

Adapter la gestion pour répondre au défi climatique : l'exemple de la forêt méditerranéenne

La forêt méditerranéenne est particulièrement vulnérable au changement climatique et aux perturbations qui y sont associées comme les sécheresses et les incendies.

La gestion est un moyen efficace d'adapter la forêt à ces changements en renforçant en particulier sa résilience. Dans cet article, trois pistes de gestion sont évoquées : la régénération naturelle qui nécessite des interventions car elle est souvent difficile à obtenir, le rôle de l'éclaircie qui permet une sélection des individus et une amélioration du bilan hydrique des peuplements et enfin, le rôle du mélange dont les effets sont nombreux sur la biodiversité, la croissance, la vulnérabilité aux pathogènes ou encore la résilience après feu.



La forêt méditerranéenne constitue un poste avancé de la forêt française au regard des changements climatiques à venir. En effet, la région méditerranéenne à l'échelle globale se réchauffe 20 % plus vite que les autres régions. Les modèles prédisent qu'en cas de poursuite de la trajectoire actuelle en termes d'émission de gaz à effet de serre, celle-ci se réchauffera en 2100 de + 4 à + 6 °C par rapport à la période industrielle, avec une diminution des précipitations que l'on estime à 4 % par degré de réchauffement (Guiot, 2018). Le dérèglement climatique impactera donc lourdement les quatre millions d'hectares de forêt méditerranéenne française. Elle sera confrontée en particulier à des épisodes de canicules et de sécheresses intenses conduisant à des dépérissements, des migrations d'espèces, et accentuant le régime de feu avec des incendies plus fréquents et de plus grande intensité. La gestion forestière se doit donc d'anticiper les conséquences de telles perturbations afin de limiter leurs impacts. Dans le même temps, cette forêt doit répondre à une demande sociétale diverse et parfois contradictoire : fournir des produits ligneux et en particulier de la biomasse pour accompagner le développement de chaufferies à bois ou de centrales à biomasse, préserver le paysage dans une zone à forts enjeux touristiques et protéger une biodiversité élevée. Dans cet article, nous présentons succinctement quelques pistes principales de

gestion qui peuvent permettre d'adapter la forêt méditerranéenne aux changements climatiques annoncés et de renforcer sa capacité de résilience. Nous évoquerons la question de la régénération naturelle, du rôle de l'éclaircie et enfin celle du mélange.

Renouveler les peuplements les plus vieux

La régénération est une phase clé dans la vie du peuplement et un moyen d'adaptation aux changements environnementaux. La régénération naturelle permet un brassage génétique et les semis ainsi obtenus sont ensuite soumis à la pression de la sélection environnementale. Ce processus permet donc de sélectionner les individus les plus adaptés pour faire face aux nouvelles contraintes climatiques. Cependant, en région méditerranéenne, ce processus est délicat. Une régénération réussie nécessite en effet la conjonction de facteurs favorables : pluie de graines suffisamment abondante, réceptivité du sol, absence de forte sécheresse pour limiter la mortalité, une concurrence par la végétation et une prédation modérées. Ces conditions sont rarement réunies de telle sorte que pour de nombreux peuplements, la régénération naturelle ne s'opère pas ou très difficilement, même après une coupe de régénération. Nous l'illustrons à travers deux exemples représentatifs : la forêt de pin d'Alep et les taillis de chênes méditerranéens.

Le pin d'Alep, dont les forêts s'étendent sur environ trois cent mille hectares, est une essence spécifique de la région méditerranéenne. Cet arbre est très adapté à la sécheresse grâce à une régulation de sa transpiration efficace et il est très plastique pour les conditions édaphiques. Il tolère en effet les sols peu épais et peut se développer sur terrain calcaire ou acide. Il possède la capacité de se régénérer après un feu grâce à une banque de cônes fermés dans le houppier (cônes sérotineux¹) qui s'ouvrent sous l'effet de la chaleur permettant de libérer les graines. Cependant, en l'absence de feu, les peuplements vieillissent, les semis de pin n'apparaissent pas et seuls les chênes méditerranéens s'installent à un rythme très variable. Ce déficit d'auto-régénération se rencontre aussi fréquemment pour d'autres pins comme le pin sylvestre ou le pin pignon. Des expérimentations ont été conduites dans divers sites de Provence pour favoriser l'obtention d'une régénération naturelle dans les pinèdes matures à pin d'Alep (Prévosto *et al.*, 2012). Elles ont montré que la seule coupe de régénération (abaissement de la surface terrière entre 9 et 12 m²/ha) ne permet pas d'obtenir une densité de semis suffisante. En effet, même si la pluie de graines est abondante, les conditions de réceptivité du sol et de compétition par la végétation de sous-bois sont limitantes, notamment en raison de la présence de graminées ou d'une forte strate arbustive (photo 1). Des travaux de broyage de la végétation puis de crochitage du sol permettent de lever ces barrières à l'installation de la régénération. Le brûlage dirigé, s'il est suffisamment intense, est aussi une solution très adaptée bien que sa mise en œuvre soit plus contraignante (photo 2). Ces résultats illustrent que la seule dynamique naturelle n'est parfois pas suffisante si l'on veut piloter un système forestier vers le stade qui est désiré, ici conserver la présence du pin. La gestion forestière se doit alors d'introduire une perturbation d'une intensité suffisante pour favoriser la régénération naturelle.

Un autre exemple est le cas des taillis de chênes méditerranéens, chêne vert (*Quercus ilex*) et chêne pubescent (*Quercus pubescens*) qui couvrent au total huit cent mille hectares environ dans la zone méditerranéenne française. Ces taillis sont souvent peu productifs : ainsi, pour le chêne pubescent, la majorité des peuplements atteignent moins de huit mètres de haut à trente ans. L'exploitation de ces taillis qui était autrefois régulière a décliné fortement après la Seconde Guerre en raison d'une baisse drastique des besoins en bois de chauffage. Plus récemment, cette demande s'est accrue, mais les réticences sont fortes pour pratiquer à nouveau des coupes de taillis pour diverses raisons : paysagères, faible acceptabilité de la coupe, crainte de l'épuisement des souches. On a donc laissé vieillir les taillis et les forestiers se heurtent actuellement à leur régénération. Diverses expérimentations (Ladier *et al.*, 2014) ont montré que lorsque la coupe de taillis est réintroduite, on observe une mortalité des souches accrues dans les peuplements âgés (de l'ordre de 25 % pour le chêne pubescent) et un nombre de rejets par souche qui diminue. La coupe sur les taillis âgés perd donc beaucoup de son efficacité de renouvellement du peuplement. Un grand nombre de taillis ont été transformés en futaie pour éviter la coupe rase : des brins sont sélectionnés dans le taillis et sont conservés tandis que les autres sont éliminés. On forme

alors une futaie sur souche qui vieillit et qui ne peut être régénérée que par voie sexuée (graines) et non plus végétative (rejets). Les obstacles à la régénération de ces peuplements sont encore plus importants que ceux présentés pour le pin d'Alep (photo 3). La production de glands est variable dans le temps, surtout pour le chêne pubescent avec des productions fortes tous les quatre à cinq

1 Semis de pin d'Alep : l'obtention d'une régénération est une étape difficile à réaliser, ici en raison d'une forte compétition par des graminées.



© C. Ripert (INRAE)

2 Réalisation d'un brûlage dirigé destiné à faciliter la régénération naturelle.



© C. Ripert (INRAE)

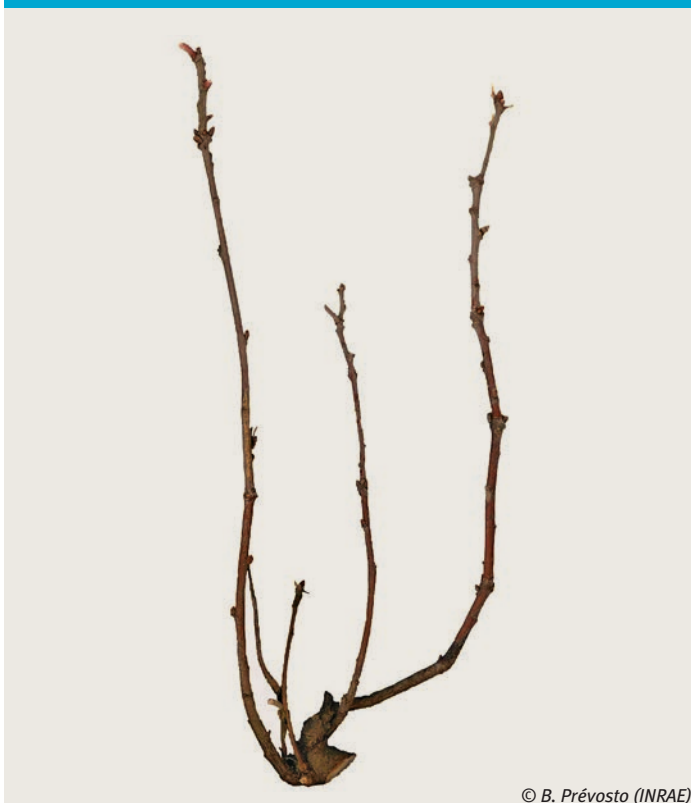
1. Cônes enduits d'une cire, qui ne s'ouvrent qu'après une chaleur intense comme celle d'un feu.

ans. De plus, la prédation sur les glands est intense. Par exemple, dans une expérimentation en Espagne, Gomez *et al.* (2008) ont suivi le devenir de plusieurs milliers de glands de chêne vert soumis à la prédation par les petits rongeurs (mulots). Ils notent que 66 % des glands sont consommés immédiatement sur place et 26 % sont transportés, puis consommés plus tard. Au final, au bout d'une année, seuls 1,3 % des glands ont survécu. La prédation par les sangliers dont les populations sont en expansion considérable peut être également très forte.

④ Taillis de chêne éclairci : la régénération est très faible ou absente.



⑤ L'architecture en « microcépée » d'un semis de chêne pubescent (hauteur : 20 cm, âge : 19 ans) témoigne d'une croissance très difficile.



Même lorsque ces limitations sont franchies et que les plantules émergent, leur croissance est difficile (photo ④) et leur survie est aléatoire. Ainsi, dans des expérimentations conduites sur le chêne pubescent (Bourdenet *et al.*, 1996 ; Prévosto *et al.*, 2013), les éclaircies pratiquées dans les vieux taillis ou dans les futaies sur souche afin de provoquer la régénération ont montré une installation initiale de semis. Cependant, au bout de quelques années, les semis n'ont pas survécu et les raisons de cette mortalité restent à élucider. Des difficultés similaires de régénération ont été notées pour le chêne vert (Ducrey, 1996). En attendant d'inventer des trajectoires qui permettent d'obtenir une régénération naturelle, il semble important de maintenir des coupes de taillis régulières qui restent le seul moyen efficace pour rajeunir les peuplements.

Modifier la structure : rôle de l'éclaircie

L'éclaircie joue un rôle fondamental dans l'adaptation des peuplements au changement climatique en modifiant leurs structures (photo ⑤). L'éclaircie permet un double effet de sélection et sur les ressources. L'effet de sélection est lié au fait que les arbres les plus vigoureux sont préservés, c'est-à-dire ceux qui sont susceptibles de présenter la plus forte croissance dans les années futures. Il permet également de doser le mélange dans les peuplements plurispécifiques. L'effet sur les ressources vient de la diminution de la compétition entre les arbres. Celle-ci entraîne une augmentation de la disponibilité en lumière et de la ressource en eau permettant de limiter les impacts de la sécheresse. Dans une méta-analyse, Sohn *et al.* (2016) ont montré des effets bénéfiques nets de l'éclaircie sur la croissance des peuplements lors de sécheresses. Les auteurs notent cependant une différence entre les feuillus et les conifères. Pour les premiers, la croissance radiale est certes réduite dans les peuplements éclaircis lors des épisodes secs, mais beaucoup moins que dans les témoins. Pour les seconds, la diminution de la croissance est plus prononcée et l'écart avec la croissance des témoins plus faible. En revanche, le retour à une croissance normale est plus rapide pour les conifères. Les feuillus présentent donc plus une réponse de résistance et les conifères une réponse de résilience. Ces différences sont liées aux stratégies différentes mises en œuvre par ces deux types de végétaux. Par exemple, un pin va très vite limiter sa transpiration (fermeture des stomates) en cas de sécheresse, évitant ainsi efficacement une cavitation dans ses tissus conducteurs de sève (embolie). Ce mécanisme lui permet de reprendre une croissance normale rapidement avec le retour de la pluie. Il le fait cependant au détriment de la croissance car les échanges gazeux nécessaires à la photosynthèse sont alors limités. De façon contrastée, un chêne maintiendra un niveau de transpiration plus élevé lors d'une sécheresse (et donc une croissance moins diminuée) en utilisant son système racinaire profond. Cependant les risques d'embolie sont accrus lorsque la sécheresse s'intensifie.

L'éclaircie modifie le bilan hydrique du peuplement, ce qui explique en partie son effet bénéfique sur la croissance des peuplements. En effet, l'interception des pluies par le couvert forestier est diminuée ainsi que la transpi-

ration. Par exemple, l'interception s'élève en moyenne à 15% pour les chênaies décidues, 28% pour le chêne vert (sempervirent) (Llorens et Domingo, 2007), mais peut atteindre 40% pour des peuplements de pin d'Alep fermés (Molina et del Campo, 2012) ! La question qui se pose est la suivante : faut-il ouvrir fortement les couverts par des éclaircies intenses ? La mise en lumière brutale des houppiers modifie largement le microclimat et il a été montré que les arbres restants transpirent proportionnellement plus dans ces conditions. De plus, l'ouverture du couvert favorise largement le développement de la strate basse arbustive qui peut être très abondante en

région méditerranéenne. Cette strate atténue les effets bénéfiques sur le bilan hydrique en interceptant une partie supplémentaire des pluies et par sa transpiration (Prévosto *et al.*, 2018). Elle augmente également très fortement la vulnérabilité à l'incendie. En effet, dans un contexte de risque feu élevé, on cherchera plutôt à maintenir des couverts arborés relativement hauts et fermés afin de limiter le développement de la masse combustible en sous-bois et à accentuer la discontinuité verticale du combustible entre le sous-bois et le houppier des arbres.

Mélanger les peuplements

Le mélange des peuplements est souvent préconisé pour une gestion durable et pour augmenter la résilience des peuplements. Qu'en est-il vraiment ? Les études réalisées tendent à montrer que les essences présentent une croissance plus forte lorsqu'elles sont en mélange qu'en peuplements purs. C'est notamment le cas pour les mélanges pin-chêne comme par exemple les mélanges pin d'Alep, pin sylvestre et chêne vert (Vila *et al.*, 2007) ou pin sylvestre et chêne tauzin (del Rio et Sterba, 2009). Différents mécanismes peuvent expliquer ce résultat : la réduction de la compétition aérienne au niveau des houppiers (le chêne peut supporter un certain ombrage), une utilisation des ressources souterraines à différentes profondeurs, une nutrition favorisée aussi en raison d'une litière de chêne se décomposant plus facilement que celle du pin. Les forêts mélangées sont également moins vulnérables aux attaques de ravageurs. Ainsi, Jactel et Brockerhoff (2007), en analysant cent-dix-neuf études concernant des forêts pures ou en mélange, ont montré que les dégâts par les insectes spécialisés étaient moindres dans les peuplements mélangés. Par exemple, en Corse, la cochenille du Pin maritime est plus abondante dans les peuplements purs que dans les peuplements en mélange avec le Pin laricio. En effet, dans les peuplements mélangés, le ravageur spécialisé voit son accès à son essence cible limité par les autres essences qui agissent comme une barrière. Le décalage phénologique entre essences est aussi moins favorable au cycle biologique du ravageur et ses prédateurs naturels sont susceptibles d'être plus nombreux. En revanche, pour ce qui concerne l'effet du mélange sur la résistance à la sécheresse, les études sont encore peu nombreuses et contradictoires. Par exemple, Bonal *et al.* (2017), comparant des peuplements purs ou mélangés de chêne sessile et pin sylvestre dans le centre de la France ne notent pas d'effet du mélange. En revanche, Grossiord *et al.* (2015) notent un effet bénéfique du mélange pour des peuplements mixtes feuillus/résineux en Espagne. Il faut cependant noter que si les travaux ne trouvent pas nécessairement d'effets positifs, ils ne pointent pas non plus d'effets négatifs, et le mélange présente des avantages pour beaucoup de services écosystémiques (par exemple, la biodiversité).

Une question centrale en région méditerranéenne est celle de la vulnérabilité au feu et de la résilience. La vulnérabilité au feu est plus liée à la question de la structure qu'à celle de la composition. En analysant la susceptibilité au feu de plusieurs types de peuplements, Silva *et al.* (2009) montrent que les résineux forment à la fois les peuplements les plus vulnérables lorsqu'il s'agit du

© Effet de l'éclaircie sur un peuplement de pin d'Alep : a) peuplement fermé avant éclaircie ; b) peuplement un an après l'éclaircie ; c) peuplement huit ans après l'éclaircie, on peut noter le fort développement d'une strate basse.



► pin maritime ou le pin d'Alep (photo ⑥), mais aussi les moins vulnérables pour le pin pignon, les feuillus étant classés entre ces deux extrêmes. La structure a un poids considérable. Un peuplement pur fermé avec une strate basse peu développée et une hauteur de houppier élevée aura plus de chance qu'un feu ne se propage pas en cime et détruit le peuplement. En revanche, un peuplement mélangé pluristratifié sera beaucoup plus vulnérable. Qu'en est-il de la résilience : les peuplements mélangés le sont-ils plus que les peuplements monospécifiques ? En zone méditerranéenne, certaines espèces qui ont co-évolué avec le feu sont très résilientes. Les peuplements purs de pin d'Alep peuvent ainsi se régénérer après feu sous réserve que l'intervalle entre deux feux ne soit pas trop rapproché pour permettre la reconstitution de la banque de cônes dans le houppier (photo ⑦). Les chênes méditerranéens peuvent se régénérer facilement également grâce à leur capacité à rejeter des souches (photo ⑧). Les peuplements purs sont donc résilients pour de telles espèces. Cependant, l'intérêt du mélange prend tout son intérêt lorsqu'il associe une espèce non résiliente au feu (par exemple, le pin noir ou le pin sylvestre) avec une espèce résiliente (comme un chêne méditerranéen). En cas d'incendie, cette dernière, en se régénérant, permettra d'éviter une dynamique régressive vers des stades non

forestiers. Les peuplements mélangés offrent aussi une capacité d'accueil de la biodiversité supérieure bien que cela ne soit pas vérifié pour tous les taxons.

Conclusions

Leur faible productivité, le morcellement foncier, le manque de structuration de la filière bois expliquent entre autres que les forêts méditerranéennes soient peu ou pas gérées. Cependant, la question du changement climatique fait apparaître la gestion comme un outil indispensable d'adaptation des systèmes forestiers aux modifications environnementales brutales. Cela nécessite pour le forestier un retour aux fondamentaux. Tout d'abord l'étude de la station, qui permet de sélectionner l'essence appropriée à partir des catalogues de station ou en utilisant les outils numériques disponibles. Ensuite, le recours à l'éclaircie pour limiter la compétition entre les arbres, mais aussi pour doser et favoriser le mélange. La coupe est également un moyen pour faciliter l'installation d'une régénération dans les peuplements matures. Celle-ci étant souvent difficile à obtenir en milieu méditerranéen, des travaux complémentaires du sol et de la végétation sont souvent nécessaires. La forêt méditerranéenne a souvent une vocation multifonctionnelle plus affirmée que la forêt tempérée. Cependant, face à des risques incendie et sécheresse de plus en plus élevés, des compromis de gestion sont à définir. Par exemple, le mélange des essences est susceptible d'accroître la biodiversité et la résilience des peuplements, mais dans le même temps, il peut aggraver leur vulnérabilité à l'incendie. Une réflexion collective est donc nécessaire pour définir quels sont les enjeux de la forêt méditerranéenne et quelle vision nous partageons sur le devenir de cette forêt. ■

⑥ Peuplement de pin d'Alep après incendie.



© J.-M. Lopez (INRAE)

⑦ Apparition d'une régénération de pin d'Alep après feu.



© C. Tailleux (INRAE)

⑧ Rejet d'un chêne vert après feu.



© R. Schiano (INRAE)

EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **BONAL, D., PAU, M., TOIGO, M., GRANIER, A., PEROT, T., 2017**, Mixing oak and pine trees does not improve the functional response to severe drought in central French forests, *Ann. For. Sci.*, 74:72.
- 📖 **BOURDENET, P., 1996**, Étude de la régénération naturelle du chêne pubescent à partir d'un taillis simple, *Forêt Méditerranéenne*, vol. 17, n° 3, p. 169-174.
- 📖 **DEL RIO, M., STERBA, H., 2009**, Comparing volume growth in pure and mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica*, *Ann. For. Sci.*, n° 66, p. 502.
- 📖 **DUCREY, M., 1996**, Recherches et expérimentations sur la conduite sylvicole des peuplements de chêne vert, *Forêt Méditerranéenne*, vol. 17, n° 3, p. 151-168.
- 📖 **GÓMEZ, J.-M., PUERTA-PIÑERO, C., SCHUPP, W.E., 2008**, Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks, *Oecologia*, n° 155, p. 529-537.
- 📖 **GROSSIORD, C., FORNER, A., GESSLER, A., GRANIER, A., POLLASTRINIM, VALLADARES, F., BONAL, D., 2015**, Influence of species interactions on transpiration of Mediterranean tree species during a summer drought, *Eur. J. For. Res.*, 134 (2), p. 365-376.
- 📖 **GUIOT, J., 2018**, La forêt méditerranéenne a un rôle important à jouer si le réchauffement planétaire reste conforme aux accords de Paris, *For. Méd.*, 39 (4), p. 296.
- 📖 **LADIER, J., TESSIER, C., AMANDIER, L., PRÉVOSTO, B., 2014**, Gestion du chêne pubescent dans le Sud-Est de la France. Quelle alternative au taillis simple ?, *RDV Techniques*, n° 44, p. 9-16.
- 📖 **LI, J., ROMANE, F., 1997**, Effects of germination inhibition on the dynamics of *Quercus ilex* stands, *J. Veg. Sci.*, n° 8, p. 287-294.
- 📖 **LLORENS, P., DOMINGO, F., 2007**, Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe, *J. Hydrol.*, n° 335, p. 37-54.
- 📖 **MOLINA, A.J., DEL CAMPO, A.D., 2012**, The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: A contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations, *For. Ecol. Manage.*, n° 269, p. 206-213.
- 📖 **PRÉVOSTO, B., RIPERT, C., OSTERMEYER, R., 2013**, Éclaircir est-il suffisant pour favoriser la régénération du chêne blanc ? Retour sur un dispositif expérimental installé il y a 27 ans en forêt domaniale de Lure (Alpes-de-Haute-Provence), *Forêt Méditerranéenne*, tome XXXIV, n° 1, p. 3-12.
- 📖 **PRÉVOSTO, B., AUDOUARD, M., HELLUY, M., LOPEZ, J.-M., BALANDIER, P., 2018**, Le bilan hydrique en forêt méditerranéenne : influence des strates et de leur gestion. Application au pin d'Alep, *Forêt Méditerranéenne*, tome XXXIX, n° 1, p. 1-10.
- 📖 **SILVA, J.S., MOREIRA, F., VAZ, P., CATRY, F., GODINHO-FERREIRA, P., 2009**, Assessing the relative proneness of different forest types in Portugal, *Plant Biosystems*, n° 143, p. 597-608.
- 📖 **SOHN, J.A., SAHA, S., BAUHUS, J., 2016**, Potential of forest thinning to mitigate drought stress: A meta-analysis, *For. Ecol. Manage.*, n° 380, p. 261-273.
- 📖 **VILA, M., VAYREDA, J., GRACIA, C., IBANEZ, J.J., 2003**. Does tree diversity increase wood production in pine forests?, *Oecologia*, n° 135, p. 299-303.

L'auteur

Bernard PRÉVOSTO

Aix Marseille Univ, INRAE, UR RECOVER,
13182 Aix-en-Provence, France.

✉ bernard.prevosto@inrae.fr