

Une forêt méditerranéenne multifonctionnelle et résiliente dans un contexte changeant : de la théorie à la pratique

par Eric RIGOLOT et François LEFÈVRE

Le contexte changeant auquel nous sommes confrontés nous interroge sur les questions de résilience des milieux forestiers. Le besoin d'apports scientifiques est indispensable pour clarifier les enjeux et la dimension technique des réponses sylvicoles. Cet article nous apporte une vision dynamique des trajectoires des écosystèmes forestiers, essentielle pour pouvoir mettre en œuvre une gestion adaptative en réajustant régulièrement les objectifs et les pratiques.

Introduction

Le contexte du changement climatique conduit le forestier méditerranéen à changer de paradigme pour penser les modalités de gestion des forêts. Ce nouveau paradigme se fonde sur trois concepts autour desquels cet article est organisé : la multifonctionnalité, la résilience et le changement, le changement global et en particulier le changement climatique.

Nous commencerons par nous interroger sur le contexte de changement, et de son utilité comme nouveau paradigme dans le domaine forestier. Ensuite nous introduirons le cadre socio-écologique, de façon à poser les conditions pour un dialogue nature et société qui permette de mieux raisonner la multifonctionnalité des forêts méditerranéennes. Enfin, nous verrons comment le terme de résilience et les différents concepts qui y sont associés peuvent permettre de donner une nouvelle perspective de gestion pour nos forêts dans ce contexte de changement et d'incertitude.

Le contexte de changement : un nouveau paradigme dans le domaine forestier

Les décisions d'aujourd'hui impactent le court terme et le long terme

La prise de décision du forestier doit prendre en compte l'état actuel des forêts, sa composition, sa structure, ses processus, mais aussi les processus qui permettent de placer cet état dans une trajectoire. L'enjeu est d'intégrer la dynamique forestière sur le long terme, pour s'assurer que les actions de gestion permettent d'orienter la trajectoire de la forêt vers les objectifs de gestion assignés : chaque décision a des effets à court et à long-terme. Cela se fait à la fois au niveau de la parcelle forestière, du massif, voire dans un cadre d'orientations régionales. A ces modalités classiques de prise de décision, s'ajoute aujourd'hui la prise en compte inédite du changement climatique qui en augmente la difficulté. En effet, la vitesse du changement climatique est de nature à perturber les processus écologiques habituellement pris en compte et en même temps les actions de gestion, dont les effets ont eux-mêmes une vitesse qui est assez concordante avec celle des changements liés au climat. On est face à un certain nombre d'incertitudes qui se cumulent.

Première incertitude au niveau des scénarios globaux. Les graphiques représentant les sorties des modèles climatiques du GIEC¹, maintenant assez classiques, sont empreints d'incertitudes, avec des domaines de variations très importants en fin de siècle. En plus de cela, des événements extrêmes viennent ponctuer ces trajectoires ; ils sont imprévisibles en fréquence et en gravité, mais on sait que ce sont eux qui impacteront le plus les écosystèmes forestiers. L'arbre, espèce voûte de ces écosystèmes, ayant une longue durée de vie connaîtra un voire plusieurs de ces événements au cours de son développement. Ces écosystèmes sont complexes, l'arbre étant associé à tout un cortège d'autres espèces dont les cycles de vie suivent d'autres dynamiques. Les interactions arbre-insecte en sont un bon exemple. L'insecte n'a pas du tout le même cycle de vie que l'arbre et pour autant c'est la complexité de cet ensemble qu'il faut prendre en compte,

ajoutant encore un autre d'incertitude. Enfin, l'impact des nouvelles stratégies pour adapter les forêts au changement climatique est une autre source d'incertitude dans la mesure où leur mise en œuvre, nécessairement rapide, ne permet pas de tests préalables en vraie grandeur.

Le forestier doit changer de paradigme pour prendre en compte ces incertitudes. Pour simplifier les choses, deux niveaux de vision peuvent être envisagés, un niveau de court terme et un niveau de long terme. Ils se différencient d'abord par les contraintes qui s'appliquent sur le système, certainement plus fortes aujourd'hui compte tenu de l'ensemble des conditions connues. Par exemple, on connaît aujourd'hui l'aversion sociale à certaines mesures, alors qu'on ignore ce qu'elle sera demain. En revanche, l'incertitude sera plus grande demain, c'est-à-dire qu'elle complique la décision d'aujourd'hui quant à son résultat dans le futur et ce d'autant plus que le futur considéré est lointain. Il peut être alors proposé d'anticiper les risques et les opportunités en essayant de prendre en compte à la fois les incertitudes de court terme et de long terme et d'essayer de trouver des compromis entre ces deux niveaux d'échelles de temps.

Le nouveau paradigme dans le domaine forestier

Compte tenu de ces fortes incertitudes, le premier paradigme qui peut être posé, est de reconnaître, de faire soi dans la gestion forestière, l'idée non plus que le changement est, l'une parmi d'autres, des variables d'état à considérer, mais que nous sommes dans un état de changement, que le contexte est le changement. Il faut donc prendre des décisions en pensant « dynamiques », sans regarder uniquement l'état actuel, mais en ayant la vision de la trajectoire des écosystèmes forestiers, identifier où on se situe sur cette trajectoire, ainsi que la manière dont on peut, par les actions de gestion, orienter la trajectoire vers les objectifs désirés en conciliant le court terme et le long terme.

Le second paradigme est que nous devons adopter une démarche de gestion adaptative pour faire face aux incertitudes, en ré-ajustant régulièrement les objectifs et les pratiques au fur et à mesure des retours d'expérience dans le contexte de changement (CORDONNIER et GOSSELIN, 2009). Nous ver-

1 - GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

rons comment prendre en compte les propriétés clés de résistance et la récupération des écosystèmes forestiers pour atteindre les objectifs de gestion poursuivis. Pour être concret, la persistance de l'écosystème forestier en tant que couverture végétale peut être un objectif de gestion minimal sur le moyen terme, et qui peut se traduire simplement par le maintien d'un couvert arboré, quelle que soit l'espèce, et quelles que soient les transformations à opérer ou à accepter pour y parvenir. Dans ces choix, les opérateurs de gestion ne sont pas seuls, en particulier en forêt méditerranéenne où la gouvernance en jeu implique de multiples acteurs.

L'approche par le socio-écosystème : un cadre intégré adapté aux forêts méditerranéennes

Les forêts méditerranéennes et l'Homme : une longue histoire de services et d'impacts

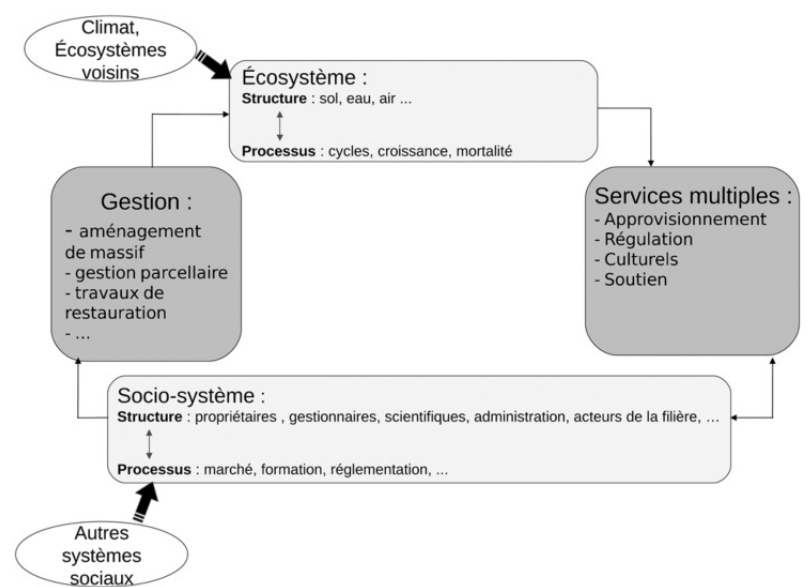
L'approche par le socio-écosystème est particulièrement adaptée aux forêts méditerranéennes et intègre les notions plus traditionnelles de multifonctionnalité. La longue histoire sociologique des forêts méditerranéennes est bien connue et on en observe aujourd'hui le résultat, fruit d'interactions anciennes entre processus écologiques et anthropiques dont il faut comprendre les ressorts. La question des feux de forêt est une illustration facile de cet état de fait, montrant l'imbrication entre des facteurs naturels et anthropiques, mais beaucoup de facettes du domaine forestier sont aussi dans cette situation. On a trop souvent tendance à considérer séparément les processus biologiques dans une approche trop technico-technique, d'une part, et la dimension sociale, humaine, qui permet de comprendre les caractéristiques d'une forêt fortement anthropisée, d'autre part.

Les actions de gestion mises en œuvre aujourd'hui vont évidemment impacter la structure des forêts, les différentes catégories de processus écologiques et *in fine* la biodiversité des écosystèmes. Les couvertures

végétales observées aujourd'hui, même si elles sont complexes, avec leurs oppositions de versants, leurs gradients altitudinaux, leurs superpositions de strates, sont le résultat d'une longue histoire anthropique et biologique. Le Mont Ventoux est l'exemple par excellence d'une montagne forestière dont les paysages que l'on connaît aujourd'hui n'ont pas été forgés uniquement avec des processus biologiques, mais aussi par des actions humaines extrêmement volontaristes. Même s'il faut bien reconnaître que la dynamique de nos forêts est très forte et que les processus naturels sont aujourd'hui dominants tant le recul des pressions anthropiques permettent l'extension actuelle des forêts méditerranéennes en surface et en volume.

L'approche par le socio-écosystème a fait l'objet d'une publication récente dans le cadre du métaprogramme de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) sur les services écosystémiques (LESCOURRET *et al.* 2015). Elle s'intéresse à la manière dont les agro-écosystèmes peuvent évoluer dans un contexte de demande sociale, qui transforme des processus, des fonctions écologiques, en biens et services destinés à l'Homme. C'est une approche qui a été développée spécifiquement pour les agro-écosystèmes, dont font partie les forêts. Cette approche compte deux caractéristiques qui la rendent bien adaptée aux forêts méditerranéennes, le premier, est de considérer de manière strictement symétrique et équivalente les compartiments écologique et socio-

Fig. 1 :
Les forêts méditerranéennes forment des socio-écosystèmes dans un monde changeant. Adapté de Lescourret *et al.*, 2015.



logique, divisés chacun en deux composantes (Cf. Fig. 1). Les caractéristiques d'un écosystème sont sa structure et ses processus. La même décomposition peut s'appliquer au socio-écosystème qui se structure autour des différents groupes d'acteurs sociaux en interaction, et dont les processus comprennent par exemple les modes de gouvernance avec lesquels les acteurs pilotent le domaine forestier. Ces deux compartiments sont reliés d'une part par les actions de gestion, et d'autre part, par les différentes catégories de services écosystémiques. Le second intérêt d'une telle vision est que l'approche multi-services proposée permet de mieux connaître et d'évaluer les interactions entre services. En effet, l'évaluation de la valeur d'un service est un premier enjeu, la caractérisation et la quantification des éventuels effets de synergie et d'antagonisme entre services en est un autre, plus ambitieux, qui fait d'ailleurs l'objet de travaux de recherche en cours.

Des biens et services multiples qui varient dans l'espace et dans le temps

Nous ne reviendrons pas sur la spécificité déjà évoquée des forêts méditerranéennes, la multifonctionnalité, bien posée dans les autres interventions ; nous ajouterons seulement que cette multifonctionnalité est variable dans l'espace et dans le temps. Un même type de peuplement de chêne vert peut avoir vocation à stocker du carbone ici et de faire du bois énergie là. Par ailleurs, un même peuplement au cours de sa vie verra ses fonctionnalités évoluer. Il suffit de penser aux boisements RTM (Restauration des terrains en montagne) dont l'objectif initial était de régler les problèmes d'érosion, qui sont devenus des forêts productrices de bois d'œuvre, avec parfois des services récréatifs, à qui l'on va peut-être demander maintenant de stocker du carbone et produire du bois énergie : ces objectifs n'étaient assurément pas imaginés en 1860 et pourtant toutes les décisions prises jusqu'à maintenant ont laissé la porte ouverte à ces nouvelles orientations.

Une question qui se pose est de savoir comment vont se répartir dans l'espace ces différents services, ces différentes fonctions. Peut-on faire de la multifonctionnalité en tout point du territoire ? C'est le fameux débat entre le *land sharing* et le *land spa-*

ring, autrement dit entre le partage du territoire dont on valorise la multifonctionnalité, qui s'oppose à une vision spécialisée du territoire. La première option, on l'a vu, caractérise plutôt bien les forêts méditerranéennes. La seconde option correspond plutôt à l'exemple du plateau landais, qui est essentiellement dédié à la seule fonction de production de bois. Bien évidemment d'autres fonctions secondaires existent en forêt landaise, comme la fonction cynégétique ou la production de résine, mais la fonction principale est nettement dominante. L'arbitrage entre ces deux options n'est pas trivial et les projets qui y sont actuellement consacrés montrent que contrairement à ce que l'on pourrait penser, les réponses dépendent beaucoup des projets de territoires et des objectifs de gestion.

Lorsque plusieurs services sont partagés sur un même territoire, beaucoup de questions se posent sur les relations entre ces différentes fonctions, ainsi que sur les relations entre les différents acteurs concernés. Quels compromis pour la gestion forestière ? Comment concilier intensification et préservation de la biodiversité ? Quels sont les modes d'organisation sociale, les dispositifs à mettre en place en termes d'incitation, de formation, d'animation de filière, pour aller vers une gestion partagée et multifonctionnelle ? Le programme Biodiversité, Gestion forestière et Politiques publiques animé par le GIP ECOFOR pour le compte des ministères de l'Agriculture et de l'Ecologie traite cette problématique en profondeur et depuis longtemps. Le site du programme propose des fiches synthétiques qui résument les résultats des projets de recherche (<http://bgf.gip-ecofor.org/>). On progresse donc sur ces questions, mais des pans entiers de connaissances restent à combler.

Résilience, résistance, cycle adaptatif... : des concepts utiles pour comprendre et gérer... mais en pratique ?

Dans un premier temps nous préciserons ce que sont ces concepts de résistance, résilience et cycles adaptatifs, et en quoi ils s'adaptent bien au contexte de la forêt méditerranéenne. Dans un deuxième temps nous verrons en quoi cela oriente les leviers pour

l'action, c'est-à-dire les modalités de gestion que l'on peut mettre en place dans ce contexte changeant. Nous avons vu que les gestionnaires forestiers doivent faire face à de grandes incertitudes. Quelle attitude générale doivent-ils adopter pour prendre en compte cette incertitude, sans que leur action soit paralysée par cet enjeu, ce qui reviendrait à ne pas anticiper ni préparer un futur qui s'annonce préoccupant ?

Résilience, résistance, récupération et cycle adaptatif

Rappelons que l'objectif général poursuivi est la persistance du couvert forestier, éventuellement avec des phases limitées de retrait dans le temps et dans l'espace, quand par exemple la forêt régresse au stade garrigue, mais en espérant que de la garrigue se régénérera la forêt. Si la forêt méditerranéenne était un système stable, elle disposerait des propriétés accompagnant la stabilité comme la résistance, mais ce n'est pas le cas en forêt méditerranéenne. Il s'agit plutôt d'un système instable, d'un système perturbé pour lequel la notion de résilience apporte tout son intérêt. La première définition que l'on peut donner de la résilience est la capacité que possède un système d'absorber les perturbations et de se réorganiser tout en effectuant des changements. Le changement est donc possible, mais l'objectif est le maintien de la structure générale de l'écosystème et d'un certain nombre de fonctions clés, y compris des boucles de rétroaction qui font la richesse d'un écosystème. L'idée est donc le maintien dans ce qu'on appelle un domaine de stabilité ou bassin d'attraction et, dans la mesure du possible, de ne pas en sortir. Le gestionnaire qui pilote un écosystème instable agit dans une perspective complètement différente de la gestion classique de système stable, il met en œuvre des actions pour rester dans un bassin d'attraction.

Tout écosystème forestier est soumis à un certain nombre de pressions habituelles et

graduelles, dont font partie par exemple l'évolution progressive de la disponibilité des nutriments, l'évolution des paysages et de leur fragmentation, voire les changements climatiques eux-mêmes. L'écosystème dispose des ressorts pour répondre progressivement à ces pressions dites normales, mais pour autant non sans conséquences, allant parfois jusqu'à réduire sa résilience, sans pour autant lui faire franchir un point de basculement qui le ferait changer de bassin d'attraction. Sur la Figure 2, la bille représente l'état actuel de l'écosystème qui est ici dans une première vallée relativement peu profonde avec par conséquent une faible résistance au changement.

Ce peut être le cas d'une prairie par exemple qui serait normalement entretenue par des herbivores, des grands ongulés. Une pression de chasse, vue comme une pression externe graduelle, peut s'exercer sur les herbivores et provoquer une baisse de la pression de pâturage. Cette baisse de pression entraîne un embroussaillage progressif de la prairie, qui garde pour autant son statut de prairie, malgré l'apparition de nombreux ligneux bas et à terme de quelques arbres clairsemés. Un nouvel événement peut se produire comme l'émergence d'une maladie qui touche les grands ongulés et stoppe l'herbivorie. Le système bascule alors dans un état de près-bois puis de forêt qui représente cette fois-ci un autre domaine de stabilité. En effet, à ce stade, même si on réintroduisait le pâturage, la prairie ne pourrait être reconstituée, les herbivores n'étant pas capables de faire régresser les arbres bien établis. Il faudrait l'intervention de l'homme, pour notamment couper des arbres, si l'on souhaitait éventuellement retrouver le stade initial de prairie. Cet exemple illustre comment une perte insensible de résilience, apparemment sans conséquences, peut favoriser, en cas d'événements externes importants, le passage du système au-delà de la crête et le basculement dans un autre bassin de stabilité avec des conséquences écologiques, sociales, ou économiques importantes.

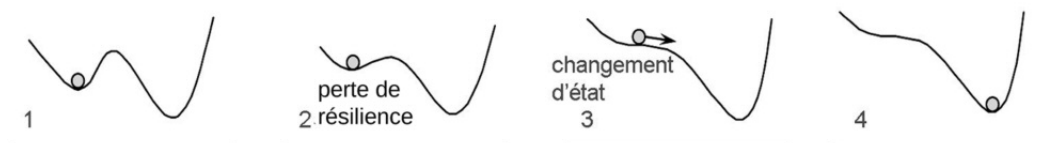


Fig. 2 :
Notion de résilience :
domaines de stabilité
et bassins d'attraction.
*Adapté de Folke et al.
2004.*



Photo 1 :
Survie des pins pignon
après l'incendie
de la forêt de Palayson
(Roquebrune-sur-Argens)
en juin 2007.
Cliché Eric Rigolot.

Enrichissons maintenant la notion de résilience avec quelques concepts complémentaires : le degré auquel le système est capable d'auto-organisation et aussi le degré auquel le système peut construire et développer sa capacité d'apprentissage et d'adaptation. Ces notions sont d'autant plus intéressantes que nous sommes dans un système socio-écologique où l'Homme a sa partie à jouer, où l'Homme de toute façon impacte l'écosystème. Dans la capacité d'apprentissage et d'adaptation on inclut aussi les pratiques de gestion forestière. Illustrons par exemple la notion de résistance et de résilience sur la stratégie de régénération des pins après incendie : le pin d'Alep est une espèce plutôt résiliente face à la perturbation feu. Il s'agit d'une espèce qui forme des communautés végétales très combustibles, et dont la stratégie est de favoriser le feu et par conséquent la destruction de la pinède en place, car cette espèce dispose de caractéristiques d'adaptation au passage du feu, qui lui permettent de se régénérer après incendie, assurant, à coup sûr la survie de l'espèce. Parmi les caractères remarquables d'adaptation au feu, cette espèce compte l'entretien d'une banque de graines aériennes dormantes stockées dans les cônes dont certains sont sérotineux, et qui est mobilisée juste après le passage du feu pour recoloniser très rapidement la zone brûlée.

A contrario, le pin pignon a plutôt une stratégie de résistance, les formations végétales qu'il constitue sont moins combustibles et son écorce plutôt épaisse, quand il est adulte, lui permet de supporter la plupart des feux courants. Ces pins survivants sont les éléments emblématiques des paysages remarquables que l'on retrouve par exemple dans la plaine des Maures avec ses grands arbres majestueux qui ont survécu aux grands incendies de 1979 et suivants (Cf. Photo 1). Évidemment le pin pignon ne peut résister à des perturbations très sévères, à des incendies très intenses, qui dépasseraient ses capacités de résistance. Il ne dispose alors pas des formidables capacités de régénération après incendie qui caractérisent le pin d'Alep. Si l'on revient aux schémas de la Figure 2, la profondeur de la vallée qui détermine la résilience du système à pin d'Alep est plus importante que pour le pin pignon.

Notons pour être complets que le pin maritime allie les deux propriétés de résistance et de résilience, qui en fait une espèce particulièrement bien adaptée au feu (Cf. Photos 2).

Adaptabilité : vers la gestion pour l'adaptation

Intéressons nous maintenant aux leviers d'action, c'est-à-dire aux modalités pertinentes de gestion dans une perspective de résilience et d'adaptabilité des écosystèmes. Quelle est notre capacité à gérer la résilience des écosystèmes ? Comment se tenir le plus loin possible des fameuses crêtes qui constituent les frontières de basculement d'un état souhaitable vers un état indésirable ?

Reprenons le cas d'un peuplement de pin d'Alep que l'on sait sensible au feu, mais que l'on aurait préalablement débroussaillé sur une coupure de combustible. Beaucoup de retours d'expériences montrent que, dans cette situation, lors de la survenue d'un incendie, la plupart des pins survit (Cf. Photo 3). Le système ne bascule pas au stade garrigue sans arbres, où il risquerait de rester dans le cas d'un régime de feux fréquents, bloquant le système dans un stade de régression biologique. Cette action humaine, le débroussaillage, permet la survie du pin d'Alep, son maintien loin de la crête qui marque la frontière entre deux bassins d'attraction. Bien évidemment, cette action de débroussaillage ne pourrait pas

être généralisée à l'ensemble des peuplements de pin d'Alep, mais elle apporte localement une réponse pertinente dans le cadre de la DFCI (Défense des forêts contre l'incendie).

Cycle adaptatif

Pour entrer dans une dimension dynamique et bien mettre en scène le fait que les écosystèmes forestiers sont soumis quoi qu'il en soit à un certain nombre d'évolutions, qu'elles soient liées à leur dynamique propre ou à des pressions extérieures, appuyons nous sur les quatre stades proposés par HOLLING *et al.* (2002) dans l'un des papiers fondateurs sur la résilience en écologie. Le premier stade est celui de l'établissement et de la croissance (Cf. Fig. 3). Il peut comprendre aussi l'exploitation qui peut être faite des ressources accumulées dans cette phase de forte dynamique. Le deuxième stade est celui de la conservation où le système atteint un plateau qui correspond, dans le cas d'un écosystème forestier, au stade de maturation dans lequel il commence à y avoir des relations entre les processus qui deviennent à ce stade relativement complexes et relativement contraints. A ce stade peut arriver une perturbation qui libère l'entropie accumulée lors des phases précédentes de croissance et de conservation, et qui est le plus souvent suivie d'une phase de réorganisation qui permet de reboucler sur la première phase.

On peut illustrer le cycle adaptatif dans le cas du pin d'Alep. On part d'une phase de colonisation du pin dans une zone de friche qui se boise après déprise agricole. Il s'agit d'une phase de pleine croissance, suite à laquelle on atteint au stade K un peuplement parfaitement mature avec toutes les



De haut en bas :

Photos 2a et b :

Incendie de 2010 du col de Saint Eustache
(commune de Mata-Croce en Corse) :
(2a) vu depuis le col quelques mois après l'incendie ;
(2b) régénération bien venante de pin maritime
5 ans plus tard.
Clichés François Lefèvre.

Photo 3 :

Survie des pins d'Alep sur bande débroussaillée
le long de la D2 (incendie du Castellet de 2001).
Cliché Eric Rigolot.

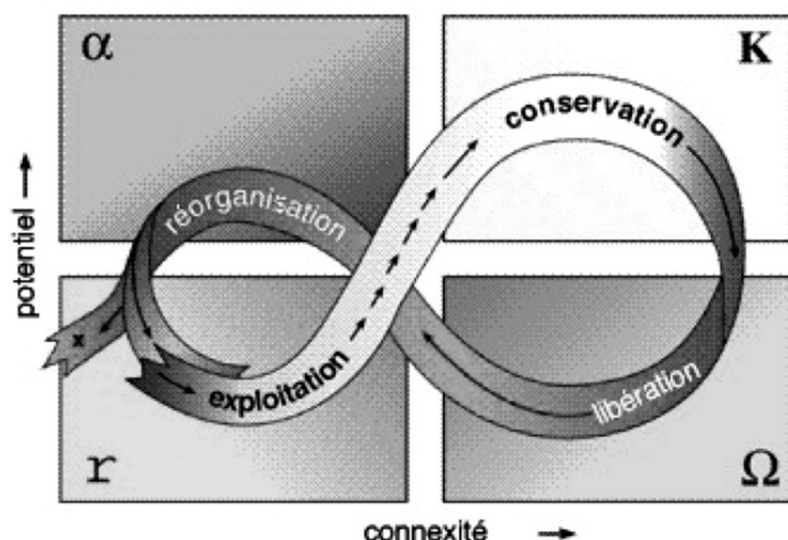


Fig. 3 :
Les quatre phases
du cycle adaptatif.
D'après Holling et
Gunderson, 2002.

strates qui accompagnent le cortège du pin d'Alep, éventuellement mélangé avec du chêne vert. L'incendie peut facilement survenir à ce stade très combustible. Suit alors une phase de libération d'énergie, puis de réorganisation lors de la régénération du pin après incendie. Mais, si le feu est trop fréquent, ce stade peut déboucher sur une garrigue qui représentera une phase de dégradation par rapport à l'objectif forestier précédemment poursuivi. Cette phase de régression biologique représente une échappée qui quitte le cycle adaptatif principal pour aller vers un autre bassin d'attraction.

Cycles adaptatifs emboîtés et panarchie

Il convient maintenant de placer ce schéma, qui se déroule sur une échelle de temps de moyen terme (celle de l'action du gestionnaire et de l'observation), sur une perspective beaucoup plus longue qui est celle des processus de maturation sylvi-génétique. En réalité, on a affaire à une série de cycles emboîtés, de cycles élémentaires assez rapides, et de cycles plus amples qui sont souvent le cadre dans lequel les cycles élémentaires se développent. Par exemple, si on se réfère à une grande étendue forestière dans une région donnée, celle-ci peut avoir un impact sur le climat de la micro-région et amener à changer les variables climatiques locales au point que les cycles plus élémentaires se développent dans des conditions physiques différentes. Il y a un certain nombre d'interactions entre ces cycles courts et ces cycles plus longs. On peut ainsi illustrer l'interaction dénommée « révolte » sur la figure 4, par les cycles courts des interactions arbres-insectes qui font partie de la vie de la forêt et qui, tant que l'insecte ne pulule pas, sont relativement normales dans la vie du peuplement forestier. Dès que surgit une phase de gradation avec des attaques conséquentes de ravageurs sur les arbres, cela peut impacter les processus et la structure du cycle supérieur qui caractérise le développement du massif forestier considéré.

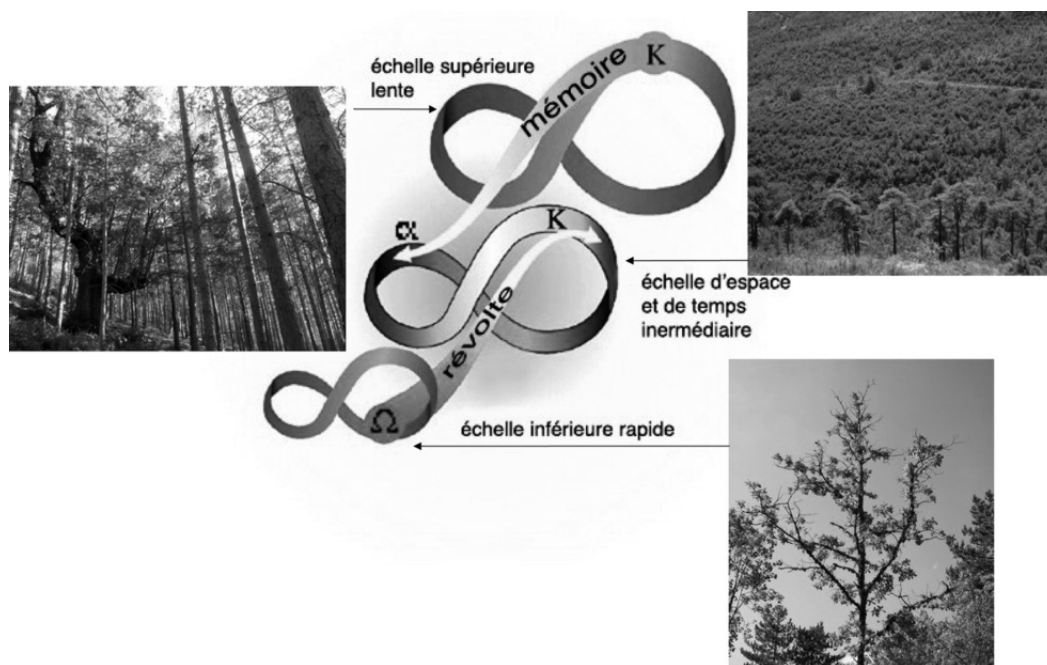


Fig. 4 :
Cycles emboîtés
adaptatifs et panarchie
appliqués
à un écosystème
forestier pin chêne.
D'après Holling et
Gunderson, 2002.

Un autre exemple de développement forestier appliqué à l'emboîtement de cycles adaptatifs peut être le cas des mélanges pin chêne avec différents processus sylvi-génétiques qui régulent le mélange d'espèces. Si on s'intéresse en particulier au cas individuel de l'arbre en bas à droite de la figure 4, il s'agit d'un individu impacté par la sécheresse estivale particulièrement importante de 2003. Pour survivre, cet arbre a été capable de réduire sa surface foliaire en réponse à la sécheresse. Il s'agit d'un cycle adaptatif saisonnier, donc court, qui permet la persistance de l'individu : c'est bien le changement d'état, la perte de feuille, qui a permis à l'arbre de persister, on peut parler ici de résilience individuelle. Si on se place à une échelle de temps intermédiaire et à une échelle d'espace moyen, c'est-à-dire au niveau de la boucle centrale sur la figure 4, on capte le régime des incendies actuels où l'on voit que, finalement, la dynamique des résineux a permis une bonne régénération après incendie. Si on poursuit l'observation du développement de cette forêt de résineux, on peut constater la réinstallation des feuillus dans un stade habituel de maturation chez ces formations. A une échelle de temps supérieure représentée par des cycles plus lents, on retrouve même au sein de cette forêt de résineux, de très vieux arbres feuillus qui ont survécu à l'incendie pour diverses raisons d'aérologie ou de moindres combustibles localement. Ces vieux arbres sont des structures très importantes pour la résilience de la forêt parce qu'ils conservent un certain nombre d'informations qui vont permettre sa reconstitution. En effet, la régénération ne va pas devoir mobiliser des propagules provenant de migrations lointaines, mais mobiliser une ressource locale grâce aux semis de chênes qui pourront rétablir une forêt de feuillus. Ces interactions entre le cycle supérieur et les cycles plus élémentaires, dénommé « *effet mémoire* » sur la figure 4, représente finalement l'expérience que cette forêt mature mobilise pour sa reconstitution, un petit peu comme dans une société où les plus anciens ou les plus sages peuvent rappeler les crises passées et apporter des solutions pour résoudre les crises actuelles, tandis que les jeunes apportent leur regard neuf parfois « révolutionnaire ». C'est cette hiérarchie d'échelles emboîtées qu'il est intéressant de prendre en compte dans une perspective de résilience.

De la théorie à la pratique

Pour approfondir l'analyse de l'intérêt de la notion de résilience pour la gestion des incertitudes dans le cadre du changement climatique, on peut lui opposer une vision d'un écosystème relativement stable dans lequel l'objectif est le maintien d'un équilibre, la perpétuation d'un monde relativement prévisible, où la gestion gère le surplus de production offert par la ressource renouvelable. C'est ce qui est réalisé dans les forêts de pin maritime de Gascogne, dont la gestion est orientée vers la production de bois et qui, suite aux grandes tempêtes, a été reconstituée en s'orientant résolument vers la mécanisation, ce qui, paradoxalement, la rend encore plus vulnérable aux éventuelles futures tempêtes. En effet, la pratique généralisée du rouleau landais déstabilise le système racinaire des pins et les rend plus vulnérables au chablis. Il peut y avoir ainsi une dérive progressive impalpable susceptible de diminuer la résilience générale du système qui pourrait être déstabilisé de nouveau par des tempêtes, même de moindre ampleur, pour lesquelles, si elles venaient à se répéter, le monde forestier aurait du mal à se remettre.

A contrario, on peut tenter une gestion forestière qui intègre la résilience et les différentes composantes qui l'accompagnent de manière à maintenir l'état de l'écosystème forestier éloigné du risque de basculement. Un certain nombre de principes directeurs doivent guider l'action. Le premier est de garder un certain nombre d'options ouvertes, et d'envisager la gestion à une échelle plutôt large, au moins d'ampleur régionale par rapport à une vision trop locale qui ne permettrait pas de distribuer convenablement les différentes fonctionnalités sur le territoire, afin d'accentuer l'hétérogénéité en favorisant les différentes catégories de diversités qui s'appliquent à une mosaïque forestière. Un autre principe est de favoriser le compromis entre fonctions du territoire à chaque fois que cela est possible et la conciliation entre services. Cela concourt à augmenter l'hétérogénéité, à garder un certain nombre de choix possibles que ne permettraient pas la spécialisation. Par ailleurs, il faut aussi reconnaître les lacunes dans les connaissances actuelles par rapport aux crises futures que nous aurons à affronter. Malgré l'existence de modèles et de projections, il reste une

grande difficulté à prévoir l'état futur des forêts. La modélisation est utile pour comprendre les processus, pour étudier des cas que l'on ne pourrait pas expérimenter, mais elle ne prétend pas fournir une prédiction exacte du futur, ni ne peut intégrer l'inattendu. Or favoriser la résilience d'un système consiste aussi à se préparer à ce qui est inattendu et plutôt concevoir des systèmes qui soient capables d'absorber et de s'accommoder d'événements futurs dont on ignore totalement la forme qu'ils pourraient prendre.

Conclusion

Terminons par un certain nombre de messages conclusifs. Le premier message est qu'il est nécessaire d'apprendre à vivre avec le changement et avec l'incertitude. Vivre avec le changement, c'est considérer la perturbation comme faisant partie des écosystèmes parce qu'ils ont, au cours des temps évolutifs, acquis les traits adaptatifs qui permettent d'y faire face. On peut ainsi se permettre dans une certaine mesure de provoquer la perturbation tant qu'on est capable de la contrôler. C'est par exemple la mise en œuvre du principe de gestion intégrée du feu, qui redonne toute sa place à l'utilisation du feu, à la fois dans la prévention avec le brûlage dirigé et dans la lutte avec le feu tactique. Ainsi un meilleur contrôle du combustible permet de déminer un certain nombre de situations potentiellement explosives et de s'éloigner des frontières du bassin d'attraction.

On peut aussi apprendre des crises. Il est indispensable de développer une culture du retour d'expérience systématique, en ne se limitant pas à l'analyse des aspects techniques, mais en l'étendant aussi à l'évaluation des modes d'organisation, pour être capable d'engranger en tant que collectif, les leçons à tirer des crises, petites ou grandes. On a souvent tendance à négliger les petites crises. Or, ces crises sont aussi riches d'expérience, et elles peuvent apporter des informations essentielles pour éviter ou mieux gérer de plus grandes crises. Dans tous les cas, apprendre des crises passées est indispensable et c'est ce qu'ont réussi à faire les forestiers aquitains en mettant en place un système de gouvernance au niveau régional suite aux leçons tirées de la première série

de tempêtes, et qui s'est montré efficace pour faire face à la deuxième série de tempêtes dix ans après. Aujourd'hui, la forêt landaise existe toujours, malgré les catastrophes majeures qu'elle a subies ; en tant que socio-écosystème, la forêt landaise s'est montrée très résiliente.

Le deuxième message invite à penser multidimensionnel, en conjuguant des visions de court terme et de long terme, avec des visions multi-services écosystémiques et multi-acteurs, et anticiper l'imprévisible en conservant un réservoir d'options multiples. Ne pas mettre ses œufs dans le même panier en terme de gestion des risques. Et avoir plutôt une vision territoriale avec des paysages en mosaïques, riches et fragmentés de façon à créer des potentialités de régénération en cas de perturbation. Un bon exemple est la nécessaire gestion des ressources génétiques forestières : la diversité génétique au sein des espèces est un levier d'action dans lequel nous pouvons sans doute trouver des éléments de solution pour l'adaptation des forêts au changement climatique et, dans le même temps, nous devons maintenir une forte diversité génétique pour maintenir un potentiel adaptatif futur des peuplements (LEFÈVRE, 2012).

Troisième grande série de messages, il faut entretenir la diversité pour la réorganisation et le renouvellement. C'est-à-dire prévoir la dernière phase du schéma de HOLLING *et al.* (2002), la phase de reconstitution en s'efforçant de nourrir la mémoire écologique. Pour cela il convient de porter un regard fonctionnel sur le cortège d'espèces présentes, considérer les groupes fonctionnels plus que les espèces individuelles pour analyser leur contribution à la résilience de la forêt, c'est-à-dire à sa capacité à retrouver les mêmes fonctions après perturbation. On peut compter sur plusieurs leviers qui caractérisent l'héritage biologique avec tout d'abord les propagules qui survivent de la perturbation comme les banques de graines aériennes ou souterraines. Les espèces migratrices ou simples propagules constituent des liens mobiles entre les zones épargnées et impactées et contribuent à la recolonisation. Favoriser ces processus se fait aussi par l'entretien de continuités territoriales, comme les trames verte et bleue. Les zones de soutien sont des îlots de recolonisation maintenus par des actions préventives qui ont permis de diminuer l'intensité de la perturbation permettant la survie de cer-

taines zones. C'est aussi la fragmentation initiale du paysage qui crée des résistances à la propagation de la perturbation, mais favorise aussi le maintien de bribes de lisières après perturbations facilitant les échanges d'éléments de reconstitution entre deux entités paysagères voisines.

Dans la sphère sociale, il est aussi important de ne négliger aucun savoir, aucune compétence. Il est notamment nécessaire que le savoir institutionnel, souvent sur-valorisé, ne néglige pas le savoir traditionnel qui a aussi toute son importance. Par exemple, la question des incendies d'hiver dans les Pyrénées est en train d'être résolue par la mise en place de commissions locales d'écobuage qui, au niveau des vallées pyrénéennes, associent les savoirs traditionnels et l'organisation institutionnelle pour traiter de manière raisonnée et pacifiée de l'usage du feu pastoral (FERNANDES *et al.*, 2013). De plus, des relations fluides entre chercheurs et gestionnaires sont importantes pour progresser plus rapidement ensemble et combler les déficits de connaissances mentionnés plus haut. Des rencontres recherche – gestion à l'image de celles organisées régulièrement entre l'INRA et l'ONF (Office national des forêts) contribuent à cet objectif (LEGAY *et al.*, 2015). Elles permettent notamment de créer ces opportunités d'auto-organisation. Il s'agit de tester à grande échelle des modalités innovantes de sylviculture, dans des dispositifs de gestion en forêt publique. Chercheurs et gestionnaires mettent en place, ensemble, les modalités pour suivre sur le long terme ces dispositifs, en organisant des retours d'expérience réguliers. Ces points d'étape permettent d'une part d'évaluer comment les peuplements forestiers répondent aux actions de gestion, et comment ils sont impactés par l'évolution du climat et par les perturbations qui les frappent. Ils permettent d'autre part d'ajuster, tout en marchant, les modalités de gestion en conséquence. Ce type d'auto-organisation est une nouvelle façon de faire de l'expérimentation, certes difficile à mettre en place et à piloter sur le long terme, mais certainement très enrichissante pour améliorer la résilience des écosystèmes forestiers.

E.R., F.L.

Remerciements : Les auteurs remercient vivement Julie Piffaretti pour avoir retranscrit leur intervention orale aux Rencontres afin de servir de base à ce manuscrit.

Références

- Cordonnier T, Gosselin F. 2009. La gestion forestière adaptative : intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion. *Revue Forestière Française*, LXI(2), 131-144.
- Fernandes PM, Davies GM, Ascoli D, Fernández C, Moreira F, Rigolot E, Stoof CR, Vega JA, Molina D 2013. Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape, *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(s1):e1-e14,
- Folke, C. *et al.* 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 557–581
- Holling, C.S. and L.H. Gunderson. 2002. Resilience and adaptive cycles. Pages 25-62 in L.H. Gunderson, and C.S. Holling, editors. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Ecological Systems*. Island Press.
- Lefèvre F., 2012. Les ressources génétiques, un réservoir pour les services de production et une dynamique pour la gestion des incertitudes. *Revue Forestière Française*, LXIV(3):235-242.
- Legay M., Bastien C., Bastien J.C., Bartet X., Davi H., Dhôte J.F., Ducousso A., Benito-Garzon M., Caquet T., Dreyfus P., Jambois A., Lefèvre F., Marçais B., Mengin-Lecreux P., Micheneau C., Pinto P., Plomion C., Sardin T., 2015. Adaptation : vers un enrichissement du dialogue recherche-gestion. *Innovations Agronomiques*, 47:121-130.
- Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A.-F., Baudry, J., Bardy, M., Doussan, I., Dumont, B., Lefèvre, F., Litrico, I., Martin-Clouaire, R., Montuelle, B., Pellerin, S., Plantegenest, M., Tancoigne, E., Thomas, A., Guyomard, H., Soussana, J.-F. (2015). A social-ecological approach to managing multiple agroecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68–75. DOI : 10.1016/j.cosust.2015.04.001

Le glossaire du projet Informed qui définit les principaux termes est accessible à l'adresse : <https://www6.inra.fr/informed-foresterra/>

Eric RIGOLOT
François LEFÈVRE
INRA
UR Écologie des forêts
méditerranéennes
AVIGNON

eric.rigolot@inra.fr

francois.lefevre.2@inra.fr

Résumé

Le contexte de changement nous interroge sur son utilité comme nouveau paradigme pour penser les modalités de gestion des forêts en prenant en compte l'amplification des incertitudes. Une vision dynamique des trajectoires des écosystèmes forestiers permet de mettre en œuvre une gestion adaptative en ré-ajustant régulièrement les objectifs et les pratiques au fur et à mesure des retours d'expérience dans le contexte de changement et de perturbations. Le cadre socio-écologique permet de réconcilier approche biotechnique et dimension sociale pour mieux raisonner le rôle multifonctionnel, voire multi-services, des forêts méditerranéennes. Le concept de résilience et les différents termes qui y sont associés (résistance, récupération, cycles adaptatifs simples ou emboîtés...) permettent d'envisager une gestion pour l'adaptation des forêts. Des illustrations dans le domaine de l'écologie des forêts méditerranéennes, et en particulier de l'écologie du feu, donnent corps à ces concepts théoriques pour le forestier méditerranéen. Finalement quelques lignes de conduites sont proposées pour incarner ces nouvelles perspectives de gestion : apprendre à vivre avec le changement et avec l'incertitude ; apprendre des crises en développant une culture du retour d'expérience systématique ; penser multidimensionnel, en conjuguant des visions de court terme et de long terme, avec des visions multi-services écosystémiques et multi-acteurs ; anticiper l'imprévisible en conservant un réservoir d'options multiples ; entretenir la diversité pour faciliter la réorganisation et le renouvellement ; valoriser tous les savoirs qu'ils soient traditionnel ou institutionnel, académique ou opérationnel.

Summary

Resilient, multifunctional Mediterranean forests in a changing context: from theory to practice

A context undergoing change raises the question of its suitability as a renewed paradigm with which to think about issues of forest management that take into account increasing uncertainty. A dynamic perspective concerning the future paths of forest and woodland ecosystems makes possible the implementation of adaptable management through the ongoing readjustment of objectives and practices in the light of experience and feedback obtained in the context of change and disturbance. A socio-ecological framework facilitates the reconciliation of a biotechnical approach with the societal dimension, the better to work out the multifunctional, indeed multiservices, rôle of Mediterranean forests and woodlands. The concept of resilience, along with the various terms associated with it -resistance, recovery, cycles of adaptation both simple or multifaceted...- enables us to envisage management aimed at enhancing the forests' adaptation. Illustrations taken from the ecology of Mediterranean forests, particularly from the ecology of wildfire, embody such concepts which, for the Mediterranean forester, remain theoretical. In conclusion, the article proposes certain concrete guidelines to give substance to the new perspective: learn to live with uncertainty and change; learn from each crisis by developing systematic recourse to feedback; think multi-dimensionally, associating short- and long-term perspectives, including multiservice ecosystems and combinations of stakeholders; anticipate the unforeseen by keeping a reservoir of possible options; maintain diversity as a way of facilitating reorganisation or renewal; make the most out of all skills and knowledge, whether traditional, institutional, academic or operational.

Resumen

Un monte mediterráneo multifuncional y resiliente dentro de un contexto cambiante: de la teoría a la práctica.

El contexto de cambio nos plantea la cuestión sobre su utilidad como nuevo paradigma para pensar en las modalidades de gestión del monte teniendo en cuenta la amplificación de las incertidumbres. Una visión dinámica de la trayectoria de los ecosistemas forestales permite llevar a cabo una gestión adaptativa reajustando regularmente los objetivos y las prácticas a través de la observación de las experiencias en el contexto de cambios y perturbaciones. El marco socio ecológico permite reconciliar el enfoque biotecnico y dimensión social para un mejor racionamiento del rol multifuncional, véase multi-servicios, del monte mediterráneo. El concepto de resiliencia y los diferentes términos que están asociados (resistencia, recuperación, ciclos adaptativos simples o encajados...) permiten contemplar una gestión para la adaptación de los montes. Ilustraciones en el ámbito de la ecología de monte mediterráneo, y en particular de la ecología del fuego dan cuerpo a estos conceptos teóricos por los guardas forestales mediterráneos. Finalmente se proponen algunas líneas de conducta para encarnar estas nuevas perspectivas de gestión: enseñar a vivir con el cambio y la incertidumbre; aprender de las crisis desarrollando una cultura de información de las experiencias sistemáticas; pensar de manera multidimensional, conjugando las visiones a corto y largo plazo, con las visiones multi-servicios ecosistémicos y multi-actores; anticipar lo imprevisible conservando una reserva de opciones múltiples; cuidar la diversidad para facilitar la reorganización y la renovación; valorizar todos los conocimientos que sean tradicionales o institucionales, académicos u operacionales.