2000). Augmenter la probabilité de succès d'une stratégie d'aménagement face au risque a un coût, puisque le fait d'incorporer le risque de feu dans le calcul de possibilité mène nécessairement à une réduction du niveau de la possibilité forestière (van Wagner 1983, Armstrong 2004, Peter et Nelson 2005, Savage *et al.* 2010). Ce coût peut être assimilé à l'inclusion d'une police d'assurance. Dans le cadre du présent projet, nous nous sommes intéressés à cette problématique et avons proposé une approche pour développer et évaluer différentes « polices d'assurance » afin de diminuer la vulnérabilité du calcul de possibilité forestière à l'occurrence de feu pour différents scénarios climatiques.

#### **3.4 Cadre d'évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques**

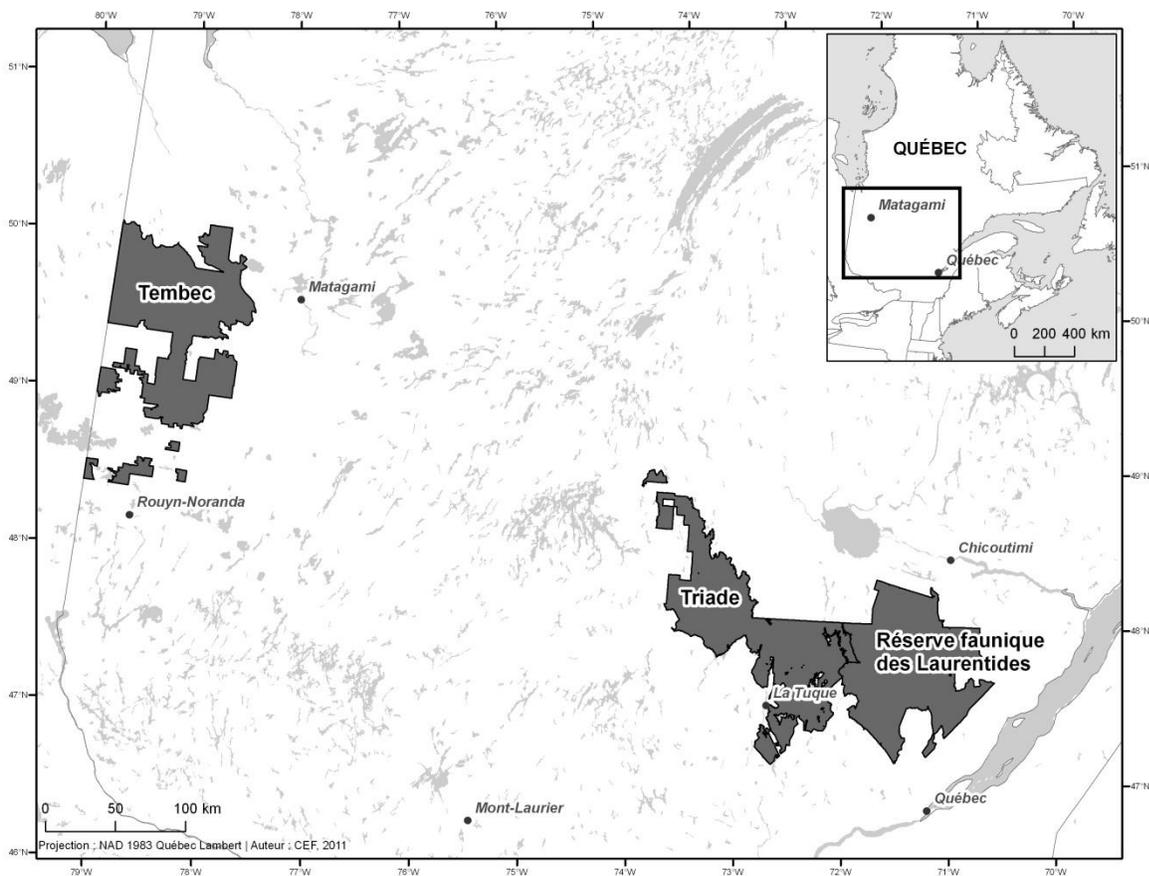
Ce n'est que récemment que la façon d'évaluer ces vulnérabilités aux changements climatiques a fait l'objet d'efforts de recherche afin de standardiser et de rendre plus rigoureuse cette évaluation (Füssel et Klein 2006, Johnston et Williamson 2007, Swift 2012). Ces recherches ont permis de décomposer l'adaptation en plusieurs composantes (définition du système d'intérêt, de son exposition et de sa sensibilité aux changements climatiques, impacts biophysiques et socioéconomiques, vulnérabilités, adaptation spontanée et planifiées) afin de faciliter l'évaluation de la capacité adaptative face aux changements climatiques du système examiné, mais surtout de faciliter l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans la gestion actuelle de ces systèmes (Burton *et al.* 2002). Notre cadre d'évaluation des vulnérabilités s'appuie sur cette réflexion et sur les travaux en cours au sein du Conseil Canadien des Ministres des Forêts (CCMF) dans un contexte d'échanges avec les partenaires régionaux impliqués dans la planification forestière.

## 4. Méthodologie

### 4.1 Trois projets d'aménagement forestier écosystémique

Les trois projets d'aménagement écosystémique examinés sont le projet de l'Unité d'aménagement forestier 085-51 géré par la compagnie Tembec en Abitibi-Témiscamingue, le projet de la Réserve faunique des Laurentides (RFL) entre la région de Québec et celle du Saguenay-Lac-St-Jean et le projet de la Triade en Mauricie (Figure 1 et Tableaux 1 et 2). Pour une description complète des projets, voir les rapports se rapportant à chaque projet (Cadioux *et al.* 2011; Le Goff et Jayen 2011; Reyes *et al.* 2011).

Dans le cadre du présent projet, les vulnérabilités aux changements climatiques ont été évaluées pour la stratégie d'aménagement forestier de chacun des trois territoires considérés. Nous définissons une stratégie d'aménagement comme les caractères écologiques des forêts sous aménagement (composition, structure d'âge, régimes de perturbation) combinés aux enjeux d'aménagement (récolte de bois, produits non-ligneux, conservation, etc.). Les enjeux écologiques associés à chacun des territoires sont présentés dans le Tableau 2. Parmi ceux-ci, certains sont communs aux trois territoires (raréfaction des vieilles forêts) alors que d'autres leur sont propres (paludification pour le territoire du projet Tembec).



**Figure 1 Localisation des trois territoires des projets d'aménagement forestier écosystémique examinés dans le cadre du présent projet. Carte réalisée par Mélanie Desrochers, Centre d'Étude de la Forêt.**

**Tableau 1 Géographie, domaine bioclimatique et dynamique naturelle des trois projets d'AFE**

Projet	Localisation	Superficie Km <sup>2</sup>	Domaine bioclimatique	Dynamique naturelle dominante
<b>Tembec</b>	Nord de l'Abitibi	10 826	Pessière noire à mousses	Régime de feux Paludification
<b>Réserve faunique des Laurentides</b>	Entre la Capitale Nationale et le Saguenay-Lac-Saint-Jean	7 860	Sapinière à bouleau blanc	Épidémie d'insectes
<b>Triade</b>	Mauricie	8 590	Érablière à bouleau jaune au sud Sapinière à bouleau jaune au centre Pessière noire à mousses au nord	Régime de feu Épidémies d'insectes

**Tableau 2 Enjeux d'aménagement forestier des stratégies examinées (Bouffroy et Lessard 2009)**

Projet	Enjeux d'aménagement
<b>Tembec</b>	Répartition spatiale des perturbations naturelles et anthropiques dans un paysage de forêt ouverte Stratégie de conservation du caribou des bois Déficit de vieilles forêts dans le sud Maintien et/ou amélioration de la productivité des peuplements paludifiés
<b>Réserve faunique des Laurentides</b>	Disparition de la dominance des forêts mûres et surannées Raréfaction des forêts mûres et surannées Raréfaction du bois mort Perte d'intégrité de la lisière boisée adjacente aux milieux humides riverains Uniformisation des structures horizontale et verticale des peuplements
<b>Triade</b>	Raréfaction des forêts mûres et surannées et de leurs fonctions biologiques Raréfaction de certaines essences résineuses Raréfaction des peuplements mixtes à dominance résineuse Simplification de la structure interne des peuplements

#### 4.2 Consultation d'un comité pour chaque stratégie d'aménagement

Un comité consultatif a été sollicité pour chaque projet d'AFE. Ces comités étaient composés de représentants du milieu industriel, du milieu scientifique et du MRNF (Tableau 3). Nous avons échangé avec chacun de ces comités à plusieurs reprises, dans le but d'évaluer la perception des changements climatiques qu'avaient les personnes impliquées dans l'aménagement forestier, de les sensibiliser à cette problématique, de déterminer leurs préoccupations face aux changements climatiques et d'identifier les vulnérabilités aux changements climatiques pour leur territoire respectif. Notons que les personnes consultées étaient représentatives des organismes responsables de la planification forestière (sauf pour la RFL) et non des utilisateurs des territoires forestiers examinés. La consultation des comités avait pour objectifs:

- d'évaluer la perception que les partenaires régionaux ont des changements climatiques et leur importance comparativement à leurs autres préoccupations;
- de les sensibiliser aux conséquences des changements climatiques pour leur pratique professionnelle;
- de déterminer les vulnérabilités aux changements climatiques pour le territoire d'intérêt.

Dans la suite de ce rapport, le terme « partenaires régionaux » désigne l'ensemble des trois comités consultés la première année du projet (mars 2010-mars 2011).

**Tableau 3 Composition des comités consultés pour les trois projets d'aménagement forestier écosystémique examinés**

Projet	Composition du comité consulté	Nombre de rencontres
<b>Tembec</b>	7 représentants de l'industrie forestière (Tembec et Norbord) 7 représentants du MRNF, dont 1 BFEC et 1 MRNF Abitibi 2 chercheurs universitaires	7
<b>RFL</b>	7 représentants du MRNF (chercheurs et autres) 1 chercheur SCF/RNCan 4 chercheurs universitaires	3+2 avec la table des partenaires*
<b>Triade</b>	3 représentants de l'industrie forestière (AbitibiBowater) 1 représentant du MRNF Mauricie 1 représentant de la ville de La Tuque 3 chercheurs universitaires	2

\*La table des partenaires, pilotée par le MRNF, était jusqu'en 2010, l'entité décisionnelle du projet par rapport aux recommandations faites au ministre. Elle est composée d'environ 25 organismes qui ont des intérêts sur la réserve faunique, et qui proviennent de regroupements divers (industriels et travailleurs forestiers, milieu régional, groupes environnementaux, premières nations, intervenants fauniques, organisations de bassin versant, parcs nationaux, organisations liées à la récréation). Participent aussi aux travaux de la Table des représentants des opérations régionales du MRNF (secteurs Forêt et Faune), du Bureau du Forestier en chef et du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (Bouffroy et Lessard 2009).

### **Projet Tembec**

Le projet Tembec est issu d'une collaboration avec la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable. Ce projet, commencé en 1999, visait l'implantation de l'aménagement écosystémique au sein de l'UAF 085-51. Le déroulement de ce projet est assuré par deux comités (comité d'orientation et comité technique) et trois sous-comités (suivi aménagement adaptatif, sylviculture et calcul de possibilité) (Bouffroy et Lessard 2009). C'est le comité technique, responsable de la direction du projet, de la coordination des activités et du transfert d'information, qui a été consulté dans le cadre du présent projet (Tableau 3). Ce comité a suspendu ses activités pendant 6 mois au cours du présent projet, ce qui n'a pas permis d'échanger aussi régulièrement qu'initialement planifié. Cependant, c'est le projet d'aménagement qui a fait l'objet des rencontres les plus fréquentes.

### **Projet Réserve faunique des Laurentides (RFL)**

La table des partenaires, organe central du projet d'aménagement écosystémique de la RFL, a déposé son rapport final au printemps 2010, au moment où le présent projet débutait. Ainsi, nous n'avons participé qu'à deux rencontres pour présenter le projet ainsi que l'avancement des travaux. Il a fallu créer un comité spécifique au présent projet pour procéder à l'évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement de la RFL. Un comité scientifique (Tableau 3) a été mis sur pied afin d'identifier les principaux enjeux reliés aux changements climatiques pour le territoire de la RFL. Pour chacune des vulnérabilités identifiées, le comité a évalué le degré de confiance dans l'analyse et la probabilité que les impacts se réalisent. Les discussions ont également permis d'identifier les impacts associés aux changements climatiques qui représentaient les plus grands risques, c'est-à-dire, ceux qui sont les plus susceptibles de se produire et qui auront les impacts les plus importants. La composition exclusivement scientifique du comité a fortement influencé la nature des vulnérabilités aux changements climatiques mentionnées et analysées dans le rapport sur le projet de la RFL. Tout d'abord, la question des changements climatiques n'a pas pu être resituée parmi les autres préoccupations d'aménagement forestier. Cependant, le document de référence sur les enjeux de biodiversité ne fait pas mention des changements climatiques comme question d'importance (CSEB 2007). Et comme ce document a été entériné par la table des partenaires, il est clair que la question des changements climatiques n'est pas prioritaire. Comme pour les autres stratégies d'aménagement examinées, les vulnérabilités mentionnées sont reliées aux intérêts et expertises des membres consultés. La disponibilité des connaissances et le champ d'expertise des personnes consultées déterminent grandement la nature des vulnérabilités identifiées. Par exemple, pour la RFL, l'absence de professionnels impliqués dans les opérations forestières (représentés au sein des comités consultés pour les deux autres stratégies) explique que la question des opérations d'hiver (coupes et transport) n'a pas été mentionnée, alors que sur le terrain, cet aspect est certainement d'importance. Par contre, dans le cas de la RFL, la composition exclusivement scientifique du comité consulté a permis de dresser une analyse plus poussée des vulnérabilités identifiées puisque davantage de données, d'analyses et d'expertise étaient alors disponibles.

## **Projet Triade**

Un comité a été mis sur pied afin d'identifier les principaux enjeux climatiques associés au territoire de la Triade. Le comité s'est réuni à deux reprises au cours de la première année du projet (Tableau 3). Ces rencontres ont permis d'identifier les appréhensions et les vulnérabilités associées au territoire de la Triade. Les membres du comité étaient très sensibles et intéressés à la problématique des changements climatiques, car les consultations se sont faites au moment du feu de Wemotaci en juin 2010, qui avait fortement affecté le territoire. Bien que les membres du comité n'imputaient pas directement l'occurrence de ce feu aux changements climatiques, cet événement les rendait particulièrement conscients des conséquences potentielles des conditions climatiques et de leurs variations sur leur pratique professionnelle. Par ailleurs, ce comité était le seul avoir identifié d'emblée une mesure d'adaptation parmi leurs pratiques d'aménagement récemment mises en œuvre : le diamètre des ponceaux a été augmenté afin de tenir compte des crues de plus en plus importantes observées suite aux événements de précipitation extrêmes au printemps.

### **4.3 Cadre d'évaluation des vulnérabilités pour l'aménagement forestier écosystémique**

L'approche méthodologique utilisée s'inspire des travaux de Ogden et Innes (2007a, 2008, 2009), ainsi que des travaux du Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) (Jason Edwards, Service Canadien des Forêts, communication personnelle, 2011). En avril 2010, le CCMF a organisé un atelier sur l'évaluation des vulnérabilités de l'aménagement forestier durable et de l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques. L'objectif était de créer une communauté de pratique au Canada afin de mettre en commun les expériences et de promouvoir les bonnes pratiques. Le CCMF y a proposé un cadre de travail pour l'évaluation des vulnérabilités de l'aménagement forestier durable et de l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques. Nous avons adapté cette proposition à l'échéancier (un an) et aux moyens (un stagiaire postdoctoral par projet d'AFE) du présent projet pour procéder en cinq étapes (Figure 2):

1. Dresser un portrait de la végétation, de la dynamique naturelle, du climat, des approches d'aménagement et des enjeux de biodiversité qui caractérisent le territoire; Dans le cadre de ce projet, le système à l'étude est la stratégie d'aménagement de chacun des trois projets d'aménagement forestier écosystémique examiné, c'est-à-dire son territoire forestier (composition forestière, régime de perturbations naturelles, relief) et ses enjeux écologiques pour l'aménagement.
2. Identifier les vulnérabilités de l'aménagement forestier au climat actuel (éléments associés aux écosystèmes forestiers et aux opérations forestières qui sont présentement fragilisés par les aléas du climat);
3. Caractériser le climat futur des territoires à l'étude à l'aide des simulations climatiques fournies par Ouranos;
4. Identifier les vulnérabilités que pourraient occasionner les changements climatiques projetés, tant sur la dynamique que les opérations forestières;
5. Réaliser une revue de littérature des mesures d'adaptation pour limiter les effets négatifs des changements climatiques ou de tirer profit des opportunités qui pourraient survenir suite à ceux-ci (ex. augmentation de la croissance des arbres).

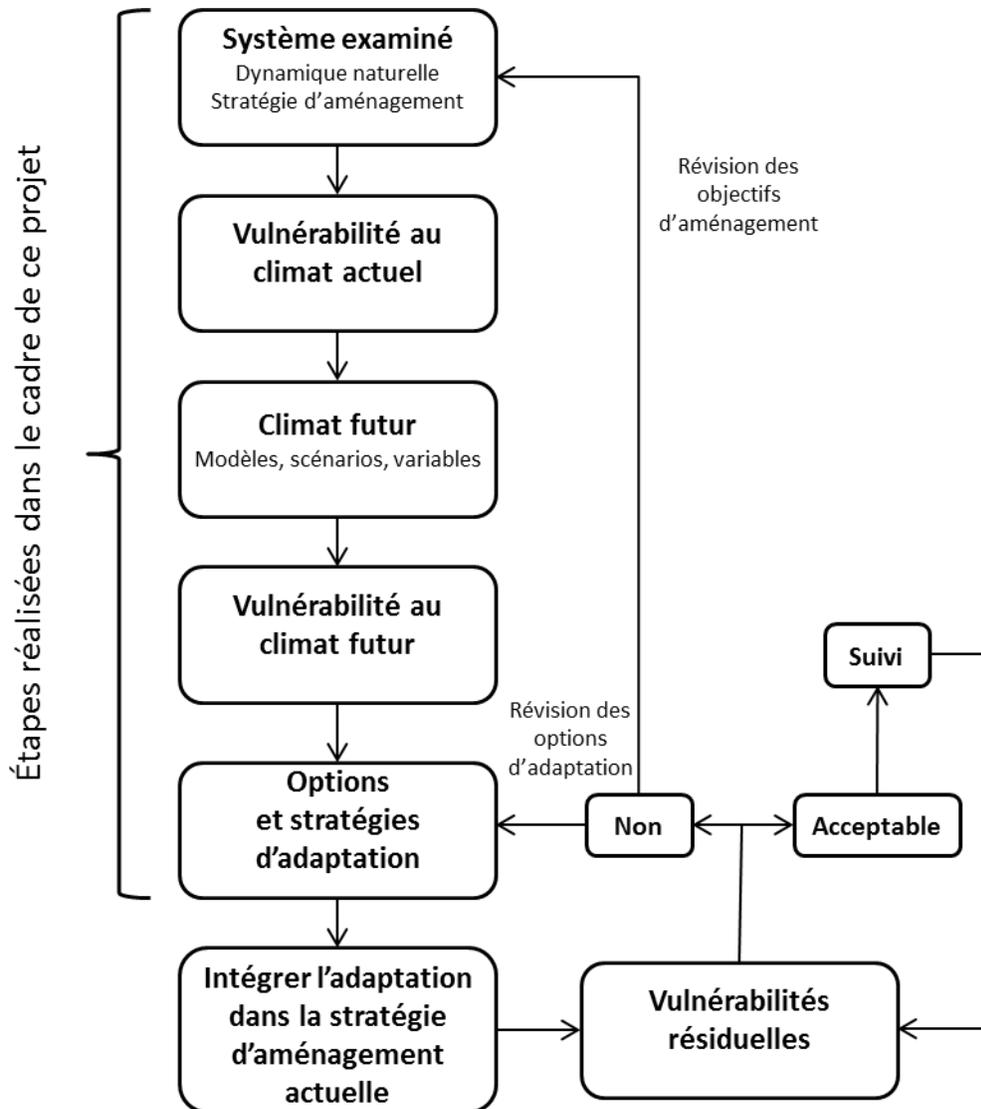


Figure 2 Cadre d'évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques

**4.4 Tenir compte de l'impact des changements climatiques sur l'activité des feux dans le calcul de possibilité forestière**

Ce projet a été l'occasion d'analyser les conséquences des changements de régime des feux sur l'évaluation de la possibilité forestière pour le territoire du projet Tembec. Le risque causé par le feu est induit d'une part en brûlant les peuplements sur pied qui sinon seraient programmés à la récolte et d'autre part en changeant la composition forestière prévue dans la planification. Cette analyse a pour but de développer une stratégie d'adaptation pour diminuer cette vulnérabilité particulière aux changements climatiques.

Deux stratégies d'aménagement (écosystémique et de normalisation) et trois régimes de feu (actuel, sous les scénarios B1 et A2 d'émission de gaz à effet de serre) ont été comparés. Dans un premier temps, les distributions de probabilité des superficies brûlées avec ou sans changements climatiques ont été calculées pour les trois régimes de feu. Puis ces distributions ont servi à calculer la possibilité forestière pour le territoire. Enfin, une stratégie de protection de la planification de la récolte contre le risque induit par les feux a été élaborée. Celle-ci repose sur la théorie de la valeur à risque (Stambaugh 1996) en la faisant correspondre à l'occurrence de ruptures de stock intolérables pour les activités socio-économiques. La méthodologie détaillée est décrite dans Raulier *et al.* (2012).

## 5. Résultats

### 5.1 Portrait régional du climat futur

Afin d'évaluer les vulnérabilités potentielles au climat futur de chaque stratégie d'aménagement examinée, nous avons dressé un portrait des principaux changements climatiques attendus d'ici 2050 (période 2041-2070) pour chacun des territoires examinés (cartes spécifiques aux territoires examinés produites par T. Logan, Ouranos). Les conditions climatiques futures anticipées varient peu d'un territoire à l'autre. D'ici 2050, la température annuelle devrait augmenter de 2,7°C, les précipitations totales annuelles de 99 mm, le nombre total de jours avec un événement de dégel en hiver de 5,5 et le nombre total de degrés jours de croissance devrait augmenter de 384. Les modèles prévoient également une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes (température extrême sur plusieurs jours; la fréquence et la quantité des précipitations élevées). La hausse de température la plus importante devrait se réaliser en hiver (+3,2°C) alors que les hausses les plus importantes des précipitations auraient lieu au printemps (+35 mm) et à l'automne (+28 mm).

**Tableau 4 Principaux changements climatiques médians (10ème et 90ème percentiles) annuels attendus dans les trois territoires des projets d'aménagement examinés. Les changements saisonniers les plus importants sont également présentés.**

Indices et variables	Réserve faunique des Laurentides	Triade	Tembec
Température moyenne annuelle (en °C)	2,7 (2,0 à 3,2) Hiver 3,2 (2,4 à 4,9)	2,7 (2,0 à 3,3) Hiver 3,2 (2,4 à 5,0)	2,9 (2,1 à 3,3) Hiver 3,6 (2,6 à 5,4)
Précipitations totales annuelles (en mm)	99 (44 à 184) Printemps 35,3 (-5,5 à 58,6) Automne 25,8 (1,5 à 61,1)	100 (51 à +172) Printemps 36,5 (-11 à 58)	97(47 à 156) Printemps 34 (-7 à 63) Automne 30 (7 à 60)
Nombre total de jours avec un événement de gel-dégel en hiver	5,7 (2,5 à 9,25)	5,5 (2,7 à 8,65)	5,2 (1,8 à 9,3)
Nombre total de degrés-jours de croissance par année	384 (290 à 459)	387 (285 à 473)	381 (295 à 454)

## **5.2 Vulnérabilités et opportunités aux changements climatiques**

Le Tableau 5 identifie par qui les vulnérabilités mentionnées ont été mentionnées ou identifiées. Nous décrivons brièvement les principales vulnérabilités identifiées pour les trois projets dans les paragraphes suivants.

### Croissance des arbres

La réponse de la croissance au climat varie en fonction de l'espèce et de la latitude à laquelle elle croît. Le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) au-dessus de 49°N, le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) à des latitudes de 53°N et 54°N), et l'épinette noire (*Picea mariana*) et le pin gris (*Pinus banksiana*) au-dessus de 47°N pourraient bénéficier de l'augmentation des températures hivernales et printanières et y répondre par une augmentation de la croissance (Huang *et al.* 2010). Les liens entre la température et la croissance des arbres suggèrent qu'une augmentation de température devrait favoriser une meilleure croissance, entre autres, par l'allongement de la saison de croissance (+20 à +27 jours d'ici 2050 selon le modèle utilisé, Logan *et al.* 2011). L'augmentation de la croissance en raison de conditions climatiques plus favorables ne sera possible que si les conditions édaphiques (éléments nutritifs et contenu en eau), la physiologie et la plasticité des espèces le permettent. Ces incertitudes font que cet aspect peut représenter une vulnérabilité (si la croissance diminue) ou une opportunité (si la croissance augmente) pour l'aménagement forestier.

**Tableau 5 Principales vulnérabilités (V) et opportunités (O) des trois stratégies d'aménagement forestier examinées face aux changements climatiques en fonction de l'origine de leur source d'identification (comité de partenaires régionaux, littérature ou personne ressource chargée de réaliser l'évaluation des vulnérabilités pour la stratégie examinée). Les vulnérabilités/opportunités identifiées par la personne ressource associée au projet d'aménagement forestier examiné sont des vulnérabilités qui ne sont pas mentionnées dans la littérature, mais qu'elle a identifiée comme importantes. Les membres des trois comités ont identifié spontanément des vulnérabilités/opportunités d'après leur expérience professionnelle; certaines d'entre elles sont couramment citées dans la littérature. La première partie du tableau porte sur les vulnérabilités/opportunités d'ordre biophysique et la seconde sur les vulnérabilités d'ordre socio-économique.**

Projet	Tembec			Triade			Réserve faunique des Laurentides		
	Comité	Littérature	Personne ressource	Comité	Littérature	Personne ressource	Comité	Littérature	Personne ressource
Croissance des arbres	V, O	V, O		V, O	V, O		V, O	V, O	
Migration des niches climatiques	V, O	V, O		V, O	V, O		V, O	V, O	
Débourrement hâtif de l'érable à sucre					V				
Activité des feux	V, O	V, O		V	V				
Épidémies d'insectes					V		V	V	
Chablis					V				
Événements extrêmes (précipitations, sécheresses, gel-dégel en hiver)	V	V		V	V			V	V
Paludification	V, O	V, O							
Augmentation de la température des cours d'eau (salmonidés)				V	V				
Certification forestière	V								
Nouveau régime forestier			V, O			V, O			V, O
Diversité des utilisateurs			V, O			V, O			V, O
Fonctionnement du projet d'AFE			O			O			O
Historique de coupes forestières			V			V			V
Régionalisation du pouvoir décisionnel			O			O			O

### Migration des niches climatiques des principales espèces ligneuses

Dans la littérature les changements potentiels de l'aire de distribution des espèces sont souvent mentionnés comme une vulnérabilité aux changements climatiques (si une espèce à intérêt commercial est défavorisée par les conditions climatiques anticipées) ou une opportunité (si elle se trouve favorisée). Berteaux *et al.* (2010) anticipent un déplacement vers le nord des isothermes, allant de 240 Km pour l'isotherme 5°C à 650 Km pour l'isotherme -5°C), à partir des emplacements actuels pour l'horizon 2071-2100 au Québec. McKenney *et al.* (2007) suggèrent des déplacements d'habitat de plus de 700 km, correspondant à une diminution moyenne de 12% de l'aire de répartition pour 130 espèces d'arbres d'Amérique du Nord. Cependant les modèles utilisés pour modéliser cette « migration des espèces » reposent essentiellement sur les conditions climatiques et ne tiennent pas compte des autres exigences environnementales des espèces considérées (conditions édaphiques) ni des processus écologiques qui pourraient interférer avec l'influence du climat (compétition). C'est pourquoi il est préférable de parler de la migration des niches climatiques des espèces, c'est-à-dire des conditions qui leur sont favorables. Ces résultats ne doivent pas être interprétés en termes de migration des espèces mais plutôt en termes de déplacement d'habitats favorables à leur présence. La capacité des espèces à occuper un territoire où des écosystèmes sont déjà bien établis est peu connue. Cependant, leur capacité de dispersion, la compétition entre espèces et d'autres processus écologiques vont probablement interférer avec la migration des niches climatiques et moduleront les changements de leur aire de distribution. Dans ce contexte d'incertitude, il est préférable et conservateur d'étudier l'effet des changements climatiques sur l'aire de répartition actuelle des espèces (Catherine Périé, MRNF, communication personnelle 2012).

De façon générale, on prévoit que les conditions climatiques qui prévaudront dans les prochaines décennies favoriseront davantage les essences feuillues (notamment le bouleau jaune, l'érable rouge et l'érable à sucre) que les essences résineuses (sapin baumier, mélèze, épinette noire). Les conditions climatiques devraient rester favorables pour les essences présentes sur le territoire de Tembec et de la Triade. Cependant, ces conditions pourraient devenir plus propices à certaines espèces pas ou peu présentes sur ces territoires comme le pin rouge (*Pinus resinosa*), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*), le frêne noir (*Fraxinus nigra*), le pin blanc (*Pinus strobus*) et le peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata*), pour le territoire de Tembec, et le frêne d'Amérique (*Fraxinus americana*), l'ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana*) et le tilleul d'Amérique (*Tilia americana*), pour le territoire de la Triade. Dans la RFL, les conditions climatiques futures pourraient défavoriser le mélèze (*Larix laricina*) et le pin gris (*Pinus banksiana*) et devenir plus favorables à la pruche (*Tsuga canadensis*), au noyer cendré (*Juglans cinerea*), au hêtre (*Fagus grandifolia*), au pin blanc et au pin rouge (Catherine Périé, MRNF, communication personnelle, 2011). Comme pour la croissance des arbres, la migration des niches climatiques est associée à de nombreuses incertitudes. C'est pourquoi peut être analysé comme une vulnérabilité ou comme une opportunité potentielle pour l'aménagement forestier.

#### Débourrement hâtif de l'érable à sucre (production de sirop d'érable)

Les flux de sève de l'érable à sucre (*Acer saccharum*) qui peuvent être utilisés pour la production de sirop dépendent de l'occurrence de journées chaudes et de nuits où la température est en dessous du point de congélation. La production de sirop d'érable a diminué au cours des 15 dernières années en raison des conditions climatiques défavorables. Cette diminution devrait se poursuivre pour atteindre de 15 à 22% entre 2050 et 2090 par rapport au niveau de 1985-2006. Par contre, il est possible que les pertes escomptées puissent être moins grandes, voire totalement compensées, si l'érable à sucre parvient à s'adapter en avançant la période de production de coulée de deux à trois semaines en moyenne, entre 2050 et 2090 (Duchesne *et al.* 2009). Il a déjà été observé que les changements climatiques pouvaient provoquer des changements phénologiques, comme le débournement de l'érable à sucre qui se produit maintenant quelques jours plus tôt par rapport aux 100 dernières années (Bernier et Houle 2005). Ce débournement hâtif pourrait entraîner une augmentation des dommages dus au gel si les changements associés à des fréquences de gel-dégel pendant l'hiver se réalisent.

#### Activité des feux

L'évolution de l'activité des feux sous l'influence des changements climatiques a été identifiée comme une vulnérabilité dans le cadre des projets Tembec et Triade. Cependant, elle ne représente pas une préoccupation pour le projet d'aménagement de la RFL où l'activité des feux a peu d'influence sur la dynamique forestière. Les changements climatiques pourraient accroître la fréquence des feux dans plusieurs régions forestières au Québec (Bergeron *et al.* 2006) en raison notamment de l'allongement de la saison de croissance (Wotton et Flannigan 1993) et d'une augmentation de l'activité de foudre (Price et Rind 1994). L'augmentation anticipée des précipitations pendant la saison des feux (en été, +4% d'ici 2050, +10% d'ici 2100, Logan *et al.* 2011), pourrait moduler les effets de la hausse des températures sur la fréquence des feux. Sur le territoire du projet Tembec, on observe un allongement du cycle de feu (qui correspond à une diminution de la fréquence des feux) documenté sur les 300 dernières années qui serait surtout d'origine climatique (Carcaillet *et al.* 2001; Lefort *et al.* 2003). Selon Le Goff *et al.* (2008), dans différentes régions de l'Est du Canada, la fréquence des feux devrait augmenter sous l'influence des changements climatiques sans toutefois excéder les valeurs historiques. Cependant, à l'échelle de l'UAF, cette tendance est difficile à prédire. Dans le cadre du projet Tembec, l'augmentation anticipée de l'activité des feux, aurait la particularité d'être considérée également comme une opportunité pour l'aménagement des peuplements paludifiés. En effet, si la sévérité des feux augmente (que l'épaisseur de matière organique au sol consommée par le feu augmente), l'activité des feux pourrait alors améliorer la productivité des sites où la croissance des arbres est actuellement limitée par l'épaisseur de matière organique au sol.

#### Épidémies d'insectes

Les épidémies de dendroctone du pin (*Dendroctone ponderosae*) et de dendroctone de l'épinette (*Tetropium castaneum*) qui sévissent actuellement en Colombie-Britannique et au Yukon sont sans précédent. L'augmentation des sécheresses ainsi que des étés et des hivers plus chauds, ont contribué à l'ampleur de ces épidémies (Carroll *et al.* 2004 dans Williamson *et al.* 2009, Berg *et al.* 2006, Soja *et al.* 2007). Ces épidémies illustrent le fait que les changements climatiques pourraient augmenter l'intensité, la fréquence et l'ampleur des épidémies d'insectes forestiers (Logan *et al.* 2003, Lemprière *et al.* 2008, Williamson *et al.* 2009). La dynamique des épidémies d'insectes est un phénomène complexe de sorte que les impacts des changements climatiques sont difficiles à cerner. Bien que certaines analyses suggèrent une augmentation de l'intensité et de la fréquence des épidémies (Overpeck *et al.* 1990), plusieurs facteurs, comme les changements de composition des forêts et de phénologie des espèces, pourraient entraîner l'effet inverse. Il existe encore trop peu d'informations sur l'influence du climat sur la dynamique des populations d'insectes ravageurs forestiers au Québec pour bien documenter ce type de vulnérabilité.

### Chablis

Le risque de chablis est particulièrement élevé sur les sols peu profonds ou gorgés d'eau et est plus fréquent chez les espèces à racines peu profondes ou des espèces ayant un bois de faible densité (Whitney 1961, Mitchell 1995, Auclair *et al.* 1996, Clinton et Baker 2000, Ruel 2000, Ruel *et al.* 2001). Le moment où se produisent les tempêtes de vent joue probablement un rôle dans le taux de mortalité. Si une fréquence de vents forts se produit durant la fonte printanière lorsque les sols sont inondés, une plus grande sévérité de dommages pourrait en résulter (Peltola *et al.* 1999). Les connaissances sur l'influence des changements climatiques sur la fréquence et la sévérité des chablis est encore trop fragmentaire pour anticiper les conséquences sur les forêts au Québec. Cependant, l'augmentation anticipée de la fréquence des événements de précipitations extrêmes pourrait entraîner une augmentation des dommages dus au vent. Par exemple, Panferov *et al.* (2009), ont utilisé une approche de modélisation dans laquelle une turbulence et un modèle de transfert sol-végétation-atmosphère ont été couplés, révélant une augmentation de la fréquence des événements de chablis pour des peuplements d'épinette blanche (*Picea abies*) et de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) en Allemagne au cours du 21<sup>ème</sup> siècle. Les modèles climatiques globaux prévoient une augmentation de la fréquence des tempêtes et des tornades, ce qui suggère également une augmentation des chablis (Overpeck *et al.* 1990).

### Événements météorologiques extrêmes : précipitations printanières, sécheresses, gel-dégel en hiver

Des modifications dans la fréquence et la quantité des hausses soudaines du débit d'eau ont été observées au cours des dix dernières années sur le territoire de la Triade. Cela a conduit à la mise en place de ponceaux de plus grands diamètres sur ce territoire. Les intervenants du projet Triade redoutent de nouvelles augmentations des débits d'eau, particulièrement si les événements de précipitations extrêmes se produisent sur plusieurs jours successifs pendant les périodes de hausse de débit au début du printemps. Les simulations des événements de précipitations extrêmes du Modèle Régional du Climat Canadien suggèrent que leur fréquence pourrait augmenter d'ici 2100 (Casati, Ouranos, communication personnelle 2011; voir aussi [http://space.fmi.fi/Verification2009/presentations/WEDNESDAY/O8.2\\_Casati.pdf](http://space.fmi.fi/Verification2009/presentations/WEDNESDAY/O8.2_Casati.pdf), consulté le 17 avril 2012). Le raccourcissement de la saison hivernale et de la période où le sol est gelé, l'augmentation des phénomènes de gel-dégel en janvier et en février, la diminution de la profondeur de gel et l'augmentation de l'humidité des sols en hiver pourraient affecter les coupes et le transport du bois en hiver. En été, la traficabilité des chemins peut être limitée par les nuages de poussière dus au passage des camions. Par exemple, l'assèchement accru des chemins à cause des sécheresses de l'été 2010 a nécessité plus d'arrosages (Sylvy Lepage, Ville de La Tuque, communication personnelle, 21 septembre 2010). Le comité scientifique de la RFL n'a pas fait mention de la vulnérabilité des opérations forestières aux changements climatiques, alors qu'il s'agit certainement d'une problématique existante sur le territoire. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'aucun spécialiste des opérations forestières n'était présent à ce comité.

### Paludification

La paludification est un phénomène spécifiques aux forêts situées sur la Ceinture d'Argile, par lequel la matière organique, principalement composée de mousses, s'accumule au sol et forme une épaisse couche recouvrant le sol minéral (Simard *et al.* 2008). La croissance de cette matière organique nuit à celle des arbres en entravant le drainage, puis en diminuant la fertilité des sols. L'allongement récent du cycle de feu dans les forêts de la Ceinture d'Argile (Bergeron *et al.* 2006) et les prévisions climatiques associées aux changements climatiques semblent indiquer que la proportion de peuplements paludifiés pourrait augmenter (Weber et Flannigan 1997, Ali *et al.* 2009) ou du moins demeurer une préoccupation majeure sur le territoire du projet Tembec (Drobyshev *et al.* 2010).

#### Augmentation de la température des cours d'eau (salmonidés)

Une tendance à la baisse des débits d'eau en été est anticipée dans le futur (Fortin *et al.* 2007, Roy *et al.* 2008), ce qui peut entraîner une diminution de la qualité de l'habitat et l'abondance des espèces de poissons d'eau froide (telles que la truite et le saumon) pour lesquelles une température de 25°C ou plus est létale (Stainton et Turner 1990, Morrow et Fischenich 2000). Les périodes de débit d'été sont essentielles pour le cycle de vie des salmonidés. Un faible débit peut entraîner une augmentation de la mortalité des œufs, la réduction de l'habitat, des changements à la communauté d'invertébrés (proies), et un stress thermique (MacMillan *et al.* 2008). À un faible débit d'eau est associée une température plus élevée. Une augmentation de la température de l'eau diminue la productivité et augmente la mortalité chez les salmonidés en raison de changements dans la physiologie et le comportement (Morrow et Fischenich 2000, Breau 2004, Friedland *et al.* 2003). Bon nombre des espèces qui pourraient être touchées sont d'une grande importance économique pour les pourvoyeurs et les opérateurs des zones d'exploitation contrôlée.

#### Certification forestière

Les impacts des changements climatiques ne sont pas encore pris en compte dans les normes de certification forestière (Forest Stewardship Council, Sustainable Forest Initiative et Canadian Standards Association). Telles qu'elles sont formulées actuellement, les normes de certification pourraient limiter l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans l'aménagement forestier par leur façon de faire référence aux conditions préindustrielles qui prévalaient sous des conditions climatiques nécessairement différentes de celles anticipées pour le futur. Cependant, si les changements climatiques étaient considérés, les objectifs des normes de certification s'en trouveraient renforcés puisque la considération des changements climatiques en aménagement forestier est reconnue comme une condition importante pour garantir la durabilité de l'aménagement forestier (Sptittlehouse et Stewart 2003).

#### Nouveau régime forestier

Bien que la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et la Stratégie d'aménagement durable des forêts mentionnent les changements climatiques comme sujet d'importance, la mise en œuvre de l'intégration de ces enjeux au système actuel d'aménagement forestier demeure encore très théorique. Les principales limites à l'inclusion des enjeux liés aux changements climatiques identifiées au cours des échanges avec les partenaires sont :

- La complexité des tâches actuelles à réaliser; la mise en œuvre des principes d'aménagement écosystémique mobilise déjà beaucoup de ressources;
- La transition de l'ancien au nouveau régime forestier est à la fois propice pour aborder de nouvelles problématiques et un frein, car les organisations doivent déjà consentir beaucoup d'efforts pour opérer cette transition;
- L'accès difficile aux informations sur les changements climatiques pour les professionnels qui planifient l'aménagement forestier; le manque de personnes ressources pour faciliter cette intégration.

#### Diversité des utilisateurs

Lorsque les utilisateurs du territoire proviennent de divers horizons, les besoins et les préoccupations face à l'aménagement forestier sont par conséquent très variés et parfois contradictoires. Ainsi, les objectifs d'aménagement de certains groupes pourraient aller à l'encontre des options d'aménagement permettant l'adaptation aux changements climatiques. Cependant, les utilisateurs peuvent témoigner des impacts des variations récentes de climat sur leurs usages du territoire et proposer des mesures d'adaptation concrètes.

### Fonctionnement du projet d'AFE

Les trois projets d'AFE ont été choisis pour réaliser l'évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques car leur fonctionnement facilite l'inclusion de nouvelles connaissances scientifiques pour améliorer leur stratégie d'aménagement. Ils sont issus d'une collaboration entre chercheurs et gestionnaires. Par exemple, dans le cadre du projet de la RFL, la table des partenaires a utilisé l'approche « enjeux-solutions » (Cadioux *et al.* 2011) pour identifier les différents enjeux de biodiversité touchant le territoire et établir les objectifs et les cibles d'aménagement et pour élaborer les solutions permettant d'atteindre ces objectifs en :

- Identifiant et de documenter les enjeux et les problématiques associés à un territoire. Dans le cadre du projet d'aménagement écosystémique, ces enjeux étaient associés à la biodiversité, mais le même processus permettrait d'identifier les vulnérabilités associées à un territoire.
- Atteignant un consensus sur ces enjeux afin de s'assurer de l'adhésion des acteurs aux enjeux puis éventuellement aux solutions qui doivent être mises en place pour les traiter.
- Sensibilisant et éduquant les acteurs du milieu à une problématique (biodiversité, changements climatiques, etc.), on s'assure alors d'une meilleure compréhension des enjeux et une meilleure implication des partenaires régionaux pour trouver des solutions.

Cette approche peut constituer un facteur particulièrement favorable pour l'adaptation aux changements climatiques. L'adaptation est largement favorisée lorsqu'il y a un cadre d'échange des connaissances déjà en place autour d'autres problématiques discutées pour améliorer l'aménagement d'un territoire.

### Historique de coupes forestières

Les territoires considérés ont été passablement modifiés par l'aménagement forestier (Gauthier *et al.* 2008, Boulfroy et Lessard 2009). Plusieurs éléments dont la présence des vieilles forêts, la composition et la structure des peuplements se retrouvent actuellement en dehors des limites de la variabilité naturelles (Cyr *et al.* 2009). Il est généralement accepté que les modifications importantes des peuplements peuvent avoir des impacts importants sur la biodiversité (Hunter 1993, Landres *et al.* 1999, Burton *et al.* 1999, Messier et Kneeshaw 1999, Gauthier *et al.* 2008) et les différents processus naturels des écosystèmes forestiers. Le maintien de la biodiversité et des processus écologiques est important pour assurer la résilience des peuplements (Drever *et al.* 2006, Gauthier *et al.* 2008). Cette résilience permet aux écosystèmes de faire face aux perturbations et de maintenir leurs fonctions et leur structure (Brand et Jax 2007). L'uniformisation des structures et de la composition et la perte de vieilles forêts associées à l'aménagement forestier diminueraient la résilience des forêts (Landres *et al.* 1999, Gauthier *et al.* 2008). Cette situation peut contribuer à rendre les forêts aménagées plus vulnérables aux changements climatiques que les forêts naturelles (Leduc *et al.* 2004).

### Régionalisation du pouvoir décisionnel

La mise en place d'une gestion intégrée et régionalisée des forêts pourrait favoriser l'adaptation aux changements climatiques. Les vulnérabilités associées aux changements climatiques peuvent être différentes d'une région à l'autre, tout comme les objectifs d'aménagement et le contexte socio-économique. Un mode de gestion au niveau local permet donc de déterminer les meilleures options d'adaptation et d'aménagement en fonction des conditions et des enjeux locaux. Même si la prise en compte des changements climatiques n'est pas obligatoire dans la planification en cours (2013-2018), les tables de gestion intégrée des ressources et du territoire (GIRT) constituent des organes privilégiés pour débiter la sensibilisation des acteurs du secteur forestier et pour intégrer l'adaptation aux enjeux qui y sont discutés.

### **5.3 Mesures d'adaptation proposées**

Les options d'adaptation proposées sont issues d'une revue de littérature (Tableau 6) et concernent les principales vulnérabilités identifiées précédemment. Les mesures d'adaptation classées pour les vulnérabilités « Autres » font davantage référence à des considérations d'ordre général lorsqu'on entreprend une évaluation des vulnérabilités et des mesures d'adaptation. Le Tableau 6 présente une sélection de mesures d'adaptation. Une version intégrale des mesures recensées dans la littérature est présentée en annexe 1.

**Tableau 6 Principales options d'adaptation proposées dans le cadre des trois projets d'aménagement forestier écosystémique examinés. Toutes ces mesures sont issues de la littérature (Le Goff *et al.* 2005, Ogden et Innes, 2007a, 2007b, Johnston *et al.* 2010) sauf l'augmentation de la taille des ponceaux dans le cadre du projet Triade (mesure déjà en place), ainsi que les mesures en lien avec la régionalisation du pouvoir décisionnel et de la certification.**

Vulnérabilités	Options d'adaptation
Croissance des arbres	<p>Favoriser la régénération naturelle; ce que l'on fait déjà en partie dans le cas de la coupe avec protection de la régénération et des sols</p> <p>Replanter à l'aide d'un panier mixte d'épinette noire (pour les microsites humides) et du pin gris (pour les microsites plus arides)</p> <p>Lors des activités de plantation, imiter la composition de la régénération naturelle si celle-ci est insuffisante</p> <p>Faire un suivi de la croissance</p> <p>Mettre en place une sylviculture qui favorise la croissance (éclaircies, coupes partielles)</p> <p>Faire un suivi des coupes partielles</p> <p>Effectuer des coupes d'éclaircies ou sélectives pour éliminer les arbres opprésés, endommagés ou de mauvaises qualité</p> <p>Adapter des règles et des pratiques sylvicoles pour maintenir les relations sites-espèces optimales en fonction de la migration des niches climatiques</p> <p>Concevoir et établir des tests à long terme améliorer les génotypes, et ce dans une diversité de conditions climatiques</p>
Migration des espèces	<p>Migration assistée des espèces et des génotypes</p> <p>Diversifier les génotypes afin d'augmenter la capacité d'adaptation des espèces face à de nouvelles conditions climatiques</p> <p>Réaliser des tests de provenances sur de plus grands gradients latitudinaux</p> <p>Modifier les lois restreignant l'utilisation de semences provenant de zones éloignées de la zone à replanter</p> <p>Reconfigurer les zones de conservation, de production intensive et d'aménagement écosystémique</p>
Activité des feux	<p>Inclure le risque de feu dans le calcul de la possibilité forestière</p> <p>Aménagement du paysage Intelli-Feu (Fire Smart forest management)</p> <p>Utiliser le zonage fonctionnel (zone de conservation, zone de production intensive, zone d'aménagement forestier écosystémique) pour cartographier finement les priorités en matière de suppression des feux</p>

Épidémies d'insectes	<p>Planter des génotypes ou des espèces résistantes aux épidémies, aux maladies et aux sécheresses</p> <p>Suivre les populations d'insectes, acquérir de meilleures connaissances sur l'influence du climat sur elles</p>
Paludification	Préparer les terrains paludifiés par drainage, scarification ou brûlage dirigé
Augmentation de la température des cours d'eau	Conserver la végétation des berges afin de maintenir son effet régulateur sur la température des cours d'eau; aménager de façon à augmenter cet effet régulateur.
Opérations forestières	Changer la pressurisation des pneus en fonction de la traficabilité du terrain
Précipitations extrêmes	Augmenter la taille des ponceaux
Certification, régime forestier	<p>Évaluer la marge de manœuvre accordée par les cadres légaux et réglementaires pour intégrer les enjeux liés aux changements climatiques</p> <p>Formuler des contrats d'approvisionnement à long terme</p> <p>Évaluer la flexibilité des politiques et des plans d'aménagement pour intégrer la question des changements climatiques</p> <p>Utiliser un cadre de gestion adaptatif afin de réagir rapidement aux nouvelles conditions climatiques</p>
Régionalisation du pouvoir décisionnel	<p>Diversité des utilisateurs : Sensibiliser, éduquer, transférer des connaissances spécialisées et pertinentes aux partenaires régionaux. Sensibiliser les intervenants pour s'assurer que la question des changements climatiques soit discutée avec sérieux et considérée comme un enjeu réel</p> <p>S'assurer que les tables de gestion intégrée des ressources et du territoire (GIRT) ont accès à une expertise adéquate sur les changements climatiques</p> <p>Développer des outils pour guider les tables GIRT lors de la planification</p> <p>S'assurer que les gestionnaires du gouvernement responsables de l'aménagement forestier envoient un message clair aux intervenants régionaux sur la nécessité de l'adaptation aux changements climatiques et de sa prise en compte dans la planification (soutenir la mise en œuvre des orientations stratégiques du MRNF en matière de changements climatiques)</p>

Autres	<p>Développer une évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques des systèmes naturels et humains impliqués (et développer les moyens pour y parvenir)</p> <p>Estimer les incertitudes reliées aux projections climatiques et à leurs conséquences potentielles</p> <p>Promouvoir les approches de gestion qui permettent de prendre des décisions dans un contexte d'incertitudes</p> <p>Améliorer l'accès à l'expertise sur les changements climatiques</p> <p>Favoriser l'innovation et la recherche pour déterminer quand et où mettre en œuvre des mesures d'adaptation</p>
--------	---

Malgré les nombreuses incertitudes associées aux changements climatiques, il est nécessaire de développer dès maintenant des mesures qui permettront la prise en compte des changements climatiques dans l'aménagement des forêts (Spittlehouse et Stewart 2003, Lawler *et al.* 2010). Cette anticipation des changements climatiques et de leurs conséquences et une stratégie d'adaptation proactive sont essentielles dans le cadre de l'aménagement forestier écosystémique en raison de la longévité des espèces et des horizons de planification considérés (Spittlehouse et Stewart 2003). L'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans l'aménagement forestier peut se faire par la mise en place de mesures qui permettront de limiter les impacts des changements climatiques ou encore de tirer profit des opportunités créées par ces changements. Peu de mesures d'adaptation ont été intégrées dans les cadres de gestion ces dernières années en raison de la grande incertitude reliée aux prévisions futures du climat (Lawler *et al.* 2010). Cependant, certaines institutions européennes et nord-américaines proposent des mesures pour adapter le secteur forestier en prenant en considération cette incertitude (Lindner *et al.* 2008, 2010, USCCSP 2008). L'International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) a publié récemment un survol des mesures proposées par plusieurs juridictions (Eastaugh *et al.* 2009). D'autres recherches proposent différentes approches pour incorporer l'adaptation aux changements climatiques dans la gestion forestière (Ogden et Innes 2007a, 2008, 2009, Prato 2008). Ainsi, la littérature comporte de nombreuses suggestions d'options d'adaptation portant autant sur la conservation de la biodiversité, le maintien de la productivité et de la santé des écosystèmes que sur les aspects politiques et socioéconomiques.

Certaines de ces mesures d'adaptation sont des pratiques déjà mises en œuvre dans le cadre du système d'aménagement actuel (favoriser la régénération naturelle, favoriser la croissance par la sylviculture), alors que d'autres mesures d'adaptation (replanter à l'aide paniers mixtes, aménagement Intelli-Feu, etc.) représentent des pratiques à mettre en œuvre. Pour ces dernières, il faut bien évaluer leur faisabilité et leur compatibilité avec l'ensemble des enjeux d'aménagement forestier du territoire considéré.

#### 5.4 Simulation de la récolte avec le régime de feu sous l'influence des changements climatiques

Une stratégie de protection de la planification de la récolte contre le risque induit par les feux a été élaborée et testée pour deux stratégies d'aménagement (écosystémique et de normalisation) et trois régimes de feu (actuel et pour deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre). Cette analyse porte sur le risque que pose l'occurrence de feu pour la possibilité forestière.

Le risque maximum est en interaction forte avec la structure d'âge de la forêt, alors que le risque médian est d'avantage sous le contrôle du régime de feu. Pour le scénario A2, un doublement du taux de brûlage (proportion moyenne du territoire brûlée annuellement) double le risque médian pour les deux stratégies d'aménagement alors que le risque maximum n'augmente qu'entre 24% (normalisation) et 33% (écosystémique) (Figure 3). Plusieurs niveaux de protection ont été examinés (protection de la médiane, du premier quartile et du 5<sup>ème</sup> centile de la distribution de probabilité du taux de succès de la planification). Plus le niveau de protection exigé est élevé, plus il est difficile et coûteux d'assurer la protection de la possibilité forestière contre le risque de feu (sans considérer les impacts des changements climatiques sur l'activité des feux). Cependant, le coût supplémentaire causé par l'impact probable des changements climatiques sur l'activité des feux varie quant à lui entre 0 et 10% (Figure 4).

En termes de possibilité forestière, une stratégie d'aménagement écosystémique ne représente pas une protection contre le risque causé par les feux, par contre elle donne plus de flexibilité à l'aménagiste pour se protéger contre les changements éventuels du régime de feu. Les résultats détaillés sont disponibles dans Raulier *et al.* (2012).

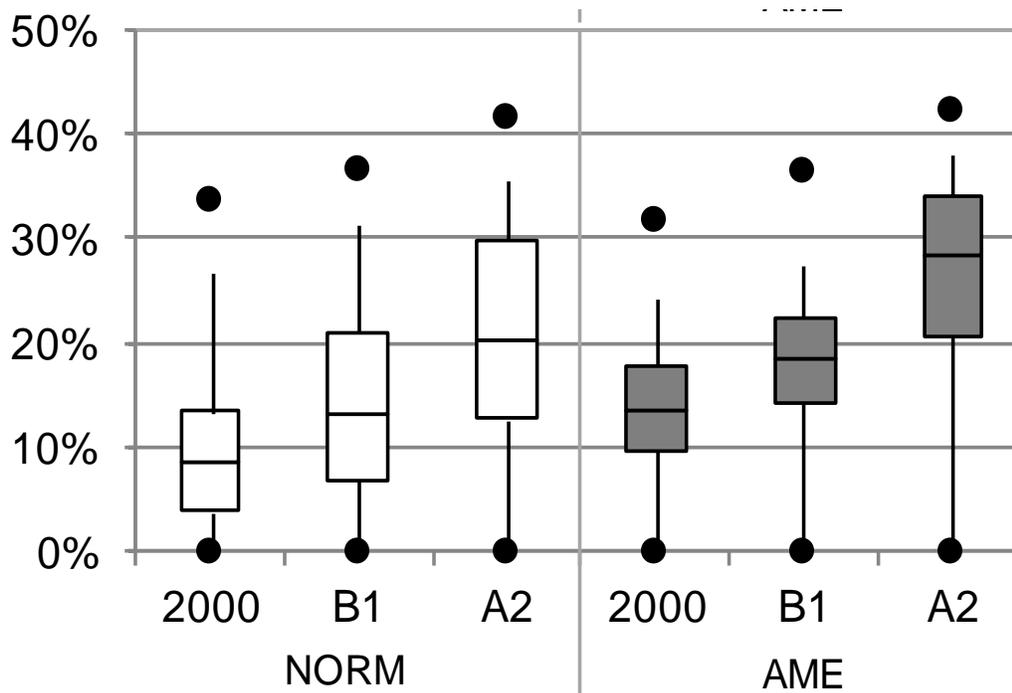


Figure 3 Distributions de probabilité des valeurs à risque relatives à la possibilité (en %/période) pour deux scénarios d'aménagement (normalisation, NORM et écosystémique, AME) et trois régimes de feu: actuel (2000) et pour deux scénarios de changements climatiques (B1 et A2). Les cercles pleins indiquent les valeurs minimales et maximales, les barres, le 1<sup>er</sup> et le dernier décile, le haut et le bas des boîtes, le 1<sup>er</sup> et le dernier quartile et la barre dans les boîtes, la médiane.

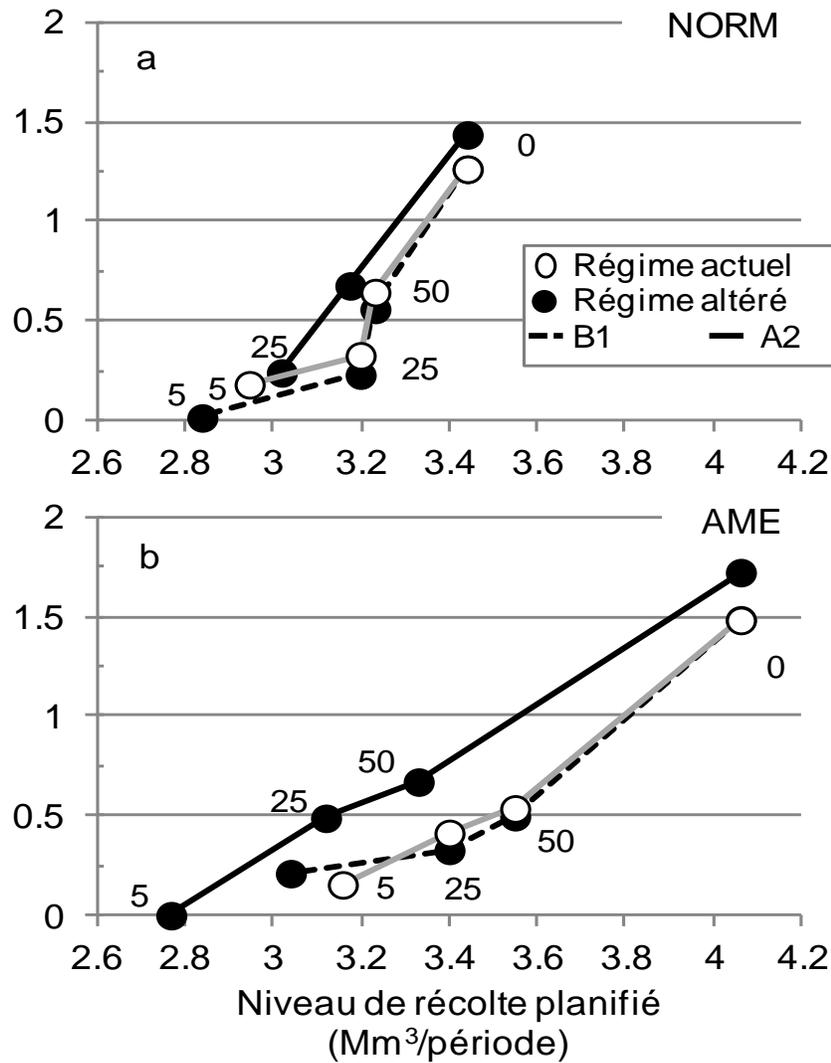


Figure 4 Coût des stratégies de protection à couverture variable (protection de la médiane, du premier quartile et du 5<sup>ème</sup> centile de la distribution de probabilité du taux de succès de la planification) exprimé en Mm<sup>3</sup> de bois/période contre le risque causé par le feu pour trois régimes de feu (actuel, B1 et A2). Deux stratégies d'aménagement (normalisation (a) et écosystémique (b)) sont considérées.

## **6. Analyse et discussion**

### **6.1 Vulnérabilités et opportunités identifiées**

Les vulnérabilités et les opportunités reliées aux changements climatiques dépendent de :

- La composition du groupe de personnes consultées, de leur niveau de compréhension des changements climatiques, de leur niveau de sensibilité (perceptions) à ceux-ci, puis de leur type de préoccupations et domaine de compétence (par ex. : pas de mention relative aux opérations forestières dans la RFL);
- La disponibilité des informations dans la littérature (modèle de niches climatiques, compréhension actuelle de l'impact des changements climatiques sur les épidémies d'insectes, sur la phénologie des espèces).

Dans le cadre de ce projet, les vulnérabilités et les opportunités ont été identifiées à l'aide des principaux enjeux d'aménagement et d'échanges avec les partenaires régionaux. Cependant, certaines vulnérabilités d'ordre socio-économiques ont émergé des échanges sans que nous puissions les analyser par manque d'une expertise appropriée au sein de l'équipe. C'est en particulier le cas pour l'antagonisme apparent entre les normes de certification forestière et l'adaptation aux changements climatiques, ainsi que la transition vers le nouveau régime forestier au Québec qui mobilise beaucoup de ressources tout en représentant une bonne occasion d'aborder la question des changements climatiques pour l'aménagement forestier durable.

### **6.2 Les options d'adaptation**

Les options d'adaptation sont tirées de la littérature. Par conséquent, elles pourraient entrer en conflit entre elles ou avec les objectifs d'aménagement forestier. Par exemple : permettre aux forêts de se régénérer naturellement à la suite de perturbations est incompatible avec la maximisation de la superficie forestière par une régénération rapide des zones perturbées à l'aide de plants sélectionnés pour leur robustesse face au climat. Dans le cas de la RFL et de la Triade, la diversité des utilisateurs pourrait mener à des intérêts divergents et à des options d'adaptation contradictoires. Cependant cette diversité d'utilisateurs pourrait aussi permettre d'arriver à des solutions d'adaptation aux changements climatiques plus réalistes et mieux adaptées au territoire et à ses usages. Cet aspect n'a pas été couvert par le présent projet : l'absence d'échanges avec les partenaires régionaux sur les mesures d'adaptation ne permet pas de s'assurer que les mesures d'adaptation proposées soient à la fois adaptées au contexte d'aménagement local et arrimées aux préoccupations des intervenants consultés.

### **6.3 Simulation de la récolte avec le régime de feu sous l'influence des changements climatiques**

Les objectifs de cette partie du projet étaient d'établir la distribution des probabilités de la superficie brûlée avec changements climatiques et d'inclure l'impact de ces changements dans le calcul de possibilité forestière. La valeur à risque maximale a été utilisée pour mesurer le risque induit par les feux sur le calcul de possibilité et tenter de s'en protéger, à l'aide d'une étude de cas réelle pour deux stratégies d'aménagement ont également été comparées (normalisation et écosystémique). À l'exception de Peter et Nelson (2005), la plupart des recherches ayant analysé l'interaction entre le calcul de possibilité et le feu a été faite sur des cas théoriques ou sur des territoires simplifiés, soit dans le but de simplifier la problématique (Van Wagner 1983), soit du fait de la complexité de l'approche méthodologique utilisée (Armstrong 2004, Savage *et al.* 2010). De plus, toutes ces études ont appliqué une stratégie d'aménagement visant la normalisation de la structure d'âge de la forêt.

Van Wagner (1983) a montré que le fait de réduire la possibilité d'un certain pourcentage afin de constituer un fonds de réserve permet de protéger le niveau de récolte planifié contre le risque induit par les feux. Ce résultat a été confirmé par d'autres études (Boyчук et Martell 1996, Armstrong 2004, Savage *et al.* 2010). Par contre, on peut se demander s'il est nécessaire de protéger de façon uniforme sur tout l'horizon de planification et s'il ne vaut mieux pas concentrer ses efforts sur les périodes de planification où le risque d'une rupture de stock est élevé. L'utilisation d'un fonds de réserve permet en effet de se protéger contre le risque médian mais semble moins efficace qu'une couverture variable lorsqu'il s'agit de se protéger contre le risque maximum. Ces deux stratégies de protection permettent de diminuer l'exposition au risque induit par le feu, par contre elles ne permettent pas de l'annuler (Armstrong 2004). Le recours à un niveau de protection très contraignant semble coûteux à maintenir face à un risque dont la distribution de probabilité peut très bien varier dans le temps. Il serait donc opportun d'envisager des stratégies complémentaires qui permettent de couvrir l'exposition résiduelle au risque, c'est-à-dire une fois que celui-ci a été minimisé sur un territoire forestier en particulier. Par exemple, la diversification des sources d'approvisionnement en bois (UAF voisines, achats de lots de bois) pourrait contribuer à diminuer ce risque résiduel.

### **6.4 Les politiques existantes et l'adaptation aux changements climatiques**

Le contexte forestier au Québec est présentement en restructuration et il existe une certaine volonté de considérer les changements climatiques dans les nouvelles politiques. Effectivement, l'importance des changements climatiques est mentionnée dans la nouvelle loi et dans la stratégie d'aménagement forestier durable. Ils sont aussi au cœur de la mesure 24 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques. Toutefois, aucun plan ni aucune pratique d'aménagement forestier (interventions sylvicoles, planification du réseau de chemins, etc.) n'inclut implicitement l'adaptation aux changements climatiques au Québec ni ailleurs au Canada (Ogden et Innes 2007a). De plus, les normes de certification forestière, qui concernent actuellement 75% des forêts publiques du Québec (MRNF 2010), ne mentionnent aucunement l'adaptation aux changements climatiques. Tant qu'il n'y aura pas d'intérêt économique à intégrer les changements climatiques dans les pratiques forestières, on ne pourra pas s'attendre à ce que ce soit une priorité.

### **6.5 L'applicabilité de l'aménagement forestier écosystémique dans le contexte des changements climatiques**

L'aménagement forestier écosystémique (AFE) vise à réduire les écarts entre les paysages naturels et les paysages aménagés (Gauthier *et al.* 2008, MRNF 2010). Cette approche se base donc sur une bonne compréhension de la dynamique forestière et des références écologiques définissant ce qu'est un paysage « naturel ». On définit les paysages naturels en s'appuyant sur la variabilité naturelle des conditions forestières passées documentées par les études scientifiques. Initialement, l'AFE s'est développé en réponse à l'homogénéité des conditions créées par la récolte de bois par coupe à blanc et par coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS). Il s'agissait alors de documenter la variabilité des conditions forestières passées, issues des régimes de perturbations naturelles pour s'inspirer de ces plages de variabilité afin de diversifier les conditions forestières issues des pratiques d'aménagement. Ultimement, cette approche a conduit à diversifier les types de coupes forestières (coupes adaptées pour maintenir des structures de vieilles forêts par exemple) afin de créer des conditions plus représentatives de la plage de variabilité documentée pour les forêts considérées. Parce qu'elle fait référence aux conditions forestières passées, issues en partie des conditions climatiques passées, cette approche est considérée par certains auteurs (Millar *et al.* 2007) comme inappropriée dans le contexte des changements climatiques puisque les conditions futures seront différentes du climat passé.

Pour les pourfendeurs de cette approche, s'inspirer des conditions climatiques passées pour aménager la forêt pourrait conduire à créer des écosystèmes forestiers mal adaptés aux conditions climatiques futures. Bien qu'elle soit insuffisante, la marge de variabilité naturelle historique est malgré tout l'approche la plus viable à court terme en raison de son faible niveau d'incertitude (Keane *et al.* 2009) et reste un des meilleurs moyens pour comprendre et prévoir les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers (Landres *et al.* 1999). Pour que l'AFE soit vraiment performant dans un contexte de changements climatiques, il devrait être à la fois « *rétrospectif* » (comparaison des conditions existantes à des conditions historiques de référence) et « *prospectif* » (en comparant les conditions existantes aux conditions issues des conditions climatiques futures) (Gärtner *et al.* 2008). Par ailleurs, comme cette approche repose sur notre compréhension de la dynamique naturelle des écosystèmes forestiers et que cette connaissance est sans cesse en développement, seul un cadre adaptatif de gestion, qui facilite l'inclusion de nouvelles connaissances pourrait permettre de toujours agir au meilleur de ces connaissances (Domaine et Cadieux 2011). Dans cette perspective, le suivi des conditions forestières est incontournable afin de vérifier que les actions entreprises ont atteints les cibles.

### **6.6 Limites à l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans le cadre de l'aménagement forestier**

L'adaptation aux changements climatiques est un concept relativement nouveau et la mise en œuvre du nouveau régime forestier est un contexte difficile pour introduire une nouvelle dimension (les changements climatiques) au cadre de gestion des forêts. En effet, les ressources actuelles sont mobilisées pour la mise en œuvre de l'aménagement forestier écosystémique et, sans dédier des ressources supplémentaires à cet aspect, l'adaptation aux changements climatiques ne pourra s'opérer. Dans le cadre de ce projet, les trois personnes responsables de l'évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques se sont présentées aux partenaires régionaux comme des personnes ressources sur la question des changements climatiques, ce qui a permis d'initier les discussions autour de ce sujet. Cependant la durée du projet était insuffisante pour développer une véritable stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour chacune des stratégies d'aménagement forestier écosystémique considérées. En effet, il a été difficile, voire impossible, d'avoir des échanges suivis et réguliers avec les personnes impliquées. Le comité technique Tembec a suspendu ses travaux pendant 6 mois et la Table des partenaires pour le projet de la réserve faunique des Laurentides était en fin d'exercice en 2010.

Ainsi, une des principales limites à l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques est le temps nécessaire à l'introduction d'un nouveau concept dans un contexte où les ressources sont très mobilisées autour d'autres enjeux, et le temps nécessaire pour des échanges suivis avec les partenaires régionaux afin de poursuivre les discussions sur la faisabilité des mesures d'adaptation proposées. Une autre limite importante est le manque d'experts disponibles pour accompagner ces discussions :

- experts en sociologie et économie pour compléter l'analyse des aspects biophysiques des vulnérabilités et de l'adaptation aux changements climatiques;
- experts en adaptation aux changements climatiques afin d'accompagner les partenaires régionaux dans l'identification des vulnérabilités et des mesures d'adaptation.

## **7.Recommandations**

### ***7.1 Favoriser l'échange des connaissances sur les changements climatiques***

Ce projet a été la première occasion pour trois équipes régionales de discuter des changements climatiques, mais il n'a pas pu aboutir au développement d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques spécifique à chacune des trois stratégies d'aménagement examinées. Pour développer une stratégie d'adaptation, il aurait fallu davantage de rencontres et d'échanges entre les équipes régionales et les experts en changements climatiques. Cependant ni les experts en changements climatiques, ni les équipes régionales n'ont eu les moyens de réaliser de nombreuses rencontres. Les discussions seraient largement favorisées si un atelier était organisé afin de soumettre les questions résultant de ce projet aux différents acteurs régionaux impliqués dans les étapes précédentes. Un échange suivi est crucial afin d'arrimer la réflexion sur les vulnérabilités climatiques aux préoccupations des partenaires régionaux et de formuler une stratégie d'adaptation aux changements climatiques qui soit pertinente et réaliste.

### ***7.2 Initier la réflexion sur l'adaptation aux changements climatiques autour des préoccupations des partenaires régionaux***

Le risque que l'activité des feux pose pour la planification forestière est un enjeu discuté de longue date (Van Wagner 1983), avant la popularisation de la notion de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques (Burton 1998). Les efforts de recherche sur ces deux aspects contribueront ensemble à améliorer le système d'aménagement forestier. Ainsi la réflexion sur les changements climatiques peut partir de sujets d'intérêt déjà courants dans les échanges avec les partenaires régionaux et les résultats des travaux qui y sont reliés constituent un premier pas vers l'identification de mesures d'adaptation.

### ***7.3 Format de la restitution des résultats***

Un rapport de 80 pages pour chaque projet d'AFE a été produit. La forme et le contenu de ces rapports n'étaient pas forcément adéquats pour les partenaires régionaux car il s'agit encore de volumineux documents que les personnes impliquées dans la planification forestière ne liront pas par manque de temps. L'assimilation de l'ensemble des informations contenue dans ces rapports nécessiterait un accompagnement des partenaires régionaux pour mieux les arrimer à leurs préoccupations et à leur pratique professionnelle sans leur ajouter de charge de travail.

Une fiche synthèse a alors été produite pour chaque projet d'AFE. Elle a été transmise à chaque membre du comité concerné, accompagnée d'un court questionnaire concernant notamment la pertinence et la faisabilité des options d'adaptation (Annexes 2 et 3). Cependant, le questionnaire a suscité bien peu de retours.

Ce type de collaboration passive (rapport, fiche synthèse, questionnaire) semble peu efficace pour aborder un sujet aussi nouveau que l'adaptation aux changements climatiques dans un contexte de transition de régime forestier. Un atelier serait certainement plus approprié et permettrait aux partenaires régionaux d'exprimer leurs préoccupations concernant les changements climatiques et nous permettrait de mieux structurer les échanges et les discussions (Ogden et Innes 2009).

#### **7.4 Évaluer la capacité d'adaptation initiale de la stratégie d'aménagement examinée**

Comme l'aménagement forestier s'est toujours adapté aux contraintes environnementales, dont le climat, le système actuel offre déjà des opportunités pour mettre en œuvre certaines mesures d'adaptation. Pour préparer la mise en œuvre de l'adaptation aux changements climatiques, il faut donc commencer par examiner les mesures d'adaptation déjà en place (comme l'augmentation du diamètre des ponceaux dans le cadre du projet Triade), celles qui peuvent facilement être mises en œuvre (Utiliser le zonage fonctionnel pour cartographier finement les priorités d'intervention en matière de suppression des feux), et celles qui nécessitent le développement de nouvelles pratiques.

Bien que l'adaptation aux changements climatiques soit une question relativement nouvelle, les partenaires régionaux sont les mieux placés et les plus « connaissant » pour développer et mettre en œuvre certaines mesures pour diminuer leur vulnérabilité aux changements climatiques. Il s'agit de leur fournir les ressources pour accompagner leur démarche d'adaptation, comme ça a été le cas pour les soutenir pour le développement de stratégies d'aménagement forestier écosystémique.

#### **7.5 Identifier les synergies entre l'adaptation aux changements climatiques et l'aménagement forestier écosystémique**

Ce projet est le premier à aborder la question des changements climatiques sur l'ensemble d'une stratégie d'aménagement et nous avons choisi de partir des enjeux écologiques de chaque stratégie d'aménagement pour démontrer l'importance de prendre en compte la question des changements climatiques. Les changements climatiques ont toujours existé et existeront toujours. Les pratiques en matière d'aménagement forestier se sont toujours développées en réponses aux contraintes environnementales, dont le climat et ses variations. Ainsi, intégrer les changements climatiques dans une stratégie d'aménagement ne demande pas, dans un premier temps de développer de nouveaux outils spécifiques à cette problématique, mais davantage de voir comment l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques peut nous aider à mieux atteindre les objectifs d'aménagement déjà établis puisque les variations du climat pourraient nuire à l'atteinte de ces objectifs.

#### **7.6 Des stratégies d'aménagement robustes pour agir en dépit des incertitudes**

Lorsque le degré d'incertitude est jugé élevé, les gestionnaires peuvent opter pour des stratégies d'aménagement robustes (Ogden et Innes 2009) qui permettent d'atteindre les objectifs d'aménagement quelles que soient les conditions climatiques futures. Par exemple une stratégie robuste est de maintenir la résilience des écosystèmes sous aménagement, ce qui est l'objectif premier de l'aménagement forestier écosystémique. Les mesures d'adaptation correspondent alors aux pratiques d'aménagement permettant de réduire les écarts entre les paysages aménagés et les paysages naturels.

Les outils permettant de simuler les conditions climatiques futures sont de plus en plus performants, c'est à dire qu'ils permettent d'anticiper les variations des différentes variables climatiques avec une certaine confiance sous la forme de gammes de valeurs futures. Par exemple, Ouranos utilise un ensemble de 18 simulations de modèles climatiques régionaux et définit la gamme de valeurs futures à l'aide d'un sous-ensemble représentatif de huit de ces simulations (Logan *et al.* 2011). On peut alors utiliser ces gammes pour faire des exercices de scénarisation (scénarios de changements climatiques minimum, moyen et maximum).

## **8. Conclusions**

Ce projet a fourni le tout premier espace de discussion sur l'analyse des vulnérabilités et des opportunités de l'aménagement forestier au Québec face aux changements climatiques. Il s'agit d'une première contribution à l'étude des vulnérabilités aux changements climatiques de l'aménagement forestier au Québec. Si les changements climatiques ne sont pas, dans le contexte actuel, une priorité en aménagement forestier, la mise en œuvre de l'aménagement forestier écosystémique est une bonne occasion pour intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans les pratiques d'aménagement. En effet, la prise en compte de la variabilité climatique actuelle et des incertitudes associées à l'anticipation des conditions climatiques futures pourrait aider à atteindre plus facilement les objectifs d'aménagement forestier écosystémique tels qu'ils sont actuellement définis.

## 9. Références

- Ali, A.A., Higuera, P.E., Bergeron, Y. et C. Carcaillet. 2009. Comparing fire-history interpretations based on area, number and estimated volume of macroscopic charcoal in lake sediments. *Quaternary Research* 72: 462-468.
- Auclair, A.N.D., Lill, J.T. et C. Revenga. 1996. The role of climate variability and global warming in the dieback of northern hardwoods. *Water, Air and Soil Pollution* 91: 163- 186.
- Berg, E.E., Henry, J.D., Fastie, C.L., De Volder, A.D. et S.M. Matsuoka. 2006. Spruce beetle outbreaks on the Kenai Peninsula, Alaska, and Kluane National Park and Reserve, Yukon Territory: relationship to summer temperatures and regional differences in disturbance regimes. *Forest Ecology and Management*. 227 : 219–232.
- Bergeron, Y., Cyr, D., Drever, C.R., Flannigan, M., Gauthier, S., Kneeshaw, D., Lauzon, E., Leduc, A., Le Goff, H., Lesieur, D. et K. Logan. 2006. Past, current, and future fire frequencies in Quebec's commercial forests: implications for the cumulative effects of harvesting and fire on age-class structure and natural disturbance-based management. *Journal Canadien de la Recherche Forestière* 36: 2737-2744.
- Bernier, P. et D. Houle. 2005. Les changements climatiques et la productivité forestière Dans Actes du Colloque Changements Climatiques et Foresterie - Impacts et Adaptation. Ouranos, Montréal, QC, pp 13- 17. <http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/colloque-climat/documents/actes-colloque.pdf>, dernière consultation le 23 avril 2012.
- Berteaux, D., de Blois, S., Angers, J.- F., Bonin, J., Casajus, N., Darveau, M., Fournier, F., Humphries, M.M., McGill, B., Larivée, J., Logan, T., Nantel, P., Périé, C., Poisson, F., Rodrigue, D., Rouleau, S., Siron, R., Thuiller, W. et L. Vescovi. 2010. The CC-Bio Project: Studying the Effects of Climate Change on Quebec Biodiversity. *Diversity* 2: 1181-1204
- Boulfroy, E. et G. Lessard. 2009. Atelier sur les projets pilotes d'aménagement écosystémique des forêts. Rapport d'atelier. Présenté par le Centre Collégial de Transfert de Technologie en foresterie. Pour le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts. 81 p.
- Bourque, A. et G. Simonet. 2008. Québec. In Lemmen, D.S., F.J., Warren., J., Lacroix et E. Bush (éditeurs). *From Impacts to Adaptation : Canada in a Changing Climate 2007*. Gouvernement du Canada, Ottawa, ON, p 171-226. <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/climate-change/community-adaptation/assessments/487>. Dernière consultation le 17 avril 2012,
- Boyчук D. et Martell D.L. 1995. A multistage stochastic programming model for sustainable forest-level timber supply under risk of fire. *Forest Science* 42: 10-26.
- Brand, F. S. et K. Jax. 2007. Focusing the meaning(s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology and Society* 12(1): 23.
- Breau, C. 2004. The effects of high water temperatures on the ecophysiology and the behaviour of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Proceedings of climate change impacts and adaptation: water resources and fisheries in New Brunswick*. Moncton, New Brunswick, 15- 16 March 2004.
- Bureau du forestier en Chef (BFEC). 2010. Orientations pour l'élaboration du calcul des possibilités 741 forestières (CPF) pour la période 2013-2018. Mise à jour octobre 2010. Québec, 32 p., 742 [http://www.forestierenchef.gouv.qc.ca/images/stories/CPF/accueil/DCPF\\_BFEC\\_fascic743\\_ule\\_octobre2010.pdf](http://www.forestierenchef.gouv.qc.ca/images/stories/CPF/accueil/DCPF_BFEC_fascic743_ule_octobre2010.pdf) (consulté 20 décembre 2011).
- Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova O. et E.L. Schipper. 2002. From impact assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy* 2: 145–159.
- Burton, I. 1998. *Climate adaptation for policies Canada? Options politiques*, Mai 1998.
- Burton, P.J., Kneeshaw, D.D. et K.D. Coates. 1999. Managing forest harvesting to maintain old-growth in boreal and sub- boreal forests. *The Forestry Chronicle*. 75: 623–631
- Canadell, J.G. et Raupach, M.R. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *Science*. 320 : 1456-1457.
- Cadieux, É., Gauthier, M.-M., Jayen K. et H. Le Goff. 2011. Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative de la stratégie d'aménagement du projet pilote de la réserve faunique des Laurentides face aux changements climatiques. 90 p.
- Carcaillet, C., Bergeron, Y., Richard, P.J.H., Fréchette, B., Gauthier, S. et Y.T. Prairie. 2001. Change of fire frequency in the eastern Canadian boreal forest during the Holocene: does vegetation composition or climate trigger the fire regime? *Journal of Ecology* 89: 930–946.

- Carroll, A.L., Taylor, S.W., Régnière, J. et L. Safranyik. 2004. Effects of climate change on range expansion by the Mountain Pine Beetle in British Columbia. Pages 223–232 en T.L. Shore, J.E. Brooks et J.E. Stone, (éditeurs). Proc. Mountain pine beetle symposium: challenges and solutions. 30 et 31 oct. 2003, Kelowna (C.- B.). Ress. nat. Can., Serv. can. des forêts, . Inf. Rep. BC-X-399.
- Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (Cecobois). 2011. URL : [http://www.cecobois.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=91&Itemid=100](http://www.cecobois.com/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=100), dernière consultation le 28 janvier 2011.
- Clinton, B.D. et C.R. Baker. 2000. Catastrophic windthrow in the southern Appalachians: characteristics of pits and mounds and initial vegetation responses. *Forest Ecology and Management* 126: 51-60.
- Comité scientifique sur les enjeux de biodiversité (CSEB). 2007. Enjeux de biodiversité de l'aménagement écosystémique dans la réserve faunique des Laurentides. Rapport préliminaire du comité scientifique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Québec (Québec). viii + 118 p. + annexes.
- Cyr, D., Bergeron, Y., Gauthier, S. et C. Carcaillet. 2009. [Forest management is driving the eastern part of North American boreal forest outside its natural range of variability](#). *Frontiers in Ecology and The Environment* 7:519-524.
- Domaine, É. et É. Cadieux. 2011. Application de l'aménagement forestier écosystémique dans un contexte de changements climatiques. Direction de l'Environnement et de la protection des forêts. Document de réflexion. Pour le Ministère des ressources naturelles et de la Faune. 35 p.
- Drever, C.R., Peterson, G., Messier, C., Bergeron, Y. et M. Flannigan. 2006. Can forest management based on natural disturbances maintain ecological resilience? *Journal Canadien de la Recherche Forestière* 36: 2285- 2299.
- Drobyshev, I., Bergeron, Y., Simard, M. et A. Hofgaard. 2010. Does soil organic layer thickness affect climate-growth relationships in the black spruce boreal forest? *Ecosystems* 13: 556–574.
- Duchesne, L., Houle, D., Côté, M.-A. et T. Logan. 2009. Modelling the effect of climate on maple syrup production in Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* 258: 2683–2689.
- Eastaugh, C., Reyer, C., Gonzalez- Moreno, P., Wu, J., Biscaia, A.J. et O. Petelkina. 2009. Forest agencies' early adaptations to climate change. IUFRO Occasional Paper No. 23. 80 p.
- Friedland, K., Reddin, D.G., McMenemy, J.R. et K.F. Drinkwater. 2003. Multidecadal trends in North American Atlantic salmon (*Salmo salar*) stocks and climate trends relevant to juvenile survival. *Journal Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatiques* 60: 563- 583.
- Füssel, H.-S. et R.J.T. Klein. 2006. Climate change vulnerability assessment: an evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 74: 301-329.
- Gärtner, S., Reynolds, K.M., Hessburg, P.F., Hummel, S.S. et M. Twery. 2008. Decision support for evaluating landscape departure and prioritizing forest management activities in a changing environment. *Forest Ecology and Management* 256(10) : 1666-1676.
- Gauthier, S., Vaillancourt M.- A., Leduc, A., De Grandpré, L. Kneeshaw, D. Morin, H., Drapeau, P et Y. Bergeron (Éditeurs). 2008. L'aménagement écosystémique en forêt boréale. Presses de l'Université du Québec. Québec. 568 pages.
- Hassan R, Scholes R, et Ash N (Eds). 2005. Ecosystems and humanwell-being: current state and trends, vol 1. Findings of the condition and trends working group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC: Island Press.
- Huang, J.-G., Tardif, J., Bergeron, Y., Denneler, B., Berninger, F. et M. Girardin. 2010. Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest. *Global Change Biology*: 16, 711–731
- Hunter, M.L. Jr. 1993. Natural fire regimes as spatial models for managing boreal forests. *Biological Conservation*.65 : 115–120
- Huntington, T.G., Richardson, A.D., McGuire, K.J. et Hayhoe, K.. 2009. Climate and hydrological changes in the northeastern United States: recent trends and implications for forested and aquatic systems. *Journal Canadien de la Recherche Forestière* 39: 199-212.
- Johnston, M., Williamson, T., Munson, A., Ogden, A., Moroni, M., Parson, R., Price, D. et J. Stadt. 2010. Changements climatiques et aménagement forestier au Canada : conséquences, capacité et options d'adaptation. Rapport sur l'état des connaissances. Réseau de Gestion Durable des Forêts, Edmonton, Alberta. 54 pp. URL; [http://www.sfmnetwork.ca/docs/f/SOK\\_2010\\_ClimatChange\\_Johnston-et.al.Fr.pdf](http://www.sfmnetwork.ca/docs/f/SOK_2010_ClimatChange_Johnston-et.al.Fr.pdf), dernière consultation le 28 janvier 2011.

- Johnston, M. et T. Williamson. 2007. A framework for assessing climate change vulnerability of the Canadian forest sector. *Forestry Chronicle* 83(3): 358-361
- Keane, R.E., Hessburg, P.F., Landres, P.B. et F.J. Swanson. 2009. The use of historical range and variability (HRV) in landscape management. *Forest Ecology and Management* 258(7) : 1025-1037.
- Landres, P.B., Morgan, P. et F. J. Swansons. 1999. Overview of the use of natural variability concepts in managing ecological systems. *Ecological Applications* 9(4): 1179–1188.
- Lawler, J.J., Tear, T.H., Pyke, C., Shaw, M.R., Gonzalez, P., Kareiva, P., Hansen, L., Hannah, L., Klausmeyer, K., Aldous, A., Bienz, C. et S. Pearsall. 2010. Resource management in a changing and uncertain climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8 : 35-43.
- Leduc, A., Gauthier, S., Bergeron, Y. et B. Harvey. 2004. Vulnerability of the boreal forest to climate change: are managed forests more susceptible? In S. Gauthier and C. Li (eds.). *Proceedings of the workshop "Effects of climate change on major forest disturbances (fire, insects) and their impact on biomass production in Canada: synthesis of the current state of knowledge"* held the September 21, 2003 in Quebec City, Quebec. 119 p.
- Lefort, P., Gauthier, S. et Y. Bergeron. 2003. The influence of fire weather and land use on the fire activity of the lake Abitibi area, eastern Canada. *Forest Science* 49(4): 509-521.
- Le Goff, H. et K. Jayen. 2011. Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement écosytémique de Tembec dans l'UAF 85-51. 84 p.
- Le Goff H., Flannigan M., Bergeron Y., Leduc A., Gauthier S. et K. Logan. 2008. Des solutions d'aménagement pour faire face aux changements climatiques, l'exemple des feux de forêt. Dans « Aménagement écosystémique en forêt boréale » Sous la direction de Gauthier S., Vaillancourt M.-A., Leduc A., De Grandpré L., Kneeshaw D., Morin H., Drapeau P. et Y. Bergeron. Presses de l'Université du Québec.
- Le Goff, H., Leduc, A., Bergeron, Y. et M. Flannigan. 2005. The adaptive capacity of forest management to changing fire regimes in the boreal forest of Quebec. *Forestry Chronicle* 81(4): 582-592.
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J. et E. Bush (éditeurs). 2008. *Vivre avec les changements climatiques au Canada*, édition 2007. Gouvernement du Canada, Ottawa. URL : [http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/earth-sciences/files/pdf/assess/2007/pdf/full-complet\\_f.pdf](http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/earth-sciences/files/pdf/assess/2007/pdf/full-complet_f.pdf), dernière consultation le 15 mai 2012.
- Lemprière, T.C., Bernier, P.Y., Carroll, A.L., Flannigan, M.D., Gilseman, R.P., McKenney, D.W., Hogg, E.H., Pedlar, J.H. et D. Blain. 2008. The importance of forest sector adaptation to climate change. *Resour. Nat. Can., Serv. Can. For., North. For. Cent., Edmonton, AB. Rapport d'information NOR-X-416E.*
- Lindner, M., Kolström, M., Garcia-Gonzalo, J., Green, T., Reguera, R., Kremer, A., Delzon, S., Barbati, A., Marchetti, M., Corona, P., Lexer, M., Seidl, R., Maroschek, M., Netherer, S. et Schopf, A. 2008. Impacts of climate change on European forests and options for adaptation. European Forest Institute, European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. 171.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolströma, M., Lexer, M.J. et Marchetti, M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 259: 698-709.
- Logan, J.A., Régnière, J., et Powell, J.A. 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers of Ecological Environment*. 1(3): 130–137.
- Logan T., Charron I., Chaumont D. et D. Houle. 2011. Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise. Ouranos. URL : [http://www.ouranos.ca/media/publication/162\\_AtlasForet2011-Sans-Annexes.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/162_AtlasForet2011-Sans-Annexes.pdf) dernière consultation le 7 mars 2012.
- MacMillan, J.L., Caissie, D., Marshall, T.J. et L. Hinks. 2008. Population indices of brooktrout (*Salvelinus fontinalis*), Atlantic salmon (*Salmo salar*), and salmonid competitors in relation to summer water temperature and habitat parameters in 100 streams in Nova Scotia. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 2819, Department of Fisheries and Oceans Gulf Region, Moncton, NB, 41 p.

- McKenney, D., Pedlar, J., Lawrence, K., Campbell, K. et M. Hutchinson. 2007. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees. *Bio Science* 57: 939-948.
- Messier, C. et D. Kneeshaw. 1999. Thinking and acting differently for sustainable management of the boreal forest. *Forestry Chronicle* 75(6): 929-938.
- Millar, C.I., Stephenson, N.L. et S.L. Stephens. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17(8): 2145- 2151.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2008. Plan d'action 2006-2012 contre les changements climatiques. Ministère du développement Durable de l'environnement et des parcs, Gouvernement du Québec. URL :[http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan\\_action/index-mesures.htm](http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/index-mesures.htm) dernière consultation le 10 janvier 2011.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). 2010. Consultation sur l'aménagement durable des forêts du Québec, Document de consultation publique, Stratégie d'aménagement durable des forêts et modalités proposées pour le futur règlement sur l'aménagement durable des forêts. Gouvernement du Québec, Québec. URL : <http://consultation- adf.mrnf.gouv.qc.ca/documents.asp>, dernière consultation le 10 janvier 2011.
- Mitchell, S.J. 1995. The windthrow triangle: a relative windthrow hazard assessment procedure for forest managers. *Forestry Chronicle* 71(4): 446-450.
- Morrow, J. V. et J.C. Fischenich. 2000. Habitat requirements for freshwater fishes. EMRRP Technical Notes Collection (ERDC TN- EMRRPSR- 06), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 14 p.
- Ogden, A.E. et J.L. Innes. 2009. Application of structured decision making to an assessment of climate change vulnerabilities and adaptation options for sustainable forest management. *Ecology and Society*. 14 : 11.
- Ogden, A.E. et J.L. Innes. 2008. [Climate change adaptation and regional forest planning in southern Yukon, Canada](#). *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13, 833-861.
- Ogden, A.E. et J.L. Innes. 2007a. Incorporating climate change adaptation considerations into forest management planning in the boreal forest. *International Forestry Review*. 9 : 713-733.
- Ogden, A.E. et J.L. Innes. 2007b. Perspectives of forest practitioners on climate adaptation in the Yukon and Northwest Territories of Canada. *The Forestry Chronicle* 83: 557-569. Overpeck, J.T., Rind, D., et R. Goldberg. 1990. Climate- induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature* 343:51-53.
- Parry, M.L. Canziani, O.F. Palutikof, J.P. van der Linden P.J. and C.E. Hanson (eds). 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Peltola, H., Kellomäki, S. et H. Vaisanen. 1999. Model computations of the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. *Climate Change* 41(1): 17–36.
- Price, C. et D. Rind. 1994. Modeling global lightning distributions in a general circulation model. *Monthly Weather Review* 122: 1930-1939.
- Provencher, L. 2005. Impacts des changements climatiques sur les opérations forestières. Dans actes du Colloque Changements climatiques et foresterie: impacts et Adaptation. Baie-Comeau, <http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/colloque-climat/documents/actes-colloque.pdf>, dernière consultation le 23 avril 2012.
- Raulier, F., Dhital, N., Racine, P., Tittler, R., Fall, A. et H. Le Goff. 2012. Développement d'outils permettant l'inclusion de l'impact des changements climatiques sur l'activité des feux dans le calcul de possibilité forestière. Rapport soumis à Ouranos en Janvier 2012.
- Reyes, G., Kneeshaw, D., Jayen, K. et H. Le Goff. 2011. Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement Triade en Mauricie. 78 p.
- Ruel, J.C. 2000. Factors influencing windthrow in balsam fir forests: from landscape studies to individual tree studies. *Forest Ecology and Management* 135: 169- 178.

- Ruel, J.C., Pin, D. et K. Cooper. 2001. Windthrow in riparian buffer strips: effect of wind exposure, thinning and strip width. *Forest Ecology and Management* 143: 105- 113.
- Simard, M., Lecomte, N., Bergeron, Y., Bernier, P.Y., et D. Paré. 2008. Un aménagement écosystémique de la pessière du nord de la ceinture d'argile québécoise : Gérer la forêt... mais surtout les sols. In Gauthier, S., Vaillancourt, M.-A., Leduc, A., De Grandpré, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Drapeau, P. et Y. Bergeron (dir.). *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. pp. 267-299. Presses de l'Université du Québec, Québec, QC.
- Soja, A.J., Tchebakova, N.M., French, N.H.F., Flannigan, M.D., Shugart, H.H., Stocks, B.J., Sukhinin, A.I., Parfenova, E.I. Chapin III, F.S., et Stackhouse Jr, P.W. 2007. Climate- induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global and Planetary Change* 56 : 274–296.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) 2007. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Spittlehouse, D.L. et S.B. Stewart. 2003. Adaptation to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management*. 4(1) : 1-11.
- Stainton, M. et M.A. Turner. 1990. Effects of climate warming on lakes of the central boreal forest. *Science* 250: 967–970.
- Stambaugh F. 1996. Risk and value at risk. *European Management Journal* 14: 612-621.
- Swift, K. 2012. Decision support framework: A mental model for integrating the environmental and human dimensions into decision-making related to changes in natural disturbance events. *BC Journal of Ecosystems and Management* 13(1):1–15. <http://jem.forrex.org/index.php/jem/article/viewFile/185/121>. Dernière consultation le 17 avril 2012.
- United States Climate Change Science Program (USCCSP). 2008. Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. [Julius, S.H., J.M. West (eds.), J.S. Baron, B. Griffith, L.A. Joyce, P. Kareiva, B.D. Keller, M.A. Palmer, C.H. Peterson, et J.M. Scott (auteurs)]. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 873 p.
- Van Wagner, C.E. 1983. Simulating the effect of forest fire on long-term annual timber supply. *Journal Canadien de la Recherche Forestière* 13: 451-457.
- Weber, M.G. et M.D. Flannigan. 1997. Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: impact on fire regimes. *Environmental Review* 5: 145–166.
- Whitney, R.D. 1961. Root wounds and associated root rots of white spruce. *Forestry Chronicle* 37: 401 - 411.
- Williamson, T.B., Colombo, S.J., Duinker, P.N., Gray, P.A., Hennessey, R.J., Houle, D., Johnston, M.H., Ogden, A.E. et D.L. Spittlehouse. 2009. *Climate change and Canada's forests: from impacts to adaptation*. Sustainable Forest Management Network and Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, AB, 104 pp.
- Williamson T.B., Parkins, J.R. et B.L. McFarlane. Perceptions of climate change risk to forest ecosystems and forest-based communities 2005. *Forestry Chronicle* 81(5) : 710-716.
- Wotton, B.M. et M.D. Flannigan. 1993. Length of the fire season in a changing climate. *Forestry Chronicle* 69: 187-192.

## Annexe 1: Mesures d'adaptation aux changements climatiques pour l'aménagement forestier

Ces mesures ont été recensées dans la littérature par Karelle Jayen, en collaboration avec Sylvie Gauthier (Ressources naturelles Canada).

### Conservation

- Réduire la fragmentation des habitats et maintenir la connectivité dans le paysage (corridors)
- Maintenir des types de forêts représentatifs de l'ensemble des gradients environnementaux dans les réserves
- Protéger la forêt en grande partie intacte des activités humaines
- Établir des zones tampons pour les limites des réserves
- Protéger les refuges climatiques à différentes échelles
- Appliquer des techniques sylvicoles qui maintiennent la diversité des peuplements en âge et en composition d'espèces
- Maintenir le régime naturel des feux
- Introduire le feu dans les écosystèmes où les cycles historiques de feu ont été perturbés par l'exclusion du feu pour permettre la réhabilitation ou le maintien d'espèces pyrophiles (ex : pin blanc)
- Permettre aux forêts de se régénérer naturellement à la suite de perturbations

### Perturbations

#### *Insectes et maladies*

- Réduire les pertes dues aux maladies par des coupes d'assainissement qui éliminent les arbres infectés
- Réduire l'âge de rotation pour diminuer la période de vulnérabilité des peuplements aux insectes ravageurs et aux maladies et pour accélérer la mise en place d'espèces mieux adaptées, par exemple en plantant des espèces plus appropriées aux conditions climatiques futures.
- Développer des génotypes spécifiques résistants aux ravageurs et ayant une plus grande tolérance à une variété de contraintes et d'extrêmes climatiques.
- Planter les mélanges d'espèces qui se régénèrent normalement naturellement après perturbations et éviter les pratiques qui engendrent des peuplements uniformes qui peuvent être très vulnérables aux perturbations futures
- Développer des modèles d'exploitation forestière et de régénération qui génèrent une grande diversité d'âge et de composition des peuplements à travers les paysages afin de réduire la vulnérabilité des forêts aux futures épidémies d'insectes et de maladies

#### *Feux*

- Intégrer le risque de feu dans le calcul de la possibilité forestière
- Accroître la sensibilisation sur l'impact potentiel des changements climatiques sur le régime des feux et encourager des mesures proactives en matière de gestion des combustibles et de protection de la collectivité
- Protéger du feu les zones à plus forte valeur grâce à des techniques intelli-feu

#### *Chablis*

- Varier la forme et la taille des coupes en laissant des patchs ou des zones tampons pour réduire la vulnérabilité à l'augmentation possible des chablis

*Récupération*

- Améliorer la récupération après perturbation
- Augmenter la quantité de bois provenant de coupes de récupération après incendie ou épidémies d'insectes

*Régénération*

- Maximiser la superficie forestière par une régénération rapide des zones perturbées
- Planter d'autres espèces ou génotypes si la régénération observée est inacceptable

**Productivité**

- Inclure des variables climatiques dans les modèles de croissance et de rendement et intégrer les effets des changements climatiques dans l'analyse à long terme d'approvisionnement en bois et les plans d'aménagement forestiers
- Adapter les règles et les pratiques sylvicoles pour s'assurer que le taux de croissance des arbres est maintenu ou amélioré
- Adapter les règles et les pratiques sylvicoles pour maintenir des relations espèces-site optimales
- Planter des génotypes de remplacement ou de nouvelles espèces en prévision du climat futur
- Planter des espèces génétiquement modifiées et identifier les génotypes les plus appropriés
- Mettre l'accent sur la gestion des sites actuellement productifs et ceux qui sont susceptibles de rester plus productif dans des climats futurs, et réduire les efforts sur les sites pauvres
- Modifier les pratiques d'éclaircie (moment, intensité) et la durée de rotation pour augmenter la croissance
- Éclaircie pré-commerciale ou élimination sélective des individus endommagés ou de mauvaise qualité pour augmenter la disponibilité en ressources pour les arbres restants

**Mouvement des gènes et des espèces**

- Assouplir les règles régissant les mouvements des stocks de semences d'une région à l'autre, examiner les options pour modifier les limites de transfert des semences et des systèmes
- Faciliter les changements dans la répartition des espèces en les introduisant dans de nouveaux domaines
- Concevoir et établir des essais à long terme multi-espèces/lot de semences pour tester des génotypes améliorés dans un large éventail d'environnements et de latitudes climatiques
- Élargir la provenance traditionnelle des tests pour étudier la survie des populations, la croissance et la productivité d'un plus large éventail de génotypes et d'espèces plantées sous une variété de climats régionaux
- Aider l'expansion des populations : mouvement de population à l'intérieur de l'aire de répartition d'une espèce pour améliorer la productivité et la santé dans de nouveaux climats
- Aider l'expansion de l'aire de répartition : expansion régionale vers le nord, à l'intérieur, ou à la limite supérieure pour le reboisement pour suivre les niches climatiques
- Plantation de semis à partir d'une gamme de semences issues de populations plus au sud et/ou plus de faible altitude

### **Infrastructures, sols et eau**

- Intégrer les considérations relatives aux changements climatiques lors de la planification, la construction ou le remplacement des infrastructures
- Éviter de construire des routes sur des terrains où l'augmentation des précipitations peut accroître le risque de glissements de terrain
- Limiter les opérations d'exploitation l'hiver afin de minimiser la construction de routes et la perturbation du sol
- Adopter des pratiques qui réduisent au minimum le risque de production de sédiments associés aux routes et à des activités de récolte
- Maintenir, mettre hors service et remettre en état les routes afin de minimiser le ruissellement des sédiments en raison de l'augmentation des précipitations
- Réduire au minimum la perturbation des sols par le biais des activités d'exploitation à faible impact
- Réduire la densité du réseau routier permanent, démanteler et réhabiliter les routes afin de maximiser la superficie forestière productive
- Examiner l'aptitude des normes actuelles de construction de routes et des ponts afin de s'assurer qu'ils atténuent suffisamment les impacts potentiels des changements des pics de débit en temps et en volume, sur les infrastructures, les poissons et l'eau potable

### **Règlements et politiques**

- Développer des plans de gestion forestière qui réduisent la vulnérabilité des forêts et des communautés dépendantes de la forêt aux changements climatiques
- Inclure la gestion du risque dans les règles d'aménagement et de planification forestière et élaborer et augmenter la capacité à la gestion de risque
- Modifier les objectifs pour la gestion durable des forêts et les moyens utilisés pour les réaliser
- Développer des plans de gestion forestière flexibles et des politiques qui sont capables de répondre aux changements climatiques
- Fournir des tenures à long terme afin d'encourager les considérations à long terme dans les décisions à court terme
- Pratiquer une gestion adaptative. La gestion adaptative combine rigoureusement la gestion, la recherche, le suivi, et les moyens de modifier les pratiques afin que de l'information crédible soit acquise et que les activités de gestion soient modifiées par l'expérience

### **Recherche et développement, monitoring**

- Soutenir la recherche sur les changements climatiques, les impacts des changements climatiques et l'adaptation aux changements climatiques
- Intégrer de nouvelles connaissances sur le climat futur et les politiques et les plans d'aménagement forestiers
- Mesurer, surveiller et faire des rapports sur les indicateurs des changements climatiques et de gestion durable des forêts afin de déterminer l'état des forêts
- Surveiller les changements dans les processus clés (par exemple, les cycles nutritifs et hydrologiques) pour les écosystèmes vulnérables, et mesurer leurs effets sur la végétation
- Surveiller les changements de régimes hydrologiques, tels que les variations des précipitations saisonnières (par exemple, pluie versus neige) et les changements dans l'intensité des précipitations, en fonction de leur impact sur les écosystèmes, la végétation et la croissance des arbres
- Élaborer des modèles basés sur les processus de changements de répartition des espèces et l'évolution des écosystèmes
- Étudier les réponses de la population aux changements climatiques en mettant l'accent sur la croissance, les processus de reproduction, les taux de recrutement, la mortalité et la démographie, en particulier pour les espèces écologiquement importantes (espèces clés et dominantes) et espèces d'importance économique.
- Étudier les changements dans les zones de transition des écosystèmes
- Développer des expériences (par exemple, la plantation et les essais sylvicoles) qui testent les approches d'aménagement visant à améliorer la résilience ou à faciliter « l'évolution des écosystèmes » qui peuvent être appliquées au niveau du peuplement et au niveau du paysage en cas de succès

### **Communication, éducation**

- Impliquer le public dans une évaluation des options d'adaptation en aménagement forestier
- Améliorer la communication, assurer l'éducation, encourager la participation, entreprendre la résolution des conflits et éliminer les obstacles institutionnels
- Soutenir l'échange de connaissances, le transfert de technologies, le renforcement des capacités et le partage d'informations sur les changements climatiques, pour maintenir ou améliorer la capacité de communication et le réseautage
- Renforcer le dialogue entre les groupes d'intervenants pour établir des priorités d'action d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur forestier
- Établir des relations plus solides entre les chercheurs scientifiques et les gestionnaires pour aider à identifier les seuils de résilience pour les espèces clés et les processus écosystémiques, déterminer quels seuils seront dépassés, prioriser les projets ayant une forte probabilité de succès et identifier les espèces et les structures de la végétation tolérantes à une augmentation des perturbations
- Accroître la compréhension technique en développant du matériel pédagogique pour les employés et les intervenants

**Annexe 2: Fiches synthèses réalisées pour chacun des projets d'aménagement forestier écosystémique**

# Évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques et des options d'adaptation pour le projet d'aménagement forestier écosystémique de Tembec

Karelle Jayen, Biol., M. Sc.

## Introduction

Trois projets pilotes d'aménagement forestier écosystémique ont été étudiés afin d'évaluer les vulnérabilités et les mesures d'adaptation face aux changements climatiques : le projet Tembec en Abitibi, le projet Triade en Mauricie et le projet de la réserve faunique des Laurentides.

Nous présentons ici une synthèse du rapport qui a été produit suite à cette étude pour le **projet pilote Tembec**. Cette fiche synthèse, après une mise en contexte du projet, décrit l'approche utilisée, la localisation géographique du projet pilote, ses enjeux d'aménagement, les principales tendances des conditions climatiques futures, les vulnérabilités identifiées pour le territoire face aux changements climatiques et enfin des exemples de mesures d'adaptation proposées pour composer avec ces vulnérabilités.

## Contexte

La forêt boréale est particulièrement exposée et sensible aux changements climatiques. Exposée, car les écosystèmes situés à des latitudes plus nordiques devraient subir les impacts des changements climatiques de manière plus importante que les écosystèmes situés à des latitudes plus méridionales (GIEC 2007). Sensible, car ces impacts devraient toucher plusieurs processus biologiques et écologiques.

Pour les écosystèmes forestiers, les changements climatiques qui auront le plus de conséquences sont :

- la hausse des températures;
- l'altération des régimes de précipitations (fréquence, amplitude des événements);
- l'altération des saisons (hivers plus doux et plus courts, étés plus précoces et plus longs);
- les changements de la fréquence et de l'amplitude des événements

météorologiques extrêmes (sécheresses, cycles gel-dégel, etc.).

Ces changements auront comme principaux impacts biophysiques (Prato 2008; Williamson et al 2009):

- une augmentation de la fréquence et de la sévérité des perturbations naturelles;
- un changement spatial et temporel dans l'occurrence et l'assemblage des espèces et donc un changement de la composition forestière;
- une modification de la croissance radiale des arbres et donc de la productivité forestière;
- une migration latitudinale et altitudinale des aires de distribution des espèces;
- la présence accrue d'espèces envahissantes et exotiques;
- une altération de la quantité et de la qualité des habitats fauniques et des relations prédateur-proie et,
- une augmentation de l'aire occupée par des espèces de début de succession en réponse aux perturbations accrues (feux, inondations, épidémies d'insectes).

La planification stratégique de l'aménagement forestier se base sur de longs horizons et sur des conditions climatiques constantes si bien que les projections de la dynamique forestière et de la productivité forestière sont à risque dans un contexte de changements climatiques. L'adaptation aux changements climatiques devient alors nécessaire pour limiter les impacts des changements climatiques, mais également pour profiter des opportunités offertes par les nouvelles conditions climatiques. L'adaptation aux changements climatiques vise à « *réduire la vulnérabilité des systèmes naturels aux effets des changements climatiques réels ou prévus* » (GIEC 2007).

En 2004, la Commission Coulombe recommandait que « l'aménagement écosystémique soit au cœur de la gestion des forêts publiques du Québec ». L'aménagement écosystémique vise le maintien d'écosystèmes forestiers sains et résilients à long terme en diminuant les écarts entre les paysages naturels et les paysages aménagés. L'aménagement forestier écosystémique implique une gestion des risques et des incertitudes reliés aux changements des conditions sociales, économiques et environnementales dont le climat.

Par ailleurs, plusieurs mesures, stratégies et politiques ont été mises en place pour faire face aux changements climatiques au cours des dernières années. Ainsi, la mesure 24 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (PACC) du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP 2006) vise directement le secteur forestier. L'objectif de cette mesure est de « *déterminer la vulnérabilité des forêts québécoises et du secteur forestier aux changements climatiques et intégrer les effets anticipés de ces changements dans la gestion forestière* ». La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier mentionne également qu'il est nécessaire de tenir compte de l'impact des changements climatiques dans la gestion forestière. Enfin, la lutte et l'adaptation aux changements climatiques sont l'un des cinq défis de la Stratégie d'aménagement durable des forêts (SADF) (MRNF 2010).

## Objectifs

Ce projet vise à intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans une perspective d'aménagement forestier écosystémique. Plus spécifiquement, il a pour objectif d'identifier les vulnérabilités aux changements climatiques, et les mesures d'adaptation qui permettraient de diminuer ces vulnérabilités, pour le projet pilote et sa stratégie d'aménagement forestier écosystémique.

Ce projet vise également à fournir aux industriels forestiers de l'information pertinente concernant les changements climatiques et arrimée à leurs préoccupations.

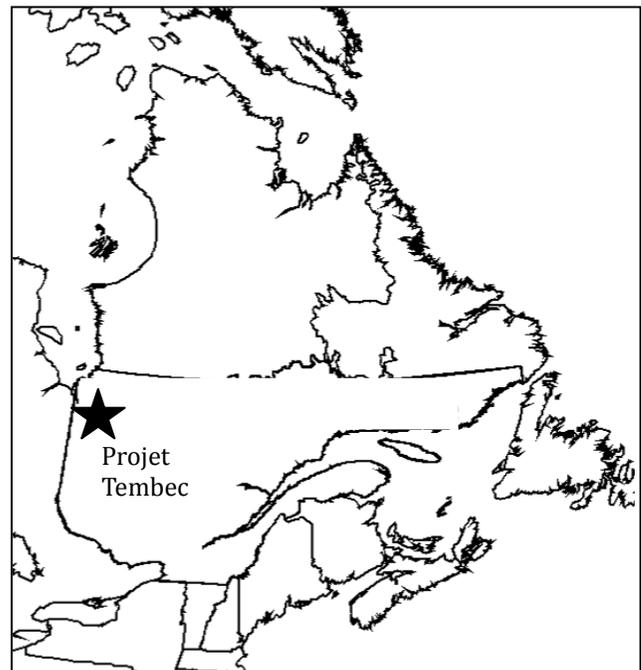
## Approche utilisée

Dans un premier temps, le comité technique de mise en œuvre de l'aménagement écosystémique de Tembec a été consulté afin d'évaluer les perceptions et les préoccupations de ses membres concernant les changements climatiques, de comprendre les objectifs d'aménagement pour le territoire et d'identifier les vulnérabilités face aux changements climatiques.

Dans un deuxième temps, une revue de littérature a permis de documenter les vulnérabilités actuelles et futures de l'aménagement forestier au climat ainsi que les options d'adaptation disponibles pour composer avec ces vulnérabilités.

## Description géographique du projet

Le projet Tembec est situé dans le nord de l'Abitibi dans le domaine de la pessière noire à mousses et couvre un territoire de 10 826 Km<sup>2</sup>. La région est dominée par l'activité des feux. Une partie importante du territoire est soumise au phénomène de la paludification qui se traduit par une accumulation de matière organique avec le temps, entraînant ainsi une perte de productivité des peuplements.



## Enjeux d'aménagement

Les principaux enjeux écologiques pour le territoire sont :

1. la répartition spatiale des perturbations naturelles et anthropiques dans un paysage de forêt ouverte;
2. la conservation du caribou des bois ;
3. le maintien et/ou l'amélioration de la productivité des sites paludifiés ;
4. le déficit des vieilles forêts dans le sud.

## Climat futur

Nous résumons ici les tendances, pour la région du projet Tembec, des conditions climatiques futures tirées de l'atlas climatique d'Ouranos ([http://www.ouranos.ca/media/publication/162\\_AtlasForet2011-Sans-Annexes.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/162_AtlasForet2011-Sans-Annexes.pdf) consulté le 22 septembre 2011) :

- la température moyenne annuelle devrait augmenter de +2,1°C à +3,3°C avec une valeur médiane de +2,9°C. L'augmentation la plus importante serait en hiver (de +2,6°C à 5,4°C; valeur médiane : +3,6°C);
- les précipitations totales annuelles devraient augmenter de +47 mm à +156 mm avec une valeur médiane de +97 mm, les augmentations les plus élevées étant projetées pour le printemps (de -7 mm à +63 mm; valeur médiane +34 mm) et l'automne (de +11 mm à +50 mm; valeur médiane +30 mm);
- le nombre total de jours avec un événement de gel-dégel pourrait augmenter en hiver de +2,5 jours à +9,2 jours avec une valeur médiane de +5,2 jours;
- le nombre total de degrés-jours de croissance annuel augmenterait de +295 jours à +454 jours avec une valeur médiane autour de +381 jours.
- De plus, il devrait y avoir une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes (augmentation des événements de température extrême sur plusieurs jours, augmentation des événements où la fréquence et la quantité des précipitations sont extrêmes).

## Vulnérabilités identifiées face aux changements climatiques

Les principales vulnérabilités identifiées pour le territoire de Tembec sont :

- **La croissance des arbres**, qui varie en fonction de l'espèce et de la latitude à laquelle elle croît. Les peuplements localisés à des latitudes nordiques pourraient avoir une meilleure croissance en raison des conditions climatiques favorables prévues pour la saison de croissance, alors que les peuplements localisés à des latitudes plus au sud pourraient montrer de faibles variations voire même une réduction de croissance due à un stress hydrique accru.
- **L'activité des feux** : un allongement du cycle de feu (diminution de la fréquence des feux) est observé sur les 300 dernières années. Sous des changements climatiques futurs, la tendance est difficile à déterminer à l'échelle de l'UAF.
- **La paludification** : la proportion de peuplements paludifiés pourrait augmenter ou du moins demeurer une préoccupation majeure sur le territoire, notamment si la tendance de la diminution de la fréquence des feux se maintient.
- **L'aire de répartition des principales espèces ligneuses** : Aucune espèce présente sur le territoire ne semble menacée de perdre de l'importance (en termes de présence et non d'abondance). Cependant, les conditions climatiques futures pourraient devenir davantage favorables au pin rouge, au bouleau jaune, au frêne noir, au pin blanc et au peuplier à grandes dents.
- **Les opérations forestières en hiver** : Le raccourcissement de la saison hivernale, l'augmentation des phénomènes de gel-dégel en janvier ou février, le raccourcissement de la longueur de la saison de gel, la diminution de la profondeur de gel et l'augmentation de l'humidité des sols en hiver, affectent déjà les coupes et le transport.

- **La certification forestière** : les impacts des changements climatiques ne sont pas pris en compte pour l'aménagement forestier dans la certification FSC (*Forest Stewardship Council*).
- **Le nouveau régime forestier** : malgré la mention des changements climatiques dans la mesure 24 du PACC, la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et la SADF, l'intégration des changements climatiques demeure encore très théorique. De plus, la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique mobilise déjà beaucoup d'efforts et de ressources, d'où un manque de disponibilité de la part des parties-prenantes quant à la question des changements climatiques.

### **Adaptation aux changements climatiques**

L'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans l'aménagement forestier peut se faire par la mise en place de mesures qui permettront de limiter les impacts des changements climatiques ou encore de tirer profit des opportunités créées par ces changements. **Les mesures d'adaptation proposées dans le tableau 1 sont issues de la littérature.**

D'autres mesures d'adaptation sont disponibles en annexe du rapport « Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement écosystémique de Tembec dans l'UAF 85-51 » (Le Goff et Jayen 2011)

### **Conclusion**

Cette étude est la première du genre au Québec. Elle a permis d'amorcer l'évaluation des vulnérabilités et des options d'adaptation pour le projet d'aménagement écosystémique de Tembec face aux changements climatiques. Elle a également fourni un premier accès à une équipes régionale à de l'information spécialisée et pertinente sur les changements climatiques.

De plus, ce projet répond directement à la mesure 24 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques, à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et à la Stratégie d'aménagement forestier durable.

Toutefois, il faut maintenant s'assurer que les mesures d'adaptation proposées soient adaptées au contexte d'aménagement local et arrimées aux préoccupations des intervenants.

## Références citées

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2007. Groupe d'experts Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse. 103 p.

Le Goff, H. et K. Jayen. 2011. Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement écosystémique de Tembec dans l'UAF 85-51.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2006. Plan d'action 2006-2012 contre les changements climatiques. Ministère du développement Durable de l'environnement et des parcs, Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). 2010. Consultation sur l'aménagement durable des forêts du Québec, Document de consultation publique, Stratégie d'aménagement durable des forêts et modalités proposées pour le futur règlement sur l'aménagement durable des forêts. Gouvernement du Québec, Québec.

Prato, T. (2008). Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. *Ecological Complexity* 5: 329-338.

Williamson, T., S. Colombo, et al. (2009). Les changements climatiques et les forêts du Canada: des impacts à l'adaptation. Edmonton, Alberta, Sustainable Forest Management Network and Natural Resources Canada, Forest Service, Northern Forest Center. Edmonton, Alberta.114p.

Tableau: Exemples de mesures d'adaptation proposées

<b>Vulnérabilités</b>	<b>Options d'adaptation</b>
Activité des feux	<p>Inclure le risque de feu dans la possibilité forestière <sup>1</sup></p> <p>Aménagement du paysage IntelliFeu (FireSmart management)</p> <p>Zonage fonctionnel (zone de conservation, zone de production intensive, zone d'aménagement forestier écosystémique) qui permettrait de faire une cartographie fine des priorités en matière de suppression des feux</p>
Variabilité de la croissance des arbres	<p>Favoriser la régénération naturelle; ce que l'on fait déjà en partie dans le cas de la coupe avec protection de la régénération et des sols</p> <p>Replanter à l'aide d'un panier mixte pour replanter de l'épinette dans les microsites humides et du pin gris dans les microsites plus arides</p> <p>Imiter la composition de la régénération naturelle si celle-ci est insuffisante</p>
Paludification	Préparation du terrain par le drainage (scarification ou brûlage dirigé)
Aire de répartition des espèces ligneuses	<p>Diversifier les génotypes afin d'augmenter la capacité d'adaptation des espèces sous l'influence des changements climatiques</p> <p>Planter des génotypes ou des espèces résistantes aux épidémies, aux maladies et aux sécheresses</p> <p>Assister la migration des espèces et des génotypes car on sait que la vitesse de migration naturelle sera trop faible pour que les espèces soient en équilibre avec les conditions climatiques, ce qui pourrait mener à des situations de mal adaptation</p> <p>Réaliser des tests de provenances sur de plus grands gradients latitudinaux</p> <p>Modifier les lois restreignant l'utilisation de semences provenant de zones éloignées de la zone à replanter</p>
Opérations forestières affectées en hiver	Changer la pressurisation des pneus en fonction de la traficabilité du terrain
Certification Nouveau régime forestier	<p>Évaluer la marge de manœuvre accordée par les cadres légaux et réglementaires pour intégrer les enjeux liés aux changements climatiques</p> <p>Formuler des contrats d'approvisionnement à long terme</p>

<sup>1</sup> : Le territoire de Tembec fait l'objet d'un projet de recherche, dirigé par Frédéric Raulier à l'Université Laval, visant l'inclusion de l'impact des changements climatiques sur le régime de feu dans le calcul de la possibilité forestière.

# Évaluation des vulnérabilités aux changements climatiques et des options d'adaptation pour le projet d'aménagement forestier écosystémique de la Triade

Karelle Jayen, Biol., M. Sc.

---

## Introduction

Trois projets pilotes d'aménagement forestier écosystémique ont été étudiés afin d'évaluer les vulnérabilités et les mesures d'adaptation face aux changements climatiques : le projet Tembec en Abitibi, le projet Triade en Mauricie et le projet de la réserve faunique des Laurentides.

Nous présentons ici une synthèse du rapport pour le **projet pilote Triade**. Cette fiche synthèse, après une mise en contexte du projet, décrit l'approche utilisée, la localisation géographique du projet pilote, ses enjeux d'aménagement, les principales tendances des conditions climatiques futures, les vulnérabilités identifiées pour le territoire face aux changements climatiques et enfin des exemples de mesures d'adaptation proposées pour composer avec ces vulnérabilités.

## Contexte

La forêt boréale est particulièrement exposée et sensible aux changements climatiques. Exposée, car les écosystèmes situés à des latitudes plus nordiques devraient subir les impacts des changements climatiques de manière plus importante que les écosystèmes situés à des latitudes plus méridionales (GIEC 2007). Sensible, car ces impacts devraient toucher plusieurs processus biologiques et écologiques.

Pour les écosystèmes forestiers, les changements climatiques qui auront le plus de conséquences sont :

- la hausse des températures;
- l'altération des régimes de précipitations (fréquence, amplitude des événements);
- l'altération des saisons (hivers plus doux et plus courts, étés plus précoces et plus longs);

- les changements de la fréquence et de l'amplitude des événements météorologiques extrêmes (sécheresses, cycles gel-dégel, etc.).

Ces changements auront comme principaux impacts biophysiques (Prato 2008; Williamson et al 2009) :

- une augmentation de la fréquence et de la sévérité des perturbations naturelles;
- un changement spatial et temporel dans l'occurrence et l'assemblage des espèces et donc un changement de la composition forestière;
- une modification de la croissance radiale des arbres et donc de la productivité forestière;
- une migration latitudinale et altitudinale des aires de distribution des espèces;
- la présence accrue d'espèces envahissantes et exotiques;
- une altération de la quantité et de la qualité des habitats fauniques et des relations prédateur-proie et,
- une augmentation de l'aire occupée par des espèces de début de succession en réponse aux perturbations accrues (feux, inondations, épidémies d'insectes).

La planification stratégique de l'aménagement forestier se base sur de longs horizons et sur des conditions climatiques constantes si bien que les projections de la dynamique forestière et de la productivité forestière sont à risque dans un contexte de changements climatiques. L'adaptation aux changements climatiques devient alors nécessaire pour limiter les impacts des changements climatiques, mais également pour profiter des opportunités offertes par les nouvelles conditions climatiques. L'adaptation aux changements climatiques vise à « *réduire la vulnérabilité des systèmes naturels aux effets des changements climatiques réels ou prévus* » (GIEC 2007).

En 2004, la Commission Coulombe recommandait que « l'aménagement écosystémique soit au cœur de la gestion des forêts publiques du Québec ». L'aménagement écosystémique vise le maintien d'écosystèmes forestiers sains et résilients à long terme en diminuant les écarts entre les paysages naturels et les paysages aménagés. L'aménagement forestier écosystémique implique une gestion des risques et des incertitudes reliés aux changements des conditions sociales, économiques et environnementales dont le climat.

Par ailleurs, plusieurs mesures, stratégies et politiques ont été mises en place pour faire face aux changements climatiques au cours des dernières années. Ainsi, la mesure 24 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (PACC) du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP 2006) vise directement le secteur forestier. L'objectif de cette mesure est de « *déterminer la vulnérabilité des forêts québécoises et du secteur forestier aux changements climatiques et intégrer les effets anticipés de ces changements dans la gestion forestière* ». La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier mentionne également qu'il est nécessaire de tenir compte de l'impact des changements climatiques dans la gestion forestière. Enfin, la lutte et l'adaptation aux changements climatiques sont l'un des cinq défis de la Stratégie d'aménagement durable des forêts (SADF) (MRNF 2010).

## Objectifs

Ce projet vise à intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans une perspective d'aménagement forestier écosystémique. Plus spécifiquement, il a pour objectif d'identifier les vulnérabilités aux changements climatiques, et les mesures d'adaptation qui permettraient de diminuer ces vulnérabilités, pour le projet pilote et sa stratégie d'aménagement forestier écosystémique.

Ce projet vise également à fournir aux industriels forestiers de l'information pertinente concernant les changements climatiques et arrimée à leurs préoccupations.

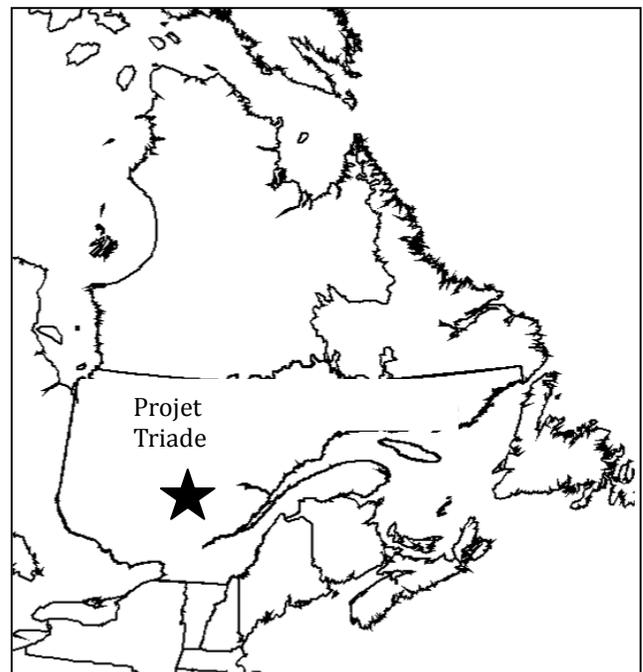
## Approche utilisée

Dans un premier temps, un comité composé de personnes d'AbitibiBowater, de la ville de La Tuque et du MRNF a été mis en place et consulté afin d'évaluer les perceptions et les préoccupations de ses membres concernant les changements climatiques, de comprendre les objectifs d'aménagement pour le territoire et d'identifier les vulnérabilités face aux changements climatiques. Dans un deuxième temps, une revue de littérature a permis de documenter les vulnérabilités actuelles et futures de l'aménagement forestier au climat ainsi que les options d'adaptation disponibles pour composer avec ces vulnérabilités.

## Description géographique du projet

Le projet Triade est situé en Mauricie et couvre un territoire de 8 590 Km<sup>2</sup> qui s'étend sur trois domaines bioclimatiques : l'érablière à bouleau jaune au sud, la sapinière à bouleau jaune au centre et la pessière noire à mousses au nord. La dynamique naturelle de la région est dominée par les feux et les épidémies d'insectes.

La Triade se caractérise par trois zones d'utilisation, une zone dédiée à la conservation de la biodiversité (11%), une dédiée à l'aménagement extensif et multi usages (69%), et une autre dédiée à la production forestière intensive (20%).



## Enjeux d'aménagement

Les principaux enjeux écologiques pour le territoire sont :

- la raréfaction des forêts mûres et surannées et de leurs fonctions biologiques
- la raréfaction de certaines essences résineuses
- la raréfaction des peuplements mixtes à dominance résineuse
- la simplification de la structure interne des peuplements

## Climat futur

Nous résumons ici les tendances, pour la région de la Triade, des conditions climatiques futures tirées de l'atlas climatique d'Ouranos ([http://www.ouranos.ca/media/publication/162\\_AtlasForet2011-Sans-Annexes.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/162_AtlasForet2011-Sans-Annexes.pdf) consulté le 22 septembre 2011) :

- la température moyenne annuelle devrait augmenter de +2°C à +3,3°C avec une valeur médiane de +2,7°C. L'augmentation la plus importante serait en hiver (de +2,4°C à 5°C; valeur médiane : +3,2°C);
- les précipitations totales annuelles devraient augmenter de +51 mm à +172 mm avec une valeur médiane de +100 mm, les augmentations les plus élevées étant projetées pour le printemps (de -11 mm à +58 mm; valeur médiane +36,5 mm);
- le nombre total de jours avec un événement de gel-dégel pourrait augmenter en hiver (+2,7 jours à +8,65 jours; valeur médiane : +5,5 jours);
- le nombre total de degrés-jours de croissance annuel augmenterait de +285 jours à +473 jours avec une valeur médiane autour de +387 jours.
- De plus, il devrait y avoir une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes (augmentation des événements de température extrême sur plusieurs jours, augmentation des événements où la fréquence et la quantité des précipitations sont extrêmes).

## Vulnérabilités identifiées face aux changements climatiques

Les principales vulnérabilités identifiées pour le territoire de la Triade sont :

- **La croissance des arbres** : les taux de croissance pourraient être similaires ou légèrement inférieurs par rapport à aujourd'hui. En effet, si le climat se réchauffe, la sécheresse pourrait augmenter, ce qui limitera la croissance dans certaines régions.
- **L'activité des feux** : la fréquence des incendies devrait augmenter dans un scénario de 2 x CO<sub>2</sub>, en particulier pendant la seconde moitié du siècle - bien que toujours dans les fréquences historiques observées au cours des 300 dernières années. Cela peut être plus préoccupant au cours du dernier pic de la fin de l'été de la saison de feu (par rapport au pic du début du printemps de la saison de feu) en raison des déficits en eau prévus au cours de cette période.
- **L'aire de répartition des principales espèces ligneuses** : aucune espèce présente sur le territoire ne semble menacée de perdre de l'importance (en termes de présence, non d'abondance). Cependant, les conditions climatiques futures pourraient devenir davantage favorables au frêne d'Amérique, à l'ostryer de Virginie et au tilleul d'Amérique.
- **Les opérations forestières** : le raccourcissement de la saison hivernale, l'augmentation des phénomènes de gel-dégel en janvier et en février, le raccourcissement de la longueur de la saison de gel, la diminution de la profondeur de gel et l'augmentation de l'humidité des sols en hiver peuvent affecter les coupes et le transport en hiver. En été, la traficabilité des chemins peut être limitée par les nuages de poussière dus au passage des camions.
- **Les épidémies d'insectes** : il pourrait y avoir une augmentation de

la durée et de la sévérité des épidémies de TBE dans certaines parties de la région de la Triade qui sont dominées par le sapin baumier et les peuplements d'épinette.

- **Les événements de précipitations extrêmes** : des modifications dans la fréquence et la quantité de pics de débit d'eau ont été observées au cours des dix dernières années.
- **Le débourement hâtif de l'érable à sucre** qui se produit maintenant quelques jours plus tôt par rapport aux 100 dernières années.
- **Les salmonidés** : les débits d'eau en été sont attendus à la baisse, ce qui peut entraîner une diminution de la qualité de l'habitat et de la disponibilité des espèces de poissons ayant des besoins en eau froide.
- **Le nouveau régime forestier** : malgré la mention des changements climatiques dans la mesure 24 du PACC, la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et la SADF, l'intégration des changements climatiques demeure encore très théorique. De plus, la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique mobilise déjà beaucoup d'efforts et de ressources, d'où un manque de disponibilité de la part des parties-prenantes quant à la question des changements climatiques.

## Adaptation aux changements climatiques

L'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans l'aménagement forestier peut se faire par la mise en place de mesures qui permettront de limiter les impacts des changements climatiques ou encore de tirer profit des opportunités créées par ces changements. **Les mesures d'adaptation proposées dans le tableau 1 sont issues de la littérature.**

Certaines vulnérabilités n'ont pas fait l'objet de proposition de mesures d'adaptation. C'est le cas en ce qui concerne la vulnérabilité aux changements climatiques des salmonidés. Ceci peut s'expliquer par un manque de connaissances disponibles dans la littérature et

par un manque d'expertise des membres de l'équipe concernant cette problématique.

Il n'y avait également pas d'options proposées pour faire face au débourement hâtif de l'érable à sucre et la baisse de production du sirop d'érable. Un projet concernant l'analyse de l'impact des changements climatiques sur la production de sirop d'érable et des solutions d'adaptation est cependant en développement (voir Daniel Houle, MRNF/Ouranos).

D'autres mesures d'adaptation sont disponibles en annexe du rapport « Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement Triade en Mauricie » (Reyes, Kneeshaw et al 2011)

## Conclusion

Cette étude est la première du genre au Québec. Elle a permis d'amorcer l'évaluation des vulnérabilités et des options d'adaptation pour le projet d'aménagement écosystémique de la Triade face aux changements climatiques. Elle a également fourni un premier accès à une équipe régionale à de l'information spécialisée et pertinente sur les changements climatiques.

De plus, ce projet répond directement à la mesure 24 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques, à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et à la Stratégie d'aménagement forestier durable. Toutefois, il faut maintenant s'assurer que les mesures d'adaptation proposées soient adaptées au contexte d'aménagement local et arrimées aux préoccupations des intervenants.

## Références citées

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2007. Groupe d'experts Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse. 103 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2006. Plan d'action 2006-2012 contre les changements climatiques. Ministère du développement Durable de l'environnement et des parcs, Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). 2010. Consultation sur l'aménagement durable des forêts du Québec, Document de consultation publique, Stratégie d'aménagement durable des forêts et modalités

proposées pour le futur règlement sur l'aménagement durable des forêts. Gouvernement du Québec, Québec.

Prato, T. (2008). Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. *Ecological Complexity* **5**: 329-338.

Reyes, G., Kneeshaw, D. et al. 2011. Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement Triade en Mauricie.

Williamson, T., S. Colombo, et al. (2009). Les changements climatiques et les forêts du Canada: des impacts à l'adaptation. Edmonton, Alberta, Sustainable Forest Management Network and Natural Resources Canada, Forest Service, Northern Forest Center. Edmonton, Alberta. 114p.

Tableau: Exemples de mesures d'adaptation proposées

<b>Vulnérabilités</b>	<b>Options d'adaptation</b>
Variabilité de la croissance des arbres	Mettre en place une sylviculture qui favorise la croissance (éclaircies, coupes partielles)  Effectuer des coupes d'éclaircies ou sélectives pour éliminer les arbres opprésés, endommagés ou de mauvaises qualité
Activité des feux	Inclure le risque de feu dans la possibilité forestière <sup>1</sup>  Aménagement du paysage IntelliFeu (FireSmart management)  Zonage fonctionnel (zone de conservation, zone de production intensive, zone d'aménagement forestier écosystémique) qui permettrait de faire une cartographie fine des priorités en matière de suppression
Aire de répartition des espèces ligneuses	Envisager la nécessité de reconfigurer les zones de conservation, de production intensive et d'aménagement écosystémique
Opérations forestières affectées en hiver	Changer la pressurisation des pneus en fonction de la traficabilité du terrain
Augmentation de la durée et de la sévérité des épidémies d'insectes	Planter des génotypes ou des espèces résistantes aux épidémies, aux maladies et aux sécheresses
Événements de précipitations extrêmes	Remplacer les ponceaux en augmentant leur diamètre
Nouveau régime forestier	Évaluer la marge de manœuvre accordée par les cadres légaux et réglementaires pour intégrer les enjeux liés aux changements climatiques

# Evaluation des vulnérabilités aux changements climatiques et des options d'adaptation pour le projet d'aménagement forestier écosystémique de la Réserve faunique des Laurentides

Karelle Jayen, Biol., M. Sc.

---

## Introduction

Trois projets pilotes d'aménagement forestier écosystémique ont été étudiés afin d'évaluer les vulnérabilités et les mesures d'adaptation face aux changements climatiques : le projet Tembec en Abitibi, le projet Triade en Mauricie et le projet de la réserve faunique des Laurentides (RFL).

Nous présentons ici une synthèse du rapport pour le **projet pilote de la réserve faunique des Laurentides**. Cette fiche synthèse, après une mise en contexte du projet, décrit l'approche utilisée, la localisation géographique du projet pilote, ses enjeux d'aménagement, les principales tendances des conditions climatiques futures, les vulnérabilités identifiées pour le territoire face aux changements climatiques et enfin des exemples de mesures d'adaptation proposées pour composer avec ces vulnérabilités.

## Contexte

La forêt boréale est particulièrement exposée et sensible aux changements climatiques. Exposée, car les écosystèmes situés à des latitudes plus nordiques devraient subir les impacts des changements climatiques de manière plus importante que les écosystèmes situés à des latitudes plus méridionales (GIEC 2007). Sensible, car ces impacts devraient toucher plusieurs processus biologiques et écologiques.

Pour les écosystèmes forestiers, les changements climatiques qui auront le plus de conséquences sont :

- la hausse des températures;
- l'altération des régimes de précipitations (fréquence, amplitude des événements);
- l'altération des saisons (hivers plus doux et plus courts, été plus précoces et plus longs);
- les changements de la fréquence et de l'amplitude des événements météorologiques extrêmes (sécheresses, cycles gel-dégel, etc.).

Ces changements auront comme principaux impacts biophysiques (Prato 2008; Williamson et al 2009) :

- une augmentation de la fréquence et de la sévérité des perturbations naturelles;
- un changement spatial et temporel dans l'occurrence et l'assemblage des espèces et donc un changement de la composition forestière;
- une modification de la croissance radiale des arbres et donc de la productivité forestière;
- une migration latitudinale et altitudinale des aires de distribution des espèces;
- la présence accrue d'espèces envahissantes et exotiques;
- une altération de la quantité et de la qualité des habitats fauniques et des relations prédateur-proie et,
- une augmentation de l'aire occupée par des espèces de début de succession en réponse aux perturbations accrues (feux, inondations, épidémies d'insectes).

La planification stratégique de l'aménagement forestier se base sur de longs horizons et sur des conditions climatiques constantes si bien que les projections de la dynamique forestière et de la productivité forestière sont à risque dans un contexte de changements climatiques. L'adaptation aux changements climatiques devient alors nécessaire pour limiter les impacts des changements climatiques, mais également pour profiter des opportunités offertes par les nouvelles conditions climatiques. L'adaptation aux changements climatiques vise à « *réduire la vulnérabilité des systèmes naturels aux effets des changements climatiques réels ou prévus* » (GIEC 2007).

En 2004, la Commission Coulombe recommandait que « l'aménagement écosystémique soit au cœur de la gestion des forêts publiques du Québec ». L'aménagement écosystémique vise le maintien d'écosystèmes forestiers sains et résilients à long terme en diminuant les écarts entre les paysages naturels et les paysages aménagés. L'aménagement forestier écosystémique implique une gestion des risques et des incertitudes reliés aux changements des conditions sociales, économiques et environnementales dont le climat.

Par ailleurs, plusieurs mesures, stratégies et politiques ont été mises en place pour faire face aux changements climatiques au cours des dernières années. Ainsi, la mesure 24 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (PACC) du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP 2006) vise directement le secteur forestier. L'objectif de cette mesure est de « *déterminer la vulnérabilité des forêts québécoises et du secteur forestier aux changements climatiques et intégrer les effets anticipés de ces changements dans la gestion forestière* ». La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier mentionne également qu'il est nécessaire de tenir compte de l'impact des changements climatiques dans la gestion forestière. Enfin, la lutte et l'adaptation aux changements climatiques sont l'un des cinq défis de la Stratégie d'aménagement durable des forêts (SADF) (MRNF 2010).

## Objectifs

Ce projet vise à intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans une perspective d'aménagement forestier écosystémique. Plus spécifiquement, il a pour objectif d'identifier les vulnérabilités aux changements climatiques et les mesures d'adaptation qui permettraient de diminuer ces vulnérabilités, pour le projet pilote et sa stratégie d'aménagement forestier écosystémique.

Ce projet vise également à fournir aux industriels forestiers de l'information pertinente concernant les changements climatiques et arrimée à leurs préoccupations.

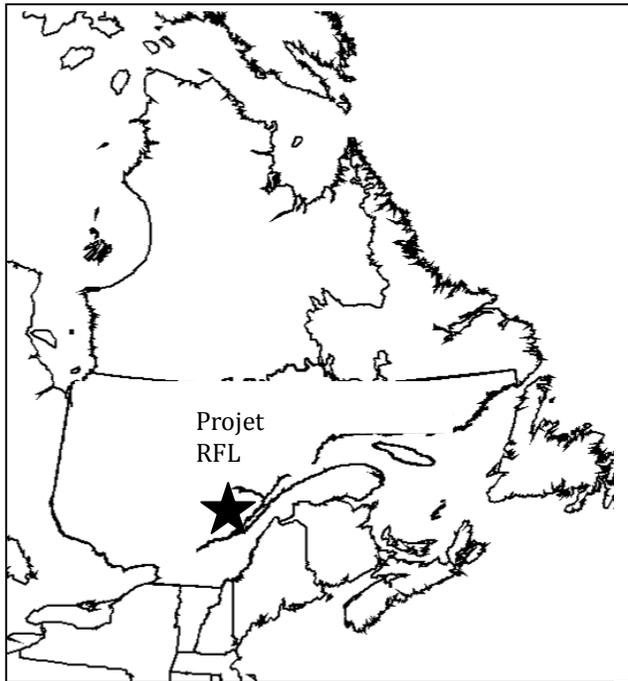
## Approche utilisée

Dans un premier temps, un comité scientifique composé de chercheurs universitaires et gouvernementaux a été mis en place et consulté afin d'évaluer les perceptions et les préoccupations de ses membres concernant les changements climatiques, de comprendre les objectifs d'aménagement pour le territoire et d'identifier les vulnérabilités face aux changements climatiques.

Dans un deuxième temps, une revue de littérature a permis de documenter les vulnérabilités actuelles et futures de l'aménagement forestier au climat ainsi que les options d'adaptation disponibles pour composer avec ces vulnérabilités.

## Description géographique du projet

Le projet de la réserve faunique des Laurentides est situé dans les régions de la Capitale Nationale et du Saguenay-Lac-Saint-Jean. La RFL et couvre un territoire de 7 860 Km<sup>2</sup> dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc. La dynamique naturelle de la région est dominée par les épidémies d'insectes.



L'augmentation la plus importante serait en hiver (de +2,5°C à 4,7°C; valeur médiane : +3,2°C);

- les précipitations totales annuelles devraient augmenter de +44 mm à +184 mm avec une valeur médiane de +99 mm, les augmentations les plus élevées étant projetées pour le printemps (de -5,8 mm à +58,6 mm; valeur médiane +35,3 mm) et l'automne (de +1,5 mm à +61,1 mm; valeur médiane +25,8 mm);
- le nombre total de jours avec un événement de gel-dégel pourrait augmenter en hiver (+2,5 jours à +9,25 jours; valeur médiane : +5,7 jours);
- le nombre total de degrés-jours de croissance annuel augmenterait de +290 jours à +459 jours avec une valeur médiane autour de +384 jours.
- De plus, il devrait y avoir une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes (augmentation des événements de température extrême sur plusieurs jours, augmentation des événements où la fréquence et la quantité des précipitations sont extrêmes).

## Enjeux d'aménagement

Les principaux enjeux écologiques pour le territoire sont :

- la raréfaction des forêts mûres et surannées
- la raréfaction du bois mort
- la perte d'intégrité de la lisière boisée adjacente aux milieux humides riverains
- l'uniformisation des structures horizontale et verticale des peuplements

## Climat futur

Nous résumons ici les tendances, pour la région de la RFL, des conditions climatiques futures tirées de l'atlas climatique d'Ouranos (<http://www.ouranos.ca/media/publication/162-AtlasForet2011-Sans-Annexes.pdf> consulté le 22 septembre 2011) :

- la température moyenne annuelle devrait augmenter de +2°C à +3,2°C avec une valeur médiane de +2,7°C.

## Vulnérabilités identifiées face aux changements climatiques

Les principales vulnérabilités identifiées pour le territoire de la RFL sont :

- **La croissance des arbres** qui pourrait augmenter.
- **L'aire de répartition des principales espèces ligneuses** : De façon générale, on prévoit que les conditions environnementales qui prévaudront dans les prochaines décennies favoriseront davantage les essences feuillues (notamment le bouleau jaune, l'érable rouge et l'érable à sucre) que les essences résineuses (sapin baumier, mélèze, épinette noire). Certaines essences risquent de disparaître du territoire (mélèze, pin gris) alors que de nouvelles pourraient

coloniser le territoire (pruche, noyer cendré, hêtre, pin blanc, pin rouge).

- **Les épidémies d'insectes** : il pourrait y avoir une augmentation de la durée et de la sévérité des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE).
- **La diversité des utilisateurs présents sur le territoire** : Les besoins et les préoccupations face à l'aménagement forestier sont par conséquent très variés et parfois contradictoires. Les objectifs d'aménagement de certains groupes pourraient aller à l'encontre des options d'aménagement permettant l'adaptation aux changements climatiques.
- **Le nouveau régime forestier** : malgré la mention des changements climatiques dans la mesure 24 du PACC, la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et la SADF, l'intégration des changements climatiques demeure encore très théorique. De plus, la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique mobilise déjà beaucoup d'efforts et de ressources, d'où un manque de disponibilité de la part des parties-prenantes quant à la question des changements climatiques.
- **La régionalisation du pouvoir décisionnel** : un mode de gestion au niveau local permettrait de déterminer les meilleures options d'adaptation et d'aménagement en fonction des conditions et des enjeux locaux.

Il est à noter que le comité scientifique de la RFL n'a pas fait mention de la vulnérabilité des opérations forestières aux changements climatiques, alors qu'il s'agit certainement d'une problématique existante sur le territoire. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'aucun représentant de compagnie forestière n'était présent dans ce comité pour permettre d'identifier cette vulnérabilité.

## Adaptation aux changements climatiques

L'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans l'aménagement forestier peut se faire par la mise en place de mesures qui permettront de limiter les impacts des changements climatiques ou encore de tirer profit des opportunités créées par ces changements. **Les mesures d'adaptation proposées dans le tableau 1 sont issues de la littérature.**

D'autres mesures d'adaptation sont disponibles en annexe du rapport « Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement écosystémique du projet-pilote de la réserve faunique des Laurentides face aux changements climatiques » (Cadieux, Gauthier et al. 2011).

## Conclusion

Cette étude est la première du genre au Québec. Elle a permis d'amorcer l'évaluation des vulnérabilités et des options d'adaptation pour le projet d'aménagement écosystémique de la RFL face aux changements climatiques. Elle a également fourni un premier accès à une équipe régionale à de l'information spécialisée et pertinente sur les changements climatiques.

De plus, ce projet répond directement à la mesure 24 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques, à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et à la Stratégie d'aménagement forestier durable.

Toutefois, il faut maintenant s'assurer que les mesures d'adaptation proposées soient appropriées au contexte d'aménagement local et arrimées aux préoccupations des intervenants.

## Références citées

Cadieux, E., Gauthier, M-M. et al. 2011. Évaluation des vulnérabilités et de la capacité adaptative aux changements climatiques de la stratégie d'aménagement écosystémique du projet-pilote de la réserve faunique des Laurentides face aux changements climatiques

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2007. Groupe d'experts Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse. 103 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2006. Plan d'action 2006-2012 contre les changements climatiques. Ministère du développement Durable de l'environnement et des parcs, Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). 2010. Consultation sur l'aménagement durable des forêts du Québec, Document de consultation publique, Stratégie d'aménagement durable des forêts et modalités proposées pour le futur règlement sur l'aménagement durable des forêts. Gouvernement du Québec, Québec.

Prato, T. (2008). Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. *Ecological Complexity* **5**: 329-338.

Williamson, T., S. Colombo, et al. (2009). Les changements climatiques et les forêts du Canada: des impacts à l'adaptation. Edmonton, Alberta, Sustainable Forest Management Network and Natural Resources Canada, Forest Service, Northern Forest Center. Edmonton, Alberta. 114p.

Tableau: Exemples de mesures d'adaptation proposées

<b>Vulnérabilités</b>	<b>Mesures d'adaptation</b>
Variabilité de la croissance des arbres	Adapter les règles et les pratiques sylvicoles pour maintenir les relations sites/espèces optimales  Concevoir et établir des tests à long terme pour tester l'amélioration des génotypes, et ce dans une diversité de conditions climatiques et environnementales
Aire de répartition des espèces ligneuses	Réaliser des tests de provenances des semences sur de plus grands gradients latitudinaux  Modifier les lois restreignant l'utilisation de semences provenant de zones éloignées de la zone à replanter
Augmentation de la durée et de la sévérité des épidémies d'insectes	Faire un suivi des populations d'insectes et acquérir des connaissances sur la dynamique des épidémies d'insectes sur le territoire
Diversité des utilisateurs	Sensibiliser, éduquer, favoriser le transfert des connaissances aux utilisateurs du territoire
Nouveau régime forestier	Évaluer la marge de manœuvre accordée par les cadres légaux et réglementaires pour intégrer les enjeux reliés aux changements climatiques
Régionalisation du pouvoir décisionnel	Encadrer les tables GIRT de scientifiques qui possèdent une expertise sur les changements climatiques et qui peuvent exercer un transfert de connaissances  Développer des outils pour guider les tables GIRT lors de la planification  S'assurer que les gestionnaires du gouvernement responsables de l'aménagement forestier envoient un message clair aux intervenants régionaux sur la nécessité de l'adaptation aux changements climatiques et de sa prise en compte dans la planification

**Annexe 3 Questionnaire concernant les options d'adaptation proposées en aménagement forestier face aux changements climatiques**

**1) Quelle est votre affiliation?**

**2) Complétez le tableau situé dans les pages suivantes en cochant la case appropriée selon votre choix de réponse :**

- a) Concernant l'importance des options d'adaptation, selon vous l'option d'adaptation proposée a-t-elle une importance basse, moyenne ou haute, pour atteindre les objectifs d'aménagement dans un contexte de changements climatiques?
  
- b) Concernant la faisabilité des options d'adaptation, selon vous, l'option d'adaptation proposée :
  - 1. est-elle déjà (ou partiellement) en place ?
  - 2. peut-elle facilement se mettre en place ?
  - 3. demande plus de connaissances ?
  - 4. demande d'autres ressources ? Précisez lesquelles dans la case de commentaires

Options d'adaptation	Importance			Faisabilité				Commentaires
	Basse	Modérée	Haute	1	2	3	4	
<u>Variabilité de la croissance des arbres</u> Mettre en place une sylviculture qui favorise la croissance (éclaircies, coupes partielles)								
Effectuer des coupes d'éclaircies ou sélectives pour éliminer les arbres opprésés, endommagés ou de mauvaises qualité								
<u>Activité des feux</u> Inclure le risque de feu dans la possibilité forestière								
Aménagement du paysage IntelliFeu (FireSmart management)								
Zonage fonctionnel (zone de conservation, zone de production intensive, zone d'aménagement forestier écosystémique) qui permettrait de faire une cartographie fine des priorités en matière de suppression des feux								
<u>Aire de répartition des espèces ligneuses</u> Envisager la nécessité de reconfigurer les zones de conservation, de production intensive et d'aménagement écosystémique								
<u>Opérations forestières affectées en hiver</u> Changer la pressurisation des pneus en fonction de la traficabilité du terrain								
<u>Aire de répartition des espèces ligneuses</u> Diversifier les génotypes afin d'augmenter la capacité d'adaptation des espèces sous l'influence des changements climatiques								
<u>Augmentation de la durée et de la sévérité des épidémies d'insectes</u>								

Planter des géotypes ou des espèces résistantes aux épidémies, aux maladies et aux sécheresses									
<u>Événements de précipitations extrêmes</u> Remplacer les ponceaux en augmentant leur diamètre									
<u>Nouveau régime forestier</u> Évaluer la marge de manœuvre accordée par les cadres légaux et réglementaires pour intégrer les enjeux liés aux changements climatiques									

- 3) **Proposeriez-vous d'autres options d'adaptation (non énoncées ici) qui vous semblent pertinentes? Précisez pour quelle vulnérabilité s'applique cette option d'adaptation, quelle est son importance et quelle est sa faisabilité.**
  
- 4) **Avez-vous d'autres remarques, commentaires ou suggestions concernant le projet d'évaluation des vulnérabilités et des options d'adaptation face aux changements climatiques en aménagement forestier écosystémique?**

