

→→→ 1.4 – Calcul des possibilités forestières



Manuel de détermination des possibilités forestières

Le 20 juin 2024

Le calcul des possibilités forestières est un exercice scientifique et technique réalisé sous la responsabilité d'un ingénieur forestier. Depuis 2018, les possibilités forestières sont à rendement accru, car elles peuvent s'accroître dans le temps. Lors du calcul, la santé de la forêt et son évolution dans le temps sont les éléments qui sont considérés en premier lieu. Par la suite, les éléments découlant des lois et des règlements ainsi que les portions de territoire exclues de l'aménagement forestier pour différents enjeux sont intégrés. Enfin, la superficie résiduelle est destinée à l'aménagement forestier et fait l'objet du calcul.

Le calcul des possibilités forestières, comme toute modélisation, est sujet à l'incertitude. Celle-ci affecte les projections de volume de bois, de structure et de composition des forêts. L'identification des sources d'incertitude et l'atténuation de leurs conséquences sont des préoccupations à toutes les étapes du processus d'évaluation des possibilités forestières.

Définition

Depuis le 1^{er} avril 2018, l'article 48 de la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier* définit que :

« Les possibilités forestières déterminées par le Forestier en chef à l'égard des activités d'aménagement forestier postérieures au 31 mars 2018 correspondent, pour une unité d'aménagement ou une forêt de proximité donnée, au volume maximum des récoltes annuelles de bois par essence ou par groupe d'essences que l'on peut prélever tout en assurant le renouvellement et l'évolution de la forêt sur la base d'objectifs d'aménagement durable des forêts applicables, dont ceux visant :

1. La pérennité du milieu forestier
2. L'impact des changements climatiques
3. La dynamique naturelle des forêts, notamment leur composition, leur structure d'âge et leur répartition spatiale
4. Le maintien et l'amélioration de la capacité productive des forêts
5. L'utilisation diversifiée du milieu forestier ».

Les possibilités forestières correspondent donc au volume maximal de la récolte annuelle de bois qui peut être maintenu à partir d'un territoire donné. Elles reflètent le potentiel biophysique de production de bois dans les forêts du domaine de l'État en fonction des objectifs poursuivis et des moyens déployés.

Les possibilités forestières pour chacune des unités d'aménagement de même que pour les territoires forestiers résiduels et la forêt de proximité sont déterminées tous les cinq ans. Au terme de la période quinquennale, elles peuvent être revues ou être reconduites sur la base des conditions de la période précédente. Les nouvelles possibilités forestières viendront refléter les informations les plus récentes sur l'état de la forêt, son évolution et son utilisation.

Le Forestier en chef peut recommander ou procéder, à la demande de la ministre, à une modification des possibilités forestières en cours de période quinquennale si des éléments imprévus, tels un feu de forêt ou un changement de vocation du territoire présentent un risque pour la pérennité de la forêt.

Essences forestières considérées

Les possibilités forestières sont établies en mètres cubes bruts par année et correspondent à la quantité de bois marchand que la forêt peut produire à long terme. Elles ne considèrent que les arbres vivants et matures des essences commerciales. Au Québec, les arbres ou les parties d'arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine est supérieur à neuf centimètres sont considérés marchands.

Bien que la forêt du Québec soit composée de plus d'une cinquantaine d'espèces d'arbres, les possibilités forestières sont réparties selon neuf groupes (tableau 1).

Tableau 1. Répartition des possibilités forestières par essence ou groupe d'essences

Groupes	Essences
SEPM	Sapin baumier, épinettes (noire, rouge, blanche et de Norvège), pin gris et mélèzes
Thuya	Thuya occidental
Pruche	Pruche de l'Est
Pins	Pins blanc et rouge
Peupliers	Peupliers (baumier, deltoïde, à grandes dents, hybride et faux-tremble)
Bouleau à papier	Bouleaux blanc et gris
Bouleau jaune	Bouleau jaune
Érables	Érable à sucre et érable rouge
Autres feuillus durs	Tous les autres feuillus durs (autres érables, chênes, frênes, hêtre, noyers, ormes, tilleuls, etc.)

Territoire d'application

Le Forestier en chef calcule et détermine les possibilités forestières dans les forêts du domaine de l'État où l'aménagement forestier est autorisé. Elles sont localisées au sud de la [limite territoriale des forêts attribuables](#).

En 2023, les forêts pour lesquelles le Forestier en chef détermine les possibilités forestières sont subdivisées en 57 unités d'aménagement, près de 90 territoires forestiers résiduels et une forêt de proximité.

Calcul des possibilités forestières

Le calcul des possibilités forestières intègre les connaissances les plus à jour sur l'état de la forêt, son évolution et les effets de son aménagement. Le calcul est de nature technique, car sa réalisation suit une démarche structurée et systématique pour modéliser l'évolution de la forêt en fonction de différentes stratégies d'aménagement dans le temps. Les principales étapes sont présentées au tableau 2 et expliquées au chapitre 2 du Manuel.

Tableau 2. Principales étapes du calcul des possibilités forestières

Étapes	Description
Cartographie	Production de la carte du calcul précisant les superficies contribuant aux possibilités
Évolution de la forêt	Création des courbes décrivant l'évolution des strates d'aménagement dans le temps
Regroupement des polygones écoforestiers	Traitement des données d'inventaire pour créer des regroupements des strates cartographiques
Stratégie sylvicole	Définition des traitements sylvicoles applicables à chacun des groupes de forêt
Optimisation et variables de suivi	Modélisation à l'échelle du territoire et obtention de la meilleure solution
Spatialisation	Considération de la dimension spatiale liée au déploiement des activités
Résultats	Production des divers extrants utilisés tant dans les travaux du Forestier en chef que pour l'attribution des bois et la planification forestière

Outils utilisés

La réalisation du calcul des possibilités forestières est supportée par plusieurs outils :

Modèles de croissance Artémis et Natura

La Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et des Forêts a développé des modèles de prédiction de la croissance forestière : Artémis, un modèle par tige individuelle, et Natura, un modèle par peuplement entier. Le Forestier en chef a recours à ces modèles pour élaborer les courbes d'évolution.

EsPaCe

Dans ses travaux, le Forestier en chef utilise le modèle « EsPaCe ¹ » afin de produire des courbes d'évolution pour les peuplements traités par l'éclaircie précommerciale. Ce modèle, développé par la Direction de la recherche forestière, a été calibré en utilisant des placettes du réseau de suivi des effets réels de l'éclaircie précommerciale. Il fait évoluer la distribution diamétrale et la densité des arbres dont le diamètre est supérieur à 1,1 centimètre des placettes traitées jusqu'à l'atteinte des caractéristiques dendrométriques permettant l'utilisation des modèles de croissance Artémis ou Natura.

Programmation linéaire

La plateforme Woodstock de Remsoft² sert à traduire les problèmes forestiers en matrices de programmation linéaire. La génération de modèles d'optimisation intègre les données cartographiques, les stratégies sylvicoles et les courbes d'évolution. Depuis plusieurs années, les compagnies forestières, les gouvernements et les autres usagers utilisent ce logiciel pour optimiser la planification stratégique et tactique en faisant appel à la programmation linéaire. La matrice représentant le problème forestier est par la suite résolue par un solveur, un logiciel spécialisé dédié à cette tâche. Puis, le résultat est à nouveau traduit en valeurs forestières.

Émulateur de la coupe mosaïque

Afin de prendre en compte la récolte en coupe mosaïque, le logiciel STANLEY³ émule la planification forestière par l'intégration au calcul des règles d'adjacence et de proximité relatives à la récolte par coupe mosaïque.

Application *HorizonCPF*

Afin d'uniformiser le chargement des données et la production des modèles de programmation linéaire, le Forestier en chef a développé une application : *HorizonCPF*. Ce logiciel utilise une base de données OracleTM pour préparer une partie des intrants et le codage de ses modèles d'optimisation.

BFECopt et FMT

BFECopt⁴ est aussi une application développée par le Forestier en chef. Elle génère un calendrier d'ouverture et de fermeture des compartiments d'organisation spatiale qui est ensuite amélioré par itération successive. Pour permettre une meilleure exploration du domaine réalisable, l'application accepte les solutions équivalentes ou supérieures à la situation initiale.

FMT (Forêt Modélisée dans le Temps) est une librairie C++ créée par le Forestier en chef. Il permet, entre autres, la prise en charge de modèles Woodstock et la résolution de problèmes de programmation linéaire pas à pas par replanification. Son approche générique permet d'utiliser des modèles de planification forestière et de générer des solutions. L'outil peut aussi être utilisé pour analyser l'impact d'événements stochastiques comme les épisodes de feux de forêt en utilisant la replanification.

Rendement soutenu – Rendement accru

En 1987, le rendement soutenu avait été intégré dans la *Loi sur les forêts*. Jusqu'en 2018, les possibilités forestières devaient respecter le rendement soutenu⁵, une obligation inscrite dans la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier* (figure 1). Cette obligation implique que le volume de bois récolté aujourd'hui ne doit pas entraîner une diminution des possibilités forestières futures.

¹ [Comparaison des courbes de production réalisées avec le simulateur EsPaCe pour des peuplements naturels résineux traités en éclaircie précommerciale avec celles de peuplements naturels non traités \(gouv.qc.ca\)](#)

² [Forestry Software, Intelligent Planning & Optimization Analytics | Remsoft](#)

³ Remsoft. 2008. Tutoriel STANLEY 1 – Comprendre STANLEY. Fredericton, N.-B., 39 p.

⁴ [Planification des Compartiments d'Organisation Spatiale \(COS\) | Documentation de FMT \(bureau-du-forestier-en-chef.github.io\)](#)

⁵ Bouthillier, L. 1991. Le concept de rendement soutenu en foresterie dans un contexte nord-américain. Thèse de doctorat présentée à l'Université Laval, Sainte-Foy, Qc, 379 p.

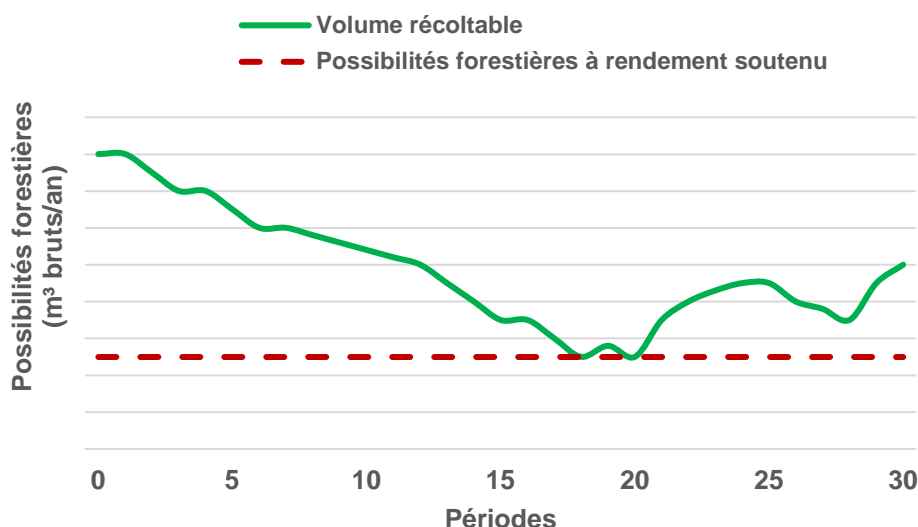


Figure 1. Représentation du concept de rendement soutenu. Les possibilités forestières sont maintenues à perpétuité (ligne pointillée). En tout temps, celles-ci sont égales ou inférieures au volume récoltable (ligne pleine).

Le rendement soutenu est une mesure de gestion du risque visant à empêcher la surexploitation de la matière ligneuse et à assurer une stabilité des possibilités forestières. Le respect du rendement soutenu implique que des contraintes à l'optimisation⁶ soient intégrées au calcul.

Avec l'entrée en vigueur de la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier*, le 1^{er} avril 2013, le calcul des possibilités forestières n'est plus obligatoirement à rendement soutenu depuis 2018, mais en accord avec l'article 48 de la *Loi*.

En effet, dans une perspective d'aménagement durable des forêts, les autres besoins de la société à l'égard des forêts, le maintien de la biodiversité et l'utilisation diversifiée du territoire sont de plus en plus considérés dans le calcul des possibilités forestières. Le maintien de l'ensemble des produits et des services forestiers permet de répondre aux besoins actuels de la société, sans compromettre ceux des générations futures⁷.

Les travaux de modélisation prévoient trois niveaux de régularisation du volume qui se traduisent par le maintien ou l'augmentation du volume de bois disponible à la récolte :

- ▶ sur un horizon de 150 ans, pour les grands groupes d'essences résineuses, feuillues tolérantes et intolérantes à l'ombre.
- ▶ Pour les essences bien représentées à l'échelle de l'unité d'aménagement, le maintien ou l'augmentation est visé sur un horizon de 50 ans pour les essences individuelles ou sur 100 ans pour le groupe SEPM.

Le calcul des possibilités forestières fait maintenant appel à une stratégie dite « à rendement accru », c'est-à-dire que la croissance de la forêt est plus grande dans la modélisation que le strict minimum qui serait requis pour maintenir les possibilités forestières. Cet objectif est atteint parce qu'une sylviculture décroissante dans le temps n'est pas permise. De plus, un niveau de récolte ne pouvant pas diminuer dans le temps est imposé, mais il est permis de croître au fil du temps pour maximiser le volume de bois produit sur l'ensemble de l'horizon.

Ainsi, le volume produit sur l'ensemble de l'horizon de la modélisation est donc supérieur à la simple addition des possibilités forestières annuelles. Cette approche a pour effet de créer une marge de manœuvre croissante de période en période. D'une manière variable, selon l'unité d'aménagement, cette approche dégage une marge de manœuvre supplémentaire pour faire face aux inconnues dont notamment les perturbations naturelles futures.

Un horizon de calcul de l'ordre de 150 ans rassure la société quant à la pérennité de la matière ligneuse et du potentiel de récolte à long terme. Il correspond approximativement au temps pour couvrir deux révolutions. Il est estimé suffisant pour voir les conséquences de certains aménagements sur la succession des essences et sur la

⁶ Se référer à la section 2.5 du Manuel – Optimisation et variables de suivi

⁷ [Stratégie d'aménagement durable des forêts | Gouvernement du Québec \(quebec.ca\)](http://www.gouvernement.qc.ca/strategie-aménagement-durable-des-forêts)

productivité à long terme.

Un horizon de projection de 50 ans est utilisé pour régulariser un approvisionnement en essences ou en groupes d'essences d'importance.

De plus, la projection des possibilités forestières à long terme étant moins fiable pour des essences individuelles ou marginales en relation avec la précision des modèles de croissance, celles-ci sont regroupées alors en plus grands groupes d'essences.

La projection des possibilités forestières est également encadrée pour être apte à répondre à d'autres besoins que celui de l'approvisionnement en bois. Certains objectifs d'aménagement durable des forêts font l'objet de contraintes à l'optimisation comme le seuil maximal de forêts en régénération par unité territoriale de référence. D'autres objectifs font l'objet de suivis pour connaître leur évolution et éventuellement faire l'objet de recommandations lors de la détermination des possibilités forestières.

Gestion de l'incertitude

Malgré la rigueur et l'amélioration continue entourant le calcul des possibilités forestières, ses projections sont sujettes à l'incertitude, car le fonctionnement d'un écosystème forestier sera toujours plus complexe que ses représentations mathématiques⁸. D'un calcul à l'autre, les facteurs d'incertitude sont mieux connus et maîtrisés. La précision des intrants⁹, la robustesse des hypothèses¹⁰ et la capacité à prévoir les impacts associés aux facteurs exogènes tels que les perturbations naturelles et les changements climatiques s'améliorent¹¹.

À partir des résultats du calcul découlent des décisions qui seront déterminantes pour la pérennité de la forêt et pour les utilisateurs de la forêt québécoise. Des sources d'incertitude sont identifiées tout au long du processus de calcul des possibilités forestières.

Exemples de sources d'incertitude

Prédiction du volume de bois

La précision associée à la prédiction du volume de bois dans le temps est difficile à mesurer puisqu'il subsistera toujours des hypothèses imparfaitement documentées. Toutefois, une nouvelle modélisation est réalisée lorsque des nouveaux inventaires écoforestiers et des nouveaux modèles d'évolution de la forêt sont disponibles. Les hypothèses à la base de la modélisation sont alors révisées. De plus, des analyses sur la sensibilité de certains intrants sont réalisées pour évaluer les effets éventuels des sous-évaluations ou des surestimations.

Accessibilité au volume de bois et capacité de récolte

Les projections de récolte sont réalisables dans la mesure où elles tiennent compte des contraintes opérationnelles ou d'enjeux territoriaux. Pour justifier les coûts des infrastructures et de logistique liés aux activités d'aménagement forestier, le volume de bois doit être suffisamment concentré dans des secteurs accessibles. Pour tenir compte de cette réalité, le calcul tient compte de certaines contraintes d'organisation spatiale de la récolte à l'échelle stratégique.

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 ;

⁸ 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.

⁹ Par exemple, des données sur le volume, la composition en essences, la superficie des strates d'aménagement.

¹⁰ Se référer à la section 2.2 du Manuel – Évolution de la forêt.

¹¹ Se référer à la section 3.8 du Manuel – Perturbations naturelles.

¹² 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.

¹³ 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.

Calcul des possibilités forestières

- ▶ 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 demeure fragmentaire¹⁵.

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 par des analyses rétrospectives. À partir de ces analyses, les probabilités d'occurrences des épidémies d'insectes et des feux peuvent être établies. Toutefois, leur localisation précise dans le temps et l'espace est difficile à prévoir à l'échelle d'une unité d'aménagement¹⁶.

Effets des changements climatiques sur la croissance des forêts

La compréhension de l'effet des changements climatiques à long terme sur la croissance et la succession forestière¹⁷ évolue rapidement, mais demeure difficile à quantifier. Le Forestier en chef emploie une approche prudente et n'utilise pas de mesures directes pour refléter les changements climatiques dans ses travaux pour le moment. Néanmoins, en se basant sur le remesurage des placettes échantillons permanentes, la modélisation de la croissance, telle que réalisée actuellement, permet une meilleure adéquation entre la croissance exprimée dans le calcul et celle mesurée sur le terrain. En effet, en mesurant la croissance de milliers de placettes permanentes, l'ensemble des phénomènes, tels que les changements climatiques et les perturbations partielles, sont déjà intégrés, du moins dans leurs effets à ce jour, sans toutefois pouvoir distinguer leur contribution individuelle de celle de l'ensemble des autres facteurs.

Contexte socio-économique futur

Le calcul des possibilités forestières 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 sont complexes et, par conséquent, difficiles à prévoir. Les effets possibles de ces changements conjoncturels ne sont pas prévisibles¹⁸. La révision des possibilités forestières tous les 5 ans permet de prendre en compte ces changements.

Mesure de l'incertitude

Différentes approches 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 et leurs effets.

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 modèle¹⁹. L'analyse de sensibilité se fait en variant un seul paramètre à la fois (par exemple, une variation du rendement d'un traitement sylvicole ou son coût).

L'analyse de sensibilité 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 robustesse²⁰.

Analyse de scénarios

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). Ces analyses sont nécessaires pour faire des recommandations quant aux orientations stratégiques d'aménagement forestier. Les analystes responsables du

¹⁴ 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.

¹⁵ 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. et Muridian, R. 2001. Ecological thresholds: a survey. *Ecological Economics*, 38 : 7-24.

¹⁶ Se référer à la section 3.8 du Manuel – Perturbations naturelles.

¹⁷ 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.

¹⁸ Holling, C.S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5) : 390-405.

¹⁹ L'analyse de sensibilité peut être programmée directement dans [MOSEK](#)

²⁰ 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.

Calcul des possibilités forestières

calcul des possibilités forestières y ont aussi recours pour interagir avec les aménagistes responsables de l'élaboration des stratégies d'aménagement territoriales.

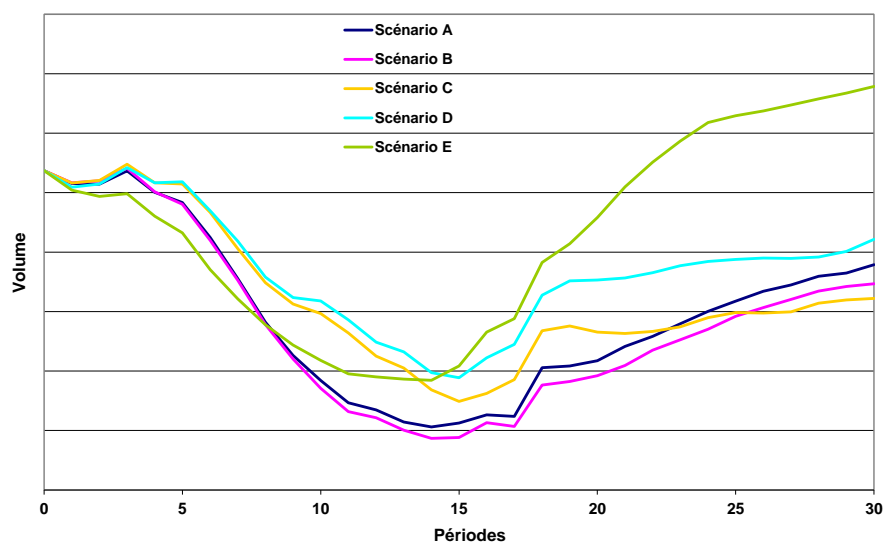


Figure 2. Représentation des résultats d'une analyse de scénarios

Rapports sur le calcul des possibilités forestières

Les rapports sur le calcul des possibilités forestières de chaque unité d'aménagement ayant fait l'objet d'un nouveau calcul sont disponibles sur le site Internet du Forestier en chef. Ce rapport soutient les décisions du Forestier en chef pour la détermination des possibilités forestières. Ces dernières peuvent toutefois en différer lorsque des facteurs d'ajustement sont retenus.

Pour les unités d'aménagement dont les possibilités forestières sont mises à jour, l'information pertinente se trouve dans les rapports du dernier calcul réalisé. Ces rapports sont également disponibles sur le site Internet du Forestier en chef dans le dossier de la période correspondante.

Les résultats de la détermination des possibilités forestières apparaissent dans les fiches contenant les décisions du Forestier en chef relativement à chacune des unités d'aménagement.

Amélioration continue

Les possibilités forestières sont révisées tous les cinq ans afin de les ajuster pour tenir compte des changements de vocation du territoire, de la réalité opérationnelle, des nouvelles connaissances, des plus récentes hypothèses et des modèles de croissance, de l'évolution des objectifs d'aménagement et des perturbations naturelles survenues 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.

Système de gestion de la qualité

Le calcul des possibilités forestières est encadré par un système de gestion de la qualité certifié ISO 9001 :2015 qui en confirme la rigueur et l'amélioration continue. Chaque calcul est réalisé en intégrant les éléments d'amélioration soulevés à chacune des étapes du calcul précédent.

Rédaction : Lucie Bertrand, ing.f., Ph.D.; Simon Allard, ing.f.; Jean Girard, ing.f., M.Sc.

Révision : Jean Girard, ing.f., M.Sc.; David Baril, ing.f.; Philippe Marcotte, ing.f., M.Sc.; Stéphane Petitclerc, ing.f.

Approbation : Louis Pelletier, ing.f., Forestier en chef

