

1.4 Gestion de l'incertitude

Le calcul des possibilités forestières, comme toute modélisation, est sujet à l'incertitude; celle-ci se répercute sur les projections de volume de bois, de structure et de composition des forêts. La mise en place de mesures visant à identifier les sources d'incertitude les plus critiques et à en minimiser les conséquences concerne toutes les étapes du processus de détermination des possibilités forestières.



Crédit photo : Michel Douville

Description

Le calcul des possibilités forestières repose sur l'utilisation d'outils et de méthodes développés dans un souci de rigueur et de qualité. Néanmoins, comme tout exercice de modélisation, ses projections sont sujettes à l'incertitude. La raison est simple : le fonctionnement d'un écosystème forestier sera toujours plus complexe que ses représentations mathématiques¹. D'un calcul à l'autre (cycle de 5 ans), les facteurs d'incertitude sont mieux maîtrisés² : la précision des intrants³, la robustesse des hypothèses⁴ et la capacité à prévoir les impacts associés aux facteurs exogènes s'améliorent⁵ (ex. : perturbations naturelles, changements climatiques).

À partir des résultats de ce calcul découlent des décisions qui seront déterminantes pour l'industrie forestière, l'intégrité des écosystèmes forestiers et la confiance du public à l'égard de la gestion forestière⁶. Dans le processus de décisions, la reconnaissance de l'incertitude qui se rattache aux projections devient aussi importante que les résultats de ces projections⁷. Des mesures visant à identifier les sources d'incertitude et prévenir les risques sont prises tout au long du processus de détermination des possibilités forestières.

Les sources d'incertitude : des exemples

Volumes de bois futurs

Les marges d'erreur associées aux résultats du calcul des possibilités forestières sont inconnues. Or, la mesure

de l'erreur de prédiction est importante en modélisation. Elle renseigne sur les probabilités que les prédictions soient sous-estimées ou surestimées. Le calcul repose désormais sur une nouvelle génération de modèles (ARTÉMIS-2009 et NATURA-2009)⁸ dont l'erreur de prédictions est faible. Cependant, la mesure de l'erreur de prédictions est limitée à un horizon de modélisation d'une quarantaine d'années⁹. Au-delà d'une quarantaine d'années, l'évaluation du réalisme des prédictions ne peut être que qualitative¹⁰. Le raffinement des méthodes pour évaluer la propagation de l'erreur sur un horizon de calcul de l'ordre de 150 ans se poursuit.

Accessibilité des volumes de bois et capacité de récolte

Les projections de récolte sont réalistes dans la mesure où elles tiennent compte des contraintes opérationnelles. Pour justifier les coûts d'infrastructures et de logistique liés aux activités de récolte, les volumes de bois doivent être suffisamment concentrés dans des secteurs accessibles. Pour tenir compte de cette réalité, le calcul tient compte de certaines contraintes d'organisation spatiale des récoltes¹¹ (ex. : superficie maximale d'une coupe d'un seul tenant, distance entre deux parterres de coupe, délai entre deux coupes successives). Cependant, d'autres contraintes déterminantes, telles que la configuration du réseau routier ou la distance des usines, restent à être considérées.

¹ Doak et al. (2008), Mangel et al. (2001), Council for Regulatory Environmental Modeling (2009).

² Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise (2004).

³ Par exemple, des données sur les volumes, la composition en essences, les superficies des strates d'aménagement.

⁴ Se référer au fascicule 2.4 – Évolution des strates.

⁵ Se référer au fascicule 1.5 – Perturbations naturelles.

⁶ Bureau du forestier en chef (2010a).

⁷ Rehmeier et al. (2011), Kimmins et al. (2010).

⁸ Auger et al. (2011).

⁹ Fortin et Langevin (2010), Pothier et Auger (2011).

¹⁰ Bureau du forestier en chef (2010b). Se référer au fascicule 2.4 – Évolution des strates.

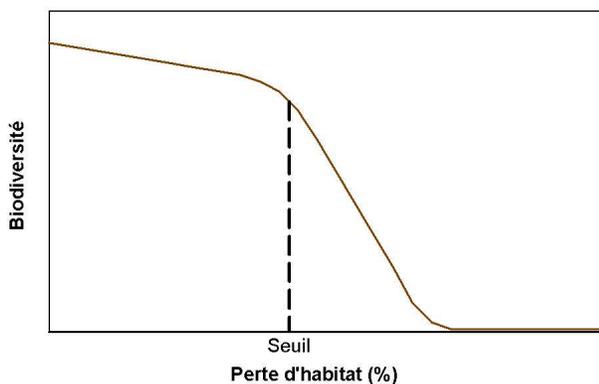
¹¹ Se référer au fascicule 2.7 – Spatialisation avec STANLEY.

Seuils critiques pour le maintien de la biodiversité

Pour évaluer les effets de l'aménagement sur la biodiversité, la composition et la structure des forêts sont comparées à des seuils de référence. Ces seuils sont définis par le Ministère¹² en se basant sur :

- des portraits historiques¹³;
- des avis scientifiques;
- la prudence face aux risques environnementaux;
- des compromis économiques.

Cependant, l'efficacité réelle de ces seuils pour assurer le maintien de la biodiversité reste à vérifier¹⁴. La démonstration empirique du phénomène de seuil (figure 1) demeure fragmentaire¹⁵.



Source : Adapté de Muridian (2001)

Figure 1. Représentation graphique du concept de seuil écologique. Le seuil représente un niveau de perte d'habitats à partir duquel la biodiversité chute drastiquement.

Rentabilité économique

La rentabilité économique des stratégies d'aménagement¹⁶ est encore difficile à évaluer. L'analyse économique intégrée au calcul sert à comparer des stratégies d'aménagement pour identifier celles qui créent le plus de richesse pour la société. La valeur actualisée nette (VAN) est l'indicateur utilisé. La VAN est calculée par la différence entre les revenus et les coûts. Les revenus considérés ne sont pas exhaustifs. Par exemple, les revenus n'intègrent que partiellement l'effet de la qualité des bois. De plus, ils ne tiennent pas compte de la

valeur des autres services écosystémiques¹⁷ que la forêt procure à la société.

Perturbations naturelles

Les effets des perturbations naturelles futures sur les possibilités forestières sont difficiles à évaluer. La fréquence, la distribution et les effets des perturbations naturelles sont révélés avec une relative exactitude par des analyses rétrospectives. À partir de ces analyses, les probabilités d'occurrences moyennes des épidémies d'insectes et des feux peuvent être établies pour une région. Toutefois, leur localisation précise dans le temps et l'espace est difficile à prévoir à l'échelle d'une unité d'aménagement¹⁸.

Effets des changements climatiques sur la croissance des forêts

Malgré leur effet certain à long terme sur la croissance et la succession forestière¹⁹, la compréhension actuelle des changements climatiques est trop limitée pour en évaluer les impacts. Les modèles actuels de croissance et de succession forestière, basés sur la croissance passée de la forêt, devront être ajustés à la lumière du développement de modèles de couvertures climatiques²⁰ et de distributions futures des essences²¹.

Contexte socio-économique futur

Le calcul est réalisé en assumant que les besoins de la société future seront les mêmes que ceux de la société actuelle. Les effets d'une stratégie d'aménagement actuelle sont projetés sur 150 ans. Le contexte socio-économique est changeant, ses interactions avec la nature complexes et, par conséquent, difficiles à prévoir. Les effets possibles de ces changements conjoncturels ne sont pas prévisibles²².

Mesurer l'incertitude

Différentes méthodes existent pour évaluer l'incertitude et détecter les sources qui ont une incidence significative sur l'évaluation des possibilités forestières. Ces méthodes permettent de mieux cerner les risques de sous-évaluer ou de surévaluer les possibilités forestières.

¹⁷ Selon le Millenium Ecosystem Assessment (2005), les services écosystémiques se classent en quatre catégories : soutien à la vie, approvisionnement, régulation et culturels. Se référer à Chevassus-au-Louis (2009), Chapitre V et OCDE (2002) pour les méthodes de calcul de la valeur des services écosystémiques.

¹⁸ Se référer au fascicule 1.5 – Perturbations naturelles.

¹⁹ Coulombe et al. (2010).

²⁰ Lo et al. (2010).

²¹ Périé et al. (2011).

²² Holling (2001).

¹² Grenon et al. (2010).

¹³ Boucher et al. (2011).

¹⁴ Rompré et al. (2010).

¹⁵ Muridian (2001), Villard et Jönsson (2009), Andersen et al. (2009).

¹⁶ Se référer au fascicule 4.14 – Rentabilité économique.

Analyse de sensibilité

Une analyse est conduite en vue d'explorer la sensibilité du résultat du calcul à des changements dans la valeur des paramètres intégrés au modèle²³. L'analyse de sensibilité se fait par l'évaluation de la valeur marginale des paramètres intégrés au modèle²⁴, c'est-à-dire l'intervalle de valeurs que peut prendre un paramètre sans modifier le résultat. Les paramètres les plus critiques sont ceux qui ont une forte valeur marginale; un faible changement de valeur modifie grandement le résultat. À l'inverse, si le résultat ne change pas lorsque la valeur d'un paramètre est modifiée substantiellement, c'est que le calcul est insensible à ce paramètre. L'analyse de sensibilité se fait en variant un seul paramètre à la fois (ex. : l'horizon de calcul, une contrainte sur le pourcentage de superficies allouées à un traitement sylvicole, le coût d'un traitement sylvicole).

L'analyse de sensibilité a des conséquences sur le processus d'amélioration continue du calcul des possibilités forestières. Elle permet de cibler les paramètres qui ont le plus d'effet sur le calcul et, par conséquent, ceux sur lesquels plus d'efforts doivent être déployés pour en améliorer la robustesse²⁵.

Analyse d'impact

Le recours à cette analyse est spécifiquement requis en cas d'incertitude quant aux décisions d'aménagement. Cette analyse sert à comparer des scénarios alternatifs d'aménagement dans lesquels un ou plusieurs éléments de décisions varient en même temps. Par exemple, différentes combinaisons de moyens peuvent avoir un effet différent ou similaire sur l'atteinte d'un objectif (figure 2). Des analyses d'impact sont nécessaires pour faire des recommandations au ministre quant aux orientations stratégiques d'aménagement forestier (ex. : Stratégie d'aménagement durable des forêts, *Plan de rétablissement du caribou des bois*). Les analystes responsables du calcul des possibilités forestières y ont recours pour interagir avec les aménagistes responsables de l'élaboration des stratégies d'aménagement territoriales.

Analyse de risque

Une analyse de risque est nécessaire lorsque les probabilités sont élevées qu'une situation ayant des effets sur la possibilité forestière puisse survenir *a posteriori* de

la détermination, tel que les perturbations naturelles²⁶. Cette analyse implique d'évaluer les probabilités d'occurrence, l'ampleur de leur incidence sur le résultat du calcul et l'effet de mesures de prévention pour réduire le risque. À l'étape de la détermination des possibilités forestières, le Forestier en chef se base sur cette analyse pour définir, au besoin, un fonds de réserve en prévention des effets des perturbations naturelles.

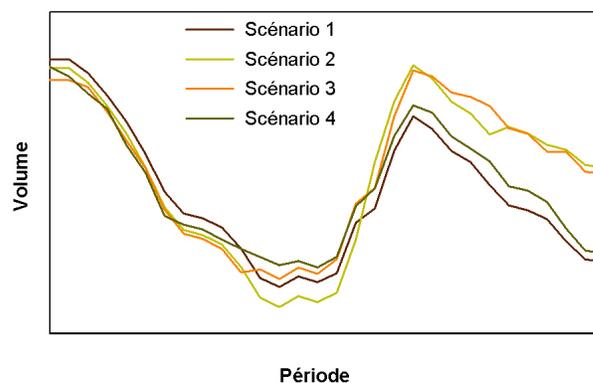


Figure 2. Représentation graphique des résultats d'une analyse d'impacts. Dans cet exemple, quatre scénarios d'aménagement différents sont comparés sur la base de leurs effets à long terme sur les volumes de bois récoltables.

Prévenir les risques

Des mesures pour réduire les risques de sous-évaluer ou de surévaluer les possibilités forestières sont prises à différentes étapes : dans le développement des modèles, en parallèle au calcul et lors de la détermination. Elles reposent sur l'application des principes de prévention et de précaution (encadré 1).

Encadré 1. La gestion de l'incertitude et les principes de développement durable

Les mesures pour gérer l'incertitude dans le calcul des possibilités forestières s'appuient sur les principes suivants de la Loi sur le développement durable :

- i) « prévention » : en présence d'un risque connu, des actions de prévention, d'atténuation et de correction doivent être mises en place, en priorité à la source;
- j) « précaution » : lorsqu'il y a un risque de dommage grave ou irréversible, l'absence de certitude scientifique complète ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir une dégradation de l'environnement.

²³ L'analyse de sensibilité peut être programmée directement dans MOSEK (MOSEK Aps 2010).

²⁴ Biongiorno et Gilles (2003).

²⁵ Kimmins et al. (2010).

²⁶ Se référer au fascicule 1.5 – Perturbations naturelles.

Intégrer des hypothèses conservatrices

Lorsque l'évaluation des rendements repose sur peu de données de suivi ou d'études scientifiques, les hypothèses intégrées au calcul des possibilités forestières doivent refléter une certaine prudence (ex. : rendements des plantations, rendements des strates susceptibles à l'envahissement par les éricacées). Néanmoins, l'absence de données de suivi à long terme sur la croissance ne doit pas empêcher la prise en considération au calcul de nouvelles pratiques d'aménagement.

Intégrer les objectifs d'aménagement durable des forêts dans les modèles

Afin de déterminer un niveau de récolte des bois qui soit durable, les objectifs d'ordre économique, environnemental et social sont intégrés le plus possible au modèle de calcul²⁷. Une simple validation sous forme de suivi d'indicateurs peut être suffisante, mais les objectifs dont les seuils sont plus difficiles à atteindre seront intégrés sous forme de *contraintes à l'optimisation*²⁸. Dans certains cas, une cible supérieure aux seuils peut être fixée.

Appliquer un fonds de réserve

L'application d'un fonds de réserve consiste, lors de la détermination, à retrancher un pourcentage de la possibilité forestière calculée afin de pallier les incertitudes²⁹ (figure 3) qui n'ont pu être prises en compte dans le modèle de calcul. Le niveau de réduction repose sur le jugement du Forestier en chef et peut être fixé en considérant l'ampleur de l'incertitude (associée aux perturbations naturelles, aux aires protégées futures, aux politiques et règlements à venir) et la tolérance à la fluctuation.

Amélioration continue et gestion adaptative

Révision quinquennale

Les calculs sont révisés aux cinq ans afin d'ajuster la possibilité forestière selon la réalité opérationnelle, les nouvelles connaissances, les plus récentes hypothèses et modèles de croissance, l'évolution des objectifs d'aménagement et les perturbations naturelles survenues

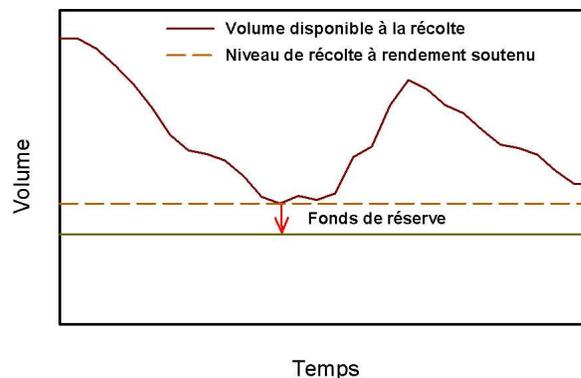


Figure 3. Fonds de réserve. Le fonds de réserve est une mesure de précaution à laquelle le Forestier en chef peut recourir lors de la détermination des possibilités forestières. Il consiste en une réduction du niveau de récolte à rendement soutenu.

depuis le dernier calcul. Cette révision périodique vise aussi à atténuer les écarts entre les résultats prévus et ceux observés, d'un calcul à l'autre.

Qualifier l'information

Le fait de qualifier l'information disponible permet de bien apprécier la fiabilité des résultats du calcul des possibilités forestières³⁰. La qualité et la rigueur de l'information disponible pour appuyer les décisions à chacune des étapes du calcul doivent être établies et diffusées. Qualifier cette information implique :

- de faire état de la qualité des intrants utilisés – précision des données d'inventaires, robustesse des hypothèses et validité des modèles de croissance³¹;
- d'évaluer le niveau des connaissances sur les effets des traitements sylvicoles³² sur les essences à produire ou autres ressources à mettre en valeur;
- de connaître les limites technologiques et de connaissances pour la prise en considération des objectifs d'aménagement durable des forêts dans le calcul des possibilités forestières³³.

Communiquer l'incertitude

Les rapports accompagnant les analyses de sensibilité, d'impact et de risque constituent des documents utiles pour comprendre la nature et les sources d'incertitude ainsi que leurs conséquences sur les résultats du calcul des possibilités forestières. Le Forestier en chef s'appuie sur ces rapports pour justifier les mesures de prévention et de précaution qu'il entend appliquer lors de la

²⁷ Se référer aux fascicules du chapitre 4 sur les objectifs d'aménagement.

²⁸ Se référer au fascicule 2.6 – Optimisation et aux fascicules du chapitre 2 sur les étapes du calcul.

²⁹ CERFO (2004a, 2004b).

³⁰ Council for Regulatory Environmental Modeling (2009).

³¹ Se référer aux fascicules du chapitre 1 sur les principes et les orientations et du chapitre 2 sur les étapes du calcul.

³² Se référer aux fascicules du chapitre 3 sur les traitements sylvicoles.

³³ Se référer aux fascicules du chapitre 4 sur les objectifs d'aménagement.

détermination des possibilités forestières et pour étayer ses recommandations relatives à la mise en œuvre des stratégies d'aménagement.

Références

- Andersen, T., J. Carstensen, E. Hernández-García et C.M. Duarte. 2009. Ecological thresholds and regime shifts: approaches to identification. *Trends in Ecology and Evolution*, 24 : 49-57.
- Auger, I., M. Fortin, D. Pothier et J.-P. Saucier. 2011. Une nouvelle génération de modèles de prévision pour les forêts du Québec. *Avis de recherche forestière n°32*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, Québec, Qc, 2 p.
- Biongiomo, J. et J.K. Gilles. 2003. *Decision method for forest resource management*. Academic Press, Londres, 439 p.
- Boucher, Y., M. Bouchard, P. Grondin et P. Tardif. 2011. Le registre des états de référence : intégration des connaissances sur la structure, la composition et la dynamique des paysages forestiers naturels du Québec méridional. *Mémoire de recherche forestière n°161*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, Québec, Qc, 21 p.
- Bureau du forestier en chef. 2010a. Bilan d'aménagement forestier durable au Québec 2000-2008. Gouvernement du Québec, Roberval, Qc, 290 p.
- Bureau du forestier en chef. 2010b. Analyse des modèles de croissance ARTÉMIS-2009, NATURA-2009 et SUCCÈS-2009. Rapport technique. Bureau du forestier en chef, Québec, Qc, 70 p.
- Centre d'enseignement et de recherche en foresterie (CERFO). 2004a. Analyse des problématiques sur les calculs de la possibilité forestière. Questions n°6 : Analyse critique des méthodes déterministes et probabilistes pour la gestion des risques de perturbations naturelles. Présentée à la Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. 61 p.
- Centre d'enseignement et de recherche en foresterie (CERFO). 2004b. Analyse des problématiques sur les calculs de la possibilité forestière. Questions n°8 : La gestion du risque en aménagement forestier. Présentée à la Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. 31 p.
- Chevassus-au-Louis, B., J.-M. Salles, S. Bielsa, D. Richard, G. Martin et J.-L. Pujol. 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique. Rapport du groupe de travail. Centre d'analyse stratégique. Rapports et documents n°18. La documentation française, Paris, France, 376 p.
- Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. 2004. États des forêts et prédictions des volumes ligneux : des axes de changement. Chapitre 5. *Dans* Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. Rapport de la commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. Québec, Qc, pp. 93-151.
- Coulombe, S., P.Y. Bernier et F. Raulier. 2010. Uncertainty in detecting climate change impact on the projected yield of black spruce (*Picea mariana*). *Forest Ecology and Management*, 259 : 730-738.
- Council for Regulatory Environmental Modeling. 2009. Guidance on the development, evaluation, and application of environmental models. Publication EPA/100/K-09/003, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Doak, D.F., J.A. Estes, B.S. Halpern, U. Jacob, D.R. Lindberg, J. Lovvorn, D.H. Monson, M.T. Tinker, T.M. Williams, J.T. Wootton, I. Carrol, M. Emmerson, F. Micheli et M. Novak. 2008. Understanding and predicting ecological dynamics : are major surprises inevitable ? *Ecology*, 89 : 952-961.
- Fortin, M. et L. Langevin. 2010. ARTÉMIS-2009 : Un modèle de croissance basé sur une approche par tiges individuelles pour les forêts du Québec. *Mémoire de recherche forestière n°156*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, Québec, Qc, 48 p.
- Grenon, F., J.-P. Jetté et M. Leblanc. 2010. Manuel de référence pour l'aménagement écosystémique des forêts au Québec – Module 1 - Fondements et démarche de la mise en œuvre. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy et ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, Québec, Qc, 51 p.
- Holling, C.S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5) : 390-405.
- Kimmins J.P., J.A. Blanco, B. Seely, C. Welham et K. Scoullar. 2010. *Forecasting Forest Futures: A Hybrid Modelling Approach to the Assessment of Sustainability of Forest Ecosystems and their Values*. Earthscan Ltd., London, UK, 281 p.
- Lo, Y.H., J.A. Blanco et J.P. Kimmins. 2010. A word of caution when planning forest management using projections of tree species range shifts. *The Forestry Chronicle*, 86 : 312-316.
- Mangel, M., O. Fiksen et J. Gisk. 2001. Theoretical and statistical models in natural resource management and research. *Dans* Shenk T.M. et A.B. Franklin. *Modeling in Natural Resource Management: Development, Interpretation, and Application*. Island Press, Washington D.C., pp. 57-72.
- Millenium Ecosystem Assessment Board. 2005. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Volume 1. Island Press, London, 23 p.
- MOSEK ApS. 2010. *The Mosek optimisation tool manual*. Version 6.0. Revision 148. Denmark. 401 p. <http://docs.mosek.com/6.0/tools.pdf> (consulté le 2 mai 2012)
- Muridian, R. 2001. Ecological thresholds: a survey. *Ecological Economics*, 38 : 7-24.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). 2002. *Manuel d'évaluation de la biodiversité – Guide à l'intention des décideurs*. Paris, France, 173 p.
- Périé, C., N. Casajus, M.-C. Lambert et S. de Blois. 2011. Quelles seront les forêts québécoises les moins bien adaptées au climat de demain? Présentation dans le cadre du colloque Changements climatiques : impacts et adaptations. Carrefour forêt et innovations, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, Qc.
- Pothier, D. et I. Auger. 2011. NATURA-2009 : Un modèle de prévision de la croissance à l'échelle du peuplement pour les forêts du Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, *Mémoire de recherche forestière, n°163*, Québec, Qc, 56 p.
- Rehmeyer, J., M.B. Cozzens et F.S. Roberts. 2011. *Mathematical and statistical challenges for sustainability: Report of a workshop*. http://dimacs.rutgers.edu/SustainabilityReport/SustainabilityReport_Final08-02.pdf (consulté le 2 mai 2012)
- Rompré, G., Boucher, Y., Bélanger, L., Côté, S. et W. Douglas Robinson. 2010. Conservation de la biodiversité dans les paysages forestiers aménagés : utilisation des seuils critiques d'habitat. *The Forestry Chronicle*, 86 : 572-579.
- Villard, M.-A. et B.G. Jonsson. 2009. Designing studies to develop conservation targets: a review of challenges. *Dans* Villard, M.-A. et B.G. Jonsson. *Setting Conservation Targets for Managed Forest Landscapes*. Cambridge University Press, pp. 30-49.



Rédaction : Héroïse Rheault, biol., Ph.D.

Collaboration : Marie-Josée Blais, ing.f., M.Sc. (BFEC), Jean-François Carle, ing.f., M.Sc. (BFEC), Jean Girard, ing.f., M.G.P. (BFEC), Simon Guay, ing.f. (BFEC), Simon Legris, ing.f. (BFEC), Philippe Marcotte, ing.f., M.Sc. (BFEC), Daniel Pelletier, ing.f. (BFEC), François Plante, ing.f. (BFEC) et Gordon Weber, ing.f. (BFEC).

Référence à citer : Rheault, H. 2013. Gestion de l'incertitude. Fascicule 1.4. *Dans* Bureau du forestier en chef. Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018. Gouvernement du Québec, Roberval, Qc, pp. 23-27.