



**HAL**  
open science

## **Adaptation : vers un enrichissement du dialogue recherche-gestion**

Myriam Legay, Catherine Bastien, Jean-Charles Bastien, X. Bartet, Hendrik Davi, Jean-Francois Dhote, Alexis A. Ducouso, Marta Benito-Garzón, Thierry Caquet, Philippe Dreyfus, et al.

### ► To cite this version:

Myriam Legay, Catherine Bastien, Jean-Charles Bastien, X. Bartet, Hendrik Davi, et al.. Adaptation : vers un enrichissement du dialogue recherche-gestion. Innovations Agronomiques, 2015, 47, pp.121-130. 10.15454/1.462269223291339E12 . hal-02635982

**HAL Id: hal-02635982**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02635982>**

Submitted on 27 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## **Adaptation : vers un enrichissement du dialogue recherche-gestion**

**Legay M.<sup>1a</sup>, Bastien C.<sup>3</sup>, Bastien J.C.<sup>3</sup>, Bartet X.<sup>2</sup>, Davi H.<sup>4</sup>, Dhôte J.F.<sup>3</sup>, Ducouso A.<sup>5</sup>, Benito-Garzon M.<sup>9</sup>, Caquet T.<sup>6</sup>, Dreyfus P.<sup>1.c</sup>, Jambois A.<sup>6</sup>, Lefèvre F.<sup>4</sup>, Marçais B.<sup>7</sup>, Mengin-Lecreux P.<sup>1.4</sup>, Micheneau C.<sup>1.b</sup>, Pinto P.<sup>8</sup>, Plomion C.<sup>5</sup>, Sardin T.<sup>1.d</sup>**

<sup>1</sup> ONF, Direction Forêt et Risques Naturels

<sup>1.a</sup> Dépt Recherche, Développement, Innovation, 11 rue de l'Île-de-Corse, F-54000 Nancy

<sup>1.b</sup> Dépt Recherche, Développement, Innovation, Bd de Constance, F-77300 Fontainebleau

<sup>1.c</sup> Dépt Recherche, Développement, Innovation, 1175, chemin du Lavarin, F-84000 Avignon

<sup>1.d</sup> Dépt Gestion Durable et Multifonctionnelle de la Forêt, 2 avenue de St Mandé, F-75012 Paris

<sup>2</sup> ONF, Direction Territoriale Centre Ouest, Auvergne, Limousin, 100 bd de la Salle, BP 18, F-45760 Bobigny sur Bionne

<sup>3</sup> INRA, Unité Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, 2163 Avenue de la Pomme de Pin - CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2

<sup>4</sup> INRA, Unité de Recherche Forêt Méditerranéenne, Domaine Saint Paul, Site Agroparc, F-84914 Avignon Cedex 9

<sup>5</sup> INRA, UMR 1202 Biodiversité, Gènes et Communautés, 69 route d'Arcachon, F-33612 Cestas cedex

<sup>6</sup> INRA, Dépt Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques, route d'Amance, F-54280 Champenoux

<sup>7</sup> INRA, UMR 1136 Interactions Arbres/Micro-Organismes, route d'Amance, F-54280 Champenoux

<sup>8</sup> Interface INRA-ONF, UMR 1137 Ecologie et Ecophysiologie Forestières route d'Amance, 54280 Champenoux/ UMR 1092 Laboratoire des Ressources Forêt Bois, AgroParisTech - Centre Nancy, 14 rue Girardet, F-54042 Nancy

<sup>9</sup> CNRS, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, Campus du Jardin Tropical, 45 bis, avenue de la Belle Gabrielle, F-94736 Nogent-sur-Marne Cedex

**Correspondance** : Myriam.legay@onf.fr

### **Résumé**

Dans le cadre d'un séminaire prospectif qui s'est tenu en juillet 2015, des ingénieurs de l'ONF et des chercheurs du Département EFPA ont réfléchi ensemble sur les leviers d'adaptation sur lesquels la gestion forestière pouvait agir. La discussion a porté tant sur les actions de sylviculture à l'échelle du peuplement, que sur les démarches de planification forestière aux échelles du massif, de la région ou de l'ensemble de la ressource. Face à l'exposé des questions de gestion, les chercheurs ont sélectionné des résultats scientifiques apportant des éléments de réponse. S'est dégagé de la discussion le projet de s'appuyer sur la modélisation pour concevoir des modalités de gestion innovantes diversifiées, et tester leur mise en œuvre sur une partie significative du domaine géré, dans un dispositif cohérent et organisé de suivi et d'exploitation scientifique des résultats.

**Mots-clés:** Adaptation, Sylviculture, Aménagement forestier

### **Abstract: Adaptation: towards a richer dialogue between Research and Forest management**

In July 2015, a prospective workshop gathered ONF engineers and INRA/EFPA researchers, for thinking together about the adaptation levers that could be operated in forest management. This workshop focused on both silvicultural pathways (stand level), and management planning (level of the forest planning unit, region or the whole public forest resource). Foresters addressed their practical questions to researchers that selected scientific results providing knowledge to answer these issues. A project emerged from this discussion, consisting in i) designing diverse innovative management options,

helped by modelling tools, and ii) in testing them on a significant part of the managed forested area, in the framework of a new monitoring and scientific exploitation system.

**Keywords:** Adaptation, Silviculture, Forest management planning

## Introduction

La réflexion sur l'adaptation opérationnelle au changement climatique a été initiée à l'ONF par un atelier organisé avec le Département EFPA de l'Inra en octobre 2005. Il s'agissait alors de mettre en relation les résultats du projet CARBOFOR (GICC 2001-2004 ; Loustau, 2004) avec les différentes décisions à prendre lors de l'élaboration d'un aménagement forestier, de façon à intégrer de premières orientations d'adaptation à la rédaction des directives et schémas régionaux d'aménagement alors en cours (Legay et Mortier, 2006). Ce travail collectif a nourri une instruction interne sur l'adaptation au changement climatique émise en 2008 et toujours en application.

En 2015, un séminaire EFPA-ONF a été organisé dans le souci d'actualiser cette réflexion et d'orienter la collaboration entre les deux organismes, qui s'était poursuivie activement entretemps, dans divers cadres, associant généralement d'autres partenaires (RMT Aforce, conventions de recherche avec différentes unités mixtes de recherche, postes d'interface...).

**La problématique de la réflexion était la suivante : quels sont les différents leviers dont dispose le gestionnaire forestier dans ses différentes prises de décision, et quel effet adaptatif est attendu de l'action de ces leviers ? Comment progresser ensemble sur ces questions ?**

Après une introduction sur l'évolution des conditions climatiques et des risques biotiques, le séminaire s'est articulé en trois sessions, liées aux échelles spatiales considérées, depuis la parcelle (le peuplement forestier), jusqu'à l'ensemble de la ressource forestière métropolitaine, en passant par les échelles intermédiaires importantes pour la planification forestière (massif, région). Quatre intervenants ont contribué à l'animation de chacune de ces sessions :

- Un animateur (chercheur EFPA ou ONF-RDI), posant la problématique
- Un ingénieur de l'ONF, présentant les questions de gestion relative à l'échelle considérée
- Deux chercheurs de l'INRA appartenant à des disciplines différentes, apportant chacun leur éclairage.

Des ateliers de discussion ont permis l'approfondissement des échanges.

L'assistance, de 75 personnes, était composée d'ingénieurs de l'ONF (managers techniques, chargés d'appui technique et de développement), de chercheurs, et de partenaires invités (RMT Aforce, représentants des tutelles...).

La présente contribution s'efforce de livrer une première synthèse de ces échanges, en montrant comment le dialogue Recherche-Gestion s'est enrichi en quelques années, et en dégageant quelques idées qui ont traversé les débats.

## 1. Les décisions de gestion forestière et leur cadre technique

La sylviculture s'exerce à l'échelle de la parcelle, sur des peuplements réels, mais elle est cadrée par des guides de sylviculture à l'échelle d'un bassin de production (caractérisé par la dominance d'une espèce de production dans un contexte bioclimatique ; par exemple : le chêne dans le domaine atlantique).

Les guides de sylviculture traitent de situations génériques, caractérisée par un contexte stationnel, un stade de développement et un historique de gestion. Ce sont des documents d'orientation technique, prescriptifs, qui demandent un travail de diagnostic de la part du sylviculteur qui doit situer le peuplement qu'il considère par rapport aux situations génériques du guide, et en adapter les préconisations au cas particulier qu'il considère.

Ses décisions s'exercent par ailleurs dans le cadre directif de l'aménagement forestier, qui définit les objectifs pour le massif et leur distribution par parcelle (essences-objectifs, critères d'exploitabilité, effort de renouvellement). L'aménagement s'applique pour une durée de 20 ans en général, sauf rupture manifeste dans l'évolution de la forêt entraînant une révision anticipée. L'aménagement d'un massif donné s'inscrit dans une planification à l'échelle régionale (directive ou schéma régional d'aménagement), qui encadre les objectifs de gestion par grand contexte écologique. Les documents régionaux doivent eux-mêmes être conformes aux directives nationales d'aménagement et de gestion.

L'ensemble de ces documents (documents de planification et guides techniques) oriente la décision du sylviculteur, et apporte une garantie de gestion durable, mais permet également d'exercer un pilotage technique de la gestion de la ressource, aux échelles du massif, de la région ou de l'ensemble de la forêt publique.

Les décisions de gestion considérées ici concernent donc :

- Le domaine de la sylviculture, consistant à gérer un peuplement (qu'il s'agisse d'un peuplement réel ou d'une situation générique considérée par un guide),
- Le domaine de la planification forestière elle-même, qui définit, dans l'espace et le temps, les grandes orientations de la gestion.

## 2. L'adaptation : un objectif complexe

Plusieurs interventions, tant de gestionnaires que de chercheurs ont mis en lumière la complexité de l'objectif d'adaptation, qui dépend de l'objectif temporel visé, et des risques considérés, et qui s'exerce dans un environnement soumis à bien d'autres changements.

### 2.1 L'objectif temporel visé et les risques considérés

Sous le terme générique d'adaptation, on considère en fait à la fois :

- Des actions visant à limiter à court ou moyen terme les risques liés aux aléas climatiques encourus par un peuplement en place,
- Des actions visant à faire évoluer la forêt, pour l'amener à un nouvel état jugé plus adapté aux conditions attendues à moyen ou long terme, généralement considérées sous forme de scénarios, compte tenu des incertitudes.

Ces deux approches peuvent typiquement être mises en œuvre de façon séquentielle, en commençant par la première jusqu'au renouvellement du peuplement, à l'occasion duquel on peut entreprendre la seconde. Cependant, ces deux types d'adaptation ne conduisent pas *a priori* aux mêmes actions.

Sous le terme de « risque » omniprésent dans les discours sur l'adaptation, on trouve en fait des phénomènes d'ordres très divers :

- Au premier ordre, les **aléas climatiques** liés à l'augmentation de la variabilité du climat, au premier rang desquels la sécheresse, mais aussi les excès de précipitation en hiver, les gels tardifs, etc.,
- Ces aléas entraînent des risques directs pour la forêt, par exemple incendies, pertes de productivité, dépérissements et risques biotiques, ou encore phénomènes d'érosion en montagne, ou d'anoxie sur les sols hydromorphes de plaine liés aux épisodes de pluies hivernales intenses,

- Ces risques de premier ordre entraînent des **risques de deuxième ordre, impliquant les attentes sociales par rapport à la forêt** : risques économiques (pertes de revenu), risques techniques (maladaptation), ou encore risques sociaux (rejet des mesures d'adaptation).

Limiter tous les risques simultanément n'est pas possible, et pour limiter les risques à long terme, il faut accepter d'en prendre à court terme – ce qui est une position inconfortable, mais qui, finalement, rejoint une compétence au cœur du métier de forestier, lequel impose d'intégrer dans la prise de décision des échelles de temps très différentes. Elle conduit souvent le forestier à poser, au nom du long terme, des choix impopulaires à court terme (mettre en régénération une futaie mature, augmenter le plan de chasse).

## *2.2 Un changement parmi tant d'autres*

Plusieurs interventions ont également rappelé que l'adaptation s'exerçait sous l'influence d'autres évolutions, sans lien avec le climat, mais souvent plus impérieuses à court terme.

D'autres tendances des changements globaux interagissent ainsi fortement avec le changement climatique : les dépôts azotés et l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique exercent leur effet sur les évolutions de la productivité forestière en interaction avec les modifications climatiques ; le tableau des dommages dus aux insectes ou maladies forestières évolue sous l'effet du changement climatique, mais surtout à l'occasion de transports accidentels d'espèces.

Quant au sylviculteur, il doit s'adapter à des évolutions de la demande en bois, du coût relatif du travail par rapport aux revenus forestiers, ou encore à l'augmentation de la pression des grands ongulés dont les effets instantanés sur sa gestion sont autrement plus violents que celui du changement climatique, et conditionnent de fait les évolutions sylvicoles actuelles.

## **3. Les leviers d'action dans le domaine de la sylviculture**

### *3.1 Diversité des itinéraires : de nombreux degrés de liberté*

On peut distinguer trois grands stades dans la conduite des peuplements :

- Le stade juvénile,
- Le stade des éclaircies,
- Le stade de la récolte et du renouvellement.

Ces stades peuvent être considérés à l'échelle de la parcelle, en futaie régulière, ou à l'échelle de l'arbre (ou bouquet), en futaie irrégulière.

Au cours du stade juvénile, des interventions en travaux (i.e. dépense sans revenu pour le propriétaire) sont effectués dans le but de contrôler la compétition entre espèces et la densité. La fréquence et l'intensité de ces interventions sont modulables, de façon non indépendante.

Avec la première éclaircie marchande, une réduction importante de densité est opérée et place le peuplement sur une trajectoire sylvicole, définie généralement par une surface terrière objectif en fonction de la hauteur dominante. Avec la désignation de tiges d'avenir, et le choix des arbres récoltés en éclaircie, se pose la question du choix des individus à privilégier.

Enfin, le peuplement est récolté pour assurer son renouvellement, par voie de régénération naturelle (qui concerne 85% des surfaces actuellement régénérées en forêt publique), ou encore par voie de plantation, avec là encore de nombreuses modalités à régler, concernant par exemple la conduite des coupes progressives en régénération naturelle, ou encore le choix du matériel végétal en plantation, l'espèce étant considérée comme déterminée par l'aménagement.

### 3.2 Diversité des itinéraires : les questions

Dans l'état actuel des connaissances, le sylviculteur se pose un certain nombre de questions.

#### **3.2.1 Peut-on atténuer le stress hydrique en abaissant les densités ?**

Des itinéraires particuliers sont déjà proposés pour les situations particulièrement exposées à la sécheresse :

- Pour le sapin, un itinéraire à densité réduite dans l'objectif d'atténuer le stress hydrique,
- Pour le douglas, un itinéraire où la première éclaircie est avancée, de façon à réduire la longueur du cycle de production, et ainsi diminuer la durée d'exposition du peuplement au stress.

Mais de nombreuses questions demeurent.

A partir de quel stade de développement du peuplement abaisser la densité pour atténuer le stress hydrique ? Avec quels inconvénients en termes de coûts (s'il faut intervenir plus intensément dans les jeunes stades), de perte de qualité, ou encore d'évolution des impacts de la gestion, liés à des prélèvements plus fréquents ?

Faut-il modifier les modalités de réduction de la densité, avec par exemple une réduction progressive, plus importante en seconde moitié de vie du peuplement ? Quelle serait alors l'influence sur le développement racinaire ?

#### **3.2.2 Faut-il modifier la gestion de la compétition interspécifique ?**

Faut-il systématiquement privilégier les mélanges ? Tous les types de mélanges sont-ils également intéressants ? Les mélanges feuillus-résineux ne sont-ils pas particulièrement intéressants, du fait du contraste des traits de vie entre les composantes ? Quel est l'effet du grain du mélange : à l'échelle de l'arbre, du bouquet, de la parcelle, de la forêt ?

#### **3.2.3 Faut-il modifier nos critères de choix des arbres à favoriser en éclaircie ?**

Les arbres dominants sont-ils plus vulnérables au stress hydrique, comme certains travaux le suggèrent ? Peut-on espérer identifier les meilleurs génotypes du point de vue de l'adaptation ?

#### **3.2.4 Faut-il modifier nos pratiques de régénération ?**

Les règles actuelles de densité et de durée de maintien des semenciers sont-elles à réviser ? Peut-on favoriser le développement racinaire de la régénération ?

### *3.3 Gestion de la densité, quelques éclairages de l'écophysiologie et de la génétique*

La densité interagit avec les conditions climatiques en évolution, avec des effets sur les performances (typiquement sur la croissance) qui dépendent de l'essence. Ainsi, les travaux de Carón et al. (2015) montrent les interactions du réchauffement et de la diminution de la disponibilité de l'eau sur les érables sycomore et plane au stade juvénile, avec des effets complexes dépendant de l'espèce et du critère observé (croissance, survie...).

D'une façon générale, une éclaircie fait baisser la transpiration à l'échelle du peuplement pendant quelques années, mais également augmente la transpiration à l'échelle individuelle dans un sol globalement moins asséché, mais avec une disponibilité locale de l'eau qui va beaucoup dépendre de l'hétérogénéité du sol. Cette intervention va également augmenter l'évaporation du sol et la croissance de la strate herbacée.

A plus large échelle, celle de l'ensemble de l'aire, et sur l'ensemble d'une rotation, l'effet de l'éclaircie sur la productivité est plus marqué sur les stations de productivité moyenne (Guillemot et al., 2014)

Du point de vue de la génétique des populations, Lefèvre et al. (2014) proposent d'analyser l'effet adaptatif d'une intervention selon une grille de lecture qui prend en compte l'impact de l'intervention sur les processus évolutifs que sont la sélection selon les conditions locales, les flux de gènes et les fluctuations stochastiques liées à une faible taille efficace<sup>1</sup> de population, considérant que l'intérêt à court terme est d'avoir une population adaptée aux conditions locales changeantes, tandis qu'à long terme le problème à gérer est l'incertitude sur les besoins adaptatifs futurs : à court terme on peut viser des adaptations ciblées, mais à long terme il est préférable de privilégier la diversité, comme réservoir d'options futures (Tableau 1).

**Tableau 1** : Analyse de l'effet adaptatif d'une intervention (D'après Lefèvre et al., 2014)

	Effet de court terme sur l'adaptation	Effet de long terme sur la diversité
Sélection locale		
➤ Dans un sens d'adaptation aux changements environnementaux	Favorable	Neutre ou défavorable
➤ En contre-sens	Défavorable	Neutre ou défavorable
Flux de gènes		
➤ Adaptés	Favorable	Favorable
➤ Maladaptés	Défavorable	Favorable
Taille efficace		
➤ Augmentée		Favorable
➤ Diminuée		Défavorable

Par exemple, l'éclaircie a peu de risque d'affecter la diversité, sauf à abaisser significativement le nombre de reproducteurs en fin de cycle. Elle peut éventuellement avoir, à ce même stade, un effet positif sur la taille de population en régularisant les fructifications.

### **3.3.1 Quels travaux éclairent la question du choix des individus en éclaircie ?**

L'effet adaptatif de l'éclaircie peut également dépendre des critères de sélection des tiges : il faut prendre garde, par exemple, dans une sylviculture à cycle court, que la vigueur juvénile, fortement privilégiée, ne soit pas inversement corrélée à la résistance au stress.

En conditions sylvicoles contrôlées (sur hêtre, chêne, douglas), la croissance radiale des arbres répond fortement à la densité de peuplement et à leur rang social ; la sécheresse réduit la croissance des dominés davantage que celle des intermédiaires et dominants, ce qui accentue la différenciation hiérarchique intra-peuplement (Trouvé et al., 2015 ; Dhôte, 1994).

Le lien entre vigueur de la tige et sensibilité au dépérissement, tel qu'on peut le retracer par l'analyse rétrospective de la croissance de tiges d'état sanitaire contrasté, dépend du contexte considéré (Cailleret et al., 2014).

La génétique quantitative quant à elle s'intéresse de plus en plus, pour la sélection des individus en amélioration, à la densité du bois dont le lien à la résistance au stress hydrique a été établi chez le

<sup>1</sup> La « taille efficace » est une notion complexe qui intègre différents mécanismes de fluctuations aléatoires de la diversité génétique d'une génération à l'autre par effet d'échantillonnage dans une population d'effectif limité. Ces fluctuations conduisent à une perte de diversité. La « taille efficace » intègre le nombre de reproducteur, l'équilibre des contributions à la régénération, le régime de reproduction, etc.

douglas et l'épicéa commun (Ruiz Diaz Britez et al., 2014 ; Martinez-Meier et al., 2008 ; Rosner et al., 2007).

En conclusion partielle et provisoire sur la sylviculture, on constate que le dialogue Recherche-gestion s'enrichit par l'identification et l'analyse de l'effet adaptatif d'un nombre plus important de paramètres de réglage des itinéraires sylvicoles. La complexité des effets possibles est grande, les effets du changement climatique étant généralement en interaction avec la densité, selon des réponses qui dépendent de l'espèce. Le progrès semble donc à attendre du côté du développement de modèles permettant de représenter ces effets, modèles dont la plate-forme CAPSIS s'enrichit progressivement, ainsi que du retour d'expérience sur des cas bien documentés.

#### 4. Planification forestière : enjeux et questions

Les enjeux de la planification forestière dans le contexte du changement climatique sont de :

- Caractériser les conditions environnementales, qui conditionnent le choix des essences-objectifs et des itinéraires,
- Définir la palette des essences et matériels génétiques associés, ainsi que celle des itinéraires par contexte,
- Planifier un effort et des orientations de renouvellement,
- Suivre la réalisation et réagir en cas de crise.

Dans une perspective d'adaptation au changement climatique, le praticien s'interroge :

- Comment expliciter la contribution du climat aux conditions environnementales et à la fertilité en particulier ?
- Lors du renouvellement des peuplements, faut-il régénérer naturellement, en conservant le même matériel génétique, ou introduire un nouveau matériel par plantation, soit en recourant à de nouvelles ressources génétiques de la même essence (migration assistée de provenances), soit en introduisant une nouvelle essence (migration assistée d'espèces) ? A partir de quelles ressources et selon quelles modalités ? Avec quels risques associés ?
- S'il faut changer d'objectif, quand et où faut-il le faire ? A quel rythme faut-il entreprendre ce changement, et quels besoins logistiques cela va-t-il entraîner ?
- Ces changements seront-ils acceptés par la société ?
- Enfin, comment suivre l'évolution de la forêt ? Comment caractériser et gérer une situation de rupture, déclenchée par exemple par un dépérissement ?

##### 4.1 Caractériser les conditions écologiques et la vulnérabilité

Dans le cadre d'un poste d'interface INRA-ONF, Paulina Pinto a étudié la possibilité d'appliquer à l'échelle du massif des méthodes optimisées de caractérisation écologique recourant à la bioindication (Pinto et al., 2015), et de projeter à cette échelle des modèles de répartition et de potentialité de croissance des espèces, en utilisant en entrée ces données de caractérisation écologique. Les résultats obtenus sur quelques massifs-tests très différents sont très prometteurs.

L'analyse statistique de la vulnérabilité des essences s'approfondit, et distingue par exemple l'exposition au changement climatique et la sensibilité à la mortalité ou à la perte de croissance, ce qui oppose des espèces de montagne peu exposées mais sensibles, à des essences méditerranéennes très exposées mais peu sensibles (comm. M. Benito-Garzón).

##### 4.2 Introduire de nouvelles ressources pour les essences en place

De nombreux résultats nouveaux ont été présentés, qui éclairent le potentiel adaptatif de la démarche de transfert de provenance et les approches qui permettent son ingénierie.



Ainsi, l'imposant dispositif mis en place par Rehfeld sur *Pinus contorta* aux Etats-Unis, testant 140 populations sur 60 sites, a permis d'établir des courbes de réponse de la productivité des provenances à la température moyenne, permettant d'améliorer la productivité future en un lieu donné en changeant de provenance. Aux Etats-Unis encore, ont été récemment entrepris sur l'ensemble de l'aire côtière du Douglas des tests systématiques de transplantation réciproque avec une instrumentation des sites de test permettant l'enregistrement des paramètres climatiques. A terme, ils permettront de construire des modèles de transfert robustes (St Clair, 2007).

Même si l'on ne dispose pas de dispositifs systématiques d'une telle ampleur pour nos espèces autochtones, les tests de comparaison de provenance du chêne sessile permettent d'envisager des transferts en limitant les risques et en réduisant les pertes de productivité et de qualité du bois produit sur certains sites (Ducouso, communication personnelle). Enfin, des approches de modélisation combinant plusieurs sources de données, et tirant parti notamment de la productivité mesurée par les inventaires forestiers permettent également de formuler des recommandations de transfert de provenances (Benito-Garzón et Fernández-Manjarrès, 2015).

Au Canada, une stratégie de transfert des régions de provenance est maintenant déployée et mise en œuvre systématiquement lors du renouvellement des peuplements.

Dans leur ensemble, ces résultats montrent l'intérêt du transfert de provenances sur la productivité future des peuplements, dans les zones où l'espèce reste viable. En effet, si la survie dépend surtout du site d'introduction et peu du site de provenance, les performances en croissance présentent des interactions entre site de provenance et site de plantation. Les tests de transplantations réciproques menés sur le Douglas mettent par exemple en évidence une meilleure croissance des peuplements d'origine chaude dans les sites les plus chauds (St Clair, 2007).

#### **4.3 Introduire de nouvelles essences**

Le transfert de provenances présente des limites, et le changement d'essence reste la mesure qui présente le plus fort effet adaptatif à long terme. L'introduction d'une essence reste néanmoins une démarche complexe, qui peut échouer sur des difficultés d'appréciation de son autécologie ou sur les effets inattendus de sa mise en contact avec le cortège biotique de la zone d'introduction. Proportionnellement à la surface qu'elles occupent, les essences plantées au-delà de leur distribution naturelle sont parmi celles qui sont les plus affectées par des problèmes sanitaires (Desprez-Loustau et al., 2015). Le choix des ressources génétiques à introduire est délicat et peut se heurter à l'absence d'homologie climatique entre l'aire d'origine (provenance) et l'aire d'introduction (destination), ainsi qu'à la conception des tests de provenance mis en place avant la prise en compte du changement climatique, qui ne permettent pas toujours de construire une courbe de réponse complète des sources de graines au climat de l'aire de destination, comme montré par Badeau et Boiffin pour le Douglas.

Dans tous les cas, il ne faut pas miser trop exclusivement sur une seule espèce ou une seule provenance, mais limiter les risques en veillant à la diversité du matériel introduit (par exemple introduire un mélange de plusieurs provenances, comme cela a été fait lors de l'introduction du cèdre en France à des fins de restauration des terrains en montagne). Enfin, il existe des ressources parfois négligées, sinon insoupçonnées, comme l'a rappelé Alexis Ducouso au sujet des chênes, genre riche en espèces thermophiles, y compris de très belle venue, mal connues et parfois menacées au niveau des ressources génétiques, voire de l'espèce elle-même.

### **5. Quelques idées directrices ou émergentes**

#### **5.1 La modélisation au cœur de la démarche d'adaptation**

A toutes les échelles et pour toutes les questions, la démarche de modélisation est incontournable, et en particulier nécessaire pour concevoir les approches de gestion expérimentale. Les modèles diffèrent

selon les échelles (du peuplement à l'aire de répartition), les variables de réponse (de la diversité génétique à la croissance), mais les approches dialoguent entre elles, ou s'hybrident, avec par exemple des modèles statistiques spatialisés qui incorporent la plasticité phénotypique des populations, évaluée à partir des tests de provenance. On peut identifier deux pôles de modèles nécessaires à l'adaptation :

- Des modèles à l'échelle peuplement, capables de représenter les effets croisés de la densité et du climat,
- Des modèles à l'échelle de l'ensemble de l'aire, pour appréhender la vulnérabilité des espèces, et guider la migration assistée de provenances ou d'espèces.

Les sites nord-américains (Seedlot Selection Tool, OSU-USA et ClimateBC, UBC-Canada) proposent déjà aux forestiers de nombreux outils du type 2.

Au-delà de ce consensus sur l'importance de la modélisation, la façon de mettre ces outils à la disposition des praticiens suscite évidemment débat, notamment sur la façon de rendre explicites les limites de l'approche et les incertitudes. Dans tous les cas, le développement systématique de modèles nécessite l'acquisition massive de données.

### *5.2 Atténuation des risques versus adaptation ?*

Comme évoqué au début de cet article, l'adaptation peut viser des termes temporels différents, et rechercher l'atténuation des risques à court ou moyen terme, ou l'évolution de l'état de la forêt à long terme, et ces objectifs appellent des mesures différentes, voire en partie contradictoires. Cette idée est explicite dans la grille d'analyse proposée par Lefèvre et al. (2014), et présentée Tableau 1. Elle sous-tend également de nombreuses interrogations du gestionnaire : éclaircir fortement pour ménager le bilan hydrique, ou laisser la sélection par la sécheresse s'exercer ? Régénérer naturellement ou changer de matériel ? Cependant l'échéance visée mériterait d'être plus systématiquement explicitée.

### *5.3 Proposer des modalités de gestion innovantes diversifiées et les expérimenter*

Cette idée a suscité les plus échanges les plus nourris : proposer des modalités de gestion différentes, clairement identifiées, les tester en gestion, en assurant la traçabilité des opérations de gestion, ainsi que le suivi de leur performance et son exploitation en collaboration entre chercheurs et gestionnaires. Des managers techniques sont ainsi prêts à consacrer de façon volontariste une certaine part de la surface gérée au test de modalités de gestion innovantes. Du côté de la recherche, des développements sont à envisager pour accompagner ce type de démarche, notamment en développant les collaborations entre l'écologie et les sciences de la décision

## **Conclusion**

Ces échanges entre gestionnaires et chercheurs montrent une volonté commune d'agir renforcée, dans un cadre de réflexion qui englobe de nombreuses décisions de gestion. S'appuyer sur la modélisation pour concevoir des modalités de gestion innovantes diversifiées, et tester leur mise en œuvre sur une partie significative du domaine géré, dans un dispositif cohérent et organisé de suivi et d'exploitation scientifique des résultats résume le projet qui se dégage de ces échanges et qui devrait structurer les collaborations Recherche-Gestion dans les prochaines années.

## **Références bibliographiques**

Benito-Garzón M., Fernández-Manjarrès J.F., 2015. Testing scenarios for assisted migration of forest trees in Europe. *New Forests* 46, 979-994.

- Cailleret M., Nourtier M., Amm A., Durand-Gillmann M., Davi H., 2014. Drought-induced decline and mortality of silver fir differ among three sites in Southern France. *Annals of Forest Science* 71, 643–657.
- Carón M.M., De Frenne P., Brunet J., Chabrierie O., Cousins S.A.O., De Backer L., Decocq G., Diekmann M., Heinken T., Kolb A., Naaf T., Plue J., Selvi F., Strimbeck G.R., Wulf M., Verheyen K., 2015. Interacting effects of warming and drought on regeneration and early growth of *Acer pseudoplatanus* and *A. platanooides*. *Plant Biology* 17, 52–62.
- Desprez-Loustau M., Aguayo J., Dutech C., Hayden J., Husson C., Jakushkin B., Marçais B., Piou D., Robin C., Vacher C., 2015. An evolutionary ecology perspective to address forest pathology challenges of today and tomorrow. *Annals of Forest Science* (à paraître).
- Dhôte J.-F., 1994. Hypotheses about competition for light and water in even-aged common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management* 69(1-3), 219–232.
- Guillemot J., Delpierre N., Vallet P., François C., Martin-StPaul N.K., Soudani K., Nicolas M., Badeau V., Dufrêne E., 2014. Assessing the effects of management on forest growth across France: insights from a new functional–structural model. *Annals of Botany* 114, 779–793.
- Lefèvre F., Boivin T., Bontemps A., Courbet F., Davi H., Durand-Gillmann M., Fady B., Gauzere J., Gidoïn C., Karam M.-J., Lalagüe H., Oddou-Muratorio S., Pichot C., 2014. Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science* 71, 723-739,
- Legay M., Mortier F., 2006. La forêt face au changement climatique - adapter la gestion forestière. Les Dossiers Forestiers de l'ONF n°16, 2e édition.
- Martinez-Meier A., Sanchez L., Pastorino M., Gallo L., Rozenberg P., 2008. What is hot in tree rings? The wood density of surviving Douglas-firs to the 2003 drought and heat wave. *Forest Ecology and Management* 256 (4): 837-843.
- Pinto P.E., Dupouey J., Gégout J., Hervé J.C., Legay M., 2015. Optimizing floristic survey for plant bio-indication of forest soil characteristics. Abstracts of the 58th Annual Symposium of the International Association for Vegetation Sciences: Understanding broad-scale vegetation patterns. p298. Brno, Czech Republic, 19-24/07/2015.
- Rosner S., A.K., Muller U., Karlsson B., 2007. Hydraulic and mechanical properties of young Norway spruce clones related to growth and wood structure. *Tree Physiology* 27(8), 1165-1178.
- Ruiz Diaz Britez M., Sergent A.-S., Martinez Meier A., Bréda N., Rozenberg P., 2014. Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Trees* 28, 1289–1304.
- St Clair J.B., Howe G.T., 2007. Genetic maladaptation of coastal Douglas-fir seedlings to future climates. *Global Change Biology* 13,1441-1454.
- Truvé R., Bontemps J.-D., Seynave I., Collet C., Lebourgeois F., 2015. Stand density, tree social status and water stress influence allocation in height and diameter growth of *Quercus petraea* (Liebl.). *Tree physiology* 35, 1035–1046.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)