

# Des mesures de gestion pour adapter les espaces forestiers méditerranéens aux effets des changements climatiques

par Míriam PIQUÉ, Mario BELTRÁN, Santiago MARTÍN-ALCÓN & Lluís COLL

*Cet article présente deux expériences réalisées dans le cadre du projet européen MedForClimadapt sur les mesures de gestion forestière pour l'adaptation aux changements globaux des peuplements forestiers méditerranéens : réduire leur vulnérabilité face aux grands feux de forêt et promouvoir la diversité dans les forêts monospécifiques.*

## Les changements globaux : impacts potentiels sur les formations forestières méditerranéennes

De toutes les régions bioclimatiques, la zone méditerranéenne est considérée comme l'une des régions les plus vulnérables face aux changements globaux (EEA, 2008). Outre la composante climatique, l'aire méditerranéenne présente un ensemble de caractéristiques socioculturelles qui ajoutent une énorme complexité au moment de prévoir les possibles impacts du changement global.

Pour prévoir les principaux impacts négatifs des changements globaux sur les formations forestières méditerranéennes, il faut prendre en compte leur vulnérabilité. Celle-ci dépend aussi bien du caractère et de l'ampleur du changement que de la sensibilité et la capacité d'adaptation des formations. Par conséquent, les impacts seront plus ou moins importants en fonction de l'espèce considérée, de l'aire géographique où elle se situe, de l'historique de sa gestion, de son état actuel, etc.

L'impact prévisible du changement global sur les forêts de l'espace méditerranéen occidental a été abordé dans de nombreux travaux (ex. CAMARERO *et al.*, 2004 ; PEÑUELAS *et al.*, 2004 ; RESCO *et al.*, 2007 ; REGATO, 2008, SERRADA *et al.*, 2011). Quelques-uns des impacts négatifs les plus importants sont : affaiblissement des peuplements, dépérissement et mortalité, problèmes de régénération ou hausse de la fréquence des incendies de grande taille et intensité.

Dans tous les cas, la relation entre les composantes du changement global et les impacts négatifs n'est pas biunivoque, c'est-à-dire qu'une composante déterminée du changement global peut générer différents impacts et, à son tour, un impact déterminé peut être le résultat de l'effet conjoint de plusieurs composantes du changement global. Il faut donc souligner la forte interrelation et la rétro-action qui existe entre les divers impacts, et l'importance qu'il y a à considérer une vision conjointe du phénomène et des mesures à prendre pour l'adaptation au changement (VERICAT *et al.*, 2012).

#### Photos 1 et 2 :

Les traitements et modèles sylviculturaux pour créer des forêts plus résilientes et plus résistantes aux feux de cimes sont présentés par Miriam Piqué (CTFC) aux partenaires du projet ForClimadapt (octobre 2012).



## Exemples de mesures de gestion forestière pour l'adaptation au changement global des forêts méditerranéennes

Parmi les principaux groupes de mesures de gestion pour l'adaptation aux changements globaux, on peut citer : les traitements destinés à améliorer la vitalité des peuplements et favoriser la régénération ; les mesures pour réduire la vulnérabilité des forêts face aux grands feux de forêt ; le renforcement de l'hétérogénéité au niveau de la structure et de la composition des peuplements, du paysage, etc.

Ci-après sont exposées deux expériences réalisées dans le cadre du projet Med For Climadapt sur les mesures de gestion forestière pour l'adaptation aux changements globaux des peuplements forestiers méditerranéens, concrètement sur les mesures pour réduire leur vulnérabilité face aux grands feux de forêt et mesures pour développer la diversité compositionnelle et fonctionnelle des forêts.

### Réduction de la vulnérabilité face aux grands feux de forêt

#### Objectifs de l'expérience

L'objectif général de cette expérience est de mettre en place et développer un essai sur le terrain, des lignes directrices et traitements sylvicoles pour augmenter la résistance et la résilience des forêts face aux perturbations naturelles qu'entraînent les grands feux de forêt.

Le but de ces lignes directrices est de rendre difficile la propagation du feu de surface vers la canopée, de réduire l'intensité du feu et la vitesse de propagation et de parvenir à des faibles coûts d'exécution et d'entretien.

#### Matériaux et méthodes

##### Zone d'étude

La zone d'étude est le bassin de la rivière Rialb, dans la chaîne des Pré-Pyrénées, Catalogne (Espagne) d'une surface de 9,6 ha. Les forêts sont généralement composées de peuplements de pin noir espagnol pur (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) et mélangées

avec des chênes (*Quercus faginea* Lam.) et des chênes verts (*Quercus ilex* L.). Les peuplements sont en grande partie dégradés du fait de l'exploitation intensive passée du bois et bois de chauffage. La croissance annuelle moyenne actuelle est assez faible, d'environ  $2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ , avec des précipitations annuelles proches de  $700 \text{ mm an}^{-1}$ .

### Zone pilote et collecte de données

Plusieurs points stratégiques à l'intérieur du bassin ont été identifiés par l'équipe GRAF (unité forestière spécialisée du service des incendies catalan). Ce sont des points-clés dans le développement des grands feux de forêt (GFF), qui représentent des points stratégiques dans les actions de lutte. Ils sont déterminés par la couverture et la structure actuelle des forêts, ainsi que par les caractéristiques topographiques et la situation.

Les points stratégiques ont été classés par priorité d'intervention. La dernière zone pilote représente donc le point stratégique à traiter le plus important pour améliorer la prévention des GFF dans tout le bassin.

Une fois la zone pilote délimitée et décrite, on a procédé à l'inventaire de la forêt pour identifier la vulnérabilité face au risque de feu de cime (PIQUÉ *et al.*, 2011) en mesurant plusieurs variables structurelles du peuplement telles que la couverture de combustible étagé (%), la distance entre le combustible de surface ou étagé et le combustible de cime (m), la distance entre le combustible de surface et le combustible étagé (m), la couverture de combustible de cime (%) et la couverture de combustible de surface (%).

Une parcelle a également été choisie pour collecter des données spécifiques aux com-

bustibles, nécessaires à l'utilisation du simulateur NEXUS.

### Conception de lignes directrices pour la gestion des forêts et les traitements sylvicoles

L'utilisation des données d'un peuplement et de l'information disponible a permis de définir une structure à faible vulnérabilité souhaitée. Cette structure présente des valeurs concrètes de couvertures de strates de combustibles et de distances qui permettent de la classer dans la catégorie de peuplement empêchant le développement de feux de cimes. Puis des lignes directrices de gestion ont été conçues afin de définir quelles sont les caractéristiques du peuplement qui lui permettront de conserver cette faible vulnérabilité pendant le développement du peuplement, qui incluent la définition de l'âge de rotation.

## Résultats

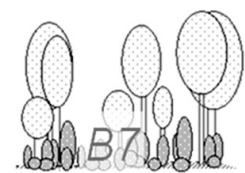
### Description des peuplements forestiers avant et après le traitement

Les différences dans les paramètres du peuplement n'étaient pas significatives mais la vulnérabilité structurelle est passée à un niveau de faible vulnérabilité. Le tableau I montre les paramètres structurels déterminés avant et après les traitements sylvicoles. Les deux peuplements (pur et mixte) sont représentés par ces données. La structure portant le code « C10 » a été déterminée comme structure à faible vulnérabilité souhaitée. Le tableau II montre les instructions pour les travaux forestiers, découlant des différences entre la structure initiale « B7 » et la structure objectif « C10 ».

**Tab. I :**  
Paramètres structurels déterminés avant et après les traitements.

#### Paramètres structurels initiaux en rapport avec la vulnérabilité du peuplement

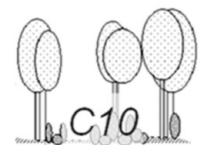
Couverture de combustible étagé	25-70%
Distance moyenne entre combustible étagé et combustible de cime	<5 m
Distance moyenne entre combustible de surface et combustible étagé	<3 m
Couverture de combustible de cime	50-70%
Couverture de combustible de surface	<60%



Vulnérabilité moyenne

#### Paramètres structurels recherchés en rapport avec la vulnérabilité du peuplement

Couverture de combustible étagé	<25%
Distance moyenne entre combustible de surface et combustible de cime	<4 m
Couverture de combustible de cime	50-70%
Couverture de combustible de surface	<30%



Vulnérabilité faible



Traitements mis en œuvre

Réduction de la couverture des combustibles de surface et étagés à ≤30 % :

Coupes sélectives sur les sous-bois et les petits arbres (D <7,5 cm) dont la couronne vivante est inférieure à 1,3 m.

Conserver les petits arbres (*Quercus sp.* en priorité) lorsqu'il n'y a pas d'autres arbres alentours et pas de problèmes de continuité verticale.

Élimination des arbres brisés (3-4 arbres/ha, appartenant à D < 20).

Gestion des rémanents issus des traitements :

Couper les rémanents dont le diamètre est > 5 cm en pièces de 0,8-1 m de long.

Répartir les rémanents au sol en évitant les piles supérieures à 30 cm.

Stocker les rémanents à 10 m de la route (Loi de Prévention des Feux de Forêt).

Élagage de *Quercus sp.* (environ 200 arbres/ha) ; dans le cas du peuplement 2 :

Élagage des arbres de hauteur supérieure à 4 m, en laissant la couronne vivante à 1,5 - 2 m, mesurée sur le haut de pente.

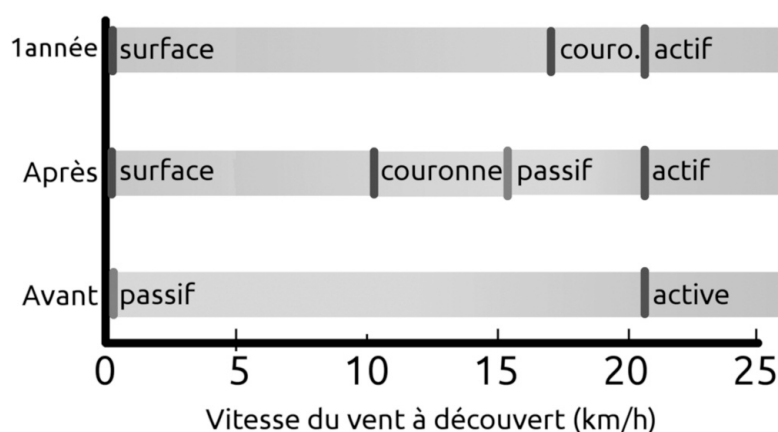
**Tab. II :**  
Instructions d'exécution pour les travaux forestiers.

Le coût total des traitements s'est élevé à 859 €/ha, salaire équivalent à 5 journées de travail à temps plein.

**Simulation de comportement face au feu avant, après et un an après les traitements sylvicoles**

Dans toutes les situations, les différences entre les cas de figures avant, après et un an après ont été significatives pour les vents de vitesse < 20 km h<sup>-1</sup>. Avant le traitement sylvicole, la simulation montre un feu de cime passif. En revanche, après le traitement, la simulation montre un feu de surface. Les informations obtenues pour le cas de figure de 1 an après le traitement, comparé au cas de figure immédiatement après le traitement, indiquent que la couche de combustible de surface se compacte avec le temps, le feu de surface se développe donc même avec des vents de vitesse supérieure (Cf. Fig. 1).

**Fig. 1 :**  
Évaluation du risque de feu de cime pour les cas de figure immédiatement après et un an après les traitements.



Conclusions

Cette étude a évalué l'efficacité d'un traitement sylvicole en termes de réduction de la vulnérabilité du peuplement face au risque de feu de cime. Un an après les traitements sylvicoles, la structure de la forêt est moins vulnérable aux feux de cimes, en comparaison avec les traitements préalables et immédiatement postérieurs. Ceci assure une plus haute protection de toute la zone d'étude, en premier lieu car le développement de GFF a été limité à un point stratégique et, en second lieu, car les caractéristiques créées dans ce point stratégique offrent plus de possibilités dans les actions de lutte.

Le principal changement dans les conditions du peuplement a été la création d'une discontinuité verticale entre combustible de surface et combustible de cime. La strate supérieure a été légèrement affectée, le peuplement maintient donc les principales caractéristiques des arbres. Toutefois, la vulnérabilité structurelle face aux feux de cimes a baissé. De plus, la strate supérieure devrait à l'avenir rendre difficile le développement des arbustes.

En termes économiques, l'efficacité est atteinte car le coût total est inférieur aux traitements traditionnels de prévention des incendies. Toutefois, les traitements sylvicoles mis en œuvre diffèrent des traitements traditionnels ayant pour objectif la prévention des incendies. Une formation préalable des travailleurs a donc été nécessaire pour assurer leur correcte réalisation. Pour ce qui est du coût de ce type de traitement, il est prévu que plus ils se généraliseront, plus ils seront rentables.

**Promotion de la diversité dans les forêts monospécifiques**

Objectifs de l'expérience

L'idée est d'établir un ensemble de plantations d'enrichissement en pinèdes sous-méditerranéennes monospécifiques du nord-est de la péninsule. L'expérience vise à évaluer l'intra et l'inter-spécificité de la capacité de réponse des principales espèces de feuillus qui accompagnent les pinèdes sous-méditerranéennes dans diverses conditions environnementales, de luminosité et de température principalement.

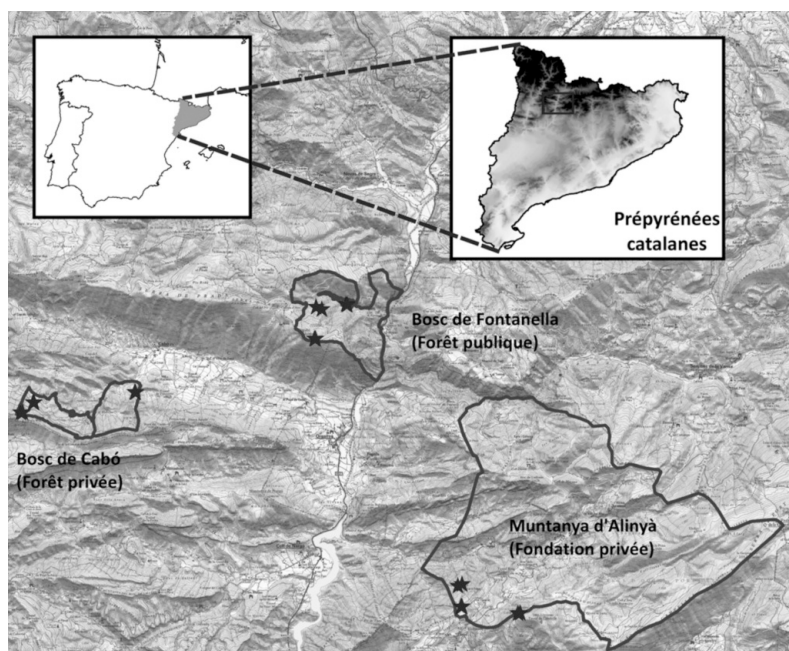
## Matériaux et méthodes

### Zone d'étude et conception expérimentale

Les plantations ont été établies dans les Pré-Pyrénées centrales catalanes, dans trois peuplements forestiers de moyenne montagne placés autour de la vallée de la rivière Sègre (Cf. Fig. 2 et photo 3). Les trois sites choisis pour l'installation du dispositif sont orientés au nord, ils présentent un gradient altitudinal compris entre 1 000 et 1 600 m, et un peuplement forestier en transition entre pinède pure de pin noir (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) et pinède pure de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.). Pour chacun des trois sites, trois niveaux d'altitude ont été sélectionnés : niveau inférieur, à 1 000 m ; niveau moyen, à 1 300 m ; et niveau supérieur, à 1 600 m, et sur chacun d'eux ont été établies deux parcelles de plantation de 12×12 mètres, en veillant à couvrir un gradient de conditions lumineuses pour les plantes.

Quatre espèces de feuillus, présentant une capacité de repousse et apparaissant le plus souvent en accompagnement dans la zone, ont été sélectionnées pour la plantation : le chêne vert (*Quercus ilex* L.), le chêne rouvre (*Quercus faginea* Lam.), le chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.) et l'alisier blanc (*Sorbus aria* (L.) Crantz.). Parmi ces espèces, en outre, deux provenances différentes ont été sélectionnées : une provenance locale et une autre plus thermophile/xérophile. Deux autres espèces ont été sélectionnées : le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et le chêne kermès (*Quercus coccifera* L.) qui, bien que n'apparaissant pas ou apparaissant de façon très ponctuelle dans les sites, ont été établies pour étudier le développement du hêtre lorsqu'il pousse dans des conditions climatiques plus xériques que celles lui étant propres et, dans le cas du chêne kermès (qui se développe généralement dans des milieux plus secs) pour analyser la viabilité de sa possible utilisation dans des plantations dans un cadre de migration assistée.

Des plants de deux ans ont été utilisés dans la plantation, sauf dans le cas du chêne kermès, où l'on a utilisé des plants d'un an. Dans chacune des 18 parcelles, 7 répliques de chacune des 10 combinaisons espèce × provenance ont été plantées et disposées de façon aléatoire à l'intérieur de la parcelle sur un maillage rectangulaire de 1 × 1 mètres d'espacement.



**Fig. 2 et photo 3 :**  
Emplacement des trois forêts et vue générale des plantations.

### Premiers résultats

Les résultats partiels de survie après la première période végétative sont présentés, sans analyser encore en profondeur l'effet des facteurs environnementaux au niveau de la plante (lumière, concurrence, microstation, etc.). Ceux-ci seront mesurés lors des prochaines périodes de végétation. Au cours du premier hiver après la plantation, on a observé une mortalité de 14,8 % des plantes, qui a affecté dans une grande mesure le hêtre (39,2 %), le chêne kermès (29,4 %) et le chêne vert (surtout celui de provenance



Espèce Provenance	Fs	Qc	Qf		Qp		Qi		Sa		Total
	L	L	L	M	L	M	L	M	L	M	
Niveau supérieur	16,0 %	18,3 %	3,2 %	4,0 %	2,4 %	4,8 %	6,4 %	20,6 %	0,0 %	1,6 %	7,7 %
Niveau moyen	15,2 %	5,6 %	2,4 %	0,8 %	0,8 %	0,8 %	2,4 %	10,3 %	0,0 %	0,0 %	3,8 %
Niveau inférieur	8,0 %	5,6 %	1,6 %	0,8 %	0,8 %	0,0 %	7,2 %	8,7 %	0,0 %	0,0 %	3,3 %
Total	39,2 %	29,4 %	7,1 %	5,6 %	4,0 %	5,6 %	16,0 %	39,7 %	0,0 %	1,6 %	14,8 %

**Tab. III :**

Mortalité hivernale par espèce et provenance (L : local, M : Méditerranée) en fonction du niveau d'altitude

Fs : *Fagus sylvatica* ; Qc : *Quercus coccifera* ; Qf : *Quercus faginea* ; Qp : *Quercus pubescens* ; Qi : *Quercus ilex* ; Sa : *Sorbus aria*

Espèce Provenance	Fs	Qc	Qf		Qp		Qi		Sa		Total
	L	L	L	M	L	M	L	M	L	M	
Niveau supérieur	1,6 %	0,0 %	2,4 %	1,6 %	1,6 %	1,6 %	0,8 %	1,6 %	1,6 %	2,4 %	1,5 %
Niveau moyen	9,6 %	0,0 %	3,2 %	9,5 %	0,8 %	4,8 %	1,6 %	0,8 %	0,0 %	1,6 %	3,2 %
Niveau inférieur	20,8 %	0,8 %	7,1 %	8,7 %	0,0 %	11,1 %	0,8 %	4,0 %	0,0 %	0,0 %	5,3 %
Total	32,0 %	0,8 %	12,7 %	19,8 %	2,4 %	17,5 %	3,2 %	6,3 %	1,6 %	4,0 %	10,0 %

**Tab. IV :**

Mortalité estivale par espèce et provenance (L : local, M : Méditerranée) en fonction du niveau d'altitude



**Photos 4 et 5 :**

Luis Coll présente les dispositifs d'enrichissement dans des peuplements monospécifiques de pin aux partenaires du projet ForClimadapt.

La zone très pentue permet d'avoir un gradient différentiel pour les mesures (octobre 2012).



méditerranéenne, avec 39,7 % de mortalité). La mortalité hivernale a de même été majeure dans les parcelles d'altitude supérieure (Cf. Tab. III). L'ouverture de la canopée n'a en général pas eu d'effet important sur la mortalité, toutefois dans le cas du chêne kermès et du chêne vert, on a observé une plus grande mortalité dans les parcelles ouvertes que dans les parcelles fermées.

La mortalité estivale au cours de la première période végétative s'est élevée à 10 % des plantes (Cf. Tab. IV), et a affecté dans une grande mesure le hêtre (32 %), le chêne rouvre (12,7 % de ceux de provenance locale et 19,8 % de ceux de provenance méditerranéenne) et le chêne pubescent de provenance méditerranéenne (17,5 %). Par niveaux d'altitudes, le niveau inférieur est celui qui s'est révélé le plus affecté, et le supérieur celui qui le moins. De façon générale, des mortalités estivales ont été observées majoritairement dans les parcelles ouvertes.

## Conclusions

Ce travail présente les résultats de survie par rapport à la première période de végétation. Pour cette raison, les résultats doivent être interprétés avec beaucoup de prudence. Ils montrent toutefois la faible capacité d'adaptation du hêtre dans ces conditions (plus xériques que celles dans lesquelles il se

développe habituellement), ou les difficultés du chêne kermès et du chêne vert à survivre dans les parcelles situées dans les niveaux d'altitude supérieurs. Des mortalités élevées ont également été observées chez les plantes de hêtre, de chêne rouvre et de chêne pubescent après une période estivale relativement sèche, en particulier lorsqu'ils se développent sans la protection de la canopée. Ces espèces sont celles qui présentent les plus grands besoins hydriques et, avec l'augmentation progressive de la fréquence de sécheresses estivales prévue dans le contexte de changement climatique, leur développement dans la zone d'étude pourrait prochainement être remis en cause. Quelques patrons intéressants ont également pu être observés, qui devront être étudiés avec attention au cours des prochaines années, comme la haute capacité de repousse automnale des chênes rouvres de provenance locale, affectés par la sécheresse estivale (non montrés ici) et la forte sensibilité des chênes pubescents de provenance méditerranéenne par la sécheresse estivale. Les résultats correspondant aux prochaines périodes de végétation permettront de confirmer ou réfuter les tendances décrites.

**M.P., M.B.,  
S.M.A., L.C.**

Míriam PIQUÉ  
Mario BELTRÁN  
Santiago MARTÍN-ALCÓN  
Centre de recherche forestière de Catalogne  
CTFC  
Ctra Sant Llorenç km 2  
25280 Solsona  
ESPAGNE  
Email : lluis.coll@ctfc.es

## Bibliographie

- Camarero, J. J. ; Lloret, F. ; Corcuera, L. ; Peñuelas, J. ; Gil-Pelegrín, E. 2004. "Cambio global y decaimiento del bosque". Dans : Valladares, F. (éd.). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A. Madrid, p. 397-423.
- EEA. 2008. Impacts of Europe's changing climate - 2008. An indicator-based assessment (EEA Report No 4/2008). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 246 p.
- Peñuelas, J. ; Sabaté, S. ; Filella, I. ; Gracia, C. 2004. "Efectos del Cambio Climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación". Dans : Valladares, F. (éd.). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Nacionales. Madrid, p. 397-425.
- Piqué, M. ; Castellnou, M. ; Valor, T. ; Pagés, J. ; Larrañaga, A. ; Miralles, M. ; Cervera, T. 2011. Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades. Série : Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya, Barcelona. 122
- Regato, P. 2008. Adaptación al cambio global. Los bosques mediterráneos. UICN Centro de Cooperación del Mediterráneo, Málaga, España. 254 p.
- Resco, V. ; Colinas, C. ; Fischer, C. 2007. "Climate change effects on Mediterranean forests and preventivemeasures". *New Forests*, 33 (29-40).
- Serrada, R. ; Aroca, M. J. ; Roig, S. ; Bravo, A. ; Gómez, V. 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal. Notas sobre gestión adaptativa de las masas forestales ante el cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. 128 p.
- Vericat, P. ; Piqué, M.; Serrada, R. 2012. Gestión adaptativa al cambio global en masas de *Quercus* mediterráneos. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Solsona. Lleida. 172 p

## Résumé

Il est prévu que les changements climatiques auront de nombreux impacts sur les peuplements forestiers méditerranéens. Les gestionnaires de ces espaces sont donc confrontés au besoin de prendre des décisions orientées pour améliorer leur capacité d'adaptation face à ces changements. C'est dans ce contexte que le projet ForClimadapt (programme européen Med) est né. L'article présente deux actions démonstratives conduites dans les Pré-Pyrénées catalanes visant d'une part la réduction de la vulnérabilité des peuplements forestiers face aux grands feux de forêt et, d'autre part, l'augmentation de l'adaptabilité et de la résilience des forêts par la réalisation d'un ensemble de plantations d'enrichissement en pinèdes sous-méditerranéennes monospécifiques. Dans la première expérience, un ensemble de traitements sylvicoles

destinés à réduire la continuité verticale du combustible ont été réalisés dans des peuplements purs et mélangés de pin noir (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) et chêne (*Quercus faginea* Lam., *Quercus ilex* L.). Le résultat de ces traitements en termes de comportement du feu a été abordé à l'aide du simulateur NEXUS qui a montré l'efficacité des actions concernant la réduction de la vulnérabilité des peuplements face au risque de feu de cime (en conditions de vent inférieures à 20 km/h). Dans la deuxième expérience, un ensemble de plantations d'enrichissement à l'aide d'essences feuillues (*Sorbus aria*, *Fagus sylvatica*, *Quercus* sp. pl.) ont été établies dans des pinèdes monospécifiques subméditerranéennes suivant des gradients environnementaux. Les premiers résultats des expériences montrent des différences importantes entre espèces (et provenances) dans la survie des plantules selon les conditions environnementales des sites de plantation (aussi bien climatiques que de disponibilité en lumière). Les résultats correspondant aux prochaines périodes de végétation permettront de confirmer ou réfuter les tendances décrites.

## **Summary**

---

It is forecast that climate change will affect Mediterranean forests and woodlands in many ways. Consequently, the managers of these areas are faced with the need to take decisions aimed at enhancing the areas' capacity to adapt to such changes. This is the context which gave rise to the For Climadapt project (within the European MED programme). This article presents as examples two trials in the Lower Pyrenees of Catalonia with the double aim of reducing the vulnerability of forest stands to massive wildfire and enhancing the adaptability and resilience of forests by establishing an ensemble of enrichment stands within sub-Mediterranean single-species pine forests to improve their characteristics. In the first experiment, a number of silvicultural measures were carried out designed to interrupt the vertical continuity of combustible growth in pure and mixed stands of black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) and oaks (*Quercus faginea* Lam., *Quercus ilex* L.). The results of these measures, in terms of the behaviour of the wildfire, were assessed with the help of the NEXUS simulator which showed the efficacy of the operations in reducing the vulnerability of the stands under threat from crown fire (with wind speed below 20 km/h). In the second experiment, an ensemble of improvement stands using broadleaved species (*Sorbus aria*, *Fagus sylvatica*, *Quercus* sp. pl.) were established along an environmental gradient within single-species sub-Mediterranean pine forests. The first results show major differences between the species (and provenances) in the survival of the seedlings, depending on the environmental conditions of the plantations (as much climate as luminosity). Results from the growing seasons to come will confirm or refute the trends described.

## **Resumen**

---

Se prevé que los efectos del cambio climático produzcan importantes impactos en los bosques mediterráneos. Ante este contexto, mejorar la capacidad de adaptación de los bosques frente al cambio constituye uno de los principales retos a los que debe hacer frente el gestor forestal y el núcleo del proyecto ForClimadapt (programa europeo Med). El artículo presenta dos experiencias piloto realizadas en el Prepirineo catalán con el objeto de (1) reducir la vulnerabilidad de los bosques frente a los incendios forestales de alta intensidad y (2) aumentar la capacidad de adaptación y resiliencia de los pinares puros submediterráneos por medio de plantaciones de enriquecimiento. En la primera experiencia, se efectuaron un conjunto de tratamientos selvícolas orientados a romper la continuidad vertical del combustible en bosques puros y mixtos de pino laricio (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*), roble (*Quercus faginea* Lam.) y encina (*Quercus ilex* L.). El resultado de los tratamientos en términos de comportamiento del fuego se evaluó con la ayuda del simulador NEXUS que mostró la eficacia de las actuaciones en lo que concierne la reducción del riesgo de ocurrencia de fuegos de copas (en condiciones de viento inferiores a 20 km/ha). En la segunda experiencia, se establecieron un conjunto de plantaciones de enriquecimiento de 6 especies frondosas rebrotadoras (*Sorbus aria* L., *Fagus sylvatica* L., *Quercus* sp. pl.) a lo largo de un gradiente altitudinal y de luminosidad bajo tres pinares puros prepirenaicos. Tras el primer período vegetativo se observaron diferencias importantes entre especies (y procedencias) en la supervivencia de las plántulas en función de las condiciones ambientales en las que se establecieron. Los resultados procedentes de los siguientes períodos vegetativos permitirán confirmar o rechazar las tendencias descritas.