

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

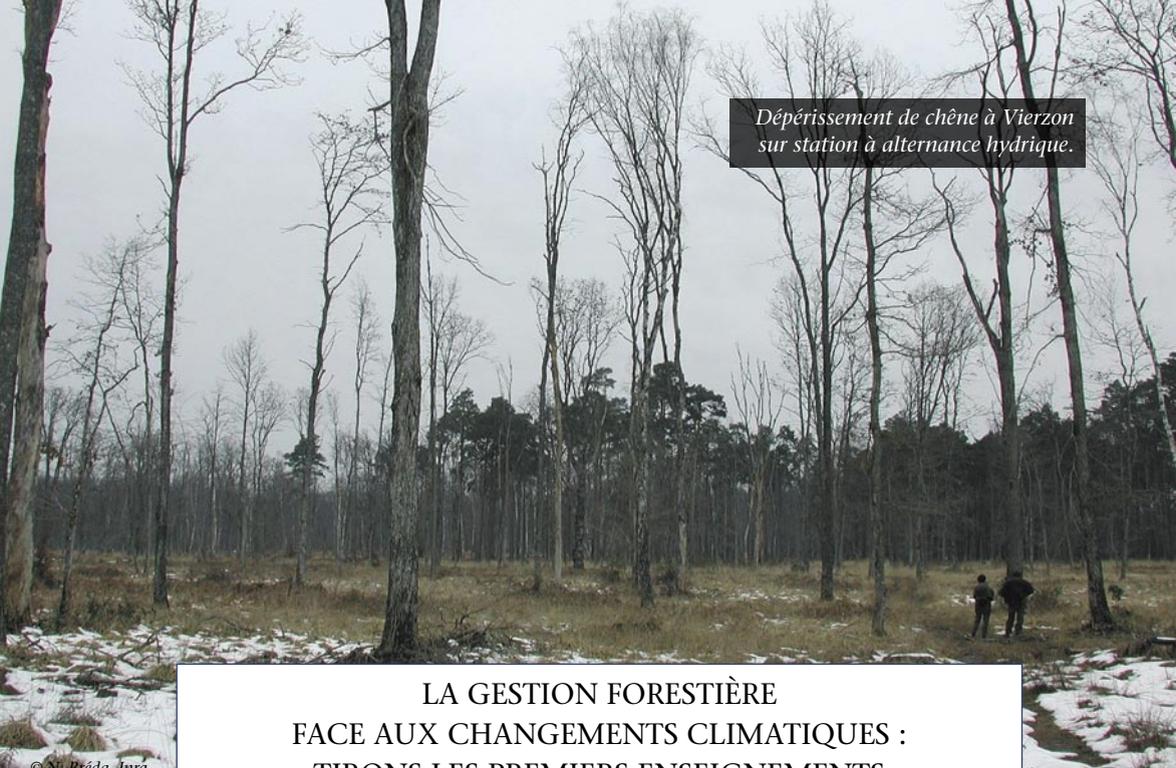
foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



*Dépérissement de chêne à Vierzon
sur station à alternance hydrique.*

LA GESTION FORESTIÈRE
FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES :
TIRONS LES PREMIERS ENSEIGNEMENTS

MYRIAM LEGAY – FRÉDÉRIC MORTIER
PATRICE MENGIN-LECREULX – THOMAS CORDONNIER

Que peut faire le gestionnaire forestier face aux risques liés aux changements climatiques annoncés ? Les premiers enseignements tirés des recherches ou des observations dédiées à ce sujet ouvrent certaines voies, qu'il serait sans doute imprudent d'ignorer.

Les forestiers doivent se préparer à des modifications profondes des écosystèmes sur lesquels ils travaillent, perturbations qui semblent inéluctables alors même que les modalités de leur apparition sont encore très mal connues. Devant le double écueil de l'immobilisme ou de l'activisme maladroit, l'urgence est de construire une stratégie technique cohérente, fondée sur des résultats scientifiques, à réviser périodiquement en fonction de l'avancement des connaissances.

Tentons ensemble un premier exercice d'application.

UNE PREMIÈRE URGENCE :
SÉRIER LES RISQUES

La première question des praticiens, devant les résultats exposés par les articles précédents, se porte souvent sur le choix des essences ou des provenances. La révision du choix des essences-objectif peut

apparaître en effet comme la mesure d'adaptation la plus concrète au changement climatique. Une telle approche soulève cependant de nouvelles questions :

- quand mettre en œuvre cette transformation des peuplements ? Dès maintenant, à l'occasion des mises en régénération, ou lorsque se manifesteront des signes de souffrance ?
- dans quel panel d'essences potentielles rechercher les essences substitutives ? Faut-il envisager à nouveau l'emploi d'espèces exotiques de reboisement, comme le cèdre de l'Atlas, particulièrement résistant à la sécheresse, voire en rechercher de nouvelles ?
- faut-il installer des essences adaptées aux cartes climatiques de 2050, ou de 2100 ?
- faut-il garder les essences en place, mais aller rechercher des provenances plus aguerries à la sécheresse ?
- ne risque-t-on pas de sous-estimer les facultés d'adaptation des espèces et des écosystèmes et d'intervenir de façon maladroite, voire néfaste ?

Aucune action pertinente ne peut être entreprise sans un travail de fond d'évaluation des risques encourus par les différentes essences (en particulier les espèces sociales formant l'ossature des peuplements) : quels sont les couples *essences x stations* les plus menacées par le changement climatique ?

Travailler à plusieurs échelles, en croisant les approches

À l'échelle nationale, voire à l'échelle de l'aire naturelle des espèces, la mise en œuvre des modèles de niche* est performante, et permet de dégager les grandes lignes : les travaux de BADEAU¹ permettent ainsi de prendre conscience du risque en-

couru à l'échéance du siècle par le hêtre sur une grande part de son aire française, ou par le sapin à basse altitude.

Cependant, dans l'état actuel des données mobilisables, ces approches à large échelle ne peuvent tenir compte de la variabilité stationnelle locale due aux variations du sol ou du microclimat. La prise en compte de ces variations locales à l'échelle régionale permettra à nouveau de sérier les risques, et de ne pas mettre sur le même plan toutes les localités d'une même région. À ce titre, la démarche entreprise par l'ONF dans les Alpes du Sud pour caractériser les stations de sapin est exemplaire⁸⁻¹⁸ (figure 1).

De façon plus générale, le travail considérable déployé depuis plus de vingt ans pour la réalisation des catalogues de stations forestières doit être mis à profit dans cette perspective.

Développer les approches analytiques quantitatives pour la caractérisation des stations forestières

Cependant, les concepts même de la typologie des stations sont mis à rude épreuve, non seulement par le changement climatique, mais d'une façon générale par l'ensemble des changements globaux. Lorsque les paramètres de la fertilité (climat, taux de saturation, nutrition azotée) évoluent, le concept de station forestière,

* Un modèle de niche vise à représenter les relations entre une espèce et le milieu à partir de l'analyse des corrélations entre la répartition spatiale de cette espèce et les variables spatialisées décrivant le milieu (caractéristiques du climat et du sol). C'est donc une approche statistique empirique, qui ne fait pas d'hypothèse a priori sur les besoins physiologiques de l'espèce.

considérée comme une appréciation globale des caractéristiques du milieu, traductible in fine en termes pratiques par un choix d'essences assorti d'indices de fertilité, devient instable. Simultanément, le développement des systèmes d'information géographiques, des grandes bases de données écologiques, de la bio-indication assise sur des bases objectives et quantifiées, montre la possibilité de mettre rapidement au point des approches plus analytiques et quantifiées²⁰. Dans le même temps, l'augmentation de la contrainte hydrique nous impose un progrès des connaissances et des pratiques en matière de caractérisation de la réserve utile des sols et du fonctionnement hydrique des peuplements.

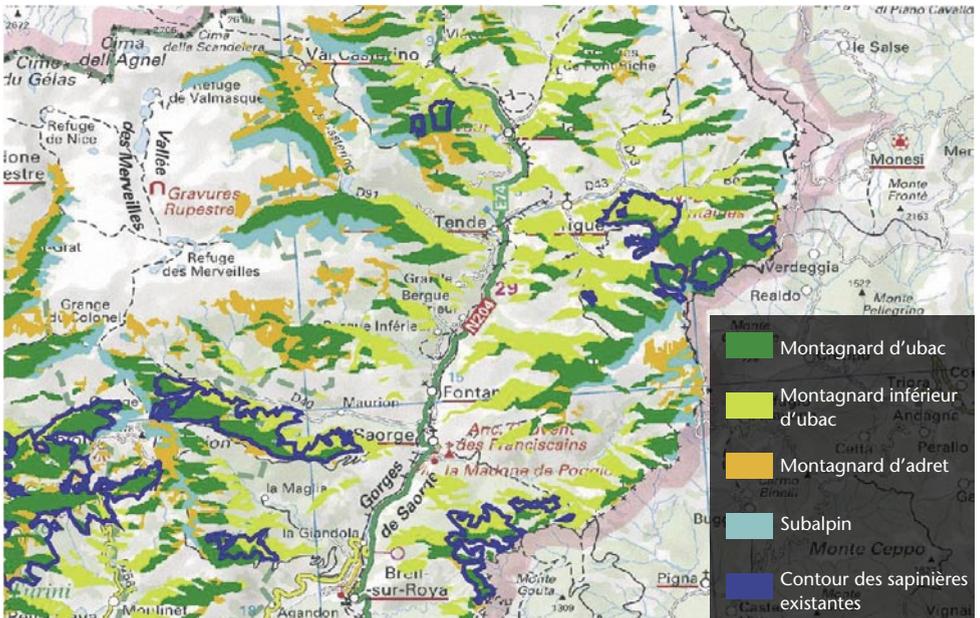
À plus long terme, on peut imaginer que ces déterminations analytiques de la fer-

tilité fourniront les données d'entrée de modèles de croissance intégrant les mécanismes physiologiques, permettant aux forestiers de simuler l'évolution de leurs peuplements dans des conditions de milieu changeantes.

LIMITER LES FACTEURS DE RISQUE SUR LESQUELS ON PEUT AGIR

Un certain nombre de cas célèbres nous l'ont appris, la coïncidence de plusieurs facteurs est souvent à l'origine des grands dépérissements⁵ : ainsi à Tronçais dans les années '80, un événement climatique extrême a révélé l'inadaptation du chêne pédonculé aux stations acides et hydromorphes du massif. Aussi convient-il d'être particulièrement vigilant pour limiter les facteurs d'affaiblissement

Figure 1 – Extension potentielle du sapin dans les Alpes du Sud et répartition par compartiments bioclimatiques (Sources : Jean Ladier, ONF 2005).



des peuplements sur lesquels le gestionnaire est susceptible d'exercer un certain contrôle, comme la nutrition. Le développement du bois-énergie est une chance pour la forêt, à condition de veiller à ne pas surexploiter les stations fragiles, comme l'ont fait nos prédécesseurs pour alimenter forges et fourneaux à verre au XVIII^e siècle, avant le développement de l'utilisation du charbon minéral. Le développement de méthodes d'éclaircie par enlèvement de la totalité des produits, en particulier, doit se faire avec discernement, en raison de la très forte teneur des branches en éléments minéraux. Il faudra parfois envisager des amendements de restauration⁶.

Plus encore, le tassement des sols par les engins doit faire l'objet de toute notre attention. Les dégâts au sol occasionnés par certaines exploitations après tempête sont là pour nous rappeler la réalité de ce risque. Or le tassement, en particulier pour les sols limoneux et les sols saturés en eau, réduit la porosité du sol, asphyxie le système racinaire des arbres et diminue donc leur capacité à extraire l'eau du sol en période de sécheresse. Le hêtre y est particulièrement sensible. La nécessité de développer des méthodes d'exploitation respectueuses des sols est ainsi renforcée par la perspective du changement climatique : développement des cloisonnements d'exploitation où les engins sont cantonnés, et du câble aérien (câble-mât en particulier).

CHOISIR LE MATÉRIEL VÉGÉTAL (ESSENCES ET PROVENANCES)

La question du choix du matériel végétal en perspective du changement climatique

ne peut pas être éludée, mais elle doit être abordée de manière graduée.

Prendre à bras-le-corps les vieux problèmes

Le terme de « mesures sans regret » est utilisé par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique¹⁹ pour désigner les mesures d'adaptation au changement climatique, qui présentent un intérêt dès maintenant. L'amélioration de l'isolation des bâtiments, ou toute autre mesure de limitation des pertes énergétiques en est un exemple.

Nous pouvons également en matière forestière mettre en œuvre des « mesures de bon sens sans regret ». Le travail de recherche systématique des couples *essences x stations* fragiles va en effet nous permettre de prendre conscience de l'importance des surfaces plantées d'essences actuellement mal adaptées à la station. Dans bien des cas, cette inadaptation va s'accroître sous l'effet du changement climatique, et les premiers cas de « basculement » risquent fort de se produire dans ce type de circonstance. Considérons deux exemples.

Le chêne pédonculé, pur ou en mélange, occupe probablement de l'ordre d'un million d'hectares en France (évaluation d'après l'IFN 2005), dont seule une partie (restant à apprécier) correspond à ses exigences de très bonne nutrition minérale et d'alimentation en eau régulière. Bien souvent, dans l'Ouest, le Bassin Parisien, etc., il occupe des stations à hydromorphie temporaire où il souffre des sécheresses estivales, éventuellement aggravées par les excès d'eau printaniers asphyxiants, et l'inadaptation de ces peuplements ne peut que s'accroître sous l'effet du changement climatique. La transformation s'impose

sur ces stations, mais n'est pas forcément facile à entreprendre : en particulier, la substitution du chêne sessile au chêne pédonculé n'est pas aisée.

De même, le sapin a eu tendance, au cours du XX^e siècle, à coloniser de nouvelles stations à basse altitude (phénomène d'avalaison). Ces fameuses « sapinières sèches » présentent, suite à la sécheresse de 2003, des atteintes qui pourraient être considérées comme des coups de semonce.

Enfin, le dynamisme et la tolérance à l'ombrage du hêtre l'ont conduit à supplanter le chêne dans des peuplements où l'on préférerait aujourd'hui revenir à cette essence plus résistante à la sécheresse.

Favoriser le mélange des essences

Une autre mesure sans regret, mais pas dénuée de difficultés techniques, consiste à favoriser activement le mélange des essences dans les peuplements, quand la station le permet, en introduisant ou favorisant des espèces résistantes à la sécheresse et adaptées au contexte stationnel et climatique. Les peuplements mélangés sont a priori supposés plus résistants aux diverses atteintes, même si les arguments scientifiques solides pour le démontrer restent peu nombreux, et semblent mieux établis pour la résistance aux insectes phytophages¹³, voire aux attaques biotiques en général³, que pour la résistance aux stress climatiques. Le plus certain des bénéfices du mélange est lié aux différences de tempéraments des espèces : elles ne sont pas toutes sensibles aux mêmes atteintes (notamment dans le cas des insectes phytophages ou des pathogènes, souvent inféodés à une espèce ou à un faible nombre d'espèces), ni réactives aux mêmes seuils de stress, dans le cas d'une atteinte physi-

que (sécheresse, ennoisement, tempête...). Les peuplements mélangés peuvent généralement être considérés comme plus résilients, ne serait-ce que par la possibilité de conserver un couvert forestier partiel lors d'un dépérissement, et donc un potentiel séminal, grâce à la résistance d'une partie des composants du mélange¹⁰.

Le mélange peut être également une façon d'introduire progressivement dans les peuplements des espèces plus adaptées aux conditions futures, sans anticiper sur la disparition des espèces actuellement dominantes¹⁶. Enfin, la présence de bouquets feuillus dans les peuplements résineux améliore leur bilan hydrique, notamment en favorisant une meilleure pénétration des pluies hivernales à travers le couvert jusqu'au sol.

Au-delà des cas d'inadaptation actuelle ou fortement prévisible (espèces en marge stationnelle ou en marge de leur aire de distribution) à la station, il semble difficilement justifiable d'entreprendre une transformation systématique des peuplements au nom du changement climatique. Il convient certainement de réajuster le choix des essences en fonction notamment du risque de sécheresse, en particulier lorsque l'on est déjà dans un contexte de plantation, mais il serait injustifiable de transformer massivement des peuplements autochtones avant qu'ils ne montrent d'eux-mêmes des signes manifestes d'inadaptation. Ce serait une perte de biodiversité inacceptable, y compris sur le plan strictement utilitariste, dans la mesure où ces peuplements représentent des sources de gènes irremplaçables, en particulier lorsqu'ils poussent dans des stations très sèches sur lesquels ils peuvent avoir développé des adaptations locales.



Se préparer à des reboisements massifs ?

Cependant, dans l'éventualité où la souffrance de certains peuplements se déclarerait de façon brutale, à l'occasion de crises de mortalité massive à la suite d'accidents climatiques, il convient de réfléchir dès maintenant aux essences de reboisement potentielles.

Nous nous trouvons à une période charnière qui peut être favorable au bilan des différents essais d'espèces ou de provenance mis en place dans les années '70. Beaucoup de ces essais (cent cinquante essais dans le patrimoine expérimental de l'ONF) arrivent aujourd'hui en fin de vie, et leur décalage avec les problématiques actuelles de gestion les rend peu attractifs aux yeux des gestionnaires. Cependant, la synthèse de leurs enseignements est envisagée, et permettrait certainement de faire un bilan du potentiel de reboisement d'un certain nombre d'espèces testées

dans des conditions souvent difficiles de sécheresse, d'acidité ou d'exposition à la pollution.

Compter sur la variabilité intraspécifique ?

Une idée séduisante pourrait être de mettre à profit la variabilité des espèces au sein de leur aire pour remplacer à terme nos peuplements inadaptés, en allant chercher par exemple des provenances du sud des aires de nos grandes essences sociales. Cependant, il faut souligner que les approches empiriques de caractérisation de l'enveloppe climatique des espèces (dites « modèles de niche »), comme celle développée par BADEAU¹ pour le hêtre, en s'intéressant à l'enveloppe totale de l'espèce, intègrent de facto la variabilité des climats auxquels elles se sont adaptées. Le simple transfert organisé de provenances du sud vers le nord ne semble donc ne pas offrir d'espoir supplémentaire de maintien des

espèces là où les modèles de niche prévoient leur disparition.

Par ailleurs, la grande diversité génétique intrapeuplement des espèces forestières sociales, et la vitesse à laquelle certains peuplements transférés ont pu s'adapter aux conditions de leur station d'accueil¹⁴ peuvent laisser penser qu'une action volontaire de transfert de provenance ne sera pas nécessairement plus efficace que l'adaptation in situ des peuplements en place. Enfin, le déplacement volontaire de provenances pose in fine les mêmes problèmes que la substitution d'espèce : il altère la ressource locale, et ne semble pas devoir être entrepris avant que des signaux sérieux n'attestent de l'inadaptation des peuplements en place... De plus, toute initiative désordonnée en la matière anéantirait les efforts de traçabilité en cours de développement, grâce aux outils génétiques.

En conclusion, le changement climatique soulève en la matière des questions scientifiques encore non résolues, et ne semble pas déboucher sur des préconisations pratiques à court terme. Soulignons cependant que par l'affirmation des capacités élevées, d'adaptation des espèces d'arbres forestiers, de mécanismes parfois encore mal connus, la génétique des populations est porteuse d'un message d'espoir qu'il faut retenir.

Choisir le bon mode de renouvellement et mettre à profit

les atouts de la régénération naturelle

Cette marge importante et mal connue d'adaptabilité de nos espèces plaide en faveur de la régénération naturelle, lorsqu'aucune transformation n'est recherchée à court terme. La régénération

naturelle permet en effet à la variabilité intraspécifique et à la sélection naturelle de s'exprimer, au profit d'une adaptation progressive des peuplements à leurs nouvelles conditions de croissance.

Par ailleurs, les semis naturels sont plus résistants à la sécheresse, comme l'épisode 2003 l'a clairement rappelé, avec de nombreux dégâts aux plantations.

Des pratiques sylvicoles d'enrichissement des peuplements doivent être progressivement développées, parfois sous forme d'enrichissement par plantation, mais surtout par une meilleure gestion des essences secondaires naturellement présentes : préservation systématique des semenciers, attention portée aux semis lors des travaux de dégagement, etc.

ADAPTER NOS PRATIQUES SYLVICOLES

En tout état de cause, il nous faut adapter dès maintenant nos pratiques sylvicoles, ne serait-ce que pour tenir compte d'un fait majeur, déjà bien perçu par les forestiers eux-mêmes : l'augmentation de la productivité.

S'adapter à l'augmentation de la productivité

Les travaux de BONTEMPS⁹ démontrent de façon robuste ce qui avait déjà été révélé, par BECKER⁴ dès 1994 : la productivité forestière a augmenté de façon considérable depuis le milieu du XX^e siècle. Il nous apprend aussi que cette augmentation de productivité est un phénomène complexe, multifactoriel, susceptible de variations dans l'espace... et probablement dans le temps, car la productivité forestière devrait décliner à terme dans le Sud de

la France, et s'essouffle déjà dans certaines situations²¹.

Sans préjuger de l'augmentation des volumes économiquement valorisés, qui dépendra aussi des pertes par chablis ou des mortalités dues aux sécheresses extrêmes, il nous faut adapter nos itinéraires sylvicoles à cette nouvelle donne. Ne pas le faire serait non seulement une erreur en termes économiques, mais aussi une erreur écologique, conduisant à accumuler trop de matériel sur pied, au détriment de la biodiversité et de la stabilité des peuplements.

Mettre au point des sylvicultures économes en eau

En effet, les travaux de BRÉDA⁷, en particulier ses investigations sur les peuplements de la Harth, ont montré le rôle d'une densité excessive de ces peuplements dans le dépérissement qu'ils ont subi dans les années '80. La surface foliaire des peuplements conditionne en effet leur bilan hydrique. Un peuplement trop « chargé » consomme plus d'eau, et intercepte plus les pluies¹⁵. Il convient donc d'en tenir

compte en évitant les situations de surdensité, liées à des éclaircies insuffisantes (notamment dans un contexte d'augmentation de la productivité). Il faut donc dynamiser nos sylvicultures, en tenant compte de l'âge et de l'état des peuplements, une intervention brutale dans un peuplement déjà âgé pouvant elle-même occasionner un stress.

À plus long terme, le développement de modèles de croissance intégrant les mécanismes physiologiques nous permettra peut-être d'optimiser quantitativement nos itinéraires sylvicoles en fonction de la consommation d'eau des peuplements façonnés.

La mise au point de pratiques sylvicoles adaptées semble d'autant plus justifiée que le recul des espèces ne se fera vraisemblablement pas de façon progressive, mais par crises liées aux événements climatiques extrêmes. On peut imaginer en particulier que les peuplements adultes survivront un certain temps à l'évolution défavorable des conditions locales de climat. Les exemples que nous connaissons

Effets de la sécheresse caniculaire de 2003 dans la cluse de Grenoble.





tous d'arbres de parc ou d'arboreta se maintenant dans des conditions parfois très éloignées des conditions originelles de leur population le laissent imaginer. Il convient donc de s'intéresser de près aux adaptations sylvicoles qui permettront de maintenir les peuplements en bonnes conditions sanitaires, malgré des conditions climatiques difficiles.

CONSERVER LA BIODIVERSITÉ

L'impact du changement climatique sur l'ensemble de la biodiversité forestière (ordinaire et exceptionnelle) n'est qu'évoqué ici, car notre réflexion en la matière est moins avancée qu'en matière d'impact sur les peuplements d'arbres.

Tout au plus pouvons-nous ici poser quelques données du problème. Plusieurs publications ont cherché à analyser les impacts potentiels du changement climatique sur la biodiversité, aboutissant à un taux local d'extinction des espèces

en Europe de l'ordre de 30 % à l'horizon 2050². Selon leurs traits de vie spécifiques, les différentes espèces pourront être très diversement affectées, certaines voyant de vastes territoires leur devenir potentiellement favorables, d'autres subissant une contraction de leur aire potentielle, d'autres enfin étant peu affectées. C'est donc à une modification de la composition spécifique des écosystèmes que l'on devrait assister. Il est à craindre que les habitats reliques, inféodés à des micro-climats particuliers, soient parmi les plus menacés.

L'une des grandes inconnues dans cette évolution, et certains modèles cherchent déjà à la circonscrire, est la capacité de migration des espèces face au glissement de leur aire potentielle. Si toutes les espèces végétales auront a priori du mal à suivre les rythmes de migration imposés par la vitesse de l'évolution climatique, c'est-à-dire à coloniser au fur à mesure les zones qui leur deviendront favorables, ce rythme est hors d'atteinte pour les espèces aux capacités de migration les plus limitées¹¹.

Enfin, les dispositifs de conservation de la nature vont devoir également s'adapter, car beaucoup reposent sur la préservation d'un territoire, hébergeant tel écosystème ou telles espèces reconnues comme remarquables. Le réseau Natura 2000 est certainement une instance privilégiée pour mener cette réflexion, qui devra débiter par une analyse diagnostique des habitats et espèces les plus menacés, mais aussi des sites qui auront à subir les plus profondes modifications sous l'effet de l'évolution du climat. La notion même de « bon état de conservation » des écosystèmes devra devenir évolutive.

DÉVELOPPER LES RÉSEAUX DE SURVEILLANCE ET D'OBSERVATION, GÉRER LES CRISES

Le devoir de monitoring

Prendre des décisions en environnement changeant et incertain requiert de développer notre capacité à suivre les évolutions en cours. L'ampleur même des changements annoncés rend inacceptable l'idée de ne pouvoir rendre compte, au fur et à mesure, des modifications de composition, de santé ou de fonctionnement des écosystèmes. Enfin, ce monitoring peut avoir des retombées opérationnelles très concrètes en matière d'alerte, qu'il s'agisse de détecter précocement une hausse de mortalité ou de repérer l'apparition d'un ravageur ou d'un pathogène nouveau ou épidémique.

La France s'est dotée d'un dispositif de monitoring associant plusieurs réseaux complémentaires, intégrés dans des dispositifs européens :

- le réseau RENECOFOR (participation française au réseau européen de niveau 1) ;
- le réseau 16 x 16 de surveillance de la santé des forêts (correspondant au niveau 2 européen) ;
- et enfin l'Inventaire Forestier National.

Ces dispositifs opérationnels sont complétés par les sites-ateliers de l'observatoire de recherche en environnement F-ORE-T (www.gip-ecofor.org/), comme celui de la hêtraie de Hesse, évoqué par GRANIER *et al.*¹², sur lesquels sont menées des investigations plus poussées dans le cadre de projets de recherche. Enfin, différents dispositifs expérimentaux à base de placettes permanentes, en particulier la coopérative

de données sylvicoles, peuvent contribuer à cet effort de suivi en continu.

Chacun de ces réseaux a entrepris, de façon progressivement concertée, de s'adapter à la problématique du changement climatique, qui n'était évidemment pas centrale à leur mise en place. Il appartient à la communauté des gestionnaires et des chercheurs de participer à cet effort d'adaptation, et aux pouvoirs publics de prendre la mesure de l'effort à consentir.

Développer la culture du risque et de la gestion des crises

Les évolutions à venir laissent penser que la gestion forestière devra faire face à de nombreuses crises, dont la tempête de 1999 et la sécheresse de 2003 nous ont peut-être donné un avant-goût. Les crises climatiques (tempêtes, sécheresses, inondations), mais aussi les crises sanitaires (dépérissements massifs, gradations de ravageurs ou pathogènes, invasions biologiques) risquent en effet de devenir plus fréquentes. Par ailleurs, l'augmentation à prévoir du risque d'incendie dans des régions qui y étaient jusqu'ici peu soumises appelle également des mesures d'adaptation spécifiques.

D'une façon générale, nous devons nous préparer à mieux gérer ces crises, depuis le dispositif d'alerte, jusqu'à l'exploitation et la valorisation des produits forestiers récoltés suite à l'évènement, sans oublier le retour d'expérience dans une démarche de progrès continu.

UN DÉFI POUR LA COMMUNAUTÉ FORESTIÈRE

Dans l'immédiat, le principal défi à relever pour la communauté forestière con-

cerne les relations entre pratique et recherche. Pour anticiper les réactions des écosystèmes en conditions changeantes, les gestionnaires vont avoir plus que jamais besoin des résultats de la recherche. Les préconisations de gestion vont devoir évoluer régulièrement en fonction de l'évolution des résultats, de l'affinement des scénarios, de la prise en compte de nouveaux mécanismes, etc. À la charnière entre gestion et recherche, le monitoring sera probablement un domaine d'échange privilégié.

Pour relever ce défi, nous pensons qu'il faudra renforcer la charnière du développement, en allant au-delà de la simple communication de résultats généraux à l'occasion de face-à-face ponctuels, par un travail de fond en commun sur des objectifs partagés. ■

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ BADEAU V., DUPOUEY J.-L., CLUZEAU C., DRAPIER J. [2007]. Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques » : 62-66.
- ² BAKKENES M., ALKEMADE J.R.M., IHLE F., LEE-MAS R., LATOUR J.B. [2002]. Assessing the effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8(4) : 390-407.
- ³ BARTHOD C. [1994]. Sylviculture et risques sanitaires dans les forêts tempérées. Première partie. *Revue Forestière Française* 46(6) : 609-628.
- ⁴ BECKER M., BERT G.D., BOUCHON J., PICARD J.-F., ULRICH E. [1994]. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIX^e siècle. *Revue Forestière Française* 46(4) : 335-341.
- ⁵ BONNEAU M. [1994]. Les dépérissements à causes multiples : caractéristiques générales. *Revue Forestière Française* 46(5) : 472-473.
- ⁶ BONNEAU M., LANDMANN G., GARBAYE J., RANGER J., NYS C. [1994]. Gestion et restauration de la fertilité minérale des sols. *Revue Forestière Française* 46(5) : 579-585.
- ⁷ BRÉDA N., PEIFFER M. [1999]. *Dépérissement forestier en vallée du Rhin. Étude du bilan hydrique des chênaies de la forêt domaniale de La Harth (Haut-Rhin) et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des chênes*. Rapport scientifique de convention ONF-INRA, 67 p.
- ⁸ DELAHAYE PANCHOUT M. [2004]. *La sapinière à la reconquête de son territoire*. Coll. Les carnets du forestier, ONF, Alpes du Sud, Aix-en-provence, 40 p.
- ⁹ DHÔTE J.-F., BONTEMPS J.-D., HERVÉ J.-C., RITTIÉ D., VALLET P. [2007]. Changement de productivité à long terme dans les hêtraies du Nord de la France. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques » : 74-80.
- ¹⁰ DHÔTE J.-F., CORDONNIER T., DREYFUS P., LE GOFF N. [2005]. Quelques enjeux autour des forêts hétérogènes tempérées. *Rendez-vous techniques* 10 : 22-29.
- ¹¹ DUPOUEY J.-L., BODIN J. [2007]. Déplacements déjà observés des espèces végétales : quelques cas emblématiques mais pas de migrations massives. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques » : 34-39.
- ¹² GRANIER A., BRÉDA N. [2007]. Écophysiologie et fonctionnement des écosystèmes forestiers. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques » : 81-88.

- ¹³ JACTEL H., BROCKERHOFF E. [2007]. *Pourquoi les forêts mélangées sont plus résistantes aux attaques d'insectes ravageurs ?* Communication dans le cadre du séminaire REGEFOR, Nancy, 26-28 juin 2007. www.gip-ecofor.org.
- ¹⁴ LEFÈVRE F., KREMER A. [2007]. Quelques éléments de réflexion sur les relations entre la diversité biologique et l'impact des changements climatiques. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques » : 89-94.
- ¹⁵ LEGAY M., BRÉDA N., GINISTY C. [2006]. Que peut faire le gestionnaire forestier face au risque de sécheresse ? *Rendez-vous techniques* 11 : 35-40.
- ¹⁶ LEGAY M., CORDONNIER T., DHÔTE J.-F. [2007]. *Mélanges d'espèces et changement climatique*. Communication dans le cadre du séminaire REGEFOR, Nancy, 26-28 juin 2007. www.gip-ecofor.org.
- ¹⁷ LEGAY M., MORTIER F. [2006]. *La forêt face au changement climatique : adapter la gestion forestière*. Coll. Les Dossiers forestiers, n° 16, ONF, Paris, 39 p.
- ¹⁸ NOUALS D. [2000]. *Les Sapinières en région Provence-Alpes-côte d'Azur : Typologie des stations forestières, extension potentielle du Sapin*. Cellule Régionale d'Appui Technique, ONF, Manosque. Tome 1, les Alpes préligures, 50 p. ; Tome 2, les Préalpes sèches, 53 p. ; Tome 3, les Alpes intermédiaires humides, 44 p. ; Tome 4, le sud Dauphiné, 49 p.
- ¹⁹ ONERC [2004]. *Collectivités locales et changement climatique : êtes-vous prêts ?* ONERC, Paris, 12 p. www.ecologie.gouv.fr/Collectivites-locales-changements.html.
- ²⁰ SEYNAVE I., GEGOUT J.-C., HERVÉ J.-C., DHÔTE J.-F., DRAPIER J., BRUNO E., DUMÉ G. [2004]. Étude des potentialités forestières pour l'épicéa commun dans l'Est de la France à partir des données de l'IFN. *Revue Forestière Française* 56(6) : 537-550.
- ²¹ VENNETIER M., VILA B., LIANG E.Y., GUIBAL F., RIPERT C., CHANDIOUX O. [2007]. Impact du

changement climatique et de la canicule de 2003 sur la productivité et l'aire de répartition du pin sylvestre et du pin d'Alep en région méditerranéenne. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques » : 67-73.

Cet article est paru précédemment dans le hors-série numéro 3 des Rendez-vous techniques de l'ONF. Il est reproduit ici avec l'aimable autorisation de la rédaction (www.onf.fr/doc/RDVT/index.htm).

MYRIAM LEGAY

legay@nancy.inra.fr
interface Inra/ONF
UMR EEF, équipe Phytoécologie
Centre Inra de Nancy
F-54280 Champenoux

FRÉDÉRIC MORTIER

ONF, Direction technique
Département Forêt

PATRICE MENGIN-LECREULX

THOMAS CORDONNIER
ONF, Direction technique
Département Recherche