

# Une nouvelle approche pour immuniser nos forêts contre l'incertitude (essai)

**Christian Messier** Département des sciences naturelles et Institut des sciences de la forêt tempérée, ISFORT UQO (CA)\*  
**Fanny Maure** Centre d'étude de la forêt, Université du Québec, UQAM, Montréal (CA)  
**Núria Aquilué** Centre d'étude de la forêt, Université du Québec, UQAM, Montréal (CA)

## Une nouvelle approche pour immuniser nos forêts contre l'incertitude (essai)

Dans le contexte actuel des changements globaux, l'aménagement de nos forêts représente un défi majeur, et ce particulièrement du fait de la grande part d'incertitude associée à ces changements. Face à cette réalité, nos pratiques visant à contrôler et prédire l'évolution de nos forêts ne sont plus assez efficaces et nous devons revoir notre façon de gérer nos forêts. La théorie de la complexité forme le cadre conceptionnel de notre approche qui incite à adopter une vision plus globale et plus flexible lors de la planification forestière. Nous devons pour cela accepter l'idée que les forêts sont des systèmes complexes et dynamiques et que de ce fait, elles ne seront jamais complètement prédictibles. En incorporant les caractéristiques fonctionnelles des essences et les réseaux complexes existant entre les peuplements dans l'aménagement de nos forêts et en favorisant la diversité et la connectivité fonctionnelle, nous pouvons immuniser les forêts contre les stress présents et à venir.

**Keywords:** forest management, uncertainty, complexity science, complex network, functional diversity  
**doi:** 10.3188/szf.2018.0199

\* Université du Québec en Outaouais, 58 rue Principale, Ripon, Québec J0V 1V0, Canada, courriel christian.messier@uqo.ca

La forêt que nous apprécions tant aujourd'hui n'est souvent plus comparable à celle dont jouissaient nos aïeux. Ne faisant pas exception parmi les écosystèmes qui nous entourent, la forêt est façonnée par nos actions et elle est aménagée de façon à répondre à des besoins et des attentes en constante évolution. De plus, la forêt se transforme sous l'effet de sa propre dynamique naturelle, celle-ci sous l'influence de perturbations naturelles, mais aussi de conditions socio-environnementales de plus en plus changeantes. Ces transformations modifient donc nos forêts au fil des décennies et nous forcent à remettre continuellement en question nos objectifs et nos approches d'aménagement forestier.

Le défi majeur actuel dans l'aménagement de nos forêts est de faire face à une incertitude désormais croissante. La vitesse avec laquelle notre mode de vie se transforme, combinée à celle des changements globaux dessinent un avenir de plus en plus incertain et donc imprévisible, rendant la planification forestière de plus en plus difficile. Voici à quoi peuvent se résumer les trois principaux défis auxquels nous faisons actuellement face lors de l'aménagement de nos forêts:

- Les besoins et les attentes envers les différentes fonctions importantes de la forêt évoluent constam-

ment, sont difficilement prévisibles et sont souvent incompatibles entre eux (protection de la biodiversité, captation du carbone, production de bois, production d'eau de qualité, accessibilité pour la récréation).

- La fragmentation spatiale des forêts est grandissante à l'échelle mondiale et rend celles-ci de plus en plus vulnérables aux perturbations naturelles et anthropiques.

- On observe une perte de résistance et de résilience de nos forêts (i.e. capacité à absorber une perturbation sans se modifier ou à se réorganiser rapidement suite à une perturbation afin de maintenir ses principaux services et fonctions, respectivement) à se réorganiser rapidement suite à une perturbation face à l'accumulation des perturbations biotiques (espèces végétales envahissantes, maladies et insectes exotiques) et abiotiques (réchauffement rapide du climat, pollutions).

Pour faire face à ces défis, il faut donc être capable de s'adapter rapidement et surtout proposer une approche globale et flexible qui tient compte du haut niveau d'incertitude auquel nous sommes de plus en plus confrontés.

Dans ce court article, nous proposons de revoir notre vision de la forêt afin de mieux adapter nos pratiques sylvicoles aux défis mentionnés ci-dessus.

Nous allons voir comment en liant la théorie des réseaux complexes à l'approche fonctionnelle, on peut mieux appréhender l'incertitude et optimiser nos choix d'aménagements forestiers. Nous présentons ici une approche qui permet de concilier plusieurs méthodes sylvicoles utilisées actuellement dans le but «d'immuniser» la forêt contre l'incertitude grandissante liée aux changements globaux.

### **L'incertitude et l'approche basée sur la complexité**

Bien qu'il y ait toujours eu des incertitudes en foresterie, le rythme des transformations socio-écologiques actuelles est tel que le nombre de ces incertitudes va croissant et qu'il est de plus en plus difficile d'essayer de prédire nos besoins futurs (en termes de produits forestiers) et à quoi seront exposées les forêts de demain. On a longtemps cherché à simplifier et contrôler nos forêts pour guider leur évolution et maximiser leurs rendements, mais ces pratiques ne sont aujourd'hui plus assez efficaces (Puettmann et al 2009). Nous perdons petit à petit le «contrôle» et il faut désormais redoubler d'efforts pour nous adapter plus vite, soit au moins au même rythme que les changements.

Avec le recul, il devient assez clair que nous devons revoir nos pratiques d'aménagement des forêts et notamment nous ajuster face à ces incertitudes (Messier et al 2013). Parce qu'elles abritent des milliers d'espèces vivantes (e.g. organismes du sol, herbes, lichens, insectes, oiseaux, mammifères) qui vivent et interagissent entre elles et avec leur environnement extérieur, et ce à travers plusieurs échelles temporelles et spatiales, les forêts sont des systèmes complexes qui fonctionnent en réseaux. C'est d'ailleurs ce qui leur confère cette formidable capacité d'adaptation. Du fait de cette complexité dans leur structure et leur organisation spatiale, nos forêts sont ainsi très difficilement prédictibles et il faut alors accepter que certains aspects de leurs états et de leurs dynamiques puissent ne jamais être totalement compris, ou encore moins prédits avec certitude. En effet, la structure émergente du peuplement forestier et les dynamiques intrinsèques connues à ce jour résultent de l'interaction de nombreuses autres composantes agissant à des échelles hiérarchiques plus basses et plus élevées, qui sont souvent difficilement perceptibles. De tels systèmes naturels sont donc difficiles à analyser ou à décrire si on se limite à une seule échelle d'étude, soit par exemple celle du peuplement.

L'idée proposée ici s'inspire de la théorie de la complexité qui adopte un point de vue plus global et plus dynamique dans l'étude des systèmes forestiers. Laissons de côté les approches basées sur l'ordre et la prédictibilité dans nos forêts et acceptons plutôt que les différents éléments et comportements qui

leur sont intrinsèques soient aussi inévitablement source d'incertitudes (Messier et al 2016). En effet, de multiples processus écologiques régissant les forêts sont fortement liés au hasard (e.g. survie des semences, herbivore), sont affectés par des processus se produisant à l'extérieur du système sous aménagement (e.g. feu de forêt, épidémie d'insecte) et suivent une dynamique non linéaire créant ainsi une incapacité à prédire avec exactitude l'évolution future du peuplement. Cette structure et cette dynamique complexes sont à la base de l'hétérogénéité et donc de la résilience des forêts et c'est ce qui leur permet de mieux s'adapter aux conditions biotiques et abiotiques présentes et futures. Ainsi, l'idée est de promouvoir une plus grande flexibilité quant à l'évolution des peuplements et de ne plus viser des prédictions spécifiques pour chacun d'eux, nécessitant souvent beaucoup d'efforts et d'interventions de la part des sylviculteurs. On peut alors accepter une plus large variété de trajectoires possibles pour les différents peuplements, tout en s'assurant que le système forestier dans son ensemble atteint les objectifs fixés. En adoptant une telle stratégie, les sylviculteurs ont non seulement plus de flexibilité dans leurs pratiques, mais conservent aussi la capacité naturelle d'adaptation des forêts.

### **Une nouvelle façon d'appréhender la diversité: l'approche fonctionnelle**

Afin d'améliorer la résilience de nos forêts, il est primordial de maintenir une grande diversité au sein des différents peuplements forestiers, et ce aussi bien au niveau de la diversité en espèces que de la diversité structurale. Bien que le recensement du nombre d'espèces nous fournisse un bon indice de diversité d'un peuplement, il ne suffit pas à nous renseigner sur la diversité des fonctions et des services biologiques remplis par les espèces présentes, ni même sur la niche écologique qu'elles occupent. L'approche mise en l'avant ici s'intéresse plutôt aux caractéristiques biologiques des espèces (soit leurs traits fonctionnels) et nous permet de mesurer la diversité fonctionnelle d'un écosystème (Garnier & Navas 2013). Ces caractéristiques morphologiques (e.g. hauteur maximale de l'arbre, taille des semences), physiologiques (e.g. taux photosynthétique, sensibilité à la cavitation) ou phénologiques (e.g. début et fin de la période de croissance annuelle) affectent la performance individuelle d'un organisme et sont directement liées à la façon dont les arbres vont répondre et s'adapter à un ou plusieurs facteurs environnementaux. Face à l'incertitude liée aux changements globaux, une forêt résiliente sera une forêt composée d'espèces ayant des traits fonctionnels diversifiés et capables de résister ou de s'adapter au plus large spectre de stress possible. Par ailleurs, cette résilience

est aussi basée sur le fait que plusieurs espèces partagent les mêmes traits fonctionnels (on parle ici de redondance fonctionnelle), afin de maintenir une bonne diversité des traits advenant la disparition d'une espèce.

Une méthode simple d'application de l'approche fonctionnelle consiste à regrouper les espèces d'arbres selon la similitude de leurs traits fonctionnels, créant alors des groupes fonctionnels. Ainsi, des espèces tolérantes à l'ombre ayant une densité de bois élevée et une taille de semences relativement grande seront inclus au sein d'un même groupe, alors que des espèces intolérantes à l'ombre ayant une densité de bois faible et une petite taille de semences formeront un groupe différent. En s'assurant de maintenir au sein de nos forêts des espèces d'arbres ayant le plus de groupes fonctionnels possible, en proportions plus ou moins égales et avec une certaine redondance, on s'assure donc de les immuniser contre une grande diversité de stress présents et à venir et de minimiser notre exposition au risque.

## Lier réseaux complexes et diversité fonctionnelle pour immuniser nos forêts

L'approche globale à privilégier se base sur l'intégration de trois échelles spatiales lors de la planification de l'aménagement forestier: 1) le peuplement forestier, 2) la propriété forestière et 3) le territoire forestier (figure 1). En privilégiant des pratiques sylvicoles via la coupe, la plantation d'enrichissement ou l'établissement de nouveaux peuplements qui augmentent d'une part la diversité et la redondance fonctionnelles à l'échelle du peuplement et de la propriété forestière, et d'autre part la connectivité, la modularité et la centralité à l'échelle du territoire forestier, on favorise la résilience du réseau forestier. Tout d'abord, l'analyse de la forêt consiste à calculer les attributs fonctionnels (diversité et redondance) de chaque peuplement et propriété forestière. Par la suite, on s'intéresse à la structure spatiale du réseau complexe que constitue le territoire forestier pour savoir comment les différents peuplements/propriétés forestières sont connectés entre eux au niveau de la capacité de dispersion et d'établissement des arbres. On utilise alors trois attributs spatiaux liés à la résilience du système forestier, soit la connectivité, la modularité et la centralité (dont deux attributs sont illustrés à la figure 2). Dans un territoire forestier où la connectivité est forte (figure 2b), le matériel biologique (i.e. traits fonctionnels portés par les semences) peut être facilement dispersé d'un peuplement à un autre via leurs connexions. On parle d'un territoire modulaire soit lorsque les peuplements/propriétés sont peu connectés entre eux (mais ceci limite grandement la dispersion du matériel biologique suite à une perturbation), soit lorsqu'ils sont hautement connectés entre eux, mais qu'ils possèdent une forte discontinuité fonctionnelle (i.e. espèces ayant des traits fonctionnels différents) et structurale. Dans ce dernier cas, on limite alors la propagation de perturbations comme le feu, le chablis, les maladies et les insectes nuisibles. Enfin, les peuplements/propriétés dits centraux au sein d'un territoire forestier sont ceux ayant de nombreuses connections avec les peuplements/propriétés voisins (figure 2b) ou ceux permettant de connecter des régions du territoire autrement isolées. Une fois combinés, ces cinq attributs nous permettent de déterminer la résilience globale d'une région forestière face aux changements globaux. La dernière étape consiste à évaluer les interventions sylvicoles qui maximiseront les différents attributs fonctionnels et spatiaux de la forêt afin de la rendre la plus résiliente possible face aux futures menaces. Autrement dit, l'objectif est de déterminer les interventions qui permettront de maintenir (ou d'atteindre) une forte diversité et redondance des traits fonctionnels au niveau des peuplements et/ou propriétés fo-

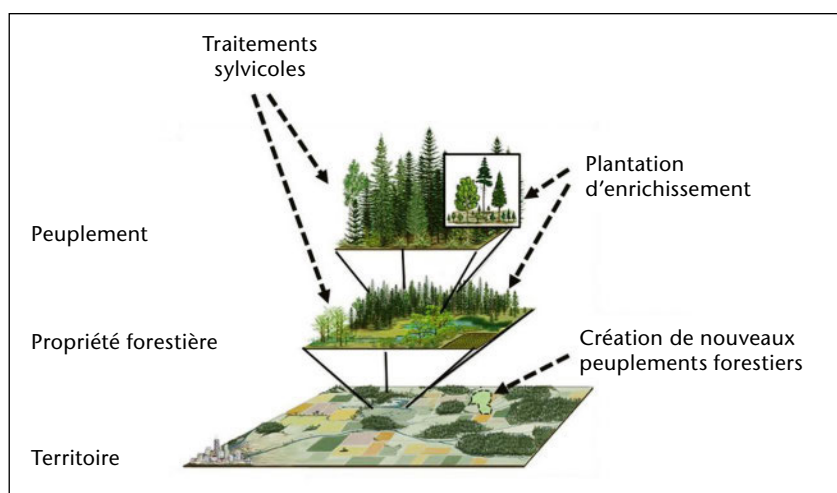


Fig. 1 Schéma conceptuel qui présente trois échelles spatiales d'interventions sylvicoles possibles: le peuplement, la propriété forestière et le territoire forestier.

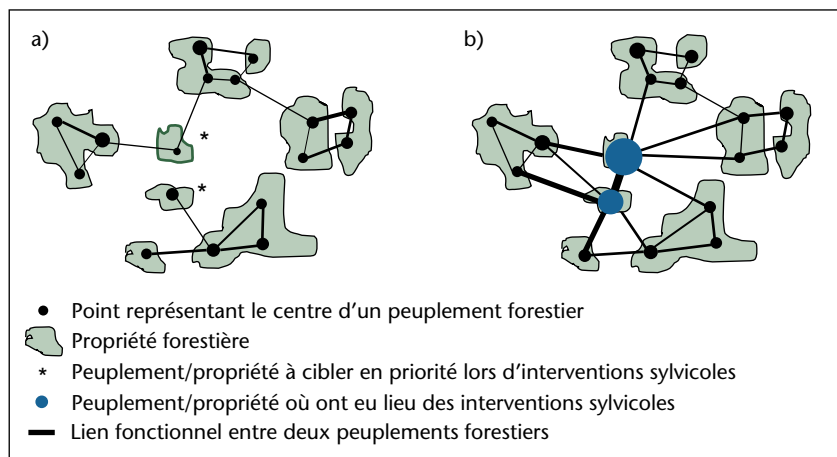


Fig. 2 Représentation schématique de l'analyse d'un territoire forestier avant (a) et après (b) interventions sylvicoles. Trois attributs liés à la résilience du territoire sont représentés: la diversité fonctionnelle (liée à la taille moyenne des points), la connectivité (liée au nombre total et à l'épaisseur moyenne des liens entre les points) et la centralité (liée au nombre moyen de liens par point).

restières, tout en veillant à ce que le réseau complexe forestier conserve une bonne connectivité, modularité et centralité.

De façon plus concrète, il est recommandé d'intervenir dans les peuplements et/ou propriétés forestières ayant une faible diversité fonctionnelle et de prioriser ceux qui seront les plus centraux (les deux peuplements avec un astérisque à la figure 2a).

En augmentant la diversité et la redondance fonctionnelles de ces peuplements, en favorisant des espèces déjà présentes mais peu abondantes sur le territoire ou en plantant de nouvelles espèces ayant des traits fonctionnels complémentaires (points bleus), il est alors possible d'augmenter la connectivité fonctionnelle (i.e. l'importance des traits fonctionnels pouvant être échangés) du territoire forestier (figure 2b). Dans le cas d'une matrice de peuplements ou de propriétés forestières très dispersés, il peut même être recommandé de favoriser la création de nouveaux peuplements (figure 1) afin d'augmenter la connectivité et la centralité fonctionnelles du territoire. Les nouveaux peuplements seraient alors caractérisés par la présence d'une ou plusieurs espèces d'arbres ayant des traits fonctionnels complémentaires et manquants à l'échelle du territoire. La figure 2 illustre la situation au temps 0 (avant la dispersion des traits fonctionnels vers les peuplements adjacents), donc il est possible que la valeur des attributs évoluent sur l'ensemble du territoire avec le temps. De ce fait, en intégrant différentes échelles spatiales lors de la planification forestière, on peut rendre nos forêts globalement plus résilientes face aux changements globaux tout en limitant le nombre d'interventions.

## Conclusion

L'approche présentée ici ne se veut donc pas une recette universelle ou même la promotion d'un nouveau type de foresterie, mais plutôt une approche novatrice intégrant différentes échelles spatiales dans l'étude du système forestier, ainsi que les notions de diversité fonctionnelle et de réseau complexe. En intégrant de tels concepts dans la planification de l'aménagement de nos forêts, on s'assure de mieux préparer les systèmes forestiers face aux incertitudes socio-environnementales qui ne cessent de croître. En relâchant le contrôle et en se permettant plus de flexibilité dans nos pratiques, on redonne à nos forêts leur capacité naturelle de fonctionnement et d'adaptation, ainsi que leur capacité de fournir la majorité des biens et services attendus par la société. ■

*Soumis: 19 avril 2018, accepté (sans comité de lecture): 8 mai 2018*

## Références

- GARNIER E, NAVAS ML (2013) Diversité fonctionnelle des plantes. Traits des organismes, structure des communautés, propriétés des écosystèmes. Bruxelles: De Boeck. 353 p.
- MESSIER C, PUETTMANN K, COATES D (2013) Managing forests as complex adaptive systems: building resilience to the challenge of global change. New York: Routledge. 368 p.
- MESSIER C, PUETTMANN K, FILOTAS E, COATES D (2016) Dealing with non-linearity and uncertainty in forest management. *Curr For Rep* 2: 150–161.
- PUETTMANN K, COATES D, MESSIER C (2009) A critique of silviculture: managing for complexity. Washington: Island Press. 200 p.

## Ein neuer Ansatz, um unsere Wälder gegen Unsicherheit zu immunisieren (Essay)

Der globale Wandel und insbesondere die damit verbundene grosse Unsicherheit stellt das Management unserer Wälder vor grosse Herausforderungen. Angesichts dieser neuen Realität sind unsere Praktiken zur Steuerung und zur Vorhersage der Waldentwicklung nicht mehr effektiv genug, und wir müssen die Art und Weise, wie wir die Waldbewirtschaftung planen, überdenken. Wir schlagen einen Ansatz vor, bei dem die Komplexitätstheorie den konzeptionellen Rahmen bildet und der dazu anregt, die Waldplanung ganzheitlicher und flexibler zu gestalten. Voraussetzung dafür ist, dass wir akzeptieren, dass Wälder komplexe und dynamische Systeme sind und ihre Entwicklung daher schwierig vorhersehbar ist. Indem wir in der Planung die funktionalen Eigenschaften der Baumarten und die zwischen den Beständen bestehenden, komplexen Netzwerke berücksichtigen und bei der Bewirtschaftung die Diversität dieser Merkmale sowie die Vernetzung fördern, können wir die Wälder gegen gegenwärtige und zukünftige Belastungen immunisieren.

## A new approach to immunizing our forests against uncertainty (essay)

In the present context of global change, managing our forests is a major challenge, in particular because of the great uncertainty associated with this change. Faced with this new reality, our methods of monitoring and forecasting the developments in our forests are no longer effective enough, so we have to review how we manage our forests. Complexity theory provides a conceptual framework for our approach, which leads us to adopt a more holistic and flexible way of seeing the world when planning our forest management. We must therefore accept that forests are complex and dynamic systems, and for that reason, never completely predictable. By incorporating the functional properties of trees and the complex spatial network of their populations in our forest management, and encouraging greater functional diversity and connectivity, we can immunize the forests against present and future stresses.