

## La biodiversité face aux changements environnementaux : l'exemple des forêts européennes

L'augmentation de la température, même encore limitée, a-t-elle déjà un impact sur la forêt européenne et constitue-t-elle un facteur de risque ? L'histoire mouvementée de la végétation terrestre et ses vicissitudes peut aider à décrypter les évolutions actuelles et à prévoir celles à venir. Elle nous apprend que, même avec des limites, la nature possède des capacités non négligeables de réaction à des phénomènes du type changement climatique. Reste cependant à savoir si, non seulement la forêt mais encore ses usages, pourront être préservés. La réponse à cette question n'est pas tranchée. Une incertitude qui invite à la poursuite des recherches et les forestiers à l'innovation.

par Jean-Luc PEYRON, Directeur du Groupement d'intérêt public Ecofor (\*)

La biodiversité qui nous occupe et préoccupe ici est le reflet d'une longue évolution. Elle a connu des soubresauts avec la création d'espèces et, à l'inverse, de grandes disparitions. Elle a subi, aussi, des fluctuations moins drastiques mais nombreuses sous l'effet de variations climatiques. L'analyse de cette histoire mouvementée donne de précieux éléments pour comprendre les évolutions actuelles et envisager les évolutions futures. Elle sera esquissée dans une première partie et illustrée notamment avec l'exemple de la colonisation de l'Europe par la forêt à l'issue de la dernière glaciation.

Les activités humaines ont induit, depuis de début de l'ère industrielle et peut-être déjà antérieurement, des modifications importantes de l'atmosphère. Nul ne met plus guère en doute le fait que celles-ci conduisent à des changements globaux et, tant par ailleurs que par conséquent, de la flore, de la faune et de leurs interactions. Il existe d'ores et déjà des témoignages de ces changements, notamment en matière forestière, qui seront abordés dans une deuxième partie.

Après avoir replacé les évolutions actuelles dans une perspective historique, se projeter dans l'avenir permet d'imaginer les principaux scénarios qui nous attendent et la façon dont on peut agir pour s'y adapter, voire les contrer. Ce sera l'objet de la dernière partie.

### Climat et biodiversité : une longue histoire

*Depuis les origines de la vie...*

Qui, de la biodiversité ou du climat, a le plus influencé l'autre ? Dans les faits, ces deux phénomènes biologique et physico-chimique ont toujours été intimement liés dans des évolutions tendanciennes,

cycliques, voire catastrophiques, et à diverses échelles de temps.

Une première condition essentielle à l'arrivée de la vie sur Terre a été la présence d'eau dont on pense maintenant qu'elle est largement due à des apports extra-terrestres (astéroïdes, météorites, voire comètes, entrés en collision avec la Terre entre 4,56 et 3,8 Ga BP (1)).

Le deuxième facteur indispensable est bien sûr une température permettant que l'eau ne soit ni glacée, ni gazeuse. Le volcanisme a entretenu des systèmes hydrothermaux au fond de l'océan et constitué un effet de serre capable de compenser le déficit de flux solaire qui n'atteignait à l'époque que 70 % de sa valeur actuelle. Dans ces conditions, des molécules organiques simples auraient pu se complexifier par assemblage engendrant des acides aminés, des bases azotées, des sucres, tous éléments précurseurs des protéines, puis de macromolécules capables de répliation (ARN, ADN). Les premières traces de vie apparaissent ainsi avant 3,8 Ga BP, sous forme de bactéries anaérobies à une époque où l'atmosphère et l'océan sont relativement dépourvus d'oxygène. Ce dernier est alors produit par hydrolyse et l'évasion continue de ce gaz léger qu'est l'hydrogène, mais il est entièrement consommé par un processus d'oxydation des minéraux présents à la surface du globe. Ces premiers organismes se protègent du rayonnement ultraviolet au fond de l'océan.

Parmi les premières bactéries anaérobies, certaines synthétisent du méthane, contribuant sans doute à enrichir l'atmosphère en méthane et accroissant ainsi l'effet de serre. Cette première influence de la vie sur le climat va être contrariée par une seconde lorsque apparaissent des cyanobactéries ou algues bleues, vers 3,8 Ga BP. Il s'agit toujours d'organismes somnaires, sans noyau (procaryotes), mais leur capacité photo-



© Christophe Courteau/BIOS

*La recolonisation de l'Europe par les chênes après la dernière glaciation, qui a fait l'objet d'une analyse précise et diversifiée à la faveur notamment d'un grand projet communautaire, illustre particulièrement bien la façon dont les migra-*

synthétique leur permet d'élaborer de la matière organique à partir de simples éléments minéraux. Dotées d'une plus grande autonomie, elles peuvent coloniser l'ensemble de l'océan. Surtout, grâce à la photosynthèse, elles absorbent du gaz carbonique et rejettent de l'oxygène. Une fois saturé en oxygène, l'océan se vide de son premier monde anaérobie. L'atmosphère se concentre alors en oxygène. N'étant plus guère engendré de manière organique et voyant sa durée de vie réduite dans une atmosphère oxygénée, le méthane y décroît rapidement ; consommé par la photosynthèse, le gaz carbonique tend également à décliner. Ces évolutions correspondent à une forte réduction de l'effet de serre dont on suppose que c'est elle qui provoque, à cette époque, une glaciation majeure. La vie aurait donc engendré des changements climatiques au point de se mettre en péril.

Cependant, depuis au moins un milliard et demi d'années, les organismes vivants ont produit des dépôts calcaires, donc carbonatés, au fond des océans. Après leur reprise partielle par les mouvements tectoniques, le volcanisme réinjecte ainsi du gaz carbonique dans l'atmosphère, gaz qui s'y accumule d'autant plus que la glace limite à la fois la photosynthèse et l'altération des minéraux. C'est ce pro-

cessus qui explique sans doute la sortie de la glaciation par augmentation de l'effet de serre.

La vie va alors pouvoir franchir de nouvelles étapes en exploitant pleinement les possibilités offertes par la présence d'oxygène. Certains organismes individualisent leurs gènes à l'intérieur d'un noyau (vers 1,5 Ga BP). Les eucaryotes ainsi formés sont d'abord unicellulaires, puis pluricellulaires (apparition vers 1,2 Ga BP mais développement effectif vers 0,6 Ga BP) et feront preuve ultérieurement de leurs facultés supérieures. La présence d'oxygène atmosphérique a également permis la formation, dans la haute atmosphère, d'une couche d'ozone protectrice : ne craignant plus les rayons ultraviolets, les nouveaux organismes ont pu remonter vers la surface des océans.

Il y a 600 à 800 millions d'années, nouvelle ère glaciaire importante, consécutive à des mouvements tectoniques, un dégagement de vapeur d'eau, puis la dissolution du gaz carbonique atmosphérique par les pluies. La sortie de la glaciation se fait probablement, comme un milliard et demi d'années plus tôt, grâce au volcanisme.

Encore une fois, cette glaciation est suivie d'une explosion de la vie avec une distinction de plus en

plus poussée entre vies animale et végétale, l'apparition des premiers vertébrés, la conquête des continents par les végétaux vasculaires (vers 400 millions d'années BP) qui constitueront bientôt de véritables forêts.

A l'échelle de l'histoire de la Terre, on voit que les interactions entre biomasse et climat ont été fortes dans les deux sens. Globalement, le taux de gaz carbonique dans l'atmosphère s'est considérablement réduit, en particulier à travers la constitution des calcaires et des ressources fossiles, donc pour des raisons biotiques dans les deux cas. L'effet de serre s'est réduit de manière corrélative tandis que le soleil gagnait en éclat, si bien que la température moyenne de la planète a globalement pu se maintenir à peu près au même niveau par compensation grossière entre ces deux phénomènes.

### *...Jusqu'à la dernière colonisation de l'Europe par la forêt*

Depuis son apparition, la végétation terrestre a connu maintes vicissitudes, en particulier une alternance de périodes chaudes et froides, de phases d'extension et de régression des calottes glaciaires. Ces

phénomènes apparaissent peu à l'échelle des temps géologiques, masqués par d'autres de plus grande ampleur. Ils avaient sans doute moins d'importance à l'époque d'un monde essentiellement marin. Ils nous touchent de plus près dans la mesure où l'espèce humaine s'y est trouvée confrontée. Enfin, ils nous sont largement accessibles et peuvent être analysés assez précisément.

Ces alternances de périodes chaudes et froides entraînent une migration des espèces qui est soumise à la géomorphologie. Cette migration s'est effectuée de manière plus aisée en Amérique du Nord, où les reliefs sont orientés Nord-Sud que de l'autre côté de l'Atlantique où les Pyrénées, les Alpes, la mer Méditerranée, et même l'Atlas ont une orientation générale qui est largement Est-Ouest. C'est ainsi que des espèces ont été acculées contre ces barrières qu'elles n'ont pu franchir. D'autres, comme le cèdre, ont pu les franchir dans un sens, mais pas dans l'autre, en raison de la formation de la mer Méditerranée. Finalement, la diversité biologique se trouve globalement plus forte, aux mêmes latitudes, en Amérique du Nord qu'en Europe.

Un cas illustre particulièrement bien la façon dont de telles migrations ont pu s'effectuer, c'est celui de la



© Vilarino/BIOS-UNEP-STILL PICTURES

*La corrélation entre réchauffement climatique et tempétoosité, si elle existe, est vraisemblablement faible. Elle est plus aisée à établir entre réchauffement et sécheresse et son corrolaire, le risque de feux de forêts qui trouvent, lors des sécheresses,*



recolonisation de l'Europe par les chênes après la dernière glaciation, qui a fait l'objet d'une analyse précise et diversifiée à la faveur notamment d'un grand projet communautaire (Kremer, Petit, Ducouso, 2002).

Les chênes sont une composante majeure des forêts européennes. Ils occupent, en France, 30 % environ des surfaces boisées. Ils se partagent en deux grands groupes dont celui des chênes blancs, tous caducifoliés, le plus représenté en France avec, principalement, les chênes pédonculé et sessile (ou rouvre) en zone tempérée, les chênes tauzin et pubescent sous des climats plus méridionaux. Durant les deux derniers millions d'années, ils ont subi pas moins de 17 cycles de périodes glaciaires et interglaciaires qui ont façonné leur diversité génétique. Durant la dernière glaciation qui a duré environ 100 000 ans, ils se maintiennent dans trois zones refuges indépendantes des péninsules ibérique, italienne et balkanique. Les trois populations y restent suffisamment longtemps séparées pour se différencier largement les unes des autres au plan génétique. A la fin de la glaciation, il y a 18 000 ans, le réchauffement et le retrait des glaciers permettent aux trois populations de partir à la reconquête de l'Europe.

La chronologie de la recolonisation a pu être reconstituée d'abord à partir de l'exploitation de la banque européenne de données polliniques. En 6 000 ans environ, entre 15 000 et 9 000 ans BP, les chênes ont progressé de l'Europe du Sud jusqu'à l'Ecosse et à la Scandinavie. La vitesse moyenne de diffusion des chênes à travers l'Europe s'élève ainsi à près de 400 mètres par an, ce qui est stupéfiant lorsque l'on sait que les glands sont des graines lourdes et que les semenciers ne sont fertiles qu'après plusieurs décennies. Pour l'expliquer, il faut qu'il y ait eu, outre les modes communs de dispersion, des transports inhabituels, à la fois rares et lointains, capables de créer, nettement en avant du front de migration, des îlots pionniers qui s'étendent de manière autonome avant d'être rejoints, au bout de plusieurs générations, par les effets de la diffusion classique. Les instigateurs de tels événements exceptionnels pourraient être les geais et autres corvidés, les cours d'eau, ou encore l'homme.

Parallèlement, une analyse génétique des chênaies en place a été réalisée pour tenter de relier les populations actuelles à leurs ancêtres des zones refuges. Six grandes lignées ont été identifiées, qui se trouvent aujourd'hui relativement bien localisées, d'une manière permettant de reconstituer les grands itinéraires empruntés. Ce fait suggère que l'homme n'a pas effectué de transferts massifs de graines, ce qui n'exclut pas toute influence anthropique, notamment pour expliquer des migrations fortes d'Est en Ouest (par exemple des Balkans ou d'Italie jusqu'en Catalogne).

Des analyses complémentaires ont été conduites de manière moins systématique au niveau européen, en approfondissant par exemple l'étude de la variabilité génétique dans quelques forêts particulières, ou en

essayant d'appréhender non plus seulement les flux de semences (via les chloroplastes) mais aussi les flux de pollen. Ces analyses conduisent à des résultats complémentaires très intéressants :

- ✓ une fois rompu l'isolement entre les trois refuges glaciaires, les flux de pollen ont été très intenses entre les différentes forêts et ont gommé progressivement, en quelques générations, les différences entre populations si bien que la diversité génétique est presque aussi forte à l'échelle d'une forêt qu'à celle de l'Europe ;
- ✓ cependant, une fois les chênaies installées, les conditions environnementales locales créent une pression de sélection qui induit une différenciation géographique, sur laquelle les flux de pollen n'ont pas de réelle prise ;
- ✓ il apparaît en outre que l'hybridation entre chênes a grandement facilité la diffusion des différentes espèces, comme cela a été particulièrement étudié pour les chênes pédonculé et sessile ; le chêne pédonculé est en effet une espèce opportuniste, donc bien adaptée aux conditions difficiles de la colonisation ; après son installation, il a subi des flux de pollens de la part du chêne sessile ; par hybridation unidirectionnelle depuis le chêne sessile vers les chênes pédonculé puis hybride, les nouvelles générations contiennent vite une proportion grandissante de chêne sessile là où, auparavant, s'était installé du chêne pédonculé ; de fait, la progression du chêne sessile a ainsi pu se faire presque au même rythme que celle du chêne pédonculé.

Au final, il apparaît que les chênes sont dotés de multiples capacités de colonisation passant par des transferts de graines à longue distance, de puissants flux de pollen et une hybridation interspécifique unidirectionnelle. Il est probable que de telles qualités soient le résultat de la sélection génétique qui n'a pas manqué de s'opérer à la faveur des migrations associées aux multiples alternances entre périodes glaciaires et interglaciaires. Une analyse similaire a été conduite pour le hêtre dont le comportement se révèle différent de celui du chêne. Il s'est retiré dans plusieurs refuges dont certains dépassent le 45° parallèle. Mais on note une forte distinction entre refuges méridionaux, qui n'ont essaimés que très localement et sont très différenciés, et refuges plus au Nord qui ont contribué à repeupler l'Europe centrale, orientale et occidentale jusqu'en Angleterre et peut-être même vers le Sud dans les Alpes Dinariques.

### La forêt soumise au changement

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, la température moyenne de la Terre s'est accrue d'environ 0,6°C, en deux phases de 1910 à 1945 pour la première, au-delà de 1975 pour la seconde. Parallèlement, en France, l'augmentation a été de l'ordre de 1°C. De fait, la décennie 1990 a été la plus chaude du 20<sup>e</sup> siècle

avec, en valeur moyenne et au niveau planétaire, un record pour l'année 1998. La décennie actuelle ne dément pas cette tendance, qui a déjà été marquée en Europe par une sécheresse et une canicule exceptionnelles en 2003 et qui a vu les années suivantes rester chaudes et sèches.

Ces modifications du climat sont dues à plusieurs causes parmi lesquelles la variation d'activité solaire qui n'en explique cependant qu'une partie. Pour le reste, l'augmentation de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone et autres gaz, dont on sait qu'ils accroissent l'effet de serre, apparaît comme étant la principale responsable. Durant la période allant de 1945 à 1975, la faiblesse de l'activité solaire est venue en quelque sorte compenser le renforcement de l'effet de serre.

Une augmentation de température, même encore limitée, a-t-elle induit des évolutions sur la forêt et constitue-t-elle un facteur de risque ? Telles sont les deux questions qui méritent d'être examinées.

### *Conséquences sur la productivité et la distribution spatiale*

Il n'est pas rare que la forêt subisse des dépérissements importants pour certaines espèces, dans des régions particulières et du fait de diverses causes. Ainsi, à la fin des années 1970, après la sécheresse de 1976, on note une nette détérioration de l'état sanitaire des arbres, souvent dans des zones potentiellement exposées à une pollution atmosphérique à longue distance. C'est en recherchant, pour le sapin, dans les Vosges, d'éventuelles origines lointaines à ce phénomène que Michel

Becker met en évidence, en 1986 et contre toute attente, une augmentation très forte, depuis 1850, de la croissance en diamètre des sapins. Il utilise pour ce faire la dendrochronologie, qui consiste à analyser les cernes annuels de croissance des arbres, en relation avec la météorologie, d'autres données environnementales, la sylviculture, des facteurs propres à chaque arbre et à l'endroit où il pousse. Par la suite,

d'autres analyses sont réalisées tant à l'étranger qu'en France, sur des essences et dans des régions variées : les résultats vont pratiquement tous dans le même sens d'une augmentation de la productivité des forêts à long terme. On peut grossièrement considérer que les forêts poussent aujourd'hui en France une fois et demie plus vite qu'il y a 100 ans.

Plusieurs raisons viennent à l'appui de telles constatations. Tout d'abord, de possibles artefacts dans la méthodologie utilisée, en particulier en matière de plan d'échantillonnage ; les chercheurs se sont évidemment attachés à les réduire au maximum et, vingt ans après les premières études et de grands efforts de rationalisation dans ce domaine, on peut sans doute considérer qu'ils y sont

parvenus de manière satisfaisante. Les pratiques sylvicoles ont ensuite de grosses répercussions sur la croissance en diamètre des arbres, sur laquelle de nombreuses analyses de productivité se sont fondées ; mais on parvient à s'affranchir de ces effets, notamment en accordant plus de poids aux variations de la croissance en hauteur des arbres dominants. Certains évoquent une possible récupération



© Henri Lagasse/BIOS

*La gestion forestière se construit aujourd'hui autour de quatre types d'action visant respectivement à analyser, prévenir, atténuer les effets des chan-*

de fertilité des sols forestiers, appauvris dans le passé par une exploitation forestière plus intensive qu'aujourd'hui (exploitation en taillis) et par des prélèvements plus complets, comprenant notamment la litière de feuilles qui recèle une fraction importante des éléments minéraux ; cependant, l'augmentation de productivité frappe aussi des forêts n'ayant manifestement pas été soumises à ce type de pratique. Il reste alors trois facteurs environnementaux importants dont il est difficile de séparer les effets dans les jeux de données résultant d'observations : les apports atmosphériques d'azote, d'origine agricole, qui représentent des quantités allant jusqu'à sept fois les apports naturels ; l'effet direct de l'augmentation de la teneur atmosphérique en gaz carbonique, qui joue aussi un rôle fertilisant ; enfin la température elle-même.

Ces trois facteurs jouent vraisemblablement ensemble, à des niveaux différents selon les régions et les essences et dans certaines limites : ils constituent notamment des contraintes les uns pour les autres, auxquelles s'ajoute la disponibilité en autres éléments minéraux et, bien sûr, en eau. Pour ce qui concerne par exemple la température, son augmentation vient allonger la saison de végétation et généralement stimuler le métabolisme des plantes dont l'optimum de fonctionnement est souvent supérieur au niveau actuel de température ; cependant, ces deux effets sont contrariés par les stress hydriques provoqués par des sécheresses d'autant plus fréquentes et longues qu'il fait chaud. Les modèles de fonctionnement de la végétation intègrent ainsi de tels phénomènes.

Ni l'intensité des changements climatiques actuels, ni le recul que l'on peut porter pour l'instant sur eux ne permettent d'observer des phénomènes aussi progressifs que la modification des aires de répartition des espèces d'arbres. Mais d'autres organismes, notamment animaux, permettent d'illustrer de tels déplacements. En particulier, la chenille processionnaire, qui est non seulement un défoliateur hivernal des pins mais encore une gêne importante pour l'homme en raison de son caractère urticant, progresse en France vers le Nord, l'Est et les zones de montagne. Elle étend son territoire dans les Pyrénées, le Massif central et les Alpes. Elle chemine actuellement d'Orléans vers Paris à la vitesse de 5 km/an environ. Le rôle du climat vis-à-vis de cette progression est analysé depuis longtemps : le froid hivernal empêche les chenilles de s'alimenter et constitue ainsi une barrière qui se trouve repoussée par le réchauffement. Ce dernier peut aussi réguler les populations de chenilles qui supportent mal la canicule lorsqu'elle survient à une période critique du cycle de reproduction des insectes. Mais cette régulation n'est pas suffisante pour empêcher la progression.

### *Le poids des événements extrêmes*

Ayant connu coup sur coup les tempêtes de 1999 et la sécheresse de 2003, les forestiers français sont dorénavant très sensibilisés aux risques de toutes natures susceptibles d'affecter les forêts. La question qui se pose est évidemment celle de savoir dans quelle mesure ces deux événements pourraient être dus aux changements environnementaux.

En ce qui concerne les tempêtes, il n'y a pour l'instant en France aucune évidence que le réchauffement influe sur la fréquence et l'ampleur de tels phénomènes. Cette constatation découle pour partie de la difficulté d'analyser des événements rares et complexes, mais laisse par ailleurs penser que, si une relation de cause à effet existe entre réchauffement et tempéto-sité, alors elle est vraisemblablement faible. Cependant, à phénomène météorologique équivalent, les dommages forestiers augmentent au cours du temps en raison de l'évolution forestière : les surfaces boisées ont quasiment doublé en France en deux siècles, les volumes de bois ont été multipliés par quatre et plus et les arbres sont aujourd'hui en moyenne plus hauts, rendant la futaie nettement plus sensible aux intempéries que ne l'était le taillis. Une tempête cause donc aujourd'hui en forêt des dégâts bien plus considérables que la même tempête quelques décennies auparavant.

Le risque de sécheresse s'analyse en revanche bien différemment car la corrélation est cette fois plus aisée à établir entre changement climatique et sécheresse. Le réchauffement induit en effet des vagues de chaleurs estivales plus fréquentes, plus longues et plus intenses, entraînant à leur tour des sécheresses marquées. Le déficit hydrique se traduit chez les arbres par un certain nombre de régulations, par exemple au niveau des feuilles qui, pour économiser l'eau, limitent leur fonctionnement et, en même temps, la croissance ligneuse. Mais ces régulations sont parfois insuffisantes, entraînant une embolie des systèmes conducteurs de la sève brute qui est irréversible pour les vaisseaux concernés et qui, généralisée, peut conduire à la mort de l'arbre. Les jeunes plants, qui ne se sont pas encore installés et disposent d'un système racinaire limité, ainsi que les vieux arbres, notamment ceux qui ont déjà été victimes par le passé de stress de ce type, sont particulièrement sensibles à ce phénomène. D'autres causes de mortalité viennent se surajouter : les champignons pathogènes et insectes ravageurs tirent en général profit de l'affaiblissement des arbres pour s'y installer et sont souvent responsables de fortes mortalités ; les feux de forêts trouvent, lors des sécheresses, des conditions idéales pour se développer si bien qu'on constate une forte corrélation entre sécheresses et surfaces incendiées (triplement en France en 2003 par rapport à une année normale). Des exemples de fort dépérissement ont été constatés en forêt de Tronçais (Allier), sur des chênes pédonculés, après la sécheresse de 1976 ; un phé-



nomène semblable se développe actuellement près de Vierzon (Cher).

### Un futur incertain

#### *Scénarios climatiques et conséquences sur la répartition des espèces*

Le futur est aujourd'hui assez bien connu pour les trois ou quatre décennies à venir sur lesquelles il sera difficile d'influer : les jeux sont faits sur cette période en raison de la grande inertie des phénomènes. En revanche, une forte incertitude demeure pour le reste du 21<sup>e</sup> siècle et les siècles ultérieurs, qui repose surtout sur le volontarisme et la rapidité des mesures qui seront prises au niveau planétaire, notamment sous l'égide de la convention-cadre sur les changements climatiques et du protocole de Kyoto, mais aussi en application de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

De multiples scénarios ont été établis par le Groupe international d'experts sur l'évolution du climat, parmi lesquels deux sont souvent distingués. Un scénario relativement optimiste (dit B2) correspond à une réduction efficace et générale des émissions permettant de ralentir l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effets de serre et de limiter l'augmentation de la température moyenne, en France, à environ 3°C d'ici 2100, un peu plus en été, moins en hiver ; pour ce scénario, l'été 2003 serait un été moyen à la fin du siècle. Un scénario plus pessimiste (dit A2) résulterait d'une certaine inaction ou inefficacité des autorités mondiales qui ne pourraient éviter d'ici 2100 un triplement de la teneur atmosphérique en gaz carbonique par rapport au début de l'ère industrielle, soit une augmentation de température moyenne pour la France de 5°C en un siècle ; pour ce scénario, l'été 2003 serait une année relativement fraîche à la fin du 21<sup>e</sup> siècle. Si ce second scénario semble inquiétant, le premier l'est également puisqu'il prévoit une augmentation de la température moyenne du globe au-delà de tout ce que la planète a connu au cours des 400 000 dernières années.

Sur les bases du scénario dit optimiste ci-dessus, le projet de recherche Carbofor a permis d'analyser comment devraient, en théorie, se répartir les essences sur le territoire en 2100, compte tenu de leurs exigences connues, d'une part, des conditions de température et de pluviométrie attendues, d'autre part. La présence observée des différentes espèces d'arbres a été comparée à une présence modélisée pour les données actuelles, puis les aires de répartition probables des espèces ont été simulées pour l'année 2100. Les résultats montrent un profond bouleversement. Le chêne vert, actuellement confiné aux deux régions du littoral méditerranéen et à la bordure atlantique verrait son aire potentielle étendue de l'Atlantique à la Méditerranée, jusqu'au Sud de la Bourgogne et de la

Bretagne. En revanche, le hêtre, qui est présent dans une grande partie de la France à l'exception de l'Ouest où il est rare, se replierait surtout sur l'Est de la France et les zones de montagne. Quant au sapin, qui est essentiellement présent aujourd'hui là où le hêtre pourrait subsister dans 100 ans, il se cantonnerait aux altitudes les plus élevées et fraîches de son aire actuelle (Alpes, Jura, Vosges et, sporadiquement, dans le Massif central et les Pyrénées).

#### *Adaptation ou déséquilibres ?*

Les simulations présentées ci-dessus portent, pour le futur, sur des aires potentielles déterminées à partir de variables climatiques, au nombre de deux seulement mais primordiales : température et précipitations. La question se pose des conditions dans lesquelles les espèces défavorisées abandonneront leur territoire actuel et de la capacité des espèces favorisées à effectuer les migrations attendues dans le temps imparti.

Dans les deux cas, il faut compter sur les mécanismes adaptatifs. Certains ont été illustrés par la colonisation de l'Europe par la forêt après la dernière glaciation et reposent notamment sur la diversité génétique et l'intensité des flux de gènes. Quelques générations au minimum sont en général nécessaires pour une adaptation de la végétation. Face à des phénomènes d'une ampleur importante à l'échelle du siècle, et compte tenu de la longueur des cycles des espèces d'arbres, le rythme de cette adaptation ne serait sans doute pas suffisant. Mais les arbres possèdent d'autres capacités d'adaptation, notamment en raison de leur plasticité dans une gamme de température de l'ordre de 5°C et aussi de l'existence de deux possibilités d'expression de leurs gènes (diploidie). Ces facultés seront nécessaires, par exemple, aux espèces mises en danger par le réchauffement, qui devront faire face à des sécheresses à répétition et, sans doute, à des attaques d'insectes ou de champignons. Mais il est bien difficile de dire si elles s'opposeront efficacement ou non à la régression. Quant aux espèces favorisées, elles ne pourront vraisemblablement progresser seules à une vitesse suffisante : 400 m par an était une vitesse importante pour le chêne lors de sa recolonisation ; or cela ne représente que 40 km par siècle : si des essences comme le chêne doivent conquérir leur nouvelle aire potentielle de distribution, elles auront donc vraisemblablement besoin de l'homme.

Même si certaines limites apparaissent, on voit que la nature possède des capacités non négligeables de réaction à des phénomènes du type des changements climatiques. Cependant, la question est de savoir si, non seulement la forêt mais encore ses usages, pourront être préservés à un niveau satisfaisant. La réponse à cette question reste incertaine et oblige donc les

forestiers à remettre en question leurs méthodes de gestion.

### Quelle gestion vis-à-vis des changements environnementaux ?

Dans le contexte des changements climatiques, la gestion forestière se construit autour de quatre types d'action visant respectivement à analyser, prévenir, atténuer les effets des changements et, enfin, à lutter contre les changements eux-mêmes.

Analyser consiste tout d'abord à exercer une surveillance générale, un suivi continu des surfaces boisées de manière à appréhender rapidement et convenablement le fonctionnement des arbres, leur croissance et leur état de santé. Plusieurs réseaux forestiers existent dans ce but. Faut-il accorder une importance particulière lors de cette surveillance, aux arbres les plus en limite de leur aire ; peut-être si, au-delà des critères purement spatiaux, on a les moyens de déterminer les situations les plus critiques. Au niveau du gestionnaire de forêt, il est de même important d'accorder une grande attention aux différents types de milieux (les « stations »), aux peuplements et à l'adaptation des uns aux autres.

Prévenir, c'est en premier lieu éviter tout risque inutile : encore plus que d'habitude, il faut favoriser les essences adaptées à l'endroit, préserver les sols du tassement des engins d'exploitation, maintenir une biodiversité qui joue notamment un rôle bénéfique sur l'équilibre de la forêt, et si la possibilité en est vraiment offerte, faire le choix de la rapidité de production. Prévenir, c'est aussi augmenter la résistance des peuplements en évitant de trop fortes densités, donc en réalisant des éclaircies vigoureuses, parfois en apportant un amendement calcaire sur les sols acides. Il est en outre bon d'accroître la résilience des forêts, c'est-à-dire leur capacité à récupérer après des perturbations naturelles ou humaines ; le mélange des essences et une structure équilibrée sont considérés comme étant des facteurs importants de résilience. Prévenir peut enfin pousser à développer des usages variés de manière à ne pas être tributaire d'une seule production.

Atténuer les effets des changements environnementaux, lorsque ceux-ci se sont produits, s'avère délicat : on aura parfois à couper rapidement les arbres dépérissants pour éviter les pullulations d'insectes ; mais il faudra aussi savoir attendre le moment opportun pour réguler la mise en marché de bois et conserver une ambiance forestière.

Enfin, si la vie subit le climat, nous avons vu qu'elle le pouvait aussi le réguler. Ainsi, la forêt fixe du gaz carbonique et, à ce titre, peut venir combattre, modestement mais réellement, l'effet de serre. La quantité de carbone dans l'atmosphère est du même ordre de

grandeur que celle de la biomasse : la lutte contre le changement climatique est aussi un objectif forestier.

### Conclusions

La perspective des changements environnementaux représente un enjeu majeur pour la biodiversité en général et la forêt en particulier. Si les phénomènes commencent à être bien connus, il existe encore de nombreuses questions qui demandent à être résolues. Parallèlement, au-delà des conséquences elles-mêmes de ces phénomènes, c'est toute la stratégie de gestion qui se trouve remise en cause et qui incite donc les forestiers à faire preuve d'innovation. Dans les deux cas, des recherches doivent être développées. C'est un des objectifs majeurs d'Ecofor que d'y parvenir à un niveau suffisant.

### Notes

(\*) GIP Ecofor, 6, rue du Général Clergerie, 75116 PARIS, tél. : 01 53 70 21 49, fax : 01 53 70 21 54, mél : peyron@gip-ecofor.org

(1) Ga BP : giga-années *before present*, ce qui signifie milliards d'années avant 1950.

### Bibliographie

Riou-Nivert P. (Coord.), 2005. La forêt face aux changements climatiques. Dossier, *Forêt Entreprise* n° 162 d'avril 2005, pp. 11-53.

Kasting James F., Catling David, 2003. Evolution of a habitable planet. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 2003.41, pp. 429-463.

Kremer A., 2005. Réponses adaptatives des arbres forestiers aux changements climatiques ; mécanismes évolutifs et vitesse de réponse. Journée organisée le 15 décembre 2005 par le GIP Ecofor sur « La forêt face aux changements climatiques ; acquis et incertitudes » ; diaporama disponible sur [www.gip-ecofor.org](http://www.gip-ecofor.org).

Kremer A., Ducouso A., Petit R.-J., 2002. Biologie évolutive et diversité génétique des Chênes sessile et pédonculé. *Revue forestière française*, n° 2-2002, pp. 111-130.

Landmann G. & Landeau S. (Coord.), 2006. Expertise sécheresse et canicule 2003. *Rendez-vous techniques* n° 11, hiver 2003, pp. 13-54.

Magri D. et al., 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations : palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* (2006), pp. 199-221.

Aussenac G. (Coord.), 2000. Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture. *Revue forestière française*, numéro spécial 2000, 174 p.





