

# Les forêts mélangées en région méditerranéenne : quels bénéfices et comment créer le mélange ?

par Bernard PRÉVOSTO et Christian RIPERT

***Face aux nouvelles menaces liées, entre autres, aux changements climatiques, les forêts mélangées sont devenues un enjeu majeur de la gestion forestière.***

***Les auteurs passent en revue les différents bénéfices que pourraient apporter ces forêts mélangées, tout particulièrement dans le contexte spécifique des forêts méditerranéennes.***

***Mais comment créer et maintenir le mélange ?***

Depuis quelques années, les forêts mélangées font l'objet d'une attention, elles sont en effet parées de nombreux avantages, réels ou supposés. De ce fait, elles constituent des objectifs sylvicoles vers lesquels le gestionnaire sera tenté d'aller afin d'atténuer ou de diluer les risques potentiels qui peuvent compromettre l'avenir des peuplements.

En 2007, gestionnaires, techniciens et chercheurs se sont réunis autour de cette question lors des ateliers REGEFOR (Ateliers Recherche et Gestion Forestière) organisés à Nancy. De multiples aspects sur les forêts mélangées ont été abordés lors de ces ateliers, mais les forêts méditerranéennes n'ont pas fait l'objet d'un débat spécifique prenant en compte leur composition, leurs conditions environnementales, leur gestion et les risques particuliers liés à ces forêts. Dans cet article, après avoir rappelé comment les forêts mélangées pouvaient être définies, nous passons rapidement en revue les principales interrogations sur ces peuplements en zone méditerranéenne : sont-ils plus productifs ? Favorisent-ils la biodiversité ? Sont-ils plus résilients notamment face au risque d'incendie ? Comment peut-on créer le mélange lorsque les peuplements sont purs ?

Comme le mélange d'essences peut être extrêmement varié, l'accent sera mis sur le mélange pin-chêne qui est le plus fréquent en zone méditerranéenne.

## Comment définir une forêt mélangée ?

L'IFN (Inventaire forestier national) définit la composition des peuplements à partir du rapport entre la projection des houppiers accédant à la lumière et la surface totale du site, variable appelée « taux de couvert libre » ou TCL (MORNEAU *et al.*, 2008). Cette variable peut être définie pour une essence (TCL<sub>i</sub> pour l'essence i) ou pour tout le peuplement (TCL). Un taux de couvert libre relatif peut être ensuite calculé pour chaque essence (TCLR<sub>i</sub> pour l'essence i) comme le rapport entre le taux de couvert libre de l'essence sur le taux de couvert libre total.

$$TCL_i = \frac{\sum_i \text{Houppier}_i}{\text{Surface\_totale}} \times 100$$

TCL<sub>i</sub> = Taux de couvert libre de l'espèce i  
 Houppier<sub>i</sub> = surface projetée d'un houppier libre d'un individu de l'espèce i  
 Surface\_totale = surface totale du site  
 TCL = Taux de couvert libre du peuplement comprenant n essences  
 TCLR<sub>i</sub> = Taux de couvert libre relatif de l'essence i

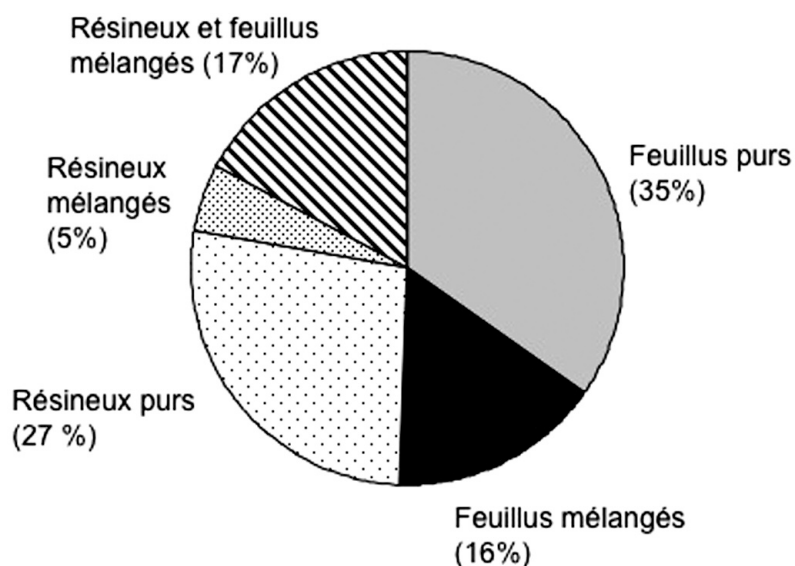
On pose alors les définitions suivantes :  
 – si une espèce a un TCLR supérieur à 75% le peuplement est dit pur,

– s'il faut deux espèces pour atteindre ce taux de 75% le peuplement est dit mélangé à deux espèces, etc.

Sur la base de ces critères, la forêt française est mélangée pour 49% de sa surface, proportion équivalente en volume (MORNEAU *et al.*, 2008). Le mélange à deux essences est le plus répandu (69% des cas) et c'est le mélange entre feuillus qui domine (environ les 2/3 des forêts mélangées). En zone méditerranéenne, les peuplements purs dominent et les mélanges entre feuillus et feuillus/résineux sont à peu près équilibrés (Cf. Fig. 1). Les mélanges les plus fréquents concernent pour les résineux, le Pin sylvestre, le Pin d'Alep et le Pin maritime et pour les feuillus, le Chêne pubescent et le Chêne vert.

Le gestionnaire forestier adopte une définition plus souple qui intègre différentes structures de peuplement et différentes configurations spatiales. Ainsi, le peuplement pourra être mélangé parce qu'il y a une essence en strate haute et une autre en strate basse (par exemple un étage de pin surmontant un sous-étage de chêne). Le mélange pourra se faire pied à pied, en bouquets ou en parquets.

**Fig. 1 :**  
Répartition des surfaces des 5 grandes compositions dans les forêts de production de la zone Sud-Est  
Source IFN, 2010



## Les forêts mélangées sont-elles plus productives ?

Les études sur les écosystèmes terrestres comprenant plusieurs espèces végétales ont montré généralement une relation positive entre le nombre d'espèces de l'écosystème et sa production ou sa productivité. Par exemple TILMAN *et al.* (2001) a noté, sur une expérimentation de plusieurs années sur des espèces prairiales, une biomasse 2,7 fois plus grande dans des parcelles comprenant 16 espèces que dans des parcelles avec une seule espèce. Cependant, ces études se sont focalisées sur les espèces herbacées rencontrées dans les prairies et les pelouses qui se prêtent beaucoup plus facilement à l'expérimentation que des écosystèmes avec des ligneux (HECTOR, 1999).

Plus récemment, en étudiant des garrigues près de Marseille (Chaîne de l'Etoile) composées de Chêne kermès, de Ciste blanc, de Romarin et d'Ajonc de Provence, MONTES *et al.* (2008) ont montré que la productivité augmentait linéairement avec la richesse en espèces. Ce résultat a aussi été mis en évi-

dence en Grèce sur des formations à Cistes (TROUMBIS et MEMTSAS, 2000). Qu'en est-il des forêts méditerranéennes ? Il existe encore très peu de travaux, mais une étude en Catalogne à partir de 5000 placettes permanentes (celles de l'IFN espagnol) a également montré que la production est plus forte dans les forêts mélangées à Pin d'Alep, Pin sylvestre et Chêne vert que dans les peuplements purs (VILA *et al.*, 2007).

Il semble donc que les formations végétales mélangées au sens large soient plus productives que les formations monospécifiques. Cet effet est habituellement expliqué par deux mécanismes :

- un effet échantillon : lorsque qu'on augmente le nombre d'espèces on augmente aussi statistiquement la probabilité d'avoir des espèces plus productives,

- un effet de complémentarité : dans les systèmes mélangés la compétition ne se fait pas systématiquement de la même façon et au même niveau que dans les formations pures. Par exemple, des systèmes racinaires appartenant à plusieurs espèces peuvent capter des ressources à différentes profondeurs dans le sol, alors que ce n'est pas le cas pour une seule espèce.

Cependant il convient de rester prudent sur la généralisation de ces conclusions aux systèmes forestiers : les études sont encore trop peu nombreuses et n'ont porté que sur quelques types de mélange. Il s'agit aussi d'études sur des peuplements en place combinant donc plusieurs facteurs du milieu, de structure et de composition forestières. Des biais méthodologiques sont alors possibles : par exemple les forêts mélangées peuvent être plus productives parce qu'elles sont situées dans des conditions stationnelles plus favorables, les études ne caractérisant pas nécessairement précisément la station, ou parce que l'historique de formation de ces peuplements est différent de celui des peuplements purs.

## Les forêts mélangées sont-elles plus exposées aux attaques des ravageurs ?

Pour répondre à cette question, dans le cas des insectes, les chercheurs ont conduit une méta-analyse (analyse combinant plusieurs

travaux) de 119 études sur les dégâts imputés à 33 espèces d'insectes sur des forêts pures ou en mélange (JACTEL et BROCKERHOFF, 2007). Les résultats ont montré que le niveau de dégâts par les insectes spécialisés était nettement plus faible dans les peuplements mélangés que dans les peuplements purs. En revanche, les résultats sont plus nuancés dans le cas des insectes polyphages qui, contrairement aux précédents, peuvent s'attaquer à des arbres appartenant à diverses familles botaniques (JACTEL *et al.*, 2008).

Par exemple en Corse, la cochenille *Matsucoccus feytaudi* inféodée au Pin maritime est plus abondante dans les peuplements purs que dans les peuplements en mélange avec le Pin laricio.

Pour expliquer ce phénomène plusieurs processus sont évoqués (JACTEL *et al.*, 2008).

Le premier concerne la répartition des risques : plus le nombre d'espèces augmente dans une forêt et moins celle-ci est vulnérable à l'attaque de ravageurs ciblée sur une ou un petit nombre d'espèces. Le second tient au fait que les arbres susceptibles d'être attaqués sont moins accessibles par les ravageurs, les autres essences peuvent agir comme une barrière mécanique ou physico-chimique. De plus, le décalage phénologique existant entre les différentes espèces d'arbres dans une forêt mélangée est un obstacle à l'ajustement du cycle biologique du ravageur aux stades de développement de l'espèce cible. Enfin, il a été démontré que les forêts mélangées offrent des conditions favorables aux ennemis naturels des insectes ravageurs ou champignons pathogènes, permettant donc de mieux réguler leurs populations.

## Les forêts mélangées favorisent-elles la biodiversité ?

De façon intuitive les peuplements mixtes devraient présenter une biodiversité plus forte parce qu'un mélange de plusieurs essences est plus susceptible de créer des conditions écologiques variées et donc d'abriter une diversité plus forte. Or cette assertion n'est pas nécessairement vérifiée. D'une part les travaux explorant le lien entre le mélange des peuplements et la biodiversité sont très peu nombreux et parcellaires et,

d'autre part, il existe une grande variabilité de situations. Ainsi, dans une analyse bibliographique sur l'influence de la composition de strate arborée sur la végétation de la strate basse en région tempérée et boréale, BARBIER *et al.* (2008) notent que le maximum de la diversité est souvent observé dans les peuplements résineux, plutôt que dans les peuplements mixtes. Selon la composante de la diversité analysée, les résultats sont variables, ainsi les résineux seraient plus favorables à la diversité des bryophytes que des plantes vasculaires.

En zone méditerranéenne, les travaux sont aussi très fragmentaires. La plupart ont analysé l'impact des grandes plantations de pin d'Alep sur la biodiversité en zone semi-aride (voir par exemple MAESTRE et CORTINA, 2004 pour le sud de l'Espagne ou GINSBERG, 2006 pour Israël). Les résultats ont montré une influence nettement négative du couvert pur du Pin d'Alep sur la flore qui est moins abondante et moins diversifiée que dans les zones ouvertes, le boisement artificiel freinant la dynamique d'installation des feuillus. Des résultats similaires ont été obtenus pour la faune bien que les études n'aient porté que sur quelques groupes. En particulier, la richesse de l'avifaune est moins élevée dans les peuplements de Pin d'Alep pur que dans les peuplements mixtes pin-chêne (DIAZ, 2006). BUSE *et al.* (2010) montrent également que la diversité en coléoptères saproxyliques peut être augmentée si on favorise le mélange pin-chêne.

Même s'il y a une tendance dans les travaux dégageant un effet positif du mélange en zone méditerranéenne, la relation entre la composition des peuplements et leur biodiversité est loin d'avoir été explicitée en raison du grand nombre de variables mises en jeu (histoire du peuplement, composition, facteurs stationnels, etc.).

### La question de la résistance et de la résilience au feu

Comme pour les risques sanitaires, les forêts mélangées sont-elles aussi moins vulnérables au risque d'incendie et plus résilientes, c'est-à-dire capables de se reconstituer à l'identique ?

La question se pose particulièrement pour les peuplements mélangés résineux-feuillus.

En effet les résineux sont plus inflammables que les feuillus en raison de leur contenu en résines et huiles essentielles (BOND et VAN WILGEN, 1996). On peut alors s'attendre à des incendies plus fréquents et à des dommages par le feu plus importants dans les peuplements résineux que dans les peuplements feuillus et à des situations intermédiaires dans les peuplements mixtes. En fait, cette affirmation mérite d'être fortement nuancée. Tout d'abord certains peuplements résineux montrent une inflammabilité moindre que des peuplements feuillus et une assez bonne résistance au feu. Ainsi, au Portugal, SILVA *et al.* (2009) en classant la susceptibilité au feu de plusieurs types de peuplements montrent que les résineux forment à la fois les peuplements les plus vulnérables lorsqu'il s'agit du Pin maritime, mais aussi les moins vulnérables pour le Pin pignon, les feuillus étant classés entre ces deux extrêmes. La structure a également une influence considérable sur la susceptibilité au feu des peuplements et peut contredire l'effet de la composition. Des paramètres structuraux comme la hauteur, la maturité et le degré d'ouverture des peuplements sont par exemple plus utiles pour sérier la vulnérabilité des peuplements que leur composition seule (FERNANDES 2009).

On peut également supposer que la résilience des peuplements mélangés pin/feuillus est supérieure à celle des peuplements purs de résineux ou de feuillus. Là encore, l'exemple du mélange Pin d'Alep avec les chênes méditerranéens tend à démontrer le contraire. Ainsi en Catalogne, BRONCANO *et al.* (2005) étudiant le devenir de peuplements de Pin d'Alep et de Chêne vert dans le Nord-Est de l'Espagne après incendie montrent que ce sont les peuplements purs de pin et purs de chêne les plus résilients : environ près de 2/3 des peuplements monospécifiques se reconstituent à l'identique. Par contre les peuplements mixtes pin/chêne sont moins résilients : seul 1/3 donne à nouveau des peuplements mélangés, alors qu'1/3 évolue vers des pinèdes pures et 1/3 vers des chênaies pures.

Ce constat est partagé par RODRIGO *et al.* (2004) qui ont étudié la reconstitution de peuplements en Catalogne plusieurs années après un grand feu dans trois zones totalisant plus 33 000 ha. Les essences concernées étaient des chênes : Chêne vert, Chêne-liège ou du Chêne *cerrioides* (un chêne espagnol à feuilles caduques) et des pins : Pin d'Alep,

Pin noir, Pin sylvestre du Pin pignon. Les résultats (Cf. Fig. 2) ont montré que les peuplements purs de Pin d'Alep ou de chênes étaient fortement résilients grâce à la banque de graines que les premiers peuvent constituer dans la canopée et à la capacité qu'ont les seconds à rejeter de souche. Par contre les peuplements mélangés n'étaient que peu résilients : les peuplements Pin d'Alep-chênes évoluant plutôt vers des pinèdes pures et les peuplements Pin noir ou Pin sylvestre en mélange avec des chênes vers des peuplements purs de chêne, ou secondairement vers des peuplements mélangés de chênes. Seuls les peuplements de chênes mélangés se reconstituaient pour l'essentiel à l'identique.

Le mélange est-il alors sans intérêt pour la résilience après feu ? Non, car dans cette étude les peuplements mixtes de pin sans adaptation particulière au feu (Pin noir ou Pin sylvestre par exemple) évoluaient pour presque la moitié d'entre eux vers des formations ouvertes. Le mélange prend donc tout son intérêt quand il associe une espèce adaptée au feu (un pin sérotineux ou un chêne méditerranéen) à une espèce qui ne montre pas de stratégie particulière de régénération face au feu, car le mélange évite alors la perte de l'état forestier.

## Créer le mélange lorsqu'il est absent : quelques illustrations pour le système pin d'Alep-chêne

Les pinèdes à Pin d'Alep sont pour la plupart issues d'une colonisation spontanée de terres autrefois mises en valeur par des usages pastoraux ou agricoles. La dynamique de succession se poursuit ensuite avec l'installation du chêne qui infiltre progressivement les pinèdes et conduit vers une chênaie. Cependant, l'installation du chêne peut être longue et aléatoire car elle dépend de nombreux facteurs en particulier la disponibilité et la proximité des sources de semences. Lorsque le mélange ne se fait pas naturellement ou à un rythme trop lent, le gestionnaire peut anticiper le processus dynamique et créer le mélange. Nous donnons quelques illustrations pour l'installation du chêne (Chêne vert et/ou Chêne blanc)

à partir de quelques stades de la dynamique : peuplements de pin âgés qu'il faut régénérer, futaies de pin, ou milieu ouvert encore non colonisé par la forêt.

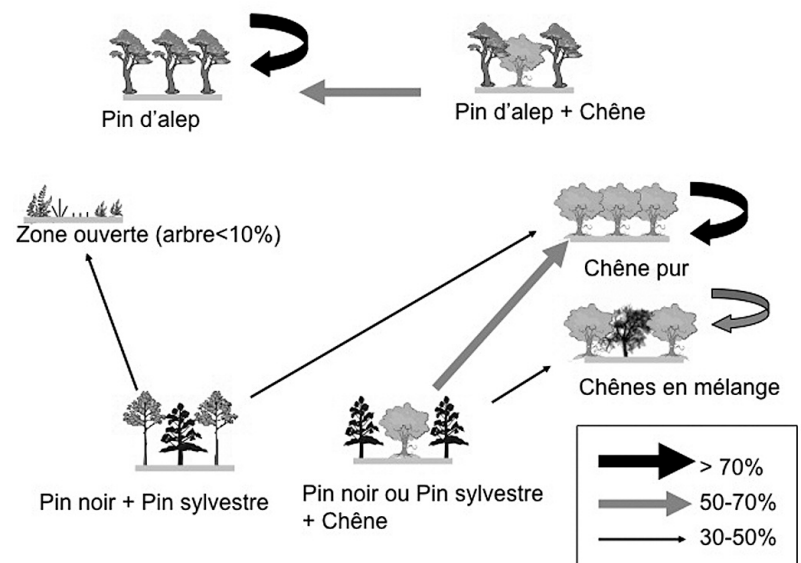
### Régénération des pinèdes et installation de chênes

La phase de régénération des peuplements vieillissants de pin est une étape clé dans la vie du peuplement, mais c'est souvent une opération délicate. En effet, la régénération nécessite la conjonction de nombreux facteurs : une disponibilité suffisante en semences, un sol réceptif, des conditions climatiques favorisant l'émergence des semis et ne pénalisant pas leur survie. Ces conditions sont souvent difficiles à réunir simultanément, en particulier en zone méditerranéenne. Un obstacle souvent majeur dans la régénération de certains peuplements est l'absence de sol nu et la présence d'une végétation au sol compétitrice qui empêchent l'installation des semis.

La phase de régénération est aussi l'occasion pour le gestionnaire de moduler la composition du futur peuplement en introduisant par exemple des feuillus lorsque ceux-ci sont naturellement peu nombreux.

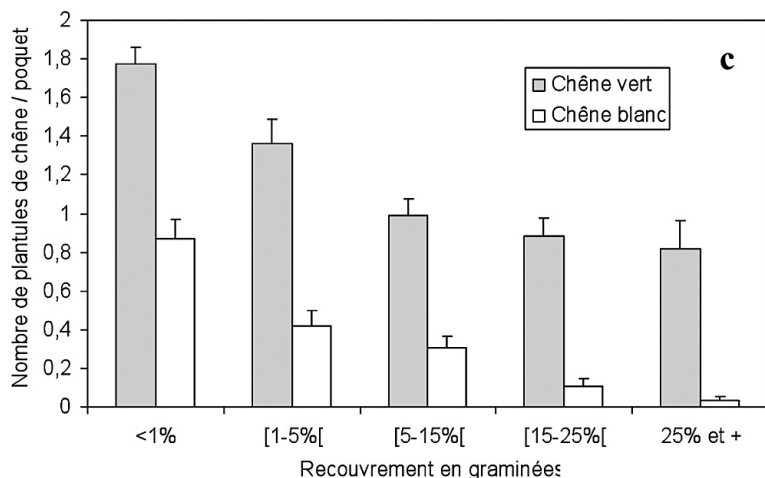
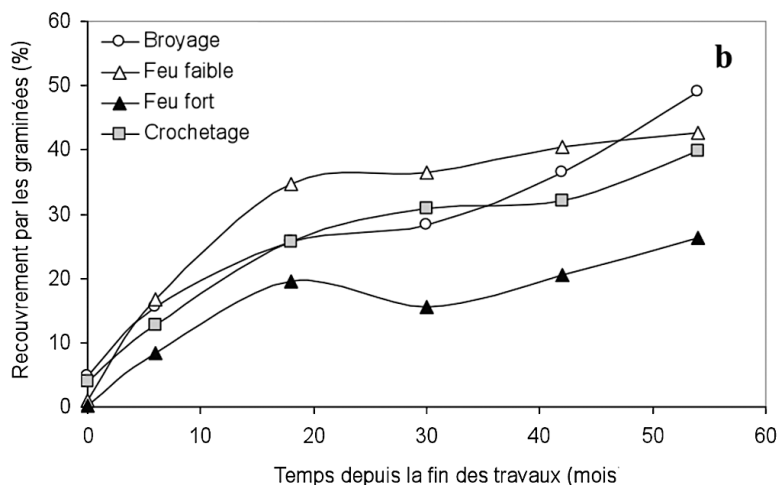
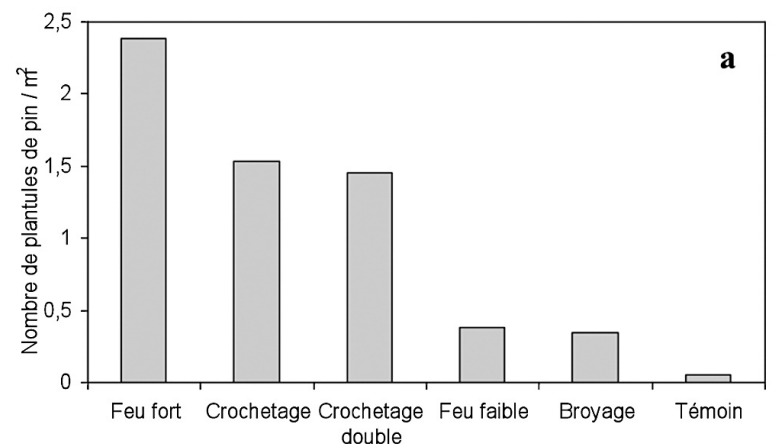
Dans une expérimentation située dans une pinède âgée près de Barbentane (Bouches-du-Rhône) nous avons cherché à la fois à régénérer la pinède à l'aide de travaux du sol et de la végétation et à introduire un mélange avec des feuillus par des semis de glands de Chêne vert et de Chêne blanc. Les

**Fig. 2 :** Principales transitions entre les peuplements après feu (d'après Rodrigo *et al.*, 2004, modifié)



**Fig. 3 :**  
 a) Impact des travaux sur la régénération de pin au bout de 5 années,  
 b) sur la couverture en graminées  
 c) influence des graminées sur la survie des plantules de chêne

travaux du sol consistaient en un broyage, un broyage suivi d'un crochetage simple ou double (selon deux directions perpendiculaires), un brûlage dirigé de faible intensité ou de forte intensité et d'un témoin (PRÉVOSTO *et al.*, 2009). Les semis de glands ont été effectués sous forme de 800 poquets de trois glands, la moitié des poquets étant constitués par du Chêne blanc et l'autre moitié par du Chêne vert, mis en place sur deux années consécutives (PRÉVOSTO *et al.*, 2010).



Les résultats ont montré que les travaux ont été indispensables pour permettre l'installation des plantules de pin et de chêne car il n'y a eu en effet que très peu d'installation de semis dans le témoin (Cf. Fig. 3a pour l'exemple du pin). Les travaux ont en revanche montré une efficacité très contrastée : l'installation a été forte dans le brûlage dirigé intense et les crochetages, mais faible dans le brûlage dirigé de faible intensité et dans le broyage. Pour une large partie, l'efficacité des traitements s'expliquaient par leur capacité à créer du sol nu et à réduire la végétation compétitrice au sol constituée par du Brachypode rameux (Cf. Fig. 3b). La couverture par les graminées s'est avérée être un facteur décisif pour la survie des plantules (Cf. Fig. 3c pour l'exemple du chêne).

### Coupe d'abri et semis de chênes

Lorsque les peuplements sont plus jeunes et que l'installation des chênes est faible, il est possible d'anticiper le processus de la dynamique de succession en pratiquant des éclaircies dans les peuplements et en introduisant les chênes en sous-étage. La strate supérieure des pins constituent un « abri » qui est plus ou moins dense en fonction de l'intensité de la coupe qui a été pratiquée. Un dispositif a été mis en place près de l'Etang-de-Berre sur la Commune de Saint-Mitre-les-Remparts (13) dans des pinèdes pures à Pin d'Alep. Il se compose de 12 peuplements éclaircis selon trois modalités (Cf. Photos 1) : aucune éclaircie (surface terrière de 30 m²/ha), éclaircie moyenne (surface terrière de 20 m²/ha) ou éclaircie forte (surface terrière de 10 m²/ha). Des semis de glands ont été effectués il y a trois ans en introduisant dans chaque peuplement 52 potets de trois glands de Chêne vert et 52 potets de Chêne blanc.

Les résultats montrent que la croissance initiale des chênes au bout de 2 années est la plus forte dans les couverts les plus légers (éclaircie forte) et la plus faible dans les couverts sombres (témoin). Cependant, des mesures d'humidité révèlent en période estivale, que la teneur en eau du sol entre 30 et 50 cm est plus faible dans les peuplements fortement éclaircis que dans les autres traitements. En effet, les peuplements ouverts présentent d'une part une température plus élevée au sol conduisant à une évaporation plus intense et d'autre part permettent un

plus fort développement de la végétation au sol elle-même consommatrice d'eau. Cette accentuation relative du déficit hydrique en période sèche dans les peuplements ouverts n'a pas obéré la croissance des plants sans doute en raison d'années pluvieuses durant l'expérimentation. Cependant, il n'est pas exclu que dans les prochaines années, surtout en cas de sécheresse, le développement des chênes soit pénalisé dans ce type de traitement. Les couverts intermédiaires (éclaircie moyenne) peuvent alors représenter une solution de compromis en permettant à la fois une croissance soutenue et en limitant le déficit hydrique.

Le rôle d'un couvert modéré de Pin d'Alep sur l'installation de feuillus a également été mis en évidence par GOMEZ-APARICIO *et al.* (2009) dans le sud de l'Espagne. Les auteurs ont ainsi montré dans des plantations de pin que les densités moyennes (500-1000 pins/ha) étaient les plus favorables à la régénération d'un grand nombre de feuillus, les chênes en particulier. A l'inverse il y avait moins de régénération dans les zones ouvertes ou dans les peuplements denses (>1500 pins/ha). L'abri léger constitue ainsi un milieu favorable pour l'installation naturelle des feuillus puis pour leur développement en offrant à la fois des conditions de luminosité suffisantes et en atténuant les contraintes climatiques.

### **Plantation, enrichissement de zones ouvertes**

Les plantations de chênes dans les milieux ouverts sont souvent problématiques en zone méditerranéenne en raison de la dureté des conditions climatiques et de la compétition pour les ressources exercée par la végétation concurrente. De plus, une forme indésirable en « pommier » des plants (perte de la dominance apicale) lors de leur développement en plein découvert est souvent observée.

Afin de pallier ces inconvénients, une méthode consiste à planter les feuillus avec un accompagnement ligneux. L'accompagnement est souvent constitué par une



#### **Photos 1 :**

Peuplements de Pin d'Alep selon différentes intensités d'éclaircie : aucune éclaircie, surface terrière de 30 m<sup>2</sup>/ha (haut), éclaircie moyenne, 20 m<sup>2</sup>/ha (milieu) et éclaircie forte, 10 m<sup>2</sup>/ha (bas)

espèce qui est tolérée par l'espèce cible, c'est-à-dire qui ne soit pas trop compétitrice mais dont le développement soit suffisamment rapide pour limiter la pousse de la végétation adventice au sol et « gagner » le plant afin d'améliorer sa forme.

Nous avons testé cette technique en installant des plants de chêne vert soit à découvert soit avec un accompagnement de pin d'Alep. L'expérimentation est encore trop jeune pour conclure, mais les premières observations montrent que l'accompagnement par le pin

favorise l'élongation des chênes et limite la concurrence par la végétation au sol (Cf. Photos 2). La difficulté dans cette technique consiste à trouver la ou les bonnes espèces accompagnatrices et le bon dosage pour que l'accompagnement ne se révèle pas trop compétiteur pour la plante cible.

Dans les zones ouvertes, il est également possible d'exploiter la végétation en place pour installer les plants, celle-ci jouant le rôle de végétation « nurse ». De nombreuses études ont en effet montré que la végétation arbustive en particulier facilitait le développement des plants introduits à leur proximité. Cet effet pouvait être attribué à plusieurs facteurs dont l'atténuation des facteurs climatiques (vent, température), la réduction de la luminosité, la présence d'un sol localement plus riche et moins compact. Dans une étude conduite dans la Sierra Nevada (Espagne) GOMEZ-APARICIO *et al.* (2004) ont testé sur une vaste échelle l'impact des arbustes en introduisant 18 000 plants de 11 espèces sous 16 types de plantes arbustives « nurses » sur plusieurs années. Les résultats de ces expérimentations ont montré :

- un effet bénéfique de l'abri fourni par le buisson sur la survie et la croissance des plants introduits,
- l'effet positif de l'abri était plus marqué dans les expositions chaudes (basse altitude, pente ensoleillée) et pendant les années sèches,
- les plants résineux introduits n'ont que faiblement bénéficié de la présence du buisson contrairement aux feuillus,
- les buissons n'ont pas tous agi de la même façon, certains étant plus facilitateurs (par exemple les légumineuses, le thym, le romarin) alors que d'autres ont eu un effet plutôt négatif (les Cistes sans doute à cause de leurs propriétés allélopathiques).

Cette étude, ainsi que d'autres conduites sur le même thème, amènent à reconsidérer le rôle de la végétation arbustive lors d'opérations de plantation en zone découverte : le ligneux déjà installé pouvant se comporter comme un auxiliaire précieux favorisant la survie du plant introduit. Il reste cependant à étudier dans quelles mesures ces techniques sont transposables dans le contexte de la forêt méditerranéenne française (Cf. Photos 3 sur une expérimentation en cours) en prenant en compte les spécificités des végétations qui s'y développent.



**Photos 2 :**  
Effet de l'accompagnement ligneux du pin sur l'élongation du Chêne vert (ci-contre) et limitation de croissance du Chêne vert par la végétation concurrente en l'absence d'accompagnement (ci-dessous)





## Conclusion : un bilan positif mais des interrogations encore présentes

Les forêts mélangées semblent donc présenter plusieurs avantages. Certains sont bien établis comme le suggère la corrélation entre le mélange et la productivité, ou entre le mélange et la résistance aux attaques de pathogènes. D'autres sont à nuancer tels que le lien entre forêts mélangées et résistance ou résilience au feu. Enfin certains restent à établir par exemple pour démontrer que le mélange est favorable à la biodiversité en précisant pour quelles composantes de la biodiversité et dans quelles conditions. Malgré les interrogations qui demeurent, l'obtention d'un mélange est une option souvent recherchée par le gestionnaire qui cherche à diversifier sa production et surtout à atténuer et mieux répartir les risques qui peuvent survenir dans la vie du peuplement. Un panel de solutions existe en région méditerranéenne pour créer un mélange entre pins et chênes : il peut s'agir de techniques lourdes (travaux, plantation en plein) ou plus légères (enrichissement, pratique du semis). L'utilisation de la végétation en place, qu'elle soit arborée ou arbustive, est une piste intéressante qui nécessite d'être mieux étudiée en précisant par exemple le degré d'ouverture des peuplements de pin optimal pour la régénération feuillue au sol ou le type de buisson utilisé pour offrir un abri optimal au plant introduit en plein découvert.

Enfin, certaines interrogations restent entières dans la gestion des peuplements mélangés. Celle-ci doit en effet faire coexister des espèces avec des âges d'exploitabilité, des vitesses de croissance, des exigences écologiques qui peuvent être contrastés. Des scénarios sylvicoles permettant de prendre en compte ces spécificités restent donc à élaborer. La modélisation des peuplements mixtes à l'échelle de l'arbre permettra certainement de proposer quelques pistes de gestion dans l'avenir.

### B.P., C.R.

#### Photos 3 :

Expérimentation sur l'enrichissement de zones ouvertes (en haut) en utilisant les buissons comme abri pour les plants (ci-contre, le plant est indiqué par la flèche)

## Bibliographie

- Barbier S., Gosselin F., Balandier P., 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved. A critical review for temperate and boreal forests. *For. Ecol. Manage.*, 254 : 1-15.
- Bond W.J., Van Wilgen B.W., 1996. Why and how do ecosystems burn? Fire and plants, Chapman & Hall, London, pp. 17-33.
- Broncano M.J., Retana J., Rodrigo A., 2005. Predicting the recovery of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* forests after a large wildfire in northeastern Spain. *Plant Ecol.*, 180 : 47-56.
- Buse J., Levanony T., Timm A., Dayan T., Assmann T., 2010. Saproxylic beetle assemblages in the Mediterranean region: Impact of forest management on richness and structure. *For. Ecol. Manage.*, 259 : 1376-1384.

Bernard PRÉVOSTO  
Christian RIPERT  
Cemagref  
Ecosystèmes  
méditerranéens  
et risques  
3275 Route Cézanne  
CS 40061  
13612 Aix-en-  
Provence cedex 5  
Mél : bernard.  
prevosto@cemagref.fr



## Remerciements

Les expérimentations présentées dans cette étude ont bénéficié du soutien financier de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, du ministère de l'Agriculture (MAP-DGPAAT) et du ministère de l'Ecologie (MEEDDAT-DEB)

- Díaz L., 2006. Influences of forest type and forest structure on bird communities in oak and pine woodlands in Spain. *For. Ecol. Manage.*, 223 : 54-65.
- Fernandes P.M., 2009. Combining forest structure and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. *Ann. For. Sci.*, 66 : 415
- Ginsberg P., 2006. Restoring biodiversity to pine afforestations in Israel. *J Nat Conserv.*, 14 : 207-216.
- Gómez-Aparicio L., Zamora R., Gómez J.M., Hódar J.A., Castro J., Baraza E., 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecol. Appl.*, 14 : 1128-1138.
- Gómez-Aparicio L., Zavala M.A., Bonet F.J., Zamora R., 2009. Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecol. Appl.*, 19 : 2124-2141.
- Hector, A. et al. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286 : 1123-1127.
- Jactel H., Brockerhoff E., 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecol. Letters*, 9 : 835-848.
- Jactel H., Brockerhoff E., Piou D., 2008. Le risque sanitaire dans les forêts mélangées. *Rev. For. Fr.*, LX(2) : 168-180.
- Maestre F.T., Cortina J., 2004. Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? *For. Ecol. Manage.*, 198: 303-317.
- Montès N., Maestre F.T., Ballini C., Baldy V., Gauquelin T., Planquette M., Greff S., Dupouyet S., Perret J.B., 2008. On the relative importance of the effects of selection and complementarity as drivers of diversity-productivity relationships in Mediterranean shrublands. *Oikos* 117 : 1345-1350.
- Morneau F., Duprez C., Hervé J.C., 2008. Les forêts mélangées en France métropolitaine. Caractérisation à partir des résultats de l'Inventaire Forestier National. *Rev. For. Fr.*, LX(2) : 107-120.
- Prévosto B., Ripert C., Monnier Y., Martin W., N'Diaye A., Estève R., 2010. Installer des semis de chênes dans les pinèdes à pin d'Alep en phase de renouvellement. *For. Médit.*, XXXI(1) : 25-30.
- Prévosto B., Ripert C., Favand G., Lopez J.M., Estève R., Martin W., N'Diaye A., 2009. Régénération du pin d'Alep en Basse Provence. Impacts des traitements du sol, de la végétation et des rémanents. *For. Médit.*, XXX(1) : 3-10.
- Rodrigo A., Retana J., Picó F.X., 2004. Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology* 85 : 716-729.
- Silva JS., Moreira F., Vaz P., Catry F., Godinho-Ferreira P., 2009. Assessing the relative proneness of different forest types in Portugal. *Plant Biosystems*, 143 : 597-608.
- Troumbis, A. Y. and Memtsas, D. 2000. Observational evidence that diversity may increase productivity in Mediterranean shrublands. *Oecologia*, 125 : 101-108.
- Tilman D, Reich PB, Knops J, Wedin D, Mielke T, Lehman C, 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 5543 : 843-845.

## Résumé

Les forêts mélangées sont devenues un enjeu majeur de la gestion forestière pour les nombreux avantages qu'on leur attribue. Plusieurs travaux montrent que la productivité des formations végétales mélangées est supérieure à celle des formations pures et cela semble être le cas pour les formations forestières. Les forêts mélangées sont moins sensibles aux attaques par les ravageurs en particulier pour les insectes. Elles semblent héberger une biodiversité plus forte mais les travaux ne sont encore que peu nombreux et partiels. Le mélange des essences permet d'obtenir une meilleure résilience face aux perturbations anthropiques en particulier l'incendie. Cependant cette résilience n'est pas systématique et c'est surtout l'adaptation des essences au feu qui est déterminante. En zone méditerranéenne le mélange pin-chêne est le plus fréquent. Des exemples de création de ce type de mélange sont présentés dans diverses situations : i) lors de la régénération des pinèdes avec introduction de semis de chênes, ii) lors de coupes d'éclaircie de différentes intensités et introduction de chênes, iii) à partir de plantation sur des zones ouvertes.

## Summary

**Mixed forests in the Mediterranean region: what are the advantages and how to foster the mix?**  
Mixed forests have become a major challenge in forestry management due to the numerous advantages that are attributed to them. Several studies have shown that the productivity of mixed plant formations is higher than that of pure formations and this seems to hold for forests. Mixed forests are less prone to attacks from harmful animal species, in particular from insects. They also appear to harbour greater biodiversity though studies have as yet been too few and limited in scope. A mixture of species enhances resilience to man-made disturbances, especially to wildfire. However, such resistance is not systematic and the determining factor, above all, is the adaptation of tree species to fire. Around the Mediterranean Rim, a mix of pine and oak is the most common. Examples of the creation of this kind of mix are presented for various situations: i) when pine stands are regenerated, with the introduction of seeded oak; ii) at the time of thinning stands, with different degrees of culling and the introduction of oak; iii) planting in open areas.