

Un outil de simulation

Comprendre comment la sylviculture modifie la qualité génétique et les capacités d'adaptation des peuplements

par F. Lefèvre¹, C. Godineau¹, N. Beudez¹, F. de Coligny¹, F. Courbet¹, S. Oddou-Muratorio¹, L. Sanchez¹, C. Deleuze², C. Pichot¹, M. Chartier³, B. Musch², D. François², S. Girard³, J. Guyot², L. Le-Legard Moreau², P. Riou-Nivert³, Y. Rousselle², A. Salvaudon⁴, C. Sédilot-Gasmi⁵

Le changement climatique pose un double défi au forestier : adapter les forêts à de nouvelles conditions et préserver des options sur le long terme pour gérer des futurs incertains. Les sources d'incertitudes sont multiples : scénarios de changement, événements extrêmes, parasites émergents, réponse des écosystèmes complexes au changement, impacts à court et à long termes des pratiques d'adaptation. La diversité génétique est un réservoir d'options pour relever ces multiples défis, il est donc primordial de la valoriser et de la gérer durablement.

¹ INRA,
² ONF,
³ CNPF-IDF,
⁴ PNR Luberon,
⁵ Société Forestière de la Caisse des Dépôts

La diversité génétique se trouve entre espèces, entre peuplements, et au sein des peuplements

Il est désormais classique de penser à la diversité génétique entre essences pour gérer l'adaptation par le biais de substitution ou de mélanges d'espèces. Il est moins classique de penser à exploiter et gérer durablement la diversité génétique intra-spécifique. Or, cette dernière est aussi importante : il y a beaucoup de différences adaptatives entre une population de Pin sylvestre de Sibérie et une autre de la péninsule Ibérique. De façon moins intuitive, il est désormais clairement établi pour la plupart des essences (il y a toujours des exceptions) que **la diversité génétique au sein des peuplements est très élevée et confère un fort potentiel d'adaptation à de nouvelles conditions**. Sur le terrain, cela s'observe notamment à travers la capacité d'essences introduites à s'adapter à de nouvelles conditions environnementales en une ou quelques générations.

Quelques exemples : le Pin radiata montre une extraordinaire capacité à survivre, croître et se reproduire sous des climats très différents de celui de son aire d'origine Californienne restreinte ; le Chêne rouge introduit en France a vu ses caractéristiques physiologiques se différencier de celles de l'aire d'origine ; des Epicéas d'origine tempérée se sont adaptés aux

conditions boréales dès la première génération. Les travaux récents montrent également l'existence d'adaptations génétiques « micro-locales » à des conditions d'environnement variées au sein même des peuplements.

Il faut donc cesser de réduire la diversité génétique adaptative à une valeur moyenne par essence. A chaque niveau « moyen » est associée une diversité : les espèces diffèrent par leurs comportements moyens et chaque espèce est elle-même porteuse d'une très grande diversité entre provenances ; au sein de chaque espèce, les provenances se distinguent par leurs comportements moyens et sont aussi porteuses, chacune, d'une grande diversité génétique entre individus.

La diversité génétique a une évolution continue dont la sylviculture peut modifier la trajectoire

Cette conception globale de la diversité génétique adaptative a deux conséquences :

- la diversité observée à un instant donné n'est qu'une image figée d'une trajectoire en perpétuelle évolution (comme si on regardait l'une des images de la pellicule d'un film) ; cette vision instantanée de la diversité ne doit pas masquer la notion de trajectoire, dont on comprend bien l'intérêt dans un contexte de changement ;
- la gestion impacte la trajectoire évolutive,

2016	IGS
Évaluation des effets d'une réduction de densité des peuplements et des effets d'un changement de répartition de la surface foliaire au sein d'une même parcelle après intervention sur la sensibilité des arbres à la sécheresse.	
François Courbet	INRA

Arbre fondateur et générations successives de la forêt des Cèdres du Petit Luberon issue de reboisement dans les années 1860, un bel exemple pour l'étude de l'évolution de la diversité génétique en forêt.



© INRA

qu'on le veuille ou non : une éclaircie par le haut et une éclaircie par le bas n'ont pas le même effet sur la qualité génétique des arbres restants ni sur leur diversité.

Avoir conscience des impacts génétiques des pratiques sylvicoles peut non seulement nous aider à mieux interpréter l'état de la diversité actuelle mais aussi et surtout peut nous ouvrir des pistes pour intégrer la dimension des ressources génétiques dans les décisions de gestion⁶.

⁶ Valadon & Musch 2007; Valadon 2009 ; Lefevre, 2012.

⁷ Lefevre *et al*, 2014.

Les mécanismes d'impacts génétiques des pratiques sylvicoles sont connus⁷, mais l'évaluation quantitative reste à faire : quelle est la puissance effective du levier sylvicole pour gérer la trajectoire dynamique de la diversité génétique des peuplements ?

Une approche de modélisation pour simuler les effets génétiques de la sylviculture

Pour aborder l'évaluation quantitative des impacts génétiques de la sylviculture, le projet « Évaluation des Impacts Génétiques de pratiques Sylvicoles pour l'adaptation (IGS)⁸ » a permis d'initier une approche par simulation sur un cas particulier, le Cèdre de l'Atlas, qui a vocation à être généralisée à différentes essences.

Le modèle utilisé pour ces simulations, développé sur la plateforme logicielle Capsis⁹, est destiné :

- ▀ aux services Recherche et Développement de l'ONF et de l'IDF, pour comparer différentes options sylvicoles ;
- ▀ aux enseignants et formateurs, pour être utilisé à des fins pédagogiques ;
- ▀ aux chercheurs, pour mieux comprendre comment interfèrent les interventions sylvicoles et les perturbations sur la dynamique du peuplement et son potentiel adaptatif.

coles et les perturbations sur la dynamique du peuplement et son potentiel adaptatif.

Dans le modèle, chacun des processus de croissance, reproduction, dispersion du pollen et des graines, mortalité par auto-éclaircie, ainsi que la diversité initiale au sein du peuplement initial ont été validés sur des données expérimentales. Néanmoins, l'intégration de tous ces processus et facteurs de variation dans un même modèle peuvent conduire à des effets d'échelle qui nécessiteraient d'être calibrés : pour une calibration globale du modèle, des données expérimentales de suivi génétique continu au fil des étapes de la sylviculture seront nécessaires. Actuellement, les simulations permettent déjà de faire de façon robuste des comparaisons relatives entre différents scénarios sylvicoles, avec ou sans perturbations, mais ne permettent pas encore une prédiction quantitative absolue.

Le modèle Capsis Luberon²¹⁰ s'appuie sur un modèle de dynamique du Cèdre de l'Atlas intégrant les processus de croissance¹¹, de reproduction et de dispersion du pollen et des graines, et de mortalité par auto-éclaircie. Ce modèle permet de simuler des arbres individualisés dans un peuplement régulier ou en futaie par bouquets. En amont du modèle intégrant les processus démographiques, un programme informatique permet de simuler des génotypes d'arbres individuels de façon à respecter les valeurs de paramètres génétiques caractérisant le peuplement initial (variance génétique, hérédité, etc.). Le modèle simule la croissance, la mortalité et la reproduction des arbres individuellement et génère les nouveaux semis. Des perturbations aléatoires d'intensité et de fréquence variables peuvent aussi être ajoutées.

⁸ Projet coordonné par François Lefèvre, INRA.

⁹ Dufour-Kowalski *et al*, 2012. <http://capsis.cirad.fr/capsis/>

¹⁰ http://capsis.cirad.fr/capsis/help_en/luberon2

¹¹ Courbet *et al*, 2007.

Les premières simulations réalisées permettent déjà de tirer trois enseignements :

- à l'échelle d'une seule révolution, les scénarios sylvicoles peuvent avoir des impacts très différents sur la diversité génétique du peuplement ;
- toutes les étapes d'un itinéraire sylvicole, y compris dans les stades jeunes, contribuent à l'impact génétique final, l'effet des dernières interventions sera conditionné/contraint par les impacts des interventions précédentes ;
- les événements de mortalité accidentelle peuvent modifier les impacts génétiques des itinéraires sylvicoles.

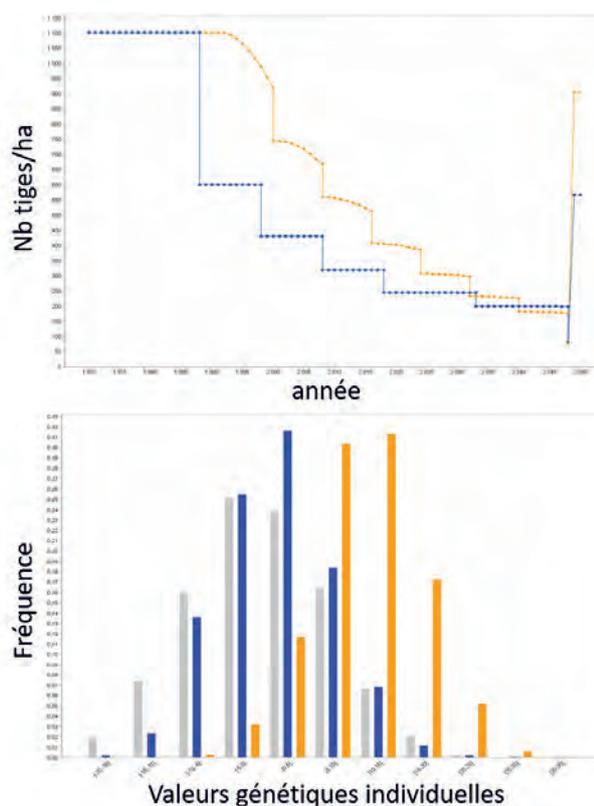
Il semble donc peu pertinent de chercher à définir des effets génétiques associés à chaque type d'intervention car il peut y avoir des effets de renforcement ou de compensation entre interventions successives. Pour prédire des impacts génétiques de la gestion forestière, il faut considérer l'itinéraire sylvicole dans sa globalité ainsi que les aléas.

La Figure 1 illustre les effets simulés de deux scénarios sylvicoles sur l'évolution de la diversité génétique des performances de croissance, au sein d'un peuplement. A chaque éclaircie, le sylviculteur opère une sélection génétique positive en coupant de petits arbres et une sélection négative en coupant de gros arbres. L'évolution génétique entre le peuplement initial et la génération suivante résulte du bilan cumulé des sélections lors des éclaircies successives et du jeu de la reproduction (après la coupe d'ensemencement, tous les arbres restants n'ont pas la même contribution à la régénération).

Cette démarche couplant sylviculture et génétique reste à affiner et à développer sur d'autres modèles de dynamique forestière, pour d'autres essences et d'autres types de peuplements. Mais déjà, lors de sessions pratiques, elle a permis aux utilisateurs de comprendre, visualiser, et commencer à quantifier les différences d'impacts génétiques entre divers scénarios sylvicoles. ■

Remerciements : Nous remercions le RMT AFORCE, l'INRA et le Conseil Général du Vaucluse pour leur soutien.

Figure 1 - simulation des impacts génétiques de deux scénarios sylvicoles sur une placette de Cèdre de l'Atlas



Le peuplement initial est âgé de 27 ans en 1970 avec une densité de 1100 tiges/ha. Deux scénarios sylvicoles sont appliqués avant coupe de régénération en 2048. Les deux scénarios diffèrent par les dates d'éclaircies et le choix des individus éliminés (le scénario orange est un rattrapage de peuplement en surdensité). Le graphique du haut montre l'évolution des effectifs et l'arrivée des semis en 2048 (pour les semis, on ne compte que le nombre de tiges qui passera le stade du recrutement). Le graphique du bas compare la diversité génétique pour la vigueur dans les jeunes régénérations de chaque scénario avec celle du peuplement initial (référence, en gris) : les deux scénarios améliorent la qualité génétique moyenne du peuplement mais la différence quantitative entre scénarios est flagrante.

Bibliographie

- Courbet F., Courdier J.-M., Mariotte N., Courdier F., 2007. *Croissance, production et conduite des peuplements de cèdre de l'Atlas*. Forêt-entreprise n° 174, p. 40-44.
- Dufour-Kowalski S., Courbaud B., Dreyfus P., Meredieu C., de Coligny F., 2012. *Capsis: an open software framework and community for forest growth modelling*. Annals of Forest Science, 69, p. 221-233.
- Lefevre F., 2012. *Les ressources génétiques, un réservoir pour les services de production et une dynamique pour la gestion des incertitudes*. Revue Forestière Française, LXIV(3), p. 235-242.
- Lefevre F., Boivin T., Bontemps A., Courbet F., Davi H., Durand-Gillmann M., Fady B., Gauzere J., Gidoin C., Karamm J., Lalagüe H., Oddou-Muratorio S., Pichot C., 2014. *Considering evolutionary processes in adaptive forestry*. Annals of Forest Science, 71, P 723-739.
- Valadon A., 2009. *Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers : Analyse bibliographique*. Dossiers forestiers de l'ONF, n° 21, 157 p.
- Valadon A., Musch B., 2007. *Rôle et influence de la gestion forestière sur la diversité génétique*. Rendez-Vous Techniques de l'ONF, 16, p. 34-37.

Résumé

La diversité des capacités d'adaptation est non seulement importante entre essences forestières mais aussi au sein de chaque espèce. La diversité génétique intra-spécifique observée à un instant donné est une « prise de vue » dans une évolution continue. Cette diversité est aussi le carburant nécessaire pour l'évolution des espèces. Pour mieux comprendre les impacts des pratiques de gestion sur la diversité génétique et construire des stratégies d'adaptation à long terme, nous intégrons information génétique et perturbations accidentelles dans des outils existants de simulation d'itinéraires sylvicoles.

Mots-clés : ressources génétiques, sylviculture, diversité génétique, potentiel adaptatif, simulation.